

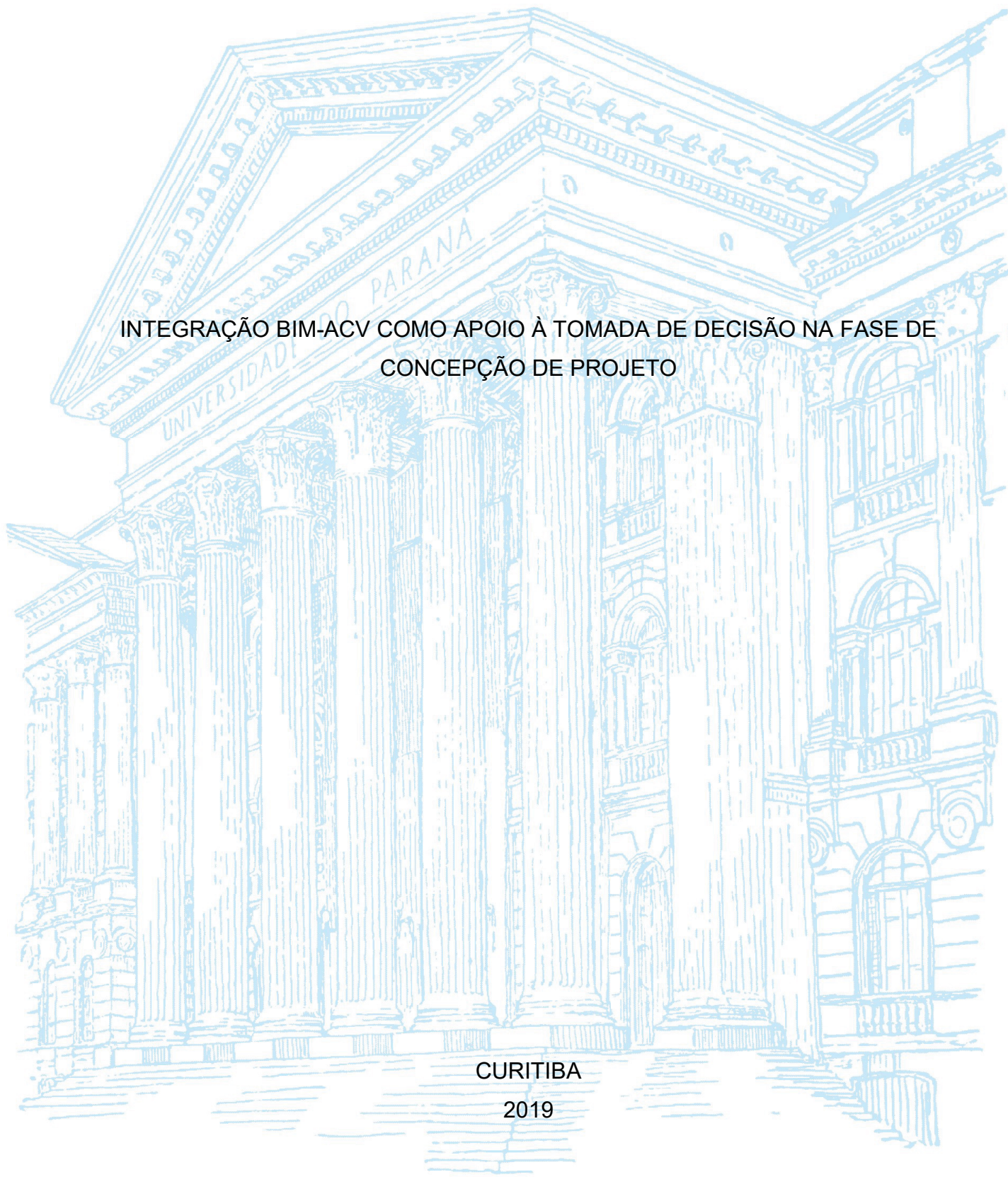
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JULIANNA CRIPPA

INTEGRAÇÃO BIM-ACV COMO APOIO À TOMADA DE DECISÃO NA FASE DE  
CONCEPÇÃO DE PROJETO

CURITIBA

2019



JULIANNA CRIPPA

INTEGRAÇÃO BIM-ACV COMO APOIO À TOMADA DE DECISÃO NA FASE DE  
CONCEPÇÃO DE PROJETO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de Concentração Ambiente Construído e Gestão, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Scheer.

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR  
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

---

C931i Crippa, Julianna  
Integração BIM-ACV como apoio à tomada de decisão na fase  
de concepção de projeto [recurso eletrônico] / Julianna Crippa –  
Curitiba, 2019.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de  
Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de  
Construção Civil.

Orientador: Sergio Scheer.

1. Construção civil – Modelagem da Informação. 2. Edificações. -  
Sustentabilidade. 2. Construção civil - Impactos ambientais. I.  
Universidade Federal do Paraná. II. Scheer, Sergio. III. Título.

CDD: 720.47

---

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR SETOR DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE  
CONSTRUÇÃO CIVIL - 40001016049P2

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **JULIANNA CRIPPA** intitulada: **Integração BIM-ACV como apoio à tomada de decisão na fase de concepção de projeto**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 03 de Maio de 2019.

SÉRGIO SCHEER

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

SÉRGIO FERNANDO TAVARES

Avaliador Interno (UFPR)

ELOY PASSI CASAGRANDE JUNIOR

Avaliador Externo (UTFPR)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por sempre ouvir minhas orações, provendo-me com saúde, força e discernimento para superar as dificuldades e fazer boas escolhas.

À Universidade Federal do Paraná que desde 2010 me oportuniza um ensino de excelência. Especialmente, aos Doutores que estiveram presentes nestes últimos vinte e quatro meses e compartilharam seus conhecimentos com muita generosidade e maestria. Levo e levarei para sempre o respeito e gratidão em meu coração.

Ao meu orientador Prof<sup>o</sup> Dr. Sergio Scheer, pela oportunidade, confiança, paciência e apoio.

Aos meus pais, João e Sandra; à minha irmã, Joanna; e, à minha avó Alice, pelo amor, suporte, incentivo e apoio incondicional.

A todo o time Campestrini, pela colaboração e oportunidade em aplicar os conhecimentos teóricos adquiridos.

À Val, ao Pedro e à Dri, por fazer meus dias mais alegres nestes dois anos de percurso.

Ao Cervantes Ayres Filho e o Diogo de Bem, pelas colaborações. E em especial, a Aline Araujo que não mediu esforços para compartilhar seus conhecimentos e contribuir com o trabalho.

A todos meus amigos que sempre me incentivam e torcem pelo meu sucesso.

“Apenas os valentes, corajosos e persistentes vencem na vida.”

**ARGEU VICENTE CRIPPA** (em memória)

## RESUMO

Problemas de interoperabilidade para gerenciamento de dados BIM em análises de sustentabilidade estão ainda presentes nos processos atuais. Visando reduzir quantidade de tempo demandada, esforço e riscos causados por entrada manual de dados BIM em ferramentas de ACV, o estudo tem como objetivo prescrever um artefato (método) para automatizar a integração BIM-ACV que estime os impactos e uso de recursos ambientais provenientes dos materiais de construção e do transporte dos mesmos até o canteiro de obras, de maneira a auxiliar na tomada de decisão durante a fase de concepção do projeto. Para isso, foram incorporados conceitos e abordagem metodológica da *Design Science Research*. Para a modelagem BIM, optou-se por utilizar o Autodesk® Revit, enquanto para o desenvolvimento do algoritmo dentro da mesma ferramenta foi utilizado o conceito *DesignScript* que engloba em um mesmo ambiente ambos os tipos de programação: visual e linguagem de texto. No caso, foi utilizada a expansão do Dynamo e Python. Tratando-se do Sistema de Classificação da Informação da Construção foi aplicada a OmniClass™, a qual está sendo utilizada como base para o desenvolvimento da NBR 15965. A classificação dos elementos foi feita através do aplicativo Classification Manager for Revit. Os valores de ACV referentes aos impactos ambientais e energia utilizada para fabricação dos materiais foram programados para serem obtidos utilizando as DAP – Declarações Ambientais de Produto - legíveis por computador. Enquanto, o cálculo de ACV referente ao transporte dos materiais ao local da obra foi baseado no estudo de Tavares (2006). O método proposto foi validado com uma aplicação em um experimento controlado, sendo utilizado dados de literatura disponíveis. Também, para fins de avaliação desenvolveu-se um estudo empírico de grupo focal do tipo confirmatório. Percebe-se inúmeros benefícios ao utilizar o método proposto, como a possibilidade de inserção no modelo BIM de informações vinculadas a qualquer tipo de banco de dados. Tratando-se exclusivamente da aplicação das DAP legíveis por computador ainda não existe informações suficientes a respeito de todos produtos utilizados no projeto, fazendo necessário utilizar outro banco de dados para realizar de fato uma ACV completa da edificação do berço ao local.

