

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ANNELISE NAIRNE SCHAMNE**

**MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO NO GERENCIAMENTO DE  
RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO: PROPOSTA DE MODELO CONCEITUAL NO  
PADRÃO IFC**

**CURITIBA**

**2022**

**ANNELISE NAIRNE SCHAMNE**

**MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO NO GERENCIAMENTO DE  
RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO: PROPOSTA DE MODELO CONCEITUAL NO  
PADRÃO IFC**

**Building Information Modeling in construction waste management: a  
conceptual model based in the IFC standard**

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Área de concentração: Meio Ambiente.  
Linha de pesquisa: Sustentabilidade

Orientador: Prof. Dr. André Nagalli.  
Coorientador: Prof. Dr. Alfredo Augusto Vieira Soeiro.

**CURITIBA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho licenciado para fins não comerciais, desde que atribuam ao autor o devido crédito. Os usuários não têm que licenciar os trabalhos derivados sob os mesmos termos estabelecidos pelo autor do trabalho original.



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Curitiba



ANNELISE NAIRNE SCHAMNE

**MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA  
CONSTRUÇÃO: PROPOSTA DE MODELO CONCEITUAL NO PADRÃO IFC**

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutora Em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Meio Ambiente.

Data de aprovação: 26 de Julho de 2022

Dr. Andre Nagalli, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Alfredo Augusto Vieira Soeiro, Doutorado - Universidade do Porto - Pt

Dr. Eduardo De Freitas Rocha Loures, Doutorado - Pontifícia Universidade Católica do Paraná (Pucpr)

Dr. Joao Pedro Da Silva Pocas Martins, Doutorado - Universidade do Porto - Pt

Dra. Maria Fernanda Da Silva Rodrigues, Doutorado - Universidade de Aveiro

Dra. Marina Figueiredo Muller, Doutorado - University Of Florida

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 26/07/2022.

Aos meus pais, Luzia e Ernani.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por guiar meus caminhos e minhas escolhas.

Aos meus pais Luzia Nairne Schamne e Ernani Schamne, por todo amor, incentivo, educação, conforto, zêlo e participação em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador André Nagalli, pela parceria e confiança de longa data, pelo comprometimento, dedicação, amizade e conhecimento. Você tem o dom de esclarecer as ideias de forma prática e objetiva. Obrigada pelos conselhos, pelo apoio e otimismo, mesmo diante das dificuldades. Espero que ainda possamos trabalhar em novas conquistas.

Ao meu coorientador Alfredo Augusto Vieira Soeiro, que aceitou embarcar neste projeto e que não mediu esforços para tornar possível meu período de mobilidade acadêmica na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Obrigada por tornar minha estadia no Porto inesquecível, por partilhar suas experiências e seu ótimo gosto musical, nas nossas conversas embaladas ao fundo de *Blues* e *Jazz*. Agradeço a dedicação, por atender prontamente as minhas dúvidas, enviar-me sempre sugestões e acompanhar minha evolução, mesmo do outro lado do Atlântico em Portugal.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil que foram fundamentais na minha formação como pessoa e como pesquisadora. Agradeço aos professores pela oportunidade, inspiração e cumplicidade. Aos colegas Clarisse Sophia Alejandra Di Núbila, Daniele Abe Ribeiro, Fernanda Feltrim, José Gustavo Venâncio da Silva Ramos, Renata Alves Monteiro Correia e Roberto Chun Yan Pan, pela amizade e pelas discussões enriquecedoras.

Aos amigos que de perto ou de longe estiveram presentes e que tornam nossa caminhada mais leve. Obrigada pela compreensão e pelos momentos de descontração.

Gratidão ao amigo e Mestre Ricardo Cesar Conrado de Souza pela paciência e disponibilidade em tirar minhas dúvidas relacionadas à construção civil; ao amigo e doutorando Davi Teixeira Pinheiro, cearense e pensador, com quem compartilhei vários assuntos do doutorado e da vida; à amiga e Mestra Tamiris Costa pela ajuda

com assuntos de arquitetura e ao amigo e Doutor Emílio Graciliano Ferreira Mercuri pela ajuda com a programação em *Python*.

Um agradecimento especial aos engenheiros Guilherme Valente e Diego Valentim pela disponibilização dos modelos que fizeram parte da pesquisa.

Ao Prof. Carlos Dias pelos ensinamentos sobre *Building Information Modeling* e apoio no estudo da estrutura de dados do *Industry Foundation Classes*, bem como ao engenheiro Adriano Balduino dos Santos pela imensa ajuda na interpretação dos modelos e na programação da leitura dos dados.

À Companhia Paranaense de Energia que permitiu eu conciliar as horas de trabalho e continuar meus estudos.

Aos membros da banca pelas contribuições.

A todos, muita estima e agradecimento.

*"In a gentle way, you can shake the world".*  
Mahatma Gandhi

## RESUMO

O *Building Information Modeling* (BIM) representa um avanço na digitalização das atividades da indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC), com potencial de aplicação em diversas áreas. No contexto ambiental, a gestão das construções por meio do BIM vem a contribuir para preservação dos recursos e promoção de ambientes mais sustentáveis. Esta pesquisa buscou explorar a aplicação do BIM na gestão dos resíduos de construção civil (RCC) e na sustentabilidade das construções. Para isso, um modelo conceitual de informações foi desenvolvido, com base no padrão *Industry Foundation Classes* (IFC), formato aberto de compartilhamento de informações, para atender indicadores de RCC que foram criados a partir de métodos de certificação ambiental do Brasil e de Portugal (LEED, AQUA-HQE, BREEAM, SBT<sup>PT</sup> e LiderA). O método utilizado para conduzir a pesquisa é o *Design Science Research* (DSR), em que o conhecimento é construído a serviço da ação por meio do projeto, construção e avaliação de artefatos. Inicialmente um questionário foi aplicado aos profissionais da construção civil, a fim de verificar a opinião sobre requisitos RCC presentes nos métodos de certificação ambiental, sob o ponto de vista da gestão dos RCC e aplicação do BIM. Os resultados auxiliaram na elaboração de novos indicadores RCC e no mapeamento das informações necessárias para compor o modelo conceitual de informações com base no IFC. O modelo conceitual foi desenvolvido com base na recomendação da *buildingSMART*. Os atores definidos para realizar a atividade de gestão dos RCC foram o gerente BIM, especialista RCC e fornecedores de materiais e prestadores de serviços. No mapeamento do processo, os requisitos de troca de informação foram identificados para cada tarefa a ser executada até chegar à análise dos indicadores RCC que compõem o resultado da aplicação do modelo. A partir do modelo da construção no padrão IFC foram extraídos dados de materiais e quantidades para compor a análise dos indicadores RCC. O modelo conceitual demonstrou boa perspectiva de aplicação na gestão dos RCC, porém foi verificado que os resultados dependem diretamente das informações disponíveis no modelo de construção em IFC. Para melhor representatividade da realidade dos resíduos gerados mostrou-se essencial que o modelo da construção esteja em um nível de detalhamento adequado e que as informações estejam alocadas nas propriedades recomendadas pela especificação do padrão IFC, assim as trocas de informação são identificadas mais facilmente após a exportação do modelo. Apesar das limitações do BIM na modelagem de alguns tipos de informação, verifica-se que é possível extrair dados de quantidades do modelo IFC para análises relacionadas aos resíduos. O modelo conceitual proposto apresenta flexibilidade para ser aplicado em diferentes fases do ciclo de vida da construção e os resultados da gestão dos RCC podem contribuir para outros tipos de análises de sustentabilidade.

**Palavras-chave:** Resíduos de construção e demolição. Modelagem da construção civil. Sustentabilidade. Avaliação da sustentabilidade da construção.



## ABSTRACT

Building Information Modeling (BIM) represents a breakthrough in digitalizing activities in the architecture, engineering, and construction (AEC) industry, with potential application in several areas. In the environmental context, the management of buildings through BIM contributes to preserving resources and promoting more sustainable environments. This research sought to explore the application of BIM in construction and demolition waste (CDW) management and the sustainability of buildings. A conceptual model of information was developed, based on the Industry Foundation Classes (IFC), an open information standard, to meet CDW indexes created from environmental certification methods in Brazil and Portugal (LEED, AQUA-HQE, BREEAM, SBTool<sup>PT</sup>, and LiderA). The Design Science Research (DSR) conducted the research, a method designed to apply the knowledge to built solutions through the design, construction, and evaluation of artifacts. Initially, a questionnaire was applied to civil construction professionals to verify their opinion on CDW requirements present in environmental certification methods from the point of view of CDW management and BIM application. The results helped develop new CDW indexes and map the necessary information to compose the conceptual model of information based on the IFC. The conceptual model was developed based on buildingSMART's recommendation. The actors defined to carry out the CDW management activity were the BIM manager, CDW specialist, material suppliers, and service providers. The information exchange requirements in the process map were identified for each task until the CDW indexes' analysis, which is the final result of the application of the model. Material and quantities data from the IFC standard construction model composed the CDW indicators' analysis. The conceptual model showed a good perspective of application in the management of CDW; however, the results depend directly on the information available in the construction model in IFC. For better representation of the waste generated, the recommendation is to develop the construction model considering an appropriate level of detail and the specification of the IFC standard to allocate the information, which simplifies the identification of the information after the exportation of the model. Despite the limitations of BIM in modeling some types of information, it appears that it is possible to extract data from quantities from the IFC model for analysis related to waste. The proposed conceptual model presents flexibility in applying different phases of the construction life cycle, and the results of the CDW management can contribute to other types of sustainability analyses.

**Key words:** Construction and demolition waste. Construction modeling. Sustainability. Building sustainability assessment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estágios de aplicação do BIM no empreendimento .....	26
Figura 2 – Arquitetura do esquema IFC .....	34
Figura 3 - Número de publicações sobre BIM e Gerenciamento de RCC de 2009 a 2019 .....	47
Figura 4 - Principais autores sobre BIM e Gerenciamento de RCC de 2009 a 2019	48
Figura 5 - Origem das publicações sobre BIM e Gerenciamento de RCC de 2009 a 2019 .....	48
Figura 6 - Coautoria nas publicações sobre BIM e Gerenciamento de RCC.....	49
Figura 7 - Coocorrência palavras-chave nas publicações sobre BIM e Gerenciamento de RCC.....	50
Figura 8 - Cocitações de autores sobre BIM e Gerenciamento de RCC .....	51
Figura 9 - Número de publicações sobre BIM e Certificações ambientais de 2009 a 2019 .....	59
Figura 10 - Principais autores sobre BIM e Certificações ambientais de 2009 a 2019 .....	60
Figura 11 - Origem das publicações sobre BIM e Certificações ambientais de 2009 a 2019 .....	60
Figura 12 - Coocorrência palavras-chave nas publicações sobre BIM e Certificações ambientais.....	61
Figura 13 - Cocitação de autores sobre BIM e Certificações Ambientais.....	61
Figura 14 - Tipologias da certificação ambiental LEED .....	74
Figura 15 – Total acumulado de certificações AQUA-HQE no Brasil .....	78
Figura 16 - Estrutura do método de certificação SBTool <sup>PT</sup> .....	82
Figura 17 – Princípios da certificação LiderA e áreas de avaliação .....	85
Figura 18 – Ponderação para as 20 áreas do LiderA, v. 4.0 .....	86
Figura 19 – Elementos do <i>Design Science Research</i> .....	94
Figura 20 – Delineamento da pesquisa – DSR .....	95
Figura 21 – Estratégia de incorporação.....	108
Figura 22 – Caracterização do BIM-RCC Info Model .....	121
Figura 23 – BIM RCC-Info Model .....	123
Figura 24 – Edificação para exemplo de aplicação .....	139
Figura 25 – Informação geral do modelo IFC.....	140

Figura 26 – Características do modelo IFC.....	141
Figura 27 – Importação do modelo IFC no Jupyter Notebook.....	142
Figura 28 – Extração dos tipos de elemento e quantidades.....	142
Figura 29 - Tipos de elemento e quantidades identificadas .....	143
Figura 30 – Extração dos materiais de cada elemento .....	146
Figura 31 – Lista de materiais e quantidades.....	147

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens na utilização do BIM.....	27
Quadro 2 - Elementos BPMN para IDM .....	36
Quadro 3 – Protocolo de busca BIM e Gerenciamento de RCC .....	46
Quadro 4 - Publicações sobre BIM e Gerenciamento de RCC de 2009 a 2019.....	51
Quadro 5 – Protocolo de busca BIM e Certificações Ambientais .....	58
Quadro 6 - Classificação dos RCC conforme Resolução CONAMA nº 307/02 .....	68
Quadro 7 – Classificação de RCC conforme LER.....	70
Quadro 8 - Categorias de avaliação da certificação LEED.....	73
Quadro 9 – Ranking mundial de regiões com maior área certificada pela LEED .....	75
Quadro 10 - Categorias de avaliação na certificação AQUA-HQE.....	77
Quadro 11 – Categorias BREEAM para Novas Construções.....	80
Quadro 12 – Categorias SBTTool <sup>PT</sup> para tipologia de Habitações .....	83
Quadro 13 - Classificação e níveis de desempenho da certificação LiderA.....	84
Quadro 14 – Lista de RCC para estimativa a partir do BIM.....	98
Quadro 15 – Lista de RCC e IGR's adotados para estimativa de resíduos.....	105
Quadro 16 – Detalhamento da atividade gestão dos RCC no BEP.....	109
Quadro 17 – Requisitos RCC escolhidos para análise.....	111
Quadro 18 – Indicadores RCC para compor o BIM-RCC Info Model .....	116
Quadro 19 - Especificação do processo e das trocas de informação BIM-RCC .....	124
Quadro 20 - Relação de entidades do IFC e partes funcionais.....	136
Quadro 21 – Exemplos de propriedades do IFC .....	137
Quadro 22 – Lista de elementos e quantidades .....	144
Quadro 23 - Lista de materiais e quantidades dos elementos.....	147
Quadro 24 – Levantamento de quantidades e estimativa de RCC – Parede, Cobertura e Laje.....	151
Quadro 25 - Levantamento de quantidades e estimativa de RCC – Porta e Janela.....	152
Quadro 26 - Levantamento de quantidades e estimativa de RCC – Guarda-Corpo.....	153
Quadro 27 – Análise dos indicadores RCC.....	154
Quadro 28 – Resumo de Paredes extraído do Revit.....	156
Quadro 29 – Lista de materiais e quantidades de Parede, extraídas do Revit e IFC .....	157
Quadro 30 – Estimativa de RCC no elemento Parede do Revit.....	159

## LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ACC – Análise de Custo do Ciclo de Vida

ACV – Análise do Ciclo de Vida

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

ANFIS – *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

API - *Application Programming Interface*

AQUA – Alta Qualidade Ambiental

AQUA-HQE - Alta Qualidade Ambiental, *Démarche Haute Qualité Environnementale*

BEP - BIM Execution Plan

BIM – *Building Information Modeling*

BPMN - *Business Process Modeling Notation*

BRE - *Building Research Establishment*

BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

BSA - *Building Sustainability Assessment*

CAD – *Computer Aided Design*

CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

CDW – *Construction and Demolition Waste*

CEN - *European Committee for Standardization*

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DSR - *Design Science Research*

EIR - *Employer Information Requirements*

ERM - *Exchange Requirements Model*

FEUP- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

FISPQ – Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos

GBA – *Green Building Assessments*

GBC - *Green Building Council*

GBI - *Green Building Index*

GG - *Green Globes*

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

IDE - *Integrated Development Environment*  
IDM - *Information Delivery Manual*  
IDS - *Information Delivery Specification*  
IFC - *Industry Foundation Classes*  
IGR- Índice de Geração Resíduos  
iiSBE - *International Initiative for a Sustainable Built Environment*  
INE- Instituto Nacional de Estatística de Portugal  
IPQ – Instituto Português de Qualidade  
ISO - *International Organization for Standardization*  
IST – Instituto Superior Técnico  
LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*  
LiderA – Liderar pelo Ambiente  
LOD – *Level of Development*  
LOIN - *Level of Information Needs*  
MVD - *Model View Definition*  
ONGs – Organizações Não Governamentais  
ONS - Organismo de Normalização Setorial  
ONU – Organização das Nações Unidas  
PEB - Plano de Execução BIM (PEB)  
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento  
PIB - Produto Interno Produto  
PNRS – Política Nacional dos Resíduos Sólidos  
QAE - Qualidade Ambiental do Edifício  
RCC – Resíduos da Construção Civil  
RCD – Resíduos de Construção e Demolição  
RSI - *Relative Significance Index*  
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos  
SBTool - *Sustainable Building Tool*  
SDM - *System Dynamic Model*  
SEIL - Secretaria de Infraestrutura e Logística do Paraná  
SGE – Sistema de Gestão do Empreendimento  
USGBC - *United States Green Building Council*  
UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
VAB – Valor Acrescentado Bruto

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
1.1	Objetivo geral	19
1.1.1	Objetivos específicos	19
1.2	Hipótese	19
1.3	Justificativas	20
1.3.1	Tecnológica e econômica	20
1.3.2	Ambiental	21
1.3.3	Política e social	23
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>25</b>
2.1	BIM	25
2.1.1	Normalização BIM e a interoperabilidade de sistemas	31
2.1.2	Abordagem IDM no IFC	35
2.1.3	Abordagem MVD no IFC	39
2.2	BIM sob a ótica da sustentabilidade na construção	41
2.2.1	Análise bibliométrica	45
2.2.2	BIM e gerenciamento dos RCC	46
2.2.3	BIM e certificações ambientais	57
2.2.4	Panorama da análise bibliométrica	65
2.3	Economia circular	65
2.4	Gestão dos RCC	67
2.5	Certificações ambientais	70
2.5.1	LEED	73
2.5.2	AQUA-HQE	76
2.5.3	BREEAM	79
2.5.4	SBTool <sup>PT</sup>	81
2.5.5	LiderA	83
2.5.6	Estudos de comparação de certificações ambientais	87
2.6	Discussão da revisão bibliográfica	89
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>93</b>

3.1	Delimitação do estudo .....	97
3.2	Aplicação do questionário profissionais AEC .....	101
3.3	Elaboração de indicadores para gestão dos RCC.....	103
3.4	Modelagem das informações no padrão IFC.....	107
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>111</b>
4.1	Questionário profissionais AEC .....	111
4.2	Indicadores para gestão dos RCC .....	115
4.3	Estrutura BIM-RCC Info Model.....	121
4.4	Exemplo de aplicação.....	139
4.5	Discussões.....	161
4.5.1	Estratégia de pesquisa.....	161
4.5.2	BIM-RCC Info Model .....	163
4.5.3	Aplicação do BIM-RCC Info Model.....	166
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>170</b>
<b>6.</b>	<b>PUBLICAÇÕES .....</b>	<b>175</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>176</b>
	<b>APÊNDICE A – Requisitos LEED BD+C: NC para Materiais e Recursos .....</b>	<b>197</b>
	<b>APÊNDICE B - Requisitos AQUA-HQE para Canteiro de Obras e Resíduos .....</b>	<b>204</b>
	<b>APÊNDICE C – Requisitos BREEAM para Resíduos em Novas Construções .....</b>	<b>209</b>
	<b>APÊNDICE D – Requisitos SBTool<sup>PT</sup> para Materiais e Resíduos Sólidos.....</b>	<b>210</b>
	<b>APÊNDICE E – Subcritérios de Resíduos da certificação LiderA 4.0.....</b>	<b>212</b>
	<b>APÊNDICE F – Questionário profissionais AEC .....</b>	<b>213</b>
	<b>APÊNDICE G – Resultado do questionário aos profissionais AEC.....</b>	<b>224</b>
	<b>APÊNDICE H – Relatório BIM-RCC Info Model .....</b>	<b>237</b>



## 1 INTRODUÇÃO

No ano de 2020, a cadeia produtiva da construção civil representou 5,9% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, sendo que as três principais atividades do setor correspondem à construção (55,6%); indústria de materiais (16,3%) e comércio de materiais (15,2%) (ABRAMAT, 2020). Em Portugal, no ano de 2019, o setor da construção civil representou 4,5% do Valor Acrescentado Bruto (VAB) total da economia do país (INE, 2020).

Apesar da representatividade na economia, a construção civil apresenta-se como uma grande geradora de Resíduos da Construção Civil (RCC), também chamados de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), do inglês *Construction and Demolition Waste* (CDW), sendo este termo mais utilizado em publicações internacionais. Os RCC apresentam potencial de degradação ambiental e de ocasionar problemas logísticos e prejuízos financeiros, principalmente quando os resíduos não recebem o gerenciamento adequado (NAGALLI, 2022).

Um dos desafios nos centros urbanos é gerenciar as obras de maneira a minimizar impactos ambientais relacionados aos RCC, que podem afetar direta ou indiretamente a saúde, segurança e bem-estar da população, interferindo nas atividades sociais e econômicas, na biota e na qualidade dos recursos ambientais. Um empreendimento quando é mal planejado pode apresentar problemas em diversas etapas da obra, desde atrasos no cronograma, impactos no orçamento e desperdício de materiais, o que pode resultar na geração excessiva de RCC (LU e YUAN, 2011; SCHAMNE e NAGALLI, 2018).

Neste contexto, o *Building Information Modeling* (BIM), termo traduzido como Sistema ou Modelagem da Informação da Construção, vem sendo explorado no gerenciamento das construções em todas as etapas do ciclo de vida da edificação, com potencial de contabilizar previamente os riscos e elaborar estratégias para a gestão dos resíduos, incorporando o conceito da economia circular (KRYGIEL e NIES, 2008; LU *et al.*, 2017b; SOUST-VERDAGUER *et al.*, 2017).

A economia circular implica em diminuir gradualmente a dependência da atividade econômica do consumo de recursos finitos e a eliminação dos resíduos, além de apoiar a reutilização e reaproveitamento dos materiais e modelos de construção mais sustentáveis (EMK, 2017). No entanto, para que o fecho do ciclo dos materiais e a transição para um modelo de economia circular seja satisfatório é

necessário o apoio de instrumentos de política que consagrem de forma integrada e em longo prazo, não apenas a minimização da produção das várias categorias de resíduos, mas também uma gestão adequada.

Por meio do BIM é possível gerenciar os materiais e acompanhar indicadores de RCC ao longo do projeto. Os dados relativos às estimativas de consumo de recursos e emissão de resíduos podem estar integrados ao modelo digital e o controle das informações sobre os impactos da edificação acessível a todos os colaboradores do projeto (BURT e PURVER, 2014).

Indicador é uma ferramenta composta por parâmetros de medição e variáveis que de forma isolada ou combinada são usados para avaliar determinada situação e obter informações que auxiliem na tomada de decisão (MITCHELL, 1996; SHIELDS; SOLAR; MARTIN, 2002; WAAS *et al.*, 2014). Indicadores de gestão de RCC podem ser encontrados nos métodos de certificação ambiental, que são considerados instrumentos para verificar a sustentabilidade das construções e que possuem uma lista de requisitos a serem cumpridos dentro de cada esfera de avaliação (LÜTZKENDORF e BALOUKTSI, 2017). Usualmente, cada requisito possui um conjunto de critérios que auxilia a parte interessada no atendimento do requisito e o responsável pela certificação na validação da medição. O resultado é contabilização dos indicadores e a representação do nível de sustentabilidade da construção.

Indicadores relacionados a resíduos estão presentes na maioria dos métodos de certificação ambiental e podem auxiliar na medição da gestão dos RCC. Os métodos de certificação ambiental vêm ganhando espaço no mercado das “construções verdes” e também são explorados no BIM, quando analisados sob o ponto de vista da dimensão da sustentabilidade.

Apesar das potencialidades do BIM, as verificações e simulações do modelo podem se tornar complexas se as informações não estão acessíveis ou se o *software* BIM utilizado não possui funcionalidades adequadas ou suficientes para manipulá-las (SILVA *et al.*, 2019). Além disso, a integração das informações necessárias para a gestão dos RCC exige certa interoperabilidade entre as ferramentas e a elaboração de indicadores que contribuam efetivamente para análise dos resíduos gerados ao longo do ciclo de vida da edificação (ANSAH *et al.* 2019; MÜLLER *et al.*, 2019).

Uma das formas de contornar possíveis limitações dos *softwares* BIM é a customização de soluções no próprio ambiente por meio de programação e também o desenvolvimento de ferramentas auxiliares, como artefatos com funcionalidades específicas, modelados para auxiliar no entendimento dos processos, compartilhamento, integração e análise das informações do modelo de construção.

Diante do crescimento das atividades da construção civil e dos impactos inerentes que a má gestão dos materiais pode vir a causar no ambiente, observa-se, cada vez mais, a necessidade de ferramentas que auxiliem na tomada de decisão sobre quais materiais devem ser utilizados na obra e de ferramentas que aprimorem o gerenciamento dos RCC, considerando práticas mais sustentáveis.

Neste trabalho é explorado o desenvolvimento de um artefato do tipo modelo conceitual para auxiliar no gerenciamento dos RCC durante o ciclo de vida da construção. O método utilizado para conduzir a pesquisa é o *Design Science Research* (DSR), abordagem construtiva voltada para o desenvolvimento de artefatos vinculados a um tema específico, como um meio de prescrever uma solução para um problema de cunho prático (DRESCH *et al.*, 2015).

O modelo conceitual foi desenhado dentro do padrão *Industry Foundation Classes* (IFC), em que as informações são disponibilizadas em formato aberto, de modo mais flexível e interoperável entre sistemas, fomentando o conceito *openBIM* que representa uma visão geral de todos os processos envolvidos na construção, em que a colaboração e o compartilhamento de informações entre diferentes especialistas são realizados de forma contínua ao longo do ciclo do empreendimento.

Para complementar o estudo foram criados indicadores de RCC, com base em requisitos de sustentabilidade previstos em cinco métodos de certificação ambiental, são eles: *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), Alta Qualidade Ambiental - *Démarche Haute Qualité Environnementale* (AQUA-HQE), *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), *Sustainable Building Tool* (SBTool) para Portugal e Liderar pelo Ambiente (LiderA).

A partir dos resultados do trabalho, busca-se responder à seguinte questão de pesquisa:

*“Como o desenvolvimento de um modelo de informações no padrão IFC pode contribuir na análise de indicadores de RCC baseados em métodos de certificação ambiental e para o gerenciamento dos RCC em ambiente BIM?”*

## 1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver um modelo conceitual para análise de indicadores de resíduos no BIM por meio do IFC, que auxilie no gerenciamento dos RCC.

### 1.1.1 Objetivos específicos

Alinhado ao objetivo geral do trabalho de criar um modelo conceitual de informações para gestão dos RCC, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Comparar os requisitos de sustentabilidade relacionados aos RCC das certificações ambientais LEED, AQUA-HQE, BREEAM, SBTTool<sup>PT</sup> e LiderA;
- Propor indicadores para gestão dos RCC, com base nos requisitos de sustentabilidade das certificações ambientais, que possam ser obtidos com auxílio do BIM;
- Mapear o processo e as trocas de informação requeridas para gestão dos RCC, utilizando o padrão IFC;
- Analisar a interoperabilidade dos dados na estrutura de integração proposta em BIM.

## 1.2 Hipótese

Por meio de soluções customizadas, como o modelo conceitual proposto neste trabalho, é possível gerenciar os dados extraídos do modelo da construção em um formato aberto, como o IFC, e envolver as partes interessadas no compartilhamento e na análise das informações para promoção do gerenciamento de RCC em diferentes etapas do ciclo de vida da construção.

### 1.3 Justificativas

#### 1.3.1 Tecnológica e econômica

Diante do crescimento da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) e dos investimentos para digitalização do setor, o BIM surgiu com o propósito de inovar a gestão da construção e fomentar práticas mais sustentáveis na construção civil. A criação e utilização de modelos paramétricos no BIM possibilita que simulações sejam realizadas antes da etapa de construção nos canteiros de obra. O projeto de construção é gerado rapidamente por meio do detalhamento do modelo do edifício em 3D na biblioteca de componentes e a estimativa de resíduos pode ser computada mais facilmente (LU *et al.*, 2017b).

Se por um lado o avanço da utilização do BIM vem contribuindo para elaboração de projetos mais completos e com maior nível de informações, por outro a complexidade das simulações envolvidas e o compartilhamento de informações exigem soluções além do modelo, que contribuam para gestão de tais informações. Ademais, algumas interfaces de *softwares* BIM são limitadas, dotadas de funcionalidades restritas ou pouco flexíveis, o que dificulta o atendimento de demandas específicas dos projetistas e a interoperabilidade entre sistemas (AISH e MARSH, 2011; FERREIRA, 2016).

Para suprir esta demanda, pesquisas vêm sendo realizadas na área de desenvolvimento de artefatos como extensões programáveis em *softwares* BIM, *plug-ins*, criação de bancos de dados, mapeamento de processos, modelagem de dados em padrão aberto como o IFC, entre outros. A criação de novas funcionalidades abre portas para interações e refinamento dos modelos, em que a troca de informação é valorizada, pois resultam em um ambiente mais ágil, colaborativo e confiável.

Neste contexto há destaque para o *openBIM*, que estende os benefícios do BIM baseado em padrões e processos de livre utilização, com melhora na comunicação e o compartilhamento das informações entre todos os participantes do projeto, facilitando a interoperabilidade e as atividades ao longo do ciclo de vida da construção (BUILDING SMART, 2021).

Na gestão dos RCC, os fluxos de trabalho digitais integrados tornam as informações sobre materiais e resíduos acessíveis aos participantes em tempo hábil

para apoiar a tomada de decisão em várias fases do projeto, desde o início até a entrega, a reforma e até a demolição, seja na estimativa de quantidades, cálculos e análises ambientais, escolha de métodos de reciclagem, reaproveitamento até a destinação final. O BIM auxilia na sincronização das fases da obra, o que facilita o gerenciamento de conflitos e permite identificar com mais segurança oportunidades de melhoria e economia de materiais. Estima-se que o uso do BIM pode reduzir em até 30% os custos operacionais e de construção, reduzir até 50% o tempo de implementação do projeto e minimizar até 40% dos erros de projeto (ABAKUMOV e NAUMOV, 2018).

Por fim, para empresas que visam implementar o *BIM Execution Plan* (BEP), traduzido como Plano de Execução BIM (PEB), que corresponde a um documento de referência sobre como o BIM deve ser implementado nas empresas, os artefatos para análise de informações são de suma importância. A modelagem das informações nos processos contribui para o detalhamento das atividades que vão compor o BEP como a estruturação do modelo; definição da infraestrutura tecnológica; metas para BIM; estratégias de entrega; previsão de recursos, planejamento, cronograma; procedimentos de colaboração da equipe, responsáveis envolvidos e os principais protocolos de troca de informações que facilitem procedimentos internos ou externos para uma gestão eficaz e entrega de qualidade (MANZIONE, 2013; HOLZER, 2016; MANENTI, 2018; MANENTI *et al.*, 2020).

### 1.3.2 Ambiental

A necessidade de minimizar a produção de resíduos e de assegurar uma gestão mais sustentável tornou-se uma questão de cidadania (PORTUGAL, 2011). Tanto no Brasil como em Portugal, os compromissos assumidos para redução do volume de geração de resíduos sólidos visam não apenas o cumprimento de metas impostas pela legislação ambiental, mas principalmente à preservação dos recursos naturais e à promoção de ambientes mais saudáveis para a população.

No âmbito das construções, estratégias vêm sendo implementadas com o propósito de minimizar o avanço dos impactos das atividades humanas no ambiente, desde o aprimoramento de políticas públicas, até o desenvolvimento tecnológico de ferramentas para gerir os recursos de forma mais sustentável.

As atividades da construção civil respondem por uma parcela considerável da degradação do ambiente, tanto pela necessidade de recursos naturais para fabricação de seus insumos, quanto pela geração de RCC (SCHAMNE e NAGALLI, 2018). Estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados sejam provenientes da construção civil (NAGALLI, 2022), sendo que, aproximadamente, 51% dos RCC gerados são resultantes de atividades de construção, 44% são resultantes de demolições e 5% de reabilitações e reformas (COELHO e BRITO, 2011; COSTA, 2014). Parte dos RCC resulta de perdas de materiais nos canteiros de obras ainda durante a fase da construção e outras perdas podem ocorrer nas fases de reforma e demolição, em que há eliminação de diversos componentes (LU e YUAN, 2011; ADJEI, 2016; SCHAMNE e NAGALLI, 2018).

Segundo dados do último Panorama de Resíduos Sólidos do Brasil, divulgado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), cerca de 47 milhões de toneladas de RCC foram coletados pelos municípios brasileiros em 2020, que correspondem aos resíduos de obras de responsabilidade dos municípios e o lançado em logradouros públicos. Especificamente na região Sul, o total de RCC coletados foi de 6.369.615 toneladas, equivalente a 0,6 quilogramas de RCC coletado por habitante por dia (ABRELPE, 2022).

Assim como no Brasil, o desenvolvimento da indústria AEC representa um indicador chave no crescimento e prosperidade nos países da Europa, bem como nos impactos associados às atividades da construção civil como a geração de RCC. Estima-se que 820 milhões de toneladas de RCC por ano são gerados pelo setor da construção civil europeu (GÁLVEZ- MARTOS *et al.*, 2018), sendo uma parte significativa proveniente de operações de demolição e renovação de edifícios existentes (MATEUS e BRAGANÇA 2011). Em Portugal, o total de resíduos sólidos gerados pelos setores empresariais em 2018 foi de 10,6 milhões de toneladas de resíduos, sendo 17% deles com origem na construção civil (INE, 2019).

Diante da geração significativa de RCC nos países, é fundamental prever de forma precisa a quantidade de RCC para melhorar as práticas atuais de gerenciamento dos resíduos, porque um fenômeno não pode ser melhorado se não puder ser medido (AKINADE e OYEDELE, 2019) A partir da estimativa das perdas e dos desperdícios nas atividades da construção civil, o projetista consegue visualizar e explorar possíveis medidas corretivas, de forma a aumentar a eficiência da

construção, além de habilitar os empreiteiros na identificação dos processos críticos que causam a geração de resíduos e no planejamento de estratégias de controle (MIARA, 2020).

Sob o ponto de vista dos RCC, Brasil e Portugal elencam nos seus métodos de certificação ambiental requisitos relacionados à gestão dos RCC e apresentam em suas políticas públicas metas para redução na geração de resíduos e valorização dos RCC, com vistas a promover a redução da utilização dos recursos naturais, redução da emissão de gases de efeito estufa, minimização dos impactos no ambiente e promover os princípios da economia circular.

Portanto, a utilização de ferramentas integradas ao BIM em benefício do gerenciamento dos RCC como o modelo conceitual proposto neste trabalho também pode auxiliar no cumprimento da legislação ambiental e no cumprimento de indicadores de sustentabilidade. Com a melhoria na gestão dos materiais, há menos impactos ambientais, menos geração de RCC e menos recursos explorados, o que ainda favorece a inserção do conceito da economia circular.

### 1.3.3 Política e social

Com o avanço da normatização e da criação de comitês técnicos orientadores para implantação do BIM, este trabalho vai contribuir diretamente para disseminação do BIM e para a digitalização do setor da construção civil tanto no Brasil como em Portugal.

O Brasil iniciou a regulamentação das tratativas de incentivo ao BIM por meio do Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019, em que foi instituída a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM com a finalidade de promover um ambiente adequado ao investimento em BIM e sua difusão no País (BRASIL, 2019). Em 02 de abril de 2020 entrou em vigor o Decreto nº 10.306 que estabelece a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia, realizada por órgãos e entidades da administração pública federal, com implementação em etapas, a partir de 2021 até 2028, incluindo licitações, planejamento e o controle da execução de obras, entre outros aspectos (BRASIL, 2020).

Em Portugal, o processo de normalização está no início, e conta com apoio do Instituto Português de Qualidade (IPQ) e a representação de um grupo de



trabalho no *European Committee for Standardization* (CEN), Comissão de Normalização Europeia para o desenvolvimento da norma BIM europeia, garantindo as diretrizes futuras para desenvolvimento de um documento no âmbito nacional (VENÂNCIO, 2015). A Comissão Técnica 197, coordenada pelo Organismo de Normalização Setorial (ONS) do Instituto Superior Técnico (IST), é quem irá desenvolver a normalização no âmbito dos sistemas de classificação, modelação da informação e processos ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos de construção e acompanhar os desenvolvimentos no país, em conjunto com CEN/TC 442 que trabalha para a normalização BIM na Europa (PTPC, 2020).

Assim, o modelo conceitual proposto nesta pesquisa vai contribuir para o fomento do BIM no setor da construção civil em ambos os países e contribuir para uma gestão mais sustentável das obras e dos RCC, trazendo benefícios do ponto de vista econômico, social e ambiental, de modo a aprimorar os modelos de gestão na construção e a evolução pela qual a indústria AEC está passando.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 BIM

BIM é uma inovação digital na indústria AEC, caracterizado por um conjunto de tecnologias, processos e políticas que de forma integrada contribuem para melhor representação dos projetos e para otimização da construção (SUCCAR, 2009). Segundo definição prevista na norma ISO 19.650-1 Parte 1, BIM faz uso de uma representação digital e compartilhada de um ativo construído para facilitar o projeto, construção e processos de operação para formar uma base confiável para tomada de decisões. Exemplos de ativos construídos incluem edifícios, pontes, estradas, plantas de processo (ISO, 2018).

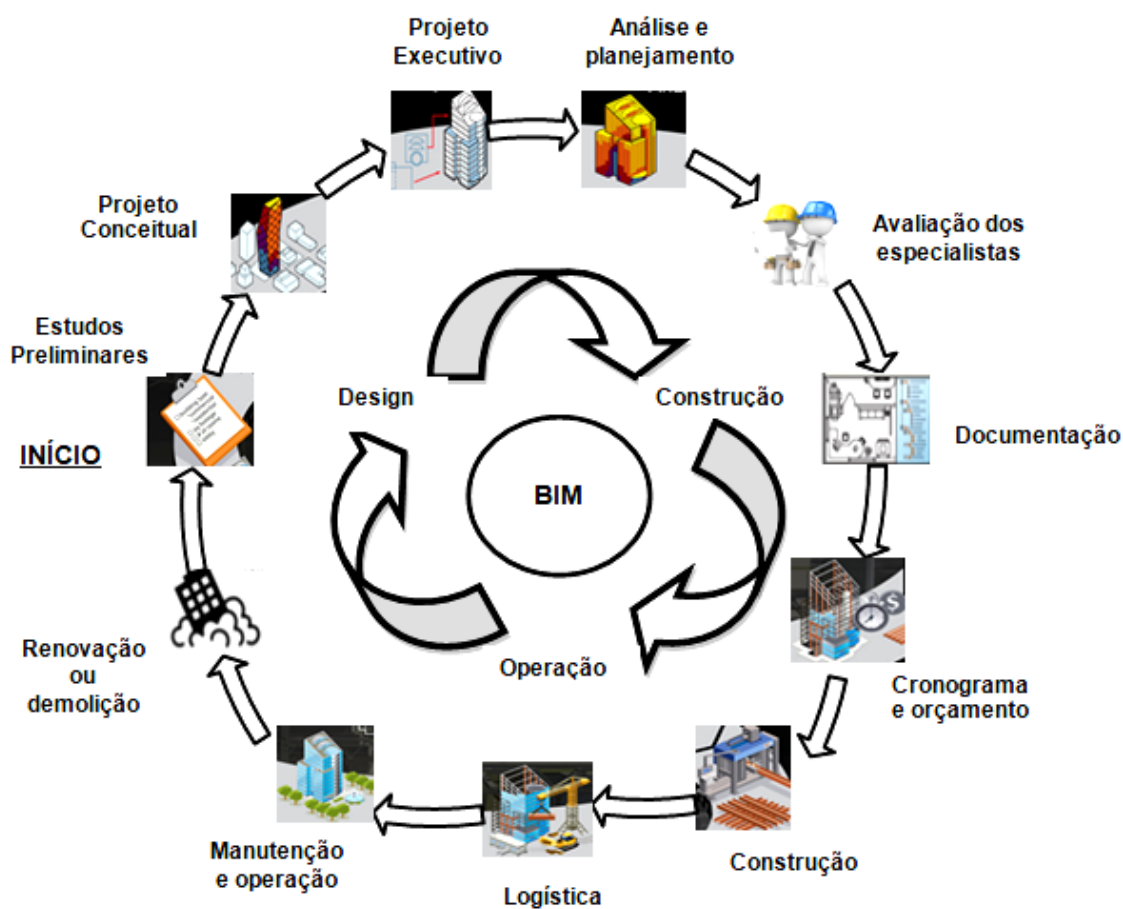
BIM é empregado de forma colaborativa e multidisciplinar, possibilitando a integração de diferentes tecnologias e operabilidade simultânea. A modelagem dos projetos 3D (modelo do objeto) com auxílio de BIM resulta em melhora nos processos, incorporando informações ao plano de gestão, que podem ser acessadas durante o ciclo de vida do empreendimento (EASTMAN *et al.*, 2014). A informação do modelo é apresentada como um protótipo digital da instalação, em que cada um dos elementos é definido por relações lógicas. Este processo é considerado uma inovação na gestão da construção civil, pois no arranjo virtual cooperativo que reúne profissionais de diversas disciplinas, o conhecimento de cada profissional é agregado e integrado em uma única fonte de dados, que é o modelo paramétrico da edificação (EASTMAN *et al.*, 2014; SANHUDO *et al.*, 2016).

A modelagem paramétrica permite a criação de modelos flexíveis e adaptáveis que facilitam a combinação com outras ferramentas de análise, otimização e automação. A partir da integração de ferramentas de simulação com análises computacionais, acompanhadas de melhorias técnicas, a equipe de projeto consegue analisar critérios de desempenho de forma simultânea e avaliar as soluções propostas, ainda na fase preliminar do projeto (SANHUDO *et al.*, 2016). Esta mudança de paradigma na gestão das construções impacta toda cadeia produtiva e menos recursos materiais e humanos são necessários para acompanhar os projetos, operando-se com mais eficiência (EASTMAN *et al.*, 2014; ABAKUMOV e NAUMOV, 2018).

No BIM, o nível de informação do modelo pode ir além do 3D, com informações de cronograma, custos, gestão das instalações, sustentabilidade e até segurança da edificação. Define-se esta capacidade multidimensional do BIM como modelagem 'nD', pois permite adicionar um número infinito de dimensões ao modelo de construção (EASTMAN *et al.*, 2014; SMITH, 2014). Na dimensão da sustentabilidade, por exemplo, estão incluídos estudos de eficiência energética, análise do ciclo de vida e de desempenho ambiental das edificações, o que permite verificar o nível de compatibilidade do projeto em BIM para atendimento de certificações ambientais (ANSAH *et al.* 2019; MÜLLER *et al.*, 2019).

Na Figura 1 estão representados os principais estágios de aplicação do BIM, destacando-se as fases de projeto conceitual e executivo em que é possível realizar análises mais acuradas da viabilidade econômica, urbanística, ambiental e social, no curto, médio e longo prazo (MANZIONE, 2013; EASTMAN *et al.*, 2014).

**Figura 1 - Estágios de aplicação do BIM no empreendimento**



Fonte: Adaptado de Dizpenza (2010).

O ciclo de vida do empreendimento passa por mudanças em seus processos, desde a concepção, elaboração e detalhamento dos projetos, até fases de planejamento, orçamento e execução da obra, considerando manutenção, operação e, por fim a vida útil da edificação (HAMIDI *et al.*, 2014; ABAKUMOV e NAUMOV, 2018). Portanto, além de auxiliar na análise do ciclo de vida da construção, o BIM permite simular cenários para avaliação e previsão de impactos e interferências que o empreendimento pode causar no ambiente. Por meio da modelagem é possível analisar a estrutura do projeto, avaliar o desempenho térmico e termodinâmico, estudar a eficiência energética e a ventilação natural, verificar os níveis de emissão de CO<sub>2</sub>, realizar estudos luminotécnicos e avaliar a insolação e o sombreamento, dentre outros.

Na Figura 1 verifica-se que o ciclo de aplicação do BIM apoia-se em três pilares ou fases principais, que são a base para concepção de qualquer empreendimento e envolvem a participação de toda cadeia produtiva da construção civil: *Design* ou Projeto; Construção e Operação.

Alinhados aos estágios de aplicação do BIM, no Quadro 1 estão apresentadas algumas vantagens da utilização do BIM encontradas na literatura.

**Quadro 1 - Vantagens na utilização do BIM**

<b>Vantagens do BIM</b>	<b>Autores</b>
Permite consolidar toda a informação já disponível à organização com novos conhecimentos agregados.	Manziona (2013); Burt e Purver (2014); Abakumov e Naumov (2018); Ozturk (2020).
Reduz tempo de projeto, auxilia no cronograma de investimentos, e otimiza a distribuição dos recursos conforme etapa da obra. Há melhor gestão de materiais, reduzindo o desperdício no canteiro de obras.	Azevedo (2009); Burt e Purver (2014); Won e Cheng (2017); Abakumov e Naumov (2018); Soeiro (2011); Cheng e Ma (2013); Park <i>et al.</i> (2014); Hamidi <i>et al.</i> (2014); Ahankoob <i>et al.</i> (2012); Liu <i>et al.</i> (2011)
Auxilia no escopo do projeto, da força de trabalho, maquinário e dos materiais que serão necessários. Automatiza as rotinas de operação, permitindo mais foco na criatividade.	Burt e Purver (2014); Abakumov e Naumov (2018).
O modelo conceitual 3D contribui para o <i>marketing</i> e melhora a comunicação com os clientes, promovendo descrições variadas das soluções de projeto, de forma detalhada e embasada em argumentos consistentes.	Manziona (2013); Burt e Purver (2014); Won e Cheng (2017); Abakumov e Naumov (2018).
Minimiza possíveis erros de projeto e de estimativa de custos de construção devido à melhora na coordenação das etapas de projeto.	Azevedo (2009); Burt e Purver (2014); Won e Cheng (2017); Abakumov e Naumov (2018); Liu <i>et al.</i> (2011); Ozturk (2020).
Melhora o desempenho dos colaboradores e destaca a empresa devido a esse diferencial de excelência e competência profissional pelos colaboradores trabalharem com BIM.	Burt e Purver (2014); Abakumov e Naumov (2018); Manziona (2013).
Melhora na qualidade e otimização de tempo na	Manziona (2013); Burt e Purver (2014);

preparação dos documentos e compartilhamento destas informações, com a colaboração de todos.	Abakumov e Naumov (2018).
Suporte para trabalho cooperativo com informações e estrutura disponível no próprio BIM, o que permite atualizações automáticas em todas as partes do projeto.	Manziona (2013); Burt e Purver (2014); ); Müller <i>et al.</i> (2017); Abakumov e Naumov (2018).
Discussão de soluções para projeto em qualquer estágio com auxílio de ferramentas de <i>feedback</i> de alguns <i>softwares</i> .	Burt e Purver (2014); Abakumov e Naumov (2018).
Criação de modelos simplificados, resultados parciais, sem necessidade de fazer grandes alterações no modelo original.	Burt e Purver (2014); Abakumov e Naumov (2018).
O modelo de informação torna-se uma fonte para aquisição e troca de dados, agendamento, gerenciamento de projetos, com outros sistemas de uma empresa.	Manziona (2013); Burt e Purver (2014); ); Müller <i>et al.</i> (2017); Abakumov e Naumov (2018); Ozturk (2020).

Fonte: Autor (2019).

A partir das informações apresentadas na Figura 1 e no Quadro 1, verifica-se a amplitude da usabilidade da modelagem de construção, no monitoramento de desempenho e sustentabilidade, nas opções de tomada de decisão e oportunidades de análises, como também nas simulações e no projeto, o que revela a complexidade do BIM e ao mesmo tempo a variedade de informações e benefícios que pode oferecer aos usuários (LIU *et al.*, 2011).

Os projetos em BIM podem ser caracterizados pelo Nível de Desenvolvimento, *Level of Development* (LOD), que é uma referência proposta pelo *American Institute of Architects* (AIA) que permite aos profissionais da indústria AEC especificar e articular com maior clareza, o conteúdo e a confiabilidade dos modelos BIM em vários estágios do projeto e da construção (BIM FORUM, 2014).

A partir do LOD são definidos requisitos mínimos em nível dimensional, espacial, quantitativo e qualitativo que o elemento deve conter antes de ser modelado. Entre os documentos de referência criados pelo AIA para auxiliar no detalhamento do LOD está o AIA G202™–2013 *Building Information Modeling and Digital Data Protocol Exhibit*, que tem objetivo de documentar os protocolos e procedimentos que vão fazer parte do desenvolvimento, transmissão, uso e troca de modelos de informações de construção em um projeto. Neste documento estão previstos os requisitos para o conteúdo do modelo em cinco níveis de desenvolvimento e os usos autorizados do conteúdo do modelo em cada nível de desenvolvimento. O G202 define até que ponto os usuários podem confiar no conteúdo do modelo, esclarece a propriedade do modelo e estabelece padrões de modelagem de informações de construção e formatos de arquivo (AIA, 2013b).

A partir da geometria LOD é possível prever a visualização do modelo e o detalhamento dos materiais e propriedades dos componentes. Por meio do LOD, é possível verificar em que grau a geometria dos elementos e as informações se encontram, permitindo aos usuários definir o que é confiável ou limitante no modelo (AIA, 2013a; BIM FORUM, 2014).

Entre os níveis de desenvolvimento, no LOD 300, por exemplo, o elemento é representado graficamente no modelo como um sistema específico, objeto ou montagem em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação. Informações não gráficas também podem ser anexadas ao elemento do modelo. Já no LOD 350, além das características presentes no LOD 300, há também orientação e interfaces com outros edifícios (BIM FORUM, 2014).

Recentemente o conceito de LOD evoluiu para Nível de Informação Necessária, *Level of Information Need* (LOIN), a partir da ISO 19650-1. O conceito denota uma mudança de perspectiva, em que o foco não é somente nas características do objeto, mas sim nas informações que o objeto deve conter para atender as necessidades do projetista em determinada fase do projeto (IS, 2018<sup>a</sup>).

Diversos são os *softwares* que auxiliam na implantação do BIM como, por exemplo, *ArchiCAD*, *Blender*, *Naviswork*, *Teckla*, *Infracore* e o *Autodesk Revit Architecture*, mais conhecido como Revit®. O Revit® auxilia na criação de modelos paramétricos e fornece ferramentas para engenharia de elementos arquitetônicos, utilitários, estruturas de edifícios (KASSEM e AMORIM, 2015) e possui uma ampla gama de recursos, permitindo unificar o trabalho dos especialistas que participam em diferentes etapas do ciclo de vida do projeto (ABAKUMOV e NAUMOV, 2018).

Para Wu (2010) e Nguyen *et al.* (2016), entre os benefícios da utilização do Revit® como ferramenta de solução BIM destacam-se:

- O Revit® suporta outros aplicativos complementares da *Autodesk*;
- Está disponível gratuitamente para uso acadêmico;
- É certificado pela *Industry Foundation Classes* (IFC) e oferece suporte à importação/exportação da IFC e a extração flexível de dados e interoperabilidade de sistemas;
- Possui interface de programação, *Application Programming Interface* (API), para desenvolvimento de extensões;
- As informações do modelo são armazenadas em um único banco de dados coordenado. Revisões e alterações nas informações são atualizadas

automaticamente em todo o modelo, o que reduz significativamente erros e omissões;

- Calcula quantidades detalhadas de material o que auxilia na estimativa de custos e;
- Auxilia na extração de dados e no gerenciamento de projetos sustentáveis desde os primeiros estágios. Esta ferramenta exporta informações de construção, incluindo materiais e volumes, para a linguagem de marcação extensível de construção verde (gbXML).

O Revit® possui uma biblioteca incorporada de elementos de construção classificados em três níveis: categorias, famílias e tipos. As categorias (*categories*) formam o primeiro nível e são o grupo geral de elementos definido pelo programa como colunas, vigas, portas, telhados, paredes, janelas, etc. No segundo nível estão as famílias (*families*), subgrupos que constituem os elementos, por exemplo, paredes de concreto, paredes de tijolo e piso de madeira, etc. Por sua vez, cada família pode apresentar diversos tipos (*types*), propriedades mais definidas dos elementos, a exemplo dimensões, tipo de vidraça, porta dupla 200mm, porta dupla 300mm, etc. Por fim, apresenta-se a localização (*instance*), que representa uma orientação de onde cada elemento está no projeto (JALAEI e JRADE, 2015; ANSAH *et al.*, 2019).

Os elementos no BIM são definidos por dados geométricos e analíticos, os primeiros são usados para definir a forma do elemento e as restrições espaciais, já os dados analíticos são usados para configurar a representação visual do elemento e as especificações do modelo para troca ou extração de dados (SANHUDO, 2016).

No campo “parâmetros” dos objetos no Revit® é possível inserir dados adicionais às propriedades dos materiais na forma de textos, números inteiros ou cálculos para personalizar as informações disponíveis e auxiliar na avaliação dos critérios (JALAEI e JRADE, 2015; AUTODESK, 2020). Além destes, outros parâmetros extensíveis podem ser criados e atribuídos a elementos do Revit® usando linguagens de programação na API do Revit® para automatizar processos (NGUYEN *et al.*, 2016). O termo “extensão” pode referir-se a novos sistemas de *software* que adicionam funcionalidade às ferramentas habilitadas para BIM por meio de aplicativos externos que dependem de recursos como API (OTI *et al.*, 2016).

As APIs são úteis para a execução de *plug-ins* e programas externos além de trazer benefícios para a modelagem 'nD', porém este recurso ainda precisa ser totalmente explorado na expansão do escopo do BIM. Os *plug-ins* permitem a incorporação de simulações de desempenho dentro do ambiente BIM, facilitam a resolução de problemas usando técnicas de otimização e são capazes de automatizar os procedimentos (SANHUDO, 2016). A maior parte das interfaces desenvolvidas na API são para facilitar trocas automatizadas de dados entre ferramentas, bancos de dados e plataforma BIM (OTI *et al.*, 2016).

### 2.1.1 Normalização BIM e a interoperabilidade de sistemas

O BIM oferece aos profissionais da indústria AEC a capacidade de planejar, projetar e gerenciar projetos de construção com mais eficiência. Devido a sua popularidade foi observada a necessidade de se criar uma estrutura internacional que facilitasse o trabalho da indústria em conjunto por meio de projetos e que permitisse adaptar-se à realidade nacional (ISO, 2019).

A principal diretriz para aplicação do BIM é a série de normas criadas pela *International Organization for Standardization* (ISO) que compõe a ISO 19.650. É um padrão internacional para o gerenciamento de informações ao longo de todo ciclo de vida da construção por meio do BIM. A série de normas apresenta conceitos, princípios, requisitos, recomendações e estabelece a participação dos *stakeholders* na organização das informações de uma forma colaborativa ao longo das fases da construção com uso do BIM (ISO, 2018<sub>a</sub>, 2018<sub>b</sub>, 2018<sub>c</sub>).

Um dos conceitos importantes na aplicação do BIM está relacionado à troca de informações entre sistemas, conhecido como interoperabilidade. Segundo a ISO/IEC 33001: 2015 *Information technology - Process assessment - Concepts and terminology*, a interoperabilidade é definida como a habilidade de dois ou mais sistemas ou componentes de trocar informações e utilizar estas informações trocadas no próprio sistema. Para Kensek e Noble (2014) a interoperabilidade trata da capacidade de trocar dados entre aplicativos, o que "suaviza" os fluxos de trabalho e, por vezes, facilita sua automação. Já para Ozturk (2020), a interoperabilidade trata da capacidade de diversos sistemas de *softwares* e *hardwares* operarem em conjunto, com o mínimo possível de perdas de dados ou problemas de integração que possam dificultar a modelagem dos projetos no BIM.



Um dos desafios na implementação do BIM é a superação de problemas relacionados à interoperabilidade que podem impactar no compartilhamento de dados, no acesso à informação, causar ineficiência na integração, falta de colaboração e barreiras de comunicação ao longo do ciclo de vida do projeto (CHEN, 2006). As razões que fomentam esta problemática estão relacionadas com a dificuldade na transferência de dados entre programas, tanto pela vasta quantidade e variedade de informação presente no projeto, como pela configuração dos *softwares* que auxiliam neste processo, além do desinteresse por parte das empresas em partilhar códigos e ferramentas desenvolvidos e utilizados em seus próprios projetos (CHEN, 2006; PINHO, 2013; EASTMAN *et al.*, 2014).

Apesar da padronização da informação ainda ser um desafio a nível técnico e organizacional, algumas estratégias podem ajudar a contornar os problemas com interoperabilidade como, por exemplo, a utilização de *softwares* que lêem diretamente as informações contidas em outro aplicativo de *software* BIM; utilização de *software* BIM que oferece API, para facilitar o desenvolvimento da interface entre *softwares* de diferentes fornecedores ou uso de *software* BIM que facilita os padrões de troca de dados com aceitação em todo o setor (WU, 2010; OZTURK, 2020).

A interoperabilidade permite os aplicativos compartilhar, reunir, processar os dados por meio de um conjunto comum de formatos de troca, arquivos e protocolos, conhecido como *Industry Foundation Classes* (IFC), criado pela *buildingSMART International*, entidade internacional responsável por publicar padrões, tecnologias, informações de apoio e documentação relacionadas ao BIM (BUILDING SMART, 2021).

O IFC é um formato universal, *openBIM*, usado na interoperabilidade dos dados no BIM, em que são especificados um esquema de dados e uma estrutura de formato de arquivo de troca. O esquema de dados definido permite a colaboração entre as várias figuras envolvidas no processo de construção, permitindo intercâmbio de informações por meio do formato padrão. Isto implica em maior qualidade, redução de erros, redução de custos e economia de tempo, com dados e informações coerentes em todas as fases do ciclo de vida da edificação (PINHO, 2013; OZTURK, 2020).

A troca de informações ocorre basicamente com a extração de dados do modelo BIM e atribuição de parâmetros IFC presentes no conversor, os dados convertidos são guardados em um formato neutro, na sequência a base de dados do

receptor capta estes dados em IFC e volta a convertê-los de modo a se tornarem interpretáveis pelo modelo receptor. As definições que auxiliam a implantação do IFC encontram-se na ISO 16.739-1: 2018, que inclui definições de dados necessários para edifícios ao longo do ciclo de vida e instruções para aplicação (ISO, 2018).

O IFC permite capturar não somente a geometria, mas também outras propriedades associadas aos objetos e suas relações dentro do modelo em BIM, o que facilita a troca de informações. A versão mais recente do IFC é a versão 4.0 (inicialmente conhecida como IFC 2x4), de 2013, e que passou por alguns adendos, sendo o último deles em 2016. O IFC 4.0 trouxe novas formas de documentação, suporte para novas plataformas de construção, estruturas e serviços (BUILDING SMART, 2021).

O modelo IFC faz a diferenciação entre atributos e propriedades. Os atributos estão diretamente ligados ao objeto pela definição de um valor na seção de atributos de uma entidade e as propriedades são definidas individualmente formando-se depois um grupo de características. Este grupo será atribuído a um determinado objeto, por meio de uma relação entre entidades. O esquema IFC faz a transição destas propriedades em conjuntos com nomes pré-definidos que identificam e agrupam as propriedades de um determinado tipo (PINHO, 2013).

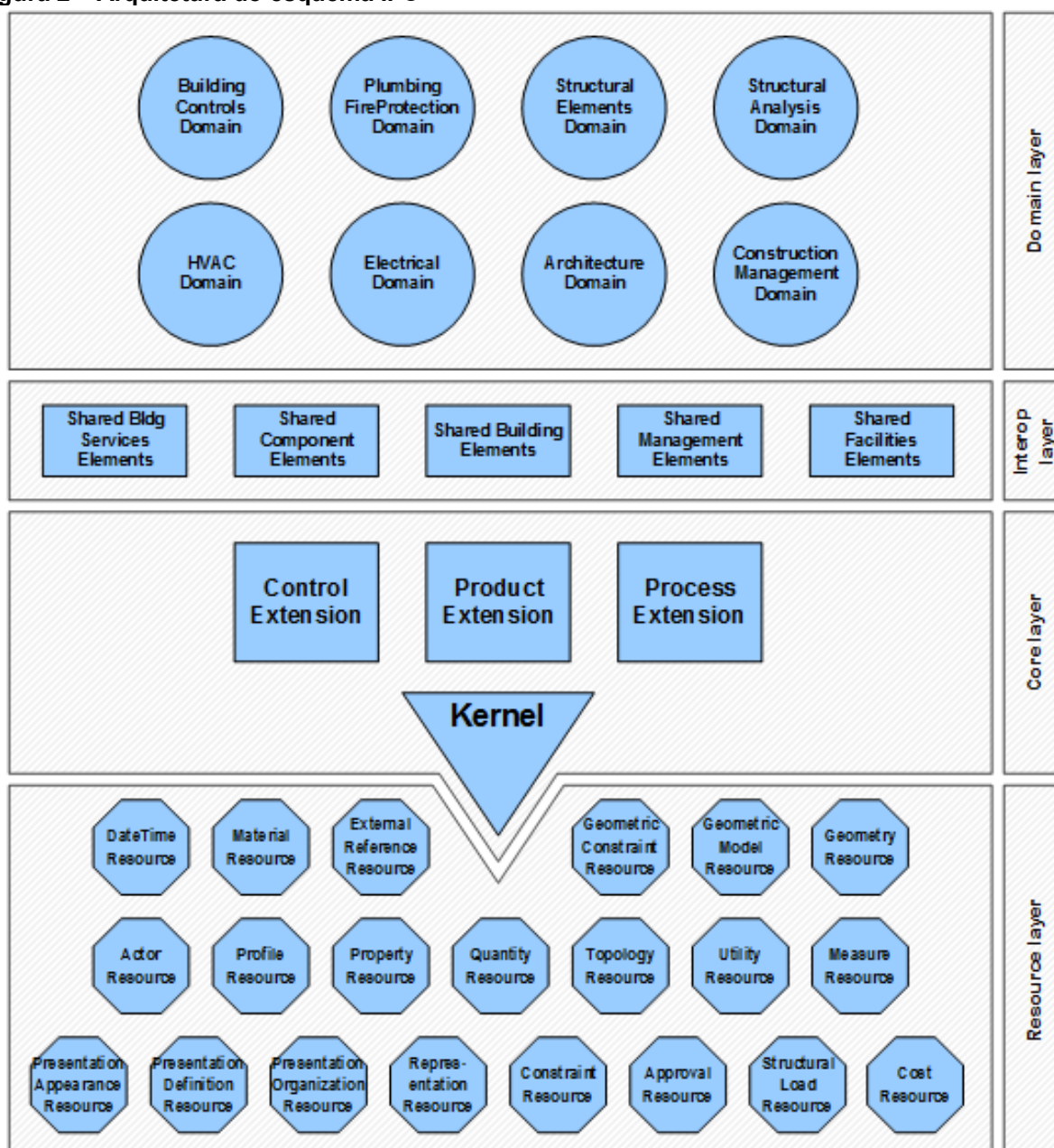
A constituição do esquema IFC (Figura 2) é feita por camadas (subesquemas). As camadas de Recurso (*Resource*) e de Núcleo (*Core*) dispõem de entidades que possibilitam a definição de modelos especificados com Elementos Partilhados (*Shared Elements*) na camada de Interoperabilidade (*Interoperability layer*) e na camada de Domínio (*Domain layer*) (PINHO, 2013; BUILDING SMART, 2021).

Na camada de Domínio estão especificados no âmbito do IFC grupos de especialidade da indústria AEC como arquitetura, mecânica, elétrica e hidráulica, engenharia estrutural, energia, entre outros. Na camada de Interoperabilidade são definidos os elementos compartilhados relacionados aos múltiplos módulos da camada de Domínio anterior e que auxiliam na interoperabilidade entre os sistemas e aplicação dos modelos (PINHO, 2013; SANTOS, 2019).

O Núcleo (*Core*) é a camada mais geral dentro de um esquema IFC, comporta a estrutura básica de sustentação do modelo IFC, bem como relações fundamentais e conceitos comuns para especialização em modelos específicos. O

núcleo é composto pelo *IfcKernel* parte central do esquema, que captura a construção em geral e especifica os atributos e relações básicas, como a localização de produtos, a sequência de processos e o agrupamento geral de mecanismos, *IfcProduct*, *IfcProcess*, *IfcControl*, respectivamente, sendo que as Extensões de Núcleo (*Core Extensions*) correspondem a especializações (subclasses) das classes *IfcKernel*. Por exemplo, as subclasses *IfcElement* e *IfcSpatialStructureElement* são extensões de núcleo do *IfcProduct* (PINHO, 2013; SANTOS, 2019; BUILDING SMART, 2021).

Figura 2 – Arquitetura do esquema IFC



Fonte: BuildingSMART (2021).

A camada de Recurso fornece o esquema de recursos usados por classes em outras camadas. Nesta camada são definidas as entidades genéricas que permitem a formulação de um conjunto de dados e informações que possibilitam a construção de modelos, sendo referenciadas pelas entidades raiz de um determinado modelo. Os recursos podem ser caracterizados como sendo um conjunto de entidades que completam todas as outras classes (EASTMAN *et al.* 2014).

A estrutura hierarquizada de entidades supertipo e entidades subtipo é feita de forma indentada numa árvore hierárquica de relações. Quando um modelo num dado *software* é traduzido para o modelo IFC usando a relação entre categorias de objetos e entidades respectivas, o modelo em questão é decomposto em tipos de objetos de geometria, relações e propriedades (*IfcObjectDefinition*, *IfcRelationship* e *IfcPropertyDefinition*) que são dados identificáveis genericamente, para que dessa forma possa ser transposto do formato inicial para o formato IFC. Além destes tipos de objetos a especificação IFC inclui também processos para a representação de atividades usadas na construção de edifícios, na análise geométrica, e análise de dados introduzidos e resultados (PINHO, 2013; EASTMAN *et al.* 2014; SANTOS, 2019).

### 2.1.2 Abordagem IDM no IFC

Os padrões definidos pela *buildingSMART* cobrem uma ampla gama de recursos de processos e informações exclusivos para a indústria AEC, entre eles encontra-se o *Information Delivery Manual* (IDM), manual de entrega de informações, uma metodologia para definir e documentar processos de negócios e requisitos de dados e que surgiu como uma especificação na norma ISO 12006-3 para normalização do IFC (BUILDING SMART, 2021).




O IDM é uma referência para integração de dados e processos requeridos no BIM durante a construção do edifício e que auxilia os *stakeholders* na compreensão dos processos e das informações geradas ao longo do projeto em diferentes campos no setor da construção. Segundo Pinho (2013) e Santos (2019), os objetivos do IDM são:




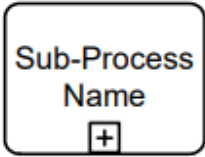
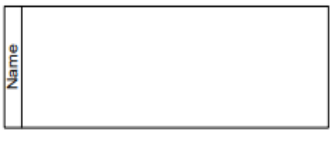


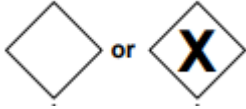

- Mapear os processos dentro do ciclo de vida do projeto AEC com a identificação dos requisitos de troca, compartilhamento e formato dos dados que auxiliam na caracterização do modelo;
- Especificar os recursos IFC necessários para dar suporte a estes processos;
- Analisar o fluxo de trabalho e identificar as partes funcionais com os atores envolvidos nas atividades, bem como qual tipo de informação é gerado e como estas informações podem impactar outras aplicações;
- Garantir que as definições, especificações e descrições sejam adequadas e facilmente compreendidas pelos *stakeholders*.



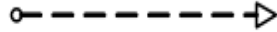
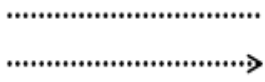


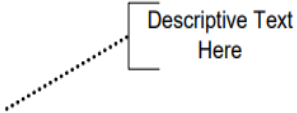
No escopo do IDM, portanto, está incluído o mapeamento do processo; requisitos de troca; partes funcionais e regras de negócio. Na elaboração do escopo deve ser identificada se alguma ferramenta de *software* já oferece suporte ao processo. Se a interoperabilidade IFC for necessária, então o grupo de trabalho deve determinar se o modelo IFC suporta os requisitos de troca ou extensões são necessárias (SANTOS, 2019).

O mapa de processo corresponde a uma representação visual do fluxo lógico e sequencial das atividades e das trocas de informações identificadas no escopo do IDM. A *buildingSMART* recomenda que para a elaboração do mapa de processo seja adotada a *Business Process Modeling Notation* (BPMN), uma notação padrão e intuitiva utilizada no gerenciamento de processos de negócios. Os elementos mais comuns para elaboração do IDM são apresentados no Quadro 2.

**Quadro 2 - Elementos BPMN para IDM**

Elementos	Simbologia	Definição	
Evento		Início do processo	Ocorrem ao longo do curso do processo e afetam o fluxo de informações no modelo, geralmente com uma causa (gatilho) ou um impacto (resultado). São representados por círculos vazados para permitir sinalização interna.
		Intermediário: eventos ao longo do fluxo do processo, após o início e antes do fim.	
		Fim do processo	

Atividade		Representa uma tarefa que é executada durante o processo	
Tarefa de envio		É representada por um retângulo de canto arredondado e inclui um marcador de envelope preenchido. Esses tipos de atividades têm, no máximo, uma única entrada.	
Tarefa de recebimento		É representada por um retângulo de canto arredondado e inclui um marcador de envelope não preenchido. Esses tipos de atividades indicam que, assim que uma mensagem for recebida por um participante, a tarefa indicada terá início.	
Subprocesso		Os detalhes do subprocesso não são visíveis no diagrama. Um sinal de “mais” no centro inferior da forma indica que a atividade é um subprocesso e possui um nível inferior de detalhes.	
<i>Pool</i>		Representa um participante ou função em um processo. Pode conter ou não processos detalhados dentro dele. Também chamado de “raia”.	
Faixa		A pista é uma subparte dentro da <i>Pool</i> com a mesma extensão, na vertical ou horizontal. São usadas para organizar, categorizar e estruturar as tarefas e atividades a serem realizadas, como nos processos na estrutura IDM.	
Conector fora da página		Geralmente usado para impressão. Mostra a sequência do fluxo que sai de uma página e continua na próxima.	
Ícones de tipo de controle/decisão ( <i>gateways</i> )		Exclusivo: usado para indicar que fluxos alternativos são possíveis dentro de um processo.	Usados para controlar a sequência do fluxo no processo. Os marcadores internos indicam se uma ramificação ou uma mescla de caminhos.
		Inclusivo: usado para criar caminhos alternativos, mas também paralelos, dentro de um fluxo de Processo. Ao contrário do exclusivo, todas as expressões são avaliadas.	
		Paralelo: afeta o fluxo de entrada e saída e pode ser usada para criar e sincronizar fluxos paralelos. É usado para criar caminhos paralelos ou	

		mesclar todos os fluxos de entrada antes de acionar o próximo processo.	
Fluxo de sequência		Usado para mostrar a ordem em que as atividades serão realizadas em um processo.	
Fluxo de mensagem		Usado para mostrar o fluxo de mensagens entre dois participantes (ou funções na estrutura IDM).	
Associação		Para associar informações e artefatos específicos (por exemplo, objetos de dados) com outros elementos do BPMN. A ponta da seta indica a direção do fluxo.	
Objetos		Os dados de objeto podem representar um objeto singular ou uma coleção de objetos. Fornecem informações sobre o que é necessário para realizar uma atividade ou o que elas irão produzir. Na estrutura do IDM, os objetos de dados podem ser requisitos de troca.	
Mensagem		Informação trocada entre dois participantes	
Anotações de texto		Usadas para fornecer informações adicionais sobre uma tarefa ou processo.	