Palavras-chave: Modelagem da Informação da Construção. Avaliação do Ciclo de Vida. Sustentabilidade. Edificações.

## ABSTRACT

*Interoperability issues for BIM data management in sustainability analyzes are still present in today's processes. The aim of this study is to prescribe an artifact (method) to automate the BIM-LCA integration that estimates the impacts and use of environmental resources coming from of construction materials and transportation to the construction site, in order to assist in decision making during the design phase. For this, concepts and a methodological approach of Design Science Research were applied. It is used Autodesk® Revit as BIM software, while an algorithm was developed using the DesignScript concept that covers in the same environment both types of programming: visual (Dynamo) and text language (Python). The Construction Information Classification System applied was OmniClass™, which is being used for developing NBR 15965. The classification of elements was done using the Classification Manager for Revit application, which belongs to the API Autodesk BIM Interoperability Tools. LCA values for the environmental impacts and energy used to manufacture the materials were programmed to be obtained using computer readable EPD (Environmental Product Declarations). Meanwhile, the calculation of LCA referring to the transportation of the materials to the site of the work was based on the study of Tavares (2006). The proposed method was validated with an application in a controlled experiment, using available literature data. Also, for the purposes of evaluation, an empirical study of the confirmatory type was developed. There are many benefits to using the proposed method, such as the possibility of insertion in the BIM model of information linked to any type of database. The application using computer-readable EPD still does not allow to have all the product information used in the project, thus it is necessary to use another database to perform a “cradle-to-site” LCA of buildings.*

**Keywords:** *Building Information Modeling. Life Cycle Assessment. Sustainability. Construction.*

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – POTENCIAL DE AUTOMAÇÃO DOS SETORES POR ATIVIDADE ....	21
FIGURA 2 – DIGITALIZAÇÃO RELATIVA POR SETOR .....	22
FIGURA 3 - COMPARAÇÃO ENTRE A PRODUTIVIDADE BRASILEIRA, AMERICANA E EUROPEIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	23
FIGURA 4 - COMPARAÇÕES ENTRE PRAZOS DE LICENCIAMENTO E CONSTRUÇÃO NO BRASIL, EUA E UE.....	23
FIGURA 5 – O BIM E O CICLO DE VIDA .....	31
FIGURA 6 – CAD <i>VERSUS</i> BIM .....	32
FIGURA 7 –ELEMENTOS EM LOD 200, 300, 350 E 400 .....	34
FIGURA 8 - MODELOS EM LOD 100, 200, 300, 400 E 500.....	34
FIGURA 9 – DIRETRIZES PARA A ACV .....	38
FIGURA 10 – CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DE UMA EDIFICAÇÃO .....	38
FIGURA 11 – FASES DO CICLO DE VIDA E CONSUMOS DE ENERGIA RELEVANTES .....	39
FIGURA 12 – ESTÁGIOS DE INTEGRAÇÃO ENTRE BIM E ACV.....	48
FIGURA 13 – ABORDAGEM DE PESQUISA PARA A REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA.....	54
FIGURA 14 – ETAPAS PARA PRESCRIÇÃO DE UM ARTEFATO .....	71
FIGURA 15 – LÓGICA PARA CONFIGURAÇÃO DA CLASSE DE PROBLEMAS ...	73
FIGURA 16 – <i>FRAMEWORK</i> UTILIZADO COMO BASE PARA PRESCRIÇÃO DO ARTEFATO .....	75
FIGURA 17 – 1º PROPOSTA DE <i>FRAMEWORK</i> ESBOÇADO PELA AUTORA.....	77
FIGURA 18 – EXEMPLO DE PARTE DE UMA DAP CONVENCIONAL PUBLICADA EM PDF REFERENTE AO CIMENTO CP II E 40 DA VOTORANTIM78	
FIGURA 19 - EXEMPLO DE PARTE DE UMA DAP LEGÍVEL POR COMPUTADOR REFERENTE A AGREGADOS DE BRITAGEM MÓVEL EM BJURHOLM - 0/150 MM .....	79
FIGURA 20 – UTILIZAÇÃO DO NÓ <i>PYTHON SCRIPT</i> DENTRO DO DYNAMO .....	81
FIGURA 21 – FÓRMULA PARA CÁLCULO DE ENERGIA EMBUTIDA NO TRANSPORTE DOS MATERIAIS ATÉ O CANTEIRO DE OBRAS ...	82

FIGURA 22 – MODELOS DOS PROJETOS ARQUITETÔNICO E ESTRUTURAL DE UMA HABITAÇÃO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR DE BAIXO PADRÃO.....	84
FIGURA 23 – APLICATIVO <i>AUTODESK CLASSIFICATION MANAGER FOR REVIT</i> .....	84
FIGURA 24 – CLASSIFICANDO OS ELEMENTOS UTILIZANDO O APLICATIVO..	85
FIGURA 25 – PROPRIEDADES DE UM TIPO DE FAMÍLIA APÓS CLASSIFICAÇÃO .....	86
FIGURA 26 – PESQUISA DE CONJUNTO DE DADOS NA PLATAFORMA DATA HUB .....	87
FIGURA 27 – DAP LEGÍVEL POR COMPUTADOR APRESENTADA NA WEB .....	87
FIGURA 28 – ARQUIVO DE PARÂMETROS COMPARTILHADOS “LCA INFORMATION” .....	88
FIGURA 29 - PARTES DO MODELO BIM .....	89
FIGURA 30 – CONFIGURAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PARÂMETROS DE PROJETO .....	89
FIGURA 31 – PARTE DO ALGORÍTMO DE CRIAÇÃO DE PARÂMETROS PARA LEITURA DE DAP .....	90
FIGURA 32 – PARÂMETROS COMPARTILHADOS CRIADOS PARA LEITURA DE DAP .....	90
FIGURA 33 – PARTE DO ALGORÍTMO DE CRIAÇÃO DE PARÂMETROS PARA LEITURA DOS DADOS DE ICV.....	91
FIGURA 34 - PARÂMETROS DE PROJETO CRIADOS PARA LEITURA DO BANCO DE DADOS ICV .....	92
FIGURA 35 – APLICAÇÃO DO ALGORITMO DESENVOLVIDO UTILIZANDO O DYNAMO PLAYER PARA LEITURA E CARREGAMENTO DAS INFORMAÇÕES DAS DAP .....	93
FIGURA 36 – APLICAÇÃO DO ALGORITMO DESENVOLVIDO UTILIZANDO O DYNAMO PLAYER PARA LEITURA E CARREGAMENTO DAS INFORMAÇÕES DO BANCO DE DADOS DE ICV.....	94
FIGURA 37 – TABELA DE QUANTIDADES DE VOLUME DE GRAUTE E EXTENSÃO DO DYNAMO PLAYER ABERTA ANTES DE CLICAR PARA RODAR O ALGORITMO .....	95
FIGURA 38 - ARTEFATO (MÉTODO - <i>FRAMEWORK</i> ) PRESCRITO .....	98

FIGURA 39 – MODELO REFRENTE AO PROJETO ESTRUTURAL DE UMA HABITAÇÃO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR DE BAIXO PADRÃO MODELADO PELA CAMPESTRINI.....	100
---	-----

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - DÉFICIT HABITACIONAL DO BRASIL EM TOTAL ABSOLUTO (2011-2015).....	27
GRÁFICO 2 – PUBLICAÇÕES POR REVISTAS OU CONGRESSOS .....	55
GRÁFICO 3 – PUBLICAÇÕES POR ANO .....	55
GRÁFICO 4 – PUBLICAÇÕES POR PAÍS.....	56
GRÁFICO 5 – QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES POR PAÍS .....	56

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - TERMOS DE PESQUISA, PLATAFORMAS ELETRÔNICAS E PRIMEIROS RESULTADOS.....	52
QUADRO 2 - TERMOS DE PESQUISA, TOTAL DE PUBLICAÇÕES ENCONTRADAS EXCLUINDO DUPLICADAS, FILTRAGENS E TOTAL FINAL .....	53
QUADRO 3 – FASES DO CICLO DE VIDA E IMPACTOS ANALISADOS PELOS ARTEFATOS (CONTINUA).....	58
QUADRO 4 – FERRAMENTAS UTILIZADAS NOS ARTEFATOS (CONTINUA).....	61
QUADRO 5 – BASE DE DADOS DE AICV UTILIZADAS NOS ARTEFATOS .....	63
QUADRO 6 – CLASSES DE PROBLEMAS.....	74

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PRINCIPAIS IMPACTOS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO AMBIENTE.....	25
TABELA 2 – NÍVEIS DE DESENVOLVIMENTO DO MODELO BIM.....	33
TABELA 3 – ÍNDICES DE ENERGIA E CO <sub>2</sub> EMBUTIDOS NOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO TÍPICOS BRASILEIROS .....	41
TABELA 4 – INDICADORES DE IMPACTOS .....	43
TABELA 5 – INDICADORES PARA USO DE RECURSOS .....	44
TABELA 6 - REQUISITOS DE CONFORMIDADE EM PROGRAMAS RELACIONANDO A EDIFICAÇÃO PROPOSTA COM A EDIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA.....	46
TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS DA <i>DESIGN SCIENCE</i> .....	69
TABELA 8 – CONCEITOS DA <i>DESIGN SCIENCE</i> .....	70
TABELA 9 – CATEGORIAS DA <i>DESIGN SCIENCE</i> .....	70
TABELA 10 - PONTOS A EXPLICITAR AO LONGO DAS ETAPAS DE CONDUÇÃO DE UMA DSR.....	71
TABELA 11 – PROTOCOLO DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE BIM-ACV.....	72
TABELA 12 - CONSUMO ENERGÉTICO ASSOCIADO AOS MEIOS DE TRANSPORTE.....	83
TABELA 13 – MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DOS ARTEFATOS .....	96
TABELA 14 – TIPOS DE GRUPOS FOCAIS EM <i>DESIGN SCIENCE RESEARCH</i> .	96
TABELA 15 – RESULTADOS DA ACV BERÇO-LOCAL DO MODELO ESTRUTURAL .....	101
TABELA 16 – PERGUNTAS E RESPOSTAS DA ETAPA I: INTRODUÇÃO (CONTINUA).....	102
TABELA 17 - PERGUNTAS E RESPOSTAS DA ETAPA II (APÓS A APRESENTAÇÃO DO MÉTODO) .....	104
TABELA 18 – PERGUNTAS E RESPOSTAS DA ETAPA III (CONCLUSÃO).....	105

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida  
AIA - Instituto Americano de Arquitetura  
AICV – Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida  
AECO- Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação  
API - Interface de Programação de Aplicativo  
BIM - Modelagem da Informação da Construção  
CAD - Desenho Auxiliado por Computador  
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior  
CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção,  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono  
CO<sub>2eq</sub> – Carbono equivalente  
DAP – Declaração Ambiental de Produto  
DSR - *Design Science Research*  
EHIS - Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social  
ETL – *Export Transportation Load*  
EPD – *Environmental Product Declaration*  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ICC – Indústria da Construção Civil  
ICV – Inventário do Ciclo de Vida  
LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*  
LoD – *Level of Development*  
PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem  
PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios  
PPGECC – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil  
RSL – Revisão Sistemática da Literatura  
SICV - Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida  
TIC – Tecnologia de Informação e Comunicação  
UFPR – Universidade Federal do Paraná  
USGBC - *U.S. Green Building Council*

## LISTA DE SÍMBOLOS

® - marca registrada

™ - marca comercial

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	20
1.1.1 Fator Tecnológico.....	20
1.1.2 Fator Ambiental .....	24
1.1.3 Fator Econômico .....	26
1.1.4 Fator Social .....	26
1.2 OBJETIVO.....	27
1.3 ESTRUTURA DO PROJETO DE PESQUISA.....	28
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>30</b>
2.1 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM).....	30
2.1.1 Nível de Desenvolvimento (LoD).....	32
2.1.2 Sistemas de Classificação da Informação da Construção.....	35
2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) DE EDIFICAÇÕES.....	37
2.2.1 Declarações e Rótulos/Etiquetas Ambientais.....	41
2.2.1.1 Declarações Ambientais de Produtos (DAP).....	41
2.2.1.2 Etiquetas Ambientais .....	44
2.3 INTEGRAÇÃO BIM-ACV.....	47
<b>3 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA .....</b>	<b>49</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	49
3.2 CONDUÇÃO DA REVISÃO SISTEMÁTICA.....	51
3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	54
3.4 DISCUSSÃO .....	64
3.5 CONCLUSÃO.....	67
<b>4 MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>69</b>
4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA .....	69
4.2 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS PROPOSTAS .....	70
4.2.1 Identificação e Conscientização do Problema.....	72
4.2.2 Revisão Sistemática de Literatura.....	72
4.2.3 Identificação de Artefatos e Configuração de Classes de Problemas.....	73
4.2.4 Proposição do Artefato para Solução do Problema.....	75
4.2.5 Projeto, Desenvolvimento e Avaliação do Artefato Selecionado .....	76
4.2.5.1 Ferramentas e Conceitos Utilizados .....	80
4.2.5.2 Aplicação no Modelo BIM .....	83

4.2.5.3 Levantamentos das Informações de ICV e DAP .....	86
4.2.5.4 Criação Automatizada de Parâmetros .....	88
4.2.5.5 Integração BIM-ACV.....	92
4.2.6 Avaliação do Artefato .....	95
4.2.7 Explicitação das Aprendizagens.....	96
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>98</b>
5.1 ARTEFATO PRESCRITO .....	98
5.1.1 Avaliação do Artefato .....	99
5.2 EXPLICITAÇÃO DAS APRENDIZAGENS .....	102
5.2.1 Benefícios Obtidos .....	105
5.2.2 Limitações e Dificuldades.....	107
5.3 GENERALIZAÇÃO PARA UMA CLASSE DE PROBLEMAS.....	108
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>110</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>114</b>
<b>APÊNDICE A – ALGORITMO PARA CRIAÇÃO DE UM ARQUIVO DE PARÂMETROS COMPARTILHADOS FOCADO NA INSERÇÃO DE INFORMAÇÕES PROVENIENTES DE DAP PUBLICADAS EM FORMATO XML</b>	<b>125</b>
<b>APÊNDICE B – ALGORITMO PARA CRIAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETOS FOCADO NA INSERÇÃO DE INFORMAÇÕES PROVENIENTES DE UM BANCO DE DADOS DE ICV COMPILADOS EM PLANILHA EXCEL .....</b>	<b>133</b>
<b>APÊNDICE C - ALGORITMO PARA INTEROPERABILIDADE BIM-ACV UTILIZANDO DAP EM FORMATO XML .....</b>	<b>134</b>
<b>APÊNDICE D - ALGORITMO PARA INTEROPERABILIDADE BIM-ACV UTILIZANDO BANCO DE DADOS ICV EM EXCEL .....</b>	<b>141</b>
<b>APÊNDICE E – TABELA BANCO DE DADOS ICV .....</b>	<b>148</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em uma escala mundial há a necessidade de investir em empreendimentos mais sustentáveis que visam a redução do potencial de aquecimento global – em inglês, *Global Warming Potential* (GWP) – e a preservação do meio ambiente (HERTWICH; PETERS, 2009). Estima-se que a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) consome quase 50% da energia produzida no planeta inteiro (HOMER-DIXON, 2010), além de que um terço das emissões de gases do efeito estufa – conhecidos em inglês como *greenhouse gases* (GHGs) – são provavelmente originados também desta mesma indústria (UNEP, 2009). Segundo Mao et al. (2013), o setor da construção e edificações é um dos sete principais contribuintes para emissões de GHGs. Segundo Tavares e Lamberts (2005), com o aumento da população urbana, a escassez de seus insumos e a preocupação com os impactos ambientais em nível mundial, foram iniciadas pesquisas de novos materiais, cujo objetivo é diminuir os impactos e a poluição no meio ambiente e investigar as formas de consumo de energia, para que se possa construir e viver em um planeta saudável no futuro.

Com a aplicação de estratégias inovadoras nas fases do ciclo de vida de edificação, seria possível alcançar resultados positivos no desenvolvimento de comunidades e edificações mais sustentáveis. Dessa forma, a utilização de critérios ambientais para melhoria do ambiente construído vem sendo explorada pela academia, pesquisadores e profissionais (CAPARELLI et al., 2015). A criação de soluções que auxiliem a tomada de decisão nas escolhas de materiais e produtos mais sustentáveis nas fases de concepção dos empreendimentos, pode ser uma alternativa ideal para encorajar a utilização deste tipo de análise com mais frequência (ARAUJO et al., 2017). Assim, nota-se o potencial de desenvolvimento tecnológico e digital nos cálculos de energia e carbono incorporado em edificações.

Visando incentivar a escolha de materiais mais sustentáveis em empreendimentos de construção civil, o presente trabalho envolve dois campos temáticos que apresentam consideráveis potenciais de aplicação no mercado: Modelagem da Informação da Construção (BIM) – sigla do inglês, *Building*

*Information Modeling* – entendida como um processo, e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) em edificações. Desse modo, será conduzida à seguinte questão de pesquisa:

Como realizar a integração BIM-ACV visando automatizar o processo e subsidiar tomadas de decisão de projeto a partir da escolha de materiais e produtos mais sustentáveis reduzindo os impactos ambientais provenientes de edificações?