Fonte: Adaptado de Santos (2019) e OMG (2011).

Ao final, o mapa do processo deve contribuir para definição do limite para a extensão das informações contidas no processo; detalhamento as atividades dentro do processo e sua sequência lógica; identificação dos requisitos de troca que suportam as atividades e para determinação dos processos de referência (PINHO, 2013; SANTOS, 2019).

Os requisitos de troca representam as informações trocadas entre processos e participantes em uma etapa do projeto. Deve conter detalhes suficientes, em linguagem acessível, sem termos técnicos, para que o leitor do IDM e os desenvolvedores de *software* possam entender as informações trocadas. A identificação das informações trocadas em cada requisito de troca contribui para o desenvolvimento das partes funcionais como componentes técnicos do mapa de processo, bem como para a definição das regras de negócio. As partes funcionais são projetadas para ser utilizada em diferentes requisitos de troca e também podem ser divididos em outras partes funcionais. Já as regras de negócio têm por objetivo adaptar uma necessidade de negócios para um propósito específico, com flexibilidade suficiente para o esquema de informações do IDM (SANTOS, 2019).

O estágio final do IDM é o desenvolvimento do modelo de requisitos de troca, *Exchange Requirements Model* (ERM) que corresponde a uma representação diagramática dos requisitos de troca (pacotes de dados a serem trocados), as relações entre eles e regras de negócios que restringem alguns conceitos na perspectiva do usuário final. Após a conclusão do ERM, o IDM está completo e a definição da visualização do modelo, *Model View Definition* (MVD), pode ser iniciada para ser implementada no *software* BIM (PINHO, 2013).

### 2.1.3 Abordagem MVD no IFC

As informações geradas no IDM são traduzidas em um esquema de dados apropriado por uma estrutura de troca de informações, resultando no *Model View Definition* (MVD) que corresponde a um conjunto de informações do modelo de informação necessário para atender determinado tipo de aplicativo de *software*, que oferece suporte a um ou mais fluxos de trabalho da indústria AEC. Nos fluxos de trabalho são identificados os requisitos de trocas de dados para os aplicativos de *softwares*, onde, por sua vez, é verificada se a visualização do modelo está em conformidade com o processo definido (PINHO, 2013; SANTOS, 2019).

Segundo a *buildingSMART* (2021), o MVD é uma seleção de entidades do esquema IFC geral para descrever e facilitar um caso de uso ou fluxo de trabalho específico da indústria AEC. No MVD é documentado um subconjunto da especificação do modelo IFC que é necessário para as trocas de informações definidas em um ou mais IDMs relacionados (SANTOS, 2019). A maioria dos MVD está sendo implementado por fornecedores de *software* para testar a certificação do próprio *software* (BUILDING SMART, 2021). Os resultados da certificação são documentados usando o formato de definição de requisitos independente do IFC, que é compartilhado com os requisitos de troca de IDM. Os resultados da certificação indicam se este aplicativo de *software* pode ser usado ou não com sucesso em um determinado cenário (SANGUINETTI *et al.*, 2012; MALTESE *et al.*, 2017; SANTOS, 2019).

Os componentes principais do MVD incluem (BUILDING SMART, 2021):

- Visão geral e descrição do escopo do MVD, incluindo o IDM a que é endereçado;



- Um conjunto de modelos de conceito que definem acordos adicionais sobre como usar o esquema IFC;
- Um conjunto de requisitos de troca, ou seja, seleção de entidades e propriedades do esquema IFC que são consideradas adequadas para o caso de uso;
- Uma descrição de como o *software* deve lidar com os dados trocados, o que pode e não pode ser trocado entre os aplicativos de envio e recebimento, informações úteis sobre as capacidades e limitações da troca de dados com base no IFC.

Na sequência ao IDM/MVD, o novo padrão da *buildingSMART* para gerenciar melhor as trocas de informações no BIM é o *Information Delivery Specification* (IDS) que corresponde a uma especificação de entrega de informações legíveis por máquina e por humanos. No documento deve estar definido como as entregas e trocas dos objetos no modelo BIM devem ocorrer, bem como as classificações, as propriedades e até mesmo valores e unidades de medida. Com o IDS é possível especificar quais dados devem ser incluídos no modelo BIM e validar se de fato são entregues, o que corresponde a uma combinação do IFC com extensões de domínio e classificações e propriedades adicionais. A adoção do padrão IDS na definição do LOIN, possibilita ter serviços e *softwares* que visam gerenciar a criação, o aprimoramento e a validação das informações previstas na especificação dos requisitos de troca e no BEP (BUILDING SMART, 2021).

Trabalhos em que a estrutura IDM/MVD foi explorada na melhoria de processos na construção civil têm demonstrado resultados significativos na identificação das trocas de informação por meio do IFC e fomento do conceito *openBIM* entre os *stakeholders*.

Lee *et al.* (2016) propuseram uma abordagem para desenvolver um IDM/MVD baseado em ontologia que pode fornecer um método para formalizar o conhecimento do domínio e integrar os processos de IDM e MVD usando princípios ontológicos. Ilham (2014) propôs uma estrutura baseada em IFC integrada ao modelo BIM, com um banco de dados de materiais verdes, que contribui para o cálculo automático de requisitos da certificação BREEAM. As trocas de informação identificadas contribuíram para extração de dados e criação de novas propriedades nos elementos para atender os créditos da certificação.

Sanguinetti *et al.* (2012) propuseram uma arquitetura de sistema para otimizar análises múltiplas de espaço, consumo de energia e custo a partir do modelo de construção. Os autores utilizaram o IDM/MVD para identificar os processos necessários para automatizar o modelo e analisar a interoperabilidade dos dados. Santos (2019), por sua vez, explorou a integração de uma ferramenta de apoio integrada ao BIM para análises de ACV e ACC. O autor utilizou a estrutura IDM/MVD para mapear os processos e informações necessários para ACV no BIM e transformou estas informações em um modelo para cálculo automático dos parâmetros de medição da ACV integrado ao BIM.

Xu *et al.* (2020) discutiram as vantagens de gerenciar os requisitos de troca em um banco de dados colaborativo entre os participantes do projeto, a fim de facilitar a elaboração do IDM para dar suporte ao modelo de construção pré-fabricada. Já Yokoyama (2016) explorou como as empresas do setor privado no Japão poderiam ampliar sua participação do mercado de reciclagem de RCC, a partir do compartilhamento de dados do BIM. No estudo uma configuração inicial IDM para o processo de reciclagem foi desenhada, com as trocas de informação necessárias para atender requisitos de documentos exigidos pela legislação japonesa com relação à reciclagem.

## **2.2 BIM sob a ótica da sustentabilidade na construção**

Na pesquisa da McGraw Hill Construction (2014), verificou-se que o BIM é cada vez mais utilizado para apoiar metas de sustentabilidade na construção civil. Ferramentas de análise e simulação auxiliam na projeção de soluções, e os gestores das obras podem aproveitar os modelos criados para melhorar a qualidade das construções e reduzir o impacto ambiental. Uma das áreas emergentes do BIM é a otimização do gerenciamento das instalações, com práticas para aprimorar o desempenho das construções. No Brasil, 57% dos gestores utilizam o BIM na construção para avaliar desempenho e gerenciar as instalações, o que demonstra elevado engajamento quando comparado com a média de 44% encontrada em outras regiões no mundo (MCGRAW HILL CONSTRUCTION, 2014).

Na Europa, a implementação do BIM em nível nacional não existe em alguns países, enquanto em outros países da União Europeia o BIM já é aplicado por mais de uma década. Esta diferença temporal pode dificultar projetos e colaborações transfronteiriças, o que revela a importância dos países da União Europeia, que se

encontram mais avançados com o BIM, compartilhem suas práticas e integrem a participação de outros países para que o BIM possa ser disseminado por toda Europa (CHAREF *et al.*, 2019).

Um dos desafios para utilização do BIM com a sustentabilidade está associado à inclusão de parâmetros e definições na fase inicial do processo de modelagem. Além da dificuldade técnica de mapeamento de objetos, dados e regras de definições holísticas de sustentabilidade para o BIM (MANZIONE, 2013).

Olawumi *et al.* (2018) aplicaram o questionário *Delphi* para investigar as barreiras enfrentadas pelos *stakeholders* na integração do BIM com práticas de sustentabilidade nos processos construtivos. As principais barreiras identificadas foram resistência do setor à mudança de práticas tradicionais de trabalho; um longo período de adaptação a tecnologias inovadoras e a falta de compreensão dos processos e fluxos de trabalho necessários para BIM e sustentabilidade. Por outro lado, os benefícios desta integração identificados por Olawumi e Chan (2018) mostram a capacidade de melhorar a qualidade e eficiência geral do projeto, melhorar a capacidade para simular o desempenho da construção e o uso de energia e facilitar a utilização de produtos melhores ou alternativos durante a execução do projeto.

Oti *et al.* (2016) analisaram a aplicação da API em extensões do modelo em BIM e criaram um aplicativo com objetivo de investigar como o BIM pode influenciar nas decisões por projetos estruturais mais sustentáveis na construção civil, baseado em informações da Análise dos Custos do Ciclo de Vida (ACC), pegada de Carbono e pegada ecológica. O protótipo criado no Revit® gerou informações suficientes para auxiliar na tomada de decisão de melhores soluções estruturais do ponto de vista econômico e sustentável, além de auxiliar na ponderação para cumprimento de créditos ambientais do BREEAM. Aproximadamente 26% dos créditos do BREEAM poderiam ser cumpridos com informações do modelo.

Wong e Kuan (2014) criaram parâmetros extensíveis nos objetos de construção para facilitar a classificação em “reutilizados ou renováveis” e avaliar critérios de sustentabilidade. A partir da API é possível recuperar informações do modelo e alimentar ferramentas de avaliação de desempenho ou criar novos parâmetros, como indicadores de sustentabilidade, e armazená-los como parâmetros de projeto para determinação de um nível de sustentabilidade na construção.

Silva *et al.* (2019) propuseram um *plug-in* para Revit® para estimar o índice de redução sonora de paredes de vedação conforme características dos sistemas construtivos e outro *plug-in* voltado para a estimativa da iluminação interna nos ambientes de edificações, a partir da captura de informações climáticas. Os *plug-ins* foram criados com o *Dynamo Studio*®, que é uma extensão para criação de rotinas de programação, e com o *Dyno Browser* que facilita a criação de interfaces. O emprego da programação permitiu avaliar como os requisitos poderiam ser automatizados, a fim de transformá-los em subsídios para futuras tomadas de decisões no projeto.

No contexto da sustentabilidade dos edifícios, o BIM também vem sendo utilizado na ACV, para analisar impactos de materiais, produtos ou processos ao longo do ciclo de vida do edifício. A partir do modelo, é possível mensurar impactos como potencial de aquecimento global; potencial de geração de ozônio fotoquímico; eutrofização; potencial de depleção do ozônio e acidificação dos produtos desde a aquisição da matéria-prima até a produção, uso e descarte, ou seja, do berço ao túmulo (ABNT, 2009a; 2009b). A utilização do BIM integrado a ferramentas de ACV pode auxiliar os projetistas na seleção de componentes e materiais que causem menos impactos e melhorem o desempenho ambiental da edificação (MATEUS, 2009).

Santos (2019) verificou que o BIM pode atenuar o tempo consumido na coleta de dados de entrada no modelo ACV e ACC, além de ser utilizado na extração automática de quantidades e conexão com bancos de dados externos. No entanto, uma abordagem ainda pouco explorada é a incorporação de informações sustentáveis nos modelos BIM para promover simulações automáticas e melhorar o intercâmbio de informações. A partir disto, o autor propôs uma ferramenta de integração entre BIM e ACV/ACC em que é possível adicionar informações ambientais e econômicas aos objetos do BIM para realização de uma análise de sustentabilidade precisa do projeto.

Gomes *et al.* (2019) demonstraram como a modelagem em LOD 300 está alinhada com o nível de precisão atualmente praticada na ACV e que os modelos BIM podem ser preparados para facilitar a ACV, incorporando parâmetros e cálculos ambientais diretamente no modelo para extrair impactos calculados em vez de quantidades puras de material. A exemplo, no trabalho de Lee *et al.* (2015) os impactos ambientais dos principais elementos da construção foram calculados e

armazenados em uma biblioteca de objetos integrada ao BIM. Assim, os projetistas poderiam avaliar os possíveis impactos da escolha dos materiais ao longo do projeto.

Basbagill *et al.* (2013) criaram uma estrutura para auxiliar os projetistas, ainda na fase de projeto, a selecionar materiais mais sustentáveis para as obras e verificar como o impacto da escolha destes materiais é incorporado aos demais elementos da obra. Na estrutura, o BIM foi integrado a ACV e a um *software* de análise energética. Ao final, um banco de dados foi gerado com a lista dos materiais, cálculo dos respectivos impactos e o quanto contribuem para o impacto total do edifício. A estrutura vai auxiliar na composição de um banco de seleção de materiais para futuros projetos.

Kucukvar *et al.* (2016) propuseram um modelo multicritério para selecionar o melhor método de gerenciamento de RCC para um edifício que já recebeu a certificação LEED. Com base em dados de resíduos previamente coletados para cumprimento dos requisitos da certificação LEED e da ACV, os autores quantificaram os impactos ambientais de se utilizar reciclagem, aterro convencional ou incineração, para o gerenciamento dos resíduos. Os resultados sugerem que 100% da reciclagem de metais ferrosos e não ferrosos, papelão, plástico e vidro podem maximizar a economia do ponto de vista ambiental e econômico.

Por fim, uma revisão sistemática da literatura realizada por Müller *et al.* (2019) verificou como o BIM pode auxiliar na relação entre sustentabilidade, interoperabilidade e estágios do ciclo de vida. Critérios da certificação LEED foram usados como referência de práticas de sustentabilidade e os resultados apontaram que poucos estudos consideram a interoperabilidade em todo ciclo de vida da edificação e que há, ainda, por explorar, conexões relevantes entre estágios do ciclo de vida e campos de pesquisa sobre sustentabilidade.

Na sequência deste capítulo foi realizada uma análise bibliométrica, do período de 2009 a 2019, com o objetivo de verificar o avanço das publicações sobre a aplicação do BIM no gerenciamento dos RCC e nos métodos de certificação ambiental. Posteriormente são apresentados aspectos conceituais e técnicos pertinentes ao trabalho, como economia circular, gestão de RCC, certificações ambientais, a fim de complementar a fundamentação teórica referente ao objeto de estudo.

### 2.2.1 Análise bibliométrica

Segundo Yoshida (2010), a identificação das tecnologias emergentes e a tomada de decisão em relação aos investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) podem ser baseadas em um estudo exploratório de pesquisa bibliográfica. A produção científica, resultado da pesquisa bibliográfica, reveste-se da maior importância no conjunto das atividades acadêmicas e de investigação sendo um instrumento pelo qual a comunidade científica mostra os resultados, a pertinência e a relevância da investigação (LOPES *et al.*, 2012).

A bibliometria, ou análise bibliométrica, consiste, basicamente, na contagem de publicações científicas e acadêmicas sobre determinado tema, ou seja, ela indica a quantidade de publicações contendo os termos rastreados e em qual nível de atividade se encontra a pesquisa sobre o tema de interesse (YOSHIDA, 2010). A elaboração da bibliometria para o segmento de construção civil pressupõe uma abordagem multidisciplinar, exigindo trabalho metodológico minucioso e transparente que permita produzir um conjunto coerente e representativo da produção científica nesta área (SOARES *et al.*, 2016).

No presente trabalho, a plataforma de pesquisa escolhida para realizar a análise bibliométrica foi a *Scopus*. Dois temas relacionados diretamente ao objetivo da pesquisa foram explorados, sendo que o primeiro abrange as publicações que tratam da aplicação do BIM no gerenciamento dos RCC, e o segundo sobre aplicação do BIM nos métodos de certificação ambiental. Na análise da bibliometria também foi utilizado o *software VOSviewer*, que consiste em uma ferramenta de mapeamento bibliométrico, para identificar os *clusters* relacionados à coautoria, coocorrência de palavras-chave e cocitações.

Nesta análise foram adotados termos em inglês com as respectivas abreviaturas, a fim de expandir o universo de busca. Para os termos que possuem variação na escrita como no BIM, foram realizadas buscas utilizando todas as possibilidades, a fim de não restringir os resultados. Também foram definidos critérios de inclusão e exclusão de trabalhos, sendo que o período de busca escolhido para análise foi de 2009 até 2019.

Ressalta-se que as publicações aqui citadas se referem somente ao universo do protocolo de pesquisa adotado e representam uma amostra dos estudos que vêm sendo desenvolvidos na área. Referências complementares foram

encontradas em outras bases e no Google Acadêmico, que vêm se destacando como ferramenta de busca entre os pesquisadores.

## 2.2.2 BIM e gerenciamento dos RCC

O Protocolo 1, representado no Quadro 3, combinou termos definidos para BIM e Gerenciamento de RCC. Entre os termos para gerenciamento de RCC foram incluídos “*construction waste*” e “*demolition waste*”, pois estes termos podem aparecer em outros relacionados à construção civil, como “*construction waste management*”, “*civil construction waste*” e “*construction and demolition waste*”.

**Quadro 3 – Protocolo de busca BIM e Gerenciamento de RCC**

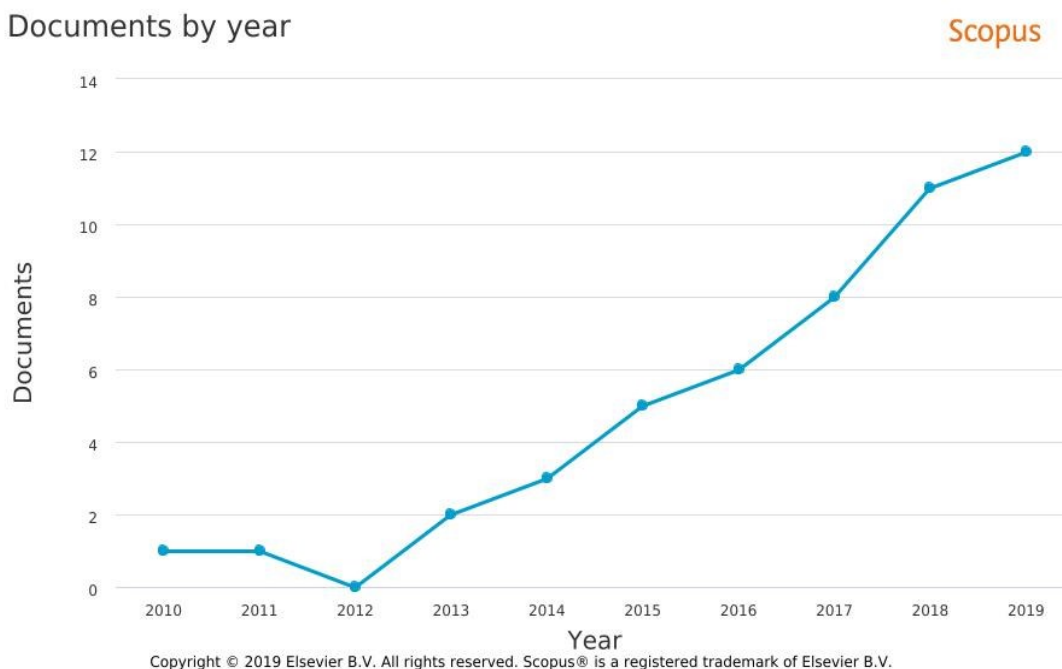
<b>PROTOCOLO 1 - BIM e GERENCIAMENTO DE RCC</b>	
<b>Objetivo:</b>	Identificar, avaliar e interpretar como o BIM vem sendo utilizado no gerenciamento dos RCC.
<b>Questões de pesquisa:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Qual o estado da arte dos métodos de aplicação do BIM no gerenciamento dos resíduos no canteiro de obras?</li> <li>2) Que ferramentas foram desenvolvidas?</li> <li>3) Qual <i>software</i> BIM foi utilizado?</li> <li>4) De que forma os resultados foram exportados?</li> </ol>
<b>ESTRATÉGIA DE BUSCA ADOTADA</b>	
<b>Plataforma de pesquisa:</b>	<i>Scopus</i>
<b>Idioma:</b>	Inglês e português
<b>Termos de busca:</b>	“BIM” OR “ <i>Building Information Model</i> ” OR “ <i>Building Information Modelling</i> ” OR “ <i>Building Information Modeling</i> ” AND “ <i>construction waste</i> ” OR “CDW” OR “ <i>demolition waste</i> ” OR “ <i>construction solid waste</i> ”
<b>Critério de inclusão:</b>	Trabalhos publicados entre 2009 a 2019. Artigos, periódicos, trabalhos publicados em congressos. Termos de busca devem aparecer no título, resumo ou palavra-chave.
<b>Critério de exclusão:</b>	Trabalhos não relacionados à indústria AEC. Trabalhos não relacionados aos resíduos de construção civil. Trabalhos não disponíveis eletronicamente. Trabalhos duplicados.
<b>Estratégia para extração da informação</b>	Na tabulação serão considerados dados bibliográficos, ano de publicação, campo de estudo, palavras-chave. Os estudos selecionados para leitura analítica integral vão compor parte do referencial teórico da tese.
<b>Sumarização dos resultados</b>	Tabelas e gráficos no <i>VOS Viewer</i> .

Fonte: Autor (2019).

A bibliometria apresentou 49 resultados para a primeira combinação de buscas entre BIM e gerenciamento de RCC. As principais análises dos resultados são disponibilizadas na própria plataforma *Scopus* e apresentam informações sobre

número de publicações ao longo dos anos (Figura 3), os principais autores (Figura 4) e os locais em que as publicações sobre o tema são predominantes (Figura 5).

**Figura 3 - Número de publicações sobre BIM e Gerenciamento de RCC de 2009 a 2019**

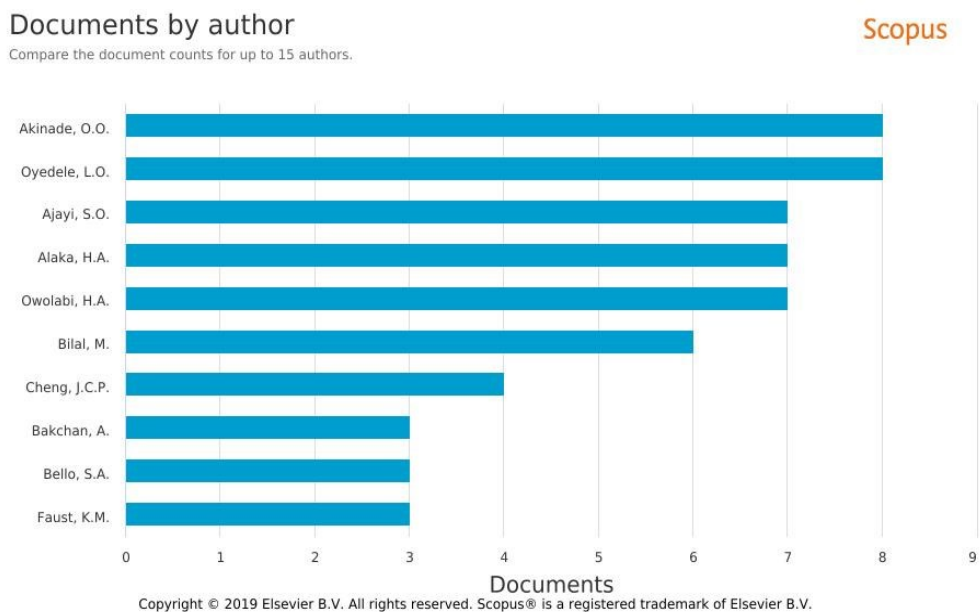


Fonte: Scopus (2019).

Observa-se na Figura 3 que no período de dez anos avaliado, as publicações relacionadas à aplicação do BIM no gerenciamento de RCC iniciaram somente em 2010 e tiveram crescimento significativo a partir de 2015, com mais de cinco publicações ao ano. Os autores que mais publicaram ao longo do período analisado foram *O. O. Akinade* e *L. O. Oyedele*, com oito publicações, seguido por *S. O. Ajayi*, *H. A. Alaka* e *H. A. Owolabi*, com sete publicações e *M. Bilal* com seis publicações (Figura 4).



**Figura 4 - Principais autores sobre BIM e Gerenciamento de RCC de 2009 a 2019**

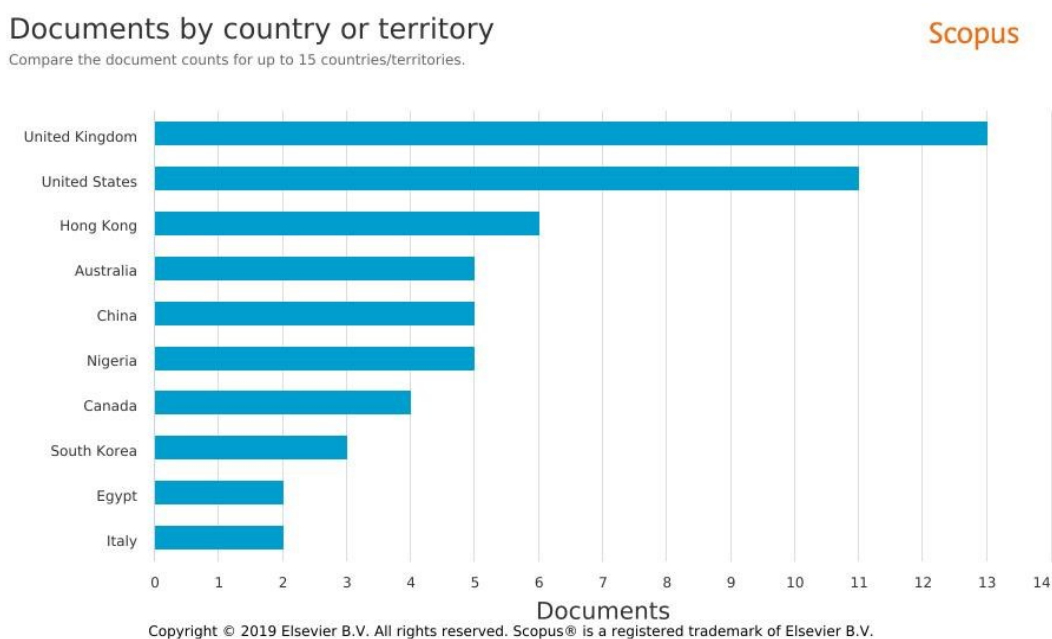


Fonte: Scopus (2019).

Ao analisar a origem das publicações, verifica-se na Figura 5 que a maior parte delas é proveniente do Reino Unido, dos Estados Unidos e de Hong Kong.

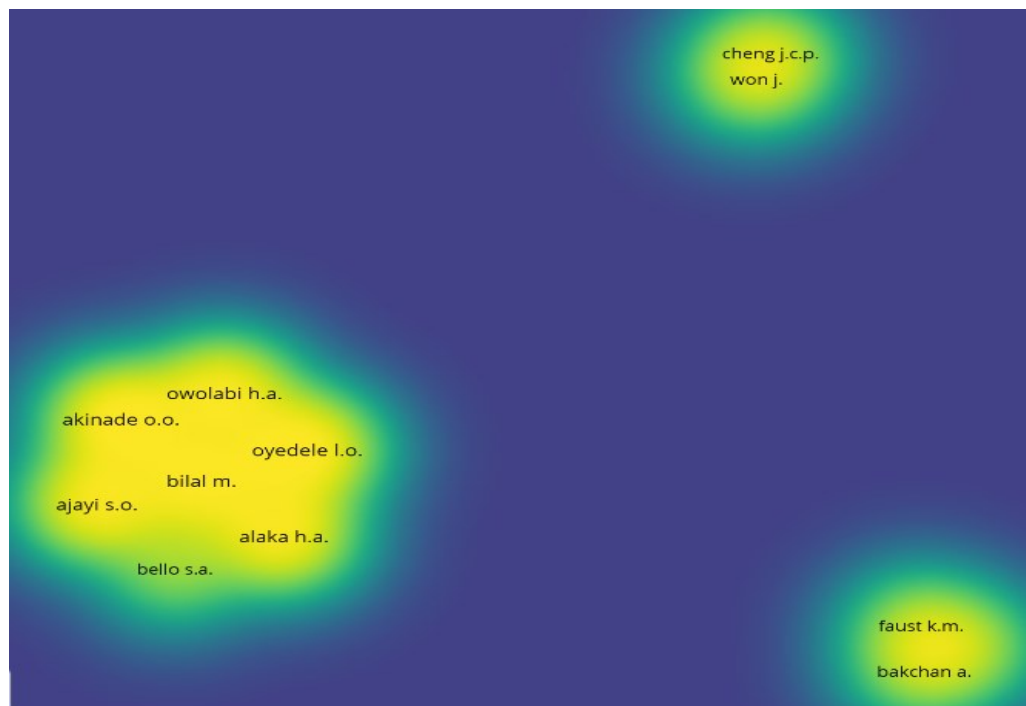
Na sequência, foram analisados os mapas gerados no *software VOS Viewer*. Inicialmente, foi verificado que os resultados encontrados para coautoria (Figura 6) estão diretamente relacionados à origem das publicações.

**Figura 5 - Origem das publicações sobre BIM e Gerenciamento de RCC de 2009 a 2019**



Fonte: Scopus (2019).

**Figura 6 - Coautoria nas publicações sobre BIM e Gerenciamento de RCC**

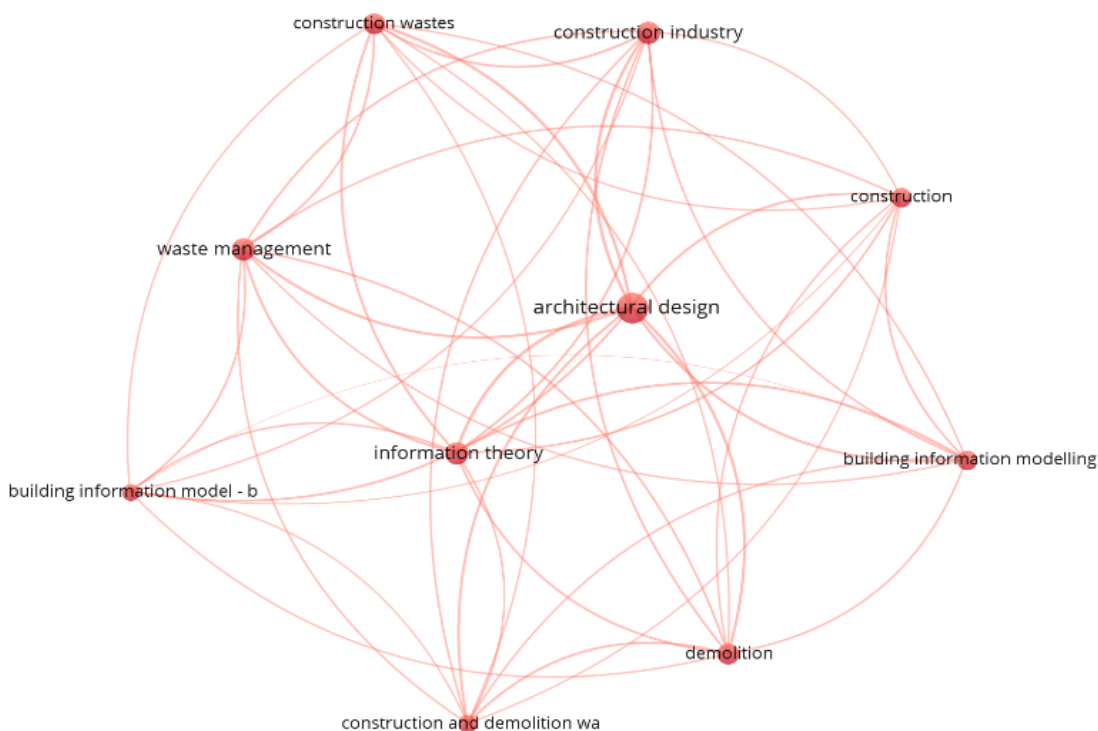


Fonte: Autor (2019).

No maior *cluster* identificado estão autores do Reino Unido, citados na Figura 4, que representam aqueles que mais publicaram no período. As publicações em parceria podem ser justificadas pela proximidade dos autores, seja no desenvolvimento de pesquisas nas mesmas áreas, atuação em grupos de pesquisa similares nas universidades de origem ou por realizarem pesquisas na mesma região de estudo. Nas outras duas redes de coautorias destacadas predominam autores de Hong Kong, com *J. C. P. Cheng* e *J. Won* e na região dos Estados Unidos, *K. M. Faust* e *A. Bakchan*.

Na Figura 7 é apresentado o mapa de coocorrência de palavras-chave, detalhando as palavras-chave que ocorreram nas publicações por no mínimo dez vezes.

Figura 7 - Coocorrência palavras-chave nas publicações sobre BIM e Gerenciamento de RCC

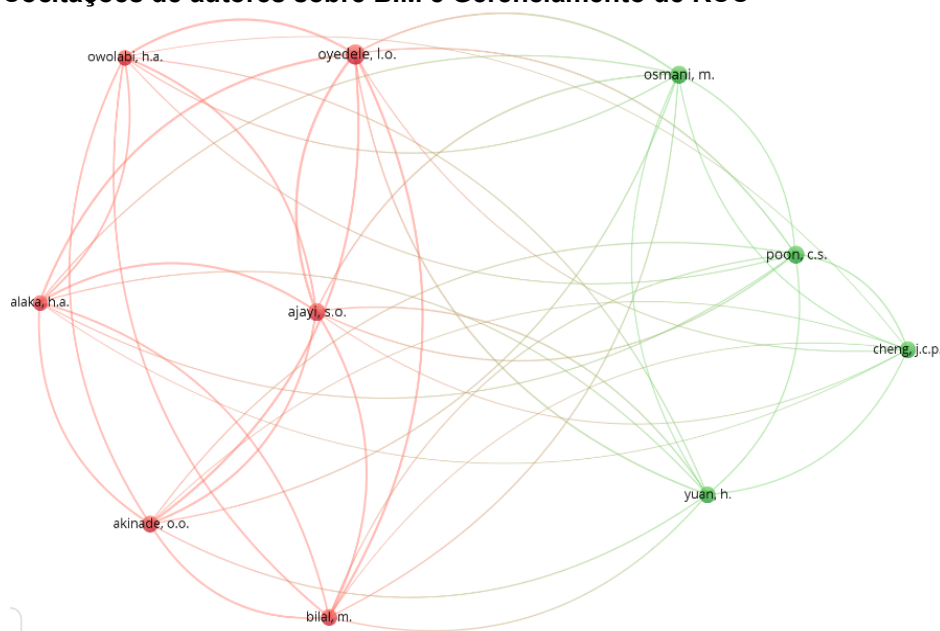


Fonte: Autor (2019).

Entre as palavras-chave destacadas (Figura 7), as cinco que apareceram mais vezes foram “*architectural design*” com 40 ocorrências, “*information theory*” com 23 ocorrências, “*construction industry*”, com 22, “*waste management*”, com 21 e “*construction waste*” com 20 ocorrências.

Por fim a análise de cocitação de autores, Figura 8, dois *clusters* foram identificados, sendo que o primeiro, em cor vermelha, contém a maioria dos autores que publicam em coautoria e, conseqüentemente, citam uns aos outros. O *cluster* em verde destaca autores que publicam na mesma região.

**Figura 8 - Cocitações de autores sobre BIM e Gerenciamento de RCC**



Fonte: Autor (2019).

Do total de 49 publicações encontradas nesta primeira busca 27 foram selecionadas para compor a revisão sistemática desta pesquisa. As principais informações dos trabalhos estão resumidas no Quadro 4.

**Quadro 4 - Publicações sobre BIM e Gerenciamento de RCC de 2009 a 2019**

Publicação		Objetivo	Método	Nº Citações
1	LIU, H., SYDORA, C., ALTAF, M. S., HAN, S., e AL-HUSSEIN, M. (2019). <b>Towards sustainable construction: BIM-enabled design and planning of roof sheathing installation for prefabricated buildings.</b> <i>Journal of Cleaner Production</i> , 235, 1189–1201.	Minimizar o desperdício de materiais de revestimento em telhados de edifícios pré-fabricados	Sistema automatizado de projeto e planejamento por meio de algoritmo híbrido para otimizar os planos de corte de material.	0
2	AKINADE, O. O., e OYEDELE, L. O. (2019). <b>Integrating construction supply chains within a circular economy: An ANFIS-based waste analytics system (A-WAS).</b> <i>Journal of Cleaner Production</i> , 229, 863–873.	Minimizar o desperdício de materiais por meio de uma ferramenta computacional baseada em BIM para criar análises e relatórios de resíduos nas cadeias de suprimentos de construção.	Modelo de previsão de RCC usando o Sistema de Inferência Adaptativa Neuro-Difusa (ANFIS) integrado à plataforma BIM	0
3	HEIGERMOSER, D., GARCÍA DE SOTO, B., ABBOTT, E. L. S., e CHUA, D. K. H. (2019). <b>BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management.</b> <i>Automation in Construction</i> , 104, 246–254.	Propor uma ferramenta de gerenciamento de construção para melhorar a produtividade e reduzir o desperdício de materiais.	Criar uma ferramenta protótipo que combine <i>Lean Construction</i> e BIM ainda na fase de projeto.	2
4	BAKCHAN, A., FAUST, K. M., e LEITE, F. (2019). <b>Seven-dimensional automated construction waste quantification and management framework:</b>	Definir as dimensões do BIM e as respectivas interações conceituais que moldam a integração	Estrutura multidimensional que aproveita os recursos de estimativa automatizada de RCC baseados em BIM para fornecer orientação sobre	0

	<b>Integration with project and site planning.</b> <i>Resources, Conservation and Recycling</i> , 146, 462–474.	do RCC e o gerenciamento da construção.	gerenciamento da construção.	
5	GUERRA, B. C., BAKCHAN, A., LEITE, F., e FAUST, K. M. (2019). <b>BIM-based automated construction waste estimation algorithms: The case of concrete and drywall waste streams.</b> <i>Waste Management</i> , 87, 825–832.	Estimar a geração de RCC automatizada em BIM, com base nos materiais comprados, mas não incorporados no edifício.	Modelagem de algoritmos para quantificar fluxos de resíduos de concreto e <i>drywall</i> .	1
6	JALAEI, F., ZOGHI, M., e KHOSHAND, A. (2019). <b>Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM).</b> <i>International Journal of Construction Management</i> .	Apresentar uma metodologia para quantificar o total de resíduos produzidos no ciclo de vida do edifício.	Desenvolver um suplemento em ambiente BIM, que calcula os resíduos produzidos em cada etapa da vida útil dos edifícios.	3
7	XU, J., SHI, Y., XIE, Y., e ZHAO, S. (2019). <b>A BIM-Based construction and demolition waste information management system for greenhouse gas quantification and reduction.</b> <i>Journal of Cleaner Production</i> , 229, 308–324.	Construir um sistema de gerenciamento de informações (IMS) baseado em BIM que forneça informações precisas sobre RCC; criar um processo detalhado de estimativa de informações de descarte de RCC.	Modelagem para quantificação precisa das emissões de Gases de efeito estufa do RCC, Estudo de caso	0
8	ALEKSANIN, A. (2018). <b>Potential for the use of information systems in the management of construction waste.</b> In <i>MATEC Web of Conferences</i> (Vol. 196).	Criar um sistema de planejamento para a organização de obras de grande reforma ou reconstrução na coordenação da gestão dos RCC.	Modelagem em ambiente BIM, com descrição das funções no sistema de informações.	1
9	AKINADE, O. O., OYEDELE, L. O., AJAYI, S. O., BILAL, M., ALAKA, H. A., OWOLABI, H. A., e ARAWOMO, O. O. (2018). <b>Designing out construction waste using BIM technology: Stakeholders' expectations for industry deployment.</b> <i>Journal of Cleaner Production</i> , 180, 375–385.	Avaliar as expectativas dos <i>Stakeholders</i> sobre como o BIM pode ser empregado no gerenciamento de RCC.	Revisão da literatura e aplicação de questionário.	19
10	BANIHASHEMI, S., TABADKANI, A., e HOSSEINI, M. R. (2018). <b>Integration of parametric design into modular coordination: A construction waste reduction workflow.</b> <i>Automation in Construction</i> , 88, 1–12.	Avaliar a integração de fluxos de trabalho com coordenação modular em BiM para redução da geração de RCC.	Algoritmo generativo desenvolvido na plataforma Rhinoceros 3D – Grasshopper.	10
11	GE, X. J., LIVESEY, P., WANG, J., HUANG, S., HE, X., e ZHANG, C. (2017). <b>Deconstruction waste management through 3d reconstruction and bim: a case study.</b> <i>Visualization in Engineering</i> , 5(1).	Desenvolver um sistema de gerenciamento de resíduos de desconstrução em BIM para melhorar a eficiência da demolição, a reciclagem eficaz e a economia de custos.	Modelagem de uma estrutura 3D em BIM com identificação e medição de materiais recicláveis.	8
12	ALWAN, Z., JONES, P., e HOLGATE, P. (2017). <b>Strategic sustainable development in the UK construction industry, through the framework for</b>	Avaliar aplicação do BIM integrado a uma nova plataforma de trabalho colaborativa, alinhada ao Método	Estudo de caso	53

	<b>strategic sustainable development, using Building Information Modelling.</b> <i>Journal of Cleaner Production</i> , 140, 349–358.	Moderno de Construção (MMC).		
13	KIM, Y.-C., HONG, W.-H., PARK, J.-W., e CHA, G.-W. (2017). <b>An estimation framework for building information modeling (BIM)-based demolition waste by type.</b> <i>Waste Management and Research</i> , 35(12), 1285–1295.	Propor uma estrutura baseada em BIM que estima os resíduos de demolição nos estágios iniciais do projeto, para alcançar um planejamento, processamento e gerenciamento eficientes e simplificados.	Modelagem de sistema	10
14	WON, J., e CHENG, J. C. P. (2017). <b>Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization.</b> <i>Automation in Construction</i> , 79, 3–18.	Identificar as oportunidades potenciais do BIM para gerenciamento e minimização eficiente dos RCC.	Revisão da literatura	26
15	LU, W., WEBSTER, C., CHEN, K., ZHANG, X., e CHEN, X. (2017). <b>Computational Building Information Modelling for construction waste management: Moving from rhetoric to reality.</b> <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , 68, 587–595.	Desmistificar a aplicação computacional do BIM ao RCC.	Revisão da literatura, estrutura conceitual do modelo.	28
16	BILAL, M., OYEDELE, L. O., AKINADE, O. O., AJAYI, S. O., ALAKA, H. A., OWOLABI, H. A., ... BELLO, S. A. (2016). <b>Big data architecture for construction waste analytics (CWA): A conceptual framework.</b> <i>Journal of Building Engineering</i> , 6, 144–156.	Propor uma arquitetura de Big Data para análise de resíduos de construção.	Aplicação de um software de gerenciamento de resíduos baseado em big data de dados de RCC.	38
17	WON, J., CHENG, J. C. P., e LEE, G. (2016). <b>Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea.</b> <i>Waste Management</i> , 49, 170–180.	Estimar a quantidade de RCC impedida por um processo de validação de projeto baseado em BIM, com base na quantidade de RCC, que pode ser gerada devido a erros de projeto.	Estudo de caso de comparação.	37
18	AKINADE, O. O., OYEDELE, L. O., MUNIR, K., BILAL, M., AJAYI, S. O., OWOLABI, H. A., ... BELLO, S. A. (2016). <b>Evaluation criteria for construction waste management tools: Towards a holistic BIM framework.</b> <i>International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development</i> , 7(1), 3–21.	Avaliar o desempenho das ferramentas existentes de gerenciamento de RCC e empregar os resultados no desenvolvimento de uma estrutura holística em BIM.	Revisão da literatura para identificar ferramentas de gerenciamento de RCC e comparação com dados de entrevistas.	10
19	BILAL, M., OYEDELE, L. O., QADIR, J., MUNIR, K., AKINADE, O. O., AJAYI, S. O., ... OWOLABI, H. A. (2015). <b>Analysis of critical features and evaluation of BIM software: towards a plug-in for construction waste minimization using big data.</b> <i>International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development</i> , 6(4), 211–228.	Investigar o potencial de aplicação do BIM na minimização de RCC e propor um processo para realizar a análise dos RCC no BIM.	Desenvolvimento de um plug-in para prever e minimizar o desperdício de materiais na construção.	19
20	LIU, Z., OSMANI, M., DEMIAN, P., e	Desenvolver uma	Criar uma estrutura de	33

	BALDWIN, A. (2015). <b>A BIM-aided construction waste minimisation framework.</b> <i>Automation in Construction</i> , 59, 1–23.	estrutura de tomada de decisão de projeto para melhorar o desempenho da minimização de RCC por meio do BIM.	minimização de RCC auxiliado pelo BIM, com base nos resultados da revisão de literatura, dados do questionário e da entrevista.	
21	AJAYI, S. O., OYEDELE, L. O., BILAL, M., AKINADE, O. O., ALAKA, H. A., OWOLABI, H. A., e KADIRI, K. O. (2015). <b>Waste effectiveness of the construction industry: Understanding the impediments and requisites for improvements.</b> <i>Resources, Conservation and Recycling</i> , 102, 101–112.	Identificar fatores que impedem a eficácia das estratégias de gerenciamento de resíduos existentes e propor outras para reduzir a intensidade de RCC	Discussões com especialistas das principais empresas de construção. Combinação da abordagem fenomenológica com uma revisão crítica e análise de literaturas.	56
22	AKINADE, O. O., OYEDELE, L. O., BILAL, M., AJAYI, S. O., OWOLABI, H. A., ALAKA, H. A., e BELLO, S. A. (2015). <b>Waste minimisation through deconstruction: A BIM based Deconstructability Assessment Score (BIM-DAS).</b> <i>Resources, Conservation and Recycling</i> , 105, 167–176.	Desenvolver um Índice de Avaliação de Desconstrutibilidade (BIM-DAS) baseado em Modelagem de Informações da Construção para determinar até que ponto uma construção pode ser desconstruída desde o estágio de projeto.	Revisão da literatura, modelagem matemática baseada no planejamento eficiente de requisitos de material, estudo de caso.	58
23	CHENG, J. C. P., WON, J., e DAS, M. (2015). <b>Construction and demolition waste management using bim technology.</b> In <i>Proceedings of IGLC 23 - 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Global Knowledge - Global Solutions</i> (Vol. 2015-Janua, pp. 381–390).	Investigar o potencial do BIM para apoiar projeto de construção e para gerenciar resíduos de RCC.	Estudo de caso	10
24	GHAFFAR, M. A., IBRAHIM, R., e SHARI, Z. (2014). <b>Embedding cultural knowledge in building information modeling (BIM) for fabrication efficiency to reduce industrialized construction waste.</b> In <i>Computing in Civil and Building Engineering - Proceedings of the 2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering</i> (pp. 195–202).	Verificar a literatura sobre as tecnologias BIM para reduzir o desperdício de construção e melhorar a eficiência dos Sistemas de Edifícios Industrializados (IBS) no processo de fabricação.	Revisão da literatura	2
25	HAMIDI, B., BULBUL, T., PEARCE, A., e THABET, W. (2014). <b>Potential application of BIM in cost-benefit analysis of demolition waste management.</b> <i>Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network - Proceedings of the 2014 Construction Research Congress</i> , 279–288.	Identificar a aplicação potencial do BIM no gerenciamento de resíduos de demolição, para que os tomadores de decisão possam basear suas decisões em informações confiáveis e precisas.	Revisão da literatura, coleta de dados em campo e estudo de caso.	9
26	CHENG, J. C. P., e MA, L. Y. H. (2013). <b>A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning.</b> <i>Waste Management</i> , 33(6), 1539–1551.	Apresentar um sistema baseado em BIM para estimativa e planejamento de RCC.	Modelagem	113

27	PORWAL, A., e HEWAGE, K. N. (2011). <b>Optimizing construction waste reuse: A BIM based technological approach.</b> In <i>Proceedings, Annual Conference - Canadian Society for Civil Engineering</i> (Vol. 3, pp. 2019–2027).	Elevar o potencial de reutilização de material por meio da previsão de possíveis desperdícios na fase de projeto, com detalhes e volumes de material.	Criar uma estrutura baseada em TI incorporada ao BIM através do mapeamento micro de todas as fases do ciclo de vida do projeto de construção.	0
----	--	---	---	---

Fonte: Autor (2019).

A maioria dos trabalhos analisou o potencial de aplicação do BIM para estimativa e minimização da geração dos RCC nas obras. Ge *et al.* (2017); Kim *et al.* (2017); Hamidi *et al.* (2014) e Liu *et al.* (2015), por exemplo, empregaram indicadores de geração de resíduos, tipos de materiais utilizados por fase da obra e informações características do processo construtivo empregado como dados de entrada no modelo de estimativa. Apesar das particularidades e limitações de cada modelo, os resultados encontrados apontam boas perspectivas de aplicação da ferramenta em benefício do planejamento da obra, redução de custos e minimização dos impactos ambientais.

Cheng e Ma (2013) desenvolveram um sistema baseado no BIM para estimar a geração de RCC proveniente de demolições e reformas na cidade de Hong Kong. O sistema criado permite extrair informações de material e volume por meio do modelo BIM e integrar as informações para estimativa e planejamento dos resíduos de forma detalhada. Os autores utilizaram o Revit® para auxiliar na construção do modelo e inclusão dos parâmetros necessários para estimativa dos resíduos.

Semelhante pesquisa foi realizada por Liu *et al.* (2015) que desenvolveram uma ferramenta de tomada de decisão com auxílio do BIM para melhorar o desempenho e minimização da geração de RCC ao longo das fases de projeto. A pesquisa teve como instrumento de coleta de dados aplicação de questionário e entrevista de acompanhamento com arquitetos participantes, considerando as 100 melhores práticas arquitetônicas no Reino Unido. Os resultados do questionário foram utilizados para investigar a relação entre as práticas atuais de BIM e o potencial de reduzir a geração de RCC, identificando, ainda na fase de projeto, as causas da geração destes resíduos.

Lu *et al.* (2017b) propuseram uma estrutura computacional em BIM para o gerenciamento de RCC com base em componentes de construção selecionados para fase de projeto e para fase de construção. Os componentes foram previamente organizados em bancos de dados por tipo (porta, janela, parede), com seus níveis



médios de geração de resíduos definidos em função das propriedades geométricas dos componentes, como tamanho, volume ou forma e vinculados à plataforma BIM. Por meio da interface de programação do Revit® foi feita a vinculação dos bancos de dados e criadas propriedades na biblioteca de objetos com parâmetros de geração de resíduos, baseado na quantidade de material adquirida para o projeto e no valor médio de geração de resíduos daquele componente.

Won *et al.* (2016) estimaram a quantidade de RCC de duas obras da Coreia do Sul, com base em possíveis erros de projeto detectados em ambiente BIM. Os erros foram detectados na fase de validação do projeto, quando o BIM foi aplicado. Cada erro de projeto foi categorizado de acordo com sua causa e a probabilidade de detecção antes da construção. Os resultados apontam que a validação do projeto com base no BIM pode impedir que 4,3 a 15,2% de RCC sejam gerados, quando comparado com o total gerado sem o uso do BIM.

Won e Cheng (2017) identificaram funcionalidades do BIM que influenciam positivamente no gerenciamento e minimização da geração de RCC, como por exemplo, a possibilidade de revisão constante do projeto; planejamento, controle e coordenação em 3D; planejamento e previsão de material por etapa da obra; pré-fabricação digital e projeto do sistema construtivo. Um modelo conceitual foi proposto integrando oportunidades de melhoria na gestão dos RCC e funcionalidades identificadas.

Guerra *et al.* (2019) aproveitaram as funcionalidades do BIM e criaram um algoritmo para estimar a geração de RCC, considerando materiais adquiridos, mas não incorporados na estrutura real do edifício. Os algoritmos foram desenvolvidos para quantificar fluxos de resíduos de concreto e de *drywall*. Ao final, a validação do algoritmo foi feita com um projeto real, em que foi comparado o desperdício estimado com os dados reais de resíduos, disponíveis nos comprovantes de transporte de resíduos e com dados da literatura.

Akinade e Oyedele (2019) desenvolveram uma plataforma em BIM que permite a integração e colaboração das cadeias de suprimento para estimativa de RCC no Reino Unido. No modelo foi utilizado um Adaptador Neuro-Difuso Sistema de Inferência, *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS), que corresponde a uma combinação de redes neurais e lógicas difusas. O ANFIS foi integrado no Revit® como um suplemento e alimentado por uma base de dados, com informações sobre RCC coletadas de 117 projetos realizados no Reino Unido. Os

resultados apontaram que a ferramenta BIM é capaz de estimar os RCC por tipo e de acordo com tipos de elementos e níveis de construção, porém o modelo é limitado ao contexto do Reino Unido e ainda depende da confiança dos dados coletados.

Por outro lado, Akinade *et al.* (2018) avaliaram as limitações das ferramentas atuais de gerenciamento de RCC e identificaram as expectativas dos *stakeholders* do setor quanto à utilização dos recursos do BIM para melhorar a gestão dos resíduos. Os autores observaram que o desperdício de materiais é gerado em todas as etapas da obra e que o BIM pode auxiliar no gerenciamento dos resíduos desde que utilizado de forma colaborativa e quando os processos e soluções de projeto estão orientados para os resíduos desde o projeto até o fim da vida útil dos edifícios. Os autores concluíram que é preciso mais experiência para criar uma dimensão no BIM que trate somente da gestão dos resíduos, no entanto seus benefícios em longo prazo podem superar a dimensão de custo.

Porwal (2013) criou uma estrutura que integra dados do BIM com um sistema de modelagem dinâmico, *System Dynamic Model* (SDM), com objetivo de prever desperdícios na construção devido a alterações no escopo do trabalho, dentro da dinâmica do projeto de construção. O autor verificou que, na medida em que há alterações no escopo de trabalho, o BIM atualiza as quantidades de materiais e estas informações são modeladas por meio do mapeamento com os fatores dinâmicos, que influenciam a geração de resíduos durante o ciclo de vida do projeto. O autor concluiu que o gerenciamento dos resíduos demonstra ser mais realista quando são utilizadas informações em tempo real do BIM integradas a uma técnica de simulação dinâmica, do que a partir de técnicas de análise de dados históricos.

### 2.2.3 BIM e certificações ambientais

O Protocolo 2, representado no Quadro 5, combinou termos definidos para BIM e para Certificações Ambientais. Entre os termos de certificação ambiental foram escolhidos “*green building*”, “*sustainable design*”, “*building sustainability*”, pois estes termos podem ser encontrados em outros relacionados à certificação de edifícios como por exemplo “*green building assessment*” e “*green building rating*”

*system*”, “*sustainable design assessment*”, “*building sustainability assessment*”, “*sustainable design certification system*”, “*building sustainability certification system*”.

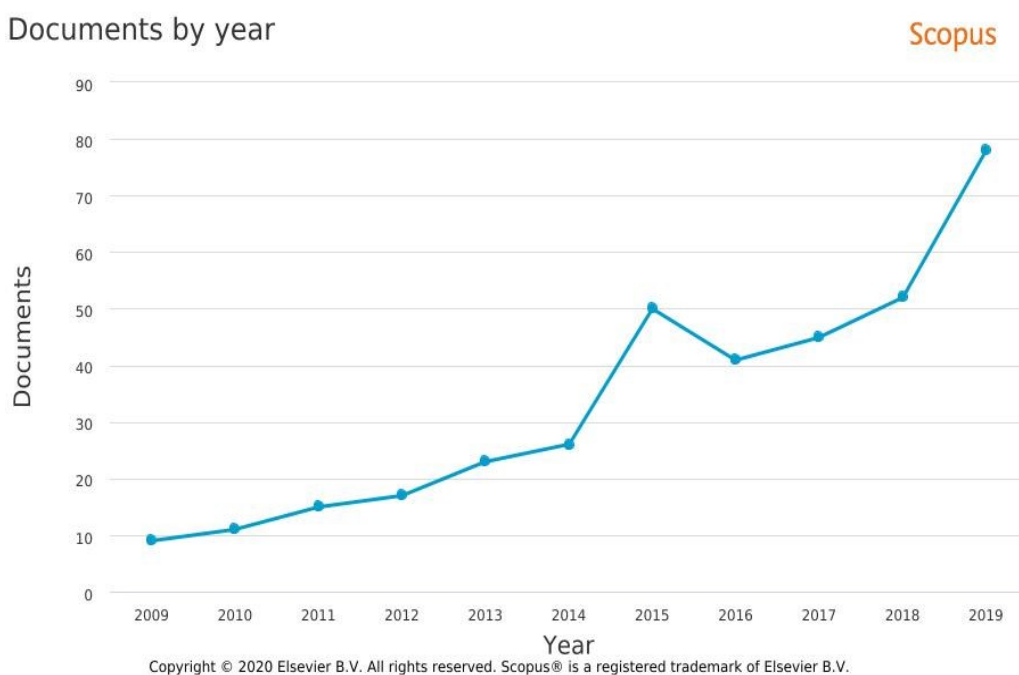
**Quadro 5 – Protocolo de busca BIM e Certificações Ambientais**

<b>PROTOCOLO 2 - BIM e CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS</b>	
<b>Objetivo:</b>	Identificar, avaliar e interpretar como o BIM vem sendo utilizado nos métodos de certificação ambiental.
<b>Questões de pesquisa:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Qual o estado da arte dos métodos de aplicação do BIM no cumprimento de requisitos das certificações ambientais?</li> <li>2) Que ferramentas foram desenvolvidas?</li> <li>3) Qual <i>software</i> BIM foi utilizado?</li> <li>4) Qual certificação ambiental é objeto de estudo?</li> <li>5) De que forma os resultados foram exportados?</li> </ol>
<b>ESTRATÉGIA DE BUSCA ADOTADA</b>	
<b>Plataforma de pesquisa:</b>	<i>Scopus</i>
<b>Idioma:</b>	Inglês e português
<b>Termos de busca:</b>	“BIM” OR “ <i>Building Information Model</i> ” OR “ <i>Building Information Modelling</i> ” OR “ <i>Building Information Modeling</i> ” AND “ <i>green building</i> ” OR “ <i>sustainability rating system</i> ” OR “ <i>certification system</i> ” OR “ <i>environmental certification</i> ” OR “ <i>building sustainability</i> ” OR “ <i>sustainable design</i> ” OR “LEED” OR “HQE” OR “ <i>Haute Qualité Environnementale</i> ” OR “ <i>Aqua process</i> ” OR “ <i>Aqua certification</i> ” OR “AQUA-HQE” OR “BREEAM” OR “SBTOOL” OR “LIDERA”
<b>Critério de inclusão:</b>	Trabalhos publicados entre 2009 a 2019. Artigos, periódicos, trabalhos publicados em congressos. Termos de busca devem aparecer no título, resumo ou palavra-chave.
<b>Critério de exclusão:</b>	Trabalhos não relacionados à indústria AEC. Trabalhos não disponíveis eletronicamente. Trabalhos duplicados.
<b>Estratégia para extração da informação</b>	Na tabulação serão considerados dados bibliográficos, ano de publicação, campo de estudo, palavras-chave. Os estudos selecionados para leitura analítica integral vão compor parte do referencial teórico da tese.
<b>Sumarização dos resultados</b>	Tabelas e gráficos no VoS Viewer.

Fonte: Autor (2019).

Na segunda combinação de buscas, com os termos relacionados à BIM e certificações ambientais, foram encontrados 367 resultados na *Scopus*. Ao observar o número de publicações ao longo do período analisado (Figura 9), verifica-se que as pesquisas sobre o tema aumentaram ao longo dos anos e tiveram um pico em 2015, com 50 trabalhos publicados. Ao comparar o número de publicações dos últimos cinco anos com o início da série, de 2009 a 2014, observa-se que as publicações praticamente dobraram o que destaca a relevância do tema com o passar dos anos.

**Figura 9 - Número de publicações sobre BIM e Certificações ambientais de 2009 a 2019**



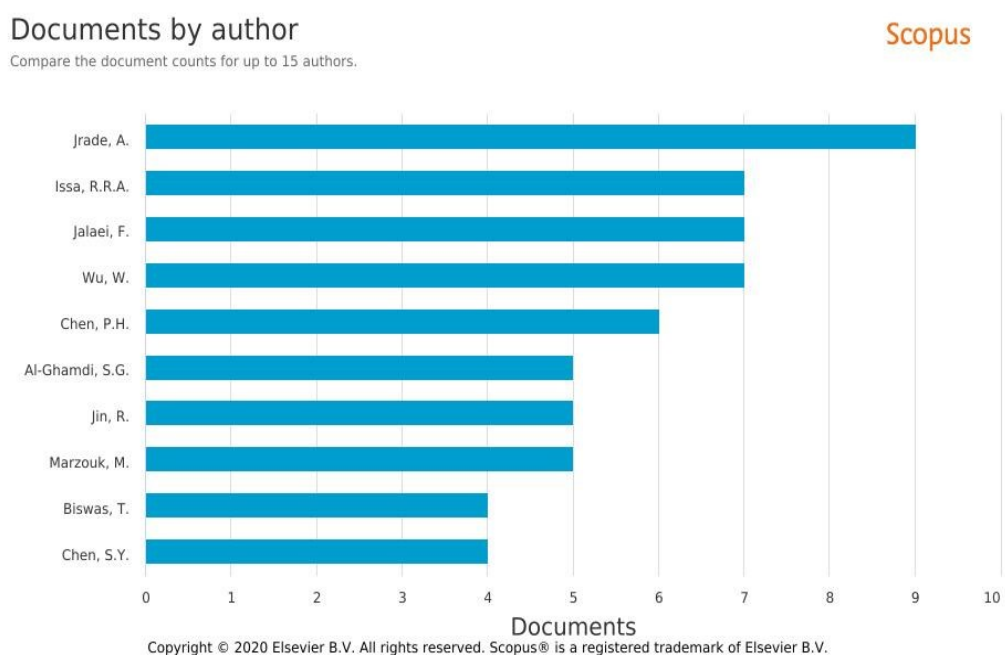
Fonte: Scopus (2020)

A variação das publicações pode ser justificada tanto pelo surgimento de novas certificações ambientais, quanto pelo aprimoramento dos sistemas de certificação já existentes. Aliado a isso há disseminação do conceito do desenvolvimento sustentável e a busca por construções mais sustentáveis, em que os gestores passam a contar com apoio de ferramentas mais elaboradas e colaborativas como o BIM e com normas e legislações atualizadas.

Já com relação aos autores (Figura 10), os cinco autores que mais publicaram ao longo do período analisado foram *A. Jrade* com nove publicações; seguido por *R.R.A. Issa*, *F. Jalaei* e *W. Wu* com sete publicações e *P.H. Chen* e com seis publicações.

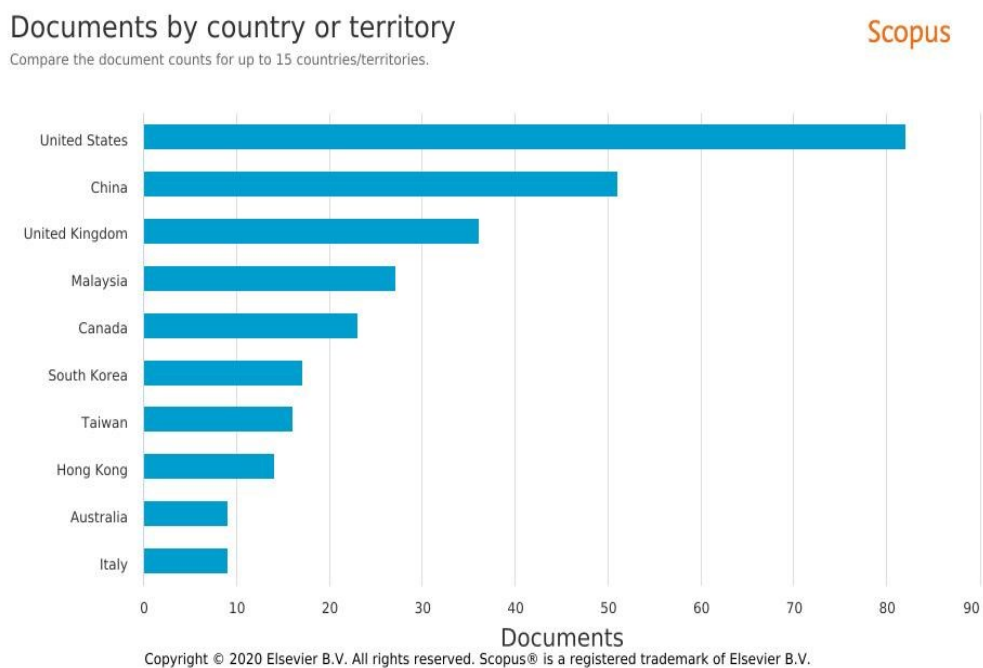
Quanto à origem das publicações foi verificado que os cinco principais países que publicaram sobre BIM e certificações ambientais foram Estados Unidos, China, Reino Unido, Malásia e Canadá (Figura 11).

**Figura 10 - Principais autores sobre BIM e Certificações ambientais de 2009 a 2019**



Fonte: Scopus (2020)

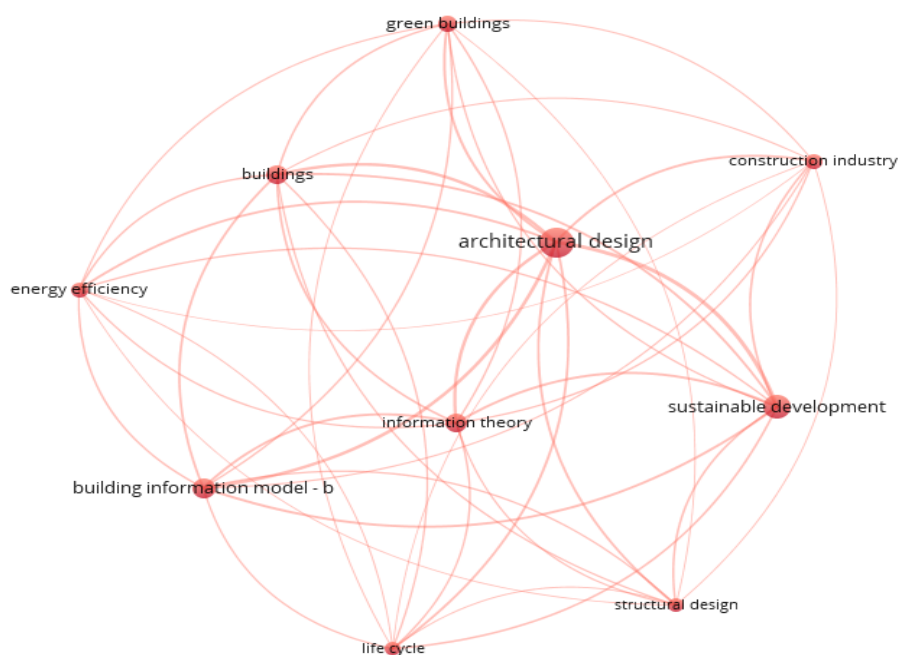
**Figura 11 - Origem das publicações sobre BIM e Certificações ambientais de 2009 a 2019**



Fonte: Scopus (2020).

O mapa detalhado da coocorrência de palavras-chave, Figura 12, mostram as dez palavras-chave que ocorreram nas publicações por no mínimo dez vezes.

**Figura 12 - Coocorrência palavras-chave nas publicações sobre BIM e Certificações ambientais**

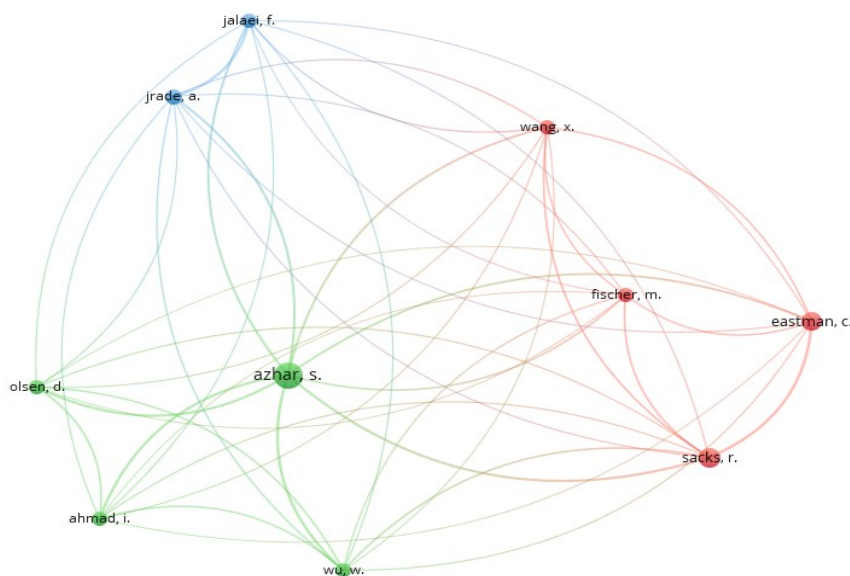


Fonte: Autor (2020).

Entre as palavras-chave destacadas na Figura 12 estão “*architectural design*” com 260 ocorrências, “*sustainable development*” com 160 ocorrências, “*building information model - BIM*”, com 119, “*information theory*”, com 103, “*buildings*” com 108 e “*green buildings*” com 73 ocorrências.

Por fim, na Figura 13, apresentam-se os dez autores que receberam pelo menos 20 citações.

**Figura 13 - Cocitação de autores sobre BIM e Certificações Ambientais**



Fonte: Autor (2020).

Nesta rede de cocitação de autores (Figura 13), três *clusters* foram identificados, destacando-se no *cluster* em verde o autor S. Azhar que recebeu 195 citações. O segundo autor mais citado é o R. Sacks, *cluster* vermelho, com 113 citações, em seguida C. Eastman, com 105 citações, sendo um dos principais autores relacionados ao BIM. No *cluster* azul, o autor mais citado corresponde a A. Jrade com 71 citações. Os demais autores foram citados mais do que 60 vezes.

Notavelmente a indústria da construção precisa adotar em seus projetos novas tecnologias para reduzir os impactos no ambiente (JRADE e JALAEI, 2013). Neste cenário, o BIM vem contribuindo para práticas de construção mais ecológicas, conhecidas como *Green BIM*. Estas práticas fazem parte da dimensão de sustentabilidade no BIM em que o objetivo principal é alcançar metas de sustentabilidade e explorar as certificações ambientais (ANSAH *et al.*, 2019).

Quando princípios sustentáveis são incorporados no projeto desde o estágio inicial, no qual os projetistas escolhem materiais e componentes com base nos sistemas de certificação de construção verde, espera-se que sejam alcançadas edificações mais sustentáveis. Devido ao BIM conter informações multidisciplinares para várias análises, as métricas de sustentabilidade podem ser sobrepostas em um modelo 3D e apoiar a avaliação de créditos das certificações ambientais (JRADE e JALAEI, 2013; WONG e ZHOU, 2015; MALTESE *et al.*, 2017; ANSAH *et al.*, 2019).

Embora o BIM contribua para o desenvolvimento de edifícios verdes, AnsaH *et al.* (2019) e Müller *et al.* (2019) identificaram lacunas de conhecimento que ainda precisam ser respondidas como a fraca interoperabilidade entre aplicativos *Green BIM*, falta de apoio e de padrões para a construção e operação de edifícios verdes. Além da pouca divulgação de estudos sobre melhores práticas em projetos abrangendo as áreas de aplicação do *Green BIM*, baixa aceitação das indústrias pelos aplicativos disponíveis e baixa precisão nos modelos de previsão.