## 1.1 JUSTIFICATIVA

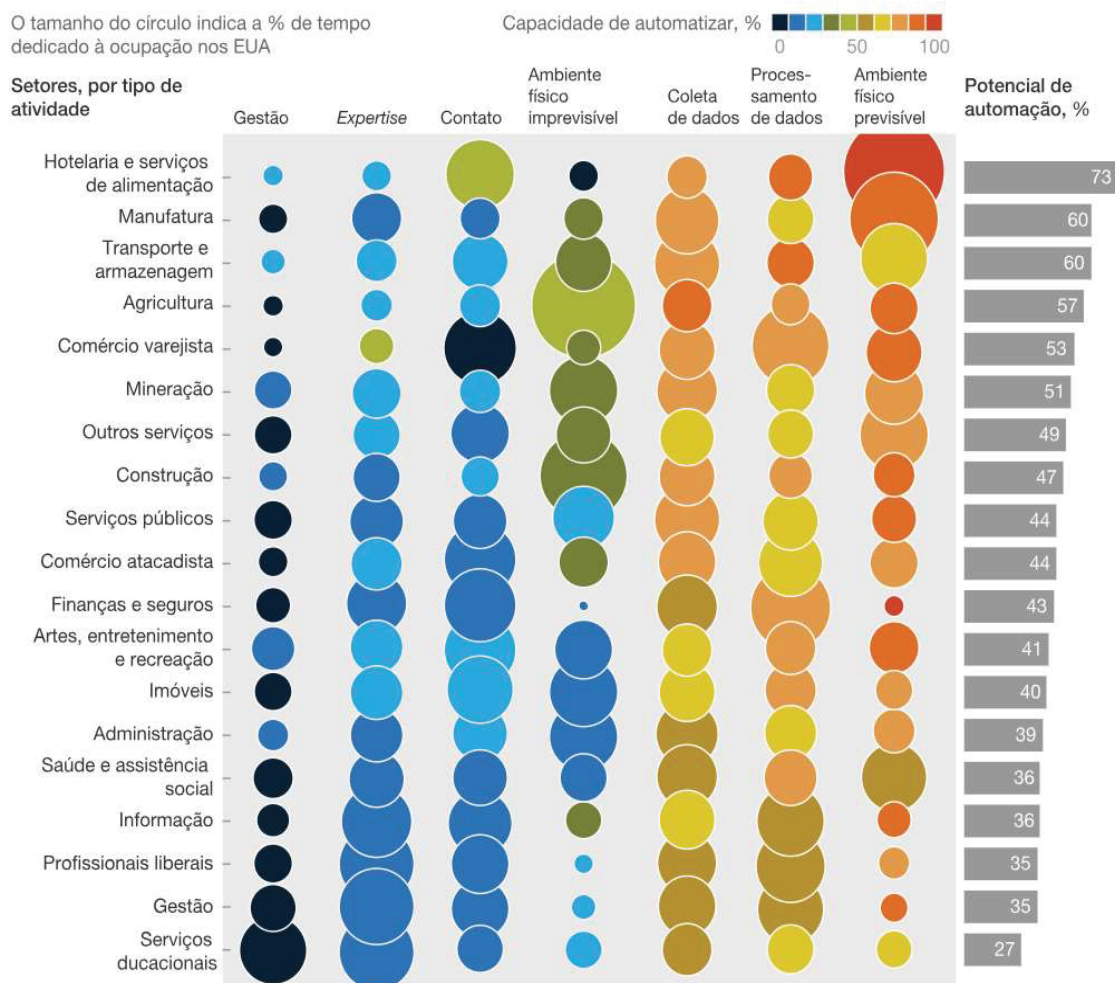
Nos subitens a seguir, a importância deste estudo encontra-se justificada dividida em quatro diferentes campos: tecnológico, ambiental, econômico e social.

### 1.1.1 Fator Tecnológico

A crescente demanda por habitação a preços acessíveis, o aumento dos custos de construção, a menor taxa de produtividade e a maior preocupação com a eficiência energética levaram construtores a perceber os imensos benefícios de ferramentas de digitalização da construção. De fato, a necessidade de ser competitivo no emergente mercado global leva construtores a serem mais abertos e receptivos a novas tecnologias de construção. Em outras palavras, a consciência das tendências atuais e inovação mais recente no sistema de construção industrializada é essencial para sobreviver no mercado competitivo.

Em um estudo elaborado nos Estados Unidos, o setor da construção apresentou um potencial de 47% para automação (FIGURA 1), o que causa certo otimismo em relação a baixos índices de produtividade que esta indústria apresenta.

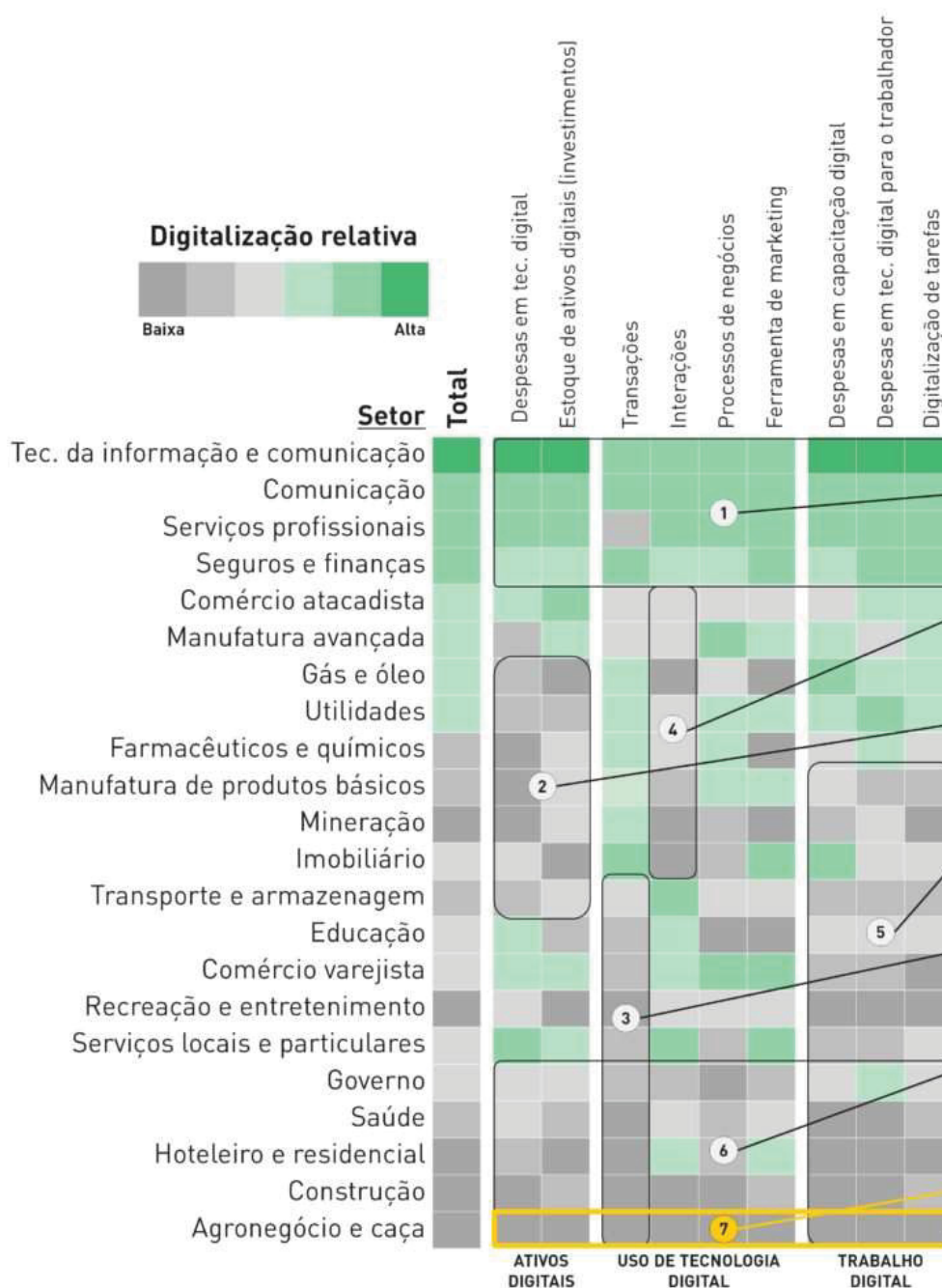
FIGURA 1 – POTENCIAL DE AUTOMAÇÃO DOS SETORES POR ATIVIDADE



Fonte: *US Bureau of Labor Statistics*; análise do *McKinsey Global Institute* (2016). Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/human-plus-machine-a-new-era-of-automation-in-manufacturing/pt-br>

Em contrapartida, na FIGURA 2 destaca-se o fato de que a construção é a atividade menos digitalizada dentre as demais, ganhando apenas do setor da pesca e caça.