Wong e Zhou (2015) analisaram a literatura sobre a aplicação do BIM para análise da sustentabilidade nas construções e definiram alguns pontos de melhoria que devem ser levados em consideração na construção de novas ferramentas. Segundo os autores, as futuras ferramentas em BIM devem incluir o conceito dos 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar) em suas análises de sustentabilidade, tanto para novos projetos como para modernização dos já existentes, de forma que sejam capazes de predefinir ou gerar estratégias que auxiliem as equipes de projeto a evitar desperdícios. As ferramentas devem ser mais práticas com objetivo de

alcançar os créditos das certificações ambientais disponíveis no mercado, com melhor compatibilidade e facilidade de uso e que envolva a participação de mais profissionais, inclusive acadêmicos para que haja maior inovação.

Para Müller *et al.* (2019), a inovação tecnológica é apresentada por meio do BIM e da interoperabilidade. No entanto, em aspectos mais amplos como serviços e negócios, verifica-se que estes tópicos ainda são pouco estudados, enquanto os aspectos mais técnicos da interoperabilidade dos dados recebem maior atenção. A interoperabilidade é o campo que pode conectar e melhorar o ciclo de vida e a sustentabilidade, abrindo portas para inovação, edifícios econômicos e sustentáveis.

Azhar *et al.* (2011) desenvolveram e validaram uma estrutura conceitual a fim de estabelecer uma conexão entre os dados coletados no BIM e os dados necessários para o processo de certificação LEED. O escopo da pesquisa se limitou a projetos de construção não residenciais e o método aplicado na análise foi a revisão da literatura e entrevistas com profissionais da indústria AEC. Os resultados apontaram que alguns dos parâmetros necessários para a avaliação de sustentabilidade poderiam ser direta ou indiretamente obtidos por meio dos *softwares* Revit® e IES VE e que este processo pode simplificar a certificação LEED, com economia de tempo, custos e recursos.

Jalaei e Jrade (2015) integraram o BIM com o LEED-NC para calcular créditos de Energia e Atmosfera e Materiais e Recursos. Os autores ainda criaram uma funcionalidade na API do Revit® para calcular as taxas necessárias para registrar e obter a certificação LEED. O *Google Maps* foi utilizado para calcular a distância entre a localização (origem) dos fornecedores de materiais e a localização do projeto (destino). Ao final, os autores concluíram que a integração de BIM com LEED era viável, mas com restrições consideráveis, pois o sistema não permitia analisar os custos associados a diferentes materiais ou sistemas que poderiam ser usados para atingir cada crédito ou ponto.

Nguyen *et al.* (2016) criaram uma funcionalidade no Revit® para pontuar créditos da certificação LEED da categoria Localização e Transporte. A integração BIM e LEED foi realizada por meio de um algoritmo que extrai os dados relevantes do modelo BIM e depois verifica as condições dos requisitos para calcular a pontuação. Para o algoritmo operar foi necessário obter dados de geometria (dimensões, áreas, volumes, etc.), que estão disponíveis no Revit®, criar novos parâmetros e elementos e incluir informações adicionais dos usuários no modelo



para a avaliação automática do LEED. Após a modelagem do algoritmo na API do Revit®, a ferramenta de classificação foi criada, com uma interface interativa em que o usuário tem acesso aos dados da avaliação e extração de relatórios conforme padrão adotado pelos profissionais LEED em apoio à certificação. Os resultados da pesquisa elevaram o potencial de aplicação do BIM na automação de ferramentas para a avaliação do desempenho dos projetos de construção.

Chen e Nguyen (2019) realizaram pesquisa semelhante, em que além de criar um *plug-in* no BIM para cálculo das distâncias para transporte dos materiais, com base na localização dos fornecedores, também foi incluída a análise do custo conforme as distâncias percorridas. Com a ferramenta criada o usuário pode selecionar os materiais conforme o orçamento disponível e tempo para realização do projeto, e ainda atender aos requisitos da LEED.

Wu (2010) analisou as necessidades, lacunas e expectativas do setor da construção civil quanto à integração do LEED com o BIM. Inicialmente foi aplicado um questionário aos especialistas AEC com objetivo de avaliar conhecimento sobre LEED e BIM e os impactos no processo de certificação. Uma estrutura de integração BIM-LEED foi desenvolvida em dois módulos, um para assistência de projeto e outro para gerenciamento da certificação. O autor demonstrou que a integração BIM e LEED era viável para análise dos requisitos de Materiais e Recursos, porém com algumas restrições. As restrições foram atribuídas principalmente aos limites de funcionalidade do Revit®, como por exemplo, a ausência de ligação GIS, falta de biblioteca de materiais que captura dados de produtos industriais e o suporte imaturo à interoperabilidade no nível do banco de dados. Também houve restrições devido aos recursos intrínsecos do sistema de classificação LEED que simplesmente não são aplicáveis à integração BIM (WU, 2010).

Carvalho *et al.* (2021) realizaram estudos de interoperabilidade entre o BIM e SBTTool<sup>PT</sup> para habitações a fim de verificar como os requisitos poderiam ser cumpridos com base em dados obtidos no projeto em BIM. Inicialmente foram analisados os critérios de sustentabilidade e identificados os dados necessários para avaliação, bem como qual *software* BIM poderia ser utilizado para coletar estas informações. Os autores verificaram que 80% dos requisitos da certificação poderiam ser avaliados direta ou indiretamente com recursos do BIM na fase inicial do projeto e que o Revit® é o *software* BIM mais preparado para auxiliar no processo de avaliação do SBTTool<sup>PT</sup> para habitações em Portugal.

#### 2.2.4 Panorama da análise bibliométrica

De maneira geral, a análise bibliométrica contribuiu para compreensão da evolução da literatura sobre o assunto e para elaboração dos tópicos da revisão da literatura relacionados ao BIM, ao gerenciamento dos RCC e às certificações ambientais. Por meio da bibliometria foi possível verificar as regiões em que o tema de estudo é predominante e os principais autores, bem como as oportunidades de pesquisas futuras.

A maioria das publicações sobre BIM e Gerenciamento dos RCC é de 2019, o que demonstra que o tema é recente. Pelo teor dos trabalhos encontrados verificou-se que, apesar das limitações, os autores conseguiram explorar as funcionalidades do BIM em benefício da gestão dos resíduos sólidos na construção civil. Já nas publicações relacionadas ao BIM e certificações ambientais, a maior parte das publicações abrange a certificação LEED e BREEAM, e muitas pesquisas avaliam a aplicação do BIM nos estudos de eficiência energética. Outros trabalhos são sobre análise da sustentabilidade e dos impactos ambientais, e como o BIM pode auxiliar na análise de ciclo de vida das edificações.

Os estudos revelam que o BIM aplicado na gestão dos materiais pode facilitar o trabalho dos projetistas, principalmente devido à possibilidade de extrair as quantidades automaticamente. Por outro lado, existe o desafio de integrar as ferramentas tipo BIM com outros *softwares* e com bancos de dados, além da incorporação de informações ambientais e econômicas em análises de sustentabilidade e da circularidade dos materiais.

### 2.3 Economia circular

Para alcançar a sustentabilidade na construção civil, ações voltadas à construção e ao gerenciamento do ambiente construído dentro da perspectiva do ciclo de vida devem ser adotadas. Por meio do controle efetivo e sistemas de gerenciamento predial há redução dos resíduos da construção e oportunidades de reutilização de materiais, práticas previstas no conceito da economia circular (ABDELHAMEED, 2017; SHEIKHI *et al.*, 2019; MMA, 2019).

A economia circular baseia-se em três princípios: eliminar os resíduos e a poluição desde o princípio; manter os produtos e materiais em uso; e regenerar os sistemas naturais (EMF, 2020). A economia circular é vista como uma oportunidade

de reduzir o uso de materiais primários e seus impactos ambientais associados (EMF e MCK, 2014). O conceito oferece uma nova perspectiva para os ecossistemas industriais, em que materiais e produtos podem retornar a cadeia de suprimentos como recursos, reduzindo o consumo de matéria-prima e a geração de resíduos (EMK, 2017; BILAL *et al.*, 2020).

Apesar do avanço das discussões sobre as possibilidades de aplicação da economia circular, pesquisas nesta área apontam que o tema ainda é recente para muitos agentes da cadeia produtiva e para o público em geral. Na construção civil, autores apontam como crítica a conscientização e o apoio de instituições públicas sobre o assunto, além da falta de regulamentação e de legislação ambiental consistente, o que acaba por impulsionar outras barreiras à economia circular (POMPONI e MONCASTER, 2018; NUÑEZ-CACHO *et al.*, 2018; BILAL *et al.*, 2020).

No aspecto cultural, as barreiras abrangem aspectos sociais, comportamentais e contextos gerenciais. Observa-se falta de interesse e resistência por parte das empresas, além de uma lacuna sobre quem deve assumir a responsabilidade pela implantação da economia circular e por dividir os incentivos, bem como em manter as iniciativas ao longo de todo ciclo de vida do empreendimento (ADAMS, *et al.* 2017; BILAL *et al.*, 2020).

Sob o aspecto ambiental, verifica-se que as legislações, regulamentos, normatizações e políticas ambientais não são consistentes com relação ao emprego da economia circular. A maioria das referências prioriza definições e a categorização dos resíduos, com a destinação focada em aterros. Observa-se também que não há consenso político sobre a necessidade de apoiar à discussão, revisão e atualização dos documentos de referência ambientais vigentes e incluir diretrizes para economia circular (HILL, 2015; POMPONI e MONCASTER, 2018; HART *et al.*, 2019; BILAL *et al.*, 2020).

Do ponto de vista financeiro, as discussões giram em torno dos investimentos para operacionalizar a economia circular na cadeia produtiva e o retorno financeiro destes investimentos. Acredita-se que são necessários altos investimentos iniciais em infraestrutura, pesquisa e desenvolvimento, criação de processos de certificação e adaptação dos modelos para atender as demandas da economia circular (HOPKINSON *et al.*, 2018; KIRCHHERR *et al.*, 2018; BILAL *et al.*, 2020). Autores também revelam a falta de incentivos fiscais e que os custos dos materiais reciclados na cadeia de suprimentos costumam ser mais caros do que os

materiais virgens e apresentam menor vida útil (ADAMS *et al.*, 2017; HOPKINSON *et al.*, 2018; BILAL *et al.*, 2020).

Quanto à tecnologia, barreiras técnicas e tecnológicas são observadas na implantação dos conceitos da economia circular na construção civil, como falta de programas de treinamento e desenvolvimento adequados para os *stakeholders* das cadeias de abastecimento. Falta de um sistema de troca de informações entre as diferentes partes interessadas e de uma infraestrutura de logística reversa que auxilie na cooperação para reinserção de materiais oriundos da construção civil na cadeia produtiva. Além do desafio do gerenciamento adequado dos RCC e recuperação de materiais que muitas vezes acabam misturados uns aos outros durante a construção, o que dificulta as chances de reaproveitamento ou reciclagem, aliado à falta de padronização e especificação técnica para materiais reciclados e estruturas de reutilização (ADAMS *et al.*, 2017; HOPKINSON *et al.*, 2018; MAHPOUR, 2018; BILAL *et al.*, 2020).

A falta de engajamento entre gestores e a cadeia produtiva dificulta a inserção da economia circular no ambiente construído. Para muitas empresas, o conceito ainda recente entre os trabalhadores, há carência por treinamento e métricas de referência para implantação, acompanhamento e continuidade dos processos com inserção da economia circular (NUÑEZ-CACHO *et al.*, 2018; HART *et al.*, 2019; BILAL *et al.*, 2020). Autores revelam que para consolidar a economia circular na construção civil e melhorar a inserção e integração das práticas de redução, reaproveitamento e reciclagem dos recursos no sistema produtivo é necessário um sistema de indicadores para avaliação e medição, assim é possível acompanhar a transição e estabelecer uma referência para os tomadores de decisão quanto à aplicação da economia circular (NUÑEZ-CACHO *et al.*, 2018; MAHPOUR, 2018; BILAL *et al.*, 2020).

## **2.4 Gestão dos RCC**

Na construção civil, a gestão dos RCC caracteriza-se como um processo amplo composto por políticas públicas, leis, regulamentos que auxiliam e direcionam a atuação dos agentes do setor (NAGALLI, 2022). No Brasil, o principal instrumento normativo vigente que baliza a gestão dos resíduos sólidos é a Lei Federal nº 12.305 de 2010, que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), em que

estão dispostos os princípios, objetivos e instrumentos, bem como diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os RCC (BRASIL, 2010). Segundo descrito na PNRS, os responsáveis pela geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) devem estabelecer e operacionalizar planos de gerenciamento que garantam a coleta seletiva, recuperação e reciclagem, tratamento e destinação final adequada dos RSU no Brasil (BRASIL, 2010).

Outra normativa vigente e importante para a gestão dos RCC no Brasil é a Resolução CONAMA nº 307/2002 e respectivas atualizações, criada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em que estão estabelecidas as diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCC, incluindo a classificação dos RCC, conforme apresentado no Quadro 6.

**Quadro 6 - Classificação dos RCC conforme Resolução CONAMA nº 307/02**

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

Fonte: Adaptado de CONAMA (2002, 2004, 2011, 2012, 2015).

Segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002, a segregação dos resíduos em diferentes classes e seu encaminhamento para reciclagem e disposição final adequada são de responsabilidade dos geradores. As classes foram

estabelecidas conforme a origem dos resíduos e possibilidade de destinação, sendo que o gerenciamento dos RCC deve estar apoiado em estratégias de não geração, minimização, reutilização, reciclagem e disposição adequada.

A classificação dos RCC também está prevista na Lista Brasileira de Resíduos Sólidos, Capítulo 17, da Instrução Normativa Nº 13/2012 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). A lista brasileira é baseada na lista europeia de resíduos, cuja classificação dos resíduos ocorre de acordo com o processo ou atividade que lhe deu origem (IBAMA, 2012).

No Brasil, boa parte dos processos construtivos é manual e a execução se dá no canteiro de obras, onde é gerada a maioria dos RCC (NAGALLI, 2022). As construções brasileiras são essencialmente em alvenaria e os principais tipos de resíduos gerados são decorrentes dos materiais englobados nos projetos arquitetônico e estrutural. Segundo o IPEA (2012), lideram o *ranking* de resíduos blocos cerâmicos, concreto, madeira, telhas, pisos e seus componentes.

Em Portugal, esforços para redução e valorização dos resíduos sólidos vêm sendo feitos com objetivo de alcançar as metas impostas pela diretiva da União Europeia n.º 2008/98/CE, em que, para a construção civil, foi estabelecido que até o final de 2020, 70% dos RCC não perigosos gerados deveriam ser reutilizados ou reciclados (EPC, 2008). Segundo o último relatório de valorização dos RCC divulgado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), referente a dados de coleta de 2018, das 2.167.522 toneladas de RCC aptos para valorização, 78,24% foram efetivamente encaminhadas para valorização (APA, 2022).

Com base na diretiva europeia n.º 2008/98/CE, outras regulamentações foram criadas sobre a gestão dos RCC em Portugal, como o Decreto-Lei nº 46/2008 que estabelece o regime das operações de gestão de resíduos resultantes de obras ou demolições, a partir de práticas para prevenção e reutilização desde a coleta até a destinação final; o Decreto-Lei nº 73/2011 e o Decreto-Lei nº 102-D/2020, sendo este mais recente, que altera o regime geral da gestão de resíduos, o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro e o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos (PORTUGAL, 2008; PORTUGAL, 2011; PORTUGAL, 2020). Além dos regulamentos nacionais vigentes, a APA também contribui na divulgação de dados, estudos e documentos de referência para auxiliar na gestão dos RCC em Portugal, como o Plano Nacional de Gestão dos Resíduos, Guia de Boas Práticas para

Gestão dos RCD, Relatório Anual de Resíduos Urbanos, entre outros (APA, 2019a; APA; 2019b).

A classificação dos resíduos em Portugal segue a Lista Europeia de Resíduos (LER), que no capítulo décimo sétimo trata especificamente dos RCC de acordo com a sua composição (Quadro 7). Assim como no Brasil, em Portugal o Plano de Prevenção e Gestão de RCC/RCD é obrigatório e deve estar presente e detalhado nas empreitadas e nas concessões de obras públicas. Já em obras particulares, tal documento não é obrigatório, porém é necessária a descrição da produção dos resíduos.

**Quadro 7 – Classificação de RCD conforme LER**

<b>LER - Capítulo 17 – Resíduos de Construção e Demolição</b>	
<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
17 01	Concreto, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos
17 02	Madeira, vidro e plástico
17 03	Misturas betuminosas, alcatrão e produtos de alcatrão
17 04	Metais (incluindo ligas)
17 05	Solos (incluindo solos escavados de locais contaminados), rochas e lamas de dragagem
17 06	Materiais de isolamento e de construção, contendo amianto
17 08	Materiais de construção a base de gesso
17 09	Outros resíduos de construção e demolição

Fonte: Adaptado EPC (2014).

Nas construções em Portugal prevalece a alvenaria e os principais materiais utilizados são tijolos, concreto, cimento, agregados, ferro e aço, vidro, revestimentos cerâmicos, sendo que lideram a geração de RCC o concreto, tijolos e materiais cerâmicos (MATEUS, 2009; ANDRADE, 2009; COELHO e BRITO, 2013; SEMIKINA, 2016).

Uma variedade de regulamentações ambientais tem sido estabelecida para preservar o ambiente e garantir a correta gestão dos RCC, porém para fazer cumprir a legislação são necessários instrumentos e ferramentas de apoio que contribuam na prática para alcançar as métricas ambientais previstas e promover a sustentabilidade na gestão das construções, a exemplo das certificações ambientais.

## **2.5 Certificações ambientais**

Na construção civil, a sustentabilidade está cada vez mais em evidência nos projetos, por meio de conceitos que consideram fatores sociais, econômicos e ambientais nas suas estratégias (ALSAYYAR e JRADE, 2015; ABDELHAMEED,

2017). A tendência do setor para construção sustentável é investir em pesquisas de tecnologias que empreguem reaproveitamento de materiais e inserção de materiais naturais na construção. Por outro lado, há empresários que apostam nas construções verdes, no âmbito da edificação e do ambiente urbano, com apoio das certificações ambientais, que somam mais de 80 sistemas de certificação de construção sustentável no mundo e que, aos poucos, disseminam práticas e padrões de sustentabilidade e contribuem com o fortalecimento do desempenho ambiental de processos e produtos (CNI, 2017; MMA, 2019).

Um dos instrumentos para verificar a sustentabilidade dos empreendimentos da construção civil são as Certificações Ambientais, conhecidas internacionalmente como “*Green Building Assessments (GBA)*” ou também como “*Building Sustainability Assessment (BSA)*”, que se referem a métodos de avaliação dos edifícios com o propósito de implementar e disseminar medidas sustentáveis nos projetos de construção. Estes métodos têm como objetivo fornecer avaliações abrangentes sobre o desempenho das construções, considerando aspectos relacionados ao empreendimento, como seleção do local, desempenho energético, emissões de carbono, eficiência hídrica, qualidade do ambiente interno e consumo de materiais (HAAPIO e VIITANIEMI, 2008; MATEUS e BRAGANÇA, 2011; LU *et al.*, 2017a; CARVALHO *et al.*, 2019).

Nos últimos anos vários métodos de certificação ambiental foram desenvolvidos, alguns mais genéricos e outros adaptados às características ambientais, econômicas e socioculturais de determinada região (HAAPIO e VIITANIEMI, 2008; KAMARUZZAMAN *et al.*, 2016).

A maior parte das certificações ambientais é determinada por meio de uma avaliação, na qual são pontuadas características da construção, conforme área de estudo e parâmetros de referência. Ao final, o somatório de pontos obtido nesta avaliação resulta em uma classificação ambiental ou de sustentabilidade da construção (MATEUS e BRAGANÇA, 2011). Exemplos típicos de certificações ambientais disponíveis no mercado são BREEAM, lançado na década de 1990 por pesquisadores do *Building Research Establishment (BRE)* no Reino Unido; SBTool, desenvolvido pela *International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE)* no Canadá; LiderA de Portugal; o LEED® desenvolvido pelo *United States Green Building Council (USGBC)*; *Green Star* da Austrália, *BEAM Plus* de Hong Kong,



AQUA- HQE, de origem francesa; o *Green Building Index* (GBI) da Malásia, entre outros (MATEUS e BRAGANÇA, 2011; KAMARUZZAMAN *et al.*, 2016).

No Brasil, as certificações ambientais que vêm ganhando importância no setor da construção civil, sobretudo em projetos comerciais de alto padrão são as certificações BREEAM, LEED e AQUA-HQE, sendo as duas últimas com maior número de certificações registradas. As certificações LEED e AQUA-HQE possuem diversas dimensões a serem avaliadas em diferentes tipos de construção, e têm papel fundamental para o desenvolvimento sustentável do país (CARVALHO, 2014; CBCS, 2014).

Na Europa, o BREEAM se destaca entre os empreendimentos certificados, porém devido às diferenças e peculiaridades da construção civil, alguns países desenvolveram seu próprio método de avaliação e novas certificações foram criadas ou adaptadas, com requisitos mais próximos à realidade local. Em Portugal, por exemplo, dois métodos de avaliação ambiental foram criados, o LiderA e a adaptação do sistema internacional SBTool ao contexto português, o sistema SBTool<sup>PT</sup> (FERNANDES, 2013).

Apesar das certificações ambientais serem um dos instrumentos para avaliação da sustentabilidade das construções, os diversos tipos de indicadores que as compõem nem sempre estão correlacionados entre si ou expressam a mesma grandeza. O modo como cada um dos indicadores e parâmetros influencia na sustentabilidade não é consensual e nem imutável ao longo do tempo. Nem sempre a ferramenta que dispomos levará à solução mais sustentável e o caráter pessoal na análise dos indicadores acaba por introduzir certa subjetividade no resultado da avaliação, sendo, portanto, difícil expressar a sustentabilidade em termos absolutos (MATEUS e BRAGANÇA, 2004).

Sempre que possível, os métodos de certificação ambiental devem ponderar por um sistema de avaliação mais objetivo, que pontue todas as dimensões da sustentabilidade, mas com indicadores de mais fácil validação. Os indicadores devem ser revisados de tempos em tempos e atualizados na medida em que há novidades no setor da construção e nas normas e legislações (MATEUS, 2009).

### 2.5.1 LEED

O LEED é um sistema de classificação ambiental criado pelo *Green Building Council* (GBC) dos Estados Unidos, em 1998, com objetivo de estabelecer estratégias e padrões para criar edifícios sustentáveis. Atualmente é o método mais utilizado no mundo para avaliar o desempenho ambiental dos edifícios e fornece aos proprietários e operadores uma estrutura concisa para identificação e implementação de projetos, soluções de operação e manutenção práticas e mensuráveis de construções verdes (KAMARUZZAMAN *et al.*, 2016; SOLLA *et al.*, 2016).

A certificação LEED já passou por várias atualizações de versão desde que foi criada, a mais recente delas é a versão 4.1 que ainda não possui muitos edifícios certificados. Neste referencial teórico foi analisada a versão 4.0 que possui maior número de construções certificadas, inclusive no Brasil. Nesta versão, os projetos são analisados em nove categorias principais, conforme apresentado no Quadro 8.

**Quadro 8 - Categorias de avaliação da certificação LEED**

<b>Categorias principais de avaliação LEED</b>	
<b>1</b>	Processo integrado (IP)
<b>2</b>	Localização e transporte (LT)
<b>3</b>	Terrenos sustentáveis (SS)
<b>4</b>	Eficiência hídrica/Uso racional da água (WE)
<b>5</b>	Energia e atmosfera (EA)
<b>6</b>	Materiais e recursos (MR)
<b>7</b>	Qualidade do ambiente interno (EQ)
<b>8</b>	Inovação (IN)
<b>9</b>	Prioridade regional (RP)

Fonte: Adaptado de GBC Brasil (2019).

As categorias possuem pré-requisitos (práticas obrigatórias) e créditos (recomendações) que na medida em que são atendidos, garantem pontos à edificação. O nível da certificação é definido, conforme a quantidade de pontos adquiridos, podendo variar de 40 a 110 pontos, sendo que, o nível “Certificado” é de 40 a 49 pontos; “*Silver*” de 50 a 59 pontos, “*Gold*” de 60 a 79 pontos e “*Platinum*” de 80 ou mais pontos (GBC Brasil, 2019). Para este trabalho, a categoria de interesse é a categoria 6 que trata de Materiais e Recursos e será explorada posteriormente.

Sabe-se que há uma variedade de tipologias de construção e cada uma delas possui características próprias, porém quando se comparam empreendimentos

com mesma finalidade, observa-se que há um padrão de construção entre eles. Pensando desta forma, o GBC criou algumas variações da certificação LEED, conforme o tipo de projeto e construção, a fim de auxiliar os gestores que desejam obter a certificação ambiental dos seus edifícios (Figura 14).

**Figura 14 - Tipologias da certificação ambiental LEED**



Fonte: GBC Brasil (2019).

A primeira tipologia apresentada na Figura 14 é a LEED *Building Design and Construction* (LEED BD+C) para novas construções e grandes reformas. Esta tipologia pode ser aplicada a quase todos os tipos de projeto, desde hospitais a fábricas, *showrooms* e prédios de escritórios. A segunda tipologia é a LEED *Interior Design and Construction* (LEED ID+C), para *design* de interiores que permite o desenvolvimento de espaços internos que sejam melhores para o planeta e para as pessoas. Na sequência, a LEED *Building Operations and Maintenance* (LEED O+M), é o certificado para edifícios em operação e manutenção já existentes. Abrange empreendimentos de varejo, escolas, hospedagem, *data centers*, armazéns e centros de distribuição e edifícios em operação. A última tipologia trata da LEED *Neighborhood Development* (LEED ND), que auxilia no desenvolvimento de bairros melhores, mais sustentáveis e bem conectados. Vai além da escala dos edifícios e considera comunidades inteiras (GBC Brasil, 2019).

Segundo o GBC Brasil (2019), os benefícios da certificação LEED são:

- Econômicos: diminuição dos custos operacionais e dos riscos regulatórios; valorização do imóvel para revenda ou arrendamento; aumento na velocidade de ocupação e da retenção; modernização e menor obsolescência da edificação;
- Sociais: melhoria na segurança e priorização da saúde dos trabalhadores e ocupantes; inclusão social e aumento do senso de comunidade; capacitação profissional; conscientização de trabalhadores e usuários; aumento da

produtividade do funcionário; melhoria na recuperação de pacientes (em Hospitais); melhoria no desempenho de alunos (em Escolas); aumento no ímpeto de compra dos consumidores (em Comércio); incentivo aos fornecedores com maiores responsabilidades socioambientais, aumento da satisfação e bem estar dos usuários; estímulo a políticas públicas de fomento a construção sustentável;

- Ambientais: uso racional e redução da extração dos recursos naturais; redução do consumo de água e energia; implantação consciente e ordenada; mitigação dos efeitos das mudanças climáticas; uso de materiais e tecnologias de baixo impacto ambiental; redução, tratamento e reuso dos resíduos da construção e operação.

Segundo o último Anuário GBC Brasil divulgado em 2019, referente aos dados de 2007 a 2018, o Brasil ocupa a quarta posição entre os países e regiões, fora dos Estados Unidos, com maior área certificada LEED (Quadro 9).

**Quadro 9 – Ranking mundial de regiões com maior área certificada pela LEED**

Ranking	País/Região	Metros quadrados brutos em milhões	Número de projetos
1º	China	68,83	1.494
2º	Canadá	46,81	3.254
3º	Índia	24,81	899
4º	Brasil	16,74	531
5º	Coreia do Sul	12,15	143
*	Estados Unidos	441,6	33.632

Fonte: Adaptado de GBC Brasil (2019).

Os dados informados no Quadro 9 apontam a China como o país com maior área bruta certificada pela LEED, seguido pelo Canadá e a Índia. O Brasil obteve, aproximadamente, 17 milhões de metros quadrados brutos certificados, em mais de 530 projetos em 2018. Os Estados Unidos, não está no *ranking*, mas se mantém como o maior mercado para o LEED no mundo com quase 34.000 empreendimentos certificados. Em Portugal, segundo dados disponíveis pela USGBC (2020), o país possui 30 empreendimentos registrados para certificação LEED.

No Brasil, de 2007 a 2018, o total de registros de certificação LEED foi de 1.345, sendo 533 os empreendimentos que receberam, efetivamente, o selo de certificação. Somente em 2018 foram registradas 88 solicitações de certificação,

número três vezes maior que no ano anterior, e 68 empreendimentos foram certificados. O que mudou também foi o perfil de edificações com interesse pelo selo sustentável, antes predominado por edificações comerciais de alto padrão. Em 2018, as tipologias com maior número de registros foram: prédios comerciais, centros de distribuição, restaurantes, escritórios, shoppings, escolas e hospitais. No âmbito das certificações LEED, de 2007 a 2018, os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Minas Gerais e Rio Grande do Sul representaram 84,1% do total de certificações registradas no Brasil, demonstrando a importância destas regiões para o avanço da certificação ambiental LEED no país (GBC Brasil, 2019).

Com relação às tipologias de certificação LEED apresentadas na Figura 14, a LEED BD+C é a que recebe maior quantidade de registros no Brasil e pode ser aplicada em diferentes tipos de empreendimentos (GBC Brasil, 2019). Para projetos, novas construções ou grandes reformas de edifícios existentes, a versão mais indicada para avaliação é a LEED BD+C: *New Construction* (NC), ou seja, LEED para Projetos e Construção de Edifícios: Novas Construções.

Na LEED BD+C: NC, o gerenciamento dos RCC é avaliado na categoria de Materiais e Recursos em que são abordados o depósito e coleta de materiais recicláveis, a gestão dos RCC, a redução do impacto do ciclo de vida do edifício, a origem das matérias-primas e tipos de materiais. O quadro completo com todos os pré-requisitos e créditos desta categoria encontram-se no APÊNDICE A.

### 2.5.2 AQUA-HQE

AQUA é um processo de gestão de projeto que visa controlar os impactos de um empreendimento construtivo ou de reabilitação no ambiente externo, no conforto e na saúde dos usuários, por meio do controle dos processos operacionais, ligados às fases de pré-projeto, projeto e execução (FUNDAÇÃO VANZOLINI e CERWAY, 2018). A certificação surgiu no Brasil em 1967 e é aplicada pela Fundação Vanzolini. Em 2007 a certificação passou por uma atualização quando a Fundação Vanzolini firmou um acordo de cooperação com o CERWAY, órgão responsável pela certificação francesa *Démarche HQE (Haute Qualité Environnementale)*, HQE™, e em 2008 foi criado o Processo AQUA-HQE. Certificação com identidade e reconhecimento internacional que propõe um novo olhar para sustentabilidade nas construções brasileiras com referencial técnico desenvolvido considerando cultura,

clima, normas técnicas e regulamentação presentes no Brasil (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2019).

O processo de certificação engloba dois referenciais técnicos principais (FUNDAÇÃO VANZOLINI e CERWAY, 2018):

- Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE), que avalia o sistema de gestão ambiental implementado pelo empreendedor, o que permite acompanhar mais de perto o planejamento, a operacionalização e o controle durante todas as fases do empreendimento;
- Qualidade Ambiental do Edifício (QAE), que avalia o desempenho arquitetônico e técnico da construção nas fases de Pré-projeto, Projeto e Execução e nas rotinas de gestão predial em edifícios já em operação.

A QAE estrutura-se em 14 categorias, que podem ser agrupadas em quatro temas, conforme apresentado no Quadro 10.

**Quadro 10 - Categorias de avaliação na certificação AQUA-HQE**

Tema	Categoria	Tópico
Ambiente	1	Edifício e seu entorno
	2	Produtos, sistemas e processos construtivos
	3	Canteiro de obras
	5	Água
	6	Resíduos
	7	Manutenção
Energia	4	Energia
Conforto	8	Conforto hidrotérmico
	9	Conforto acústico
	10	Conforto visual
	11	Conforto olfativo
Saúde	12	Qualidade nos espaços
	13	Qualidade do ar
	14	Qualidade da água

Fonte: Fundação Vanzolini (2019).

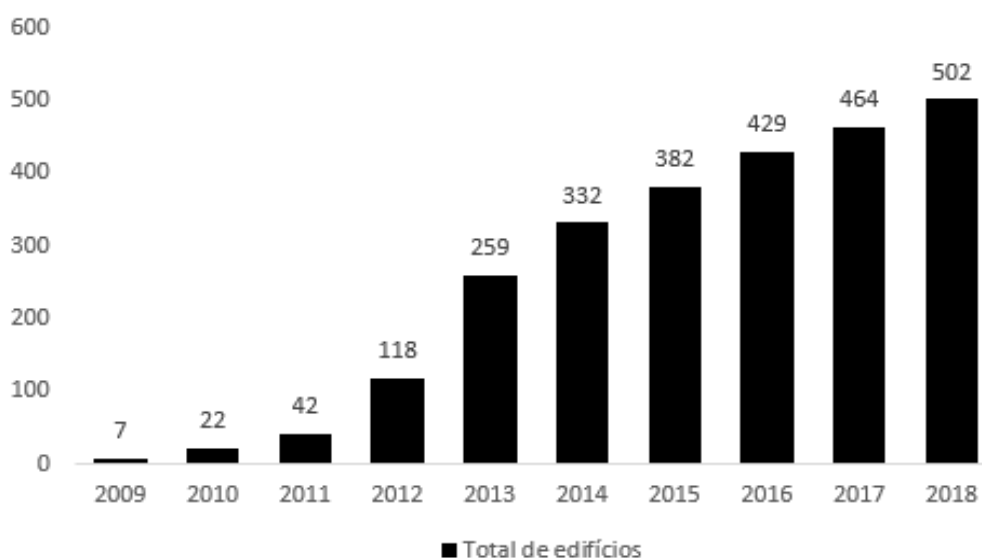
A avaliação da QAE é feita para cada uma das 14 categorias de preocupação ambiental e as classifica nos níveis “Base”, “Boas práticas” ou “Melhores práticas”, conforme perfil ambiental definido pelo empreendedor na fase pré-projeto. Para um empreendimento ser certificado AQUA-HQE, deve-se alcançar no mínimo um perfil de desempenho com três categorias no nível “Melhores práticas”, quatro categorias no nível “Boas práticas” e sete categorias no nível “Base” (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2019).

A certificação AQUA-HQE é dividida em duas tipologias principais: “Edificações em Construção” e “Edificações em Operação”, sendo a primeira

tipologia subdividida em “Edifícios Residenciais” e “Não Residenciais”. Nas “Edificações em Operação” a análise é subdividida em “Edifícios Sustentáveis”, “Gestão Sustentável” e “Uso Sustentável” (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2019).

Entre os benefícios da certificação AQUA-HQE para o empreendedor destacam-se a possibilidade de comprovar a alta qualidade ambiental das suas construções; alcance de portfólio no mercado; melhora nas vendas ou locação; melhor relacionamento com órgãos ambientais e comunidades; reconhecimento internacional, entre outros. Para o usuário a certificação contribui para economia direta no consumo de água e de energia elétrica; menores despesas condominiais; melhores condições de conforto e saúde; maior valor patrimonial ao longo do tempo; consciência de sua contribuição para o desenvolvimento sustentável (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2019). Para sociedade e o ambiente a certificação reflete em menor demanda sobre as infraestruturas urbanas e de recursos hídricos; redução da poluição; melhores condições de saúde nas edificações e aproveitamento da infraestrutura local; menos impactos à vizinhança; melhor qualidade de vida; gestão dos resíduos sólidos e gestão dos riscos (CARVALHO, 2014; HERZER e FERREIRA, 2016; FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2019). Desde que o Processo AQUA-HQE iniciou no Brasil, 502 empreendimentos já foram certificados (Figura 15).

**Figura 15 – Total acumulado de certificações AQUA-HQE no Brasil**



Fonte: Fundação Vanzolini (2019).

Dos 502 edifícios certificados, 275 são residenciais e 227 não residenciais, totalizando, aproximadamente 10 milhões de metros quadrados. No âmbito da

localização dos empreendimentos certificados no Brasil, 64,6% estão localizados no Estado de São Paulo, perfazendo total de 324 empreendimentos. O estado do Rio de Janeiro ocupa a 2ª posição com 73 empreendimentos certificados, seguido pelos estados do Ceará, com 34 edifícios, Minas Gerais com 13 e Paraná com 12 edifícios (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2019).

Entre as categorias de avaliação da certificação AQUA-HQE (Quadro 10), as mais relevantes para esta pesquisa são as categorias “3 – Canteiro de Obras” e a “6 – Resíduos”, que pertencem ao tema “Ambiente”. Ambas as categorias tratam da otimização dos sistemas de gestão de resíduos no canteiro de obras e da revalorização dos resíduos nas atividades de uso e operação. O quadro completo com os requisitos destas duas categorias encontra-se no APÊNDICE B.

### 2.5.3 BREEAM

O BREEAM surgiu em 1989 no Reino Unido e é considerado o primeiro método de certificação ambiental criado para avaliação da sustentabilidade das construções, e que serviu de base para as outras certificações (KIBERT, 2016). O BREEAM possui mais de 500 mil empreendimentos certificados em 85 países, sendo que, a maior parte dos edifícios certificados encontra-se na Europa. Em Portugal há registro de 38 empreendimentos avaliados pelo BREEAM. Já no Brasil, o método é pouco aplicado, com apenas quatro edificações certificadas (BREEAM, 2020).

O BREEAM apresenta como premissa a mitigação dos impactos do ciclo de vida dos edifícios no ambiente, permitindo que os edifícios sejam reconhecidos de acordo com seus benefícios ambientais e que o rótulo ambiental creditado seja confiável e referência, estimulando a demanda e criando valor para edifícios, produtos para construção e cadeias de suprimentos mais sustentáveis (BREEAM, 2017).

Os objetivos do BREEAM são:

- Proporcionar reconhecimento de mercado de edifícios com baixo impacto ambiental;
- Garantir que as melhores práticas ambientais sejam incorporadas ao planejamento, projeto, construção e operação de edifícios e no ambiente construído;



- Definir um padrão de desempenho robusto e econômico, superando o exigido pelos regulamentos;
- Desafiar o mercado a fornecer soluções inovadoras e econômicas que minimizem o impacto ambiental de edifícios;
- Aumentar a conscientização entre proprietários, ocupantes, projetistas e operadores sobre os benefícios e o valor dos edifícios com impacto reduzido do ciclo de vida no ambiente e;
- Elevar o progresso das organizações em relação aos objetivos ambientais corporativos.

O BREEAM pode ser aplicado em qualquer tipo de construção e há versões personalizadas para empreendimentos como “Comunidades”, “Infraestrutura”, “Novas construções”, “Edifícios comerciais em Uso” e “Reabilitação de edifícios”, além das versões adaptadas em diversos países europeus como na Holanda, Noruega, Suécia, Suíça, Espanha, Áustria e Alemanha (KIBERT, 2016; BREEAM, 2020).

Para tipologia de “Novas Construções” cuja ênfase da certificação é para empreendimentos não residenciais, a versão mais recente para avaliação é de 2016. Há uma versão mais atualizada de 2018, porém aplica-se somente ao Reino Unido. “Novas Construções” é composta por 57 requisitos de sustentabilidade, divididos em dez categorias (Quadro 11). A combinação dos créditos atribuídos com as categorias ponderadas traduz-se numa classificação do desempenho ambiental da edificação. O sistema dispõe de guias, nos quais são definidos os critérios e formas de avaliá-los, bem como uma lista de verificação. A avaliação do edifício é realizada por avaliadores indicados pelo BRE (PINHEIRO, 2006).

**Quadro 11 – Categorias BREEAM para Novas Construções**

<b>Categorias BREEAM – Novas Construções</b>	
<b>1</b>	Gerenciamento
<b>2</b>	Saúde e bem-estar
<b>3</b>	Energia
<b>4</b>	Transporte
<b>5</b>	Água
<b>6</b>	Materiais
<b>7</b>	Resíduos

<b>8</b>	Uso do solo e ecologia
<b>9</b>	Poluição
<b>10</b>	Inovação
<b>Classificação BREEAM</b>	<b>Ponderação (%)</b>
Excepcional	≥ 85
Excelente	≥ 70
Muito bom	≥ 55
Bom	≥ 45
Aprovado	≥ 30
Não classificado	< 30

Fonte: BREEAM (2017).

Na categoria de “Resíduos” encontra-se a maior parte dos requisitos relacionados à gestão dos RCC, com objetivo de reduzir o desperdício resultante da construção e operação do edifício, mudanças devido possíveis alterações climáticas, evitando-se a destinação dos resíduos em aterros (BREEAM, 2017). O quadro completo com os requisitos e indicadores desta categoria estão no APÊNDICE C.

#### 2.5.4 SBTTool<sup>PT</sup>

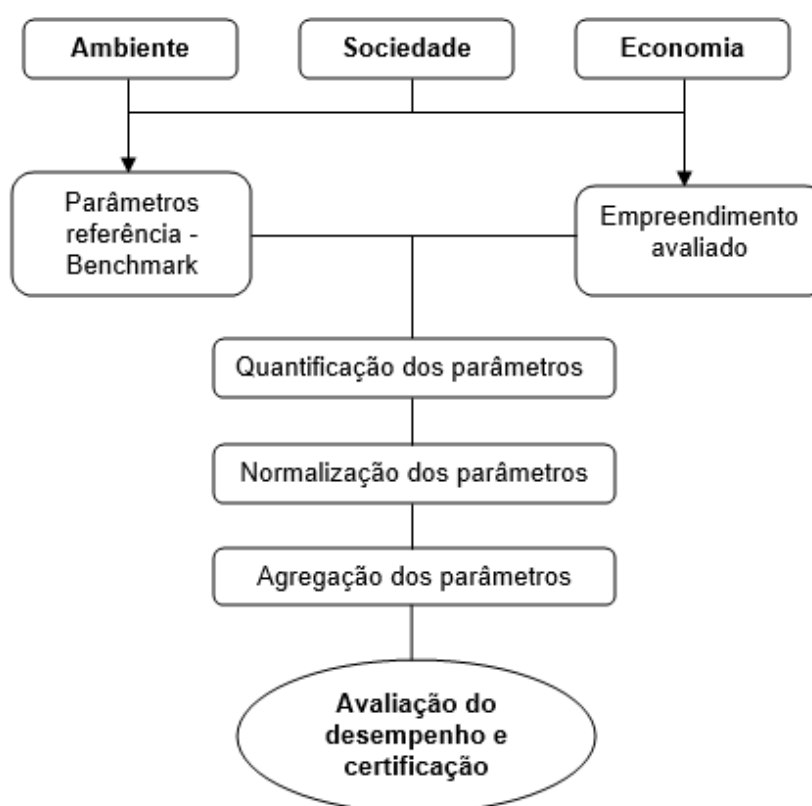
O SBTTool é um método de avaliação para construção sustentável que surgiu em 2005, a partir do método *Green Building Tool* (GBTool) e que apresenta uma estrutura genérica para classificar o desempenho ambiental do edifício, atribuindo pontuações a créditos de diversas áreas (LARSSON, 2015; iiSBE, 2020). Em 2009 o método foi adaptado para Portugal, a partir da colaboração entre a empresa Ecochoice, iiSBE de Portugal e da Universidade do Minho e recebeu o nome de SBTTool<sup>PT</sup> (MATEUS, 2009; FERNANDES, 2013).

No SBTTool, a avaliação é ponderada por fatores de acordo com o tipo de construção avaliada. O sistema fornece módulos separados para as avaliações do canteiro e do edifício nas fases de pré-projeto, projeto, construção ou operação. A estrutura do SBTTool está organizada em quatro níveis: questões de desempenho; categorias de desempenho; critérios e subcritérios de desempenho (FERNANDES, 2013; LARSSON, 2015).

No âmbito da aplicação do SBTTool<sup>PT</sup>, versão portuguesa, o processo de certificação foi desenvolvido em conformidade com as normas CEN/TC 350, do *European Committee for Standardization* (CEN), que trata da sustentabilidade das

construções. Na versão portuguesa foi estabelecida uma lista de parâmetros (critérios) e indicadores de avaliação abrangentes que englobam a maioria dos impactos significativos das construções. No SBTTool<sup>PT</sup> o desempenho do edifício não é avaliado com base em um sistema de pontuação ou escala qualitativa numérica, mas sim por fatores de ponderação, formados por uma relação entre desempenho verificado e desempenho de referência. A estrutura do método de certificação SBTTool<sup>PT</sup> (Figura 16) está dividida entre as dimensões ambiental, social e econômica (FERNANDES, 2013; LARSSON, 2015).

**Figura 16 - Estrutura do método de certificação SBTTool<sup>PT</sup>**



Fonte: Adaptado de Fernandes (2013).

A principal tipologia da certificação SBTTool<sup>PT</sup> é versão para “Habitações” composta por 25 parâmetros (critérios) de avaliação inseridos em nove categorias (Quadro 12).

**Quadro 12 – Categorias SBTool<sup>PT</sup> para tipologia de Habitações**

<b>Categorias SBTool<sup>PT</sup></b>	
<b>C1</b>	Alterações climáticas e qualidade do ar no exterior
<b>C2</b>	Uso do solo e biodiversidade
<b>C3</b>	Energia
<b>C4</b>	Materiais e resíduos sólidos
<b>C5</b>	Água
<b>C6</b>	Conforto e saúde dos utilizadores
<b>C7</b>	Acessibilidade
<b>C8</b>	Sensibilização e educação para sustentabilidade
<b>C9</b>	Custos de ciclo de vida

Fonte: Adaptado de Mateus (2009).

Entre as categorias apresentadas, o gerenciamento dos RCC faz parte da categoria C4 – Materiais e Gerenciamento de Resíduos, na qual há cinco parâmetros a serem avaliados e os respectivos pesos percentuais, ponderados com base nas referências de construções portuguesas (MATEUS, 2009). O quadro completo com os requisitos e parâmetros desta categoria do SBTool<sup>PT</sup> encontra-se no APÊNDICE D.

### 2.5.5 LiderA

A certificação ambiental LiderA, acrônimo de Liderar pelo Ambiente para construção sustentável, foi criada em Portugal no ano de 2005, por meio de um projeto cujo precursor foi Manuel Duarte Pinheiro, professor no Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, e abrange princípios e critérios associados à sustentabilidade, sociedade, economia e meio ambiente com propósito de avaliar e certificar os ambientes construídos nas fases de projeto, construção e operação (LIDERA, 2019).

No sistema, o desempenho é classificado em uma escala de 0 a 10, traduzido em letras de “A” a “G”, do mais eficiente para o menos eficiente, respectivamente (Quadro 13). Os critérios das áreas de avaliação devem ser verificados e quantificados, sendo-lhes atribuída uma classificação ambiental qualitativa de acordo com as práticas específicas do projeto existentes (FERNANDES, 2013).

**Quadro 13 - Classificação e níveis de desempenho da certificação LiderA**

Nível de desempenho	Percentual de melhoria em relação à prática usual	Nível de sustentabilidade	Atribuição da certificação LiderA
<b>A+++</b>	-	Situação regenerativa	Sim
<b>A++</b>	90%	Elevado	
<b>A+</b>	75%		
<b>A</b>	50%	Melhor prática construtiva observada até o momento	
<b>B</b>	37,5%		
<b>C</b>	25%		
<b>D</b>	-	-	Não
<b>E</b>	0% (igual)	Prática usual	
<b>F</b>	<0%	Piores níveis encontrados (abaixo da prática usual)	
<b>G</b>	<0%		

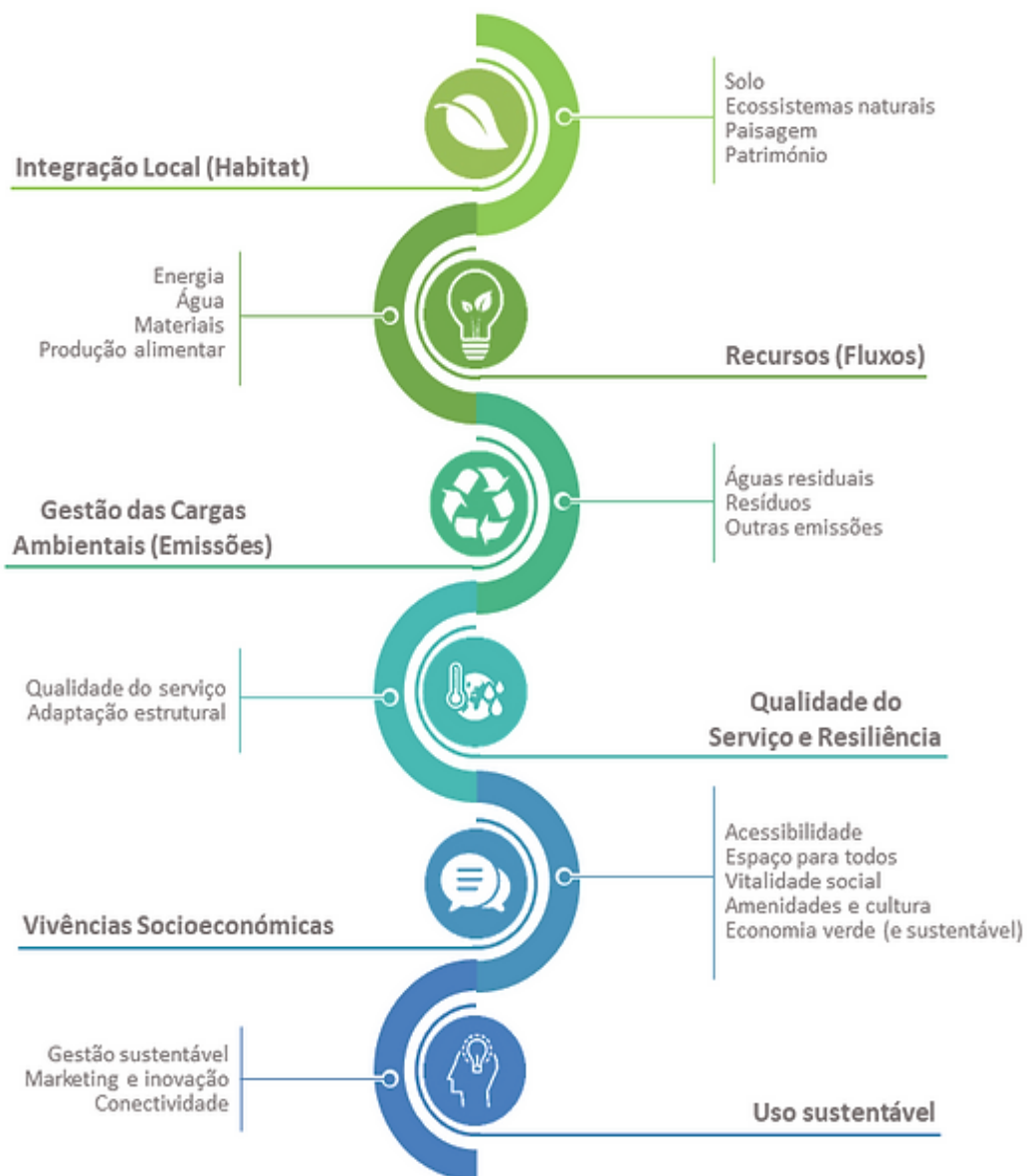
Fonte: Adaptado de Lidera (2019).

Destes níveis, a classe “E” representa a prática usual ou de referência e os demais níveis correspondem a um percentual de desempenho maior ou menor em relação ao nível “E”. Em casos excepcionais pode ser atribuído o nível “A+++”, que representa um estado regenerativo. As demais classes apresentam percentuais menores e o nível “G” é o pior desempenho ambiental, ou seja, abaixo das práticas usuais (FERNANDES, 2013; LIDERA, 2019).

A certificação apoia-se em seis vertentes (Figura 17) traduzidos em 20 áreas e 40 critérios programáticos, nos quais se avalia os ambientes construídos em função do seu desempenho, no caminho para a sustentabilidade (LIDERA, 2019).

A atribuição desta classificação ambiental qualitativa é definida por meio de um escalonamento próprio para cada critério, sendo que na base deste escalonamento estão valores de referência estabelecidos em função das práticas usuais ou de boas práticas. Estes elementos, fundamentais para todo o processo de avaliação LiderA, designam-se por limiares, que podem ser prescritivos, especificando um valor de medição concreto, ou de desempenho, apoiando-se numa eficiência percentual (FERNANDES, 2013).

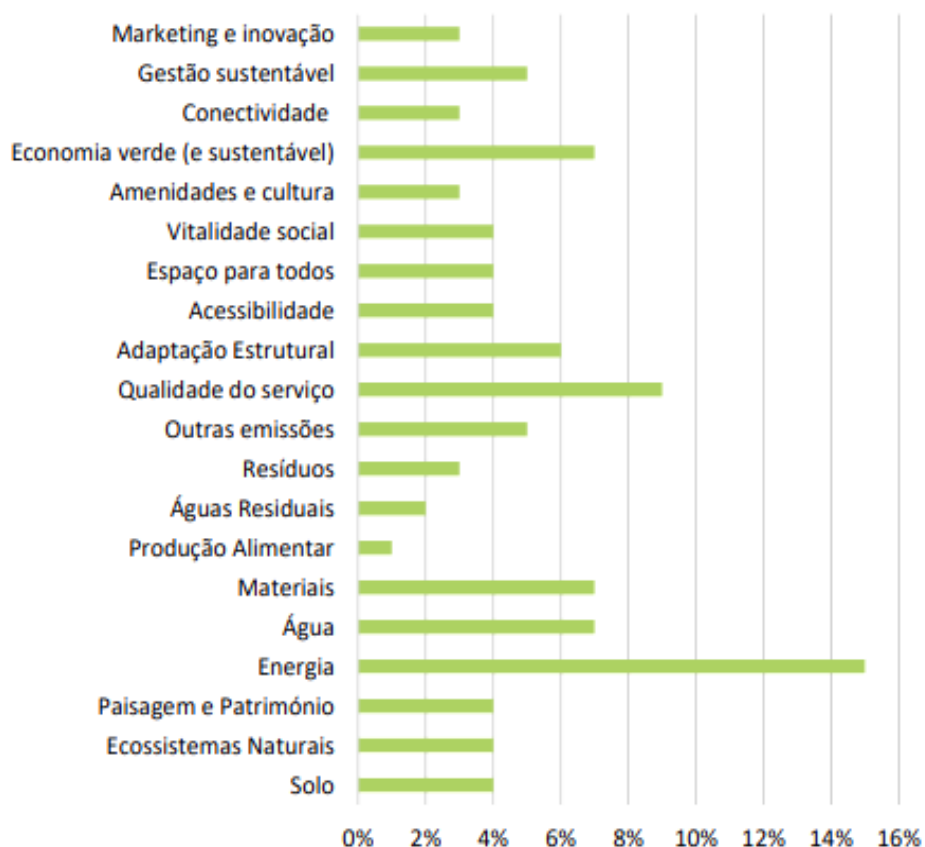
Figura 17 – Princípios da certificação LiderA e áreas de avaliação



Fonte: Lidera (2020).

No geral, dentro de cada área os critérios dispõem de igual importância pelo que o seu agrupamento permite a classificação para cada uma das 20 áreas. Para obter um valor agregado, a classificação final conjugada é obtida através da ponderação das 20 áreas (Figura 18).

Figura 18 – Ponderação para as 20 áreas do LiderA, v. 4.0



Fonte: Lidera (2019).

Conforme observado na Figura 18, a área de maior importância é Energia (15%), seguida da Qualidade do Serviço (9%) e depois um conjunto de três áreas: Água, Materiais e Economia Verde (7%). Os Resíduos representam apenas 3% do total da avaliação (LIDERA, 2019). Após a quantificação de todos os critérios, é quantificado o desempenho de cada área LiderA. Seguidamente, com os pesos de ponderação atribuídos e valores de desempenho atribuídos, encontra-se o resultado da avaliação (FERNANDES, 2013).

A gestão dos resíduos faz parte da vertente “Cargas Ambientais” e segue a hierarquia dos 4R’s (Reduzir, Reciclar, Reparar e Reutilizar). Os subcritérios deste programa estão apresentados no APÊNDICE E, e visam à redução dos resíduos, a gestão dos resíduos perigosos e a valorização dos resíduos em todas as fases do ciclo de vida do edifício (LIDERA, 2019).

Na LiderA é possível adaptar a estrutura de certificação de acordo com a tipologia construtiva. Para cada tipologia, existem diferentes limiares para os respectivos critérios que se mantêm inalterados. Apenas o escalonamento é diferenciado e adequado para a tipologia de interesse. Entre as tipologias já

consagradas estão os edifícios residenciais, locais turísticos, comerciais e de serviço (FERNANDES, 2013).

#### 2.5.6 Estudos de comparação de certificações ambientais

Na maioria dos estudos de comparação de métodos de certificação ambiental, os autores relatam certa dificuldade em comparar requisitos e indicadores, pois muitos variam entre si quanto ao conteúdo, parâmetros e informações, além da avaliação da sustentabilidade nem sempre abranger a Análise do Ciclo de Vida (ACV) ou um conjunto normalizado de categorias de impacto ambiental (MATEUS, 2009; MATEUS e BRAGANÇA, 2011).

Vazquez *et al.* (2011) compararam as categorias da certificação LEED e AQUA-HQE e verificaram que na LEED 10,10% dos requisitos pertencem à categoria de gerenciamento de obra, já na certificação AQUA-HQE 12,5% dos requisitos correspondem a esta categoria. Ao analisar os percentuais relacionados à categoria de consumo de materiais, os autores verificaram que na LEED 18,8% dos requisitos está enquadrado nesta categoria, percentual maior do que da AQUA-HQE com 12,5%. No geral, os autores observaram que o LEED é um sistema de certificação menos uniforme e que há maior percentual de requisitos dedicados à avaliação da eficiência energética. Por ser um método de certificação com origem nos Estados Unidos, é inflexível em algumas áreas, atribuindo pontuação a características do projeto e não para o desempenho do edifício. Com isso, acaba criando obstáculos no cumprimento dos requisitos, já que cada país tem seus próprios conceitos, características e dificuldades nos projetos construtivos. O oposto verifica-se na AQUA-HQE, que apresenta uniformidade nas categorias, considerando a mesma importância para todos os itens e se encaixa na realidade do local, sendo mais flexível e permitindo escolhas em favor de um melhor desempenho.

Fernandes (2013) comparou requisitos e critérios de avaliação das certificações ambientais de Portugal, LiderA e SBTTool<sup>PT</sup>, com objetivo de verificar se a pontuação atribuída por cada método gerava resultados semelhantes quanto à sustentabilidade da edificação. Tabelas de comparação e um estudo de caso auxiliaram na análise dos resultados, em que foi observado que a LiderA abrange mais aspectos relacionados à sustentabilidade nos seus requisitos, contudo os



processos de verificação e de avaliação são simplificados, o que pressupõe melhor aplicação nas fases preliminares do projeto. No entanto, avaliações muito simplificadas podem gerar resultados discutíveis, devido à falta de especificação técnica, potencializando eventuais distorções nos desempenhos avaliados. Por outro lado, SBTool<sup>PT</sup> possui operações mais complexas, menos aspectos relacionados à sustentabilidade e maior quantidade de informação a verificar, o que revela uma análise mais completa e objetiva, porém com maior aptidão de ser aplicada na fase de execução do projeto (FERNANDES, 2013).

Wu *et al.* (2016) analisaram cinco certificações ambientais com o propósito de entender como o gerenciamento dos RCC é tratado em cada método de certificação ambiental. Os autores definiram que a investigação teria base no princípio dos 3R's (redução, reutilização e reciclagem). Para tanto, cada requisito avaliado que atendesse a estes princípios receberia uma pontuação. Para facilitar a comparação dos resultados, um índice de significância, chamado *Relative Significance Index* (RSI), índice de significância relativa, foi calculado para traduzir a pontuação atingida em cada certificação em um único percentual, o que facilitou a comparação entre os métodos que possuem critérios diferentes de pontuação.

Os autores encontraram os seguintes valores de RSI para cada certificação ambiental: 10% LEED, 8,16% BREEAM, 11,5% *Green Globes* (GG), 11,84% ESGB da China e 8% GBI e concluíram que os requisitos da ESGB e GG tratam o problema de resíduos de construção mais significativamente do que outros sistemas. Ao analisar os índices separadamente, um dos resultados é de que o LEED aborda significativamente o princípio de reutilização, representando mais de 60% do total de pontos e que no BREEAM é enfatizado o princípio de reutilização (45,55%), seguido da reciclagem (38,85%) (WU *et al.*, 2016).

Chandratilake e Dias (2015) observaram que, a maioria dos requisitos dos métodos de certificação ambiental exige uma condição mínima para serem atendidos e receberem a pontuação, no entanto os edifícios que possuem algum aspecto de sustentabilidade, mas que esteja abaixo desta condição mínima ou que seja concretizado em fases diferentes do projeto, não é valorizado. Portanto, torna-se inadequado comparar o conteúdo geral de sustentabilidade da construção caso a pontuação não seja substituída por funções contínuas. Os autores então verificaram aspectos da sustentabilidade que precisavam ser avaliados e criaram indicadores quantitativos que pudessem ser normalizados com relação aos parâmetros de

referência, ponderados e somados para obter uma pontuação composta. Os indicadores foram classificados em níveis hierárquicos, conforme o estágio do ciclo de vida da construção, a fim de coletar informações sobre possíveis maneiras de melhorar o índice geral de sustentabilidade.

Lu *et al.* (2019) avaliaram os efeitos do LEED, GBEL – China e BEAM Plus – Japão no gerenciamento dos RCC. O método utilizado combinou a análise de 88 projetos certificados com entrevistas semiestruturadas com especialistas na construção civil. Os autores verificaram que é inviável, para certos tipos de projetos, atingir todos os créditos previstos nas certificações. Por exemplo, alguns critérios da LEED visam promover a reutilização de componentes dos edifícios. No entanto, devido ao baixo incentivo para reutilização e reciclagem de materiais de construção, à complexidade do processo de documentação e onerosidade dificulta o cumprimento dos créditos. Além disso, a maior parte dos projetos representa novas construções, em que o percentual de reutilização não é atingido, já que são empregados novos materiais.

Piccoli *et al.* (2010) ainda destacam que outra dificuldade no cumprimento de requisitos ambientais é o de as construtoras encontrarem empresas que realizem o reaproveitamento final de certos tipos de resíduos cuja reutilização ainda não está consolidada no mercado, tais como lã de rocha, lã de vidro e gesso e, o desafio em encontrar produtos para venda que apresentem informações claras quanto ao conteúdo reciclado que foi incorporado em sua composição durante o processo de fabricação, para então contabilizar materiais mais sustentáveis no projeto.

Em síntese, apesar dos métodos de certificação ambiental possuir particularidades de avaliação, todos apresentam o mesmo propósito de contribuir para empreendimentos mais sustentáveis.

## **2.6 Discussão da revisão bibliográfica**

A partir da revisão da bibliografia foi possível explorar as aplicações do BIM na construção civil por meio da modelagem dos projetos e da gestão das obras. Verifica-se que as pesquisas sobre os tópicos de estudo, relacionados ao BIM, abordados na revisão ainda são recentes, mas os estudos na área do gerenciamento dos RCC, certificações ambientais e interoperabilidade de sistemas estão avançando. Observa-se que os impactos que o BIM vem causando na

indústria AEC são positivos e que os profissionais estão interessados em investir nesta nova forma de gestão da informação na construção e em encontrar soluções mais sustentáveis que possam ser aplicadas nos projetos de construção.

Apesar de as certificações ambientais serem vistas como um instrumento que auxilia a alcançar a sustentabilidade nas construções verifica-se que cada método de certificação ambiental possui particularidades e maneiras distintas de medir a sustentabilidade dos edifícios. Para Sousa (2010), no BREEAM, LEED e LiderA a sustentabilidade é reconhecida por meio do cumprimento de todos os pré-requisitos e são atribuídas pontuações de acordo com o desempenho dos empreendimentos. Já no SBTool<sup>PT</sup>, a avaliação do desempenho do edifício é feita com base em um edifício de referência, e a comparação é ao nível de cada parâmetro, o que torna este sistema mais complexo e de aplicação mais morosa do que os demais (SOUSA, 2010; CARVALHO *et al.*, 2019). O AQUA-HQE, por sua vez, é composto por critérios de avaliação tanto quantitativos como qualitativos e apresenta um nível global de avaliação do desempenho sustentável (PUGLIERO *et al.*, 2015; CASAGRANDE, 2019), porém o fato dos requisitos terem sido reconfigurados para atender a legislação brasileira, limita a aplicação do método AQUA-HQE somente no Brasil (HILGENBERG, 2010; CARVALHO, 2014). No BREEAM é incentivada a utilização das melhores práticas ambientais em todas as fases do edifício, estabelecendo critérios que vão além daquilo que é imposto na legislação (SOUSA, 2010; CASAGRANDE, 2019). No LEED padrões são seguidos com objetivo de melhorar o desempenho ambiental e econômico dos edifícios e, atualmente, é referência mundial para o desenvolvimento sustentável das edificações (SOUSA, 2010, CARVALHO, 2014). Por fim, o LiderA apresenta características de desempenho semelhantes à LEED e, assim como o BREEAM, os critérios vão além do que está previsto da legislação e, por esta razão, pode ser considerado um sistema de avaliação mais completo, no entanto foi criado para atender somente a realidade do setor de construção de Portugal (PINHEIRO, 2006; SOUSA, 2010).

Cada vez mais é observada a integração de conceitos como ACV e economia circular nas pesquisas com BIM, com objetivo de mensurar os impactos em todas as etapas do ciclo de vida da construção. No tema sobre gerenciamento dos RCC, a maioria das pesquisas abrange a gestão de materiais e de recursos e, o desenvolvimento de novas ferramentas, tecnologias, formas de medição e de gestão

aliadas ao BIM, que contribuam para a diminuição da geração dos resíduos sólidos e para a minimização dos impactos resultantes de uma gestão inadequada dos RCC.

Nessa análise, é primordial a colaboração das partes interessadas envolvidas na cadeia de abastecimento para escolha de materiais mais sustentáveis, que possam ajudar na redução da produção de resíduos na fase de construção e na redução da quantidade de material descartado na fase final do ciclo de vida, possibilitando o reaproveitamento ou reciclagem destes materiais (SCHAMNE e NAGALLI, 2018).

Apesar dos benefícios já conhecidos do BIM, sua aplicação na estimativa de RCC e para auxiliar no cumprimento de créditos de certificação ambiental ainda não foi claramente definida (LU *et al.*, 2017a). Estudos indicam que o BIM pode auxiliar no cumprimento dos requisitos de sustentabilidade (AZHAR *et al.*, 2011; LIU *et al.*, 2015; KAMARUZZAMAN *et al.*, 2016), mas nem sempre os dados disponibilizados em BIM são suficientes para análise, tanto do ponto de vista quantitativo como qualitativo, além da falta de ferramentas incorporadas aos *softwares* BIM (CHONG *et al.*, 2017), o que dificulta a avaliação dos principais métodos de certificação ambiental (CARVALHO *et al.*, 2019).

Sugere-se que futuras ferramentas sejam desenvolvidas ou customizadas para suprir esta demanda e cobrir mais parâmetros e aspectos relacionados às questões sustentáveis no BIM. Diante dos diversos métodos de certificação ambiental, uma análise mais aprofundada de cada método e dos tipos de dados disponibilizados nos projetos de construção em BIM podem contribuir para soluções integradas e interoperáveis em benefício do gerenciamento dos RCC e de construções mais sustentáveis.

A incorporação de informação relativa à sustentabilidade dentro de modelos BIM, de modo a promover a realização de simulações automáticas e melhorar a troca de informação, ainda é uma abordagem pouco explorada, porém com perspectivas positivas quando aplicada já que o ganho com a interoperabilidade dos sistemas simplifica a análise e a atuação das partes interessadas no projeto. Visto que o BIM está associado à troca e ao tratamento de informação ao longo do projeto de construção, a identificação da informação a ser trocada entre as partes interessadas para a realização de análises da sustentabilidade é particularmente importante (SANTOS, 2019).

A identificação das informações requeridas para o gerenciamento dos RCC baseado em BIM facilita o entendimento de como estas informações podem ser inseridas no modelo de maneira a permitir uma análise automática e o desenvolvimento de novos aplicativos. Nesta abordagem, o desenvolvimento do IDM e MVD apresenta-se como uma alternativa para identificação das informações e dos requisitos de interoperabilidade no BIM. Sendo que, o IDM pode ser utilizado para vincular os processos realizados ao longo do ciclo de vida do edifício com as informações específicas exigidas por estes processos, que por sua vez, são convertidos em esquemas de dados no MVD.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O método de pesquisa utilizado neste trabalho foi a *Design Science Research* (DSR), que tem como base a “Ciência do Projeto” em que é valorizado o processo de gerar conhecimento ao projetar uma solução e não apenas como aplicá-la. Este método é considerado prático e voltado para criação de artefatos, como ferramentas funcionais, com objetivo de solucionar problemas específicos identificados previamente, por meio de pesquisas, discussões, experiências e elaboração de cenários (SIMON, 1996; DRESCH *et al.*, 2015).

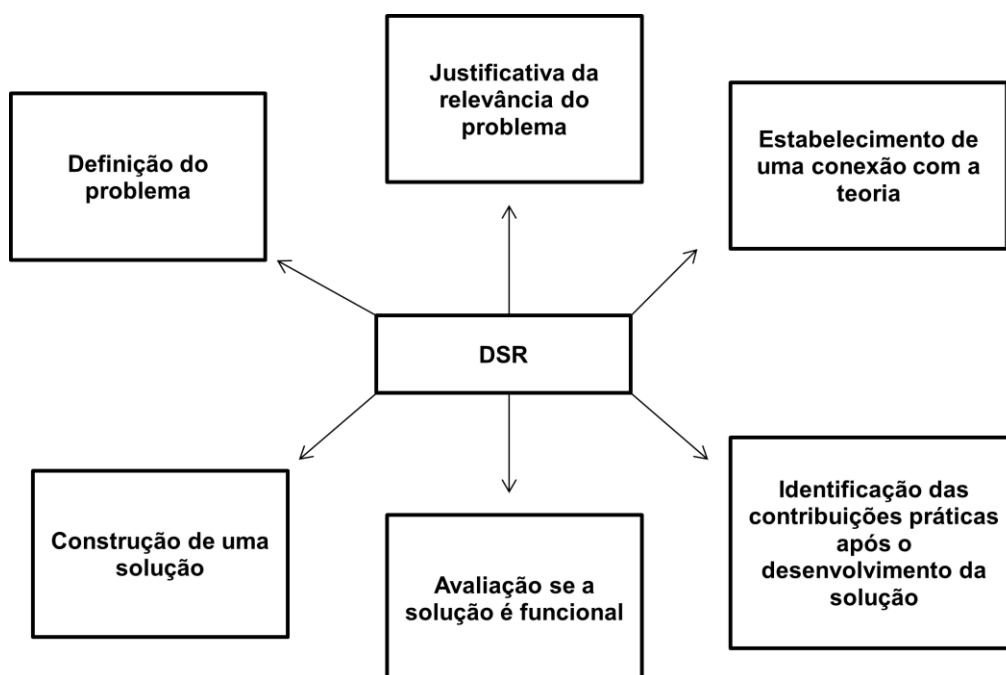
As etapas de condução da DSR envolvem a conscientização do problema; desenvolvimento de uma solução; avaliação; validação e conclusão, com a comunicação dos resultados e demonstração da contribuição da solução para o avanço no conhecimento da área (DRESCH *et al.*, 2015). Na DSR, o processo de descoberta e construção de soluções orientadas para tecnologia é valorizado. O conhecimento é usado para projetar e criar artefatos úteis, que na sequência devem ser submetidos a métodos de avaliação, a fim de verificar se a proposta de desempenho e utilidade é atendida. O entendimento obtido durante a fase de análise retroalimenta e constrói o corpo de conhecimento na área de estudo (MARCH e SMITH, 1995; MANSON, 2006). Os artefatos podem ser de diversos tipos, desde conceitos, soluções, métodos, modelos, algoritmos, protótipos, programas, ferramentas e devem trazer utilidade e inovação na solução do problema (SIMON, 1996; VAN AKEN, 2004).

Segundo Simon (1996) o artefato envolve a relação de três elementos: o propósito ou objetivo; o caráter do artefato e o ambiente em que ele deverá funcionar. Os critérios de avaliação dos artefatos projetados podem variar conforme o ambiente em que será inserido e requerem a definição de métricas apropriadas. Os artefatos podem ser avaliados em termos de funcionalidade, integridade, consistência, precisão, desempenho, confiabilidade, usabilidade, adequação à organização e outros atributos de qualidade relevantes (MANSON, 2006).

A partir da DSR, o conhecimento adquirido para projetar a solução do problema, bem como, o produto resultante da pesquisa, contribui para melhorias no ambiente e para o avanço das teorias relacionadas ao tópico de estudo (MARCH e SMITH, 1995; VAN AKEN, 2004; HOLMSTRÖM *et al.*, 2009).

Na Figura 19 estão apresentados os principais elementos da DSR.

Figura 19 – Elementos do *Design Science Research*



Fonte: Adaptado de March e Smith (1995); Dresch *et al.*, 2015.

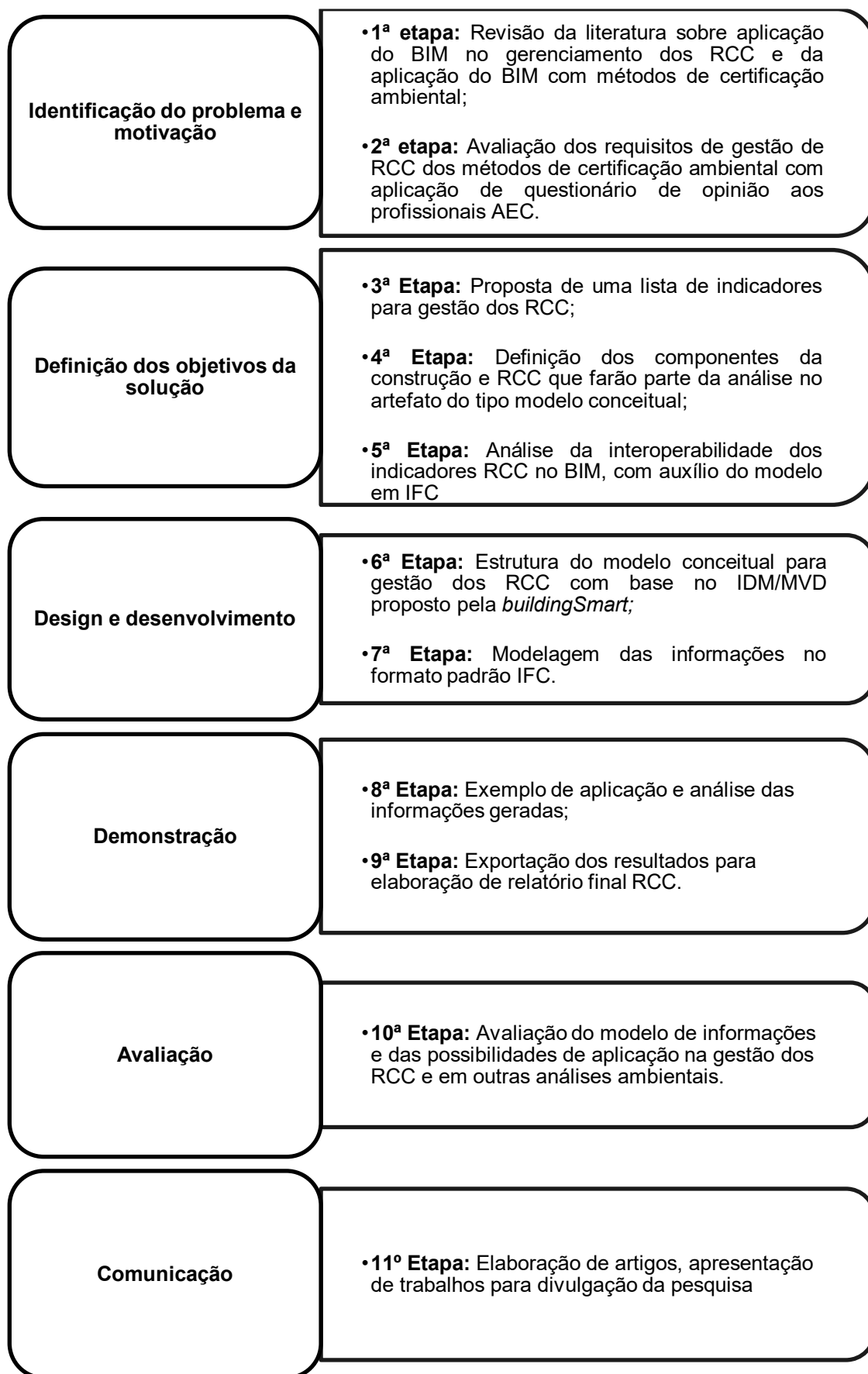
Pesquisas semelhantes demonstraram que a DSR tem sido eficaz na resolução de problemas na construção civil. A partir da DSR Silva *et al.* (2019) criaram um *plug-in* para auxiliar no cumprimento de itens da NBR 15.575/2013 (ABNT, 2013) e Miara (2020) construiu uma ferramenta para auxiliar na quantificação de RCC.

No presente trabalho, a DSR foi utilizada para desenvolver um modelo conceitual no BIM, em que foram exploradas as trocas e compartilhamento de informações necessárias para executar a gestão dos RCC a partir do modelo de construção no padrão IFC. Indicadores de RCC foram criados com base em requisitos de sustentabilidade de métodos de certificação ambiental para auxiliar na análise e verificação do modelo.

Os modelos conceituais são representações da realidade, em que são exploradas variáveis do sistema em estudo e suas relações. As relações precisam ser claramente definidas de modo a ter condições de capturar a estrutura geral da realidade, assegurando sua utilidade e a participação de especialistas naquele domínio (DRESCH *et al.*, 2015; FOWLER, 1997).

Na Figura 20 estão apresentadas as etapas da DSR que foram conduzidas nesta pesquisa, desde a definição do problema até a construção e avaliação do modelo conceitual proposto para gestão dos RCC.

Figura 20 – Delineamento da pesquisa – DSR



Fonte: Autor (2022).



Na primeira etapa do trabalho foi realizada a análise da literatura disponível sobre a aplicação do BIM no gerenciamento dos RCC e sobre a aplicação do BIM para avaliação de requisitos das certificações ambientais. Nesta fase foi iniciada a caracterização do problema e analisadas as informações disponíveis sobre o objeto pesquisado, considerando fatores que contribuem ou determinam a ocorrência dos acontecimentos.

Na segunda etapa, um questionário foi aplicado aos profissionais da construção civil com objetivo de averiguar a opinião sobre requisitos relacionados ao gerenciamento dos RCC presentes em métodos de certificação ambiental e sobre a possibilidade destes requisitos serem cumpridos com auxílio do BIM. O questionário foi aplicado no período de abril a maio de 2020 e os resultados auxiliaram na comparação dos métodos de certificação ambiental sob o ponto de vista das informações presentes, nível de detalhe, objetividade e parâmetros de medição.

Trabalhos semelhantes encontrados na revisão da literatura, como em Olawumi *et al.* (2018); Olawumi e Chan (2018); Schamne e Nagalli (2018), apontam que a participação de respondentes com conhecimento e experiência sobre determinado assunto contribui para reunir informações necessárias antes de se propor um novo método, modelo ou ferramenta que vai ajudar a solucionar o problema definido no início do trabalho. Assim, a aplicação de questionários complementa a análise do problema.

Na terceira etapa, uma nova lista de indicadores para gestão dos RCC foi proposta, com base nos resultados obtidos no questionário de opinião e nos requisitos dos métodos de certificação ambiental analisados anteriormente.

Na quarta etapa foram selecionados elementos da construção e tipos de resíduos que fariam parte do modelo conceitual. Estas informações foram definidas com base nas características da construção civil no Brasil e em Portugal, considerando os tipos de materiais utilizados, principais RCC gerados, diretrizes da legislação ambiental vigente, gerenciamento dos RCC e requisitos de sustentabilidade presentes nos métodos de certificação ambiental.

Na quinta etapa uma análise dos indicadores em nível de interoperabilidade foi realizada, com o propósito de verificar se as informações extraídas no modelo BIM são suficientes para atender as variáveis previstas nos indicadores RCC. Nesta etapa foram identificados os problemas de integração e extração de dados, com adaptações necessárias para operacionalizar o modelo conceitual.

Na sexta e na sétima etapa foi construída a estrutura representativa do modelo, com base na estrutura IDM/MVD, para atender a gestão dos RCC e foram mapeadas informações no formato padrão IFC, respectivamente. A oitava e a nona etapa serviram para analisar as informações obtidas com a aplicação do modelo conceitual e como seria a exportação dos resultados. Um exemplo de aplicação foi adotado para ilustrar a utilização do modelo.

Por fim, a avaliação do artefato na décima etapa com a verificação dos indicadores e uma discussão das possibilidades de aplicação do modelo conceitual proposto para gestão dos RCC, e posteriormente com a divulgação do trabalho para a comunidade científica e profissional, por meio da publicação de artigos, apresentação de trabalhos e compartilhamento de informações, finalizam a aplicação do DSR.

### **3.1 Delimitação do estudo**

Parte desta pesquisa foi realizada no Brasil, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), e parte em Portugal, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Para que o modelo conceitual proposto contribua para melhores práticas no gerenciamento dos RCC e para a sustentabilidade das construções em ambos os países, foi considerado durante o estudo informações/características da indústria AEC e participação de especialistas do setor da construção civil de Portugal e do Brasil.

Os métodos de certificação ambiental que fizeram parte do trabalho e que embasaram a criação de novos indicadores para a gestão dos RCC foram LEED, AQUA-HQE, BREEAM, SBTool<sup>PT</sup> e LiderA. A certificação LEED foi escolhida por ser uma certificação aplicada mundialmente e que possui mais empreendimentos certificados no Brasil. A certificação AQUA-HQE é a segunda mais representativa no Brasil e que foi adaptada para a realidade das construções brasileiras. Para representar a região da Europa e de Portugal foram escolhidas mais três certificações representativas daquela região: BREEAM que é a mais popular na Europa, SBTool<sup>PT</sup> e LiderA, que são métodos de certificação criados e adaptados para construções portuguesas.

A lista de materiais para estimativa dos RCC (Quadro 14) foi escolhida com base na classificação dos RCC disponível no Capítulo 17 da Lista Europeia de

Resíduos (LER) atualizada pela Decisão 2000/532/CE relativa à lista de resíduos em conformidade com a Diretiva 2008/98/CE Parlamento Europeu e do Conselho, com base no Decreto – Lei nº 46/2008 sobre resíduos de Portugal e, com base na Instrução Normativa nº 13, de 18 de dezembro de 2012 do IBAMA e na Resolução CONAMA nº 307 do Brasil. Os resíduos foram classificados com seu respectivo código conforme apresentado anteriormente no Quadro 7. Para os resíduos não abrangidos, especificamente, no capítulo 17, mas que porventura possam ser gerados nos canteiros de obras é possível incluir estes códigos LER na classificação. É o caso dos resíduos de código 15 01 e 20 01, que tratam de papel/papelão e de tintas/vernizes, respectivamente e que foram incluídos na lista de RCC proposta. Para classificação do material como perigoso foi consultada a Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) dos materiais, nas informações correspondentes sobre periculosidade e métodos de destinação.

**Quadro 14 – Lista de RCC para estimativa a partir do BIM**

<b>Código</b>	<b>Lista de RCC</b>
17 01	Argamassa
	Cimento
	Concreto
	Materiais cerâmicos (pisos)
	Misturas de cimento, tijolos, revestimentos, telhas e materiais cerâmicos
	Telhas
	Tijolos
17 02	Madeiras
	Plásticos
	PVC/ PET
	Vidros
17 03	Misturas betuminosas (asfalto modificado, emulsão asfáltica e mantas asfálticas)
17 04	Cabos
	Misturas de metais
	Alumínio
	Chumbo
	Cobre, bronze e latão
	Estanho
	Ferro e aço
	Magnésio
	Níquel
	Zinco
17 05	Lodo de dragagem
	Rochas, britas,
	Terras solo escavadas
17 06	Materiais de isolamento (vedantes, colas)
17 08	Materiais a base de gesso

	Gesso
17 09	Mistura de resíduos não perigosos/ outros resíduos de construção e demolição
<b>OUTROS MATERIAIS</b>	
15 01	Papel, papelão (Embalagens)
20 01	Tintas, vernizes.
<b>PERIGOSOS</b>	
17 01	(*) Misturas ou frações separadas de cimento, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos contendo substâncias perigosas
17 02	(*) Vidro, plástico e madeira, misturados ou não, contendo ou contaminados com substâncias perigosas
17 03	(*) Asfalto e produtos de alcatrão
	(*) Misturas betuminosas contendo alcatrão
17 04	(*) Cabos contendo hidrocarbonetos, alcatrão ou outras substâncias perigosas
	(*) Resíduos metálicos contaminados com substâncias perigosas
17 05	(*) Lodos de dragagem contendo substâncias perigosas
	(*) Resíduos resultantes da incineração ou tratamento térmico de solos contaminados por substâncias orgânicas perigosas
	(*) Solos e rochas contendo contaminados combifenilas policloradas (PCB)
	(*) Solos e rochas contendo outras substâncias perigosas
17 06	(*) Materiais de construção contendo amianto
	(*) Materiais de isolamento contendo amianto
	(*) Outros materiais de isolamento contendo ou constituídos por substâncias perigosas
17 08	(*) Materiais de construção à base de gesso contaminados com substâncias perigosas
17 09	(*) Outros resíduos de construção e demolição (incluindo misturas de resíduos) contendo substâncias perigosas
	(*) Resíduos de construção e demolição contendo mercúrio
	(*) Resíduos de construção e demolição contendo Polibifenilos Policlorado (PCB).
20 01	(*) Tintas, produtos adesivos, colas e resinas contendo substâncias perigosas.

Fonte: Autor (2021).

Quanto ao *software* BIM escolhido para o modelo de construção, optou-se por utilizar o Revit® da *Autodesk*. O acesso ao Revit® para fins acadêmicos é gratuito, a ferramenta permite modelagem paramétrica em 3D, extração do quantitativo dos materiais e oferece uma interface para criar extensões programáveis (WU, 2010; NGUYEN *et al.* 2016; SANHUDO e MARTINS, 2018; AUTODESK, 2020). Sob o ponto de vista da interoperabilidade, o Revit® oferece suporte à importação e exportação de dados e flexibilidade para ser utilizado com outros sistemas, o que auxilia na análise de vários critérios ao mesmo tempo e automatização de procedimentos (MÜLLER *et al.*, 2017; SANHUDO e MARTINS, 2018; MÜLLER *et al.*, 2019).

O modelo BIM requer uma especificação mínima de LOD 300, com a geometria dos objetos bem definida. O projeto executivo requer que os modelos arquitetônico e estrutural estejam detalhados com tipos de materiais e componentes utilizados. Os elementos construtivos (categorias de objeto) do modelo em Revit® escolhidos para fazer parte da pesquisa foram: revestimentos (pisos e azulejos);

paredes; portas; janelas; cobertura e guarda-corpo. Já os subgrupos que constituem os elementos, chamado de famílias, foram definidos conforme disponibilizado no projeto.

O modelo BIM foi exportado do Revit® em IFC e analisado no *Jupyter Notebook*, que é um aplicativo *web*, *open-source*, gratuito e colaborativo, caracterizado como *Integrated Development Environment* (IDE), traduzido como Ambiente de Desenvolvimento Integrado, ou seja, um programa de computador que reúne características e ferramentas de apoio ao desenvolvimento de *softwares* e serviços para computação interativa. O *Jupyter Notebook* auxilia na compilação de códigos de diversas linguagens de programação e permite adicionar informações em formato de texto. Nesta combinação, cada funcionalidade pode ser explicada de forma prática e os resultados analisados em tempo real na própria ferramenta, com a elaboração de gráficos e tabelas, por exemplo, e exportação dos resultados em diferentes formatos, incluindo IFC, planilhas eletrônicas, PDF, entre outros.

No *Jupyter Notebook* foi instalado o *IfcOpenShell*, uma biblioteca de *software* de código aberto que ajuda usuários e desenvolvedores a trabalhar com arquivos no formato IFC. A função do *IfcOpenShell* é auxiliar na conversão da geometria implícita dos arquivos IFC em geometria explícita, de modo que qualquer *software* de CAD ou pacote de modelagem possa entender (IFC OPEN SHELL, 2022). No *IfcOpenShell* a linguagem *Python* foi definida para trabalhar com os dados extraídos do modelo BIM, por isso também foi instalada o *Pandas*, que é uma biblioteca para uso em *Python* que auxilia na análise e manipulação de dados de forma flexível, com diversas funcionalidades.

Os resultados de aplicação do modelo conceitual foram compilados em um relatório para gestão dos RCC. As informações contidas no documento devem refletir o cenário avaliado com relação aos RCC e aos indicadores RCC definidos. Espera-se que o modelo conceitual proposto possa ser adaptado para todas as etapas do ciclo da construção e que os resultados contribuam para uma gestão mais eficiente dos materiais e dos resíduos, reduzindo desperdícios, maximizando as taxas de redução, reutilização e reciclagem dos RCC e melhorando os processos, com práticas mais adequadas para gestão dos RCC.

### 3.2 Aplicação do questionário profissionais AEC

Após a revisão da literatura e da escolha dos métodos de certificação ambiental representativos do Brasil e Portugal, alguns requisitos de sustentabilidade destas certificações relacionados ao gerenciamento dos RCC foram selecionados para compor o questionário de opinião aplicado aos profissionais AEC.

O questionário enviado encontra-se no APÊNDICE F e foi elaborado com auxílio da ferramenta *Google Formulário*, que é gratuita e *online*, o que facilita o envio e a participação do público em pesquisas acadêmicas. Cada seção do questionário representou um método de certificação ambiental, com seus respectivos requisitos, além de um conjunto de afirmações a serem avaliadas. As afirmações elaboradas fizeram referência à qualidade, à informação e à compreensão dos requisitos e os profissionais puderam avaliá-los em escala *Likert* de 1 a 5.

A escala *Likert* é um tipo de escala de resposta psicométrica usada habitualmente em questionários, em que os respondentes especificam seu nível de concordância com uma afirmação, escolhendo um dos valores da escala de concordância. A escala ganhou este nome devido a Rensis Likert, autor que em 1932 publicou um trabalho sobre como medir a atitude dos respondentes, utilizando este método de avaliação por escala de opinião (LIKERT, 1932).

Nesta pesquisa, a escala *Likert* utilizada vai de 1 a 5, sendo 1 definido como “discordo totalmente” e 5 definido como “concordo totalmente”. O questionário foi aplicado para auxiliar na avaliação da qualidade e na comparação dos requisitos, de modo a verificar se estes requisitos são necessários e suficientes para se atender uma gestão eficaz dos RCC no canteiro de obras e à sustentabilidade dos edifícios, segundo a opinião de especialistas. Também foi definida uma questão sobre BIM, para verificar se é possível extrair as informações solicitadas no requisito por meio do modelo em BIM.

Os critérios adotados para participação dos profissionais nesta pesquisa tiveram como referência os trabalhos de Olawumi e Chan (2018) e Olawumi *et al.* (2018). Os entrevistados elegíveis para participar deveriam atender ao menos um dos seguintes critérios: especialistas com pelo menos um ano experiência no setor de construção; profissionais que participaram de projetos atuais ou passados que

utilizaram práticas de BIM e/ou sustentabilidade ou especialistas com conhecimento e compreensão dos conceitos de BIM e/ou práticas de sustentabilidade.

As respostas do questionário foram validadas com auxílio do *software IBM SPSS*, que permite análise estatística dos dados, complementando as informações e a interpretação dos resultados. Uma das formas de se validar o questionário de uma pesquisa e verificar a consistência das respostas obtidas é por meio do cálculo do coeficiente de alfa de Cronbach. Este coeficiente foi desenvolvido por Lee J. Cronbach em 1951 e fornece uma medida razoável de confiabilidade em um único teste, sua fórmula geral permite a aplicação em questionários de múltipla-escolha (CRONBACH, 1951).

O alfa de Cronbach mede a correlação entre respostas em um questionário por meio da análise do perfil das respostas dadas pelos respondentes. Dado que todos os itens de um questionário utilizam a mesma escala de medição, o coeficiente  $\alpha$  é calculado a partir da variância dos itens individuais e da variância da soma dos itens de cada avaliador. Portanto, o alfa de Cronbach estima quão uniformemente os itens contribuem para a soma não ponderada do instrumento, variando numa escala de 0 a 1, sendo que valores iguais a 0,7 ou acima disso são considerados aceitáveis para uma análise consistente (CRONBACH, 1951; FIELD, 2013; MAROCO e GARCIA-MARQUES, 2006).

Para verificar o grau de concordância entre os grupos de especialistas, brasileiros e portugueses, foi calculado o coeficiente de concordância W de Kendall. Este coeficiente foi desenvolvido por Kendall e Babington-Smith em 1939 e indica o grau de associação das avaliações feitas por vários avaliadores, quando estes analisam as mesmas amostras (SIEGEL e CASTELLAN, 1988). O coeficiente é capaz de fornecer o grau de associação ou concordância entre as notas atribuídas por diferentes avaliadores para diferentes objetos analisados, por esta razão, é adequada sua aplicação nesta pesquisa em que a escala *Likert* foi utilizada como escala de ponderação para avaliação dos questionários.

A significância do coeficiente W de Kendall é investigada por meio da estatística F ou do Chi-Quadrado, em que os valores críticos podem ser conferidos por meio da tabela R estatística. A partir do valor do chi-quadrado e do intervalo de confiança definido, é aplicado o teste de hipótese em que a hipótese nula ( $H_0$ ) representa que as classificações são independentes, e a hipótese alternativa ( $H_1$ ) representa que as classificações estão associadas. Com valores significativos, pode-

se analisar o indicador quanto ao nível de concordância apresentado (SIEGEL e CASTELLAN, 1988; DALOSTO, 2015).

O resultado do teste expressa a associação entre o total de conjuntos de classificação realizados por mais de dois avaliadores e a confiabilidade das respostas. O valor do coeficiente de Kendall pode variar de 0 até 1, sendo que, quanto maior o valor do coeficiente, mais forte é a associação, ou seja, a concordância entre os avaliadores (SIEGEL e CASTELLAN, 1988).

A partir da revisão da literatura e do resultado do questionário aos profissionais AEC, a próxima etapa da pesquisa foi propor novos indicadores de RCC que possam ser integrados ao modelo da construção em BIM.

### **3.3 Elaboração de indicadores para gestão dos RCC**

Para Mateus (2009), a maioria dos métodos de avaliação da sustentabilidade concentra-se na análise de indicadores que resultam da associação de vários parâmetros. Entende-se por parâmetro uma propriedade quantitativa ou qualitativa, que se traduz em informação sobre um dado fenômeno. Uma vez que os resultados de uma avaliação dependem da relação entre a quantidade de indicadores e do tipo de indicadores, torna-se necessário que sejam claros e concisos.

Além disso, é fundamental entender o universo de aplicação de cada indicador, bem como o propósito, escopo e escala de utilização, e quais *stakeholders* podem influenciar no escopo da medição dentro das possibilidades de atuação que podem resultar em um progresso na área à qual cada indicador é atribuído (TURCU, 2013; LÜTZKENDORF e BALOUKTSI, 2017). Criar um sistema de indicadores por meio da seleção, identificação e definição de critérios apropriados para monitorar e avaliar a sustentabilidade é um procedimento complicado e desafiador (WAAS *et al.*, 2014; LÜTZKENDORF e BALOUKTSI, 2017).

Uma das abordagens no desenvolvimento de indicadores é a *Top-down*, “do topo para baixo”, baseada no conhecimento e na contribuição de especialistas e nas estratégias de sustentabilidade existentes, sendo que os indicadores podem ser atualizados na medida em que surgem novas demandas, circunstâncias, disponibilidade de dados ou conhecimento científico. Outra abordagem é a *Bottom-up*, “de baixo para cima”, que se baseia em conhecimentos e redes locais e envolve



o público, fornecendo base para identificação de problemas de forma mais pontual (TURCU, 2013; LÜTZKENDORF e BALOUKTSI, 2017).

Neste trabalho, a abordagem *top-down* foi adotada para criar novos indicadores a partir dos métodos de certificação ambiental que já existem e com auxílio das respostas obtidas no questionário aplicado aos especialistas da indústria AEC. Durante esta abordagem foi observado que predominam nos métodos de certificação ambiental requisitos do tipo qualitativo, cuja validação é dada por meio da apresentação de documentos, relatórios, comprovantes e informações externas ao modelo de construção. Estes tipos de requisitos são mais difíceis de ser integrados no BIM devido à variabilidade de informações necessárias e à especificidade de cada documento comprobatório. Por outro lado, informações de quantidades do projeto que podem ser obtidas diretamente do modelo são mais bem aproveitadas em indicadores do tipo quantitativo e complementam outras análises qualitativas.

A exploração de indicadores quantitativos pode gerar resultados mais palpáveis para o gerenciamento dos RCC e auxiliar os gestores na tomada de decisão por práticas mais sustentáveis na construção. Por esta razão, e aliado ao fato de que a extração de quantidades no BIM é uma funcionalidade mais flexível para análises de quantidades do modelo e para interoperabilidade por meio do IFC, neste trabalho optou-se por explorar indicadores do tipo quantitativo, a fim de contribuir diretamente na gestão dos materiais e dos RCC e ao mesmo tempo complementar possíveis análises qualitativas.

Algumas premissas foram definidas a fim de que os indicadores propostos contribuam efetivamente para a gestão dos resíduos na obra e para a sustentabilidade da construção. Assim, os indicadores devem:

- Ser de fácil medição ou cálculo;
- Ser compreensíveis, até mesmo por não especialistas;
- Representar a realidade dos canteiros de obra;
- Atender o que está previsto na gestão dos RCC;
- Ser capaz de ser cumprido com informações extraídas do BIM;
- Adaptável a todas as fases do ciclo de vida de um edifício;
- Apresentar parâmetros que permitam uma padronização contínua.

Após a definição das premissas foram analisados os requisitos supracitados das cinco certificações ambientais e identificados os principais indicadores que deveriam ser considerados e aprimorados para compor o modelo conceitual de gestão dos RCC. Esta nova lista de indicadores considerou diretrizes e regulamentos vigentes sobre gestão dos RCC, bem como as características construtivas, unidades de medida e os RCC mais comuns gerados no Brasil e em Portugal.

Nos indicadores em que se pretende estimar a quantidade de resíduos gerados por tipo de material, usualmente é adotado um Índice de Geração de Resíduos (IGR), que corresponde a um valor em percentual ou uma relação massa/volume, que quando multiplicado ao total das quantidades de materiais utilizados extraídas do modelo de construção permite estimar o total de resíduos.

Alguns exemplos de obtenção do IGR são por meio da modelagem de parâmetros e equações de geração de resíduos; pesquisa em campo com a medição dos resíduos diretamente nos canteiros de obra; com base na diferença de entrada e saída de materiais ou ainda com base no histórico de registros de obras de uma mesma empresa (PINTO, 1999; FORMOSO *et al.*, 2002; SOLÍS-GUZMÁN *et al.*, 2009; PAZ, 2019). Apesar da discussão em torno da variabilidade das taxas de geração de resíduos e dos fatores que podem influenciar na sua medição, os IGR acabam por ser uma ferramenta bastante utilizada na estimativa de resíduos. Segundo Liu *et al.* (2011) com a aplicação do IGR a medição pode ser adequada às propriedades de cada material e apropriadas conforme o propósito da medição.

De modo a representar a região de estudo, optou-se por utilizar valores IGR de pesquisas anteriores realizadas no Brasil e na Europa sobre quantificação de RCC. O valor do índice adotado corresponde à situação mais desfavorável, ou seja, que possa gerar maior quantidade de RCC. Os valores, materiais abrangidos e referências utilizadas estão apresentados no Quadro 15.

**Quadro 15 – Lista de RCC e IGR's adotados para estimativa de resíduos**

Código LER	Material	Brasil			Europa		
		IGR	Unidade	Referência	IGR	Unidade	Referência
17.01	Argamassa alvenaria	0,475	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	g			
		17,3	%	k			
	Alvenaria	1,45	kg/m <sup>2</sup>	i	58,6	kg/m <sup>2</sup>	c
		18	%	k			
Argamassa colante	g	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	g				

	Cimento	0,666	kg/kg	g			
	Concreto				40,10	kg/ m <sup>2</sup>	c
		4,7	%	k	29,3	%	d
	Blocos de concreto/leves	11	%	a	8	%	e
	Chapisco externo	0,075	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	g			
	Revestimento cerâmico de piso/parede				3,2	kg/m <sup>2</sup>	c
		19	%	a	6	%	e
	Tijolos	7	%	a	6	%	e
17.02	Madeira	4,5	%	i	8,3	%	j
		3,32	kg/m <sup>2</sup>	i			
	Plásticos	0,7	%	i	0,83	%	j
	PVC, PET				2	%	e
	Vidros				0,0014	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	l
3,5		%	f	2	%	e	
17.03	Asfalto				10	%	j
17.04	Ferro, aço, alumínio	0,19	kg/ m <sup>2</sup>	i			
		11	%	a	1	%	e
17.05	Rochas, britas, Mármore e granitos	4,4	%	f			
17.06	Materiais de isolamento (vedantes, colas)				0,04	kg/m <sup>2</sup>	h
17.08	Gesso	3,9	%	i	6,4	%	b
		0,151	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	g			
	Materiais a base de gesso (Painés de gesso acartonado, drywall)	0,196	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	g			
		7,8	%	f	3,6	%	d
17.09	Mistura de resíduos não perigosos/resíduos mistos	78,3	kg/m <sup>2</sup>	i			
15.01	Papel, papelão	0,5	%	i	1,2	%	b
20.01	Tinta interna				0,0033	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	l
		15	%	a			
	Tinta externa				0,0013	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	l
		23	%	a			
*	Resíduos perigosos	1%	i				
		0,03	kg/m <sup>2</sup>	i			

Adaptado de: a. Agopyan *et al.* (1998); b. Coelho e Brito (2011); c. Mália *et al.* (2013); d. Martinez Lage *et al.* (2010); e. Mercader-Moyano e Ramirez-de-Arellano-Agudo (2013); f. Miara (2020); g. Oliveira *et al.* (2020); h. Ortiz *et al.* (2010); i. Paz (2019); j. Pereira (2002); k. Pinto (1999); l Solís-Guzmán *et al.* (2009).

Parte dos valores encontrados para IGR estão em determinada unidade de medida e outra parte em percentual. Preferencialmente foi adotada na pesquisa valores de IGR em percentual para evitar problemas de conversão de unidades e

comprometer a análise dos indicadores. Para materiais encontrados no modelo que não tenham um valor de IGR correspondente, os valores foram adaptados, conforme materiais similares.

### 3.4 Modelagem das informações no padrão IFC

A funcionalidade de um modelo depende de certos componentes e da relação entre estes componentes (WU, 2010). Portanto, após a definição dos novos indicadores para gestão dos RCC foi realizada uma análise, em nível de estrutura, para verificar no âmbito da interoperabilidade, o potencial de uso do modelo BIM como repositório de informações para avaliação dos indicadores de RCC. Baseado no trabalho de Santos (2019), as variáveis que compõe cada indicador RCC foram classificadas em:

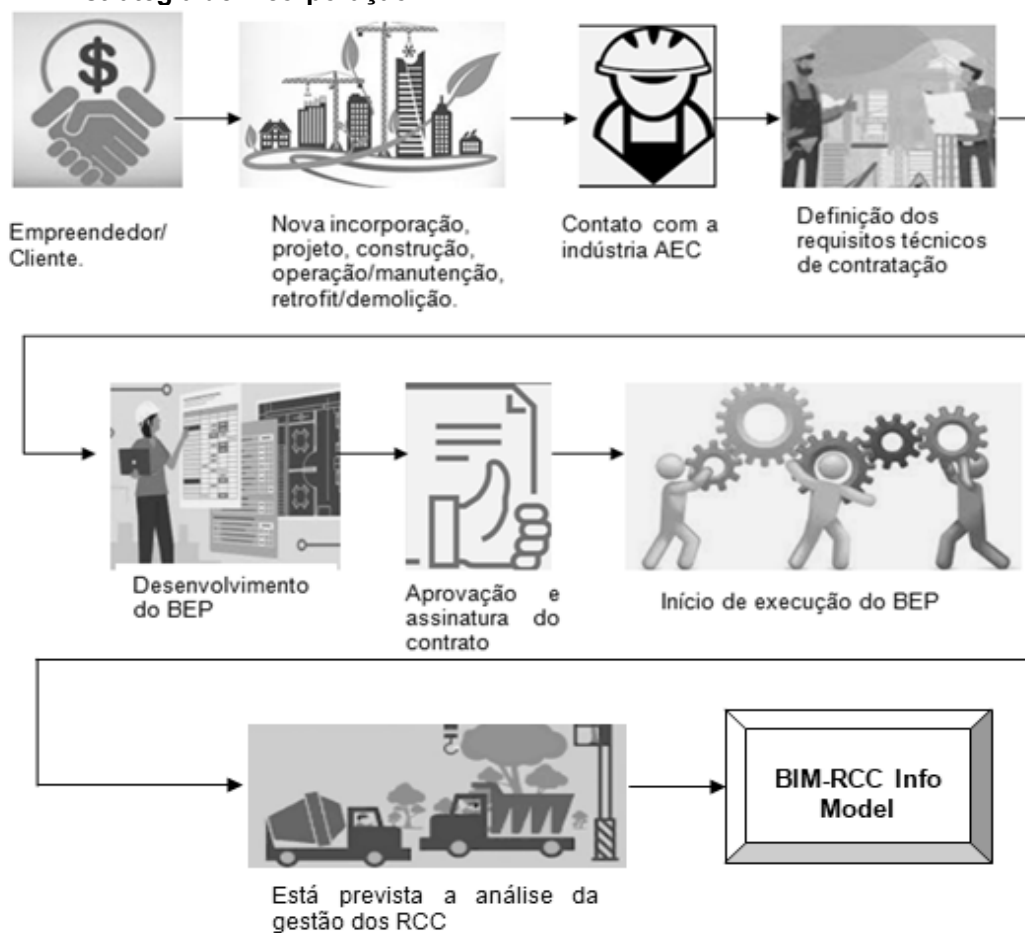
- Variável Modelo (VM): disponíveis no modelo em BIM;
- Variável Externa (VE): informações de fornecedores, prestadores de serviços, disponíveis em bancos de dados externos;
- Variável Calculada (VC): obtidas por meio de cálculo a partir das variáveis anteriores;
- Variável Qualitativa (VQ): resultado da análise sobre um critério definido e classificação.

Esta classificação foi definida para diferenciar as variáveis que compõem cada indicador RCC e para facilitar a origem da informação destas variáveis. Na análise de um indicador RCC, por exemplo, podem estar presentes variáveis cujas informações serão obtidas do modelo IFC (VM), como quantidades; variáveis com informações externas como IGR (VE) e o resultado do indicador pode gerar a estimativa de resíduos, que é uma variável calculada (VC). De posse do modelo BIM é possível verificar se os dados para cada variável estão disponíveis e se são suficientes para concluir a análise dos indicadores RCC propostos.

Antes de iniciar o desenho da estrutura do modelo, foi explorado o contexto de aplicação, ou seja, a estratégia de incorporação. Neste cenário, um cliente/empreendedor procura a indústria AEC para iniciar novo empreendimento, em nível de projeto, construção, manutenção/operação, *retrofit* ou demolição. A partir do primeiro contato com o cliente são definidos o escopo e os requisitos

técnicos da contratação desejada. Considera-se que a empresa a ser contratada utiliza o BIM no gerenciamento dos projetos e que o *BIM execution plan* (BEP) está previsto na fase pré-contratual. Após aprovação com o cliente o contrato é assinado e o BEP pode ser iniciado. Quando o BEP for iniciado, o modelo conceitual, denominado **BIM-RCC Info Model**, deve ser aplicado para orientar na execução da atividade de gestão dos RCC conforme o escopo da contratação (Figura 21).

Figura 21 – Estratégia de incorporação



Fonte: Autor (2022).

O gerente BIM deve analisar o escopo da contratação, identificar o tipo de empreendimento, qual etapas do ciclo de vida da construção vai abranger, quais especialidades, processos e análises são requeridos para elaboração do modelo BIM e definição do BEP. Na elaboração do BEP, a análise técnica da demanda do cliente é realizada conforme os requerimentos de informação adotados na empresa, conhecidos como *employer information requirements* (EIR). O plano de execução é traçado, considerando os desenhos, modelos, *softwares*, recursos e demais atividades para garantir que o cliente tenha suas necessidades atendidas.

Conforme definido no BEP, a modelagem dos projetos arquitetônico e estrutural no *software* de modelagem deve apresentar nível de detalhamento mínimo LOD 300 e o compartilhamento dos dados no formato padrão IFC. Espera-se que a partir do modelo BIM seja possível extrair informações de quantidades, dimensões e materiais ao nível de revestimentos, texturas, pinturas e acabamentos para os elementos e respectivas camadas.

A partir do projeto executivo, a análise ambiental para a gestão dos RCC pode ser aplicada. Os principais componentes desta atividade devem estar definidos no BEP para orientar o gerente BIM e demais participantes durante execução até a entrega do relatório final, conforme exemplificado no

Quadro 16. Assim que o gerente BIM verifica que há demanda para análise da gestão dos RCC, esta parte do BEP deve ser compartilhada e discutida com o responsável de meio ambiente, denominado especialista RCC, antes de iniciar a atividade.

#### Quadro 16 – Detalhamento da atividade gestão dos RCC no BEP

<b>Gestão dos RCC</b>
<p><b>Objetivo:</b> apresentar uma análise da gestão do RCC, a partir do projeto executivo, a fim de contribuir para a sustentabilidade na construção e minimização dos impactos ambientais.</p> <p><b>Participantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Gerente BIM:</b> responsável por orientar e acompanhar a execução da atividade com o especialista na área ambiental. Deverá compartilhar informações e modelos e prestar apoio necessário durante a atividade. É o aprovador do relatório final RCC antes do fechamento do BEP.</li> <li>• <b>Especialista RCC:</b> responsável com conhecimento em meio ambiente que vai executar a atividade de análise dos resíduos e assinar o relatório final com as informações solicitadas.</li> <li>• <b>Fornecedores de materiais e prestadores de serviços:</b> apoio ao especialista RCC no fornecimento de informações sobre materiais, componentes ou serviços, que não estão disponíveis no modelo BIM.</li> </ul> <p><b>Descrição:</b> levantamento da quantidade de materiais e estimativa da geração de resíduos no empreendimento por meio da análise de indicadores RCC.</p> <p><b>Tipos de informação utilizados:</b> modelo arquitetura (.ifc), modelo estrutura (.ifc), extração de quantidades de elementos, materiais, áreas e volumes (.rvt, .ifc ou .xls), lista IGR (.txt, .doc ou .xls); classificação de resíduos (código LER); índices de reciclagem, reaproveitamento ou reutilização (bancos de dados externos); indicadores RCC.</p> <p><b>Método aplicado:</b> BIM-RCC Info Model</p> <p><b>Relatório final:</b> o relatório pode ser entregue nos formatos de texto (.doc, .pdf, .xls) ou por meio de uma interface gráfica, e compartilhado em nuvem com o gerente BIM e com o cliente para validação. As informações devem refletir o cenário avaliado com relação ao RCC com apresentação de um panorama geral dos RCC gerados no empreendimento.</p>

Fonte: Autor (2022).

Além da informação específica da atividade podem ser compartilhados dados sobre o empreendimento e do escopo da contratação, como: caracterização do empreendimento; dados iniciais; área total (m<sup>2</sup>); área construída (m<sup>2</sup>); nº de pavimentos; localização; propósito do empreendimento; método construtivo etc.

Similarmente ao trabalho de Santos (2019), a estrutura IDM/MVD, cujos *templates* foram desenvolvidos e estão disponibilizados na página da *buildingSMART* (BUILDING SMART, 2021), foi adotada para elaboração do modelo conceitual, em que o mapeamento do processo e as trocas de informações foram identificados para atender a atividade de gestão dos RCC. Para o desenho do mapa do processo foi utilizado o *software Bizagi Modeler* que serve para modelagem descritiva, analítica e de execução de processos, utilizando a notação BPMN (BIZAGI, 2021).

O modelo conceitual é do tipo modelo de informação, que corresponde a uma representação de conceitos, inter-relações, conflitos, regras e operações para especificação de dados relativos a um domínio IFC em particular, em que são abordados requisitos de informação de forma partilhada e estável, seguindo uma estrutura organizada (LEE, 1999).

Portanto, na estrutura do modelo foram identificadas partes funcionais principais envolvidas no processo e, as trocas de informação e regras de negócio de cada tarefa para operacionalizar a atividade. O IFC foi usado como formato de troca de informação, de modo a oferecer suporte aberto à estrutura do modelo e para facilitar a identificação das propriedades que contém as informações necessárias para a análise dos indicadores RCC. Assim como nos trabalhos de Müller *et al.* (2017 e 2019), a verificação da interoperabilidade considerou dados, processos e diretrizes, evitando-se ao máximo perda de informações ao longo do modelo.

O BIM-RCC Info Model serviu como um guia para análises relacionadas à gestão dos RCC por meio do IFC, com a indicação do fluxo das informações, o papel dos participantes e como os resultados podem ser utilizados em benefício da gestão dos RCC e da sustentabilidade da construção.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo estão apresentados os resultados a partir da 2ª Etapa do delineamento da pesquisa DSR (Figura 20).

### 4.1 Questionário profissionais AEC

Após análise das categorias relacionadas aos RCC de cada método de certificação ambiental (APÊNDICES A, B, C, D, E), foram escolhidos 19 requisitos para compor o questionário, de modo a contribuir para objetivo do trabalho e para a análise da gestão dos RCC, dos pontos de vista qualitativo ou quantitativo (Quadro 17).

**Quadro 17 – Requisitos RCC escolhidos para análise**

<b>LEED</b>		
<b>LE1</b>	Pré-Requisito	Depósito e coleta de materiais recicláveis.
<b>LE2</b>	Pré-Requisito	Plano de gerenciamento da construção e resíduos de demolição.
<b>LE3</b>	Crédito	Redução do impacto do ciclo de vida do edifício.
	Requisito	• <b>Opção 3. Reuso de edifício e materiais</b>
<b>LE4</b>	Crédito	Gerenciamento da construção e resíduos de demolição.
<b>AQUA-HQE</b>		
<b>AQ1</b>	3.1.1.	Identificar e quantificar, por tipo, os resíduos do canteiro de obras.
<b>AQ2</b>	3.1.2.	Reduzir na fonte a produção de resíduos do canteiro de obras
<b>AQ3</b>	3.1.3.	Valorizar ao máximo os resíduos de canteiro em adequação com as cadeias locais existentes, e assegurar-se a destinação apropriada dos resíduos.
<b>AQ4</b>	3.1.4.	Otimizar a coleta, a triagem e o agrupamento dos resíduos de canteiro
<b>AQ5</b>	3.3.3.	Facilitar a reutilização no local do empreendimento das terras escavadas
<b>BREEAM</b>		
<b>BR1</b>	Wst 01	Gerenciamento dos RCC
<b>BR2</b>	Wst 02	Agregados reciclados
<b>BR3</b>	Wst 03a	Desperdício Operacional
<b>SBTool<sup>PT</sup></b>		
<b>SB1</b>	P9	Porcentagem em custo de materiais reutilizados
<b>SB2</b>	P10	Porcentagem em peso do conteúdo reciclado do edifício
<b>SB3</b>	P12	Porcentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão
<b>SB4</b>	P13	Potencial das condições do edifício para promoção da separação de resíduos sólidos
<b>LiderA</b>		
<b>LD1</b>	C19	Produção de resíduos
<b>LD2</b>	C20	Gestão de resíduos perigosos
<b>LD3</b>	C21	Valorização de resíduos

Fonte: Autor (2020).



Os questionários foram enviados a 150 profissionais da indústria AEC que atuam no Brasil e em Portugal, e no total houve a participação de 17 respondentes, sendo 13 profissionais que exercem suas atividades no Brasil (76%) e 4 profissionais que atuam em Portugal (24%).

O tempo de experiência profissional dos participantes variou de um ano até mais de 20 anos, sendo que a maior parte dos profissionais (29%) possui entre 5 e 10 anos de experiência; seguida dos profissionais que apresentam mais de 20 anos de experiência (24%); seguido dos que apresentam entre 16 e 20 anos de experiência (23%); dos profissionais com menos de 5 anos de experiência (18%) e por fim dos que possuem entre 11 e 15 anos de experiência (6%).

A maior parte dos respondentes tem formação em engenharia civil e atua em funções relacionadas a projetos de construção civil em empresas públicas, escritórios, consultorias ou construtoras. Um participante é formado em engenharia ambiental e outro em engenharia elétrica, mas atuam na área ambiental e de consultoria em BIM, respectivamente. Três participantes são docentes e pesquisadores.

No APÊNDICE G encontram-se os valores de média e desvio padrão obtidos para cada afirmação e requisito ambiental avaliado, que foram calculados no *software* estatístico SPSS, bem como os valores de alfa de Cronbach e do coeficiente de Kendall. Os valores de alfa de Cronbach encontrados foram maiores do que 0,7 e próximos de 1, o que demonstra confiabilidade do questionário e das respostas obtidas tanto por especialistas brasileiros, quanto portugueses, valores similares foram encontrados nos trabalhos de Olawumi *et al.* (2018) e Olawumi e Chan (2018). Já o nível de concordância entre os profissionais das duas nacionalidades, representado pelo coeficiente W de Kendall apresentou valores abaixo de 1 e menores do que 0,5, valor moderado para o coeficiente. Para os especialistas brasileiros foi encontrado um coeficiente W de Kendall de 0,22 e para os especialistas portugueses um W de 0,4, o que demonstra maior concordância de opinião entre as respostas dos portugueses do que entre os brasileiros. Baixos valores no coeficiente W de Kendall também foram encontrados no trabalho de Zahoor *et al.* (2017) em que 50 especialistas da construção civil participaram da pesquisa sobre fatores que contribuem para acidentes na construção civil na região do Paquistão, os valores de W variaram de 0,11 a 0,23.

Apesar da baixa participação de especialistas portugueses, comparado com o total de brasileiros, a maior parte dos valores médios de resposta revela que a opinião entre portugueses e brasileiros foi próxima, com valores variando de 3 (indiferente) a 4 (concorda parcialmente). A maior diferença de respostas é observada na última questão de avaliação de cada requisito ambiental, que trata da possibilidade de aplicação do BIM para cumprimento do requisito proposto. Nesta questão, o valor médio encontrado, conforme opinião dos portugueses, apontam para médias iguais ou acima de 3, o que indica uma opinião positiva dos portugueses sobre a aplicação do BIM no cumprimento dos requisitos ambientais. O menor valor de média é justificado, pois o número de respondentes desta questão foi menor, já que nem todos os profissionais da indústria AEC possuem conhecimento sobre BIM.

A partir dos resultados do questionário percebe-se que, ao analisar os métodos de certificação ambiental e os requisitos relacionados à gestão dos RCC verifica-se que as certificações ambientais diferenciam-se uma das outras em diversos aspectos como na maneira pela qual os requisitos devem ser cumpridos, os tipos de RCC incluídos na análise, as unidades de medida utilizadas na quantificação dos resíduos, os percentuais de reciclagem, as maneiras diferentes de considerar a sustentabilidade no canteiro de obras, a forma de validar os requisitos, entre outros. Apesar das certificações ambientais terem como propósito alcançar um nível de sustentabilidade nas construções e os requisitos relacionados a materiais e recursos terem sido criados com o objetivo de auxiliar na gestão dos RCC, verifica-se que os critérios estabelecidos nas certificações nem sempre são objetivos ou representam a realidade do local que está sendo avaliado. A dificuldade em cumprir os requisitos se deve, não somente, às particularidades da obra, mas também é encontrada na interpretação da informação solicitada e como deve ser validada.

No LEED e no BREEAM as informações descritas são mais detalhadas, o que auxilia a interpretação e o cumprimento dos requisitos. De maneira geral, o fato de estas certificações serem mais antigas, mais conhecidas e aplicadas mundialmente fez com que fossem aprimoradas ao longo dos anos por meio de diversas atualizações, o que as tornaram mais completas e amplamente divulgadas. Por outro lado, em ambas as certificações, a presença de requisitos generalistas leva a interpretações diversas, outros não especificam os resíduos que devem ser considerados, outros utilizam parâmetros de medição e valores de referência que

não são os mais adequados para certos tipos de obra. Tanto o LEED, como o BREEAM citam diretrizes europeias como parâmetro para cumprimento de alguns requisitos, o que pode dificultar o processo de certificação em regiões que não seguem estas diretrizes nos seus projetos.

Na certificação AQUA-HQE verifica-se que, apesar de ter origem em uma certificação francesa, o método foi adaptado às construções brasileiras para atender as diretrizes de gestão dos RCC vigentes no país. Isto é observado principalmente nos requisitos de classificação dos RCC, que corresponde, essencialmente, à classificação prevista na Resolução CONAMA nº 307/2002 (CONAMA, 2002) e na NBR 10.004 (ABNT, 2004). Com relação à quantificação, não é clara algumas unidades de medida que devem ser adotadas na quantificação e valorização dos resíduos. Alguns requisitos também são muito amplos e não especificam os tipos de resíduos que devem ser considerados para cumprimento do requisito.

Já nas certificações portuguesas observa-se que no SBTool<sup>PT</sup> predominam indicadores quantitativos que focam na reutilização de materiais, sendo que a maior parte dos parâmetros é medido em percentuais. Pelo fato do SBTool<sup>PT</sup> se basear em dados de referência, tipo *benchmarking*, é preciso garantir que os dados de referência sejam confiáveis, do contrário há margem para interpretações equivocadas, o que pode influenciar no nível de práticas mais ou menos sustentáveis na construção. No LiderA, por sua vez, predominam requisitos de produção, gestão e valorização dos resíduos. Para a produção a medição por kg/hab.ano pode ser inviável em regiões mais pobres e metas de redução em 50% pode ser inviável em empreendimentos em que boas práticas de sustentabilidade já são praticadas. Os resíduos perigosos são citados, porém os demais tipos de resíduos não. O método acaba por ser mais simples e com critérios mais amplos, comparado ao SBTool<sup>PT</sup>.

A maior parte dos requisitos de sustentabilidade encontrados nos métodos de certificação avaliados é difícil de ser cumprido em qualquer lugar do mundo, pois possuem características regionais e do local de origem em que foram criados. Requisitos muito amplos e com informação insuficiente, sem exemplos de aplicação, também dificultam o cumprimento.

A definição de parâmetros de referência, como índices e percentuais de reutilização e reciclagem de resíduos também é um desafio. Estes tipos de requisitos precisam ser mais flexíveis, pois nem sempre o não cumprimento de determinado

percentual ou quantidade, quer dizer que não foi adotada nenhuma ação durante a obra a favor da minimização da geração dos RCC.

Apesar de existirem diferenças nos métodos construtivos e nas diretrizes ambientais de um país para outro, a forma como o gerenciamento e gestão dos RCC são aplicados não variam em grande escala, assim como os tipos de resíduos que são gerados, o que possibilita a adaptação e criação de novos requisitos mais objetivos e mais completos que contribuam efetivamente para a gestão dos RCC e para a sustentabilidade do empreendimento.

A maioria dos especialistas respondeu que é possível utilizar dados do BIM para cumprir requisitos de sustentabilidade das certificações, porém algumas adaptações, ferramentas complementares e um banco de dados de confiança ajudariam no processo. Isto leva a perceber que hoje os projetistas acabam adaptando seus projetos para cumprir os requisitos de determinada certificação ambiental, sendo que o ideal seria que os requisitos fossem adaptados para que pudessem ser cumpridos com base nas informações extraídas do modelo em BIM.

## **4.2 Indicadores para gestão dos RCC**

A partir da revisão da literatura, da análise dos requisitos dos métodos de certificação ambiental e dos resultados do questionário com os profissionais AEC, novos indicadores foram propostos para facilitar a medição dos resíduos nas construções de forma integrada ao BIM. A preferência foi dada por indicadores do tipo quantitativo que podem ser mais bem representados pelas informações disponibilizadas no modelo em BIM.

Os indicadores foram separados em três grandes áreas relacionadas à gestão dos RCC: diagnóstico; valorização e gerenciamento (Quadro 18). Cada indicador recebeu um código de referência, acompanhado de uma breve descrição do critério de validação, se é do tipo qualitativo ou quantitativo, como pode ser cumprido e um exemplo de aplicação.

Os diferentes tipos de indicadores RCC foram harmonizados ao modelo conceitual baseado nas variáveis e no tipo de informação necessária para sua medição. Para facilitar a interoperabilidade e identificação posterior das propriedades no modelo BIM, foram elencados os parâmetros e informações necessários para cumprimento de cada indicador RCC, bem como foram definidas as variáveis de

cada um deles e respectivas unidades de medida. A classificação da variável considerou os critérios definidos anteriormente, sendo que: VM corresponde a variável obtida no modelo; VE variável externa de outras fontes que não o modelo BIM; VC variável calculada e VQ variável qualitativa, com base em um critério de classificação.

**Quadro 18 – Indicadores RCC para compor o BIM-RCC Info Model**

Diagnóstico dos RCC						
DI - 1	Quantificação dos tipos de resíduos			Tipo de variável	Unidade	Nome da variável
<b>Critério:</b>	Cálculo da quantidade de cada tipo de resíduo gerado com base na extração de quantidades de materiais disponível no projeto executivo	<b>Parâmetros/ Informações</b>	Quantidades de materiais utilizados	VM	Kg; u; m <sup>2</sup> ; m <sup>3</sup>	QM
<b>Tipo:</b>	Quantitativo (kg, m <sup>3</sup> )		Índice geral de resíduos por material	VE	Kg/ m <sup>3</sup>	IGR
<b>Como cumprir:</b>	Apresentar uma tabela contendo o tipo de material e a quantidade de resíduo gerado. Cálculo com base no IGR de referência.		Quantidade estimada de resíduos por tipo de material	VC	Kg; m <sup>3</sup>	QRCC
<b>Cálculo:</b>	QRCC=QM * IGR	<b>Exemplo:</b>	QM Vidro =20 kg; IGR= 3% QRCC Vidro= 20 * 0,03 = 0,6 kg			
DI - 2	Classificação dos RCC conforme a LER			Tipo de variável	Unidade	Nome da variável
<b>Critério:</b>	Classificação dos RCC por código LER	<b>Parâmetros/ Informações</b>	Quantidade estimada de resíduos por tipo de material	VC	Kg; m <sup>3</sup>	QRCC
<b>Tipo:</b>	Qualitativo		Classificação dos resíduos inerte, não inerte, perigoso.	VQ	-	Cód LER
<b>Como cumprir:</b>	- A partir dos RCC identificados, classificá-los com os códigos LER. - Somar resíduos de mesma classe e na mesma unidade; - Identificar o total de perigosos.		<b>Exemplo:</b>	Materiais cerâmicos – 17 01; Concreto – 17 01		

DI - 3	Relação elementos x tipos de resíduos			Tipo de variável	Unidade	Nome da variável
<b>Critério:</b>	Identificação dos componentes e dos tipos de resíduos gerados.	<b>Parâmetros/ Informações</b>	Quantidade de elementos	VM	U	QE
<b>Tipo:</b>	Qualitativo		Composição de materiais de cada elemento construtivo/objeto	VM	m <sup>2</sup> ; m <sup>3</sup>	Material
<b>Como cumprir:</b>	A partir da lista de objetos utilizada no projeto executivo, verificar os componentes que deram origem aos resíduos identificados e apresentar uma relação dos componentes e quantidade de RCC por tipo de material.		Quantidade estimada de resíduos por tipo de material	VC	Kg; m <sup>3</sup>	QRCC
			Total de resíduos por elemento	VC	Kg; m <sup>3</sup>	RCCE
		<b>Exemplo:</b>	5 portas geraram 2kg de madeira			
<b>DI - 4</b>	<b>Cálculo de RCC em função da área de construção</b>			<b>Tipo de variável</b>	<b>Unidade</b>	<b>Nome da variável</b>
<b>Critério:</b>	Cálculo da quantidade total de RCC em função da área construída. O cálculo pode ser mensal ou por fase da obra.	<b>Parâmetros/ Informações</b>	Área construída	VM	m <sup>2</sup>	AC
<b>Tipo:</b>	Quantitativo (kg,m <sup>3</sup> por m <sup>2</sup> ).		Quantidade estimada de resíduos por tipo de material	VC	kg; m <sup>3</sup>	QRCC
<b>Como cumprir:</b>	Apresentar a relação de dados de área construída versus quantidade de RCC gerado. Os dados podem ser calculados conforme cronograma ou etapa do ciclo de construção.		Quantidade total de resíduos gerados por área construída	VC	kg/m <sup>2</sup> ou m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	QRAC
<b>Cálculo:</b>	QRAC = QRR/AC *pode ser estimado por tipo de resíduo.	<b>Exemplo:</b>	QRAC = 150 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .			
<b>DI - 5</b>	<b>Reaproveitamento de materiais de outras obras</b>			<b>Tipo de variável</b>	<b>Unidade</b>	<b>Nome da variável</b>
<b>Critério:</b>	Identificação e quantificação de materiais de outras obras que serão reaproveitados no	<b>Parâmetros/ Informações</b>	Quantidade de materiais reciclados de outras	VM/VE	u; m <sup>2</sup> ; m <sup>3</sup>	QOMREC

	empreendimento atual.		obras			
<b>Tipo:</b>	Qualitativo/quantitativo (kg, m <sup>3</sup> , %).		Quantidade de materiais reutilizados de outras obras	VM/VE	u; m <sup>2</sup> ; m <sup>3</sup>	QOMREU
<b>Como cumprir:</b>	Listar e quantificar os materiais de outras obras que serão reutilizados/reciclados no novo empreendimento.	<b>Exemplo:</b>	20 kg de Agregados reciclados utilizados na cobertura de calçamento.			
<b>Valorização dos RCC</b>						
<b>VI - 1</b>	<b>Reutilização de materiais</b>			<b>Tipo de variável</b>	<b>Unidade</b>	<b>Nome da variável</b>
<b>Critério:</b>	Determinação dos tipos e da quantidade de materiais que podem ser reutilizados na própria obra ou em outro local.	<b>Parâmetros/ Informações</b>	Total de resíduos gerados que serão reutilizados.	VC	kg; m <sup>3</sup>	QRCC - REU
<b>Tipo:</b>	Qualitativo/quantitativo (kg, m <sup>3</sup> , %).		Quantidade estimada de resíduos por tipo de material	VC	kg; m <sup>3</sup>	QRCC
			Percentual de reutilização total comparado ao total de resíduos gerados	VC	%, Kg; m <sup>3</sup>	%REU
<b>Como cumprir:</b>	- Para cada tipo de resíduo gerado, calcular a quantidade e o percentual do que poderá ser reutilizado em relação ao total de resíduos gerados. %REU = QRCC-REU/QRCC	<b>Exemplo:</b>	2 m <sup>3</sup> de madeira gerados serão reaproveitados em janelas, ou seja, %REU Madeira =10% reaproveitado na própria obra.			
<b>VI - 2</b>						
<b>VI - 2</b>	<b>Reciclagem de materiais</b>			<b>Tipo de variável</b>	<b>Unidade</b>	<b>Nome da variável</b>
<b>Critério:</b>	Determinação dos tipos e da quantidade de RCC que podem ser reciclados na própria obra ou em outro local.	<b>Parâmetros/ Informações</b>	Total de resíduos gerados que serão reciclados.	VC	%, Kg; m <sup>3</sup>	QRCC- REC
<b>Tipo:</b>	Qualitativo/quantitativo (kg, m <sup>3</sup> , %).		Quantidade estimada de resíduos por tipo de material	VC	kg; m <sup>3</sup>	QRCC
			Percentual de reciclagem total comparado ao total de resíduos gerados	VC	%, Kg; m <sup>3</sup>	%REC
<b>Como</b>	- Para cada tipo de resíduo gerado, calcular a quantidade e o	<b>Exemplo:</b>	QRCC Vidro = 2m <sup>3</sup>			

<b>cumprir:</b>	percentual do que poderá ser reciclado em relação ao total de resíduos gerados. %REC = QRCC-REC/QRCC		QRCC-QREC vidro = 2m <sup>3</sup> %REC Vidro = 0,5% reciclado.			
<b>Gerenciamento dos RCC</b>						
<b>GI - 1</b>	<b>Destinação dos resíduos gerados</b>		<b>Tipo de variável</b>	<b>Unidade</b>	<b>Nome da variável</b>	
<b>Critério:</b>	Determinação da quantidade de RCC que será descartada em aterro sanitário, aterro de resíduos industriais, aterro de resíduos inertes ou para usinas de reciclagem e coprocessamento e custo aproximado.	<b>Parâmetros/ Informações</b>	Quantidade estimada de resíduos por tipo de material	VC	kg; m <sup>3</sup>	QRCC
<b>Tipo:</b>	Quantitativo (kg, t, m <sup>3</sup> ) /Qualitativo		Método de destinação	VQ	-	Tipo de destinação
<b>Como cumprir:</b>	- Calcular a quantidade de resíduos que será descartada com base na saída do material da obra, formulários de controle e de transporte de resíduos, comprovante de destinação, número de caçambas.		Percentual de destinação	VC	%	% de destinação
		Custo de destinação	VE/VC	Moeda	CD	
		<b>Exemplo:</b>	% de Coprocessamento = 10 m <sup>3</sup> /100m <sup>3</sup> = 10%	Custo de caçamba para transporte = R\$ 150/3m <sup>3</sup> CD = 10 m <sup>3</sup> x R\$ 150/3 m <sup>3</sup> = CD = R\$ 500,00		
<b>GI - 2</b>	<b>Cálculo de ganhos com reciclagem dos materiais</b>		<b>Tipo de variável</b>	<b>Unidade</b>	<b>Nome da variável</b>	
<b>Critério:</b>	Avaliar em custo percentual os benefícios da reciclagem dos materiais.	<b>Parâmetros/ Informações</b>	Total de resíduos gerados que serão reciclados.	VC/VM	%, Kg; m <sup>3</sup>	QRCC-REC
<b>Tipo:</b>	Quantitativo (moeda nacional, %).		Valor da venda de material	VE	Moeda Nacional	VREC
<b>Como cumprir:</b>	- Obtenção do custo total dos materiais utilizados, somar custo dos materiais e elementos que vão ser reciclados; - Cálculo da percentagem de um sobre o outro		Custo total dos materiais de construção utilizados	VM/VE/VC	Moeda nacional	CM
			Percentagem da venda de materiais que podem ser reciclados sobre o custo total dos materiais utilizados.	VC	%	%CMREC
		<b>Cálculo:</b>	%CMREC = QRCC-REC*VREC/CM			



GI – 3	Cálculo de ganhos com reutilização dos materiais			Tipo de variável	Unidade	Nome da variável
<b>Critério:</b>	Avaliar em custo percentual os benefícios da reutilização dos materiais.	<b>Parâmetros/ Informações</b>	Total de resíduos gerados que serão reutilizados.	VC/VM	kg; m <sup>3</sup>	QRCC - REU
			Custo de materiais e elementos construtivos que serão reutilizados	VM/VC	Moeda nacional	CMREU
<b>Tipo:</b>	Quantitativo (moeda nacional, %).		Custo total dos materiais de construção utilizados	VM/VE/VC	Moeda nacional	CM
<b>Como cumprir:</b>	- Obtenção do custo total dos materiais utilizados, somar custo dos materiais e elementos que vão ser reutilizados; - Cálculo da percentagem de um sobre o outro.		Percentagem do custo de materiais e produtos que serão reutilizados sobre o custo total dos materiais utilizados.	VC	%	%CMREU
		<b>Cálculo:</b>	$\%CMREU = [CM - (QRCC-REU*CMREU)/CM]$			

Tipo de variável: VM=variável modelo; VE=variável externa; VC=variável calculada; VQ=variável qualitativa de classificação.

Fonte: Autor (2022).

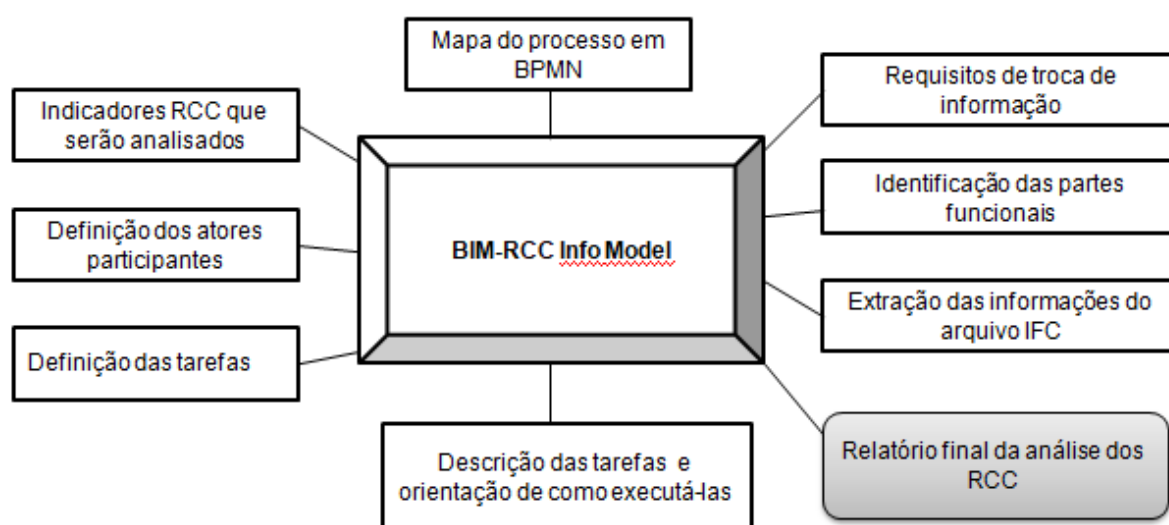
Os indicadores foram integrados na estrutura do BIM-RCC Info Model como subprocesso de gestão dos RCC (tarefa 2.7). O mapeamento dos indicadores RCC foi realizado conforme informações disponibilizadas no modelo BIM e conforme identificação dos parâmetros complementares e das propriedades IFC para cada indicador proposto.

Assim como observado por Oti *et al.* (2016), Nguyen *et al.* (2016) e Maltese *et al.* (2017), o detalhamento dos indicadores simplificou o mapeamento das informações. Como resultado da aplicação do modelo um panorama com os cálculos e análises dos indicadores RCC deve ser apresentado.

### 4.3 Estrutura BIM-RCC Info Model

A Figura 22 apresenta os principais componentes do BIM-RCC Info Model, incluindo os indicadores RCC que foram previamente definidos. Todos os elementos que compõe este modelo conceitual devem estar descritos de forma detalhada de modo a facilitar a utilização por parte dos usuários e responsáveis pela atividade de gestão dos RCC durante a execução do BEP.

Figura 22 – Caracterização do BIM-RCC Info Model



Fonte: Autor (2022).

Na sequência da elaboração do modelo conceitual foi iniciado o desenho da estrutura em que os participantes definidos para executar a atividade de gestão dos RCC foram o gerente BIM; o especialista RCC; e os fornecedores de materiais/prestadores de serviços.

- **Gerente BIM:** responsável por coordenar a execução do BEP, delegar as atividades entre os membros da equipe, prestar suporte quanto às informações do modelo BIM e acompanhar as etapas do novo empreendimento até a entrega final. Após a conclusão da análise ambiental de gestão dos RCC, o gerente BIM recebe o relatório final do especialista RCC, avalia e valida com o restante da equipe antes da entrega ao cliente;

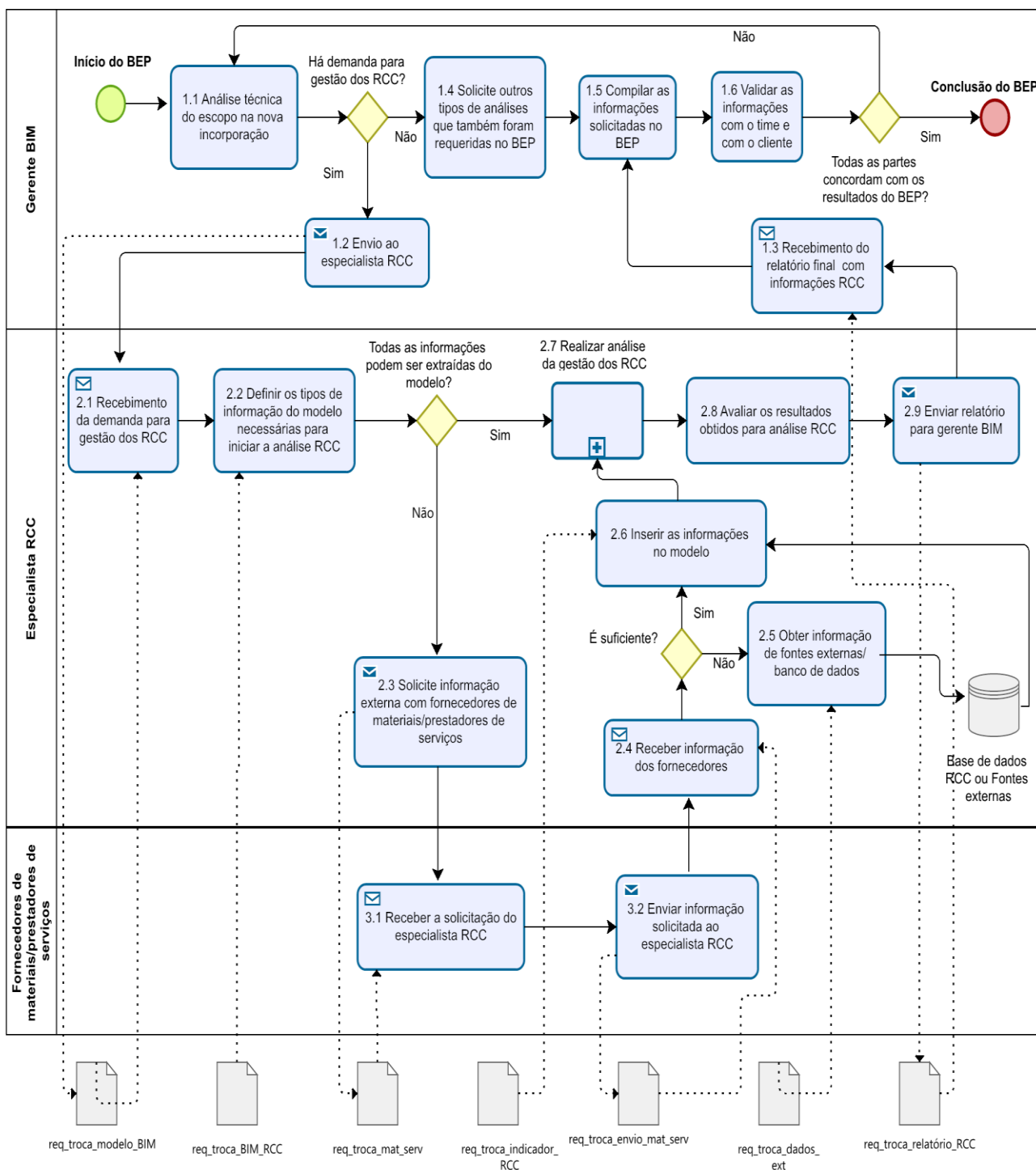
- **Especialista RCC:** responsável com conhecimento técnico na área ambiental, apto para conduzir o gerenciamento dos RCC e trabalhar com as informações compartilhadas pelo gerente BIM. Após receber a demanda para início da atividade, o especialista RCC deve verificar os dados e informações que serão necessários para realizar a análise dos resíduos e propor uma solução compatível com a demanda do cliente, conforme definido no BEP;
- **Fornecedores de materiais/prestadores de serviços:** podem prestar apoio ao especialista RCC e fornecer informações adicionais sobre materiais, componentes ou serviços, que não estão disponíveis no modelo BIM, como valores de coleta, destinação, tipos de materiais com rotulagem ambiental, materiais reciclados, valores de compra e venda de materiais, dados de vida útil etc.