FIGURA 2 – DIGITALIZAÇÃO RELATIVA POR SETOR

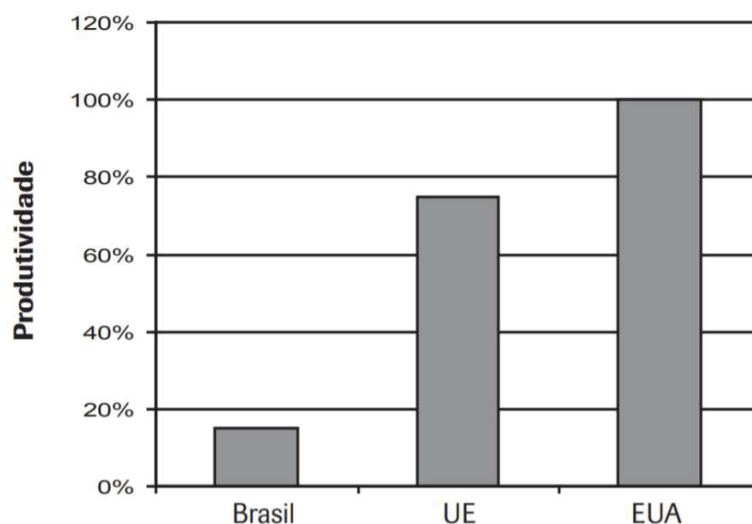


Fonte: McKinsey Global Institute *industry digitalization index* (2015). Adaptado por PERFARM (2016). Disponível em: <http://blog.perfarm.com/o-agronegocio-como-setor-menos-digitalizado/>

Após essa reflexão sobre o contexto do setor da construção civil Norte Americana, cabe trazer informações comparando a situação desta nação em relação ao Brasil. O estudo publicado por de Brito Mello e de Amorim (2009) destacou a produtividade da ICC em comparação aos Estados Unidos da América (EUA) a União Europeia (EU), como mostra a FIGURA 3 e a FIGURA

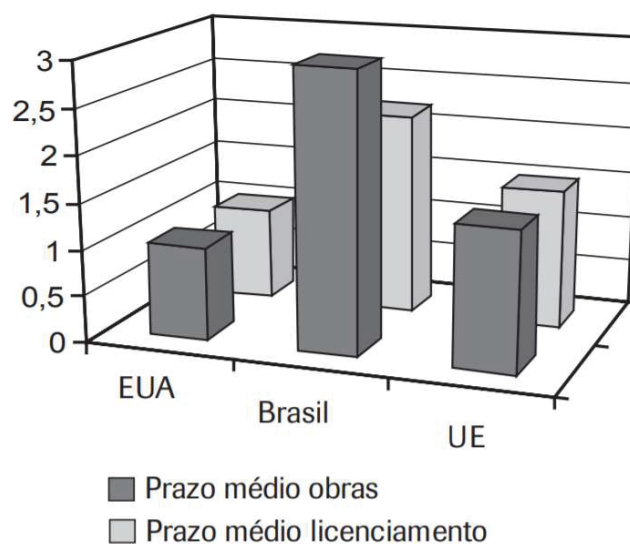
4. Dessa forma, é nítido que o desenvolvimento do setor no Brasil é inferior as outras duas regiões analisadas. Tanto o índice de produtividade, quanto o prazo médio de licenciamento e construção demonstram o fraco desempenho brasileiro.

FIGURA 3 - COMPARAÇÃO ENTRE A PRODUTIVIDADE BRASILEIRA, AMERICANA E EUROPEIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL.



Fonte: de Brito Mello e de Amorim (2009), com base nos dados de FGV, 2006; US Census Bureau, 2002 e European Foundation for the Improvement of working and Living Conditions, 2005.

FIGURA 4 - COMPARAÇÕES ENTRE PRAZOS DE LICENCIAMENTO E CONSTRUÇÃO NO BRASIL, EUA E UE.



Fonte: de Brito Mello e de Amorim (2009), com base nos dados de Sinduscon DF; [www.nwjoinery.com](http://www.nwjoinery.com); [www.publicworks.houstontx.gov](http://www.publicworks.houstontx.gov); [www.oracle.com](http://www.oracle.com). Acesso em março 2008.

Considerando a presença de ferramentas e potencial de desenvolvimento na digitalização e automação na indústria da AEC, justifica-se a aplicação do BIM especialmente tratando-se do quesito interoperabilidade. Complementa-se que a iniciativa deste estudo deu-se a partir do Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido em 2015 com outras duas colegas durante o último ano do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná, e cujo o objetivo foi mostrar um método de integração de BIM com a ferramenta ACV, com um estudo de caso específico que analisa os impactos ambientais e o custo de construção de quatro tipos de vedações. Na época, o procedimento de inserção de dados no *software* BIM na época foi totalmente manual, o que segundo Crippa et. al (2018) poderia inviabilizar a implantação do sistema no mercado.

Assim, sugeriu-se o desenvolvimento de um método de integração BIM-ACV que envolva a alimentação automatizada das informações no modelo. Enfatiza-se que a Autora desta pesquisa possui experiência na área comercial e de pesquisa e desenvolvimento da empresa Campestrini – Inovação na Construção, onde pode constatar que de fato quando se trata de digitalização no setor da construção, apenas métodos e sistemas programados visando a automação das tarefas sobrevivem no mercado.

### 1.1.2 Fator Ambiental

Segundo EUA (2003), por meio do Departamento de Energia no setor de Eficiência Energética e Energia Renovável, a ICC é responsável por 30% das emissões de gases de efeito estufa do país e 136 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição. Esta indústria também é responsável por 40% do consumo de energia e consome 12% do total das fontes de água doce dos Estados Unidos da América. A TABELA 1 (KRUSE, 2004) cita diversos agentes provenientes da construção civil, geradores de impactos ambientais negativos, descrevendo cada um.

Segundo Tavares (2006), o cimento, especificamente, tem alta participação em volume, energia embutida e desperdício, além de responder por boa parte dos impactos ambientais gerados no setor da Construção Civil.

TABELA 1 - PRINCIPAIS IMPACTOS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO AMBIENTE.

Agentes	Impactos
Indústria Cimentícia	Responsável por 5% das emissões de CO <sub>2</sub> antropogênico. (BOESCH e HELLWEG, 2010)
Mineração e Manufatura de Materiais e Produtos Químicos	Considerados os maiores agentes de impacto no ambiente, assim como os processos químicos e o uso de combustível/eletricidade são a maior parte das emissões de CO <sub>2</sub> do sector.
Construções “in loco”	Consideradas relativamente de baixo impacto, dependendo principalmente do uso de energia, influenciadas também pela escolha de materiais, técnicas de construção e distâncias/modelos de transporte.
Transporte	O transporte de materiais pesados, como o cimento, necessita de energia intensiva, no entanto, a maioria dos materiais de construção tende a ser proveniente de locais próximos de onde se dará a sua utilização.
Manutenção e Demolições	A manutenção de edifícios tem um alto impacto devido ao uso de energia significativa (aquecimento, iluminação...). Também regulamentações para construções impactam nos requisitos de manutenção e demolição.

Fonte: Kruse (2004). Traduzido por Caparelli et al. (2015). Adaptado Pela Autora.

Além da produção de cimento, também outros materiais de construção convencionais como tijolos e aço consomem muita energia térmica e elétrica e, por sua vez, poluem o ar, a água e a terra. Além disso, confirmando a relação de energia e sustentabilidade, os seguintes materiais de construção possuem o maior consumo de energia e emitem mais CO<sub>2</sub> no ciclo de vida da edificação: tintas, cerâmica vermelha, cimento e aço. A fim de atender à crescente demanda por materiais de construção civil eficientes, há a necessidade de adotar tecnologias econômicas e ambientalmente adequadas e atualizar as técnicas tradicionais com materiais locais disponíveis. (TAVARES, 2006; MADURWAR; RALEGAONKAR e MANDAVGANE, 2013).

Segundo Alshamrani, Galal e Alkass (2014), em 2008, o Conselho de Construções Verdes dos Estados Unidos (USGBC) estava em processo de incorporar o ACV ao LEED. Dessa maneira, o LEED em sua versão 4 adota, a quantificação de impactos ambientais do ciclo de vida em seus critérios de análise - assim como o BREEAM do Reino Unido já considerava. A iniciativa de

valorizar Avaliações de Ciclo do Vida de toda a edificação encoraja os profissionais da área a investigar oportunidades de reduzir a quantidade de energia incorporada nos materiais através de alterações arquitetônicas e estruturais nos projetos.

### 1.1.3 Fator Econômico

Em relatório publicado pelo Governo Federal sobre os Indicadores IBGE (2016), a atividade da construção civil é responsável por 5,6% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Mesmo já colaborando com uma considerável parcela do PIB, a atividade da construção possui grande potencial de crescimento devido aos índices de habitação do país, apresentados no item 1.3.1. Evidentemente, a indústria da construção civil influencia diretamente a economia do país.

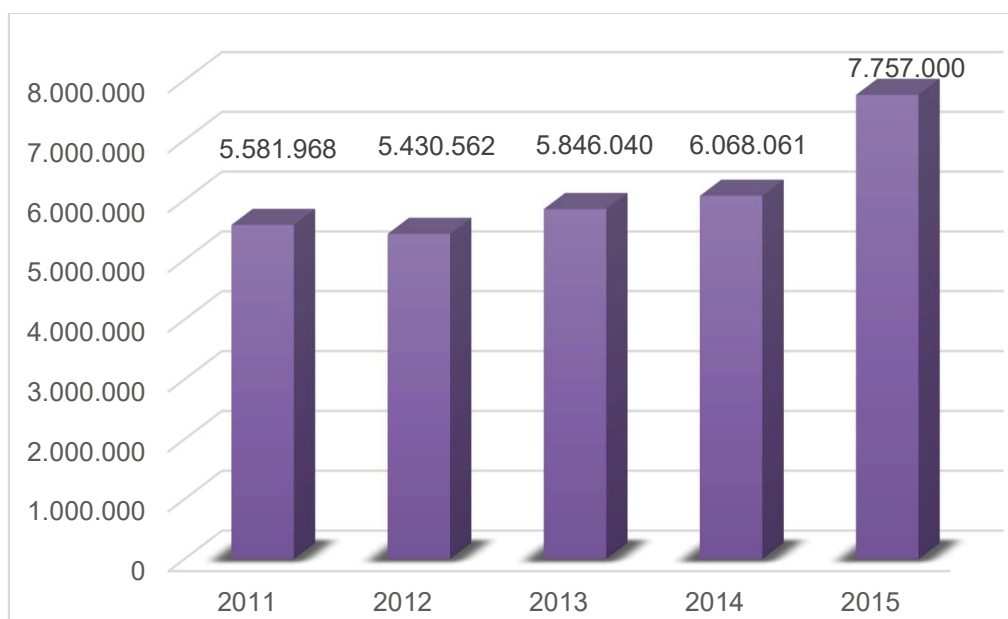
Em países em desenvolvimento como China, Turquia e Brasil o setor da construção civil tem geralmente um impacto mais importante no ramo econômico (AKAN; DHAVALÉ; SARKIS, 2017). Adotar produção e uso de materiais e estratégias mais sustentáveis não apenas pode reduzir emissões de gases do efeito estufa, mas também mitigar o consumo de energia e água. Desta maneira, podem ser incluídas soluções pela escolha de recursos provenientes de produtos e/ou subprodutos de outras indústrias, contribuindo para a construção de relacionamentos que envolvem simbiose industrial, fomentando a formação de uma economia circular no setor. Assim, estas atividades conseguem promover a reciclagem e reuso de materiais de construção, como por exemplo empregar agregados reciclados em concretos. (ARIOĞLU et al., 2004; MORBI et al., 2010, SUHENDRO; 2014 apud AKAN; DHAVALÉ; SARKIS, 2017).

### 1.1.4 Fator Social

Segundo o IBGE, em Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, o Déficit Habitacional do Brasil vem aumentando desde 2012 (GRÁFICO 1) e chegou a 7.757 milhões de habitantes em total absoluto no ano de 2015, sendo este número equivalente a 9,0% do total de habitantes do país. Este dado comprova a existência de um grande déficit habitacional no Brasil, confirmando também que conforme o aumento da qualidade de vida do país existirá uma

grande demanda para construções de novas habitações. Além da necessidade de reduzir o déficit habitacional do país, é importante agregar valor ao ambiente construído através da melhoria da qualidade de projeto desde sua concepção, para que efetivamente sejam proporcionados benefícios aos usuários de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social (EHIS).

GRÁFICO 1 - DÉFICIT HABITACIONAL DO BRASIL EM TOTAL ABSOLUTO (2011-2015)



Fonte: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) – IBGE. Elaborado pela Autora.

A indústria da construção civil tem um papel essencial não só no âmbito social do nosso país, mas do mundo como um todo. Segundo Monich (2012), “a idealização da habitação social é um programa de resgate da cidadania, onde a produção da habitação é apenas um dos aspectos envolvidos. A busca pela sustentabilidade exige uma nova visão e a promoção de novas formas de organização social”.

## 1.2 OBJETIVO

O estudo visa propor um artefato (método) para automatizar a integração BIM-ACV que estime os impactos e uso de recursos ambientais provenientes dos materiais de construção e do transporte dos mesmos até o canteiro de obras (berço ao local), de maneira a auxiliar na tomada de decisão durante a fase de concepção do projeto.

### 1.3 ESTRUTURA DO PROJETO DE PESQUISA

Primeiramente, Capítulo 1, apresenta a **INTRODUÇÃO** da pesquisa, contemplando a justificativa acerca do problema de pesquisa, o objetivo geral a ser alcançado e a estrutura da dissertação.

O Capítulo 2 aborda a **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**, organizada em subseções que abarcam as seguintes conceituações: Modelagem da Informação da Construção (BIM), com segmentação em um tópico que refere-se ao nível de desenvolvido (LoD) e outro que abrange os Sistemas de Classificação da Informação da Construção; Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de Edificações, segmentada em Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV) e Declarações e Rótulos/Etiquetas Ambientais; e, por último trata-se especialmente da Integração BIM-ACV.

O Capítulo 3 contempla a **REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL)** sobre os principais campos temáticos da pesquisa: Integração de BIM e Avaliação do Ciclo de Vida, enfatizando métodos apresentados pelos autores encontrados.

O Capítulo 4 explicita o **MÉTODO DE PESQUISA** empregado, abrangendo o conceito da *Design Science Research* (DSR) assim como a adequação de seus procedimentos às etapas desta pesquisa: Identificação e Conscientização do Problema; Revisão Sistemática de Literatura; Identificação de Artefatos e Configuração de Classes de Problemas; Proposição do Artefato para Solução do Problema; e finalmente, Projeto, Desenvolvimento e Avaliação do Artefato Selecionado.

Capítulo 5 abrange o tópico relacionado aos **RESULTADOS E DISCUSSÃO**, seguindo os conceitos da DSR é feita a apresentação e explicação do artefato, assim como mostra-se a avaliação executada em formato de experimento controlado. Em seguida, as aprendizagens adquiridas são explicitadas, apresentando os benefícios obtidos e limitações percebidas no decorrer da pesquisa pela Autora e outros identificados por dois especialistas que analisaram o artefato e explicitaram suas opiniões. Por fim, a generalização e adequação para uma classe de problemas, proporcionando o avanço do

conhecimento científico. Além de fundamentar a generalização, identificaram-se outras potenciais aplicações da proposta em diferentes domínios de aplicação.

Por fim, o Capítulo 6 exhibe a **CONCLUSÃO** que finaliza o trabalho apresentando as contribuições da pesquisa para a academia, profissionais e mercado com aplicações teóricas e práticas. Destacam-se também as sugestões de potenciais trabalhos futuros.

Além dos capítulos evidenciados, a dissertação possui cinco Apêndices.

O **APÊNDICE A** e o **APÊNDICE B** contém imagens do algoritmo desenvolvido no ambiente de programação visual – Dynamo - para criação de parâmetros para o Revit. Da mesma maneira, o **APÊNDICE C** e o **APÊNDICE D** apresentam as imagens do segundo algoritmo programado que envolve de fato a interoperabilidade de informações de ACV para o modelo BIM. O **APÊNDICE E** mostra a tabela compilada pela autora e utilizada como banco de dados de ICV.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica e o consequente enquadramento da pesquisa, contemplando as temáticas de Integração de BIM e ACV. Para cada temática, realizou-se uma conceituação, que consiste na introdução de conceitos e perspectivas da atualidade sobre a Modelagem da Informação da Construção e Avaliação do Ciclo de Vida em Edificações individualmente. Por final, contextualiza-se brevemente sobre a integração destas duas ferramentas.