O mapa do processo descrito na Figura 23 é o componente principal do BIM-RCC Info Model, com auxílio da notação BPMN conforme recomendação da *buildingSmart*, o mapa representa de forma gráfica o fluxo da atividade da gestão dos RCC e as tarefas que fazem parte deste processo. As atividades estão distribuídas em três *pools*, um para cada participante onde devem ocorrer trocas de informação necessárias para análise dos RCC.

A especificação do processo apresentada no Quadro 19 complementa o modelo conceitual e orienta a equipe na execução da atividade da gestão dos RCC. As informações descritas detalham o fluxo do processo desenhado e as tarefas a serem executadas pelos atores envolvidos na atividade. Além da descrição das tarefas foram explorados os requisitos de trocas de informação, identificação das partes funcionais, bem como a caracterização dos componentes.

A partir do início da execução do BEP, o gerente BIM identifica que uma das demandas do cliente para o novo empreendimento é uma análise ambiental sobre os resíduos e dá-se início à utilização do BIM-RCC Info Model. A análise propriamente dita dos indicadores RCC é realizada em um subprocesso no *pool* do especialista RCC quando o especialista possui todas as informações necessárias para avaliar os indicadores e elaborar o relatório final da gestão dos RCC.

Figura 23 – BIM RCC-Info Model



Quadro 19 - Especificação do processo e das trocas de informação BIM-RCC

<b>POOL: Gerente BIM</b>	
<b>Início do fluxo: Implementação do BEP</b>	
<b>1.1 Análise do escopo técnico da nova incorporação</b>	
<b>Tipo</b>	Tarefa
<b>Nome</b>	Analisar o escopo técnico da nova incorporação
<b>Descrição</b>	<p>Firmada a nova incorporação, o gerente BIM inicia a execução do BEP com a delegação das tarefas e acompanhamento das atividades previstas, que serão realizadas por diversos especialistas em diferentes fases do ciclo da construção. Nesta primeira etapa, o gerente BIM deve analisar o escopo técnico da nova contratação e elencar quais as análises, estudos, modelos serão necessários para atender a demanda do cliente até a entrega final do projeto.</p> <p>Usualmente os projetistas iniciam a elaboração dos modelos arquitetônico e estrutural, que compõe o projeto executivo, e que contém informações sobre dimensionamento, materiais e quantidades, seguido da modelagem de outras especialidades (hidráulica, elétrica, ventilação, ...). Nesta fase da modelagem, o gerente BIM pode identificar conflitos ou problemas de compatibilidade entre os modelos, e deve entrar em contato com o responsável de cada especialidade para providenciar as alterações e correções necessárias.</p> <p>Caso o gerente BIM identifique no escopo técnico, a necessidade por uma análise ambiental, relacionada ao gerenciamento dos resíduos, ele deve encaminhar esta demanda para o especialista RCC designado e apto para realizar tal atividade (tarefa 1.2). Este profissional pode fazer parte do corpo técnico da própria empresa contratada ou ser um prestador de serviço externo.</p>
<b>Ponto de Decisão: Há demanda para gerenciamento dos RCC?</b>	
<b>Tipo</b>	Evento exclusivo
<b>Nome</b>	Existe alguma demanda relacionada ao gerenciamento dos RCC?
<b>Descrição</b>	O primeiro <i>gateway</i> foi definido para delinear a decisão do gerente BIM sobre necessidade ou não de conduzir uma análise ambiental de gerenciamento dos RCC. Se sim, a próxima tarefa do processo é a 1.2, que é o envio da atividade para o especialista RCC. Se não, o gerente BIM segue para a tarefa 1.4, que corresponde a continuar a execução do BEP e solicitar outros tipos de análises.
<b>1.2 Envio ao especialista RCC</b>	
<b>Tipo</b>	Tarefa de envio
<b>Nome</b>	Enviar ao especialista RCC
<b>Descrição</b>	<p>Após verificar que o gerenciamento dos RCC faz parte do escopo da nova contratação, o gerente BIM entra em contato com o especialista e encaminha a demanda para realizar esta atividade.</p> <p>Com base na sua experiência, o gerente BIM pode selecionar e enviar ao especialista RCC os modelos e informações que julgar necessários para auxiliar no gerenciamento dos resíduos. Informações complementares sobre dimensão, propósito, método construtivo empregado e lista de materiais também podem ser fornecidas para contextualizar e melhorar o entendimento do projeto por parte do especialista RCC.</p> <p>O arquivo IFC do modelo escolhido pelo gerente BIM para ser analisado deverá ser exportado do <i>software</i> de modelagem e importado no <i>Jupyter Notebook</i> para iniciar a leitura dos dados. Por meio da programação em <i>Python</i> e com auxílio do <i>IfcOpenshell</i> é possível programar a leitura do arquivo e a exportação dos resultados em <i>data frames</i> e planilhas, o que facilita a manipulação dos dados posteriormente pelo especialista RCC.</p>
<b>1.3 Recebimento do relatório RCC</b>	

<b>Tipo</b>	Tarefa de recebimento
<b>Nome</b>	Receber relatório RCC
<b>Descrição</b>	<p>Depois que o especialista conclui a análise de gerenciamento dos RCC, um documento deve ser entregue ao gerente BIM com os resultados detalhados da análise. O formato de entrega e o compartilhamento das informações podem ser definidos previamente ainda no BEP, como um relatório, modelo, planilha, base de dados, ou outro formato.</p> <p>O relatório de gerenciamento dos RCC deve conter as seguintes informações:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de elementos, componentes e quantidades presentes no projeto;</li> <li>• Tipos de materiais e quantidades utilizados;</li> <li>• Lista de variáveis utilizadas para cálculo dos indicadores RCC propostos;</li> <li>• Análise dos indicadores RCC;</li> <li>• Representação em forma gráfica dos resultados;</li> <li>• Cenários para tratamento e destinação dos RCC;</li> <li>• Informações sobre os resíduos no modelo BIM.</li> </ul>
<b>1.4 Solicitação de outras análises e tarefas previstas no BEP</b>	
<b>Tipo</b>	Tarefa
<b>Nome</b>	Solicitar outras análises ou tarefas conforme previsto no BEP
<b>Descrição</b>	Se o gerenciamento dos RCC não está previsto no escopo da contratação, o gerente BIM deve solicitar demais análises e atividades previstas no BEP. O gerente BIM vai acompanhar todas as etapas do plano de execução da nova incorporação até entrega final.
<b>1.5 Compilação das informações e resultados previstos no BEP</b>	
<b>Tipo</b>	Tarefa
<b>Nome</b>	Compilar informações solicitadas no BEP.
<b>Descrição</b>	<p>Na medida em que o BEP avança, informações, modelos, documentos e tarefas são executados até a entrega final da incorporação. O gerente BIM deve acompanhar o BEP em todas as etapas do ciclo de construção e reunir as informações e documentos até o fechamento.</p> <p>Após o especialista RCC finalizar a análise relacionada ao gerenciamento dos RCC, o documento final com as informações pertinentes retorna para o gerente BIM antes da validação com a equipe e com o cliente.</p>
<b>1.6 Validação das informações e resultados com a equipe e com o cliente</b>	
<b>Tipo</b>	Tarefa
<b>Nome</b>	Validar as informações e resultados da entrega final com a equipe e com o cliente
<b>Descrição</b>	<p>Antes de encerrar o BEP é feito um apanhado geral das atividades e discutidas e validadas as informações, resultados e entregas com a equipe e com o cliente.</p> <p>Nesta etapa, o gerente BIM discute se a entrega sobre gerenciamento dos RCC foi realizada de forma correta e se atende ao que foi solicitado pelo cliente.</p>
<b>Ponto de Decisão: Todas as partes concordam com os resultados do BEP para a nova incorporação?</b>	
<b>Tipo</b>	Evento exclusivo
<b>Nome</b>	As partes concordam com resultados da implantação do BEP para a nova incorporação?
<b>Descrição</b>	<p>Este <i>gateway</i> representa a última decisão do mapa de processo BIM-RCC. Representa a decisão que o gerente BIM deve tomar em conjunto com a equipe sobre a conclusão do BEP e com o cliente sobre a entrega da incorporação.</p> <p>Se as partes estiverem de acordo, toda documentação relevante deve ser entregue ao cliente e o BEP é concluído. Se a decisão for negativa, o gerente BIM deve retornar à</p>

	<p>tarefa 1.1 e entrar em contato com as áreas que precisam fazer alterações ou completar informações no modelo BIM. Depois de atualizado, o gerente BIM valida novamente com a equipe e com o cliente, até concluir com sucesso o BEP para a nova incorporação.</p> <p>Esta decisão se aplica a todas as especialidades, incluindo a análise relacionada aos RCC.</p>
<b>Fim do fluxo:</b>	Conclusão do BEP
<b>POOL: Especialista RCC</b>	
<b>2.1 Recebimento da demanda para gerenciamento dos RCC</b>	
<b>Tipo</b>	Tarefa de recebimento
<b>Nome</b>	Receber a demanda relacionada ao gerenciamento dos RCC
<b>Descrição</b>	<p>O especialista RCC recebe do gerente BIM a solicitação para realizar a análise com relação aos resíduos. Este envio deve vir acompanhado de orientações e informações sobre o empreendimento disponíveis no BEP.</p> <p>O gerente BIM e o especialista também devem decidir em qual formato será entregue o relatório final sobre os RCC (tarefa 2.9). O compartilhamento das informações pode ser realizado por texto, planilha, PDF, arquivo Revit, nuvem, IFC, ou outro formato desejado.</p> <p>Nesta tarefa de recebimento 2.1, o gerente BIM deverá compartilhar parte dos modelos para que o especialista consiga trabalhar com dados de quantidades, materiais ou outras informações que julgar importantes para análise dos RCC.</p> <p>As informações que o especialista deverá receber são:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Informações básicas do empreendimento: nome, localização, dados de contato do cliente, escopo da contratação, descrição do empreendimento, dimensão, informações adicionais;</li> <li>• Descrição da atividade e objetivo, conforme definido no BEP;</li> <li>• Lista de indicadores RCC para referência;</li> <li>• Modelo BIM no formato IFC, com informações do projeto executivo ou extração dessas informações em planilha compartilhada;</li> <li>• Lista de materiais e fornecedores, caso não esteja no modelo.</li> </ul> <p>O gerente BIM fica disponível para eventuais dúvidas e esclarecimentos que o especialista venha precisar durante a realização desta tarefa.</p>
<b>2.2 Definição das informações do modelo necessárias para o gerenciamento dos RCC</b>	
<b>Tipo</b>	Tarefa
<b>Nome</b>	Definir os tipos de informação do modelo necessária para iniciar a análise de gerenciamento dos RCC
<b>Descrição</b>	<p>Antes do especialista RCC iniciar a tarefa, é necessário verificar a demanda do gerente BIM e decidir qual abordagem será adotada para realizar o gerenciamento dos RCC.</p> <p>Durante a verificação das informações incluídas no modelo BIM nesta tarefa 2.2, o especialista deverá ler os elementos e materiais, e observar os parâmetros compartilhados em cada objeto. O especialista deve identificar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipos de elementos (pisos, paredes, portas, janelas, forros, cobertura, pilares, vigas, fundação, armaduras, guarda-corpo, etc);</li> <li>• Nome do elemento (se parede interna ou externa);</li> <li>• Espessura do elemento;</li> <li>• Área do elemento;</li> <li>• Volume do elemento;</li> <li>• Densidade do elemento (kg/m<sup>3</sup>);</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quantidade.</li> </ul> <p>O especialista RCC pode avaliar e identificar informações adicionais para compor a execução da tarefa. Isto vai depender do escopo da contratação e da necessidade de realização da análise ambiental com relação aos resíduos. Por exemplo, o cliente pode ter interesse por uma construção mais sustentável e precisa de informações sobre rotulagem ambiental de materiais; ou deseja obter uma certificação ambiental; analisar o ciclo de vida; atender à legislação ambiental; propor cenários para tratamento e destinação final dos resíduos; retorno à cadeia produtiva por um sistema de logística reversa; reduzir custos de coleta, tratamento e destinação final; propor um plano de gerenciamento de resíduos, entre outros.</p>
<b>Ponto de Decisão: Todas as informações podem ser extraídas do modelo?</b>	
<b>Tipo</b>	Evento exclusivo
<b>Nome</b>	Todas as informações iniciais podem ser extraídas do modelo?
<b>Descrição</b>	<p>Este <i>gateway</i> representa uma decisão intermediária do especialista antes de iniciar propriamente o gerenciamento dos RCC.</p> <p>Caso o especialista concorde que as informações e modelos disponibilizados pelo gerente BIM são suficientes, ele pode passar para a próxima tarefa 2.7, que corresponde propriamente ao gerenciamento dos RCC. Caso a resposta seja não, o especialista pode consultar fornecedores de materiais ou prestadores de serviços para obter informações adicionais (tarefa 2.3).</p>
<b>2.3 Solicitação de informações aos fornecedores de materiais e prestadores de serviços</b>	
<b>Tipo</b>	Tarefa de envio
<b>Nome</b>	Solicitar informações aos fornecedores e prestadores de serviços
<b>Descrição</b>	<p>Se o modelo BIM e a documentação enviada pelo gerente BIM não contém informação suficiente para análise dos RCC, então o especialista RCC deve contatar fornecedores de materiais utilizados ou prestadores de serviços para obter informações adicionais.</p> <p>Informações adicionais:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Custos de coleta, tratamento e destinação final;</li> <li>Composição de materiais;</li> <li>Valor de venda de materiais;</li> <li>Cenários para tratamentos de resíduos;</li> <li>Custo da mão-de-obra.</li> </ul>
<b>2.4 Recebimento de informações dos fornecedores de materiais e prestadores de serviços</b>	
<b>Tipo</b>	Tarefa de recebimento
<b>Nome</b>	Receber as informações dos fornecedores de materiais e prestadores de serviços
<b>Descrição</b>	<p>Nesta tarefa, o especialista RCC receberá as respostas dos fornecedores e prestadores de serviços sobre as informações ambientais/custo solicitadas anteriormente na tarefa 2.3. Assim que recebê-las o especialista deverá avaliar as informações e tomar uma decisão sobre a continuidade ou não do processo para a tarefa 2.7 de realização do gerenciamento dos RCC.</p>
<b>Ponto de Decisão: As informações recebidas são suficientes?</b>	
<b>Tipo</b>	Evento exclusivo
<b>Nome</b>	As informações recebidas dos fornecedores e prestadores de serviços são suficientes?
<b>Descrição</b>	<p>Neste <i>gateway</i> o especialista deverá avaliar se a informação adicional fornecida atende ao que foi pedido inicialmente. Se sim, o especialista segue para a tarefa 2.6 que representa a inserção das informações no modelo ou na base de dados pessoal antes de iniciar a tarefa 2.7. Se ainda faltarem informações importantes para complementar o início da análise dos resíduos, o especialista RCC pode buscar em bancos de dados externos sobre materiais, RCC, consultar a literatura ou outros profissionais, até mesmo buscar informações em bancos de dados da empresa.</p>



<b>2.5 Obtenção de informações de fontes externas ou banco de dados</b>	
<b>Tipo</b>	Tarefa
<b>Nome</b>	Obter informações adicionais de fontes externas ou banco de dados
<b>Descrição</b>	<p>Se as informações dos fornecedores de materiais e prestadores de serviços não são suficientes para análise, o especialista pode buscar informações complementares em bancos de dados externos, em consulta com colegas, normas, legislações, literatura ou outros meios.</p> <p>Informações complementares:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Índices de perdas de materiais (%);</li> <li>• Índices de geração de resíduos (kg/m<sup>3</sup>);</li> <li>• Densidade aparente;</li> <li>• Percentual de reciclagem dos materiais (%);</li> <li>• Percentual de reutilização dos materiais (%).</li> </ul> <p>Com as informações completas, o especialista RCC pode seguir para a próxima tarefa.</p>
<b>2.6 Inserção de informações no modelo</b>	
<b>Tipo</b>	Tarefa
<b>Nome</b>	Inserir as informações no modelo
<b>Descrição</b>	<p>De posse de todas as informações, o especialista RCC poderá completar os elementos e materiais do modelo BIM com as informações obtidas ou incluí-las em ferramentas auxiliares para trabalhar paralelamente no modelo até iniciar a atividade 2.7.</p> <p>Nesta etapa deve-se atentar ao uso de mesmas unidades de medida entre os parâmetros e buscar referências usuais de mercado ou encontradas na literatura.</p> <p>A inserção de parâmetros no modelo também pode ser feita a partir de famílias ou bibliotecas de materiais pré-definidos desde que a informação seja compartilhada inicialmente com os projetistas. As diretrizes acima mencionadas podem fazer parte do BEP da empresa.</p> <p>Depois da inclusão das informações no modelo, o especialista RCC poderá seguir ao próximo passo que é conduzir o gerenciamento dos RCC.</p>
<b>2.7 Realizar o gerenciamento dos RCC</b>	
<b>Tipo</b>	Tarefa do tipo Sub-processo
<b>Nome</b>	Analisar o gerenciamento dos RCC
<b>Descrição</b>	<p>Nesta tarefa o especialista irá aplicar o método escolhido para realizar o gerenciamento dos RCC. A tarefa é reconhecida como um subprocesso, pois é composta de diversas atividades até alcançar o resultado esperado, conforme a demanda inicial prevista no BEP.</p> <p>As etapas deste subprocesso são definidas conforme o escopo da contratação, etapa do ciclo de vida da construção, tipos de materiais utilizados, região de estudo, tipo de indicadores.</p> <p>De posse das informações, o especialista RCC extrai as quantidades e pode analisá-las no mesmo ambiente escolhido para leitura do IFC ou pode carregar os dados em uma planilha separada para trabalhar e depois importar no modelo novamente.</p> <p>A informação deve ser organizada para facilitar a análise dos indicadores RCC e para armazenamento dos resultados que vão compor o relatório final.</p>

	<p>Nesta etapa é possível automatizar o cálculo dos indicadores por meio da programação de um <i>plug-in</i> na API do <i>software</i> de modelagem BIM ou de um modelo complementar que carrega os indicadores calculados dentro do modelo, porém todos os parâmetros de objeto e informações sobre materiais devem estar definidos previamente e alguns indicadores qualitativos podem não ser totalmente abrangidos.</p> <p>Ao final, após o especialista RCC concluir a atividade de gerenciamento dos RCC, os resultados obtidos serão avaliados na próxima tarefa 2.8.</p>
<b>2.8 Avaliação dos resultados obtidos na análise do gerenciamento dos RCC</b>	
<b>Tipo</b>	Tarefa
<b>Nome</b>	Avaliar os resultados obtidos no gerenciamento dos RCC
<b>Descrição</b>	<p>Nesta tarefa o especialista deverá fazer uma análise crítica dos resultados e organizar as informações para compor o relatório final.</p> <p>O especialista pode destacar quais elementos e materiais utilizados no projeto têm os maiores e menores impactos ambientais. Sugerir melhorias na gestão dos materiais e dos resíduos para alcançar maior sustentabilidade na construção. Apontar quais indicadores foi possível ou não analisar. Essas informações podem ser utilizadas pelo BIM Manager para sugerir modificações no modelo existente, substituindo produtos de alto impacto por produtos de menor impacto, verificar oportunidades de reciclagem ou reaproveitamento de materiais.</p>
<b>2.9 Envio de relatório para gerente BIM</b>	
<b>Tipo</b>	Tarefa de envio
<b>Nome</b>	Enviar relatório do gerenciamento RCC para o gerente BIM
<b>Descrição</b>	<p>A última tarefa do especialista RCC é entregar o relatório final ao gerente BIM conforme formato definido previamente no BEP.</p> <p>O relatório do gerenciamento dos RCC deve conter as seguintes informações:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de elementos, componentes e quantidades presentes no projeto;</li> <li>• Tipos de materiais e quantidades utilizados;</li> <li>• Lista de variáveis utilizadas para cálculo dos indicadores RCC propostos;</li> <li>• Análise dos indicadores RCC;</li> <li>• Representação em forma gráfica dos resultados;</li> <li>• Cenários para tratamento e destinação dos RCC;</li> <li>• Informações sobre os resíduos no modelo BIM.</li> </ul>
<b>POOL: Fornecedores de Materiais e Prestadores de Serviços</b>	
<b>3.1 Recebimento da solicitação do especialista RCC</b>	
<b>Tipo</b>	Tarefa de recebimento
<b>Nome</b>	Receber a solicitação de informação do especialista RCC
<b>Descrição</b>	<p>Na análise do modelo BIM, o especialista pode identificar outras informações sobre materiais e serviços que não estão disponíveis no modelo, mas que são necessárias para o gerenciamento dos RCC.</p> <p>Informações que podem ser solicitadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Custos de coleta, tratamento e destinação final;</li> <li>• Composição de materiais.</li> <li>• Valor de venda de materiais;</li> <li>• Cenários para tratamentos de resíduos;</li> <li>• Custo da mão-de-obra.</li> </ul>

	Caso as informações não sejam suficientes, o especialista pode consultar bancos de dados externos.
<b>3.2 Envio ao especialista RCC</b>	
<b>Tipo</b>	Tarefa de envio
<b>Nome</b>	Enviar a informação disponível ao especialista RCC
<b>Descrição</b>	De posse das informações, os fornecedores de materiais e prestadores de serviços enviam as informações para o especialista RCC.
<b>Requisitos de troca de informação do modelo BIM</b>	
<b>Tipo</b>	Dados de objeto
<b>Nome</b>	req_troca_modelo_BIM
<b>Descrição</b>	<p>As primeiras trocas de informações ocorrem da tarefa 1.2 para a tarefa 2.1, quando o gerente BIM solicita a análise dos RCC para o especialista. A demanda é acompanhada de informações sobre o empreendimento e dos modelos BIM disponíveis (arquitetônico, estrutural ou de outras especialidades), dependendo da fase do ciclo da construção. Os modelos compartilhados nesta fase devem estar revisados pelo Gerente BIM e livres de conflitos, para evitar problemas de incompatibilidade e perdas de informação durante a exportação como IFC.</p> <p>Informações sobre o empreendimento, conforme o BEP:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nome;</li> <li>• Propósito;</li> <li>• Método construtivo;</li> <li>• Dimensão do empreendimento;</li> <li>• Descrição da atividade de gestão dos RCC.</li> </ul> <p>Compartilhamento de modelos BIM que serão analisados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto Estrutural (.Ifc);</li> <li>• Projeto Arquitetônico (.Ifc);</li> <li>• Outras especialidades (.Ifc).</li> </ul> <p>Outras informações pertinentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de materiais e elementos (Word .doc; Excel .xls ou .Ifc);</li> <li>• Extração das quantidades.</li> </ul> <p><b>**Caso o especialista RCC não tenha conhecimento na manipulação dos modelos em IFC, o gerente BIM deve auxiliar e compartilhar as informações organizadas, conforme solicitação do especialista RCC.</b></p>
<b>Requisitos de troca de informação BIM-RCC</b>	
<b>Tipo</b>	Dados de objeto
<b>Nome</b>	req_troca_BIM_RCC
<b>Descrição</b>	<p>As trocas de informação neste requisito de troca correspondem às extraídas dos modelos BIM que vão contribuir para análise dos RCC. O especialista RCC é o responsável por selecionar estas informações e avaliar se são suficientes para análise desejada, do contrário, deverá contatar o gerente BIM.</p> <p>As informações fornecidas através deste requisito de troca incluem:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipos de elementos (pisos, paredes, portas, janelas, forros, cobertura, pilares,</li> </ul>

	<p>vigas, fundação, armaduras, guarda-corpo, etc);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nome do elemento (se parede interna ou externa);</li> <li>• Espessura do elemento;</li> <li>• Área do elemento;</li> <li>• Volume do elemento;</li> <li>• Densidade do elemento (kg/m<sup>3</sup>);</li> <li>• Quantidade.</li> </ul>
<b>Requisitos de troca de informação de materiais e serviços</b>	
<b>Tipo</b>	Dados de objeto
<b>Nome</b>	req_troca_mat_serv
<b>Descrição</b>	<p>O objetivo deste requisito de troca é trocar informações entre o especialista RCC e os fabricantes de materiais/prestadores de serviços.</p> <p>As informações fornecidas por meio deste requisito de troca incluem:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Custos médios de coleta, tratamento e destinação final;</li> <li>• Valor médio de compra e venda de materiais, reciclagem;</li> <li>• Densidade aparente;</li> <li>• Composição de materiais;</li> <li>• Cenários para tratamentos de resíduos;</li> <li>• Custo da mão-de-obra.</li> </ul>
<b>Retorno dos requisitos de troca de informação de materiais e serviços</b>	
<b>Tipo</b>	Dados de objeto
<b>Nome</b>	req_troca_envio_mat_serv
<b>Descrição</b>	<p>Este requisito de troca representa o retorno das informações dos fornecedores e dos prestadores de serviços, conforme identificado anteriormente, para o especialista RCC. Nem sempre tudo que foi solicitado pelo especialista RCC é atendido, sendo necessário buscar outras fontes de informação.</p>
<b>Requisitos de troca de informação dados externos</b>	
<b>Tipo</b>	Dados de objeto
<b>Nome</b>	req_troca_dados_ext
<b>Descrição</b>	<p>Fazem parte deste requisito de troca, informações complementares de bancos externos, referências bibliográficas, estudos técnicos, normas e relatórios que contenham informações complementares que não puderam ser respondidas pelos fornecedores e prestadores de serviços. Os valores podem ser estimados para produtos similares.</p> <p>Exemplo de informações:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Índices de perdas de materiais (%);</li> <li>• Índices de geração de resíduos (kg/m<sup>3</sup>);</li> <li>• Densidade aparente;</li> <li>• Percentual de reciclagem dos materiais (%);</li> <li>• Percentual de reutilização dos materiais (%).</li> </ul> <p>As informações obtidas podem ser inseridas nos elementos/objetos/materiais do modelo BIM, se o especialista tiver domínio sobre a modelagem do projeto, ou pode inserir em ferramentas auxiliares que vão auxiliar na análise dos indicadores RCC.</p>

<b>Requisitos de troca de informação para análise dos indicadores RCC</b>	
<b>Tipo</b>	Dados de objeto
<b>Nome</b>	req_troca_indicador_RCC
<b>Descrição</b>	Este requisito de troca abrange as informações trocadas entre o gerente BIM e o especialista RCC, entre os fornecedores de materiais e prestadores de serviços e o especialista RCC e os dados externos. Todas as informações anteriormente citadas devem ser organizadas neste requisito de troca para executar a análise da gestão dos RCC propriamente dita em 2.7, com o cálculo e análise dos indicadores RCC. Quanto mais informações forem consideradas, mais preciso será o resultado.
<b>Requisitos de troca relatório RCC</b>	
<b>Tipo</b>	Dados de objeto
<b>Nome</b>	req_troca_relatorio_RCC
<b>Descrição</b>	<p>Este requisito de troca representa o principal objetivo da aplicação do BIM-RCC Info Model, que é a análise da gestão dos RCC. Abrange as informações trocadas entre o especialista RCC e o gerente BIM após a conclusão da análise dos RCC, com o compartilhamento de um relatório com todos os cálculos e análises dos indicadores RCC. O relatório é enviado ao gerente BIM para validação antes de encerrar a atividade no BEP</p> <p>Os resultados da gestão dos RCC devem contemplar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de elementos, componentes e quantidades presentes no projeto;</li> <li>• Tipos de materiais e quantidades utilizados;</li> <li>• Lista de variáveis utilizadas para cálculo dos indicadores RCC propostos;</li> <li>• Análise dos indicadores RCC;</li> <li>• Representação em forma gráfica dos resultados;</li> <li>• Cenários para tratamento e destinação dos RCC;</li> <li>• Informações sobre os resíduos no modelo BIM.</li> </ul> <p>Se necessário o gerente BIM pode sugerir modificações no projeto ou solicitar informações complementares ao especialista RCC. O relatório vai apresentar um panorama geral dos RCC do empreendimento e auxiliar o gerente BIM e o cliente nas tomadas de decisão relacionadas ao gerenciamento dos RCC, gestões dos materiais e recursos ou em análises de sustentabilidade da construção.</p>

Fonte: Autor (2022).

Na delegação da atividade para o especialista RCC, representada na tarefa 1.2, o gerente deve dispor dos modelos arquitetônico e estrutural livres de conflitos para extrair as informações sem problemas para o especialista RCC. Caso o especialista tenha conhecimento em IFC os modelos podem ser compartilhados neste mesmo formato, com parâmetros de exportação previamente definidos com as informações necessárias para a atividade. O gerente BIM fica disponível para eventuais dúvidas e esclarecimentos que o especialista venha precisar durante a realização da tarefa.

Na tarefa 2.1, o especialista RCC recebe as orientações para iniciar a atividade de gestão de RCC. Entre as informações que devem ser disponibilizadas pelo gerente BIM para o especialista encontram-se:

- Informações básicas do empreendimento: nome, localização, dados de contato do cliente, escopo da contratação, descrição do empreendimento, dimensão, informações adicionais;
- Descrição da atividade e objetivo, conforme definido no BEP;
- Lista de indicadores RCC para referência;
- Modelo BIM no formato IFC, com informações do projeto executivo ou extração dessas informações em planilha compartilhada;
- Lista de materiais e fornecedores, caso não esteja no modelo.

Os indicadores RCC são parte integrante do modelo para gestão dos RCC, porém outros indicadores ou métodos podem ser incluídos conforme análise requerida.

Na tarefa 2.2, o especialista RCC inicia a verificação das informações disponibilizadas pelo gerente BIM. As informações que o especialista deve buscar no modelo BIM são:

- Tipos de elementos (Ex: revestimentos, paredes, portas, janelas, forros, cobertura, guarda-corpo, vigas, etc);
- Nome do elemento (Ex: parede interna ou externa, porta de correr em PVC);
- Espessura do elemento (se parede, forro ou telhado);
- Área do elemento (se parede, piso ou telhado);
- Volume do elemento (se parede, piso, telhado, fundação, coluna ou viga);
- Densidade aparente do material;
- Quantidades e unidade de medida.

Caso as informações disponibilizadas no modelo não sejam suficientes para análise dos indicadores RCC propostos, o especialista deve entrar em contato com os fornecedores de materiais e prestadores de serviços (tarefa 2.3) para buscar informação adicional. No retorno deste contato, o especialista RCC pode ainda consultar bancos de dados, normas, legislação, literatura ou outras referências para

complementar à análise (tarefa 2.5). Algumas informações externas ao modelo BIM que o especialista vai precisar estão:

- Índices de perdas de materiais (%);
- Índices de geração de resíduos ( $\text{kg/m}^3$ );
- Densidade aparente do material;
- Percentual de reciclagem;
- Percentual de reutilização;
- Custos de coleta, tratamento e destinação final;
- Composição de materiais;
- Valor de venda de materiais;
- Cenários para tratamentos de resíduos.

De posse de todas as informações, na tarefa 2.6 o especialista RCC poderá completar os elementos e materiais do modelo BIM com as informações obtidas ou trabalhar com os dados em ferramentas auxiliares até iniciar a atividade 2.7. Na inclusão das informações no modelo como parâmetros de objeto, Santos (2019) recomenda que o projetista insira as informações ambientais sobre resíduos em cada elemento/material utilizando a mesma unidade funcional.

É importante destacar que caso o especialista RCC e o gerente BIM façam parte da mesma empresa, é possível traçar diretrizes comuns para elaboração do modelo BIM. Para os materiais que costumam ser mais utilizados é possível criar famílias ou bibliotecas de materiais pré-definidos, em banco de dados compartilhado. A biblioteca pode ser atualizada sempre que uma nova família é criada ou quando um novo material é adicionado ao projeto. Assim, os projetistas podem importar a biblioteca no *software* BIM e modelar com os materiais já parametrizados e atualizados. As diretrizes acima mencionadas podem fazer parte do BEP da empresa.

Na tarefa 2.7, o especialista RCC conduz a gestão dos RCC por meio da avaliação dos indicadores RCC propostos, com auxílio de todas as informações disponibilizadas pelo gerente BIM e demais informações necessárias para análise dos RCC e elaboração do relatório final.

Caso o especialista domine a estrutura de dados no IFC e saiba programação, poderá manipular os arquivos IFC disponibilizados pelo gerente BIM

diretamente no *Jupyter Notebook*, utilizando o *IfcOpenShell* para extrair as informações e analisá-las antes do cálculo dos indicadores.

Na tarefa seguinte 2.8, o especialista RCC avalia os resultados encontrados e inicia a organização dos dados para gerar o relatório final, com as informações do cálculo dos indicadores RCC e da relação de quantidades e materiais utilizados no modelo. O formato do relatório final deve ser previamente acordado entre as partes e quando pronto é enviado ao gerente BIM para aprovação final antes de encerrar a atividade. O relatório deve abranger as seguintes informações:

- Lista de elementos, componentes e quantidades utilizadas no projeto;
- Estimativa da geração de RCC por tipo, quantidades;
- Classificação conforme código europeu LER;
- Análise dos indicadores RCC;
- Gráficos representativos das quantidades geradas;
- Lista das variáveis usadas para cálculo;
- Cenários possíveis para tratamento/destinação final dos RCC;
- Custos de venda de materiais ou de tratamento/destinação final de RCC.

As informações contidas no relatório auxiliarão o Gerente BIM na tarefa 1.5 que corresponde a verificar se as informações do relatório atendem ao que foi solicitado inicialmente no BEP para a atividade de gestão dos RCC. Na sequência o gerente BIM valida os resultados com os demais membros da equipe e com o cliente. Caso todos estejam de acordo e satisfeitos com os resultados do relatório, dá-se a atividade como concluída e o evento pode ser encerrado, caso contrário o gerente BIM faz os apontamentos para ajustes necessários e reinicia o fluxo para nova análise da gestão dos RCC.

Assim como observado por Santos (2019), nesta análise dos RCC, os requisitos de troca de informação podem apresentar uma ou mais partes funcionais, que vão atender uma ação individual realizada dentro do mapa do processo. As partes funcionais representam o componente técnico da entidade onde a informação está alocada, ou seja, as informações e parâmetros que o gerente BIM vai disponibilizar ao especialista RCC para análise dos indicadores RCC. Estas informações devem ser mapeadas conforme as entidades e propriedades IFC (*IfcPropertySet*) disponibilizadas no modelo BIM a partir dos objetos (*IfcObject*), elementos (*IfcElement*) ou materiais (*IfcMaterial*) (PINHO, 2013).



Baseado nas pesquisas de Pinho (2013), Ilham (2014) e Santos (2019), no

Quadro 20 apresentam-se algumas possibilidades de relação entre atributos do IFC e partes funcionais (em inglês, conforme especificação) em que o gerente BIM poderá buscar as propriedades e encontrar as informações dos requisitos de troca identificados para concretizar a aplicação do BIM-RCC Info Model.

**Quadro 20 - Relação de entidades do IFC e partes funcionais**

Entidades	Partes Funcionais										
	Object Definition	Property Sets for Objects	Quantity sets	Material Association	Material Layer Set	Spatial Structure	Product Placement	Product Local Placement	Quantities	Material Definition	Material Properties
IfcBeam											
IfcBuilding											
IfcColumn											
IfcCovering											
IfcDoor											
IfcElement											
IfcElementQuantity											
IfcExtendedProperties											
IfcMaterial											
IfcMaterialDefinition											
IfcMaterialLayerSet											
IfcMaterialProperties											
IfcObject											
IfcObjectDefinition											
IfcPhysicalQuantity											
IfcPhysicalSimpleQuantity											
IfcProperty											
IfcPropertyDefinition											
IfcPropertySetDefinition											
IfcQuantitySet											
IfcRailing											
IfcRoof											
IfcSlab											
IfcSpatialStructureElement											
IfcWall											
IfcWindow											

Fonte: Autor (2022).

Uma vez que o modelo BIM é exportado no formato IFC, as informações podem ser acessadas por meio de programação e do *IfcOpenShell*, com a leitura e extração dos dados no *Jupyter Notebook*. A leitura do arquivo IFC ocorre de forma lógica, a partir da definição das cadeias de classe, que resultam da identificação e relação entre as entidades e pela classificação dos atributos, que podem ser diretos, inversos ou derivados. A hierarquia entre as entidades gera heranças de informação uma para outra sucessivamente. No Quadro 21 estão exemplificadas parte das

relações e *PropertySets* em que o gerente BIM poderá encontrar as informações sobre os elementos, materiais e quantidades para análise dos RCC.

**Quadro 21 – Exemplos de propriedades do IFC**

Elemento IFC	Informação	
	Elemento	Relação
	Tipo	<i>ObjectType; Pset_BeamCommon Pset_ColumnCommon</i>
	Quantidade	<i>IfcPropertyDefinition -&gt; Quantities; IfcElementQuantity -&gt; IfcQuantityArea, IfcQuantityVolume</i>
	<b>Objeto</b>	<b>Relação</b>
IfcBeam	Densidade	<i>IfcPhysicalSimpleQuantity. Pset_Density → IfcMassDensityMeasure;</i>
IfcColumn	Área	<i>IfcPhysicalSimpleQuantity. IfcQuantityArea → IfcAreaMeasure;</i>
IfcCovering	Volume	<i>IfcPhysicalSimpleQuantity. IfcQuantityVolume → IfcVolumeMeasure;</i>
IfcDoor	Quantidade	<i>IfcPhysicalSimpleQuantity. IfcQuantityCount → IfcCountMeasure</i>
IfcRailing		
IfcRoof		
	<b>Material</b>	<b>Relação</b>
IfcSlab	Densidade	<i>Pset_MaterialCommon. MassDensity →IfcMassDensityMeasure</i>
IfcWall	Espessura	<i>IfcMaterialLayerSet.Thickness →IfcLenghMeasure</i>
IfcWindow	Área	<i>IfcMaterialLayerSet.Area →IfcAreaMeasure</i>
	Volume	<i>IfcMaterialLayerSet.Volume →IfcVolumeMeasure</i>
	Lista de materiais	<i>IfcMaterial; IfcMaterialList; IfcMaterialLayerSetUsage → IfcRelAssociatesMaterial</i>

Fonte: Autor (2022).

É importante observar que outros tipos de informação sobre os materiais e serviços podem ser inseridos pelo projetista durante a modelagem do projeto por meio da criação de novas propriedades de objeto ou na criação de parâmetros, assim ao exportar o modelo em IFC os dados estão prontos para análise. No modelo conceitual proposto para gestão dos RCC, informações complementares poderiam ser inseridas no IFC como:

- *IfcMonetaryValue* – para valores, como custo de compra e venda de materiais, transporte, tratamento e destinação de resíduos;
- *IfcReal* – estimar de taxas e percentuais de geração de RCC para materiais específicos, materiais recicláveis, material passível de ser reutilizado em outras obras, material destinado à disposição final como aterro de inertes;

- *IfcText* – para classificação dos materiais, no código LER, ou para atender outro tipo de classificação, conforme a necessidade, classificação do tratamento ou disposição final que vai receber;
- *IfcTimeMeasure* – tempo de vida, durabilidade dos materiais.

Esta demanda pode vir do especialista RCC, quando na análise das informações disponibilizadas pelo gerente BIM e também quando da consulta aos fornecedores e dados externos, em que o especialista verifica informações complementares que não estavam no modelo, mas que podem auxiliar na análise dos RCC. Se for possível inserir as informações diretamente no modelo por meio de propriedades e parâmetros, o gerente BIM discute a demanda com o projetista e acompanha a evolução da inserção das informações solicitadas até nova exportação, com os dados atualizados para verificação do especialista RCC novamente. Outra possibilidade é mapear previamente os parâmetros e os indicadores RCC com a equipe para que estas informações sejam parte das regras de negócio da atividade da gestão dos RCC no BEP. Assim, há uma padronização no processo e o projetista consegue preparar o modelo para conter estas informações de forma mais detalhada antes da exportação do IFC e desde o início da modelagem da construção.

A partir das trocas de informação identificadas, verifica-se que o modelo BIM possui a maioria das propriedades necessárias para análise dos RCC, principalmente para a extração de quantidade dos elementos e materiais que são base do cálculo dos indicadores RCC propostos. Uma limitação do BIM-RCC Info Model é que ele foi desenhado conforme o processo definido nesta pesquisa. Ademais a estrutura proposta se concentrou no projeto executivo, fases mais preliminares do ciclo de vida da construção e não abrangeram outros domínios, o que tornaria o modelo mais complexo pelo volume e variedade de informações e peculiaridades de cada etapa, com reflexo no mapeamento das trocas de informação no IFC.

Observa-se que a participação do gerente BIM no início do processo é fundamental para fornecer dados confiáveis ao especialista RCC, o que exige do gerente BIM conhecimento sobre estrutura de dados, identificação de problemas de interoperabilidade, um pouco de programação e das relações hierárquicas e heranças que fazem parte da especificação do padrão IFC. Desta forma, é possível

que o especialista RCC trabalhe com informações mais representativas da construção e execute a análise da gestão dos RCC o mais próximo possível da realidade do empreendimento.

#### 4.4 Exemplo de aplicação

A fim de exemplificar a aplicação do BIM-RCC Info Model, uma análise foi realizada sobre uma edificação, cujo modelo BIM foi disponibilizado para fins de pesquisa, por um escritório BIM que atua na região Centro-Oeste do Brasil. Em contato com o gerente BIM, este compartilhou os modelos em IFC da edificação que foram exportados do *software* de modelagem Revit® e uma tabela de quantidades extraídas do modelo.

O empreendimento corresponde a um projeto unificado, composto por uma edificação do tipo habitação uni familiar e uma edificação para fins comerciais. Neste exemplo, optou-se por analisar a edificação para fins comerciais, que possui área de, aproximadamente, 663 m<sup>2</sup>, com subsolo, térreo e dois pavimentos superiores, e características de construção padrão, em estrutura de concreto armado e vedações em alvenaria de 15 cm (Figura 24).

**Figura 24 – Edificação para exemplo de aplicação**



Fonte: Autor (2022).

Antes de iniciar a importação do arquivo IFC no *Jupyter Notebook*, o arquivo foi aberto no bloco de notas e no *Visual Code*, para ter uma visão pura do modelo no

formato padrão IFC, em que as informações são apresentadas linha a linha conforme a especificação. O início do arquivo faz referência à ISO 10.303/21, que corresponde a um conjunto de normas que define os princípios básicos de representação e mecânicos para trocas de informações dos produtos (ISO, 2021), base para interpretação dos arquivos IFC, além de informações como data de criação, base de dados, tipo do esquema IFC utilizado na modelagem, que neste exemplo corresponde ao esquema padrão IFC 2x3 e o tipo do modelo (Figura 25).

**Figura 25 – Informação geral do modelo IFC**

```
ISO-10303-21;
HEADER;

/*****
*****
* STEP Physical File produced by: The EXPRESS Data Manager Version
5.02.0100.07 : 28 Aug 2013
* Module:                      EDMstepFileFactory/EDMstandAlone
* Creation date:                Wed Feb 02 09:55:24 2022
* Host:                        DESKTOP-IFJ7AAA
* Database:
C:\Users\
* Database version:            5507
* Database creation date:     Wed Feb 02 09:53:40 2022
* Schema:                     IFC2X3
* Model:                       DataRepository.ifc
```

Fonte: Autor (2022).

Nas primeiras linhas numeradas do arquivo (Figura 26) é possível confirmar a versão do Revit® 2021 que foi utilizada na elaboração do modelo. Posteriormente, na linha 35 foi identificado o nome do escritório responsável pelo projeto BIM, ocultado no trabalho para preservar os dados da empresa, e na linha 37 encontra-se o nome do arquivo que foi dado ao projeto.

A partir da linha 42 são exibidas informações das unidades de medida definidas para algumas dimensões, como área em m<sup>2</sup>, volume em m<sup>3</sup>, comprimento em m e massa em kg. Por fim, na linha 119 e na linha 125 estão informações específicas do empreendimento, fase da construção (projeto executivo) e localização.

Figura 26 – Características do modelo IFC

```

#1= IFCORGANIZATION($, 'Autodesk Revit 2021 (PTB)', $, $, $);
#5= IFCAPPLICATION(#1, '2021', 'Autodesk Revit 2021 (PTB)', 'Revit');
...
#35= IFCPERSON($, '', '████████.aec1', $, $, $, $, $);
#37= IFCORGANIZATION($, '', '247-ARQ-AZEVEDO-MOD-GERAL-R24', $, $);
#38= IFCPERSONANDORGANIZATION(#35, #37, $);
#41= IFCOWNERHISTORY(#38, #5, $, .NOCHANGE., $, $, $, 1639240856);
#42= IFCSIUNIT(*, .LENGTHUNIT., $, .METRE.);
#43= IFCSIUNIT(*, .AREAUNIT., $, .SQUARE_METRE.);
#44= IFCSIUNIT(*, .VOLUMEUNIT., $, .CUBIC_METRE.);
#45= IFCSIUNIT(*, .PLANEANGLEUNIT., $, .RADIAN.);
#46= IFCDIMENSIONALEXPONENTS(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0);
#47= IFCMEASUREWITHUNIT(IFCRATIOMEASURE(0.0174532925199433), #45);
#48= IFCCONVERSIONBASEDUNIT(#46, .PLANEANGLEUNIT., 'DEGREE', #47);
#49= IFCSIUNIT(*, .MASSUNIT., .KILO., .GRAM.);
...
#119=IFCPROJECT('3BDsgt1DrF2BpZ5EHRsJ8f', #41, 'P020014.247.020', $, $, '
EDIF\X2\00CD\X0\CIO RESIDENCIAL
MULTIFAMILIAR', 'EXECUTIVO', (#111), #106);
#125= IFCPOSTALADDRESS($, $, $, $, ('Rua Voluntario de Avar\X2\00E9\X0-
SP'), $, '', 'Bras\X2\00ED\X0\lia', '', 'Brasil');

```

Fonte: Autor (2022).

Seguindo o BIM-RCC Info Model, inicialmente um projetista auxiliou com a interpretação do projeto e com a extração das informações do modelo IFC. Na sequência, iniciou-se a participação do especialista RCC em verificar as informações extraídas do modelo para analisar a gestão dos RCC.

Inicialmente para extração dos dados do arquivo IFC foi instalado o *software Anaconda*, que é formado por um conjunto de pacotes de ciência de dados que simplifica a execução de atividades relacionadas à computação. Entre as várias ferramentas que compõe o *Anaconda*, está o *Conda* que auxilia no gerenciamento de projetos e ambientes, sendo operado a partir da linha de comando e o *Jupyter Notebook* que pode ser acessado a partir dele.

. Na Figura 27, está representada a primeira parte do código de importação e leitura do arquivo IFC no *Jupyter Notebook*, em que a biblioteca *IfcOpenShell* e o *pandas* também foram acionados para iniciar a análise dos dados.

Figura 27 – Importação do modelo IFC no Jupyter Notebook

## Parte 1 - Extração de informações do projeto

```
In [1]: import ifcopenshell
import pandas
ifc=ifcopenshell.open('ARQ-AZEVEDO-MOD-GERAL.ifc')
ifc

Out[1]: <ifcopenshell.file.file at 0x262d98b89d0>
```

```
In [2]: !pip install lark

Requirement already satisfied: lark in c:\users\annelise\anaconda3\envs\anne_project\
```

Fonte: Autor (2022).

Na sequência foram extraídos dados sobre os tipos de elementos e quantidades, conforme exemplificado na Figura 28. O total de elementos no projeto foi identificado após a execução da primeira parte do código. Neste exemplo da extração do número de Paredes, a partir do *Object Type* foi identificado o total de 297 unidades que fazem parte do modelo.

Figura 28 – Extração dos tipos de elemento e quantidades

## Parte 2- Extração dos tipos de elementos e quantidades

### Paredes (Wall)

```
In [45]: walls=ifc.by_type('IfcWall')
print(len(walls))
wall=walls

pa=[]
wallname=[]

for wall in walls:
    pa.append(wall.get_info())

import pandas as pd
df_w = pd.DataFrame(pa)
df_wall = pd.DataFrame(wallname)

df_wall['Quantidade'] = df_w['id']
df_wall['Tipos de paredes'] = df_w['ObjectType']

df_cont_wall = df_wall.groupby(by=['Tipos de paredes']).count()

df_cont_wall
```

297

Fonte: Autor (2022).

No próximo passo, o código foi executado para exibir os tipos de paredes do modelo e as respectivas quantidades. Os dados foram organizados em *Data Frames* em duas colunas para facilitar a visualização das quantidades e dos nomes com as respectivas características de cada parede, conforme atribuído no modelo (Figura 29). Além do elemento Parede (*Wall*), o método de exportação das informações do modelo IFC foi aplicado para os elementos Cobertura (*Covering*), Laje (*Slab*), Porta (*Door*), Guarda-corpo (*Railing*) e Janela (*Window*).

**Figura 29 - Tipos de elemento e quantidades identificadas**

Out[45]:

	Quantidade
Tipos de paredes	
Parede básica:Genérico - 150 mm	6
Parede básica:Parede Externa - Alvenaria Tijolo 16,50 cm - Tinta Cinza Elefante - Tinta Cinza Elefante	13
Parede básica:Parede Externa - Veda 17 cm - Granilite Fulget Resinado Branco- Porcelanato Esmaltado Soft Ceral 60 x 60	1
Parede básica:Parede Externa - Veda 17 cm - Granilite Fulget Resinado Branco- Tinta Branca	14
Parede básica:Parede Externa - Veda 17 cm - Tinta Preta- Tinta Branca	4
Parede básica:Parede Externa - Veda 17,00 cm - Tinta Cinza Elefante - Tinta Branca	50
Parede básica:Parede Externa - Veda 17,00 cm - Tinta Cinza Elefante - Tinta Cinza Elefante	3
Parede básica:Parede Externa- Veda 23 cm	7
Parede básica:Parede Interna - Veda 16 cm - Tinta Cinza Crômio - Tinta Cinza Crômio	8
Parede básica:Parede Interna - Veda 16,10 cm Porcelanato Interno Esmaltado Borda Reta Soft 58,5x58,5cm Ceral 2 - Porcelanato Interno Esmaltado Borda Reta Soft 58,5x58,5cm Ceral	2
Parede básica:Parede Interna - Veda 16,17 cm Porcelanato Interno Esmaltado Borda Reta Soft 58,5x58,5cm Ceral	2
Parede básica:Parede Interna - Veda 16,50 cm - Tinta Branca - Porcelanato Esmaltado Soft Ceral 60 x 60	11
Parede básica:Parede Interna - Veda 16,50 cm - Tinta Branca - Tinta Branca	11
Parede básica:Parede Interna - Veda 16,50 cm - Tinta Cinza Cromio - Porcelanato Esmaltado Soft Ceral 60 x 6	1
Parede básica:Parede Interna - Veda 16,50 cm - Tinta Cinza Elefante - Porcelanato Esmaltado Soft Ceral 60 x 60	7
Parede básica:Rodapé RDP- Poliestireno Liso Branco 10 cm	150
Parede básica:VIDRO BRONZE	7

Fonte: Autor (2022).

No Quadro 22, apresenta-se a lista completa dos tipos de elementos e quantidades identificadas no modelo.



Quadro 22 – Lista de elementos e quantidades

<b>Tipos de Parede (Wall)</b>	<b>Quantidade</b>
Parede básica: Genérico - 150 mm	6
Parede básica: Parede Externa - Alvenaria Tijolo 16,50 cm - Tinta Cinza Elefante - Tinta Cinza Elefante	13
Parede básica: Parede Externa - Veda 17 cm - Granilite Fulget Resinado Branco-Porcelanato Esmaltado Soft Ceral 60 x 60	1
Parede básica: Parede Externa - Veda 17 cm - Granilite Fulget Resinado Branco- Tinta Branca	14
Parede básica: Parede Externa - Veda 17 cm - Tinta Preta- Tinta Branca	4
Parede básica: Parede Externa - Veda 17,00 cm - Tinta Cinza Elefante - Tinta Branca	50
Parede básica: Parede Externa - Veda 17,00 cm - Tinta Cinza Elefante - Tinta Cinza Elefante	3
Parede básica: Parede Externa- Veda 23 cm	7
Parede básica: Parede Interna - Veda 16 cm - Tinta Cinza Crômio - Tinta Cinza Crômio	8
Parede básica: Parede Interna - Veda 16,10 cm Porcelanato Interno Esmaltado Borda Reta Soft 58,5x58, 5 cm Ceral 2 - Porcelanato Interno Esmaltado Borda Reta Soft 58,5x58,5cm Ceral	2
Parede básica: Parede Interna - Veda 16,17 cm Porcelanato Interno Esmaltado Borda Reta Soft 58,5x58, 5 cm Ceral	2
Parede básica: Parede Interna - Veda 16,50 cm - Tinta Branca - Porcelanato Esmaltado Soft Ceral 60 x 60	11
Parede básica: Parede Interna - Veda 16,50 cm - Tinta Branca - Tinta Branca	11
Parede básica: Parede Interna - Veda 16,50 cm - Tinta Cinza Cromio - Porcelanato Esmaltado Soft Ceral 60 x 6	1
Parede básica: Parede Interna - Veda 16,50 cm - Tinta Cinza Elefante - Porcelanato Esmaltado Soft Ceral 60 x 60	7
Parede básica: Rodapé RDP- Poliestireno Liso Branco 10 cm	150
Parede básica: Vidro bronze	7
<b>Total</b>	<b>297</b>
<b>Tipos de Cobertura (Covering)</b>	<b>Quantidade</b>
Forro composto: Forro de Gesso Acartonado c/ Pintura Branca	5
Forro composto: Forro de Gesso Acartonado c/ Pintura Branca 2	1
Forro composto: Forro iluminação da rampa	6
<b>Total</b>	<b>12</b>
<b>Tipos de Laje (Slab)</b>	<b>Quantidade</b>
Patamar monolítico: Espessura de 220mm	2
Piso: Bancada - Granito Cinza Corumbá	9
Piso: Grama 100 mm	12
Piso: Granilite Fulget 90 x 90	10
Piso: Laje 100 mm	11
Piso: Laje 120 mm	10
Piso: Passeio – Concreto	87
Piso: Pingadeira Granito Cinza Corumbá	16
Piso: Piso - Granilite branco polido 90 x 90	8
Piso: Piso Asfáltico	23
Piso: Piso Asfáltico 08 cm	6
Piso: Piso vinilico cinza claro 90x90	21
Piso: Soleira - Piso Vinilico Cinza	2
Plataforma: Plataforma 1	8
Rampa: Rampa 1	2
Telhado básico: Telhado de fibro cimento	10
<b>Total</b>	<b>237</b>
<b>Tipos de Porta (Door)</b>	<b>Quantidade</b>

Porta Banheiro de Uso Coletivo-Painel:Único- PVC	6
Porta de correr 3F: 260 x 230	5
Porta-Painel-Único: 60 X 210 Madeira com Verniz	1
Porta-Painel-Único: 70 x 210 Madeira com Verniz 24	5
Porta-Painel-Único: 80 x 210 Madeira com Verniz	6
Porta-Painel-Único:90 X 210	5
Porta-Vidro-Duplo:200 X 210	2
Portão Garagem-Painel Único: 600 x 281	1
<b>Total</b>	<b>31</b>
<b>Tipos de Guarda-Corpo (<i>Railing</i>)</b>	<b>Quantidade</b>
Guarda-corpo: Corrimão 92 mm	7
Guarda-corpo: Gradil vertical	1
Guarda-corpo: Guarda-corpo 92 mm	2
Guarda-corpo: Painel de vidro - 110	21
Guarda-corpo: Painel de vidro - Corrimão	3
<b>Total</b>	<b>34</b>
<b>Tipos de Janela (<i>Window</i>)</b>	<b>Quantidade</b>
Janela de correr - 2 Painéis: Janela de correr - 2 F 120 x 100	6
Janela de correr - 2 Painéis: Janela de correr- 2 F 200 x 100	1
Janela pivotante horizontal - 1 Painel: Janela pivotante horizontal - 1 F 60 x 60	7
Janela pivotante horizontal - 1 Painel: Janela pivotante horizontal - 1 Painel 70 x 100	3
Janela pivotante horizontal - 1 Painel: Janela pivotante horizontal - 1 Painel 70 x 150	7
Janela pivotante horizontal - 1 Painel: Janela pivotante horizontal 1 F- 100 x 100	1
Janela- Ventilacao- 45x30cm: Janela- Ventilacao- 45x30cm P1. 40	4
Windows_Opening-Slide_Strugal_S70P_Four-Leaf_INT: Janela de correr 4 F - 200 x 100	1
<b>Total</b>	<b>30</b>

Fonte: Autor (2022).

Na etapa seguinte foram identificados os materiais que compõem cada elemento da construção. Para isso, foram exploradas as propriedades do IFC em que tais informações poderiam estar armazenadas. A Figura 30 exemplifica o código aplicado para extração das propriedades dos materiais do elemento Parede, em *IfcWall*. A extração dos dados foi organizada em *Data Frames*, que resultou em uma lista de quantidades de materiais, assim como representado na Figura 31. O método foi replicado para os outros elementos definidos anteriormente, sendo que a lista completa dos materiais e quantidades identificados se encontra no Quadro 23.

Figura 30 – Extração dos materiais de cada elemento

```

# IfcWall

area_current = 0
global_ids = []
pavimento = []
tipo_material = []
ifc_class_current = []
area = []
espessura=[]
# volume = []

for building_storey in building_storeys:
    elements = selector.parse(ifc, '@ #' + building_storey.GlobalId + '& .IfcWall')
    for element in elements:
        for rel in element.IsDefinedBy:
            if rel.is_a('IfcRelDefinesByProperties'):
                property_set = rel.RelatingPropertyDefinition
                if property_set.Name == 'Cotas':
                    for prop in property_set.HasProperties:
                        if prop.Name == 'Área':
                            area_current = prop.NominalValue.wrappedValue
                        #elif prop.Name == 'Volume':
                            # volume.append(prop.NominalValue.wrappedValue)
        for assoc in element.HasAssociations:

            if assoc.is_a('IfcRelAssociatesMaterial'):
                for material in assoc.RelatingMaterial.ForLayerSet.MaterialLayers:
                    global_ids.append(element.GlobalId)
                    pavimento.append(building_storey.Name)
                    ifc_class_current.append(element.is_a())
                    tipo_material.append(material.Material.Name)
                    espessura.append(material.LayerThickness)
                    area.append(area_current)
                    #print(material.Material.Name)

print(global_ids)
print(pavimento)
print(ifc_class_current)
print(material_parede)
print(espessura)
print(area)
#print(volume)

df_wall = pd.DataFrame()
df_wall['global_id'] = global_ids
df_wall['Parede'] = ifc_class_current
df_wall['pavimento'] = pavimento
df_wall['tipo_material'] = material_parede
df_wall['espessura'] = espessura
df_wall['area'] = area
df_wall['Volume'] = df_wall['area'] * df_wall['espessura']

df_wall.groupby(['Parede', 'tipo_material'])[['area', 'espessura', 'Volume']].sum()

```

Fonte: Autor (2022).

Figura 31 – Lista de materiais e quantidades

Parede	tipo_material	area	espessura	Volume
IfcWall StandardCase	Acabamento- Gesso	513.971839	0.4434	4.877193
	Argamassa	507.955571	0.2800	3.916171
	Argamassa Colante	146.920840	0.2020	1.327743
	Concreto	5.621409	0.9000	0.843211
	Concreto Estrutural	957.938910	4.6200	43.874816
	Granilite Fulget Branco	42.601868	0.0650	0.213009
	ICF	1915.877820	10.7100	98.572521
	Massa Corrida	1027.141274	0.9000	8.392227
	Pintura Branca	873.464074	0.4550	4.367320
	Pintura Cinza Elefante Coral	1003.263394	0.3600	5.016317
	Pintura Preta	56.482768	0.0200	0.282414
	Porcelanato Esmaltado Soft Ceral 60 x 60	152.397957	0.1150	0.761990
	RDP- Poliestireno Branco Liso	37.858480	1.5000	0.378585
	Reboco	465.353703	0.4000	9.307074
	Tijolo, Comum	232.676851	1.0000	23.267685
	Tinta Cinza Cromio	67.779463	0.0650	0.338897
VIDRO BRONZE ESCURO	1.012214	0.0500	0.050611	

Fonte: Autor (2022).

Quadro 23 - Lista de materiais e quantidades dos elementos

Material Parede	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Acabamento- Gesso	513,97	4,88
Argamassa	507,96	3,92
Argamassa Colante	146,92	1,33
Concreto	5,62	0,84
Concreto Estrutural	957,94	43,87
Granilite Fulget Branco	42,60	0,21
ICF	1915,88	98,57
Massa Corrida	1027,14	8,39
Pintura Branca	873,46	4,37
Pintura Cinza Elefante Coral	1003,26	5,02
Pintura Preta	56,48	0,28
Porcelanato Esmaltado Soft Ceral 60 x 60	152,40	0,76
RDP- Poliestireno Branco Liso	37,86	0,38
Reboco	465,35	9,31
Tijolo, Comum	232,68	23,27
Tinta Cinza Cromio	67,78	0,34
Vidro bronze escuro	1,01	0,05
Material Cobertura	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Padrão	545,63	5,46

Placa de gesso	407,67	16,31
<b>Material Laje</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
Acabamento em pintura cinza	1437,24	1,44
Argamassa	3369,68	96,44
Asfalto	280,57	42,09
Concreto, Moldado in loco	630,72	75,69
Grama	99,64	9,96
Granilite Fulget Cinza 90 x 90	335,35	10,06
Granilite Granilite Pugliese Polido G014	64,84	1,95
Granito Cinza Corumbá	23,93	0,72
Laje de Concreto	1475,91	175,92
Piso Vinilico Cinza	0,50	0,02
Piso Vinilico Madeira Cinza - 90 x 90	2969,49	89,08
<b>Material Porta</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	
Alumínio Preto	4,81	
Vidro Bronze	4,81	
Alumínio	48,29	
Alumínio Preto	83,31	
Plástico puertas correderas manusa	30,20	
Tela Metalgrade	48,29	
Vidro Bronze	35,01	
Aluminio c/ pintura preto esmalte	10,20	
Vidro Bronze	10,20	
<b>Material Janela</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	
Aluminio c/ pintura preto esmalte	1,33	
Alumínio Preto	4,78	
Vidro jateado	2,036	
Vidro Bronze	4,08	
Aluminio c/ pintura preto esmalte	8,00	
Alumínio Preto	12,00	
Silicone Rubber - Strugal - Black	3,09	
Vidro jateado	1,53	
Vidro Bronze	18,48	
Alumínio Preto	5,48	
Vidro Bronze	5,48	
<b>Material Guarda-corpo</b>	<b>Comprimento (m)</b>	
Aluminio c/ pintura preto esmalte	22,51	
Alumínio Preto	22,51	
Aluminio c/ pintura preto esmalte	54,43	
Alumínio Anodizado Cinza Escuro	5,68	
Alumínio Preto	59,32	
Aço com pintura esmate branco	4,88	
Aço, Polido	5,68	
Vidro Bronze	51,93	

Aluminio c/ pintura preto esmalte	55,00	
Alumínio Preto	56,00	
Aço com pintura esmate branco	1,00	
Vidro Bronze	27,71	

Fonte: Autor (2022).

Ao explorar as informações de quantidades nas propriedades IFC constatou-se que o modelo exportado apresentou algumas limitações. Com o apoio de um especialista projetista para interpretar as informações e verificar a confiabilidade do modelo, foi observado que as áreas e volumes do *Element Quantities* estavam um pouco distantes da representação do modelo real. Como alternativa para obter quantidades mais confiáveis foram extraídas estas informações de *Cotas*, instância que contém informações dimensionais dos elementos conforme sua tipologia. Para elementos cujo volume não foi possível extrair diretamente de “*cotas.volume*”, o volume total de cada material foi calculado pela multiplicação da área pela espessura de cada camada de material.

Em muitos elementos não foi possível encontrar os materiais associados ou as informações estavam incompletas. Esta divergência de informações pode estar relacionada à configuração que o gerente BIM adotou na exportação do modelo IFC, problemas de conversão de unidades, limitação no mapeamento das propriedades dos elementos e dos elementos derivados, falta de relacionamento entre os elementos, problemas de interoperabilidade, entre outros. Sendo assim, para que o exemplo de aplicação do BIM-RCC Info Model não ficasse comprometido, com o apoio do projetista foram selecionados os elementos mais confiáveis para análise.

Os dados de materiais foram exportados em planilhas e trabalhados em paralelo para cálculo dos indicadores RCC em conjunto com a lista de classificação dos RCC (Quadro 14) e a lista com os IGR's para estimativa dos RCC (Quadro 15), definidos anteriormente. Para cada material foi identificado o material predominante e atribuído o IGR correspondente para cálculo dos RCC. Materiais do mesmo tipo foram agrupados e as quantidades somadas.

Nos Quadro 24, Quadro 25 e Quadro 26 estão representados os elementos analisados neste exemplo de aplicação com os respectivos materiais, quantidades e estimativa dos RCC. A nomenclatura dos parâmetros foi adotada conforme as variáveis definidas nos indicadores RCC para facilitar a análise. Dos elementos Parede, Cobertura e Laje foi possível extrair do modelo IFC área (m<sup>2</sup>) e espessura (m) dos materiais, o que permitiu encontrar o volume (m<sup>3</sup>) de cada material e aplicar

o IGR (%) para estimar os RCC em volume ( $m^3$ ). Na Cobertura um dos materiais denominado “Padrão” não foi incluído na análise, pois não foi possível identificar sua composição e na Laje o material “Gramma” foi excluído por não fazer parte do escopo dos materiais analisados.

Nas Portas e Janelas, o IFC gerou apenas os materiais em área ( $m^2$ ), então para estimar os RCC foi necessário adotar os IGR's ( $m^3/m^2$ ) e ( $kg/m^2$ ), sendo que este último ainda exigiu os valores de densidade aparente do material ( $kg/m^3$ ) para chegar ao RCC em volume ( $m^3$ ). Nestes mesmos elementos foram necessárias algumas adaptações de materiais. Inicialmente a lista do elemento Porta apresentou “portas de madeira com verniz”, porém os materiais “madeira” e “verniz” não foram exportados na lista de materiais. Assim, com base nas dimensões das portas e na quantidade de cada uma delas foi calculada a área do material “madeira” e do “verniz” para compor a análise. Ainda no elemento Porta e em Janela, um dos materiais foi exportado como “Alumínio com pintura preto esmalte”, os materiais foram separados em “alumínio” e “pintura” e a área duplicada para representá-los. Situação semelhante foi encontrada no Guarda-Corpo, sendo que neste elemento apenas informações de comprimento (m) estavam disponíveis, o que dificultou a estimativa dos RCC pelos IGR's. Parte dos valores foi encontrada em quilograma por metro e os demais em metro, unidades não convencionais para a abordagem proposta.

Quadro 24 – Levantamento de quantidades e estimativa de RCC – Parede, Cobertura e Laje

Elemento	QE	Material do modelo IFC	Material	IGR %	QM (m³)	QRCC (m³)	RCCE (m³)	Cód LER
Parede	297	Acabamento- Gesso	Gesso	6,4	4,88	0,31	32,29	17 08
		Argamassa	Argamassa	17,3	3,92	0,68		17 01
		Argamassa Colante	Argamassa	17,3	1,33	0,23		17.01 *
		Concreto/ Estrutural	Concreto	29,3	44,72	13,10		17 01
		Granilite Fulget Branco	Rochas, britas, mármores e granitos	4,4	0,21	0,01		17 05
		ICF	Aço	11	98,57	10,84		17 04
		Massa Corrida	Argamassa	17,3	8,39	1,45		17 01
		Pintura Branca/ Cinza Elefante Coral/ Preta	Tinta externa	23	9,67	2,22		20 01 *
		Porcelanato Esmaltado Soft Ceral 60 x 60	Revestimento	19	0,76	0,14		17 01
		RDP- Poliestireno Branco Liso	PVC, PET	2	0,38	0,01		17 02
		Reboco	Argamassa	17,3	9,31	1,61		17 01
		Tijolo, Comum	Tijolo	7	23,27	1,63		17 01
		Tinta Cinza Cromio	Tinta interna	15	0,34	0,05		20 01 *
		Vidro bronze escuro	Vidro	3,5	0,05	0,00		17 02
Cobertura	12	Padrão	-	-	-	-	1,27	-
		Placa de gesso	Painel gesso	7,8	16,31	1,27		17 08
Laje	237	Acabamento em pintura cinza	Tinta externa	23	1,44	0,33	97,29	20 01 *
		Argamassa	Argamassa	17,3	96,44	16,68		17 01
		Asfalto	Asfalto	10	42,09	4,21		17 03
		Concreto moldado in loco/Laje de concreto	Concreto	29,3	251,61	73,72		17 01
		Grama	-	-	-	-		-
		Granilite Fulget Cinza 90 x 90/Pugliese Polido G014	Rochas, britas, mármores e granitos	4,4	12,72	0,56		17 05
		Piso Vinílico Cinza	PVC, PET	2	89,10	1,78		17 02
					<b>Total</b>			<b>130,85 m³</b>
					<b>Perigoso *</b>	<b>2,83 m³</b>		

Fonte: Autor (2022).