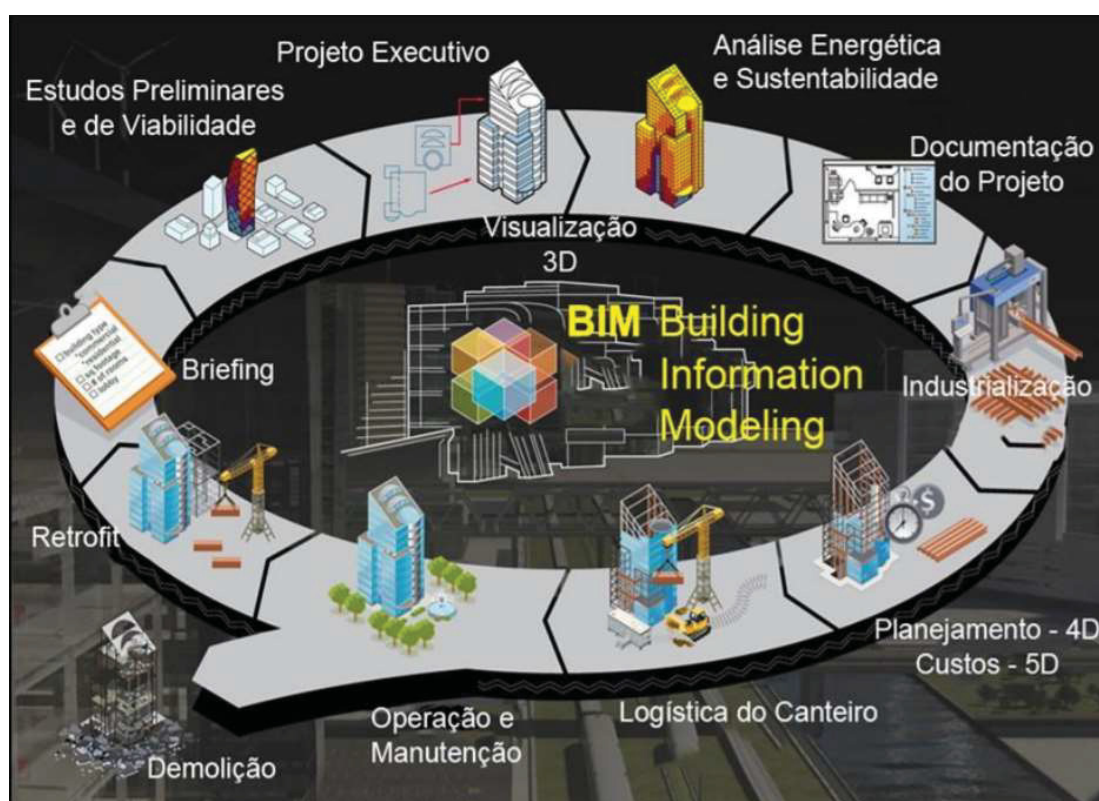
### 2.1 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM)

A Modelagem da Informação da Construção – em inglês, *Building Information Modeling* (BIM), é normatizada internacionalmente pelas ISO 12006 e ISO 29481. No Brasil aplica-se a tradução de uma destas normas, ABNT NBR ISO 12006, além da ABNT NBR 15965, a qual trata-se de uma série de normas, e foi desenvolvida a partir das tabelas OmniClass™, um sistema de classificação de informação de edificações criado para o mercado da construção norte-americano (CATELANI e SANTOS, 2016).

De acordo com o *National Building Information Modeling Standard* (NIBS, 2007), o BIM pode ser entendido em três condições diferentes: produto, ferramenta (sistemas/software) ou processo. Conceitualmente, é possível descrevê-lo também como uma representação virtual das características de uma edificação, aplicada ao longo de todo seu ciclo de vida (FIGURA 5

), a qual serve como uma plataforma de compartilhamento de informação para colaboração (NIBS, 2007). Com a introdução de conceitos e tecnologias BIM, a indústria da construção vem passando por uma mudança de paradigmas e ocasionando uma disrupção do setor em todo o planeta (KASSEM; AMORIM, 2015).

FIGURA 5 – O BIM E O CICLO DE VIDA

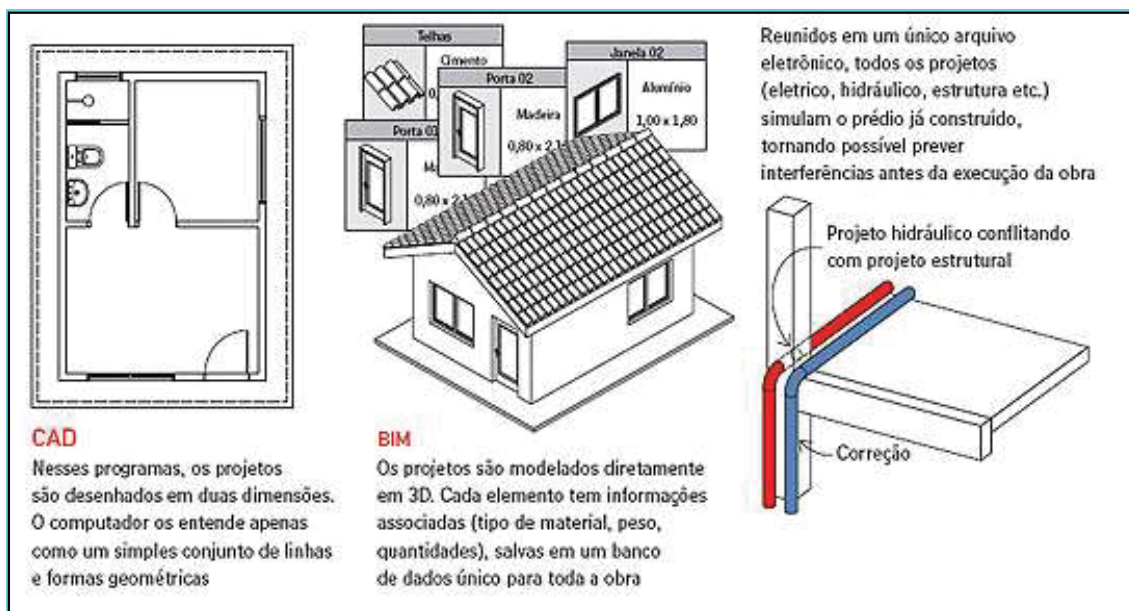


Fonte: Autodesk Inc. Traduzido por Manzione (2013).

Segundo Eastman et al. (2008), as ferramentas BIM são bastante complexas e possuem muito mais funcionalidades que as ferramentas CAD anteriores (FIGURA 6), como o AutoCAD® da Autodesk. BIM é um processo digital, espacial (3D), mensurável, abrangente, acessível e durável. Diferente da modelagem 3D por si só, o BIM necessariamente é composto por uma modelagem vinculada com informações, definida como inteligente e paramétrica. Regras podem ser incorporadas aos elementos e componentes que constituem o modelo em BIM, assim como é possível definir famílias de objetos personalizadas e relacioná-las a outros existentes, também sem ser necessário recorrer à programação computacional como acontecia obrigatoriamente nos sistemas CAD antigos (EASTMAN et al., 2008). Os modelos em BIM, continuam

gerando visualizações de projetos em 2D, no entanto, quando algo é modificado no modelo, todas as vistas são automaticamente atualizadas, mitigando erros e evitando revisões mais detalhadas (FARIA, 2007).

FIGURA 6 – CAD VERSUS BIM



Fonte: FARIA (2007).

A aplicação do conceito e das ferramentas BIM em grandes indústrias tem como possíveis resultados a melhora como um todo da eficiência e sustentabilidade de empreendimentos, aumento da precisão de resultados dos projetos e do período de retorno do investimento, incentivo às exportações e estimulação do crescimento econômico (KASSEM; AMORIM, 2015).

### 2.1.1 Nível de Desenvolvimento (LoD)

Nível de Desenvolvimento, em inglês *Level of Development* (LoD), foi aceito pela AIA (Instituto Americano de Arquitetura) e adicionado no BIM Protocol Exhibit (2008) definindo especificações e usos do BIM conforme apresentado na TABELA 2.

Segundo BIMFORUM (2013), o LoD é uma métrica que mostra como a informação representada por um elemento BIM foi modelada. No entanto, não é necessariamente uma medida da quantidade de informação, embora obviamente deva haver informação suficiente para satisfazer o nível de LoD em

que se encontra. Também não é uma medida de quantidade ou precisão da informação gráfica. A aparência de um elemento BIM é apenas uma informação sobre esse objeto e, geralmente, o menos importante.

TABELA 2 – NÍVEIS DE DESENVOLVIMENTO DO MODELO BIM

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

Fonte: BIM Protocol Exhibit (2008). Adaptado por Manzione (2013).

Para fins de comparação a FIGURA 7 apresenta elementos apresentados em diferentes níveis de desenvolvimento, sendo que a FIGURA 8 exemplifica também as informações que envolvem e estão presentes nestes níveis.

FIGURA 7 –ELEMENTOS EM LOD 200, 300, 350 E 400



Fonte: Coughlin (2018).

FIGURA 8 - MODELOS EM LOD 100, 200, 300, 400 E 500.



Fonte: Manufacturers in BIM. Disponível em: <http://manufacturers.bimetrica.com/wp-content/uploads/2014/07/img-auditoria-3.png>. Acesso em: 12 de março de 2019.

Segundo o BIMFORUM (2013) as definições fundamentais sobre os níveis de desenvolvimento são as seguintes:

- LoD 100: Elementos representados graficamente com **símbolo** ou outra representação **genérica**. As dimensões e volume são aproximados.

- LoD 200: Elementos representados graficamente como um sistema, objeto ou conjunto **genérico**. Apresenta-se quantidades, dimensões, forma, localização e orientação aproximadas. Não é necessário adicionar nenhuma informação não gráfica ao elemento.

- LoD 300: Elementos representados graficamente como um sistema, objeto ou conjunto **específico** em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação. Informações não gráficas podem ser adicionadas ao elemento.