Quadro 25 - Levantamento de quantidades e estimativa de RCC – Porta e Janela

Elemento	QE	Material do modelo IFC	Material	QM (m <sup>2</sup> )	IGR	Unidade	QRCC	Unidade	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	QRCC (m <sup>3</sup> )	RCCE (m <sup>3</sup> )	Cód LER
Porta	31	Alumínio Preto/Alumínio	Alumínio	136,41	0,19	kg/m <sup>2</sup>	25,92	kg	2700	0,01	0,53	17 04
		Plástico puertas correderas manusa	PVC, PET	30,20			0,00	kg	1330	0,00		17 02
		Tela Metalgrade	Aço	48,29	0,19	kg/m <sup>2</sup>	9,18	kg	7860	0,00		17 04
		Vidro Bronze	Vidro	50,02	0,0014	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,07	m <sup>3</sup>	-	0,07		17 02
		Madeira	Madeira	18,69	3,32	kg/m <sup>2</sup>	62,05	kg	178	0,35		17 02
		Verniz	Tinta	18,69	0,0033	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,06	m <sup>3</sup>	-	0,06		20 01 *
		Aluminio c/ pintura preto esmalte	Alumínio	10,20	0,19	kg/m <sup>2</sup>	1,94	kg	2700	0,00		17 04
		Pintura preto esmalte	Tinta interna	10,20	0,0033	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,03	m <sup>3</sup>	-	0,03		20 01 *
Janela	30	Aluminio c/ pintura preto esmalte	Alumínio	1,33	0,19	kg/m <sup>2</sup>	0,25	kg	2700	0,00	0,06	17 04
		Pintura preto esmalte	Tinta externa	1,33	0,0013	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,00	m <sup>3</sup>	-	0,00		20 01 *
		Alumínio Preto	Alumínio	22,26	0,19	kg/m <sup>2</sup>	4,23	kg	2700	0,00		17 04
		Vidro jateado/ Bronze	Vidro	31,61	0,0014	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,04	m <sup>3</sup>	-	0,04		17 02
		Aluminio c/ pintura preto esmalte	Alumínio	8,00	0,19	kg/m <sup>2</sup>	1,52	kg	2700	0,00		17 04
		Pintura preto esmalte	Tinta externa	8,00	0,0013	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,01	m <sup>3</sup>	-	0,01		20 01 *
		Silicone Rubber - Strugal - Black	Materiais de isolamento	3,09	0,04	kg/m <sup>2</sup>	0,12	kg	1050	0,00		17 06
Madeira: cálculo total com base na área das portas e quantidades, disponíveis na lista de portas (Porta-Painel 0,6*2,1*1 + Porta-Painel 0,7*2,10*5 + Porta-Painel 0,8*2,1*6)					<b>Total</b>					<b>0,58 m<sup>3</sup></b>		
Verniz: cálculo total com base na área das portas com verniz, conforme lista de portas e quantidades.					<b>Perigoso *</b>					<b>0,11 m<sup>3</sup></b>		

Fonte: Autor (2022).

Quadro 26 - Levantamento de quantidades e estimativa de RCC – Guarda-Corpo

Elemento	QE	Material do Modelo IFC	Material	QM (m)	IGR	Unid	QRCC	Unid	RCCE (kg/m)	Cód LER
Guarda-corpo	34	Alumínio c/ pintura preto esmalte	Alumínio	22,51	0,19	kg/m <sup>2</sup>	4,28	kg/m	54,53	17 04
		Pintura preto esmalte	Tinta externa	22,51	23	%	5,18	m		20 01 *
		Alumínio Preto/ Anodizado Cinza Escuro	Alumínio	143,51	0,19	kg/m <sup>2</sup>	27,27	kg/m		17 04
		Alumínio c/ pintura preto esmalte	Alumínio	54,43	0,19	kg/m <sup>2</sup>	10,34	kg/m		17 04
		Pintura preto esmalte	Tinta externa	54,43	23	%	12,52	m		20 01 *
		Aço com pintura esmalte branco	Aço	4,88	0,19	kg/m <sup>2</sup>	0,93	kg/m		17 04
		Pintura esmalte branco	Tinta externa	4,88	23	%	1,12	m	<b>RCCE (m)</b>	20 01 *
		Aço, Polido	Aço	5,68	0,19	kg/m <sup>2</sup>	1,08	kg/m	34,49	17 04
		Vidro Bronze	Vidro	79,64	3,5	%	2,79	m		17 02
		Alumínio c/ pintura preto esmalte	Alumínio	55	0,19	kg/m <sup>2</sup>	10,45	kg/m		17 04
		Pintura preto esmalte	Tinta externa	55	23	%	12,65	m		20 01 *
		Aço com pintura esmalte branco	Aço	1	0,19	kg/m <sup>2</sup>	0,19	kg/m		17 04
		Pintura esmalte branco	Tinta externa	1	23	%	0,23	m		20 01 *
<b>Total</b>		<b>54,54 kg/m</b>				<b>Perigoso *</b>				<b>0</b>
<b>Total</b>		<b>34,49 m</b>				<b>Perigoso *</b>				<b>31,70 m</b>

Fonte: Autor (2022).

Os materiais foram classificados conforme o código LER, para depois serem agrupados a fim de facilitar a análise dos indicadores RCC.

Na sequência da aplicação do BIM-RCC Info Model teve início análise dos indicadores RCC para compor o relatório de gestão dos RCC. As variáveis que compõem cada indicador foram identificadas e os resultados organizados. Para os indicadores que precisavam de informações externas como dados sobre venda de material, custo de coleta/destinação foi feita pesquisa de mercado a fim de encontrar valores aproximados, já para percentuais de reciclagem e reaproveitamento de materiais, dados de outros trabalhos foram utilizados e a referência da pesquisa apresentada junto ao cálculo. Para facilitar a estimativa de RCC em mesma unidade de volume, os valores encontrados para Guarda-Corpo não foram incluídos no relatório de RCC.

Com base nas informações do modelo IFC disponibilizadas, não foi possível analisar todos os indicadores propostos. No Quadro 27 apresenta um resumo da análise dos indicadores, sendo que alguns foram atendidos parcialmente, devido à falta de informações mais específicas do modelo.

**Quadro 27 – Análise dos indicadores RCC**

Indicador RCC		Status	Observação
DI - 1	Quantificação dos tipos de resíduos	Analisado	Guarda-corpo não incluído.
DI - 2	Classificação dos RCC conforme a LER	Analisado	Guarda-corpo não incluído
DI - 3	Relação elementos x tipos de resíduos	Analisado	Guarda-corpo não incluído
DI - 4	Cálculo de RCC em função da área de construção	Analisado	Guarda-corpo não incluído
DI - 5	Reaproveitamento de materiais de outras obras	Não analisado	Não há evidências de materiais que vieram de outras obras para serem utilizadas nesta construção.
VI - 1	Reutilização de materiais	Parcialmente analisado	Considerada a estimativa em percentual de quais materiais poderiam ser reaproveitados.
VI - 2	Reciclagem de materiais	Parcialmente analisado	Considerada a estimativa em percentual para materiais classificados como recicláveis e potencial de reciclagem de cada material com base em valores previstos na literatura
GI - 1	Destinação dos resíduos gerados	Parcialmente analisado	Estimada a destinação para cada material.
GI - 2	Cálculo de ganhos com reciclagem dos materiais	Não analisado	Não há informação sobre os custos de materiais utilizados neste modelo e nem os materiais que serão reciclados. O lucro estimado com venda de materiais não foi calculado.
GI - 3	Cálculo de ganhos com reutilização dos materiais	Não analisado	Não há informação sobre os custos de materiais utilizados neste modelo e nem os materiais que serão reutilizados. O ganho com a reutilização de materiais não foi calculado.

Fonte: Autor (2022).

No fluxo de aplicação do modelo, o especialista RCC poderia tratar desta falta de informações com o gerente BIM, por exemplo. No entanto, ao analisar os indicadores de diagnóstico de resíduos, verifica-se que a informações extraídas do modelo IFC sobre quantidades de elementos e materiais, os indicadores puderam ser encontrados mais facilmente, mesmo com a adaptação de algumas quantidades e do IGR para compor o cálculo. O único indicador que ficou comprometido foi o DI - 5 que trata do reaproveitamento de outros materiais na obra, cuja informação não estava disponível. Para identificar os materiais reutilizados no modelo, esta informação poderia fazer parte da biblioteca de materiais, para que seja possível selecionar o material durante a modelagem do projeto ou com a indicação pelo gestor da obra, no compartilhamento da tabela de materiais utilizados com o gerente BIM.

Nos indicadores de valorização de RCC, a verificação também ficou parcialmente comprometida, visto que somente as informações do modelo não foram suficientes para identificar os materiais com potencial de reaproveitamento e reciclagem. O indicador pode ser avaliado caso a informação seja alocada em uma propriedade do objeto, criando uma regra de classificação ou com o apoio do gestor da obra na indicação ao especialista RCC do que pode ser reaproveitado e em quais atividades, seja na própria construção ou em outro local. A análise possível no VI - 1 considerou apenas a estimativa em percentual de quais materiais poderiam ser reaproveitados, sendo a mesma interpretação utilizada no VI - 2 que considerou a estimativa em percentual para materiais classificados como recicláveis. Uma segunda análise neste mesmo indicador considerou o potencial de reciclagem de cada material com base em valores previstos na literatura, o que aproxima a interpretação do indicador a casos já aplicados.

Por fim, nos indicadores de gerenciamento de RCC, a análise do GI - 1 foi parcialmente realizada, com os métodos de destinação definidos para os RCC. No entanto, para execução do cálculo da estimativa de custos com destinação, precisaria dos valores da prestação deste tipo de serviço. Os indicadores GI - 2 e GI - 3 também ficaram comprometidos, pois o cálculo necessita tanto do valor total gasto na aquisição dos materiais, como a indicação dos materiais passíveis à reciclagem e à reutilização, sendo ainda necessária a estimativa de ganhos com a venda de material reciclável.

O relatório da gestão dos RCC com o panorama das informações analisadas neste exemplo de aplicação encontra-se no APÊNDICE H, concluindo a aplicação do BIM-RCC Info Model.

A título de curiosidade os dados obtidos por meio do modelo IFC foram comparados com a tabela de quantidades extraída do Revit® disponibilizada pelo gerente BIM. A partir dos dados gerados no *software* BIM é possível verificar algumas diferenças no detalhamento das informações de quantidades e de materiais, quando comparado com os dados do IFC. Para exemplificar as diferenças o elemento parede foi escolhido para comparação.

Ao analisar os tipos de paredes gerados pelo Revit® (Quadro 28) verifica-se que 26 tipos de paredes foram identificados no projeto, nove a mais do que os tipos de parede identificados no arquivo IFC. O quadro resumo gerado apresenta o nome da parede com sua espessura, os materiais que compõem o acabamento e a área total da parede no projeto. A partir destes dados, a alternativa para análise dos resíduos se restringe à decomposição manual somente dos materiais que compõem o acabamento. Não é possível dimensionar os materiais da estrutura da parede que compõe cada camada.

**Quadro 28 – Resumo de Paredes extraído do Revit**

<b>Cod.</b>	<b>Nome</b>	<b>Acabamento</b>	<b>Área (m²)</b>
PA01	Parede externa - Prime 24,67 cm	Tinta cinza Elefante / Tinta cinza Crômio	1357,72
PA02	Parede externa - Prime 25,50 cm	Tinta cinza Elefante / Porcelanato 60x60 branco Sansevieria Silver	14,14
PA03	Parede externa - Prime 24,67 cm	Tinta preta / Tinta Crômio	108,43
PA04	Parede externa - Prime 25,50 cm	Porcelanato 60x60 Lyptus Incesa / Tinta cinza Elefante	139,96
PA05	Parede externa - Prime 26 cm	Granilite branco Fulget / Tinta cinza Crômio	107,86
PA06	Parede externa - Prime 26 cm	Tinta branca	138,33
PA07	Parede externa - Veda 17 cm	Tinta Preta / Tinta branca	56,48
PA08	Parede interna - Prime 24,77 cm	Papel de Parede ou (Gesso 3D) / Tinta cinza Crômio	84,78
PA09	Parede interna - Prime 25,17 cm	ICF / Tinta cinza Crômio	13,35
PA10	Parede interna - Prime 25,17 cm	Porcelanato 60x60 Lyptus Incesa / Tinta cinza Elefante	26,28
PA11	Parede interna - Prime 25,17 cm	Porcelanato 60x60 branco Sansevieria / Tinta cinza Crômio	314,92
PA12	Parede interna - Prime 24,34 cm	Tinta cinza Crômio / Tinta cinza Crômio	976,84
PA13	Parede interna - Veda 17 cm	Azulejo Metrô Cozinha / Azulejo Metrô Cozinha	108,74
PA14	Parede interna - Veda 17 cm	ICF / Porcelanato 60x60 branco Sansevieia	41,93
PA15	Parede interna - Veda 17 cm	Porcelanato 60x60 branco Sansevieia /	55,44

		Porcelanato 60x60 branco Sansevieria	
PA16	Parede interna - Veda 16,50 cm	Tinta cinza Elefante / Porcelanato 60x60 Soft Ceral	12,95
PA17	Parede interna - Veda 16 cm	Tinta cinza Crômio / Tinta cinza Crômio	206,00
PA18	Parede externa - Veda 17 cm	Tinta cinza Elefante / Tinta branca	584,38
PA19	Parede externa - Veda 17 cm	Granilite branco Fulget / Porcelanato 60x60 Soft Ceral	5,48
PA20	Parede interna - Veda 16.50 cm	Tinta Branca / Tinta Branca	120,72
PA21	Parede interna - Veda 25,5 cm	Tinta Cinza Crômio / Porcelanato 60x60 Soft Ceral	4,70
PA22	Parede interna - Veda 16,17 cm	Porcelanato 60x60 Soft Ceral	28,35
PA23	Parede interna - Veda 16,50 cm	Tinta cinza Elefante / Porcelanato 60x60 Soft Ceral	41,03
PA24	Parede interna - Veda 16,50cm	Tinta branca / Porcelanato 60x60 Soft Ceral	61,19
PA25	Parede externa - Veda 17 cm	Granilite branco Fulget / Tinta branca	73,50
PA26	Parede externa - Alvenaria 16,50	Tinta cinza Elefante / Tinta cinza Elefante	135,35

Fonte: Autor (2022).

A dificuldade desta alternativa é que a estimativa pode ficar superestimada, já que o cálculo dos RCC seria com base na área total do elemento, em que não são descontados possíveis espaços (aberturas), como janelas ou portas, em que o material não foi completamente aplicado.

Já na análise da lista de materiais e quantidades do elemento Parede também extraídos do Revit®, observa-se que os dados disponibilizados no *software* de modelagem foram calibrados para gerar os dados em área e volume. No entanto, ao comparar estes materiais com aqueles extraídos do modelo em IFC, foi observada diferença nas quantidades totais de cada material e nos tipos de materiais identificados, sendo que a lista extraída do Revit® apresentou maior variedade de materiais. No Quadro 29 estão apresentados os dados encontrados, em que os materiais hachurados correspondem aos materiais em comum com os do modelo IFC.

**Quadro 29 – Lista de materiais e quantidades de Parede, extraídas do Revit e IFC**

Materiais Parede	Revit		IFC	
	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Acabamento- Gesso	4620,07	13,24	513,97	4,88
Argamassa	747,88	6,22	507,96	3,92
Argamassa Colante	1079,74	10,64	146,92	1,33
Azulejo Metrô	217,48	1,09	-	
Aço Inox	0,1	0	-	

Cola de Gesso	84,73	0,08	-	
Concreto	11,28	1,44	5,62	0,84
Concreto Estrutural	4955,29	404,18	957,94	43,87
Drywall Verde (RU)	244,26	3,03	-	
Espelho	1,19	0,01	-	
Granilite Fulget Branco	255,79	1,27	42,6	0,21
Granito Cinza Corumbá	0,9	0,01	-	
ICF	9898,88	595,54	1915,88	98,57
Massa Corrida	3714,65	24,83	1027,14	8,39
Pintura Branca	1383,67	6,91	873,46	4,37
Pintura Cinza Elefante Coral	2991,5	14,89	1003,26	5,02
Pintura Preta	164,91	0,82	56,48	0,28
Placa Cimenticia- Acabamento Tinta Esmalte Preta	43,23	0,43	-	
Placa Cimenticia- Acabamento Tinta Preta	3,45	0,02	-	
Placa de Gesso 3D	84,73	0,42	-	
Porcelanato Esmaltado Soft Ceral 60 x 60	169,58	0,85	152,4	0,76
Porcelanato Lyptus Incesa 60 x 60	188,18	0,93	-	
Porcelanato Sansevieria Silver Branco 60 x 60	462,64	2,31	-	
RDP- Poliestireno Branco Liso	149,35	1,49	37,86	0,38
Reboco	492,26	9,84	465,35	9,31
Tijolo, Comum	246,17	24,61	232,68	23,27
Tinta Cinza Cromio	4484,53	22,35	67,78	0,34
Vidro Bronze Escuro	1,01	0,04	1,01	0,05
Vidro Jateado Cinza	2,53	0,02	-	

Fonte: Autor (2022).

De maneira geral, observam-se diferenças significativas nas quantidades dos materiais, com valores maiores para os materiais disponibilizados pelas tabelas de quantidades do *software* de modelagem. Como o Revit® apresentou maior diversidade de paredes, a área contabilizada foi maior e, conseqüentemente, mais materiais foram utilizados na construção. Caso a quantidade de RCC fosse estimada pelos valores do Revit® (Quadro 30), o valor total dos RCC gerados para Parede seria de 211,55 m<sup>3</sup>, quase sete vezes maior do que os 32,29 m<sup>3</sup>, estimado para o mesmo elemento com dados extraídos do IFC.

**Quadro 30 – Estimativa de RCC no elemento Parede do Revit**

Material	Material Ref	IGR %	Volume (m <sup>3</sup> )	QRCC (m <sup>3</sup> )
Acabamento- Gesso	Gesso	6,4	13,24	0,85
Argamassa	Argamassa	17,3	6,22	1,08
Argamassa Colante	Argamassa	17,3	10,64	1,84
Azulejo Metrô	Revestimento	19	1,09	0,21
Aço Inox	Aço	11	0	0,00
Cola de Gesso	Material de isolamento	1	0,08	0,00
Concreto	Concreto	29,3	1,44	0,42
Concreto Estrutural	Concreto	29,3	404,18	118,42
Drywall Verde (RU)	Painel gesso	7,8	3,03	0,24
Espelho	Vidro	3,5	0,01	0,00
Granilite Fulget Branco	Rocha	4,4	1,27	0,06
Granito Cinza Corumbá	Rocha	4,4	0,01	0,00
ICF	Aço	11	595,54	65,51
Massa Corrida	Argamassa	17,3	24,83	4,30
Pintura Branca	Tinta	23	6,91	1,59
Pintura Cinza Elefante Coral	Tinta	23	14,89	3,42
Pintura Preta	Tinta	23	0,82	0,19
Placa Cimenticia- Acabamento Tinta Esmalte Preta	Revestimento	19	0,43	0,08
Placa Cimenticia- Acabamento Tinta Preta	Revestimento	19	0,02	0,00
Placa de Gesso 3D	Painel gesso	7,8	0,42	0,03
Porcelanato Esmaltado Soft Ceral 60 x 60	Revestimento	19	0,85	0,16
Porcelanato Lyptus Incesa 60 x 60	Revestimento	19	0,93	0,18
Porcelanato Sansevieria Silver Branco 60 x 60	Revestimento	19	2,31	0,44
RDP- Poliestireno Branco Liso	PVC	2	1,49	0,03
Reboco	Argamassa	17,3	9,84	1,70
Tijolo, Comum	Tinta	23	24,61	5,66
Tinta Cinza Cromio	Tinta	23	22,35	5,14
Vidro Bronze Escuro	Vidro	3,5	0,04	0,00
Vidro Jateado Cinza	Vidro	3,5	0,02	0,00
			<b>Total</b>	<b>211,55</b>

Fonte: Autor (2022).

Não foi escopo desta pesquisa a comparação de dados gerados pelo *software* de modelagem e pelo arquivo em IFC. No entanto, algumas hipóteses podem ser levantadas quanto às divergências encontradas.

Sob o ponto de vista do arquivo IFC, a forma como as propriedades do IFC foram associadas a cada instância nos tipos de elemento podem influenciar na



informação gerada. A configuração da exportação do arquivo IFC impacta em como as geometrias são organizadas, formadas e na atribuição das propriedades IFC. Podem ocorrer diferenças quando o projeto é exportado inteiro ou somente os elementos visíveis, por exemplo. Caso as propriedades nos objetos não estejam alocadas na instância adequada, durante a exportação a informação pode ficar oculta e não ser possível acessá-la. Semelhante ao que foi observado pelo projetista ao verificar que em alguns elementos construtivos não havia informações sobre quantidades.

Outro fato que pode influenciar nas diferenças é a forma como os objetos foram criados no modelo, a exemplo do elemento parede, se a composição ocorreu por camadas de material, se o cálculo da área foi feito com base na espessura da camada, se nas paredes está incluída a modelagem de janelas e portas. Também pode depender na forma como o modelo foi parametrizado para contabilizar estas informações no *Quantity Take Off*, com a possibilidade de duplicar quantidades se os vínculos da cobertura e lajes não são descontados, por exemplo.

Uma das formas de investigar a modelagem do projeto é usar um *software* de checagem para auxiliar na verificação dos modelos em BIM. A partir desta análise é possível verificar a qualidade do modelo, compatibilização de disciplinas, problemas de interoperabilidade, conflitos de informações, duplicidades, interseções, acessibilidade e funcionalidades. Portanto, uma investigação mais apurada poderia esclarecer estas diferenças, desde o início da criação do modelo, como as informações foram modeladas, quais foram os parâmetros de referência, definição de unidades, objetos, materiais e os impactos na análise das quantidades, sendo esta discussão uma oportunidade de pesquisa futura.

Este exemplo de aplicação leva à reflexão de que o BIM ainda está em processo de amadurecimento, que além da representação do sistema de informação, que é caracterizada por objetos paramétricos governados por regras de geometria, atributos e relações, a interoperabilidade é um requisito essencial para a troca de dados e para otimizar os fluxos de trabalho, assim como observado por Sanguinetti *et al.* (2012) e Müller *et al.* (2019).

Ademais, outro ponto de vista analisado por meio do exemplo, também verificado por Pinho (2013), é que, apesar do âmbito abrangente de utilização do BIM, ainda são observados problemas na importação e exportação dos modelos em IFC que podem levar a perda do controle das trocas de informação. Situação que

pode ser superada em um esforço conjunto entre desenvolvedores, a *buildingSMART* e participantes da cadeia da construção civil, com objetivo de melhorar as ferramentas BIM e qualidade de informação disponibilizadas pelos modelos.

Os resultados levam a crer que a virtualização da atividade de gestão dos RCC no BIM é possível de ser realizada com dados de quantidades extraídos do modelo no padrão IFC, mas que análise é enriquecida quando informações ambientais são inseridas nos elementos e propriedades do modelo. Novas funcionalidades podem otimizar as trocas de informação no IFC e ampliar as possibilidades de análises com relação aos RCC, assim como demonstrado nos trabalhos de Maltese *et al.* (2017), Santos (2019) e Quiñones *et al.* (2021).

## 4.5 Discussões

### 4.5.1 Estratégia de pesquisa

Os resultados demonstraram a praticidade do DSR na condução da pesquisa e no desenvolvimento do modelo conceitual como artefato solução para o gerenciamento dos RCC a partir do BIM. Nas etapas iniciais da DSR, a revisão da literatura contribuiu para conscientização do problema da geração de resíduos, dos impactos na sustentabilidade da construção e contextualização da aplicação do BIM no gerenciamento dos RCC e nos métodos de certificação ambiental. Desta forma, o conhecimento adquirido auxiliou a projetar a solução do problema, seguindo as etapas do DSR, conforme previstas por March e Smith (1995) e Dresch *et al.* (2015).

Parte dos requisitos relacionados a materiais e resíduos das certificações ambientais (LEED, AQUA-HQE, BREEAM, SBT<sup>ool</sup><sup>PT</sup>, LiderA) compuseram o questionário de opinião aplicado aos especialistas da indústria AEC, que foi avaliado sob o ponto de vista da gestão dos RCC e do cumprimento dos requisitos com base no modelo da construção em BIM. O que se observa a partir dos resultados é que abordagem escolhida de analisar previamente os métodos de certificação ambiental, assim como nos trabalhos de Azhar *et al.* (2011), Ilham (2014) e Wu *et al.* (2016), e a aplicação do questionário a profissionais como nos estudos de Maltese *et al.* (2017) e Miara (2020), contribuíram para definição dos critérios que poderiam ser

analisados com base no modelo BIM e a compor os indicadores RCC do modelo conceitual.

Na elaboração da lista de indicadores RCC prevaleceram indicadores do tipo quantitativo devido a maior probabilidade de serem cumpridos com informações extraídas do modelo BIM, que são essencialmente numéricas. A separação dos indicadores em três grandes áreas de diagnóstico, valorização e gerenciamento dos RCC facilitou a organização das informações entre etapas que geralmente fazem parte da atividade de gestão dos resíduos e que podem vir a ser analisadas em diferentes fases do ciclo de vida da construção. Estratégia semelhante foi observada nos trabalhos de Mália (2010), Nguyen *et al.* (2016), Chong *et al.* (2017).

A estratégia de aplicação do BIM-RCC Info Model partiu da premissa de que a atividade de gestão dos RCC foi definida previamente no acordo comercial da nova incorporação e que a atividade foi incluída no BEP. Este cenário reflete o que vem sendo adotado no mercado e se mostra uma opção viável de aplicação modelo conceitual na prática.

O modelo foi elaborado com base na estrutura IDM/MVD, recomendada pela *buildingSMART*, e na especificação do esquema padrão IFC, que corresponde ao principal formato aberto de interoperabilidade e intercâmbio de informações no BIM. A construção do modelo por este caminho favorece a prática do *openBIM* em que são valorizadas a confiabilidade das trocas de dados, fluxos de trabalho colaborativos, flexibilidade na escolha de tecnologias e sustentabilidade nos padrões de dados em longo prazo, assim como observado em Ilham (2014) e Maltese *et al.* (2017) que utilizaram a estrutura IDM/MVD em suas pesquisas. Ademais, as partes interessadas podem operar de forma conjunta e colaborativa na construção do modelo e na execução das atividades.

Na estrutura do modelo conceitual, o Gerente BIM desempenha papel principal no compartilhamento das informações do modelo BIM e na validação da análise de gestão dos RCC executada pelo especialista RCC antes de concluir a atividade no BEP. Os fornecedores de materiais e prestadores de serviço atuam como agentes externos de informações complementares ao modelo de construção. O modelo enviado ao especialista RCC deve ser o mais representativo possível do projeto real, sendo aconselhável que o gerente BIM revise os modelos no *software* BIM antes de exportá-los em IFC e que resolva qualquer problema de interoperabilidade que possa ocorrer com a mescla de modelos de diferentes

especialidades. O especialista RCC é quem vai avaliar e identificar informações adicionais para compor a execução das tarefas ou a necessidade de incluir requisitos de troca de informação para dar suporte ao processo.

Assim como observado nos estudos de aplicação do BIM de Santos (2019), Latreille (2018) e Crippa (2019), verifica-se que a modelagem geométrica dos elementos e objetos em LOD mínimo 300 atende ao nível de detalhamento dos dados e quantidades dos elementos e materiais, primordiais para efetuar o cálculo dos indicadores RCC. No entanto, ressalta-se que alguns aspectos relacionados à modelagem podem influenciar na precisão da representação digital do modelo quando comparada ao objeto real. Melhores resultados são obtidos quando há maior nível de detalhamento no modelo e padronização das unidades de medida adotadas, além da prática de seguir a especificação do IFC, estabelecer regras de negócios e requisitos de exportação adequados para a análise desejada.

O arquivo IFC é orientado a objetos e não só os elementos modelados representados por objetos, mas toda informação presente no modelo. Tanto o elemento quanto a sua representação gráfica são objetos que se relacionam. A utilização do *Jupyter Notebook* e da biblioteca *IfcOpenShell* demonstraram ser flexíveis e eficientes na importação e leitura do arquivo IFC, visto que os dados podem ser gerados e trabalhados na mesma interface ou exportados em outros tipos de arquivos como planilhas. No *Jupyter Notebook* é possível organizar de forma didática a apresentação os dados, na medida em que as informações são extraídas. Já no *IfcOpenShell* o fato dos atributos dos objetos terem o mesmo nome que os atributos no esquema padrão definido pela *buildingSMART* para o IFC, facilita a identificação das informações e a programação da leitura dos dados do modelo.

#### 4.5.2 BIM-RCC Info Model

Assim como no modelo proposto por Oti *et al.* (2016), o BIM-RCC Info Model seguiu três componentes principais presentes na modelagem da estrutura conceitual:

- Elaboração de um modelo de informação de construção;
- Identificação das informações ou recursos que precisam ser extraídos do modelo de construção;

- Síntese das informações, ou seja, dos recursos de modelagem para obter os resultados desejados.

Similarmente ao trabalho de Oti *et al.* (2016), os indicadores RCC constituíram o controle da atividade de gestão dos RCC, em que características extraídas do modelo IFC foram utilizadas como dados de entrada no modelo. Na saída, as informações contribuíram para uma visão geral da atividade, o que pode auxiliar no critério de decisão a ser adotado com relação à gestão dos RCC.

A vantagem do modelo conceitual proposto é a flexibilidade e adaptação conforme o escopo da contratação, conforme objetivo da análise RCC e em qual fase do ciclo de vida da construção será aplicado. O mapeamento das trocas de informação pode ser atualizado sempre que necessário e refletir as decisões firmadas durante a elaboração do BEP. No mapa de processo, especificamente, podem ser incluídas novas tarefas e outros indicadores RCC, desde que observadas informações disponíveis no modelo BIM e demais dados necessários para avaliação dos indicadores.

Se no escopo da contratação deseja-se realizar uma análise dos RCC em uma fase diferente do projeto executivo, em *retrofit* ou até mesmo na demolição, modelos de outros domínios podem ser exportados em IFC e analisados em conjunto. Na medida em que informações sobre materiais e produtos mais sustentáveis são atualizadas, os fornecedores e prestadores de serviços compartilham estas informações com o projetista e este as insere no modelo por meio de bibliotecas de objeto BIM ou por meio da atualização de banco de dados externo vinculado ao modelo, como foi realizado nos trabalhos de Ilham (2014), Oti *et al.* (2016) e Santos (2019). Desta forma, informações ambientais e econômicas podem ser incluídas ao longo do ciclo de vida da construção e os dados utilizados em diversos projetos. Quanto mais informações forem conhecidas, mais abrangente e representativa será a análise, o que corrobora com os resultados de Chen e Nguyen (2019).

A partir do modelo conceitual proposto ficou demonstrado que, para conduzir uma análise da gestão dos RCC no BIM por meio do IFC, são necessárias informações além das disponibilizadas no modelo de construção. Parte dos requisitos de troca de informações mapeados no BIM-RCC Info Model, como dados de quantidade e tipos de elementos e materiais, pôde ser obtida por meio da relação

de entidades/propriedades identificadas na especificação do IFC, já informações sobre custos de tratamento e destinação de resíduos, valores de venda de materiais, percentuais de reaproveitamento e reciclagem não foi possível extrair diretamente do modelo.

Com base no esquema padrão IFC 4.0 definido pela *buildingSMART*, verifica-se que os atributos e propriedades que compõe a especificação foram atribuídos com propósito específico de representar cada objeto inserido no modelo. Algumas destas propriedades podem ser acessadas para quantificação de materiais e elementos. Porém, para alguns tipos de análises, como na gestão dos resíduos ou cumprimento de requisitos de certificações ambientais, não há propriedades destinadas diretamente para este propósito. Diferente das melhorias implementadas para ACV, em que propriedades específicas foram inseridas no *IfcElement*, o que facilita a interpretação do indicador de forma automática, como explorado no trabalho de Santos (2019) e Ilham (2014).

Uma das formas de superar as limitações do modelo é inserir parte das informações nos elementos/materiais por meio do cálculo e criação de parâmetros no *software* BIM, que serão exportados em novas propriedades IFC ou podem ser trabalhadas em paralelo com dados do modelo em um ambiente fora do *software* de modelagem BIM, como foi realizado neste estudo.

A incorporação de informações ambientais e econômicas no modelo BIM pode reduzir a carga de trabalho e o tempo consumido para realização de análises relacionadas à gestão dos RCC, como observado na pesquisa de Santos (2019), porém o maior desafio é a padronização na modelagem da construção para atender aos requisitos de informação desta atividade e o refinamento que os modelos exigem antes da exportação, além dos problemas de interoperabilidade que podem levar a perda de dados durante o compartilhamento dos modelos, como observado nos trabalhos de Müller *et al.* (2017), Müller *et al.* (2019) e Ozturk (2020).

Para minimizar possíveis perdas de informação e para facilitar a identificação dos requisitos de troca é importante que o projetista observe a especificação da *buildingSMART* na elaboração do modelo. Considerando que, a informação contida nos objetos e elementos do modelo deve representar o mais próximo do real, e que é determinante para o conteúdo dos requisitos de troca que apoiam as atividades do processo, é recomendável que a inserção das informações esteja adequada à especificação. Assim, a utilização do BIM-RCC Info Model é

otimizada e as informações seguem um padrão universal de compartilhamento conforme o padrão IFC.

Uma das limitações do BIM-RCC Info Model é que para a análise da gestão dos RCC somente foi considerado os indicadores RCC propostos com base nos métodos de certificação ambiental do Brasil e de Portugal. Outra limitação é que o mapeamento das partes funcionais do IFC, em que as informações dos requisitos de troca poderiam ser encontradas, se concentrou no domínio arquitetônico e estrutural, embora o modelo conceitual possa ser adaptado e aplicado em qualquer fase do ciclo de vida da construção.

Por outro lado, a identificação das trocas de informação no BIM-RCC Info Model para análise da gestão dos RCC pode contribuir no desenvolvimento de soluções tecnológicas e de ferramentas programáveis integradas aos *softwares* BIM, que operem de forma automática, gerando informações sobre RCC. Semelhante ao que foi realizado nas pesquisas de Miara (2020), Nagalli *et al.* (2021), Sanhudo (2016) e Silva (2019), em que *plug-ins* e ferramentas auxiliares foram programadas em API's dos *softwares* BIM para extrair dados do modelo e realizar análises relacionadas à sustentabilidade da construção. Esta abordagem reforça a necessidade apontada por Chong *et al.* (2017) e Santos (2019) de unificar tecnologias com aspectos de sustentabilidade.

Por fim, verifica-se que a partir de módulos programáveis nas interfaces dos *softwares* BIM é possível fazer a leitura dos dados do modelo em IFC e gerar resultados diretamente em um ambiente aberto de compartilhamento. Assim, o modelo conceitual é aprimorado e encontra-se hábil para auxiliar nas análises integradas de BIM e RCC, além de permitir que as informações sejam reaproveitadas em outros tipos de estudos ambientais.

#### 4.5.3 Aplicação do BIM-RCC Info Model

O gerenciamento dos RCC tem como premissa assegurar a correta gestão dos resíduos durante as atividades de execução das obras e serviços de engenharia e ponderar por ações de não geração, minimização, reutilização, reciclagem e descarte adequados dos resíduos (NAGALLI, 2022). Os indicadores RCC que fizeram parte do BIM-RCC Info Model foram propostos dentro desta estratégia,

baseados em requisitos de sustentabilidade relacionados à gestão de materiais e recursos, que fazem parte dos métodos de certificação ambiental.

A aplicação do BIM-RCC Info Model permite analisar os indicadores RCC propostos e gerar as seguintes informações:

- Identificar componentes e elementos usados na construção;
- Quantificar elementos por tipo;
- Identificar os materiais que compõe cada elemento e quantificá-los;
- Estimar a geração de RCC em volume ou massa por elemento;
- Estimar a geração de RCC em volume ou massa por material;
- Analisar os tipos de RCC gerados e classificá-los conforme código europeu de resíduos ou outra classificação nacional;
- Definir estratégias de reaproveitamento e reciclagem;
- Estimar ganhos com a reciclagem e reutilização de materiais;
- Estimar custos de coleta, transporte e destinação de RCC.

Os resultados do BIM-RCC Info Model podem otimizar a gestão dos RCC e corroboram com outros estudos como Llatas (2011), quando aplicou seu modelo para estimativa de RCC, Quiñones *et al.* (2021) que avaliaram a integração de modelos de estimativa de RCC em *softwares* BIM e Ahankoob *et al.* (2012) que analisaram o potencial de aplicação do BIM na estimativa do desperdício de materiais em obras. A partir da classificação e quantificação dos RCC, a prevenção de resíduos é incentivada já que é possível identificar a origem dos resíduos para cada elemento, substituir materiais por aqueles que geram menos impactos e que apresentem maior vantagem econômica e ambiental. É possível detectar a origem dos resíduos perigosos e avaliar a possibilidade de remoção/ substituição do material ou processo construtivo para evitar a geração destes resíduos. Há ainda conscientização do gestor da obra para evitar desperdícios de materiais, programar a utilização racional dos recursos e para identificar oportunidades de recuperação de RCC e de reaproveitamento de materiais ao longo das etapas do ciclo da construção e em outros projetos. Além de estimar com maior precisão a frequência da coleta, a escolha dos locais para tratamento e destinação de cada RCC.

Há possibilidade de utilizar outros indicadores, porém o modelo deve ser reavaliado, para verificar se os requisitos de troca definidos atendem a nova



proposta e se há correspondência entre as informações extraídas do modelo no padrão IFC para atendimento do que se pretender avaliar por meio dos novos indicadores. O mesmo cuidado deve ser tomado na aplicação do modelo ao longo das fases do ciclo de vida da construção, em que as informações para gestão dos RCC apresentam suas especificidades. Como apontado por Maltese *et al.* (2017), na avaliação de vários cenários, a adaptação do modelo deve respeitar suas limitações e considerar as trocas de informações conforme disponíveis no IFC, sem comprometer a qualidade dos resultados.

Ao final da aplicação do modelo, a última etapa antes de encerrar a atividade do especialista RCC consiste na elaboração do relatório final de gestão dos RCC, em que um panorama dos indicadores RCC é apresentado de forma objetiva. O compartilhamento deste documento deve estar definido previamente na elaboração do BEP, sendo que diversas são as opções. O relatório pode ser gerado em arquivos de texto ou planilha individuais e depois compartilhado em nuvem; pode ser gerado no *JupyterNotebook* que funciona como caderno de anotações; pode ser criado um ambiente interativo por meio de *dashboards* para acompanhamento dos indicadores em tempo real, com geração de relatórios mensais; ferramentas auxiliares e artefatos programáveis; tramitação por meio de correspondência interna etc.

Conforme observado, uma das vantagens do BIM-RCC Info Model é a versatilidade de aplicação, o que permite que os resultados obtidos para a análise da gestão dos RCC também possam ser aproveitados em outros tipos de análises ambientais. Considerando que as principais informações se referem ao diagnóstico, valorização e gerenciamento de RCC, outras contribuições que o modelo pode oferecer são para:

- Coordenação da utilização de materiais, com otimização dos recursos;
- Organização da obra, medição do desempenho;
- Acompanhamento de indicadores de geração de RCC;
- Identificação de oportunidades de reutilização e aproveitamento de materiais;
- Cumprimento de requisitos de métodos de certificação ambiental;
- ACV e ACC;
- Atendimento de legislação ambiental referente à resíduos;

- Estudos de impactos ambientais, com dimensionamento de métodos de coleta, tratamento e destinação adequada;
- Estudos de cenários para tratamento e destinação final de resíduos;
- Modelagem de sistemas de logística reversa de RCC;
- Elaboração de plano de gerenciamento de resíduos de construção civil;
- Complementação de documentos para licença ambiental;
- Estudos de viabilidade econômica de coleta, tratamento e destinação final;
- Metas de descarbonização;
- Atendimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável;
- Estudos de economia circular;
- Redução do impacto dos materiais no ciclo de vida do edifício;
- Melhor planejamento em projetos de consumo de energia e emissões;
- Integração do BIM nas atividades relacionadas ao ambiente e sustentabilidade, entre outros.

Apesar das limitações do BIM na modelagem de alguns tipos de informação, verifica-se que é possível extrair dados de quantidades do modelo IFC para análises relacionadas aos resíduos. O modelo conceitual proposto apresenta flexibilidade para ser aplicado em diferentes fases do ciclo de vida da construção e os resultados da gestão dos RCC podem contribuir para outros tipos de análises de sustentabilidade.

## 5. CONCLUSÕES

O BIM representa um avanço na digitalização da indústria AEC, com potencial de aplicação em diversas áreas da construção civil. No contexto ambiental, em um cenário de crescimento populacional, escassez de recursos e da necessidade de minimizar os impactos no ambiente, a gestão das construções por meio do BIM vem a contribuir para preservação dos recursos e promoção de ambientes mais sustentáveis.

Considerando o BIM como um grande repositório de informações da construção, esta pesquisa buscou explorar a aplicação do BIM na gestão dos RCC e na sustentabilidade das construções. Para isso, um modelo conceitual de informações foi desenvolvido com base no padrão IFC, para atender indicadores de RCC que foram criados a partir de métodos de certificação ambiental do Brasil e de Portugal (LEED, AQUA-HQE, BREEAM, SBTtool<sup>PT</sup> e LiderA).

A abordagem DSR escolhida para o desenvolvimento do modelo conceitual foi fundamentada em um contexto real de aplicação, considerando à realidade dos empreendimentos em que diferentes escritórios e profissionais estão envolvidos na incorporação e partilham o modelo em IFC, além de que os resultados obtidos para a gestão dos RCC podem contribuir para diversas soluções de gestão e de sustentabilidade nas construções.

A definição dos atores participantes e o mapeamento das tarefas na elaboração do BIM-RCC Info Model facilitou a identificação das trocas de informação ao longo do processo. Para otimizar a utilização do modelo, é essencial que os requisitos de informação do modelo BIM sejam adaptados à fase do ciclo da construção que será analisado, à complexidade do projeto e à necessidade do cliente. A estrutura do modelo proposta revela a importância de avaliar os dados exportados do IFC no início da aplicação do modelo, para não comprometer a análise dos indicadores RCC.

O exemplo de aplicação do BIM-RCC Info Model foi importante para verificar que a utilização de modelos BIM como repositório de dados para gestão dos RCC é uma alternativa viável, em que os usuários podem editar ou adicionar qualquer informação referente aos materiais sempre que possível e melhorar os parâmetros para estimativa dos indicadores RCC. No entanto, dependendo da forma como o

projeto é modelado no BIM e como é exportado em IFC, influencia no tipo e na qualidade da informação disponível para avaliação dos requisitos de troca.

As dificuldades encontradas no exemplo de aplicação levam a crer que, apesar de que algumas propriedades da *buildingSMART* são pré-classificadas para determinado uso para facilitar o processo de *facilities* na construção, poucas são as ferramentas que estão exportando essas informações nos locais previstos pela *buildingSMART*, nos atributos e *property sets*, ou seja, no padrão da especificação. Observa-se que a geometria é exportada, mas o recebimento das informações não é bem definido, há dificuldade em associar a informação à propriedade correspondente para a qual ela foi criada para ser representada. O que demonstra a necessidade de aprimoramento dos *softwares* e das ferramentas BIM, em um processo de melhoria contínua no desenvolvimento de novas funcionalidades, recursos e soluções inovadoras, a fim de atender as demandas de *facilities* do setor da construção civil e superar os desafios de trabalhar com tantas informações ao mesmo tempo. Além disso, tanto o Brasil como Portugal estão no início da implantação do BIM, o conceito *openBIM* ainda não está bem disseminado, o que exigirá maior integração entre o conhecimento da teoria do BIM e da prática por parte dos profissionais, com discussões sobre as formas de compartilhamento de informações, nível de detalhamento dos modelos, conhecimento da complexa estrutura de dados no IFC e do comportamento e disponibilidade das informações ao longo do ciclo da construção.

A partir da estrutura proposta para o BIM-RCC Info Model verifica-se a importância da definição das regras de negócio e do mapeamento das informações que serão compartilhadas com as partes interessadas antes de iniciar a execução do plano de execução BIM. É uma boa prática que a partir da especificação da *buildingSMART* o projetista defina com a equipe os atributos do modelo em que as informações para a gestão dos RCC estarão disponíveis e que os locais sejam compartilhados com os demais envolvidos na atividade, principalmente o gerente BIM que é o responsável por extrair as informações antes de enviar ao especialista RCC. Estas definições prévias contribuem para padronização das atividades da construção e minimizam possíveis problemas de interoperabilidade e de perdas de informação que podem ocorrer durante a exportação do modelo em IFC ou com manipulação do modelo sem orientação.

Do ponto de vista da estratégia de adoção do BIM-RCC Info Model na gestão dos RCC, verifica-se que os resultados podem contribuir para uma gestão mais eficiente dos materiais e dos resíduos, reduzindo desperdícios, maximizando as taxas de reutilização e reciclagem dos RCC e melhorando os processos, com práticas mais adequadas para gestão dos RCC. As informações obtidas por meio dos indicadores RCC vão de encontro às necessidades das principais análises ambientais relacionadas aos resíduos desde a elaboração de planos de gerenciamento de RCC, cumprimento de requisitos de métodos de certificações ambientais, análises de ciclo de vida, circularidade dos materiais e estudos de sustentabilidade. Ademais o modelo pode auxiliar na tomada de decisão quanto à escolha dos materiais, plano de trabalho, tipos de tratamento e destinação e possibilidades de reaproveitamento tanto nas fases iniciais do projeto, como na fase de construção, manutenção, *retrofit* e demolição.

Considerando os objetivos iniciais definidos, verifica-se que o primeiro e segundo objetivos foram atendidos plenamente por meio da revisão da literatura e do resultado da aplicação do questionário de opinião com os profissionais AEC, o que facilitou a análise dos requisitos RCC presentes nos métodos de certificação ambiental e na proposta de novos indicadores RCC que pudessem ser avaliados com auxílio do BIM. Na sequência, o terceiro e quarto objetivos foram atendidos parcialmente, a partir da elaboração do BIM-RCC Info Model, ao explorar os componentes do processo, atores participantes e trocas de informação envolvida na execução da atividade de gestão de RCC, porém sem a possibilidade de atestar todos os recursos do padrão de informação em IFC no exemplo de aplicação escolhido e de analisar em detalhe os problemas de interoperabilidade dos dados na estrutura proposta.

A dificuldade principal ocorreu por questões de acesso à informação e de indisponibilidade do modelo no exemplo de aplicação e por esta razão, foi identificada a necessidade de explorar a aplicação do BIM-RCC Info Model em outros contextos e explorar os resultados de forma mais prática.

Portanto, como oportunidades de pesquisa futura recomendam-se:

- Análise de um estudo de caso, em que a modelagem do projeto seja acompanhada desde o início e que os parâmetros sigam a especificação do IFC;
- Aplicação do modelo considerando todos os elementos construtivos;

- Aplicação do modelo considerando outras especialidades além da arquitetura e estrutura;
- Comparação da aplicação do modelo com dados extraídos do *software* de modelagem e do IFC;
- Aplicação do modelo em outras fases do ciclo de vida da construção ou seguindo o cronograma de execução da obra;
- Aplicação do modelo a partir da exportação do IFC de outros *softwares* BIM diferentes;
- Elaboração do MVD e IDS para gestão dos RCC de forma detalhada, conforme os requisitos de informação e partes funcionais do padrão IFC para complementar o modelo conceitual;
- Automatização da aplicação do modelo por meio de *plug-in* ou ferramentas integradas;
- Avaliação do cumprimento de outros indicadores de RCC como indicadores de economia circular para os materiais;
- Explorar outras ferramentas aptas para leitura e manipulação de arquivos em IFC;
- Explorar a exportação dos resultados em ambiente virtual em nuvem com painel interativo para acompanhamento em tempo real e emissão de relatórios de forma automática.

De forma geral, a pesquisa contribuiu para o avanço da transformação digital na indústria AEC, no conceito do *openBIM*, com compartilhamento das informações entre as partes interessadas que podem operar de forma conjunta e colaborativa no modelo e na execução das atividades em benefício da gestão dos RCC e da sustentabilidade das construções, o que vai de encontro com a hipótese do trabalho. Ademais, é demonstrada a importância do detalhamento das informações na modelagem de objetos BIM que podem influenciar diretamente nas simulações que dependem de dados de quantidades.

Do ponto de vista científico e tecnológico a pesquisa ressalta a importância do BIM na área da sustentabilidade e do potencial de aplicação do BIM-RCC Info Model em benefício do alcance das metas impostas pelas diretivas ambientais da Europa e da PNRS no Brasil, como redução da geração de RCC, aumento do

percentual de reaproveitamento e de reciclagem dos materiais, e em outras análises como no ciclo de vida, na análise de objetivos sustentáveis e na redução das metas impostas para descarbonização.

Considerando que o BIM está a mudar a maneira de projetar e a gestão das construções, há necessidade de reforçar as parcerias entre academia científica e o setor da construção a fim de acompanhar o avanço tecnológico e explorar as oportunidades de pesquisa a partir disso no contexto ambiental. A exemplo de novos modelos de negócio, modelos de construção, compartilhamento de informações por meio do IFC e IDS, revisão da interoperabilidade entre *softwares* utilizados nas atividades da construção e em análises ambientais, estudo da ontologia em novas estruturas, da inserção da economia circular nos projetos, a prática da logística reversa dos RCC na cadeia produtiva, o desenvolvimento de novos materiais a partir do reaproveitamento de RCC, substituição de matéria-prima para menos impactantes e inserção de materiais recicláveis nas obras e novas práticas para minimizar a geração de RCC em todas as etapas do ciclo de vida da construção.

Espera-se que o trabalho desenvolvido nesta pesquisa contribua para o desenvolvimento de outros artefatos no BIM que auxiliem na gestão das construções do ponto de vista ambiental e que contribua para o avanço da implementação do BIM de forma inovadora e sustentável na indústria AEC.

## 6. PUBLICAÇÕES

SCHAMNE, A. N.; NAGALLI, A.; SOEIRO, A. A. V. The use of BIM to automated construction and demolition waste management: A literature review from 2009 to 2020. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e de Sustentabilidade** [online]. 2022, vol. 9, n. 21, p. 377-394. ISSN 2359-1412. DOI: [10.21438/rbgas\(2022\)092124](https://doi.org/10.21438/rbgas(2022)092124).

\_\_\_\_\_. Building information modelling and building sustainability assessment: a review, **Frontiers of Engineering and Building Environment**, v.2, nº 1 pp. 22-33, 2021. DOI: [10.1108/FEBE-08-2021-0038](https://doi.org/10.1108/FEBE-08-2021-0038).

\_\_\_\_\_. Análise comparativa dos métodos de certificação ambiental sob a perspectiva dos resíduos de construção civil e da modelagem da informação da construção, **Revista Iberoamericana de Ciências Ambientais**, v. pp. 22-33, 2021. Disponível em: <<https://sustenere.co/index.php/rica>>.

\_\_\_\_\_. Análise dos requisitos de sustentabilidade para gestão dos resíduos de construção civil nas certificações AQUA-HQE e SBTol<sup>PT</sup>. In: 14º SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 1º PAINEL INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2021, Brasil. Anais...Brasil, 2021.



## REFERÊNCIAS

- ABAKUMOV, R. G. e NAUMOV, A. E. Building Information Model: advantages, tools and adoption efficiency, **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering**, 327, 022001, 2018. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/327/2/022001>>. Acesso em: 11 jan. 2019.
- ABDELHAMEED, Wael. Sustainable Design Approach: A case study of BIM use, **E3S Web Conf, World Renewable Energy Congress**, v. 23, nº 02001, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172302001>>. Acesso em: 18 nov. 2019.
- ADAMS, Katherine T.; OSMANI, Mohamed; THORPE, Tony; THORNBAC, Jane. Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers, **Proc. Inst. Civ. Eng. - Waste Resour. Manag.**, v.170, pp. 15-24, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1680/jwarm.16.00011>>. Acesso em: 29 mar.2021.
- ADJEL, Solomon D. **Review of waste management in the UK construction industry**, 2016. 404f. Thesis (Doctor of Philosophy), Faculty of Science and Engineering, University of Wolverhampton, 2016. Disponível em: <<http://wlv.openrepository.com/wlv/handle/2436/618541>>. Acesso em: 04 set. 2017.
- AGOPYAN, Vahan; SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes de; PALIARI, José Carlos; ANDRADE, Artemária Coêlho de. **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras: relatório final**. [S.l: s.n.], 1998. Disponível em: <<http://perdas.pcc.usp.br/>>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- AHANKOUB, Alireza; KHOSHNAVA, Seyed M.; ROSTAMI, Raheleh; PREECE, Christopher. BIM perspectives on construction waste reduction, In: MANAGEMENT IN CONSTRUCTION RESEARCH ASSOCIATION POSTGRADUATE CONFERENCE, 2012, pp. 195-199, 2012, Malásia. **Proceedings...** Malásia, 2012. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/286915461\\_BIM\\_PERSPECTIVES\\_ON\\_CONSTRUCTION\\_WASTE\\_REDUCTION](https://www.researchgate.net/publication/286915461_BIM_PERSPECTIVES_ON_CONSTRUCTION_WASTE_REDUCTION)>. Acesso em: 29 set. 2017.
- AISH, Robert; MARSH, Andrew. An Integrated Approach to Algorithmic Design and Environmental Analysis. In: SYMPOSIUM ON SIMULATION FOR ARCHITECTURE AND URBAN DESIGN (SimAUD), SPRING SIMULATION MULTI-CONFERENCE, SPRINGSIM '11, pp. 149-155, 2011, Boston, MA, USA. **Proceedings...USA**, 2011. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.5555/2048536.2048556>>. Acesso em: 27 dez. 2020.
- AJAYI, S. O., OYEDELE, L. O., BILAL, M., AKINADE, O. O., ALAKA, H. A., OWOLABI, H. A., e KADIRI, K. O. Waste effectiveness of the construction industry: Understanding the impediments and requisites for improvements, **Resources, Conservation and Recycling**, v. 102, pp. 101–112, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.06.001>>. Acesso em: 06 set. 2019.
- AKINADE, O. O., OYEDELE, L. O., BILAL, M., AJAYI, S. O., OWOLABI, H. A., ALAKA, H. A., e BELLO, S. A. Waste minimisation through deconstruction: A BIM based Deconstructability Assessment Score (BIM-DAS), **Resources, Conservation and Recycling**, v. 105, pp. 167–176, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.018>>. Acesso em: 06 set. 2019.
- AKINADE, O. O., OYEDELE, L. O., MUNIR, K., BILAL, M., AJAYI, S. O., OWOLABI, H. A., ... BELLO, S. A.. Evaluation criteria for construction waste management tools: towards a holistic BIM framework, **International Journal of Sustainable Building Technology and**

**Urban Development**, v. 7(1), pp. 3–21, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/2093761X.2016.1152203>. Acesso em: 06 set. 2019.

AKINADE, O. O.; OYEDELE, L. O.; AJAYI, S. O.; BILAL, M.; ALAKA, H. A.; OWOLABI, H. A.; ARAWOMO, O. O. Designing out construction waste using BIM technology: Stakeholders' expectations for industry deployment, **Journal of Cleaner Production**, v. 180, pp. 375-385, 2018. Acesso em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.022>>. Acesso em: 16 ago. 2018.

AKINADE, O. O., e OYEDELE, L. O. Integrating construction supply chains within a circular economy: an ANFIS-based waste analytics system (A-WAS), **Journal of Cleaner Production**, v. 229, pp. 863–873, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.232>>. Acesso em: 06 set. 2019.

ALEKSANIN, A. Potential for the use of information systems in the management of construction waste. In: MATEC WEB OF CONFERENCES (Vol. 196), 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1051/mateconf/201819604081>>. Acesso em: 06 set. 2019.

ALSAYYAR, B.; JRADE, A. Integrating Building Information Modeling (BIM) with sustainable universal design strategies to evaluate the costs and benefits of building projects. In: 5<sup>th</sup> INTERNATIONAL/11<sup>TH</sup> CONSTRUCTION SPECIALTY CONFERENCE. VANCOUVER – BRITISH COLUMBIA: 10 p., 2015. Disponível em: <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/52660/items/1.0076382>. Acesso em: 06 set. 2019.

ALWAN, Z., JONES, P., e HOLGATE, P. Strategic sustainable development in the UK construction industry, through the framework for strategic sustainable development, using Building Information Modelling, **Journal of Cleaner Production**, v. 140, pp. 349–358, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.085>>. Acesso em: 06 set. 2019.

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS, **Guide, Instructions and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents (Washington: AIA)**, AIA, 2013a. Disponível em: <<https://www.aiacontracts.org/resources/69541-guide-instructions-and-commentary-to-the-2013-aia-digital-practice-documents>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

\_\_\_\_\_. G202-2013 Project BIM Protocol, AIA Document G202<sup>TM</sup>, 2013b.

ANDRADE, Joana B. **Avaliação da sustentabilidade do edifício solar XXI utilizando a metodologia SBTool<sup>PT</sup>**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente). 2009. 196f. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10216/58269>>. Acesso em: 28 jan. 2020.

ANSAH, Mark K.; CHEN, Xi; YANG, Hongxing; LU, Lin; LAM, Patrick T.I. A review and outlook for integrated BIM application in green building assessment, **Sustainable Cities and Society**, v. 48, pp.1-13, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101576>>. Acesso em: 24 dez. 2019.

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. **Plano Nacional de Gestão dos Resíduos 2014–2020**, APA, Lisboa, 2014. Disponível em: <[https://apambiente.pt/\\_zdata/Políticas/Resíduos/Planeamento/PNGR\\_rev\\_20141107\\_clean.pdf](https://apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/Planeamento/PNGR_rev_20141107_clean.pdf)>. Acesso em: 03 ago. 2020.

\_\_\_\_\_. **Relatório Anual de Resíduos Urbanos 2019**, APA, Lisboa, 2019a. Disponível em: <[https://apambiente.pt/\\_zdata/Políticas/Resíduos/Resíduos\\_Urbanos/RARU\\_2019\\_v2.pdf](https://apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/Resíduos_Urbanos/RARU_2019_v2.pdf)>. Acesso em 03 ago. 2020.

\_\_\_\_\_. **Guia de Boas Práticas para uma adequada gestão de Resíduos de Construção e Demolição**, APA, Lisboa, 2019b. Disponível em: [https://apambiente.pt/sites/default/files/Residuos/FluxosEspecificosResiduos/RCD/BP\\_v2.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/Residuos/FluxosEspecificosResiduos/RCD/BP_v2.pdf). Acesso em: 03 ago. 2020.

\_\_\_\_\_. **Resíduos de Construção e Demolição, Resultados 2018 e Evolução 2016-2018**, APA, Lisboa, 2022. Disponível em: <https://apambiente.pt/residuos/residuos-de-construcao-e-demolicao>. Acesso em: 02 jun. 2022

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021**, ABRELPE, São Paulo, 2022. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>>. Acesso em: 27 abr. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. **Perfil da indústria de materiais da construção**, ABRAMAT, Fundação Getúlio Vargas Projetos, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://abramat.org.br/indicadores-publicos/>. Acesso em: 24 mai. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14.040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura**, Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14.044: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações**, Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.575: Edificações Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

AUTODESK. **Autodesk knowledge network**, Autodesk, 2020. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br>>. Acesso em: 06 jan. 2020.

AZEVEDO, O. J. M. **Metodologia BIM – Building Information Modeling na direção técnica de obras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2009. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/10695>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

AZHAR, Salman; CARLTON, Wade A.; OLSEN, Darren; AHMAD, Irtishad. Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis, **Automation in Construction**, v. 20, pp. 217–224, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2010.09.019>. Acesso em: 13 jun. 2019.

BAKCHAN, A., FAUST, K. M., e LEITE, F. Seven-dimensional automated construction waste quantification and management framework: integration with project and site planning, **Resources, Conservation and Recycling**, v.146, pp.462–474, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.020>. Acesso em: 06 set. 2019

BANIHASHEMI, S., TABADKANI, A., e HOSSEINI, M. R. Integration of parametric design into modular coordination: a construction waste reduction workflow, **Automation in Construction**, v. 88, pp. 1–12, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.026>. Acesso em: 06 set. 2019.

BASBAGILL, J.; FLAGER, F.; LEPECH, M.; FISCHER M. Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts, **Building and Environment**, v. 60, pp. 81-92, 2013. Disponível em: <

<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.009>>. Acesso em: 17 nov. 2019.

BILAL, M.; OYEDELE, L. O.; QADIR, J.; MUNIR, K.; AKINADE, O. O.; AJAYI, S. O.; ... OWOLABI, H. A. Analysis of critical features and evaluation of BIM software: towards a plug-in for construction waste minimization using big data. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, v. 6(4), pp. 211–228, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/2093761X.2015.1116415>. Acesso em: 06 set. 2019.

BILAL, M., OYEDELE, L. O., AKINADE, O. O., AJAYI, S. O., ALAKA, H. A., OWOLABI, H. A., ... BELLO, S. A. Big data architecture for construction waste analytics (CWA): a conceptual framework, **Journal of Building Engineering**, v. 6, pp. 144–156, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.03.002>. Acesso em: 06 set. 2019.

BILAL, Muhammad; KHAN, Khurram I. A.; THAHEEM, Muhammad J.; NASIR, Abdur R. Current state and barriers to the circular economy in the building sector: Towards a mitigation framework, **Journal of Cleaner Production**, v. 276, 123250, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123250>>. Acesso em: 16 nov. 2020.

BIM FORUM. **Level of development specification for Building Information Models**, Version: 2014. Disponível em: <https://bimforum.org/LOD>. Acesso em: 06 nov. 2020.

BIZAGI. **Bizage Modeler**, Bizagi, 2021.

Disponível em: <<https://www.bizagi.com/pt/plataforma/modeler>>. Acesso em: 06 nov.2021

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 02 ago. 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 20 abr. 2018.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling. **Diário Oficial da União**, República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 22 ago. 2019. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2019/decreto/D9983.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9983.htm). Acesso em: 29 dez. 2020.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 10.306, de 02 de abril de 2020. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. **Diário Oficial da União**, República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 02 abr. 2020. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm). Acesso em: 29 dez. 2020.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHOD. **BREEAM International New Construction 2016. Technical Manual**, Versão 2016, BRE Global Ltd., 2017. Disponível em: <[https://www.breeam.com/BREEAMInt2016SchemeDocument/#\\_frontmatter/other\\_types.htm%3FTocPath%3D\\_4](https://www.breeam.com/BREEAMInt2016SchemeDocument/#_frontmatter/other_types.htm%3FTocPath%3D_4)>. Acesso em: 07 fev. 2020.

\_\_\_\_\_. Dados de projetos BREEAM, 2020. Disponível em: <<https://www.breeam.com/>>. Acesso em: 03 fev. 2020.

BUILDING SMART. Building Smart International. Disponível em: <https://technical.buildingsmart.org/>. Acesso em: 25 mai. 2021.

BURT, James; PURVER, Kate. Building information modeling for small-scale residential projects, **Management, Procurement and Law**, v.167, pp. 134-140, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1680/mpal.13.00019>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

CARVALHO, Larissa Beck. **Análise crítica do tema resíduos no método de certificação AQUA**. 2014. 82 f. Monografia (Especialização em Construção Sustentável), Departamento Acadêmico da Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2014.

CARVALHO, Jose P.; BRAGANÇA, Luis; MATEUS, Ricardo. Optimising building sustainability assessment using BIM, **Automation in Construction**, v. 102, pp. 170–182, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.021>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. Sustainable building design: analysing the feasibility of BIM platforms to support practical building sustainability assessment, **Computers in Industry**, v.127, 103400, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103400>>. Acesso em: 01 dez.2021.

CASAGRANDE, Bruno. **Proposta de indicadores para certificação de edifícios inteligentes e sustentáveis**. 2019. 214f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana). Programa de Pós- Graduação em Sistema de Infraestrutura Urbana, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2019. Disponível em: <<http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/bitstream/tede/1297/2/BRUNO%20CASAGRANDE.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2020.

CHANDRATILAKE, S.R.; DIAS, W.P.S. Ratio based indicators and continuous score functions for better assessment of building sustainability, **Energy**, v. 83, pp. 137-143, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.007>. Acesso em: 15 abr. 2020.

CHAREF, Rabia; EMMITT, Stephen; ALAKA, Hafiz; FOUCHAL, Farid. Building Information Modelling adoption in the European Union: an overview, **Journal of Building Engineering**, v. 25, 100777, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100777>>. Acesso em: 12 out. 2019.

CHEN , David. **Enterprise Interoperability Framework**, 2006.

CHEN, Po-Han; NGUYEN,Thanh C. A BIM-WMS integrated decision support tool for supply chain management in construction, **Automation in Construction**, v.98 pp. 289–301, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.019>. Acesso em: 07 set. 2019.

CHENG, Jack C. P.; MA, Lauren Y. H. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning, **Waste Management**, v. 33, pp. 1539-1551, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.001>>. Acesso em: 08 out. 2017.

CHENG, Jack C.P.; WON, Jongsung; DAS, Moumita. Construction and demolition waste management using BIM technology. In: 23<sup>o</sup> ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 2015, Perth, Australia, 2015. **Proceedings...** Perth, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/298790263>. Acesso em: 21 set. 2017.

CHONG, H.-Y.; LEE, C.-Y.; WANG, X. A mixed review of the adoption of building information modelling (BIM) for sustainability, **Journal of Cleaner Production**, v.142, pp.4114–4126, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.09.222>. Acesso em: 13 jun. 2019.

COELHO, André, BRITO, Jorge. Distribution of materials in construction and demolition waste in Portugal, **Waste Management & Research**, v. 29 (8), pp. 843–853, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0734242X10370240>>. Acesso em: 13 fev. 2020.

\_\_\_\_\_. Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal – part I: location, materials, technology and economic analysis, **Journal of Cleaner Production**, v. 39, pp. 338–352, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.024>>. Acesso em: 17 set. 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Construção Sustentável: a mudança em curso**, Confederação Nacional da Indústria e Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 98 p., Brasília: CNI, 2017. Disponível em: <<https://www.cbic.org.br/sustentabilidade/wp-content/uploads/sites/22/2017/10/Caderno-Setorial-CBIC-CNI-Sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2019.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Aspectos da construção sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas**, CBCS, 2014. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel/show.asp?ppgCode=31E2524C-905E-4FC0-B784-118693813AC4>>. Acesso em: 13 set. 2019.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**, República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA nº 348, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. **Diário Oficial da União**, República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 ago. 2004. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA nº 431, de 24 de maio de 2011. 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. **Diário Oficial da União**, República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 25 mai. 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA nº 448, de 18 de janeiro de 2012. 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. **Diário Oficial da União**, República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 jan. 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=672>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA nº 469, de 29 de julho de 2015. Altera art 3º da Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**,

**República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 jul. 2015. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=714>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

COSTA, Inês de A. C. **Resíduos de Construção e Demolição: fatores determinantes para a sua gestão integrada e sustentável**, 2014, 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2014. Disponível: <http://hdl.handle.net/10362/12191>. Acesso em: 15 jan. 2020.

CRIPPA, Julianna. **Integração BIM-ACV como apoio à tomada de decisão na fase de concepção de projeto**, 2019. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil). Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2019. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1884/62546>>. Acesso em: 22 jan. 2020.

CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of test, **Psychometrika**, v. 16, n. 3, p. 297-334, 1951. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02310555>. Acesso em: 09 mai. 2020.

DALOSTO, Diogo N. **Análise da consistência do FMEA: uma abordagem quantitativa à uma ferramenta qualitativa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção). 2015. 147f. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2015. Disponível em: Acesso em: 23 jun. 2020. Disponível em: <[https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/220/dissertacao\\_dalosto\\_2015.pdf?sequence=1](https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/220/dissertacao_dalosto_2015.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 23 jun. 2020.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR., J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para o avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre, RS: Bookman; 2015.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Tradução de AYRES FILHO, C. et al. Porto Alegre: Bookman, 2014. 483 p.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Uma economia circular no Brasil: uma abordagem exploratória inicial**, EMK, 2017. Disponível em: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil\\_Uma-Exploracao-Inicial.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf). Acesso em: 29 mar. 2021.

\_\_\_\_\_. **Economia Circular**, EMF, 2020. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular/conceito>>. Acesso em: 24 jan. 2021.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION AND MC KINSEY & COMPANY. **Towards the Circular Economy: accelerating the scale-up across global supply chains**, EMF e MCK, 2014. Disponível em: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_ENV\\_TowardsCircularEconomy\\_Report\\_2014.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_ENV_TowardsCircularEconomy_Report_2014.pdf). Acesso em: 24 jan. 2021.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. CEN/TC 350 - Sustainability of Construction Works. Disponível em: <<https://standards.iteh.ai/catalog/tc/cen/415e8b38-9bf9-455f-b531-96d83acf019d/cen-tc-350>>. Acesso. 20 fev. 2022.

EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL. Waste Framework Directive 2008/98/EC of 19 November, EPC, 2008. Disponível em: <http://eur->

[lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:en:PDF](http://lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:en:PDF). Acesso em: 20 jun. 2020.

\_\_\_\_\_. Decisão 2000/532/CE relativa à lista de resíduos em conformidade com a Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, 18 de Dezembro, EPC, 2014. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32000D0532>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

FERNANDES, Álvaro M. V. **Métodos de avaliação da sustentabilidade das construções**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). 2013. 232f. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2013. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/72594/1/000157848.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2020.

FERREIRA, Bruno F. B. **Generative design for Building Information Modeling**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação e Engenharia da Computação). 2016. 90f. Universidade Técnica de Lisboa, 2016. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1689244997255571/MEIC-Thesis-69919-Bruno-Ferreira.pdf>>. Acesso em: 27 dez. 2020.

FIELD, Andy. **Discovering statistics using IBM SPSS Statistics and sex and drugs and rock'n'roll**. 4th ed. Los Angeles [etc.]: SAGE, cop. 2013.

FORMOSO, T.C., SOIBELMAN, M.L., CESARE, C.D., ISATTO, E.L. Material waste in building industry: main causes and prevention. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 128 (4), pp. 316–325, 2002. Disponível em: <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:4\(316\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:4(316))>. Acesso em: 25 jan. 2022.

FOWLER, Martin. **Analysis patterns: reusable object models**. ISBN 0-201-89542-0, Massachusetts, Addison Wesley; 1997.

FUNDAÇÃO VANZOLINI E CERWAY. **Guia prático do referencial da qualidade ambiental do edifício – Edifícios Não Residenciais**, Fundação Vanzolini e Cerway, 2018. Disponível em: <[https://vanzolini.org.br/aqua/wp-content/uploads/sites/9/2018/08/RT\\_AQUA-HQE-Edifícios\\_nao-residenciais-2016-ad-18-08-2018.pdf](https://vanzolini.org.br/aqua/wp-content/uploads/sites/9/2018/08/RT_AQUA-HQE-Edifícios_nao-residenciais-2016-ad-18-08-2018.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2019.

FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2019. Disponível em: <<https://vanzolini.org.br/aqua/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

GÁLVEZ-MARTOS, J.L.; STYLES, D.; SCHOENBERGER, H.; ZESCHMAR-LAHL, B. Construction and demolition waste best management practice in Europe, **Resource, Conservation and Recycling**, v.136, pp. 166 -178, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.016>>. Acesso em: 06 abr. 2021.

GE, X. J.; LIVESEY, P.; WANG, J.; HUANG, S.; HE, X.; e ZHANG, C. Deconstruction waste management through 3D reconstruction and BIM: a case study. **Visualization in Engineering**, v. 5(1), 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40327-017-0050-5>. Acesso em: 06 set. 2019.

GHAFFAR, M. A., IBRAHIM, R., e SHARI, Z. Embedding cultural knowledge in building information modeling (BIM) for fabrication efficiency to reduce industrialized construction waste. In: COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING - PROCEEDINGS OF THE 2014 INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING (pp. 195–202), 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/9780784413616.025>. Acesso em: 06 set. 2019.



GOMES, V; BARROS, N. N.; RUSCHEL, R.C. Building Information Modelling for Whole-Building LCA: BIM4LCA, **Central Europe towards Sustainable Building 2019 (CESB19), IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, 290, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1088/1755-1315/290/1/012044>>. Acesso em: 18 nov. 2019.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. GBC Brasil, 2019. Disponível em: <https://www.gbcbrazil.org.br/>. Acesso em: 06 jun. 2019.

GUERRA, Beatriz C.; BAKCHAN, Amal; LEITE, Fernanda; FAUST, Kasey M. BIM-based automated construction waste estimation algorithms: The case of concrete and drywall waste streams, **Waste Management**, v.87, pp. 825–832, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.010>>. Acesso em: 09 abr. de 2019.

HAAPPIO, A.; VIITANIEMI, P. A critical review of building environmental assessment tools, **Environmental Impact Assessment Review**, v. 28, pp.469–482, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2008.01.002>. Acesso em: 06 jun. 2019.

HAMIDI, Behzad; BULBUL, Tanyel; PEARCE, Annie R.; THABET, Walid. Potential Application of BIM in Cost-Benefit Analysis of Demolition Waste Management. In: CONFERENCE CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, 2014, Atlanta, Estados Unidos. **Proceedings...** Atlanta, 2014. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/269048129\\_Potential\\_Application\\_of\\_BIM\\_in\\_Cost-Benefit\\_Analysis\\_of\\_Demolition\\_Waste\\_Management](https://www.researchgate.net/publication/269048129_Potential_Application_of_BIM_in_Cost-Benefit_Analysis_of_Demolition_Waste_Management)>. Acesso em: 08 out. 2017.

HART, Jim; ADAMS, Katherine; GISEKAM, Jannik; TINGLEY, Danielle D.; POMPONI, Francesco. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment, **Procedia CIRP 80, 26th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference**, pp. 619-624, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.04.009>>. Acesso em: 24 jan. 2021.

HEIGERMOSER, D., GARCÍA DE SOTO, B., ABBOTT, E. L. S., e CHUA, D. K. H. BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management. **Automation in Construction**, v. 104, pp. 246–254, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.019>. Acesso em: 06 set. 2019.

HERNANDES, R.; VILAR, O. M. Utilização de resíduo de construção e demolição nas obras de ampliação e rebaixamento da calha do Rio Tietê. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE JOVENS GEOTÉCNICOS, 1., 2004, s

HERZER, Letícia A.; FERREIRA, Rafael L. Construções sustentáveis no Brasil: um panorama referente às certificações ambientais para edificações LEED e AQUA-HQE, **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v.8, n.5, pp. 34-54, 2016. Disponível em: <<https://www.uninter.com/cadernosuninter/index.php/meioAmbiente/article/view/492>>. Acesso em: 30 nov. 2019.

HILGENBERG, Fabíola B. **Sistemas de certificação ambiental para edifícios, estudo de caso: AQUA**. 2010. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/25258>>. Acesso em: 22 jan. 2020.

HILL, J. E. The circular economy: from waste to resource stewardship, part I, **Proc. Inst. Civ. Eng. - Waste Resour. Manag.**, vol. 168, no. 1, pp. 3–13, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1680/warm.14.00003>>. Acesso em: 29 mar. 2021.

HOLMSTRÖM, Jan; KETOKIVI, Mikko; HAMERI, Ari.-Pekka. Bridging Practice and Theory: A Design Science Approach, **Decision Sciences**, v. 40, n. 1, p. 65–87, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00221.x>>. Acesso em: 27 jan. 2021.

HOLZER, Dominik. BIM and Parametric Design in Academia and Practice: The Changing Context of Knowledge Acquisition and Application in the Digital Age, **International Journal of Architectural Computing**, v. 13, n. 1, pp. 65–82, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1260/1478-0771.13.1.65>>. Acesso em: 27 dez. 2020.

\_\_\_\_\_. **BIM manager's handbook: guidance for professionals in architecture, engineering, and construction**. Wiley, 2016.

HOPKINSON, Peter; CHEN, Han-Mei.; ZHOU, Kan; WONG, Yong; LAM, Dennis. Recovery and Re-Use of Structural Products from End of Life Buildings, **Proc. Inst. Civ. Eng. - Eng. Sustain.**, v.172, pp. 119-128, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1680/jensu.18.00007>. Acesso em: 29 mar. 2021.

IFC OPEN SHELL. Disponível em:<<http://ifcopenshell.org/>>. Acesso em: 15 nov. 2021.

ILHAM, Bahriye. **An IFC based framework for sustainable construction**, Thesis (Doctorate in Science Engineering and Technology). 2014. 157f. Istanbul Technical University, Graduate School of Science Engineering and Technology, 2014. Disponível em: <https://polen.itu.edu.tr/items/af49e7ff-6dee-4bd6-91df-7d346d1dc06f>. Acesso em: 13 set. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Instrução Normativa nº 13, de 18 de dezembro de 2012. Publica a Lista Brasileira e Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 20 dez. 2012. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=128945>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

IBM SPSS. *Software* estatístico, 2020. Disponível em: <<https://www.ibm.com/br-pt/analytics/spss-statistics-software>>.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA. **Estatísticas do Ambiente: 2018**. Lisboa: INE, 2019. ISSN 0872-5276. ISBN 978-989-25-0518-3. Disponível em: <https://www.ine.pt/xurl/pub/358631361>. Acesso em: 07 ago. 2020.

\_\_\_\_\_. **Estatísticas da Construção e Habitação: 2019**. Lisboa: INE, 2020. ISSN 0377-2225. ISBN 978-989-25-0541-1. Disponível em: <https://www.ine.pt/xurl/pub/443821545>. Acesso em: 07 ago. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil, Relatório de Pesquisa**, IPEA, 2012. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=15440](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=15440). Acesso em: 08 abr. 2021.

INTERNATIONAL INITIATIVE FOR A SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT. ISBEE, 2020. Disponível em: <<http://www.iisbe.org/>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12006-3:2007 Building construction — Organization of information about construction works — Part 3: Framework for object-oriented information**, Geneva: ISO, 2007.

\_\_\_\_\_. **ISO/IEC 33001: 2015 Information technology - Process assessment - Concepts and terminology**, Geneva: ISO, 2015.

\_\_\_\_\_. **ISO 16739-1:2018 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema**, Geneva: ISO, 2018.

\_\_\_\_\_. **ISO 19.650-1: 2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including BIM — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles**, Geneva: ISO, 2018a.

\_\_\_\_\_. **ISO 19.650-2: 2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including BIM— Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of the assets**, Geneva: ISO, 2018b.

\_\_\_\_\_. **ISO 19.650-3: 2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 3: Operational phase of the assets**, Geneva: ISO, 2018c.

\_\_\_\_\_. **ISO 19.650-5: 2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 5: Security-Minded Approach to Information Management**, Geneva: ISO, 2020.

\_\_\_\_\_. **ISO 10.303-1: 2021 Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 1: Overview and fundamental principles**, Geneva: ISO, 2021.

\_\_\_\_\_. Better building with new international standards for BIM, 2019 Disponível em: <https://www.iso.org/news/ref2364.html>. Acesso em: 02 jan. 2021.

JALAEI, F.; JRADE, A. Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings, **Sustainable Cities and Society**, v.18, pp. 95–107, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2015.06.007>. Acesso em: 04 jun. 2019.

JALAEI, F., ZOGHI, M., e KHOSHAND, A. Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM), **International Journal of Construction Management**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1583850>. Acesso em: 06 set. 2019.

JRADE, A., JALAEI, F. Integrating Building Information Modelling with sustainability to design building projects at the conceptual stage, **Building Simulation**, v 6, pp. 429–444, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12273-013-0120-0>. Acesso em: 14 jun. 2019.

KAMARUZZAMAN, S.N., SALLEH, H., WENG LOU, E.C., EDWARDS, R., WONG, P.F. Assessment schemes for sustainability design through BIM: lessons learnt, In: S.N.B. KAMARUZZAMAN, A.S.B. ALI, N.F.B. AZMI, S.J.L. CHUA (EDS.), **MATEC WEB OF CONFERENCES, THE 4TH INTERNATIONAL BUILDING CONTROL CONFERENCE**, EDP Sciences, Kuala Lumpur, Malaysia, 2016, p. 00080. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/matecconf/20166600080>. Acesso em 06 jun. 2019.

KASSEM, M.; AMORIM, S. R. L. **BIM – Building Information Modeling no Brasil e na União Europeia**. Brasília: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2015. Disponível em: <http://sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/bim.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2019.

KENSEK, Karen; NOBLE, Douglas. **Building Information Modeling: BIM in current and future practice**. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons Inc., 2014.  
KIBERT, Charles J. **Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery**, 4th ed. Hoboken : John Wiley e Sons, 2016.

KIM, Y.-C., HONG, W.-H., PARK, J.-W., e CHA, G.-W. An estimation framework for building information modeling (BIM)-based demolition waste by type, **Waste Management and Research**, v. 35, pp. 1285–1295, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0734242X17736381>>. Acesso em: 06 set. 2019.

KIRCHHERR, J. *et al.*, Barriers to the Circular Economy: evidence from the European Union (EU), **Ecol. Econ.**, v. 150, pp. 264– 272, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028>>. Acesso em: 29 mar. 2021.

KRYGIEL Eddy; NIES Bradley. **Green BIM: Successful sustainable design with Building Information Modeling**. Indianapolis: Wiley Publishing Inc., 2008.

KUCUKVAR, Murat; EGILMEZ, Gokhan; TATARI, Omer. Life Cycle Assessment and Optimization-Based Decision Analysis of Construction Waste Recycling for a LEED-Certified University Building, **Sustainability**, v.8, 89, pp. 1-13, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su8010089>>. Acesso em: 16 mar. 2020.

LARSSON, Nils. **SBTool for 2015**. iisBE, 2015. Disponível em: <<http://www.iisbe.org/system/files/SBTool%20Complete%2004May15.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2020.

LLATAS, C. A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list, **Waste Management**, v. 31, pp.1261–1276, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.023>>. Acesso em: 06 jun. 2022.

LATREILLE, Denise. **Análise da validação de quantitativos obtidos de um modelo BIM de arquitetura para atender a estimativa orçamentária de empresas de construção civil**. 2018. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2018. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/58985/R%20-%20D%20-%20DENISE%20LATREILLE1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 22 de jan. 2020.

LEE, Y., Information Modeling: From Design to Implementation, **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, 1999. Disponível em: [https://tsapps.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=821265](https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=821265). Acesso em: 07 jun. 2022.

LEE, Sungwoo; TAE, Sungho; ROH, Seungjun; KIM, Taehyung. Green Template for Life Cycle Assessment of Buildings Based on Building Information Modeling: Focus on Embodied Environmental Impact, **Sustainability**, v.7, pp.16498–16512, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su71215830>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

LEE, Yong-Cheol; EASTMAN, Charles M.; SOLIHIN, Wawan. An ontology-based approach for developing data exchange requirements and model views of building information modeling, **Advanced Engineering Informatics**. v. 30, pp. 354–367, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2016.04.008>>. Acesso em: 23 dez. 2021.

LIDERAR PELO AMBIENTE. **Sistema voluntário para a sustentabilidade dos ambientes construídos**, Norma dos princípios programáticos (V4.00a), LIDERA, 2019. Disponível em: [www.lidera.info](http://www.lidera.info). Acesso em: 15 jan. 2020.

\_\_\_\_\_. LIDERA, 2020. Disponível em: <<https://www.lidera4all.com/>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

LIKERT, Rensis. A Technique for the Measurement of Attitudes, **Archives of Psychology**, 140: 1-55, 1932. Disponível em: <[https://legacy.voteview.com/pdf/Likert\\_1932.pdf](https://legacy.voteview.com/pdf/Likert_1932.pdf)>. Acesso em: 21 mai. 2020.

LIU, Zheri; OSMANI, Mohamed; DEMIAN, Peter; BALDWIN, Andrew. The potential use of BIM to aid construction waste minimization. In: CIB W78-W102 2011: INTERNATIONAL CONFERENCE, Sophia Antipolis, França. **Proceedings...**, Sophia Antipolis, 2011. Disponível em: <https://dspace.lboro.ac.uk/2134/9198>. Acesso em: 28 set. 2017.

LIU, Z., OSMANI, M., DEMIAN, P., e BALDWIN, A. A BIM-aided construction waste minimization framework, **Automation in Construction**, v. 59, pp.1–23, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2015.07.020>. Acesso em: 13 jun. 2019.

LIU, H., SYDORA, C., ALTAF, M. S., HAN, S., e AL-HUSSEIN, M. Towards sustainable construction: BIM-enabled design and planning of roof sheathing installation for prefabricated buildings, **Journal of Cleaner Production**, v. 235, pp. 1189–1201, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.055>. Acesso em 06 set. 2019.

LOPES, S. *et al.* A bibliometria e a avaliação da produção científica: indicadores e ferramentas. **Actas dos Congressos Nacionais de Bibliotecários, Arquivistas e Documentalistas**, n. 11, 2012. Disponível em: <https://www.bad.pt/publicacoes/index.php/congressosbad/article/view/429/pdf>. Acesso em: 15 jan. 2019.

LU, Yujie; WU, Zhilei; CHANG, Ruidong; LI, Yongkui. Building Information Modeling (BIM) for green buildings: a critical review and future directions, **Automation in Construction**, v. 83, pp.134–148, 2017a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.024>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

LU, W., WEBSTER, C., CHEN, K., ZHANG, X., e CHEN, X. Computational Building Information Modelling for construction waste management: Moving from rhetoric to reality, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, pp. 587–595, 2017b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.029>>. Acesso em: 06 set. 2019.

LU, Weisheng; CHI, Bin; BAO, Zhikang; ZETKULIC, Anna. Evaluating the effects of green building on construction waste management: A comparative study of three green building rating systems, **Building and Environment**, v.155, pp. 247–256, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.050>. Acesso em: 05 mar. 2020.

LU, Weisheng; YUAN, Hongping. A framework for understanding waste management studies in construction, **Waste Management**, v.31, pp. 1252–1260, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.018>>. Acesso em: 23 set. 2017.

LÜTZKENDORFA, Thomas; BALOUKTSI, Maria. Assessing a Sustainable Urban Development: Typology of Indicators and Sources of Information, **Procedia Environmental Sciences**, v. 38, pp. 546 – 553, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.122>>. Acesso em: 31 jan. 2020.

MAHPOUR, Amirreza. Prioritizing barriers to adopt circular economy in construction and demolition waste management. **Resour. Conserv. Recycl.**, v. 134, pp. 216-227, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.026>. Acesso em: 29 mar. 2021.

MANSON, NJ. Is operations research really research?, Orion Journal, v.22, pp.155-180, 2006. Disponível em: <https://orion.journals.ac.za/pub/article/view/40/40>. Acesso em: 04 fev. 2021.

LATREILLE, Denise. **Análise da validação de quantitativos obtidos de um modelo BIM de arquitetura para atender a estimativa orçamentária de empresas de construção civil**. 2018. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2018. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1884/58985>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

MÁLIA, Miguel A. B. **Indicadores de resíduos de construção e demolição**. 2010. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142107301/>>. Acesso em: 22 fev.2021.

MÁLIA, Miguel; BRITO, Jorge de; PINHEIRO, Manuel D.; BRAVO, Mguel. Construction and demolition waste indicators, **Waste Mangement & Research: the journal for a sustainable circular economy**, v.31, pp. 241-255, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0734242X12471707>. Acesso em: 25 jan. 2022.

MALTESE, Sebastiano; TAGLIABUE, Lavinia C.; RE CECCONI, Fulvio; PASINI, Daniela, MANFREN, Massimiliano; CIRIBINI, Angelo L.C. Sustainability assessment through Green BIM for environmental, social and economic efficiency, **Procedia Engineering**, v. 180, pp. 520–530, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.211>. Acesso em: 14 jun. 2019.

MANENTI, E. M. **Diretrizes para elaboração do plano de execução BIM para contratos de projetos de edificações** Florianópolis, 2018. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/205399>. Acesso em: 03 dez. 2021.

MANENTI, H. M.; MARCHIORI, F. F.; CORRÊA, L. de A. Plano de execução BIM: proposta de diretrizes para contratantes e fornecedores de projeto, **Ambiente Construído**, v. 20 (1), 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000100363>. Acesso em 01 dez. 2021.

MANZIONE, L. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM**. 2013. 325f. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2013. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-08072014-124306/publico/TESE\\_LEONARDO\\_MANZIONE.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-08072014-124306/publico/TESE_LEONARDO_MANZIONE.pdf)>. Acesso em: 14 mai. 2019.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology, **Decision Support Systems**, v. 15, n. 4, pp. 251–266, 1995. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0167-9236\(94\)00041-2](https://doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2)>. Acesso em: 27 dez. 2020.

MAROCO, João; GARCIA-MARQUES, Teresa. Qual a fiabilidade do alfa de Cronbach? Questões antigas e soluções modernas?, **Laboratório de Psicologia**, v. 4, pp.65-90, 2006. Disponível em: <[http://repositorio.ispa.pt/bitstream/10400.12/133/1/LP%204\(1\)%20-%2065-90.pdf](http://repositorio.ispa.pt/bitstream/10400.12/133/1/LP%204(1)%20-%2065-90.pdf)>. Acesso em: 09 mai. 2020.

MARTÍNEZ LAGE, I.; MARTÍNEZ, Abella F.; VÁZQUEZ, Herrero C. et al. Estimation of the annual production and composition of C&D Debris in Galicia (Spain), **Journal of Waste Management**, v. 30, pp. 636–645, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.11.016>>. Acesso em: 25 jan. 2022.

MATEUS, Ricardo F. M. da S. **Avaliação da sustentabilidade da construção, propostas para desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis**. 2009. 427f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade do Minho, Guimarães, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/9886>>. Acesso em: 29 jan. 2020.

MATEUS, Ricardo; BRAGANÇA, Luis. Sustainability assessment and rating of buildings: developing the methodology SBTtoolPT–H, **Building and Environment**, v. 46, pp.1962–1971, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2011.04.023>. Acesso em: 06 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. Avaliação da sustentabilidade da construção: desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação da sustentabilidade de soluções construtivas, 2004. In: CONGRESSO SOBRE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 2004, Leça da Palmeira., Portugal, 2004. **Anais...** Leça da Palmeira, 2004. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/7333>>. Acesso em: 29 jan. 2020.

MCGRAW HILL CONSTRUCTION. The business value of BIM for construction in major global markets: How contractors around the world are driving innovation with Building Information Modeling, **McGraw Hill Construction**, 2014. Disponível em: <[https://www.icn-solutions.nl/pdf/bim\\_construction.pdf](https://www.icn-solutions.nl/pdf/bim_construction.pdf)>. Acesso em: 17 set. 2019.

MERCADER-MOYANO, Pilar; RAMÍREZ-DE-ARELLANO-AGUDO, Antonio. Selective classification and quantification model of C&D waste from material resources consumed in residential building construction, **Waste Management & Research: the Journal for Sustainable Circular Economy**, v. 31, pp. 58-474, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0734242X13477719>>. Acesso em: 25 jan. 2022.

MIARA, Renata D. **Melhoria da gestão dos resíduos da construção civil através de aplicativo baseado em modelo BIM**, 2020. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil). Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2020. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1884/66603>>. Acesso em: 27 dez. 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Construção Sustentável**, MMA, 2019. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 02 jul. 2019.

MITCHELL, Gordon. Problems and fundamentals of sustainable development indicators, **Sustainable Development**, v. 4, n. 1, p. 1-11, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1719\(199603\)4:13.3.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1719(199603)4:13.3.CO;2-E). Acesso em: 31 mar. 2021.

MÜLLER, Marina F.; GARBERS, Amanda; ESMANIOTO, Filipe; HUBER, Natan; LOURES, Eduardo R; CANGIOLIERI, Osiris Jr. Data interoperability assessment through IFC for BIM in structural design – A five-year gap analysis, **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 23, pp.943-954, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.3846/13923730.2017.1341850>>. Acesso em: 19 ago. 2020.

MÜLLER, Marina F.; ESMANIOTO, Filipe; HUBER, Natan; LOURES, Eduardo R; CANGIOLIERI, Osiris Jr. A systematic literature review of interoperability in the green Building Information Modeling lifecycle, **Journal of Cleaner Production**, v.223 pp. 397-412,

2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.114>. Acesso em: 24 dez. 2019.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. 2ª Ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2022.

NAGALLI, André; OLIVEIRA, Luna O. S. de; SCHAMNE, Annelise N.; BARROS, Bruno P.; HOCHLEITNER, Hugo D.; OLIVEIRA, Charles J. de. BIM plug-in technology for construction waste quantification, *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 8, nº 20, pp. 1605-1619, 2021. Disponível em: [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2021\)082021](https://doi.org/10.21438/rbgas(2021)082021). Acesso em: 05 jan. 2022.

NGUYEN, T. H.; TOROGHI, SH. H.; JACOBS F. Automated Green Building Rating System for Building Designs, *Journal of Architectural Engineering*, v. 22, A4015001, 2016. Disponível em: <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000168](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000168)>. Acesso em: 27 set. 2019.

NUÑEZ-CACHO, Pedro; GÓRECKI, Jaroslaw; MOLINA-MORENO, Valentin; CORPAS-IGLESIAS, Francisco A. What gets measured, gets done: development of a Circular Economy measurement scale for building industry, *Sustainability*, 10(7), 2340, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10072340>. Acesso em: 29 mar. 2021.

OBJECT MANAGEMENT GROUP. **Business Process Model and Notation**. Version 2.0, OMG, 2011. Disponível em: <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/PDF>. Acesso em: 15 set. 2021.

OLAWUMI, Timothy O.; CHAN, Daniel W.M. Identifying and prioritizing the benefits of integrating BIM and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey of international experts, *Sustainable Cities and Society*, v. 40, pp. 16–27, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.033>>. Acesso em: 11 mar. 2020.

OLAWUMI, Timothy O.; CHAN, Daniel W.M.; WONG, Johnny K.W.; CHAN, Albert P.C. Barriers to the integration of BIM and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey of international experts, *Journal of Building Engineering*, v. 20, pp. 60–71, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.06.017>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

OLIVEIRA, F. de A.; MAUÉS, L. M. F.; ROSA, C. C. N.; SANTOS, D. de G.; SEIXAS, R. de M. Previsão da geração de resíduos na construção civil por meio da modelagem BIM. *Ambiente Construído*, v. 20, n. 4, pp. 157-176, out./dez. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000400465>. Acesso em: 02 dez. 2021.

ORTIZ, O.; PASQUALINO, JC; CASTELLS, F. Environmental performance of construction waste: comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain. *Journal of Waste Management*, v. 30, pp. 646–654, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.11.013>>. Acesso em: 25 já. 2022.

OTI, A.H.; TIZANI, W.; ABANDA, F.H.; JALY-ZADA, A.; TAH, J.H.M. Structural sustainability appraisal in BIM, *Automation in Construction*, v. 69, pp. 44–58, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.019>>. Acesso em: 03 abr. 2020.

OZTURK, Gozde B. Interoperability in building information modeling for AECO/FM industry, *Automation in Construction*, v. 113, 103122, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103122>. Acesso em: 23 jul. 2021.



PARK, Jae W.; CHA, Gi W.; HONG Won H.; SEO Hyun C. A Study on the Establishment of Demolition Waste DB System by BIM Based Building Materials, **Applied Mechanics and Materials**, v. 522-524, pp. 806-810, 2014. Disponível em: <[www.scientific.net/AMM.522-524.806](http://www.scientific.net/AMM.522-524.806)>. Acesso em: 29 set. 2017.

PAZ, Diogo Henrique Fernandes da. **Desenvolvimento de um sistema de apoio à gestão integrada de resíduos da construção e demolição**. 2019. 288 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

PEREIRA, L. H. **Reciclagem de RCD: o caso da região Norte de Portugal**, 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências da Construção). Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, 2002.

PICCOLI, Rossana; KERN, Andrea P.; GONZÁLEZ, Marco A.; HIROTA, Ercília H. A certificação de desempenho ambiental de prédios: exigências usuais e novas atividades na gestão da construção, **Ambiente Construído**, v. 10, n. 3, pp. 69-79, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1678-86212010000300005>>. Acesso em 27 jan. 2020.

PINHEIRO, Manuel D. **Ambiente e Construção Sustentável**. Amadora: Instituto do Ambiente, 2006. Disponível em: <[http://www.lidera.info/resources/ACS\\_Manuel\\_Pinheiro.pdf](http://www.lidera.info/resources/ACS_Manuel_Pinheiro.pdf)>. Acesso em: 31 jan. 2020.

PINHO, Sérgio M. F. de. **O modelo IFC como agente de interoperabilidade, Aplicação ao domínio das estruturas**, 2013. 155 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012/2013. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/67927/2/26572.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2020.

PINTO, Tarcísio de P. **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 218 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://casoi.com.br/hjr/pdfs/GestResiduosSolidos.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

PLATAFORMA TECNOLÓGICA PORTUGUESA DE CONSTRUÇÃO. **PTC na CT 197: a indústria ao lado da normalização BIM**. Disponível em: <<https://www.ptpc.pt/index.php/pt/400-ptpc-na-ct-197-a-industria-do-lado-da-normalizacao-bim>>. Acesso em: 29 dez., 2020.

POMPONI, F.; MONCASTER, A. Briefing: BS 8001 and the built environment: a review and critique, **Proc. Inst. Civ. Eng. - Eng. Sustain.**, v.172, pp.111-114, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1680/jensu.17.00067>>. Acesso em: 29 mar. 2021.

PORTUGAL. Decreto-Lei n.º 46/2008, Regime jurídico da gestão de Resíduos de Construção e Demolição, 12 de Março de 2008. Disponível em: <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/46/2008/03/12/p/dre/pt/html>>. Acesso em: 09 ago. 2020.

\_\_\_\_\_. Decreto-Lei n.º 73/2011, Regime geral aplicável à prevenção, produção e gestão de resíduos, 17 de Junho de 2011. Disponível: <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/73/2011/06/17/p/dre/pt/html>. Acesso em: 09 ago. 2020.

\_\_\_\_\_. Decreto-Lei n.º 102-D/2020, Regime geral da gestão dos resíduos, 10 de Dezembro de 2020. Disponível em: <<https://data.dre.pt/eli/dec-lei/102-D/2020/12/10/p/dre>>. Acesso: 15 abr. 2021.

PORWAL, A., e HEWAGE, K. N. Optimizing construction waste reuse: A BIM based technological approach. In: PROCEEDINGS, ANNUAL CONFERENCE - CANADIAN SOCIETY FOR CIVIL ENGINEERING (Vol. 3, pp. 2019–2027), 2011.

PORWAL, Atul. **Construction waste management at source: a Building Information Modeling based system dynamics approach**. Thesis (Doctor of Philosophy). 2013. 231f. The College of Graduate Studies (Civil Engineering), the University of British Columbia, 2013. Disponível em: <<https://open.library.ubc.ca/media/download/pdf/24/1.0074315/1>>. Acesso em: 02 dez. 2019.

PUGLIERO, Vanessa S.; COIADO, Lorenzo C.; PIMENTEI, Lia L.; JACINTHO, Ana Elisabete P. G. de A.; MOTA, Lia T. M.; MOTA, Alexandre de A. Overview of Certification Methodologies for Sustainable Constructions of Brazilian Buildings, **American Journal of Applied Sciences**, v. 12, n. 3, pp. 216-221, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.3844/ajassp.2015.216.221>>. Acesso em: 24 jan. 2020.

QUIÑONES, R.; LLATAS, C.; MONTES, M.V.; CORTÉS, I. A Multiplatform BIM-Integrated Construction Waste Quantification Model during Design Phase. The Case of the Structural System in a Spanish Building, **Recycling**, n° 6, v.62, pp. 1-20, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/recycling6030062>>. Acesso em: 06 jun. 2022.

SANGUINETTI, Paola; ABDELMOHSEN, Sherif; LEE, JaeMin; LEE, JinKook; SHEWARD, Hugo; EASTMAN, Chuck. General system architecture for BIM: An integrated approach for design and analysis, **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, pp. 317–333, 2012. Disponível em: < <https://doi:10.1016/j.aei.2011.12.001>>. Acesso em: 26 fev. 2020.

SANHUDO, Luís P. N. **BIM for Building Sustainability Assessment, Development of a software tool for Rainwater Runoff mitigation**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). 2016. 193f. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10216/83989>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

SANHUDO, Luís P. N; MARTINS, João P. da S. P; ABRANTES, Vítor. **BIM na Avaliação da Sustentabilidade em Edifícios**. In: VII ELAGEC, Bogotá, Colombia. **Proceedings...**, Bogotá, 2016. Acesso em: 20 dez. 2020.

SANHUDO, Luís P. N; MARTINS, João P. da S. P. Building information modelling for an automated building sustainability assessment, **Civil Engineering and Environmental Systems**, v.35:1-4, pp. 99-116, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10286608.2018.1521393>. Acesso em: 18 nov. 2019.

SANTOS, Rúben E. C. dos. **Integration of LCA and LCC with BIM for the environmental and economic assessment of buildings**. 2019. 289f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2019. Disponível em: <<https://www.ulisboa.pt/prova-academica/integration-lca-and-lcc-bim-environmental-and-economic-assessment-buildings>>. Acesso em: 18 jan. 2020.

SCOPUS. Base de dados Scopus. Disponível em:<<https://www.scopus.com/>>.

SCHAMNE, Annelise N., NAGALLI, André. Evaluation of the potential application of the precepts of solid waste reverse logistics to the civil construction sector in Curitiba, Paraná, **Int. J. Environment and Waste Management**, v. 22, pp. 24-47, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1504/IJEW.2018.094102>>. Acesso em: 10 out. 2018.

SEMIKINA, Dária. **Plataforma de gestão e reutilização de resíduos de construção e demolição**. 2016. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de

Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2016. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/302907412.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2020.

SHEIKHI, Hamidreza; SHEIKHI, Mohammadsaeid; KHORAN, Seyed H. A. Green Buildings and Eco-Friendly Construction Materials Sustainability Concept, **Journal of Scientific and Engineering Research**, v.6, pp.205-213, 2019. Disponível em: <  
<https://works.bepress.com/saeid-sheikhi/1/>>. Acesso em: 22 jul. 2019.

SHIELDS, D.; SOLAR, S. V.; MARTIN, W. The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability, **Ecological Indicator**, v. 2, n. 1, pp. 149-160, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00042-0](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00042-0). Acesso em: 31 mar. 2021.

SIEGEL, S.; CASTELLAN, N.J. **Nonparametric statistics for the behavioral sciences**, McGraw Hill, 1988.

SILVA, K. L.; MUSSI, A. Q.; SILVA, T. L.; ZARDO, P.; RIBEIRO1, L. A. Desenvolvimento de plug-ins voltados para a análise de requisitos da norma de desempenho brasileira, **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v.14, n. 2, pp.46-64, 2019. Disponível em: <  
<https://doi.org/10.11606/gtp.v14i2.147285>>. Acesso em: 26 dez. 2019.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial**. 3rd ed. Cambridge: MIT Press, 1996 .

SMITH, Peter. BIM & the 5D project cost manager, **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v.119, pp.475-484, 2014. Disponível em: <  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.053>>. Acesso em: 22 nov. 2019.

SOARES, P. B.; CARNEIRO, T. C. J.; Calmon, J. L.; CASTRO, L. O. da C. de O. Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science, **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, pp. 175-185, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000100067>. Acesso em: 20 jan. 2019.

SOEIRO, Alfredo. E-tools in building environment technical education and training. In: IADIS INTERNATIONAL CONFERENCE E-LEARNING 2011, Roma, Itália. **Proceedings...**, Roma, 2011.

SOLÍS-GUZMÁN, J; MARRERO, M; MONTES-DELGADO, M. V.; RAMÍREZ-DE-ARELLANO, A. A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste Management**, v. 29, pp.2542-2548, 2009. Disponível em: <  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.009>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

SOLLA, Mohmed; ISMAIL, Lokman H.; YUNUS, Riduan. Investigation on the potential of integrating BIM into green building assessment tools, **Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 11, nº 4, pp. 2412- 2418, 2016. Disponível em: <  
[http://www.arnjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2016/jeas\\_0216\\_3661.pdf](http://www.arnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2016/jeas_0216_3661.pdf)>. Acesso em: 06 set. 2019.

SOUSA, Filipa A. F. **Optimização de métodos de escolha de materiais com base no desempenho sustentável**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil). 2010. 103f. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2010. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/59127>. Acesso em: 07 fev. 2020.

SOUST-VERDAGUER, Bernardette; LLATAS, Carmen; GARCÍA-MARTÍNEZ, Antonio. Critical review of BIM-based LCA method to buildings, **Energy and Buildings**, v.136, pp.110–120, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.009>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders, **Automation in Construction**, v.18, pp.357–375, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2008.10.003>. Acesso em: 15 out. 2018.

TURCU, Catalina. Re-thinking sustainability indicators: local perspectives of urban sustainability, **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 56, pp. 695–719, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/09640568.2012.698984>>. Acesso em: 20 set. 2022.

UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL. USGBC, 2020. Disponível em: <<https://www.usgbc.org/>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

VAN AKEN, J. E. Management research based on the paradigm of the design sciences: The quest for field-tested and grounded technological rules, **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219-246, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-6486.2004.00430.x>. Acesso em: 27 jan. 2021.

VAZQUEZ, E.; MIGUEZ, M.; ALVES, L; VALENTE, J.; ROSSI, G. Certifications in construction: a case study comparing LEED and HQE, **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 144, pp. 253-264, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/271440097>. Acesso em: 04 dez. 2019.

VENÂNCIO, Maria J.L. **Avaliação da implementação de BIM – Building Information Modeling em Portugal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). 2015. 402f. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2015. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/79329>. Acesso em: 06 dez. 2018.

WAAS, Tom; HUGÉ, Jean; BLOCK, Thomas; WRIGHT, Tarah; BENITEZ-CAPISTROS, Francisco; VERBRUGGEN, Aviel. Sustainability assessment and indicators: Tools in a decision-making strategy for sustainable development, **Sustainability**, v.6, pp. 5512–5534, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su6095512>>. Acesso em: 20 set. 2022.

WON, J., CHENG, J. C. P., e LEE, G. Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea, **Waste Management**, v. 49, pp. 170–180, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.12.026>. Acesso em: 06 set. 2019.

WON, Jongsung; CHENG, Jack C. P. Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization, **Automation in Construction**, v. 79, pp. 3–18, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.02.002>. Acesso em: 08 out. 2017.

WONG, J.K.-W.; KUAN, K.-L. Implementing ‘BEAM Plus’ for BIM-based sustainability analysis, **Automation in Construction**, v.44, pp.163–175, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2014.04.003>. Acesso em: 13 jun. 2019.

WONG, Johnny K. W.; ZHOU, Jason. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: a review, **Automation in Construction**, v. 57, pp.156-165, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

WU, Wei. **Integrating building information modeling and green building certification: the BIM – LEED application model development**. 181 p. Tese de Doutorado em Filosofia, Departamento de Filosofia, Universidade da Flórida, Flórida, 2010. Disponível em: <<https://ufdc.ufl.edu/UFE0041603/00001>>. Acesso em: 07 out. 2019.

WU, Zezhou; SHEN, Liyin; YU, Ann T.W.; ZHANG, Xiaoling. A comparative analysis of waste management requirements between five green building rating systems for new residential buildings, **Journal of Cleaner Production**, v.112, pp. 895-902, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.073>. Acesso em: 05 mar. 2020.

XU, J., SHI, Y., XIE, Y., e ZHAO, S. A BIM-Based construction and demolition waste information management system for greenhouse gas quantification and reduction, **Journal of Cleaner Production**, v. 229, pp. 308–324, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.158>>. Acesso em: 06 set. 2019.

XU, Zhao; ABUALDENIEN, Jimmy; LIU, Hao; KANG, Rui. An IDM-Based Approach for Information Requirement in Prefabricated Construction, **Advances in Civil Engineering**, Article ID 8946530, pp. 1-21, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2020/8946530>. Acesso em: 16 nov. 2021.

YOSHIDA, N. D. Análise bibliométrica: um estudo aplicado à previsão tecnológica, **Future Studies Research Journal**, São Paulo, v. 2, n. 1, pp. 52 - 84, 2010. Disponível em: <<http://www.spell.org.br/documentos/ver/3175/analise-bibliometrica--um-estudo-aplicado-a-previsao-tecnologica>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

YOKOYAMA, Yoshiyuki. Opening data exchange for sharing information of C&D waste recycling. In: 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, Osaka, Japão. **Proceedings...**, Osaka, Japão, 2016. Disponível em: [http://www.see.eng.osaka-u.ac.jp/seeit/icccbe2016/Proceedings/Full\\_Papers/146054.pdf](http://www.see.eng.osaka-u.ac.jp/seeit/icccbe2016/Proceedings/Full_Papers/146054.pdf). Acesso em: 12 fev.2022.

ZAHOOR, Hafiz; CHAN, Albert P.C; GAO, Ran; UTAMA, Wahyudi P. The factors contributing to construction accidents in Pakistan. Their prioritization using the Delphi technique, **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 24 n.º. 3, pp. 463-485, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2016-0027>>. Acesso em: 03 abr. 2020.

## APÊNDICE A – Requisitos LEED BD+C: NC para Materiais e Recursos

<b>LEED BD+C: NC</b>	
<b>MATERIAIS E RECURSOS (MR)</b>	
<b>PRÉ-REQUISITO</b>	<b>Depósito e coleta de materiais recicláveis.</b>
Objetivo	Reduzir os resíduos gerados por ocupantes de edifícios e transportados e descartados em aterros sanitários.
Requisitos	Forneça áreas dedicadas acessíveis aos transportadores de resíduos e ocupantes do edifício para a coleta e armazenamento de materiais recicláveis para todo o edifício. As áreas de coleta e armazenamento devem ser separadas. Os materiais recicláveis devem incluir papel misto, papelão ondulado, vidro, plásticos e metais. Tome medidas adequadas para a coleta, armazenamento e descarte seguros de dois dos seguintes itens: pilhas e baterias, lâmpadas com mercúrio e resíduos eletrônicos.
<b>PRÉ-REQUISITO</b>	<b>Plano de gerenciamento da construção e resíduos de demolição.</b>
Objetivo	Reduzir os resíduos de construção e demolição descartados em aterros sanitários ou instalações de incineração recuperando, reutilizando e reciclando materiais.
Requisitos	<p>Desenvolva e implemente um plano de gestão de resíduos de construção e demolição:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabeleça metas de reaproveitamento de resíduos para o projeto identificando pelo menos cinco materiais (estruturais e não estruturais) para reaproveitamento. Estime uma porcentagem aproximada dos resíduos totais do projeto que esses materiais representam.</li> <li>• Especifique se os materiais serão separados ou misturados e descreva as estratégias de reaproveitamento planejadas para o projeto. Descreva onde o material será obtido e como a instalação de reciclagem processará o material.</li> </ul> <p>Forneça um relatório final detalhando todos os principais fluxos de resíduos gerados, incluindo as taxas de descarte e de reaproveitamento.</p> <p>Cobertura diária alternativa (alternative daily cover – ADC) não se qualifica como material reaproveitado do descarte. Os entulhos provenientes da limpeza de terrenos não são considerados resíduos de construção, demolição ou reforma que podem contribuir para o reaproveitamento de resíduos.</p>
<b>CRÉDITO</b>	<b>Redução do impacto do ciclo de vida do edifício.</b>
Objetivo	Incentivar o reuso adaptável e otimizar o desempenho ambiental de produtos e materiais.
Requisito	<p>Demonstre efeitos ambientais reduzidos durante a tomada de decisões inicial do projeto, reutilizando recursos existentes do edifício ou demonstrando uma redução no uso de materiais por meio da avaliação do ciclo de vida. Execute uma das opções a seguir.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Opção 1. Reuso de edifício histórico (5 pontos BD&amp;C):</b> Mantenha a estrutura, o envelope e elementos não estruturais internos existentes de um edifício histórico ou edifício que faça parte de um bairro histórico. Para se qualificar, o edifício ou bairro histórico deve estar listado ou ser elegível para listagem no registro municipal, estadual ou nacional de locais históricos. Não é permitido demolir nenhuma parte de um edifício histórico ou edifício que faça parte de um bairro histórico, exceto se ele for considerado estruturalmente deteriorado ou perigoso. Para edifícios listados localmente, deve ser obtida aprovação para qualquer demolição com o comitê de revisão de preservação histórica local. Para edifícios listados em um registro estadual ou no Registro nacional de locais históricos (nos EUA; ou equivalente local para projetos fora dos EUA), a aprovação deve aparecer em um acordo programático com o órgão de preservação histórica estadual ou o Serviço de Parques Nacionais (ou equivalente local para projetos fora dos EUA).</li> </ul>

Qualquer alteração (preservação, restauração ou reabilitação) de um edifício histórico ou edifício que faça parte de um bairro histórico no terreno do projeto deve ser feita de acordo com as normas municipais ou estaduais para reabilitação, qualquer uma que for aplicável. Se o edifício não for sujeito a uma revisão histórica, inclua na equipe de projeto um profissional de preservação que atenda às qualificações federais dos EUA para arquitetos históricos (ou equivalente local para projetos fora dos EUA); o profissional de preservação deve confirmar a conformidade com as Normas da Secretaria de Interior dos EUA para o Tratamento de Propriedades Históricas (ou equivalente local para projetos fora dos EUA).

- **Opção 2. Reforma de edifício abandonado ou deteriorado (5 pontos BD&CI):** Mantenha no mínimo 50%, por área superficial, da estrutura, invólucro e elementos estruturais internos do edifício existente para edifícios que atendem aos critérios locais de abandono ou são considerados deteriorados. O edifício deve ser reformado até um estado de ocupação produtiva. Até 25% da área superficial do edifício pode ser excluída do cálculo do crédito devido a deterioração ou danos.
- **Opção 3. Reuso de edifício e materiais (2 a 4 pontos BD&C):** Reutilize ou recupere materiais de construção externos ou no local como uma porcentagem da área superficial, conforme listados na Tabela 1. Inclua elementos estruturais (por exemplo, pisos, plataformas/caibros de telhado), materiais de recinto (por exemplo, revestimento, estruturas/armações) e elementos internos instalados de forma permanente (por exemplo, paredes, portas, revestimentos de pisos, sistemas de teto). Exclua do cálculo conjuntos de janelas e quaisquer materiais perigosos que sejam remediados como parte do projeto.

Materiais que contribuam para este crédito não podem contribuir para o Crédito MR: Divulgação e Otimização de Materiais (MR Credit: Material Disclosure and Optimization).

Tabela 1. Pontos para reuso de materiais de construção <i>Porcentagem reutilizada da área superficial do projeto completo</i>	<i>Pontos BD&amp;C</i>
25%	2
50%	3
75%	4

- **Opção 4. Avaliação do ciclo de vida de todo o edifício (3 pontos):** Para novas construções (edifícios ou partes de edifícios), realize uma avaliação do ciclo de vida da estrutura e do recinto do projeto que demonstre uma redução de no mínimo 10%, em comparação com um edifício baseline, em pelo menos três das seis categorias de impacto listadas abaixo, uma das quais deve ser o potencial de aquecimento global. Nenhuma categoria de impacto avaliada como parte da avaliação do ciclo de vida pode aumentar mais de 5% em comparação com o edifício baseline.

Os edifícios baseline e proposto devem ter tamanho, função, orientação e desempenho energético operacional comparáveis, conforme definidos no Pré-requisito EA: Desempenho Mínimo de Energia (EA Prerequisite: Minimum Energy Performance). A vida útil dos edifícios baseline e proposto deve ser a mesma e de pelo menos 60 anos para responder totalmente por manutenção e substituição. Use as mesmas ferramentas e conjuntos de dados do software de avaliação do ciclo de vida para avaliar os edifícios baseline e proposto, e relatar todas as categorias de impacto listadas. Os conjuntos de dados devem estar em conformidade com a Norma ISO 14044.

Selecione pelo menos três das seguintes categorias de impacto para redução:

- potencial de aquecimento global (gases do efeito estufa), em CO<sub>2</sub>e;
- destruição da camada de ozônio estratosférico, em kg CFC-11;

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• acidificação da terra e fontes de água, em mols de H<sup>+</sup> ou kg SO<sub>2</sub>;</li> <li>• eutrofização, em kg de nitrogênio ou kg de fosfato;</li> <li>• formação de ozônio troposférico, em kg de NO<sub>x</sub>, kg de O<sub>3</sub> ou kg de etileno; e</li> <li>• destruição de recursos de energia não renovável, em MJ.</li> </ul>
<b>CRÉDITO</b>	<b>Divulgação e otimização de produto do edifício - declarações ambientais de produtos</b>
Objetivo	Incentivar o uso de produtos e materiais cujas informações de ciclo de vida estejam disponíveis e que tenham impactos ambientais, econômicos e sociais de ciclo de vida vantajosos. Recompensar as equipes de projeto pela seleção de produtos de fabricantes que tenham impactos aprimorados e verificados no ciclo de vida útil ambiental.
Requisitos	<p><b>Opção 1. Declaração ambiental de produto (Environmental Product Declaration - EPD) (1 ponto)</b></p> <p>Use pelo menos 20 produtos diferentes instalados de maneira permanente, de pelo menos cinco fabricantes diferentes, que atendam a um dos critérios de divulgação abaixo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Declaração específica do produto.</li> </ul> <p>o Produtos com avaliação do ciclo de vida publicamente disponível e criticamente revisada, em conformidade com a Norma ISO 14044, que tenham pelo menos um escopo de "berço ao portão" são avaliados como um quarto (1/4) de um produto para os fins do cálculo de obtenção do crédito.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Declarações ambientais de produtos que estejam em conformidade com as Normas ISO 14025, 14040, 14044 e EN 15804 ou ISO 21930 e tenham pelo menos um escopo de berço ao portão.</li> </ul> <p>o EPD do setor (genérica) -- Produtos com certificação de terceiros (Tipo III), incluindo verificação externa na qual o fabricante é explicitamente reconhecido como participante pelo operador do programa, são avaliados como metade (1/2) de um produto para os fins do cálculo de obtenção do crédito.</p> <p>o EPD Tipo III específica do produto -- Produtos com certificação de terceiros (Tipo III), incluindo verificação externa na qual o fabricante é explicitamente reconhecido como participante pelo operador do programa, são avaliados como um produto inteiro para fins de cálculo de obtenção do crédito.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Programa aprovado pelo USGBC – Produtos que cumprem outras estruturas de declaração ambiental de produtos aprovadas pelo USGBC.</li> </ul> <p><b>Opção 2. Otimização multiatributo (1 ponto)</b></p> <p>Use produtos que atendam a um dos critérios abaixo para 50%, por custo, do valor total de produtos instalados de forma permanente no projeto. Os produtos serão avaliados conforme explicado abaixo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Produtos certificados por terceiros que demonstrem redução de impacto abaixo da média do setor em pelo menos três das categorias a seguir são avaliados em 100% de seu custo para cálculos de obtenção do crédito.</li> </ul> <p>o potencial de aquecimento global (gases do efeito estufa), em CO<sub>2</sub>e;</p> <p>o destruição da camada de ozônio estratosférico, em kg CFC-11;</p> <p>a acidificação da terra e fontes de água, em mols de H<sup>+</sup> ou kg SO<sub>2</sub>;</p> <p>a eutrofização, em kg de nitrogênio ou kg de fosfato;</p> <p>a formação de ozônio troposférico, em kg de NO<sub>x</sub>, kg de O<sub>3</sub> ou kg de etileno; e</p> <p>destruição de recursos de energia não renovável, em MJ.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Programa aprovado pelo USGBC – Produtos que cumprem outras estruturas de aprovação de multiatributo aprovadas pelo USGBC.</li> </ul> <p>Para o cálculo de obtenção do crédito, os produtos originados (extraídos, fabricados, adquiridos) a até 100 milhas (160 km) do terreno do projeto são avaliados em 200% de seu custo base de contribuição.</p> <p>Materiais de estrutura e invólucro não podem responder por mais de 30% do valor de produtos do edifício em conformidade.</p>



<b>CRÉDITO</b>	<b>Divulgação e otimização de produto do edifício - origem de matérias-primas</b>
Objetivo	Incentivar o uso de produtos e materiais cujas informações de ciclo de vida estejam disponíveis e que tenham impactos ambientais, econômicos e sociais de ciclo de vida vantajosos. Recompensar equipes de projeto por selecionar produtos comprovadamente extraídos ou adquiridos de maneira responsável.
Requisitos	<p><b>Opção 1. Relatórios de origem e extração de matérias-primas (1 ponto)</b>  Use pelo menos 20 produtos diferentes instalados de maneira permanente, de pelo menos cinco fabricantes diferentes que tenham divulgado publicamente um relatório de seus fornecedores de matérias-primas que incluam os locais de extração do fornecedor de matéria-prima, um compromisso de longo prazo com o uso ambientalmente responsável da terra, um compromisso para reduzir os prejuízos ambientais de processos de extração e/ou fabricação e um compromisso para cumprir voluntariamente com normas ou programas aplicáveis que tratem de critérios de aquisição responsável.</p> <p><input type="checkbox"/> Produtos adquiridos de fabricantes com relatórios autodeclarados são avaliados como metade (1/2) de um produto para a obtenção do crédito.</p> <p><input type="checkbox"/> Relatórios de sustentabilidade corporativos (corporate sustainability reports – CSR) verificados por terceiros que incluem os impactos ambientais de operações e atividades de extração associadas ao produto do fabricante e à cadeia de fornecimento do produto são avaliados como um produto inteiro para o cálculo de obtenção do crédito. Estruturas de CSR aceitáveis incluem o seguinte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Relatório de sustentabilidade da Iniciativa Global de Relatórios (Global Reporting Initiative – GRI)</b></li> <li>○ <b>Diretrizes da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) para empresas multinacionais</b></li> <li>○ <b>U.N. Global Compact: Communication of Progress (Compact Global da ONU: Comunicação de Progresso)</b></li> <li>○ <b>ISO 26000: Orientação de 2010 de Responsabilidade Social</b></li> <li>○ <b>Programa aprovado pelo USGBC:</b> Outros programas aprovados pelo USGBC que atendem aos critérios de CSR.</li> </ul> <p><b>Opção 2. Práticas de extração de liderança (1 ponto)</b>  Use produtos que atendam a pelo menos um dos critérios de extração responsável abaixo para pelo menos 25%, por custo, do valor total de produtos instalados de forma permanente no edifício do projeto.</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Responsabilidade estendida do produtor.</i> Produtos adquiridos de um fabricante (produtor) que participe de um programa de responsabilidade estendida do produtor ou seja diretamente responsável pela responsabilidade estendida do produtor. Produtos que atendam aos critérios de responsabilidade estendida do produtor são avaliados a 50% de seu custo para os fins do cálculo de obtenção do crédito.</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Materiais de base biológica.</i> Produtos de base biológica devem atender à Norma para Agricultura Sustentável da Rede de Agricultura Sustentável (Sustainable Agriculture Network's Sustainable Agriculture Standard). Matérias-primas de base biológica devem ser testadas utilizando o Método de Teste ASTM D6866 e serem coletadas de acordo com as leis dos países de exportação e destino. Exclua produtos de couro cru, como couro e outras peles de animais. Produtos que atendam aos critérios para materiais biodegradáveis são avaliados a 100% de seu custo para os fins do cálculo de obtenção do crédito.</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Produtos de madeira.</i> Produtos de madeira devem ser certificados pelo Conselho de Manejo Florestal (Forest Stewardship Council - FSC) ou equivalente aprovado pelo USGBC. Produtos que atendam aos critérios para produtos de madeira são avaliados a 100% de seu custo para os fins do cálculo de obtenção do crédito.</p> <p>• <b>Conteúdo reciclado.</b> O conteúdo reciclado é a soma do conteúdo reciclado pós-consumo mais metade do conteúdo reciclado pré-consumo, com base no custo.</p>

	<p>Produtos que atendam aos critérios para conteúdo reciclado são avaliados a 100% de seu custo para os fins do cálculo de obtenção do crédito.</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Programa aprovado pelo USGBC.</i> Outros programas aprovados pelo USGBC que atendem aos principais critérios.</p> <p>Para o cálculo de obtenção do crédito, os produtos originados (extraídos, fabricados e adquiridos) a até 100 milhas (160 km) do terreno do projeto são avaliados a 200% de seu custo base de contribuição. Para o cálculo de obtenção do crédito, o custo base de contribuição de produtos individuais em conformidade com múltiplos critérios de extração responsável não pode exceder 100% de seu custo total real (antes dos multiplicadores regionais), a contabilização dupla de componentes únicos de produtos em conformidade com múltiplos critérios de extração não é permitida e em nenhum caso um produto pode contribuir com mais de 200% de seu custo total real.</p> <p>Materiais de estrutura e invólucro não podem responder por mais de 30% do valor de produtos do edifício em conformidade.</p>
<b>CRÉDITO</b>	<b>Divulgação e otimização de produto do edifício - ingredientes do material</b>
Objetivo	<p>Incentivar o uso de produtos e materiais cujas informações de ciclo de vida estejam disponíveis e que tenham impactos ambientais, econômicos e sociais de ciclo de vida vantajosos. Recompensar equipes de projeto por selecionar produtos cujos ingredientes químicos estejam catalogados por uma metodologia aceita e por selecionar produtos que comprovadamente minimizam o uso e a geração de substâncias perigosas. Recompensar fabricantes de matérias-primas que fabricam produtos que comprovadamente melhoraram seus impactos no ciclo de vida.</p>
Requisitos	<p><b>Opção 1. Relatório de ingredientes de materiais (1 ponto)</b></p> <p>Use pelo menos 20 produtos diferentes instalados de maneira permanente, de pelo menos cinco fabricantes diferentes que usem algum dos programas a seguir para demonstrar o inventário químico do produto a pelo menos 0,1% (1000 ppm).</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Inventário do fabricante.</i> O fabricante publicou um inventário de conteúdo completo do produto seguindo estas diretrizes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Um inventário publicamente disponível de todos os ingredientes, identificados por nome e Número de Registro no Serviço de Resumo Químico Chemical (Chemical Abstract Service Registration Number - CASRN)</li> <li>o Materiais definidos como segredo comercial ou propriedade intelectual podem omitir o nome e/ou o CASRN, mas devem divulgar função, quantidade e referência GreenScreen, conforme definida em GreenScreen v1.2.</li> </ul> <p><input type="checkbox"/> <i>Declaração de Saúde do Produto.</i> O produto de uso final tem uma Declaração de Saúde do Produto completa e publicada, com divulgação completa dos perigos conhecidos, em conformidade com a norma aberta para Declarações de Saúde de Produtos.</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Cradle to Cradle (berço ao berço).</i> O produto de uso final foi certificado no nível Cradle to Cradle v2 Basic ou no nível Cradle to Cradle v3 Bronze.</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Programa aprovado pelo USGBC.</i> Outros programas aprovados pelo USGBC que atendem aos critérios de relatório de ingredientes de materiais.</p> <p><b>E/OU</b></p> <p><b>Opção 2: Otimização de ingredientes de materiais (1 ponto)</b></p> <p>Use produtos que documentem a otimização de ingredientes de seus materiais utilizando os caminhos abaixo para pelo menos 25%, por custo, do valor total de produtos instalados de forma permanente no projeto.</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Referência GreenScreen v1.2.</i> Produtos com inventários completos de ingredientes químicos a 100 ppm que não têm perigos da Referência 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Se algum ingrediente for avaliado com o GreenScreen List Translator, avalie esses produtos a 100% do custo.</li> <li>o Se todos os ingredientes passaram por uma Avaliação GreenScreen completa, avalie os produtos a 150% do custo.</li> </ul> <p><input type="checkbox"/> <i>Certificação Cradle to Cradle (berço a berço).</i> Produtos de uso final têm a certificação Cradle to Cradle. Os produtos serão avaliados da seguinte forma:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Cradle to Cradle v2 Gold: 100% do custo</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Cradle to Cradle v2 Platinum: 150% do custo</li> <li>○ Cradle to Cradle v3 Silver: 100% do custo</li> <li>○ Cradle to Cradle v3 Gold ou Platinum: 150% do custo</li> <li>□ <i>Caminho internacional alternativo para conformidade – Otimização REACH.</i> Produtos e materiais de uso final que não contenham substâncias que atendam aos critérios REACH para substâncias de preocupação muito alta. Se o produto não tiver ingredientes listados na lista de Autorização ou Candidatos REACH, avalie a 100% do custo.</li> <li>□ <i>Programa aprovado pelo USGBC.</i> Produtos que cumprem os critérios de otimização de produtos de edifícios aprovados pelo USGBC.</li> </ul> <p>E/OU</p> <p><b>Opção 3: Otimização da cadeia de fornecimento do fabricante do produto (1 ponto)</b></p> <p>Use produtos de edifícios para pelo menos 25%, por custo, do valor total de produtos instalados de maneira permanente no projeto que:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sejam adquiridos de fabricantes envolvidos em programas rígidos e comprovados para segurança, saúde, perigo e riscos, que documentem no mínimo 99% (por peso) dos ingredientes usados para fazer o produto de construção ou material de construção; e</li> <li>○ Sejam adquiridos de fabricantes que apliquem uma verificação independente de sua cadeia de fornecimento, feita por terceiros e que verifique, no mínimo, que haja: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Processos em vigor para comunicar e priorizar de maneira transparente ingredientes químicos em toda a cadeia de fornecimento de acordo com as informações disponíveis de risco, exposição e uso, para identificar os que precisam de avaliações mais detalhadas</li> <li>▪ Processos em vigor para identificar, documentar e comunicar informações sobre saúde, segurança e as características ambientais dos ingredientes químicos</li> <li>▪ Processos em vigor para implementar medidas para gerenciar perigos e riscos de saúde, segurança e ambientais de ingredientes químicos</li> <li>▪ Processos em vigor para otimizar os impactos ambientais, de saúde e segurança ao projetar e aprimorar ingredientes químicos</li> <li>▪ Processos em vigor para comunicar, receber e avaliar informações de administração e segurança de ingredientes químicos ao longo da cadeia de fornecimento</li> <li>▪ Informações de administração e segurança dos ingredientes químicos publicamente disponíveis em todos os pontos da cadeia de fornecimento</li> </ul> </li> </ul> <p>Produtos que atendam aos critérios da Opção 3 são avaliados a 100% de seu custo para fins do cálculo de obtenção do crédito.</p> <p>Para o cálculo de obtenção do crédito das Opções 2 e 3, produtos obtidos (extraídos, fabricados, adquiridos) a até 100 milhas (160 km) do terreno do projeto são avaliados em 200% de seu custo base de contribuição. Para o cálculo de obtenção do crédito, os valores de produtos individuais em conformidade com a Opção 2 ou Opção 3 podem ser combinados para alcançar o limiar de 25%, mas produtos em conformidade com a Opção 2 e a Opção 3 só podem ser contabilizados uma vez.</p> <p>Materiais de estrutura e invólucro não podem responder por mais de 30% do valor de produtos do edifício em conformidade.</p>
<b>CRÉDITO</b>	<b>Gerenciamento da construção e resíduos de demolição.</b>
Objetivo	Reduzir os resíduos de construção e demolição descartados em aterros sanitários ou instalações de incineração recuperando, reutilizando e reciclando materiais.
Requisitos	Recicle e/ou recupere materiais de construção e demolição não perigosos. Os cálculos podem ser feitos por peso ou volume, mas sempre devem ser consistentes. Exclua solo escavado, entulho de limpeza de terreno e cobertura diária alternativa (Alternative Daily Cover - ADC). Inclua resíduos de madeira reaproveitados como combustível (biocombustível) nos cálculos; outros tipos de transformação de resíduos em energia não são considerados reaproveitamento para este crédito. No entanto, para projetos que não podem atender aos requisitos do crédito

	<p>utilizando métodos de reuso e reciclagem, sistemas de transformação de resíduos em energia podem ser considerados se a Diretriz 2008/98/EC para resíduos (Waste Framework) e a Diretriz 2000/76/EC para incineração de resíduos (Waste Incineration) da Comissão Europeia forem seguidas e as instalações de transformação de resíduos em energia atenderem às normas EN 303 aplicáveis do Comitê Europeu de Normalização (CEN) EN 303.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Opção 1. Reaproveitamento (1 a 2 pontos):</b> <u>Caminho 1.</u> Reaproveitar 50% e três fluxos de material (1 ponto); Reaproveite pelo menos 50% do total de material de construção e demolição; os materiais reaproveitados devem incluir pelo menos três fluxos de material. <u>OU Caminho 2.</u> Reaproveitar 75% e quatro fluxos de material (2 pontos); Reaproveite pelo menos 75% do total de material de construção e demolição; os materiais reaproveitados devem incluir pelo menos quatro fluxos de material.</li><li>• <b>Opção 2. Redução do total de material descartado (2 pontos):</b> Não gere mais que 2,5 libras de resíduos de construção por pé quadrado (12,2 kg de resíduos por metro quadrado) da área de piso do edifício.</li></ul>
--	--

Fonte: Adaptado GBC Brasil (2019).

## APÊNDICE B - Requisitos AQUA-HQE para Canteiro de Obras e Resíduos

AQUA-HQE: EDIFÍCIOS NÃO RESIDENCIAIS EM CONSTRUÇÃO	
CATEGORIA 3 – CANTEIRO DE OBRAS	
3.1. Otimização da gestão dos resíduos do canteiro de obras	
Critério de Avaliação	
<b>3.1.1. Identificar e quantificar, por tipo, os resíduos do canteiro de obras</b>	<b>Nível</b>
<p>Identificação dos resíduos produzidos no canteiro e sua classificação por categoria:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Resíduos de Classe A: concreto, blocos de concreto, blocos cerâmicos, argamassas, outros componentes cerâmicos, tijolos e assemelhados, etc.</li> <li>▪ Resíduos de Classe B: madeira, plásticos, papelão e papéis, metais, etc.</li> <li>▪ Resíduos de Classe C: gesso de revestimento, chapas de gesso acartonado, etc.</li> <li>▪ Resíduos de Classe D: amianto, ferramentas e embalagens contaminados por resíduos perigosos, tintas, solventes, etc.</li> </ul> <p>E Estimativa das quantidades produzidas de cada classe de resíduo.</p> <p>E Ao longo de toda a construção e de qualquer tipo de demolição prévia, medidas para determinar e monitorar as quantidades produzidas (em kg ou em L) para cada tipo de resíduo.</p>	Base
<b>3.1.2. Reduzir na fonte a produção de resíduos do canteiro de obras</b>	<b>Nível</b>
Adotar medidas técnicas e/ou organizacionais justificadas e satisfatórias para reduzir na fonte a produção de resíduos do canteiro de obras.	1
Medidas justificadas e satisfatórias tomadas em relação às técnicas construtivas para limitar na fonte a produção de resíduos.	3
<b>3.1.3. Valorizar ao máximo os resíduos de canteiro em adequação com as cadeias locais existentes, e assegurar-se a destinação apropriada dos resíduos</b>	<b>Nível</b>
<p>Medidas tomadas para conhecer a massa total de resíduos gerados pelo canteiro e, assim, poder estimar os percentuais de valorização.</p> <p>Resíduos controlados</p> <p>Respeito às exigências regulamentares para o descarte dos resíduos controlados, ou seja:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• para cada tipo de resíduo perigoso, escolher um destinador em conformidade com a regulamentação aplicável;</li> <li>• para os resíduos de embalagem cuja produção é superior a 1.100 litros/semana, beneficiar 100% destes resíduos sob a forma de reutilização, reciclagem ou outras formas de ação que os tornem materiais reutilizáveis ou fontes de energia.</li> </ul> <p>E Recuperação de 100% dos formulários de controle de transporte de resíduos para os resíduos controlados.</p> <p>E Registros formais dos processos de seleção e avaliação de 100% das transportadoras e das destinações finais.</p>	Base
<p>Resíduos não controlados</p> <p>Seleção, para cada categoria de resíduo, da transportadora e da destinação mais apropriados do ponto de vista técnico, ambiental e econômico, privilegiando tanto quanto possível o beneficiamento ou valorização dos resíduos.</p> <p>E Recuperação de 100% dos formulários de controle de transporte de resíduos para os resíduos não controlados, tanto na construção quanto na desconstrução.</p>	Base
Registros formais dos processos de seleção e avaliação de 100% das transportadoras e das destinações finais.	1
<b>Valorização dos resíduos (exceto resíduos de escavações)</b>	Base

Escolher, para cada tipo de resíduo, a alternativa de disposição mais satisfatória do ponto de vista técnico, ambiental e econômico, privilegiando tanto quanto possível a reciclagem. <b>E</b> O percentual de resíduos reciclados (com relação à massa total de resíduos gerados) é superior a:	
30% quando não houver demolição prévia e 40% quando houver	
40% quando não houver demolição prévia e 50% quando houver	2
50% quando não houver demolição prévia e 60% quando houver	3
70% quando não houver demolição prévia e 80% quando houver	6
Obs esses pontos não podem se acumular	
<b>Valorização da matéria dos resíduos</b> Percentual de resíduos reciclados por meio da valorização da matéria (em relação à massa total de resíduos recicláveis gerados) superior a:	
10%	1
20%	2
50%	4
70%	5
Pontos não podem acumular	
<b>3.1.4. Otimizar a coleta, a triagem e o agrupamento dos resíduos de canteiro</b>	<b>Nível</b>
Adoção de medidas de gestão e organização do canteiro para minimizar a massa de resíduos gerados.  Medidas justificadas e satisfatórias.	Base
Disposições contratuais tomadas com relação aos fornecedores para minimizar a massa de resíduos gerados no canteiro.  Disposições justificadas e satisfatórias.	1
Com base na análise do local do empreendimento, elaboração de um plano de gestão dos resíduos do canteiro, especificando: <ul style="list-style-type: none"> <li>• as modalidades de coleta e de triagem de cada tipo de resíduo,</li> <li>• o grau de detalhe da triagem dos vários tipos de resíduos, em função do espaço disponível e das cadeias de valorização existentes.</li> </ul> <b>E</b> Assegurar que o plano de gestão dos resíduos do canteiro seja seguido e respeitado durante a construção.	3
<b>3.2. Redução dos incômodos e da poluição causados pelo canteiro de obras</b>	
<b>3.2.1. Limitar os incômodos acústicos</b>	<b>Nível</b>
<b>Se houver vizinhos</b>  Estabelecer um <b>cronograma das fases ruidosas</b> do canteiro e adoção de medidas (de natureza organizacional e/ou relativas ao material e às máquinas) para limitar os incômodos acústicos para a vizinhança em função desse cronograma.	1
Pontos suplementares  Monitorar os níveis de ruído e/ou vibrações por meio de um dispositivo específico, de acordo com o protocolo de monitoramento mais apropriado e relacionado ao cronograma estabelecido. <b>E</b> Adotar medidas corretivas se necessário.	2
<b>3.2.2. Limitar os incômodos visuais e otimizar a limpeza do canteiro</b>	<b>Nível</b>

Realizar a limpeza semanal do canteiro e de suas periferias. E Respeitar as recomendações sanitárias municipais, se existirem.	Base
Adotar medidas para limitar os incômodos visuais devidos ao canteiro e para garantir a sua limpeza.  Disposições justificadas e satisfatórias.	1
<b>3.2.3. Evitar a poluição das águas e do solo</b>	<b>Nível</b>
Atendimento aos requisitos regulamentares para limitar a poluição da água e do solo. E Medidas tomadas para proteger as áreas de estocagem de produtos poluentes utilizados no canteiro.	Base
Identificar produtos potencialmente poluentes utilizados durante a construção (colas, pinturas, óleos de motores) e escolher produtos que ofereçam garantia de menor toxicidade.	2
Medidas para limitar a poluição da água e do solo:	2
<ul style="list-style-type: none"> <li>recuperar e tratar os efluentes poluentes do canteiro;</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>otimizar a limpeza das máquinas e do material.</li> </ul>	1
<b>3.2.4. Evitar a poluição do ar e controlar o impacto sanitário</b>	<b>Nível</b>
Atendimento aos requisitos regulamentares para limitar a poluição do ar, especialmente com relação à proibição de queimas e ao respeito às prescrições de segurança indicadas em alguns produtos.	Base
Adoção de medidas em relação às técnicas construtivas e/ou de natureza organizacional para limitar a poluição do ar e o desprendimento de poeira. Disposições justificadas e satisfatórias.	2
<b>3.2.5. Preservar a biodiversidade durante a construção</b>	<b>Nível</b>
Adotar medidas, na implantação do canteiro, para preservar a biodiversidade vegetal e animal existente (considerando o contexto) durante a construção. Disposições justificadas e satisfatórias.  Em particular, trata-se de realizar uma reflexão para perturbar o menos possível a fauna (ruído, iluminação) e danificar o menos possível a flora (rejeitos poluentes).	2
<b>3.3. Redução do consumo de recursos no canteiro de obras</b>	
<b>3.3.1. Reduzir o consumo de energia elétrica no canteiro</b>	<b>Nível</b>
Adotar estratégias de redução do consumo de energia elétrica durante a construção. Disposições justificadas e satisfatórias. E Tomar medidas em caso de detecção de consumos excessivos.	2
<b>3.3.2. Reduzir o consumo de água no canteiro</b>	<b>Nível</b>
Adotar estratégias de redução do consumo de água durante a construção. Disposições justificadas e satisfatórias. E Tomar medidas em caso de detecção de um consumo excessivo.	2
<b>3.3.3. Facilitar a reutilização no local do empreendimento das terras escavadas</b>	<b>Nível</b>
Adotar medidas que favoreçam a reutilização, no local do empreendimento, das terras escavadas por ocasião da terraplenagem do canteiro, evitando, assim, a sua remoção. Disposições justificadas e satisfatórias. E Demonstração de um balanço neutro das terras retiradas/restituídas.	2
<b>3.4. Consideração de aspectos sociais no canteiro de obras</b>	

<b>3.4.1. Limitar os riscos sanitários</b>	<b>Nível</b>
Limitar os riscos sanitários relacionados à contaminação causada pela picada dos insetos causadores da dengue.	Base
<b>3.4.2. Estimular a formalidade na cadeia produtiva da construção civil</b>	<b>Nível</b>
Estimular e apoiar a formalidade na cadeia produtiva da construção civil. <b>E</b> Garantir a formalidade fiscal e trabalhista da(s) empresa(s) construtora(s) contratada(s).	Base
Garantir a formalidade fiscal e trabalhista de 100% das empresas subcontratadas pela(s) empresa(s) construtora(s).	2
Garantir a formalidade fiscal e trabalhista de 100% dos demais prestadores de serviço envolvidos nas atividades do canteiro de obras.	2
<b>CATEGORIA 6 - RESÍDUOS</b>	
<b><i>IMPORTANTE: Na ausência de cadeias locais de valorização dos resíduos, a categoria não pode ser avaliada como BOAS PRÁTICAS ou MELHORES PRÁTICAS.</i></b>	
<b>6.1. Otimização da valorização dos resíduos de uso e operação do edifício</b>	
<b>6.1.1. Recomendar ou escolher alternativas de remoção dos resíduos privilegiando a sua valorização</b>	<b>Nível</b>
Identificação* das atividades presentes nos edifícios e seu terreno: atividades de higiene, alimentação, limpeza, manutenção, de escritório, etc. <b>E</b> Identificação detalhada dos resíduos gerados em cada uma destas atividades. <b>E</b> Classificação dos resíduos de uso e operação, conforme a norma NBR 10004 “Resíduos Sólidos: Classificação”, a qual diferencia os resíduos sólidos em relação aos riscos potenciais que representam ao meio ambiente e à saúde pública em duas classes de periculosidade: Classe I – Perigosos; Classe II – Não perigosos, sendo a Classe IIA – Resíduos não inertes e a Classe IIB – Resíduos inertes. <b>E</b> Identificação das cadeias de valorização disponíveis, públicas ou privadas, e dos custos de valorização associados.  Identificação, para cada classificação de resíduos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• alternativas de retirada e destinação disponíveis, públicas ou privadas;</li> <li>• estimativa dos custos de disposição para cada classe de resíduo não valorizado no próprio edifício.</li> </ul> <b>E</b>	Base
Escolha, para cada classificação de resíduo, da alternativa de retirada e destinação mais satisfatória, do ponto de vista ambiental, técnico e econômico, privilegiando ao máximo possível a sua valorização.	1
Recomendar ou escolher* a alternativa de remoção mais satisfatória do ponto de vista técnico, econômico e ambiental, optando por uma <b>cadeia de valorização</b> (em termos de massa ou volume): <ul style="list-style-type: none"> <li>• para pelo menos 50% dos resíduos</li> </ul>	2
<ul style="list-style-type: none"> <li>• para pelo menos 80% dos resíduos</li> </ul>	3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• para 100% dos resíduos (valorização sistemática)</li> <li>•</li> </ul> <b>► Estes pontos não podem ser acumulados.</b>	4
<b>6.1.2. Favorecer a valorização dos resíduos orgânicos</b>	<b>Nível</b>
Nos empreendimentos onde isto constituir uma prioridade, adotar medidas justificadas e satisfatórias que permitam a valorização futura (na fase de uso e operação do edifício) <b>dos resíduos orgânicos</b> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• seja pela recomendação de integração com uma cadeia de valorização existente, a</li> </ul>	2



<p>ser informada ao futuro responsável pelo uso e operação do edifício ou à futura “Organização”;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• seja pela concepção de uma unidade de valorização no local do empreendimento, compreendendo espaços adequados para o armazenamento dos resíduos orgânicos e minimizando os incômodos para os ocupantes e para a vizinhança.</li> </ul> <p>Comprovar um balanço ambiental melhor do que o que seria obtido com o recurso a outras soluções. Esta justificativa deverá ser fundamentada por meio de uma comparação com outros cenários.</p>	
<b>6.1.3. Favorecer a redução do volume dos resíduos de uso e operação do edifício</b>	<b>Nível</b>
<p>Nos empreendimentos onde isto constituir uma prioridade (compreendendo no mínimo uma atividade logística, comercial ou hoteleira)</p> <p>Adotar disposições arquitetônicas justificadas e satisfatórias que permitam a redução do volume dos resíduos de uso e operação, em particular através do posicionamento das áreas e dispositivos de compactação e/ou moagem.</p> <p><i>* Se for cedo demais para escolher as alternativas de remoção (justificar), incluir as necessárias prescrições no manual de conservação e manutenção (ver SGE, apêndice A.5) e/ou no caderno</i></p>	1
<b>6.2. Qualidade do sistema de gerenciamento dos resíduos de uso e operação do edifício</b>	
<b>6.2.1. Dimensionar adequadamente as áreas/zonas de resíduos *</b>	<b>Nível</b>
<p>Implementação de medidas justificadas e satisfatórias para garantir um armazenamento adequado dos resíduos antes de sua remoção, concebendo áreas e/ou zonas adaptadas ao contexto do empreendimento e dimensionadas em consequência (superfície em m<sup>2</sup>). Justificar o dimensionamento em função das quantidades estimadas e da escolha das cadeias de valorização estabelecidas no item 6.1.1.</p>	Base
<p>Otimizar a concepção das áreas e/ou zonas de resíduos dimensionando-as e/ou melhorando a sua ergonomia.</p>	2
<p><b>Em caso de intervenções recorrentes no empreendimento</b>, implementar medidas arquitetônicas justificadas e satisfatórias para facilitar a triagem em conjunto dos resíduos de uso e operação do edifício e dos resíduos das intervenções recorrentes no empreendimento.</p> <p><b>E</b> Assegurar que esta triagem conjunta não perturbe os circuitos dos resíduos de uso e operação do edifício. 1</p>	1
<b>6.2.2. Garantir a higiene das áreas/zonas de resíduos</b>	<b>Nível</b>
<p>Implementar sistemas de limpeza das áreas, zonas e equipamentos em que estão armazenados os resíduos (pontos de água e sifões de escoamento) e justificar as condições de ventilação (em conformidade com a regulamentação, se existir).</p> <p>Quando houver áreas/zonas de resíduos externas, tomar medidas para garantir sua proteção contra o vento e a chuva.</p>	Base
<b>6.2.3. Otimizar os circuitos dos resíduos de uso e operação do edifício</b>	<b>Nível</b>
<p>Estudar a posição das áreas/zonas de resíduos com relação às entradas dos caminhões de remoção.</p>	2
<p>Adotar medidas para <b>otimizar os circuitos de resíduos de uso e operação</b>, procurando:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• estudar a posição das áreas/zonas de resíduos com relação aos locais de produção de resíduos,</li> <li>• estudar a posição das áreas/zonas de triagem e pré-coleta com relação aos locais de produção e de armazenamento final dos resíduos,</li> <li>• otimizar a interação entre os fluxos de resíduos e os demais fluxos de circulação do edifício.</li> </ul> <p><i>* Se a futura “Organização” ainda não for conhecida, justificar a estimativa realizada e as hipóteses assumidas.</i></p>	2

Fonte: Adaptado Fundação Vanzolini (2019).

### APÊNDICE C – Requisitos BREEAM para Resíduos em Novas Construções

BREEAM – Novas Construções, categoria de Resíduos				
Categoria	Nomenclatura	Critérios	Parâmetros	Créditos
Resíduos	Wst 01	Gerenciamento dos RCC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaborar um plano de gerenciamento de recursos de construção;</li> <li>Reduzir o desperdício de materiais;</li> <li>Evitar o envio dos RCC não perigosos ou aqueles de demolição e escavação para aterros.</li> </ul>	3
	Wst 02	Agregados reciclados	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definir níveis percentuais de agregado reciclado conforme objetivos definidos previamente.</li> </ul>	1
	Wst 03a	Desperdício Operacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fornecimento de espaço e instalações adequados para permitir a segregação e armazenamento de volumes operacionais de resíduos recicláveis gerados pelo edifício ou unidade avaliada, seus ocupantes e atividades.</li> </ul>	1
	Wst 03b	Desperdício Operacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>Idem Wst 03 (somente para edifícios residenciais).</li> </ul>	2
	Wst 04	Acabamentos - para pisos e tetos	<ul style="list-style-type: none"> <li>A especificação de acabamentos de piso e teto somente quando acordado com o ocupante ou para áreas arrendadas onde o futuro ocupante não é conhecido, tapetes, outros acabamentos de piso e acabamentos de teto são instalados em uma área de exposição apenas para reduzir o desperdício.</li> </ul>	1
	Wst 05	Adaptação às mudanças climáticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incentivar medidas para mitigar o impacto de condições climáticas mais extremas decorrentes das mudanças climáticas ao longo da vida útil do edifício.</li> </ul>	1
	Wst 06	Adaptabilidade funcional	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incentivar medidas para acomodar mudanças futuras no uso do edifício e de seus sistemas ao longo de sua vida útil.</li> </ul>	1

Fonte: Adaptado de BREEAM (2017).

## APÊNDICE D – Requisitos SBTTool<sup>PT</sup> para Materiais e Resíduos Sólidos

Categoria C4 do SBTTool <sup>PT</sup> para Habitações				
Materiais e Resíduos Sólidos				
Referência	Parâmetro	Peso percentual	Medição	Valor de referência
P9	Percentagem em custo de materiais reutilizados	29%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtenção do custo total dos materiais de construção utilizados;</li> <li>• Somatório do custo de materiais e elementos construtivos que serão reutilizados;</li> <li>• Cálculo da percentagem do custo de materiais e produtos que serão reutilizados no custo total dos materiais de construção utilizados.</li> </ul>	<p><b>Práticas Correntes:</b> percentagem de custos de materiais reutilizados no custo total do edifício igual a 0%;</p> <p><b>Melhores Práticas Atuais:</b> percentagem de custos de materiais reutilizados no custo total do edifício igual a 15%.</p>
P10	Percentagem em peso do conteúdo reciclado do edifício	9%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificação dos materiais de construção a considerar;</li> <li>• Quantificação da massa utilizada de cada um dos materiais considerados;</li> <li>• Determinação do conteúdo reciclado de cada um dos materiais considerados;</li> <li>• Normalização e agregação dos resultados normalizados em função das quantidades utilizadas.</li> </ul> <p>**Com base na especificação técnica dos produtos utilizados em maior quantidade no edifício (elementos construtivos e acabamentos).</p>	<p><b>Práticas Correntes:</b> valores de referência estabelecidos para a percentagem corrente do conteúdo reciclado em massa dos materiais de construção;</p> <p><b>Melhores Práticas Atuais:</b> valores de referência estabelecidos para a melhor percentagem atual do conteúdo reciclado em massa dos materiais de construção.</p>
P11	Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados	7%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinação do custo total dos produtos de madeira e de base orgânica utilizada;</li> <li>• Determinação do custo total de produtos certificados de madeira ou de base orgânica;</li> <li>• Cálculo da percentagem dos custos de produtos certificados de madeira ou de base orgânica no custo total de produtos de madeira e base orgânica.</li> </ul>	<p><b>Práticas Correntes:</b> percentagem de 0% do custo de produtos certificados de madeira ou base orgânica no custo total de produtos de madeira e base orgânica;</p> <p><b>Melhores Práticas Atuais:</b> percentagem de 5% do custo de produtos certificados de madeira ou base orgânica no custo total</p>

				de produtos de madeira e base orgânica.
<b>P12</b>	Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão	3%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinação da massa total de ligantes utilizados na produção de betões;</li> <li>• Determinação da massa de ligantes substitutos do cimento na produção de betões;</li> <li>• Cálculo da percentagem da massa de ligantes substitutos do cimento na massa total de ligantes utilizados na produção de betões.</li> </ul>	<p><b>Práticas Correntes:</b> percentagem de 0% da massa de ligantes substitutos do cimento na massa total de ligantes utilizados no fabrico de betões;</p> <p><b>Melhores Práticas Atuais:</b> percentagem de 60% da massa de ligantes substitutos do cimento na massa total de ligantes utilizados no fabrico de betões.</p>
<b>P13</b>	Potencial das condições do edifício para promoção da separação de resíduos sólidos	1%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atribuição de créditos para a determinação do valor do potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos, durante a fase de utilização do edifício.</li> </ul>	<p><b>Práticas Correntes:</b> 10 créditos de potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos;</p> <p><b>Melhores Práticas Atuais:</b> 50 créditos de potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos.</p>

Fonte: Adaptado de Andrade (2009) e Mateus (2009).

### APÊNDICE E – Subcritérios de Resíduos da certificação LiderA 4.0

Critérios para o programa A10 – Resíduos, LiderA 4.0			
Referência	Subcritério	Orientações e boas práticas	Métodos de medição
C19	Produção de resíduos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução em, pelo menos, 50%, face às práticas correntes, da produção de resíduos sólidos;</li> <li>• Potencialização da compostagem de resíduos orgânicos.</li> </ul>	Determinação da produção de resíduos sólidos urbanos em kg/hab.ano.
C20	Gestão de resíduos perigosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução e gestão de resíduos perigosos produzidos e utilização dos materiais e produtos que os originam;</li> <li>• Eliminação, gestão e disposição final adequada e segura;</li> <li>• Eliminação de cloro para piscinas;</li> <li>• Eliminação de pesticidas e derivados;</li> <li>• Implantação de locais apropriados para arrumação segura de produtos de limpeza e manutenção;</li> <li>• Implantação de locais para deposição de pilhas, lâmpadas, óleos alimentares e tintas;</li> <li>• Elaboração de plano de gestão e monitoramento de resíduos perigosos e eliminação dos mesmos.</li> </ul>	Listagem dos resíduos perigosos produzidos e utilizados, dos materiais e produtos que os originam, e das medidas aplicadas com vista à sua redução, eliminação, gestão e disposição final adequada e segura, sendo que esta listagem pode ser executada através de um questionário aos utilizadores ou de amostragens aleatórias nos resíduos sólidos urbanos.
C21	Valorização de resíduos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da quantidade de resíduos reciclados no edifício;</li> </ul>	Determinação da quantidade de resíduos reciclados, em kg, no edifício.

Fonte: Adaptado de Fernandes (2013).

## APÊNDICE F – Questionário profissionais AEC

Cada certificação ambiental escolhida para análise corresponde a uma seção do questionário. No total, 19 requisitos foram avaliados pelos especialistas sob a perspectiva de diferentes afirmações.

Sendo que:

- Seção 1- LEED - 4 requisitos
- Seção 2 - AQUA-HQE - 5 requisitos
- Seção 3 - SBTTool PT - 4 requisitos
- Seção 4 - BREEAM - 3 requisitos
- Seção 5 - LIDERA - 3 requisitos

O especialista iniciou o questionário com o preenchimento do Perfil Participante, com informações sobre formação e tempo de experiência profissional; local de trabalho e função desempenhada e se desempenha a função no Brasil ou em Portugal. Na sequência, o especialista atribuiu uma pontuação de 1 a 5 às afirmações apresentadas, considerando sua opinião e experiência profissional, sendo que:

- 1- Discordo totalmente
- 2 - Discordo parcialmente
- 3 - Indiferente
- 4 - Concordo parcialmente
- 5 - Concordo totalmente;

Ao final da avaliação de cada requisito, um espaço foi deixado para que o profissional pudesse expor seus comentários e sugerir mudanças nos requisitos para que eles fiquem mais adequados à gestão dos RCD e à sustentabilidade dos edifícios.

Os métodos de certificação ambiental, requisitos e respectivas afirmações do questionário enviado estão apresentados, conforme segue:

### Seção 1- LEED

Analise os quatro requisitos a seguir que pertencem à certificação LEED e avalie as afirmações propostas.

#### Requisito 1 - LEED                      Afirmações a avaliar: 8

Critério: Depósito e coleta de materiais recicláveis

Objetivo: Reduzir os resíduos gerados por ocupantes de edifícios e transportados e descartados em aterros sanitários.

Comprovação: Forneça áreas dedicadas acessíveis aos transportadores de resíduos e ocupantes do edifício para a coleta e armazenamento de materiais recicláveis para todo o edifício. As áreas de coleta e armazenamento devem ser separadas. Os materiais recicláveis devem incluir papel misto, papelão ondulado, vidro, plásticos e metais. Tome medidas adequadas para a coleta, armazenamento e descarte seguros de dois dos seguintes itens: pilhas e baterias, lâmpadas com mercúrio e resíduos eletrônicos.

Afirmações		1	2	3	4	5
P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.					
P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito					
P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.					
P4	É completa a lista de materiais recicláveis mencionados que devem receber local apropriado na obra para armazenamento e coleta.					
P5	O parâmetro para gestão dos resíduos perigosos e os tipos de materiais contemplados são adequados.					
P6	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.					
P7	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.					
P8	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.** Responda se você tiver conhecimento sobre.					
Comentários						

Requisito 2 - LEED Afirmações a avaliar: 7

Critério: Plano de Gerenciamento da Construção e Resíduos de Demolição

Objetivo: Reduzir os resíduos de construção e demolição descartados em aterros sanitários ou instalações de incineração recuperando, reutilizando e reciclando materiais.

Comprovação: Desenvolva e implemente um plano de gestão de resíduos de construção e demolição:

- Estabeleça metas de reaproveitamento de resíduos para o projeto identificando pelo menos cinco materiais (estruturais e não estruturais) para reaproveitamento. Estime uma porcentagem aproximada dos resíduos totais do projeto que esses materiais representam.
- Especifique se os materiais serão separados ou misturados e descreva as estratégias de reaproveitamento planejadas para o projeto. Descreva onde o material será obtido e como a instalação de reciclagem processará o material.

Forneça um relatório final detalhando todos os principais fluxos de resíduos gerados, incluindo as taxas de descarte e de reaproveitamento.

Cobertura diária alternativa (alternative daily cover – ADC) não se qualifica como material reaproveitado do descarte. Os entulhos provenientes da limpeza de terrenos não são considerados resíduos de construção, demolição ou reforma que podem contribuir para o reaproveitamento de resíduos.

Afirmações		1	2	3	4	5
P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.					
P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.					
P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.					
P4	Os parâmetros definidos para cumprir as metas de reaproveitamento de materiais estruturais e não estruturais é adequada para avaliar a gestão dos resíduos na obra.					
P5	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.					

P6	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.					
P7	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.** Responda se você tiver conhecimento sobre.					
Comentários						

Requisito 3 - LEED Afirmações a avaliar: 8

Critério: Redução do impacto do ciclo de vida do edifício.

Objetivo: Incentivar o reuso adaptável e otimizar o desempenho ambiental de produtos e materiais.

Comprovação: Demonstre efeitos ambientais reduzidos durante a tomada de decisões inicial do projeto, reutilizando recursos existentes do edifício ou demonstrando uma redução no uso de materiais por meio da avaliação do ciclo de vida.

- Opção 3. Reuso de edifício e materiais: Reutilize ou recupere materiais de construção externos ou no local como uma porcentagem da área superficial, conforme listados na Tabela 1. Inclua elementos estruturais (por exemplo, pisos, plataformas/caibros de telhado), materiais de recinto (por exemplo, revestimento, estruturas/armações) e elementos internos instalados de forma permanente (por exemplo, paredes, portas, revestimentos de pisos, sistemas de teto). Exclua do cálculo conjuntos de janelas e quaisquer materiais perigosos que sejam remediados como parte do projeto.

Materiais que contribuam para este crédito não podem contribuir para o Crédito Materiais e Recursos (MR): Divulgação e Otimização de Materiais.

Tabela 1. Porcentagem reutilizada da área superficial do projeto completo: 25%; 50%; 75%.

Afirmações		1	2	3	4	5
P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.					
P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.					
P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.					
P4	Os percentuais de reutilização de materiais previstos no requisito são coerentes com a realidade das obras e, portanto, possível de serem atendidos.					
P5	Os elementos e materiais citados são bons exemplos para reaproveitamento na obra.					
P6	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.					
P7	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.					
P8	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.** Responda se você tiver conhecimento sobre.					
Comentários						

Requisito 4 - LEED Afirmações a avaliar: 9

Critério: Gerenciamento da construção e resíduos de demolição.

Objetivo: Reduzir os resíduos de construção e demolição descartados em aterros sanitários ou instalações de incineração recuperando, reutilizando e reciclando materiais.

Comprovação: Recicle e/ou recupere materiais de construção e demolição não perigosos. Os cálculos podem ser feitos por peso ou volume, mas sempre devem ser consistentes.



Exclua solo escavado, entulho de limpeza de terreno e cobertura diária alternativa (Alternative Daily Cover - ADC). Inclua resíduos de madeira reaproveitados como combustível (biocombustível) nos cálculos; outros tipos de transformação de resíduos em energia não são considerados reaproveitamento para este crédito.

No entanto, para projetos que não podem atender aos requisitos do crédito utilizando métodos de reuso e reciclagem, sistemas de transformação de resíduos em energia podem ser considerados se a Diretriz 2008/98/EC para resíduos (Waste Framework) e a Diretriz 2000/76/EC para incineração de resíduos (Waste Incineration) da Comissão Europeia forem seguidas e as instalações de transformação de resíduos em energia atenderem às normas EN 303 aplicáveis do Comitê Europeu de Normalização (CEN) EN 303.

- Opção 1.

Reaproveitamento (1 a 2 pontos):

Caminho 1. Reaproveitar 50% e três fluxos de material: Reaproveite pelo menos 50% do total de material de construção e demolição; os materiais reaproveitados devem incluir pelo menos três fluxos de material.

OU

Caminho 2. Reaproveitar 75% e quatro fluxos de material: Reaproveite pelo menos 75% do total de material de construção e demolição; os materiais reaproveitados devem incluir pelo menos quatro fluxos de material.

- Opção 2.

Redução do total de material descartado: Não gere mais que 2,5 libras de resíduos de construção por pé quadrado (12,2 kg de resíduos por metro quadrado) da área de piso do edifício.

Afirmações		1	2	3	4	5
P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.					
P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.					
P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.					
P4	Os percentuais de reaproveitamento previstos são coerentes com a realidade das obras e possível de ser atendido.					
P5	A quantidade de fluxos de materiais prevista para cumprir os percentuais de reaproveitamento é adequada e suficiente.					
P6	O valor máximo de material que pode ser descartado, 12,2 kg/m <sup>2</sup> da área de piso construído, é adequado para alcançar a sustentabilidade da obra.					
P7	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.					
P8	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.					
P9	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.** Responda se você tiver conhecimento sobre.					
Comentários						

## Seção 2 - AQUA-HQE

Analise os cinco requisitos a seguir que pertencem à certificação AQUA-HQE e avalie as afirmações propostas.

Requisito 1 - AQUA-HQE Afirmações a avaliar: 7

Critério: 3.1. Otimização da gestão dos resíduos do canteiro de obras

## 3.1.1. Identificar e quantificar, por tipo, os resíduos do canteiro de obras.

Objetivo: Identificação dos resíduos produzidos no canteiro e sua classificação por categoria:

- Resíduos de Classe A: concreto, blocos de concreto, blocos cerâmicos, argamassas, outros componentes cerâmicos, tijolos e assemelhados, etc.
- Resíduos de Classe B: madeira, plásticos, papelão e papéis, metais, etc.
- Resíduos de Classe C: gesso de revestimento, chapas de gesso acartonado, etc.
- Resíduos de Classe D: amianto, ferramentas e embalagens contaminados por resíduos perigosos, tintas, solventes, etc.

E

Estimativa das quantidades produzidas de cada classe de resíduo.

E

Ao longo de toda a construção e de qualquer tipo de demolição prévia, medidas para determinar e monitorar as quantidades produzidas (em kg ou em L) para cada tipo de resíduo.

Afirmações		1	2	3	4	5
P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.					
P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.					
P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.					
P4	A classificação dos resíduos em categorias de A a D, conforme apresentado no requisito, facilita a gestão dos materiais na obra.					
P5	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.					
P6	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.					
P7	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.** Responda se você tiver conhecimento sobre.					
Comentários						

Requisito 2 - AQUA-HQE

Afirmações a avaliar: 6

Critério: 3.1. Otimização da gestão dos resíduos do canteiro de obras

## 3.1.2. Reduzir na fonte a produção de resíduos do canteiro de obras

Objetivo: Adotar medidas técnicas e/ou organizacionais justificadas e satisfatórias para reduzir na fonte a produção de resíduos do canteiro de obras.

Medidas justificadas e satisfatórias tomadas em relação às técnicas construtivas para limitar na fonte a produção de resíduos.

Afirmações		1	2	3	4	5
P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.					
P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.					
P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.					
P4	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.					
P5	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.					
P6	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.** Responda se você tiver conhecimento sobre.					
Comentário						

Requisito 3 - AQUA-HQEAfirmações a avaliar: 8

Critério: 3.1. Otimização da gestão dos resíduos do canteiro de obras

3.1.3. Valorizar ao máximo os resíduos de canteiro em adequação com as cadeias locais existentes, e assegurar-se a destinação apropriada dos resíduos.

Objetivo: Adotar medidas para conhecer a massa total de resíduos gerados pelo canteiro e, assim, poder estimar os percentuais de valorização.

**RESÍDUOS CONTROLADOS**

Respeito às exigências regulamentares para o descarte dos resíduos controlados, ou seja:

- Para cada tipo de resíduo perigoso, escolher um destinador em conformidade com a regulamentação aplicável;
- Para os resíduos de embalagem cuja produção é superior a 1.100 litros/semana, beneficiar 100% destes resíduos sob a forma de reutilização, reciclagem ou outras formas de ação que os tornem materiais reutilizáveis ou fontes de energia.

E

Recuperação de 100% dos formulários de controle de transporte de resíduos para os resíduos controlados.

E

Registros formais dos processos de seleção e avaliação de 100% das transportadoras e das destinações finais.

**RESÍDUOS NÃO CONTROLADOS**

Seleção, para cada categoria de resíduo, da transportadora e da destinação mais apropriados do ponto de vista técnico, ambiental e econômico, privilegiando tanto quanto possível o beneficiamento ou valorização dos resíduos.

E

Recuperação de 100% dos formulários de controle de transporte de resíduos para os resíduos não controlados, tanto na construção quanto na desconstrução.

Registros formais dos processos de seleção e avaliação de 100% das transportadoras e das destinações finais.

**VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS (exceto resíduos de escavações)**

Escolher, para cada tipo de resíduo, a alternativa de disposição mais satisfatória do ponto de vista técnico, ambiental e econômico, privilegiando tanto quanto possível a reciclagem.

E

O percentual de resíduos reciclados (com relação à massa total de resíduos gerados) é superior a:

30% quando não houver demolição prévia e 40% quando houver

40% quando não houver demolição prévia e 50% quando houver

50% quando não houver demolição prévia e 60% quando houver

70% quando não houver demolição prévia e 80% quando houver

Obs esses pontos não podem se acumular

**VALORIZAÇÃO DA MATÉRIA DOS RESÍDUOS**

Percentual de resíduos reciclados por meio da valorização da matéria (em relação à massa total de resíduos recicláveis gerados) superior a: 10%; 20%; 50%; 70%.

Afirmações		1	2	3	4	5
P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.					
P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.					

P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.					
P4	Os percentuais de resíduos reciclados definidos, com relação à massa total de resíduos gerados, são valores coerentes com a realidade das obras e possível de ser atendido.					
P5	Os percentuais de resíduos reciclados por meio da valorização da matéria, em relação à massa total de resíduos recicláveis gerados, são valores coerentes com a realidade das obras e possível de ser atendido.					
P6	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.					
P7	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.					
P8	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.** Responda se você tiver conhecimento sobre.					
Comentário						

Requisito 4 - AQUA-HQE      Afirmações a avaliar: 6

Critério: 3.1. Otimização da gestão dos resíduos do canteiro de obras

3.1.4. Otimizar a coleta, a triagem e o agrupamento dos resíduos de canteiro

Objetivo: Adoção de medidas de gestão e organização do canteiro para minimizar a massa de resíduos gerados.

Medidas justificadas e satisfatórias.

Disposições contratuais tomadas com relação aos fornecedores para minimizar a massa de resíduos gerados no canteiro.

Disposições justificadas e satisfatórias.

Com base na análise do local do empreendimento, elaboração de um plano de gestão dos resíduos do canteiro, especificando:

- As modalidades de coleta e de triagem de cada tipo de resíduo,
- O grau de detalhe da triagem dos vários tipos de resíduos, em função do espaço disponível e das cadeias de valorização existentes.

E

Assegurar que o plano de gestão dos resíduos do canteiro seja seguido e respeitado durante a construção.

Afirmações		1	2	3	4	5
P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.					
P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.					
P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.					
P4	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.					
P5	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.					
P6	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.** Responda se você tiver conhecimento sobre.					
Comentário						

Requisito 5 - AQUA-HQE      Afirmações a avaliar: 6

Critério: 3.3. Redução do consumo de recursos no canteiro de obras

### 3.3.3. Facilitar a reutilização no local do empreendimento das terras escavadas

Objetivo: Adotar medidas que favoreçam a reutilização, no local do empreendimento, das terras escavadas por ocasião da terraplenagem do canteiro, evitando, assim, a sua remoção. Disposições justificadas e satisfatórias.

E

Demonstração de um balanço neutro das terras retiradas/restituídas.

Afirmações		1	2	3	4	5
P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.					
P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.					
P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.					
P4	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.					
P5	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.					
P6	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.** Responda se você tiver conhecimento sobre.					
Comentário						

### Seção 3 - SBTool PT

Analise os quatro requisitos a seguir que pertencem à certificação SBTool PT e avalie as afirmações propostas.

Requisitos SBTool PT \_\_\_\_\_ Afirmações a avaliar: 7

Critério: C4 - Materiais e Resíduos Sólidos

Requisito 1: Percentagem em custo de materiais reutilizados;

Requisito 2: Percentagem em peso do conteúdo reciclado do edifício;

Requisito 3: Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão;

Requisito 4: Potencial das condições do edifício para promoção da separação dos resíduos sólidos.

Afirmações		1	2	3	4	5
P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.					
P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.					
P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.					
P4	Os parâmetros percentuais em custo, peso e massa são adequados para medição dos respectivos indicadores.					
P5	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.					
P6	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.					
P7	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM. ** Responda se você tiver conhecimento sobre.					
Comentário						

## Seção 4 – BREEAM

Analise os três requisitos a seguir que pertencem à certificação BREEAM e avalie as afirmações propostas.

Requisitos - BREEAM Afirmações a avaliar: 6

Requisito 1: Gerenciamento dos RCC Categoria: Resíduos

- Elaborar um plano de gerenciamento de recursos de construção;
- Reduzir o desperdício de materiais;
- Evitar o envio dos RCC não perigosos ou aqueles de demolição e escavação para aterros.

Requisito 2: Agregados reciclados Categoria: Resíduos

- Definir níveis percentuais de agregado reciclado conforme objetivos definidos previamente.

Requisito 3: Desperdício Operacional Categoria: Resíduos

- Fornecimento de espaço e instalações adequados para permitir a segregação e armazenamento de volumes operacionais de resíduos recicláveis gerados pelo edifício ou unidade avaliada, seus ocupantes e atividades.

\* Mais informações sobre como cumprir o crédito, consulte o capítulo 11. do Manual Técnico.

Segue link:

<[https://www.breeam.com/BREEAMInt2016SchemeDocument/content/resources/output/10\\_pdf/a4\\_pdf/nc\\_pdf\\_printing/sd233\\_nc\\_int\\_2016\\_print.pdf](https://www.breeam.com/BREEAMInt2016SchemeDocument/content/resources/output/10_pdf/a4_pdf/nc_pdf_printing/sd233_nc_int_2016_print.pdf)>.

\*\* Conteúdo em inglês.

Afirmações		1	2	3	4	5
P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.					
P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.					
P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.					
P4	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.					
P5	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.					
P6	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM. ** Responda se você tiver conhecimento sobre.					
Comentário						

## Seção 5 – LIDERA

Analise os três requisitos a seguir que pertencem à certificação LIDERA e avalie as afirmações propostas.

Requisito 1 - LIDERA Afirmações a avaliar: 9

Categoria - Resíduos

Critério: Produção de resíduos

Orientações e boas práticas:

- Redução em, pelo menos, 50%, face às práticas correntes, da produção de resíduos sólidos;
- Potencialização da compostagem de resíduos orgânicos.
- Métodos de medição: Determinação da produção de resíduos sólidos urbanos em kg/hab.ano.

Afirmações		1	2	3	4	5
P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.					
P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.					
P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.					
P4	Reduzir em 50% o total de resíduos sólidos gerados é um parâmetro adequado e possível de ser cumprido para gestão dos resíduos.					
P5	O indicador relacionado à compostagem dos resíduos orgânicos é adequado para compor o requisito relacionado à gestão dos resíduos na obra.					
P6	A quantificação dos resíduos em kg/hab.ano é adequada para gestão dos resíduos na obra e possível de ser medida.					
P7	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.					
P8	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.					
P9	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM. ** Responda se você tiver conhecimento sobre.					
Comentário						

Requisito 2 - LIDERA

Afirmações a avaliar: 7

Categoria: Resíduos

Critério: Gestão de resíduos perigosos.

Orientações e boas práticas:

- Redução e gestão de resíduos perigosos produzidos e utilização dos materiais e produtos que os originam;
- Eliminação, gestão e disposição final adequada e segura;
- Eliminação de cloro para piscinas;
- Eliminação de pesticidas e derivados;
- Implantação de locais apropriados para arrumação segura de produtos de limpeza e manutenção;
- Implantação de locais para deposição de pilhas, lâmpadas, óleos alimentares e tintas;
- Elaboração de plano de gestão e monitoramento de resíduos perigosos e eliminação dos mesmos.

Métodos de medição:

Listagem dos resíduos perigosos produzidos e utilizados, dos materiais e produtos que os originam, e das medidas aplicadas com vista à sua redução, eliminação, gestão e disposição final adequada e segura, sendo que esta listagem pode ser executada através de um questionário aos utilizadores ou de amostragens aleatórias nos resíduos sólidos urbanos.

Afirmações		1	2	3	4	5
P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.					
P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.					
P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.					
P4	Os tipos de materiais contemplados na gestão dos resíduos perigosos são adequados.					
P5	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.					
P6	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.					
P7	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM. ** Responda se você tiver conhecimento sobre.					
Comentário						

Requisito 3 - LIDERA Afirmações a avaliar: 7

Categoria: Resíduos

Critério: Valorização de resíduos

Orientações e boas práticas:

- Aumento da quantidade de resíduos reciclados no edifício;

Método de medição: Determinação da quantidade de resíduos reciclados, em kg, no edifício.

Afirmações		1	2	3	4	5
P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.					
P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.					
P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.					
P4	A determinação da quantidade de resíduos reciclados em Kg é adequada para medição e gestão dos resíduos na obra.					
P5	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.					
P6	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.					
P7	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM. ** Responda se você tiver conhecimento sobre.					
Comentário						

Obrigada pela sua participação!



**APÊNDICE G – Resultado do questionário aos profissionais AEC**

Certificação	Requisitos	Afirmações		Todas		Brasil		Portugal	
				Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
LEED	LE1	P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.	4,18	0,88	4,15	0,99	4,25	0,50
		P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.	3,41	1,23	3,38	1,26	3,50	1,29
		P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.	3,59	1,12	3,62	1,12	3,50	1,29
		P4	É completa a lista de materiais recicláveis mencionados que devem receber local apropriado na obra para armazenamento e coleta.	3,24	1,15	3,08	1,26	3,75	0,50
		P5	O parâmetro para gestão dos resíduos perigosos e os tipos de materiais contemplados são adequados.	3,06	1,20	3,08	1,32	3,00	0,82
		P6	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.	3,12	1,50	3,08	1,66	3,25	0,96
		P7	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.	3,35	1,27	3,62	1,19	2,50	1,29
		P8	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.	2,47	1,94	2,00	1,96	4,00	0,82
	LE2	P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.	4,00	0,79	4,00	0,91	4,00	0,00
		P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.	3,76	0,97	3,85	0,99	3,50	1,00
		P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.	3,59	1,06	3,69	1,03	3,25	1,26
		P4	Os parâmetros definidos para cumprir as metas de reaproveitamento de materiais estruturais e não estruturais é adequada para avaliar a gestão dos resíduos na obra.	3,71	0,92	3,85	0,90	3,25	0,96
		P5	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.	3,94	0,90	4,00	1,00	3,75	0,50
		P6	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.	3,53	1,33	3,92	1,19	2,25	0,96
P7		É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.	2,59	2,03	2,38	2,02	3,25	2,22	

	LE3	P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.	3,35	1,00	3,23	1,09	3,75	0,50
		P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.	3,12	0,93	3,15	0,99	3,00	0,82
		P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.	3,41	1,18	3,46	1,20	3,25	1,26
		P4	Os percentuais de reutilização de materiais previstos no requisito são coerentes com a realidade das obras e, portanto, possível de serem atendidos.	3,24	1,25	3,23	1,36	3,25	0,96
		P5	Os elementos e materiais citados são bons exemplos para reaproveitamento na obra.	3,88	1,05	3,85	1,14	4,00	0,82
		P6	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.	3,71	1,31	3,69	1,38	3,75	1,26
		P7	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.	3,12	1,17	3,31	1,11	2,50	1,29
		P8	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.	2,47	2,00	2,23	1,96	3,25	2,22
	LE4	P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.	3,59	1,12	3,54	1,27	3,75	0,50
		P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.	3,41	1,06	3,46	1,13	3,25	0,96
		P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.	3,82	0,88	3,92	0,86	3,50	1,00
		P4	Os percentuais de reaproveitamento previstos são coerentes com a realidade das obras e possível de ser atendido.	3,29	0,85	3,23	0,93	3,50	0,58
		P5	A quantidade de fluxos de materiais prevista para cumprir os percentuais de reaproveitamento é adequada e suficiente.	3,41	0,80	3,38	0,87	3,50	0,58
		P6	O valor máximo de material que pode ser descartado, 12,2 kg/m <sup>2</sup> da área de piso construído, é adequado para alcançar a sustentabilidade da obra.	3,00	0,87	3,00	1,00	3,00	0,00
		P7	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.	4,00	1,00	3,92	1,12	4,25	0,50
P8		Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.	3,12	1,05	3,38	0,96	2,25	0,96	
P9		É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.	2,65	1,90	2,46	1,85	3,25	2,22	
AQUA-HQE	AQ1	P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.	4,59	0,62	4,77	0,44	4,00	0,82

		P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.	3,71	1,21	3,77	1,24	3,50	1,29
		P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.	4,18	0,88	4,38	0,65	3,50	1,29
		P4	A classificação dos resíduos em categorias de A a D, conforme apresentado no requisito, facilita a gestão dos materiais na obra.	4,71	0,47	4,77	0,44	4,50	0,58
		P5	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.	4,06	0,90	4,00	1,00	4,25	0,50
		P6	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.	3,82	1,24	4,23	0,93	2,50	1,29
		P7	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.	2,76	2,25	2,69	2,36	3,00	2,16
	AQ2	P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.	3,47	1,07	3,31	1,18	4,00	0,00
		P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.	3,29	1,26	3,00	1,29	4,25	0,50
		P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.	3,76	1,15	3,77	1,17	3,75	1,26
		P4	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.	3,76	1,25	3,54	1,33	4,50	0,58
		P5	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.	3,41	1,42	3,69	1,38	2,50	1,29
		P6	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.	2,06	1,82	1,77	1,69	3,00	2,16
	AQ3	P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.	4,12	0,60	4,15	0,69	4,00	0,00
		P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.	3,76	0,97	3,85	0,99	3,50	1,00
		P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.	3,88	0,78	4,00	0,71	3,50	1,00
		P4	Os percentuais de resíduos reciclados definidos, com relação à massa total de resíduos gerados, são valores coerentes com a realidade das obras e possível de ser atendido.	3,53	0,72	3,62	0,77	3,25	0,50
		P5	Os percentuais de resíduos reciclados por meio da valorização da matéria, em relação à massa total de resíduos recicláveis gerados, são valores coerentes com a realidade das obras e possível de ser atendido.	3,47	0,72	3,46	0,78	3,50	0,58
		P6	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do	4,29	0,59	4,38	0,65	4,00	0,00

			empreendimento em todas as fases da obra.						
		P7	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.	3,41	1,12	3,69	0,95	2,50	1,29
		P8	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.	2,24	2,05	2,23	1,96	2,25	2,63
	AQ4	P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.	4,00	0,61	4,00	0,71	4,00	0,00
		P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.	3,65	0,86	3,69	0,86	3,50	1,00
		P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.	4,00	0,87	4,15	0,80	3,50	1,00
		P4	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.	4,12	0,99	4,08	1,12	4,25	0,50
		P5	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.	3,71	1,21	4,00	1,00	2,75	1,50
		P6	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.	2,06	2,02	2,00	1,92	2,25	2,63
	AQ5	P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.	4,12	0,70	4,08	0,76	4,25	0,50
		P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.	4,12	0,78	4,08	0,86	4,25	0,50
		P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.	4,24	0,75	4,31	0,86	4,00	0,00
		P4	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.	4,06	1,09	4,08	1,19	4,00	0,82
		P5	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.	4,12	1,05	4,31	1,03	3,50	1,00
		P6	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.	2,88	2,29	2,85	2,41	3,00	2,16
SBTool <sup>PT</sup>	SB	P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.	3,41	1,18	3,23	1,24	4,00	0,82
		P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.	2,94	1,35	2,69	1,44	3,75	0,50
		P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.	3,41	1,12	3,31	1,25	3,75	0,50
		P4	Os parâmetros percentuais em custo, peso e massa são adequados para medição dos respectivos indicadores.	3,47	1,13	3,46	1,20	3,50	1,00

		P5	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.	3,71	1,11	3,62	1,26	4,00	0,00
		P6	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.	3,06	1,56	3,31	1,65	2,25	0,96
		P7	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.	2,18	1,98	1,92	1,94	3,00	2,16
BREEAM	BR	P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.	3,88	0,93	3,85	1,07	4,00	0,00
		P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.	3,76	1,03	3,62	1,12	4,25	0,50
		P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.	4,12	0,86	4,08	0,95	4,25	0,50
		P4	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.	4,18	0,95	4,31	0,86	3,75	1,26
		P5	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.	3,59	1,23	3,92	1,04	2,50	1,29
		P6	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.	2,71	1,96	2,62	1,98	3,00	2,16
LiderA	LD1	P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.	3,35	1,32	3,23	1,42	3,75	0,96
		P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.	2,88	1,32	2,62	1,33	3,75	0,96
		P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.	3,35	1,06	3,46	1,13	3,00	0,82
		P4	Reduzir em 50% o total de resíduos sólidos gerados é um parâmetro adequado e possível de ser cumprido para gestão dos resíduos.	3,18	1,24	3,23	1,42	3,00	0,00
		P5	O indicador relacionado à compostagem dos resíduos orgânicos é adequado para compor o requisito relacionado à gestão dos resíduos na obra.	2,88	1,27	2,77	1,42	3,25	0,50
		P6	A quantificação dos resíduos em kg/hab.ano é adequada para gestão dos resíduos na obra e possível de ser medida.	2,71	1,40	2,54	1,56	3,25	0,50
		P7	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.	3,12	1,27	2,92	1,38	3,75	0,50
		P8	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.	2,94	1,30	3,08	1,32	2,50	1,29
		P9	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.	2,00	1,97	1,69	1,89	3,00	2,16
		LD2	P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento	3,53	1,07	3,54	1,13	3,50

			do requisito.						
		P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.	3,41	1,12	3,38	1,19	3,50	1,00
		P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.	3,71	1,16	3,77	1,24	3,50	1,00
		P4	Os tipos de materiais contemplados na gestão dos resíduos perigosos são adequados.	3,76	1,25	3,85	1,28	3,50	1,29
		P5	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.	3,53	1,13	3,38	1,26	4,00	0,00
		P6	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.	3,41	1,42	3,62	1,39	2,75	1,50
		P7	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.	1,82	1,85	1,46	1,66	3,00	2,16
	LD3	P1	A informação contida é clara, objetiva e suficiente para cumprimento do requisito.	3,94	1,35	4,00	1,41	3,75	1,26
		P2	O método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito.	3,88	1,36	3,92	1,44	3,75	1,26
		P3	Do ponto de vista da gestão dos resíduos, os métodos e ferramentas previstos para cumprimento dos requisitos são adequados.	3,71	1,40	3,54	1,56	4,25	0,50
		P4	A determinação da quantidade de resíduos reciclados em Kg é adequada para medição e gestão dos resíduos na obra.	3,29	1,49	3,23	1,69	3,50	0,58
		P5	Este requisito contribui para gestão dos RCD e a sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra.	3,71	1,26	3,62	1,45	4,00	0,00
		P6	Da forma como o requisito está definido, este pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo.	3,71	1,40	4,00	1,29	2,75	1,50
		P7	É possível extrair informações comprobatórias do requisito por meio do BIM.	2,59	2,12	2,46	2,18	3,00	2,16
<b>Alfa de Crombach</b>				0,97		0,97		0,96	
<b>N (participantes)</b>				17		13		4	
<b>Kendall Coefi. - W</b>				0,18		0,22		0,4	
<b>Qui-quadrado</b>				299,985		287,359		145,261	

Fonte: Autor (2020)

Nos tópicos seguintes apresentam-se os resultados da análise descritiva para cada um dos métodos de certificação ambiental.

### Análise das respostas - LEED

Ao analisar os dados obtidos na certificação LEED verifica-se que o valor médio das respostas dos participantes variou de 3,00 a 4,18, exceto no questionamento sobre BIM cuja média de respostas variou de 1,90 a 2,65. Os valores médios encontrados apontam que, a maior parte dos profissionais apresenta uma opinião indiferente ou concordam parcialmente com as afirmações de cada requisito.

Destaca-se no requisito LE1, que trata do depósito e coleta de materiais, 35,3% dos participantes discordam parcialmente quanto ao parâmetro adotado no requisito para medição de resíduos perigosos. Quanto ao questionamento BIM, 50% dos entrevistados concordam parcialmente que as informações requeridas pelo LE1 podem ser obtidas no modelo em BIM.

No requisito LE2, que trata do plano de gerenciamento de RCC, 58,8% dos respondentes concordam parcialmente que as informações contidas no requisito são claras e objetivas. Já 47,1% concordam parcialmente que as metas para reciclagem de materiais estruturais e não estruturais estão adequadas e 63,6% dos respondentes acreditam que as informações do requisito podem ser extraídas do BIM. Ainda foi comentado por um dos participantes que seria interessante um modelo de relatório padrão a ser preenchido, para os requisitos que exigem entrega de documentos, como um plano de gerenciamento de RCC. Outro participante comentou sobre a necessidade de se incluir exemplos de unidades na explicação do requisito, o que facilita, posteriormente, o controle das quantidades pelos profissionais.

No requisito LE3, que trata do reaproveitamento de materiais em obra, 29,4% dos entrevistados discordam parcialmente que os métodos e ferramentas previstos são adequados para gestão dos resíduos. Por outro lado, 54,5% dos profissionais concordam parcialmente que o requisito pode ser cumprido com o BIM. Um dos participantes comentou que o BIM tem a função para gestão da obra por fases, considerando partes existentes, partes que devem ser mantidas ou demolidas

e que podem ser acrescentadas informações para auxiliar a gestão, criando novos parâmetros no próprio objeto.

Por fim no requisito LE4, que trata do gerenciamento da construção, 58,5% dos participantes ficaram indiferentes quanto à afirmação sobre a quantidade de fluxos de materiais que poderiam ser reaproveitados; a mesma opinião foi dada com relação ao valor máximo estabelecido para material a ser descartado (64,7%). Este resultado aponta que os parâmetros estabelecidos pelo requisito podem ser revistos para atender com mais afinco o objetivo de zelar por uma melhor gestão da construção e gerenciamento dos materiais no canteiro de obras. Entre os comentários dos participantes surgiu uma dúvida se a reciclagem/reaproveitamento deve ser feita em obra ou se o fato de destinar corretamente para usinas de reciclagem já bastaria para atender ao requisito. Além disto, a quantidade de resíduo/m<sup>2</sup> pode variar em função da tipologia de obra, e talvez o valor de 12,2 kg/m<sup>2</sup> não represente uma real eficiência na geração de resíduos.

Uma das observações dos participantes foi de que uma das dificuldades encontradas nos métodos de certificação ambiental é a generalidade, tendo em vista que precisam atender uma gama de empreendimentos diversos ao redor do mundo. É sugerido que os requisitos tragam mais exemplos para facilitar o entendimento e alcançar um maior número de pessoas. Um dos respondentes comentou: “Às vezes a boa vontade e o senso crítico são atrapalhados pela falta de informação de como fazer de forma clara e fácil. Uma ideia é fazer uso de imagens que representem o texto”.

Quanto à extração das informações dos requisitos por meio do BIM, ficou evidente a importância de mapear bem o processo e criar bancos de dados, quando necessário, antes de iniciar o modelo, assim é mais provável que os dados gerados auxiliem a alcançar a sustentabilidade do edifício e a gestão dos resíduos.

#### Análise das respostas – AQUA-HQE

Nas respostas obtidas para a certificação AQUA-HQE, o valor médio das respostas dos participantes variou de 3,29 a 4,71, exceto no questionamento sobre BIM cuja média de respostas variou de 2,06 a 2,88. Os valores médios encontrados apontam que, a maior parte dos profissionais apresentou opinião indiferente, concordam parcialmente ou totalmente com as afirmações realizadas.



Destacam-se no requisito AQ1, que trata da identificação e quantificação por tipo os resíduos do canteiro de obras, que 64,7% dos participantes concordam totalmente que a informação presente do requisito é clara, objetiva e suficiente para seu cumprimento. Já 70% dos participantes concordam totalmente que a classificação dos resíduos por categoria facilita a gestão dos materiais na obra. Quanto ao questionamento BIM, 54,5% dos entrevistados concordam totalmente que as informações requeridas pelo AQ1 podem ser obtidas no modelo em BIM. Um dos comentários dos participantes foi de que o requisito poderia especificar como deve ocorrer a quantificação, se em peso ou volume, indicando o uso de locais separados para cada classe de resíduo.

No requisito AQ2, que trata da redução na fonte da produção de resíduos do canteiro, 47,1% dos respondentes concordam parcialmente que as informações contidas no requisito são claras e objetivas. Já 35,3% concordam totalmente que o requisito contribui para a gestão dos RCC e sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra e 36,4% dos respondentes concordam parcialmente que as informações do requisito podem ser extraídas do BIM. Um dos participantes acredita que a descrição do requisito está muito ampla para que seja possível definir a utilização de BIM para este fim. Outros sugerem que o requisito poderia esclarecer quais métodos ou ferramentas podem ser utilizados para promover a redução do desperdício e ter o melhor aproveitamento dos materiais. Outro participante comentou: “O requisito poderia sugerir, por exemplo, otimizações de projeto para modulações de alvenaria e revestimentos, reduzindo cortes e perdas de material em obra. A obra por si só não conseguirá atender satisfatoriamente o requisito”.

No requisito AQ3, que trata da valorização dos resíduos no canteiro de obras, 70,6% dos entrevistados concordam parcialmente que o método ou documentação necessário para comprovação das informações está definido e facilita o cumprimento do requisito. Por outro lado, 64,7% dos profissionais ficaram indiferentes quanto aos percentuais de resíduos reciclados por meio da valorização da matéria previstos no requisito. Isto mostra que nem sempre apresentar parâmetros melhora a qualidade e atendimento do requisito. No questionamento sobre BIM, 50% dos entrevistados concordam parcialmente que este requisito pode ser obtido com informações extraídas do modelo.

Destacam-se no requisito AQ4, que trata da otimização da coleta, triagem e agrupamento dos resíduos no canteiro, 64,7% dos participantes concordam

parcialmente que a informação do requisito é clara e objetiva, 52,9% concordam parcialmente que a documentação definida é suficiente para cumprimento do requisito e 40% também concordam parcialmente que o requisito pode ser cumprido por meio do BIM.

Por fim no requisito AQ5, que trata da reutilização de terras escavadas, 47,1% dos entrevistados concordam que este requisito pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo e 63,6% concorda totalmente que o requisito poderá ser cumprido com informações extraídas do BIM. Porém um dos participantes comentou que este requisito não pode ser aplicado em todas as tipologias de obras, talvez o ideal fosse restringir para obras horizontais, onde há possibilidade de fazer um balanço entre corte e aterro.

#### Análise das respostas - SBTool<sup>PT</sup>

Ao analisar os dados obtidos na certificação SBTool<sup>PT</sup>, verifica-se que o valor médio das respostas dos participantes variou de 2,94 a 3,71, exceto no questionamento sobre BIM cuja média de respostas foi de 2,18. Os valores médios encontrados apontam que, a maior parte dos profissionais apresenta uma opinião discordam parcialmente, indiferente ou concordam parcialmente com as afirmações.

Ao analisar as informações dos quatro requisitos que compõem o critério sobre materiais e resíduos sólidos, verificou-se que 35,3% dos participantes concordam parcialmente que as informações são claras, objetivas e suficientes para entender o requisito. Já 17,6% discordam totalmente que o método ou documentação necessário para comprovação do requisito facilita seu cumprimento. Quanto ao questionamento sobre BIM, 36,4% dos entrevistados concordam parcialmente que as informações dos requisitos podem ser obtidas pelo modelo em BIM. Entre os comentários dos participantes, um deles foi de que os requisitos deixam dúvida se os materiais reutilizados seriam os resíduos da própria obra ou se poderiam ser trazidos resíduos de outros lugares. Outro participante comentou que os requisitos não são claros ou detalhados o suficiente para utilização do BIM.

### Análise das respostas - BREEAM

Ao analisar os dados obtidos na certificação BREEAM, verifica-se que o valor médio das respostas dos participantes variou de 3,59 a 4,18, exceto no questionamento sobre BIM cuja média de respostas foi de 2,71. Os valores médios encontrados apontam que, a maior parte dos profissionais concorda parcialmente com as afirmações.

Ao analisar as respostas dos participantes sobre os requisitos relacionados ao gerenciamento dos RCC, percentuais de agregados reciclados e desperdício operacional, foi observado que 52,9% dos participantes concordam parcialmente que as informações nos requisitos estão claras e objetivas para ser atendido. Já 47,1% dos especialistas concordam totalmente que os requisitos contribuem para a gestão dos RCC e sustentabilidade do empreendimento em todas as fases da obra. Houve variação de respostas entre os participantes na afirmação sobre se o requisito poderia ser cumprido em qualquer lugar do mundo, sendo que 29,5% foram indiferentes a esta afirmação e 29,5% concordaram totalmente. Quanto ao questionamento sobre BIM, 41,7% dos entrevistados concordam parcialmente que as informações dos requisitos podem ser obtidas pelo modelo em BIM e um dos especialistas comentou que métricas mais claras precisariam ser definidas para utilização do BIM.

### Análise das respostas - LiderA

Ao analisar os dados obtidos na certificação LiderA, verifica-se que o valor médio das respostas dos participantes variou de 2,71 a 3,94, exceto no questionamento sobre BIM cuja média de respostas variou de 1,82 a 2,59. Os valores médios encontrados apontam que, a maior parte dos profissionais apresenta uma opinião indiferente ou concordam parcialmente com as afirmações.

Destaca-se no requisito LD1, que trata das orientações e boas práticas na produção de resíduos, que houve divergência de opinião entre os participantes em algumas questões. Na segunda afirmação sobre o método e documentos definidos para cumprimento do requisito, 17,6% dos participantes respondeu que discorda totalmente que o requisito esteja adequado, a mesma percentagem de 23,5% discordou parcialmente, foram indiferente ou concordaram parcialmente com a

informação, resultados bastante heterogêneos para uma mesma afirmação. Já 41,2% dos respondentes são indiferentes sobre o parâmetro de reduzir em 50% o total de resíduos sólidos gerados. No entanto, um dos participantes comentou que reduzir (mais) 50% pode ser inviável para empresas que já usam boas práticas. Na segunda afirmação específica sobre compostagem dos resíduos orgânicos houve divergência de opiniões, sendo que 35,3% dos participantes acham este requisito indiferente para ser cumprido no canteiro de obras, já 17,6% opinaram que discordam totalmente, parcialmente ou concordam parcialmente sobre esta afirmação. Um dos especialistas comentou que não parece coerente um requisito baseado em métodos de medição por habitante e que aponte resíduos orgânicos, além de não ser a característica principal das obras de construção civil.

Outro questionamento que gerou divergência de respostas no LD1 foi aquele sobre se a quantificação dos resíduos em kg/hab.ano é adequada para gestão dos resíduos na obra, 17,6% dos participantes responderam que discorda totalmente ou parcialmente com esta afirmação, 29,4% responderam indiferentes e 23,5% concordaram parcialmente. Foi comentado que a quantificação dos resíduos em kg/hab.ano é socialmente inadequada, pois regiões ou edificações mais pobres ou com maiores densidades populacionais podem apresentar maior dificuldade em cumprir as métricas.

Quanto ao questionamento BIM no LD1, houve um empate, 30% dos entrevistados são indiferentes ou concordam parcialmente que a informações deste requisito podem ser extraídas do modelo BIM.

No requisito LD2, que trata da gestão dos resíduos perigosos, 35,3% dos participantes concordam parcialmente que a documentação necessária para comprovação do requisito é adequada, por outro lado 29,4% discordam parcialmente sobre esta afirmação. Quanto à gestão dos resíduos perigosos, 35,3% dos entrevistados concordam totalmente que os materiais contemplados são adequados. Na análise se o requisito pode ser cumprido em qualquer lugar do mundo houve divergência na opinião dos participantes, 11,8% discordam totalmente, 17,6% discordam parcialmente ou são indiferentes, 23,5% concordam parcialmente e 29,4% concordam totalmente com a afirmação. Por fim no questionamento sobre BIM, 40% dos especialistas responderam indiferente se o requisito pode ser cumprido com informações do modelo. Um dos participantes comentou que este

requisito parece ser mais bem enquadrado para controle dos resíduos durante o uso da edificação e não na fase da obra.

No último requisito LD3, que trata da valorização dos resíduos, 47,1% dos entrevistados concordam totalmente que a informação, objetivo e a documentação necessária para cumprimento estão claros e adequados. No questionamento se a determinação da quantidade de resíduos reciclados em quilograma é adequada para medição e gestão dos resíduos na obra houve divergência de opinião entre os respondentes, sendo que 17,6% discordam totalmente, 11,8% discordam parcialmente, 23,5% apresentam opinião indiferente, 17,6% concordam parcialmente e 29,4% concordam totalmente com a afirmação. Quanto ao BIM, 41,7% dos profissionais concordam totalmente que este requisito pode ser cumprido com informações do BIM, desde que a modelagem seja previamente definida com o nível de detalhe desejável, em conjunto com um sistema de gerenciamento ou uma base de dados, conforme comentário de um dos especialistas.

## APÊNDICE H – Relatório BIM-RCC Info Model

### Relatório da gestão dos RCC – Empreendimento: Azevedo

Data: 27/05/2022



Tipo: Edificação para fins comerciais

Localização: Rua ABC, São Paulo, Brasil

Área: 663 m<sup>2</sup>

- Subsolo (98,9 m<sup>2</sup>),
- Térreo (125,5 m<sup>2</sup>),
- 1º pavimento (241,2 m<sup>2</sup>)
- 2º pavimento (196,6 m<sup>2</sup>)

Construção padrão: alvenaria.

Objetivo da análise: levantamento da quantidade de materiais e estimativa da geração de resíduos no empreendimento por meio da análise de indicadores RCC.

Os dados apresentados neste relatório representam a análise das Paredes, Lajes, Coberturas, Portas e Janelas da edificação. As tabelas de referência com as estimativas calculadas e a lista de indicadores e variáveis encontram-se no ambiente compartilhado.

Especialista RCC

Registro Profissional

## Diagnóstico dos RCC

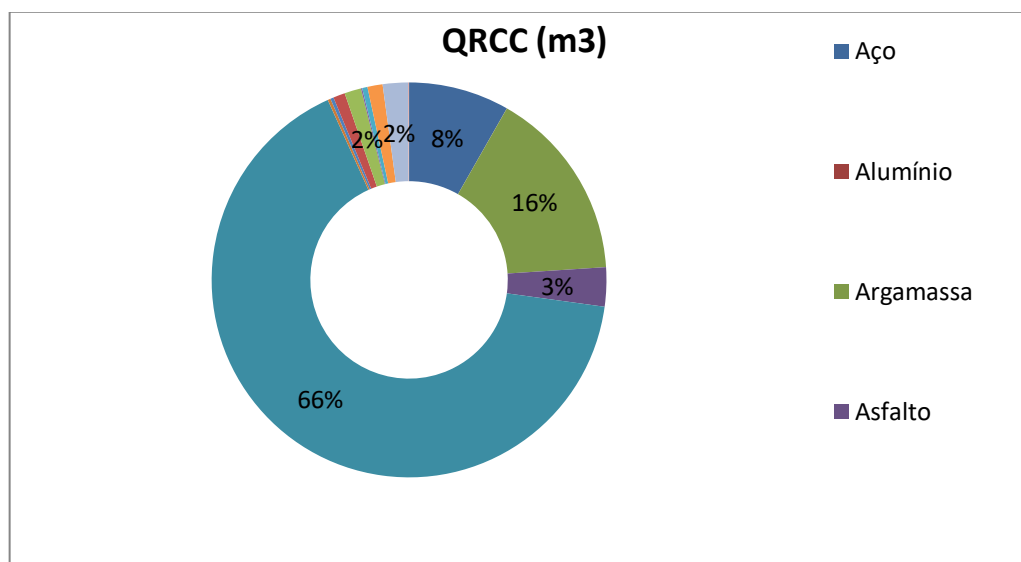
Na estimativa dos resíduos gerados pelo empreendimento predominam materiais inertes, sendo gerados de forma mais significativa resíduos de concreto (66%), argamassa (16%) e asfalto (8%). A quantidade de RCC perigosos é de, aproximadamente, 2%.

### DI -1 Quantificação dos tipos de resíduos

**Quadro 1: Quantificação dos tipos de resíduos (QRCC)**

Material	QRCC (m³)	QRCC %
Aço	10,84	8
Alumínio	0,01	0
Argamassa	20,65	16
Asfalto	4,21	3
Concreto	86,82	66
Gesso	0,31	0
Madeira	0,35	0
Painel gesso	1,27	1
PVC, PET	1,79	2
Revestimento	0,14	0
Rochas, britas, mármore e granitos	0,57	1
Tijolo	1,63	1
Tinta	2,71	2
Vidro	0,11	0
Total	131,41	100

**Figura 1 : Total de resíduos gerados por tipos de material**



## DI - 2 Classificação dos RCC conforme a LER

**Quadro 2: Classificação dos resíduos conforme dódigo LER**

Material	QRCC (m³)	Classificação LER
Aço	10,84	17 04
Alumínio	0,11	17 04
Argamassa	20,42	17 01
Argamassa	0,23	17.01 *
Asfalto	4,21	17 03
Concreto	86,82	17 01
Gesso	0,31	17 08
Madeira	0,35	17 02
Materiais de isolamento	0	17 06
Painel gesso	1,27	17 08
PVC, PET	1,79	17 02
Revestimento	0,14	17 01
Rochas, britas, mármore e granitos	0,57	17 05
Tijolo	1,63	17 01
Tinta	2,71	20 01 *
Vidro	0,11	17 02

**Figura 2: Percentual de resíduos perigosos e não perigosos**



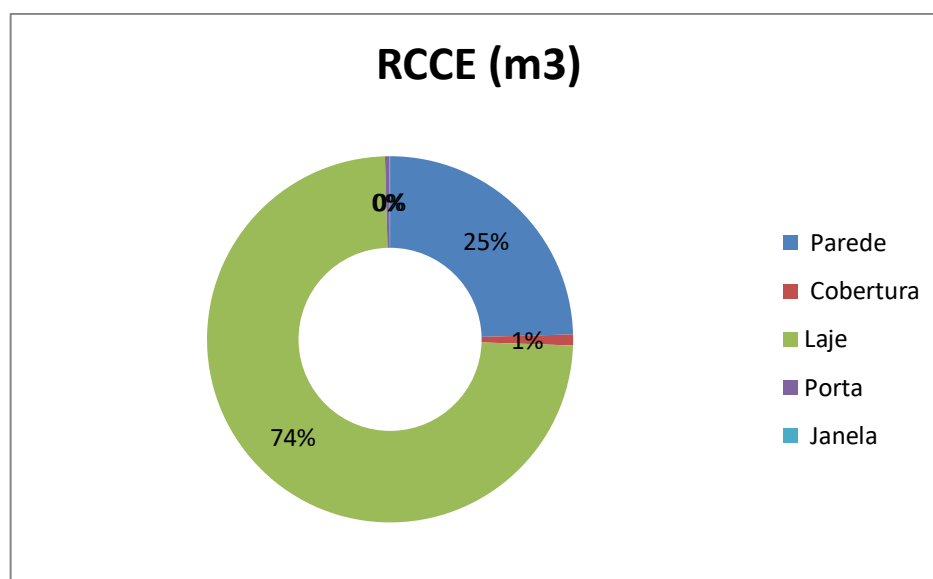


DI 3- Relação elementos x tipos de resíduos

**Quadro 3: Quantificação de elementos (QE) e estimativa de resíduos por elemento (RCCE)**

Elemento	QE	Material	QRCC (m³)	RCCE (m³)
Parede	297	Gesso	0,31	32,29
		Argamassa	0,68	
		Argamassa	0,23	
		Concreto	13,10	
		Rochas, britas, mármore e granitos	0,01	
		Aço	10,84	
		Argamassa	1,45	
		Tinta externa	2,22	
		Revestimento	0,14	
		PVC, PET	0,01	
		Argamassa	1,61	
		Tijolo	1,63	
		Tinta interna	0,05	
		Vidro	0,00	
Cobertura	12		-	1,27
		Painel gesso	1,27	
Laje	237	Tinta externa	0,33	97,29
		Argamassa	16,68	
		Asfalto	4,21	
		Concreto	73,72	
		Grama	0,00	
		Rochas, britas, mármore e granitos	0,56	
		PVC, PET	1,78	
Porta	31	Alumínio	0,01	0,53
		PVC, PET	0,00	
		Aço	0,00	
		Vidro	0,07	
		Madeira	0,35	
		Tinta	0,06	
		Alumínio	0,00	
		Tinta interna	0,03	
Janela	30	Alumínio	0,00	0,06
		Tinta externa	0,00	
		Alumínio	0,00	
		Vidro	0,04	
		Alumínio	0,00	
		Tinta externa	0,01	
		Materiais de isolamento	0,00	

Figura 3: Percentual de resíduos gerados por elemento construtivo



#### DI – 4 Cálculo de RCC em função da área de construção

Área construída

AC = 663 m<sup>2</sup>

Total de resíduos gerados no empreendimento

QRCC = 131,41 m<sup>3</sup>

Quantidade de resíduos estimada por m<sup>2</sup> de área construída

**QRAC = 0,20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>**

#### **Valorização dos RCC**

Para a análise dos próximos indicadores RCC foi considerado os valores expostos conforme consta no Quadro 4.

Quadro 4: Destinação dos RCC

Material	QRCC (m <sup>3</sup> )	Destinação
Aço	10,84	Reciclagem
Alumínio	0,11	Reciclagem
Argamassa	20,42	Reciclagem
Argamassa	0,23	Coprocessoamento
Asfalto	4,21	Reciclagem
Concreto	86,82	Reciclagem
Gesso	0,31	Reciclagem

Madeira	0,35	Aterro inerte
Painel gesso	1,27	Reciclagem
PVC, PET	1,79	Reciclagem
Revestimento	0,14	Reaproveitamento
Rochas, britas, mármore e granitos	0,57	Reaproveitamento
Tijolo	1,63	Reaproveitamento
Tinta	2,71	Coprocessamento
Vidro	0,11	Reciclagem

### VI – 1 Reutilização de materiais

Total de materiais reutilizados (QRCC-REU), reaproveitamento.

QRCC - REU= 2,34 m<sup>3</sup>

QRCC = 131,41 m<sup>3</sup>

**%REU = 2% Percentual de materiais que podem ser reutilizados**

### VI – 2 Reciclagem de materiais

Para 100% dos materiais reciclados:

Total de materiais recicláveis (QRCC-REC)

QRCC-REC = 125,88 m<sup>3</sup>

QRCC = 131,41 m<sup>3</sup>

**%REC = 96% Percentual de materiais que podem ser reciclados**

Se considerar o potencial de reciclagem de cada material, com base na literatura o percentual de reciclagem cai para 51,14%.

**Quadro 5: Potencial de reciclagem dos RCC**

Material	QRCC (m <sup>3</sup> )	Potencial de reciclagem %	QRCC-REC (m <sup>3</sup> )
Aço	10,84	47,1 <sub>a</sub>	5,1
Alumínio	0,11	98,7 <sub>a</sub>	0,11
Argamassa	20,42	52 <sub>c</sub>	10,62
Asfalto	4,21	99 <sub>b</sub>	4,21
Concreto	86,82	52 <sub>c</sub>	45,15
Gesso	0,31	100	0,31
Painel gesso	1,27	100	1,27
PVC, PET	1,79	23,1 <sub>a</sub>	0,41
Vidro	0,11	25,8 <sub>a</sub>	0,03

<sup>a</sup> Cempre (2022); <sup>b</sup> Kawano (2003); <sup>c</sup> Bakchan et al (2019)

QRCC-REC = 67,21 m<sup>3</sup>

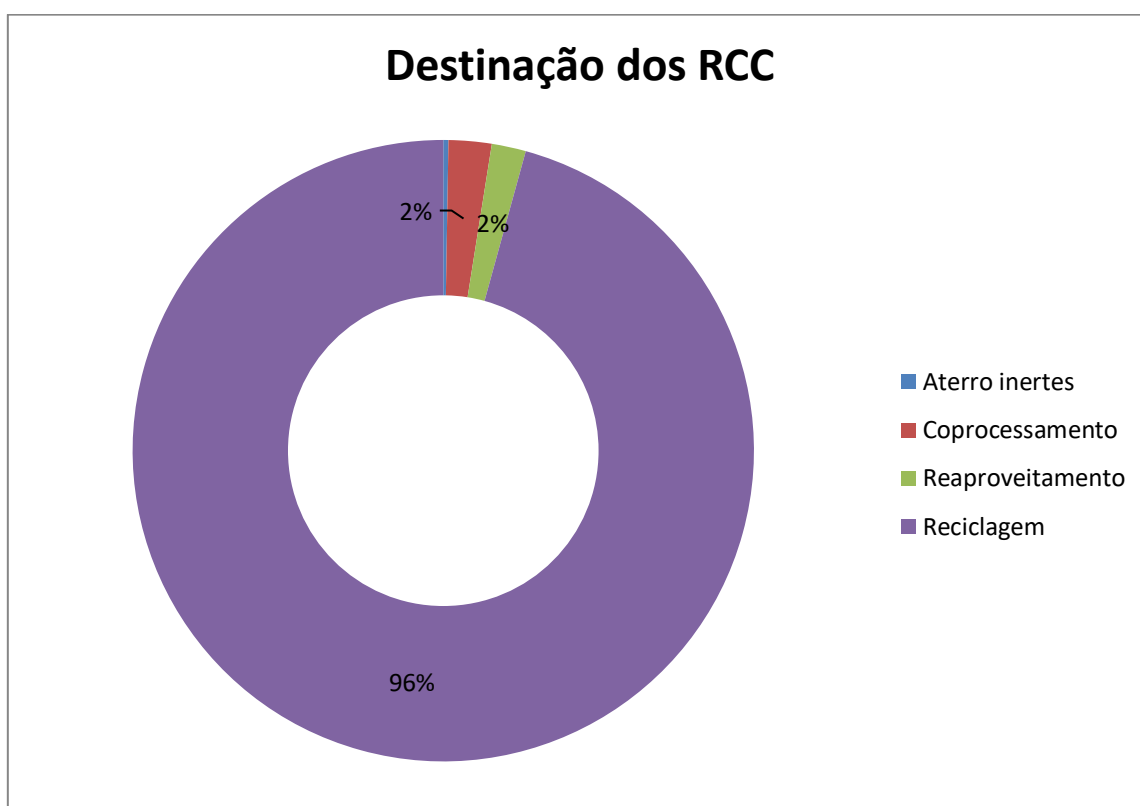
QRCC = 131,41 m<sup>3</sup>

**%REC = 51,14%**

### GI – 1 Destinação dos resíduos gerados

Com base no Quadro 4:

**Figura 4: Percentual de destinação dos RCC**



Custo médio da coleta e transporte de materiais em caçambas de 3 m<sup>3</sup> que seguem para destinação correta é de R\$ 150. Desta forma o custo estimado para destinação dos RCC seria de R\$ 6.570,50.

Os custos de destinação não foram tratados neste relatório, porém podem ser consultadas empresas que prestam serviço de recebimento de materiais para coprocessamento, destinação em aterros sanitários, aterros de resíduos inertes.

## Referências

BAKCHAN, A., FAUST, K. M., e LEITE, F. Seven-dimensional automated construction waste quantification and management framework: integration with project and site planning, **Resources, Conservation and Recycling**, v.146, pp.462–474, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.020>.

CEMPRE, 2022. Disponível em: <https://cempre.org.br/taxas-de-reciclagem/>. Acesso em: 27/05/2022.

KAWANO, H. (2003) The state of using by-products in concrete in Japan and outline of JIS/TR on recycled concrete using recycled aggregate, Proceedings of the 1st FIB Congress on recycling , pp. 245–253 *apud* TORGAL, P. F; JALALI, S. A sustentabilidade dos materiais de construção, 2ª ED Vilaverdense – Artes Gráficas, 2010.