- LoD 350: Elementos representados graficamente como um sistema, objeto ou conjunto **específico** em termos de quantidade, tamanho, forma, localização, orientação e interfaces com outros sistemas prediais (**compatibilização**). Informações não gráficas podem ser adicionadas ao elemento.

- LoD 400: Elementos representados graficamente como um sistema, objeto ou conjunto **específico** em termos de quantidade, tamanho, forma, localização, orientação com **informações de detalhamento, produção, montagem e instalação**. Informações não gráficas podem ser adicionadas ao elemento.

- LoD 500: Elementos têm sua representação gráfica verificada em campo (**como construído**) em termos de tamanho, forma, localização, quantidade e orientação. Informações não gráficas podem ser adicionadas ao elemento.

### 2.1.2 Sistemas de Classificação da Informação da Construção

Existe alguns sistemas já padronizados para classificação da informação de edificações, como por exemplo, Unifomat, MasterFormat, *OmniClass*<sup>TM</sup>, *Uniclass*, EPIC, DEINFRA, SINAPI entre outros. Estes sistemas funcionam como uma estrutura de base de dados estandardizada que pode ser aplicada durante todo o ciclo de vida de uma edificação, com o objetivo de organizar, classificar e recuperar as informações em ferramentas baseadas em inventários de banco de dados. Tanto a UniFormat, quanto a Uniclass e a OmniClass, desenvolveram suas tabelas de definições e conceitos da ISO 12006-2: 2015 “Building Construction - Organization of Information about Construction Works”.

Em seu website - <http://www.omniclass.org/about/>, *OmniClass*<sup>TM</sup> Construction Classification System (conhecido como *OmniClass*<sup>TM</sup> ou OCCS) descreve-se como um meio de organizar e recuperar informações especificamente projetadas para o setor de construção. A *OmniClass*<sup>TM</sup> é útil para muitas aplicações na área de Building Information Modeling (BIM), desde a organização de relatórios e bibliotecas de objetos até o fornecimento de uma maneira de acumular ou detalhar dados para obter as informações que atendem às suas necessidades. Esta classificação extrai de outros sistemas existentes em uso para formar a base de suas tabelas sempre que possível -

MasterFormat™ para resultados de trabalho, UniFormat™ para elementos e EPIC (Electronic Product Information Cooperation) para produtos.

Ainda segundo a própria OmniClass™, esta foi projetada para fornecer uma base padronizada para classificar as informações criadas e usadas pela indústria norte-americana de arquitetura, engenharia e construção (AEC), durante todo o ciclo de vida da instalação, desde a concepção até a demolição ou reutilização e abrangendo todos os diferentes tipos de construção que compõem o ambiente construído.

A OmniClass™ destina-se a ser o meio de organizar, classificar e recuperar informações e derivar aplicativos de computadores relacionais, consistindo em 15 tabelas hierárquicas, a qual cada uma representa um aspecto diferente da informação da construção. Cada tabela pode ser usada independentemente para classificar um tipo específico de informação, ou podem ser combinadas com outras tabelas para classificar assuntos mais complexos.

A ABNT NBR 15965, intitulada como Sistema de Classificação da Informação da Construção, está sendo desenvolvida utilizando a própria OmniClass™, a qual baseia-se na norma ISO 12006 “Building Construction - Organization of Information about Construction Works” (CATELANI e SANTOS, 2016). No entanto, devido a necessidade de adaptação desta norma para o contexto brasileiro, a Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/CEE-134) foi recrutada para fazer a devida análise e normatizar um sistema de classificação da informação de edificações específico para o Brasil. A ABNT NBR 15965 já teve algumas partes publicadas e o seu raciocínio segue o texto da própria OmniClass™. No entanto, a norma brasileira ainda se encontra incompleta com algumas tabelas a ser traduzidas em pendência. Segundo Silva e Amorim (2011), este sistema é considerado híbrido, mescla a classificação hierárquica e a facetada, misturando componentes e elementos de projetos a sistemas e conjuntos. Dessa forma, o mesmo entrega uma estrutura para base de dados que contribui para organização de bibliotecas de materiais e produtos alcançando até a organização dos projetos, compatibilização e simulações (MANZIONE, 2013).

## 2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) DE EDIFICAÇÕES

A Avaliação do Ciclo de Vida – em inglês, *Life Cycle Assessment* (LCA), é normatizada internacionalmente na Europa pela EN 15804 e também pelas ISO 14040 e ISO 14044. Dessa forma, no Brasil estas últimas duas foram traduzidas e nominadas, obviamente, como ABNT NBR ISO 14040 e ABNT NBR ISO 14044. Países europeus contam com uma norma específica EN 15978 que visa aplicar conceitos de sustentabilidade no setor da construção, padronizando análises de performance ambiental em edificações.

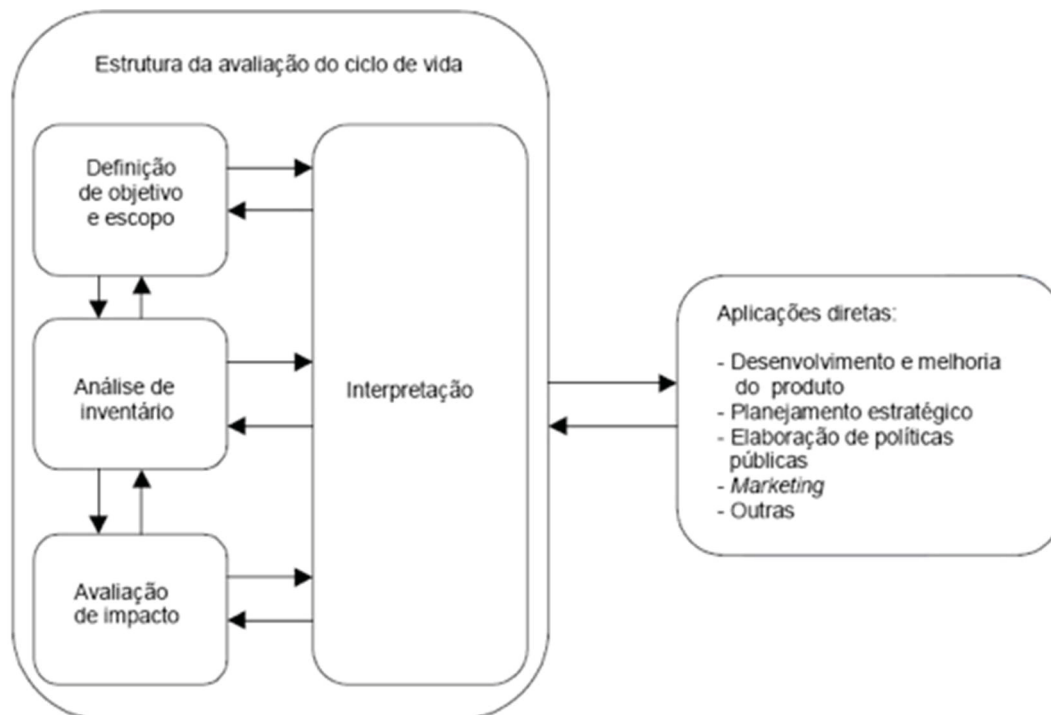
Segundo a ISO 14040:2006 a estrutura do estudo ACV deve ser composta por quatro etapas: i) definição de objetivo e escopo; ii) análise de inventário; iii) avaliação de impacto; e, iv) interpretação. No parágrafo abaixo estão descritas cada uma dessas fases.

A definição do escopo de uma ACV, incluindo a limitação do sistema e nível de detalhe, depende do tema abordado e da intenção de utilizar o estudo. A complexidade e a amplitude de um estudo deste nível diferenciam-se dependendo do objetivo particular de cada ACV. A fase de análise de Inventário de Ciclo de Vida (fase ICV) é a segunda etapa do estudo. É um inventário de entrada/saída de dados relacionado ao sistema em estudo. O próximo passo trata-se da fase de Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV), a qual possui o propósito de fornecer informações adicionais para avaliar os resultados do ICV de um sistema de produto contribuindo com um melhor entendimento da significância ambiental do estudo. Por final, segundo a ISO 14040:2006, deve ser realizada a interpretação do ciclo de vida, ou seja, os resultados de ICV e/ou AICV são resumidos e discutidos formando uma base para conclusões, recomendações e tomada de decisões de acordo com o objetivo e escopo definido.

Baseado neste mesmo escopo, o ILCD Handbook (EUROPEAN COMMISSION, 2010) propôs o esquema apresentado na FIGURA 9 que inclui aplicações diretas ao final do estudo de ACV, sugerindo: identificar oportunidades de melhorar o desempenho dos materiais durante as várias fases do seu ciclo de vida; aconselhar as indústrias, o governo, ou outras organizações no que pode ser aperfeiçoado nos processos de produção; selecionar

indicadores relevantes de desempenho ambiental; marketing; entre outros. O ILCD Handbook possui métricas de orientação genéricas para execução de ACV que são aplicáveis em diferentes contextos e setores (CAPARELLI et al., 2015).

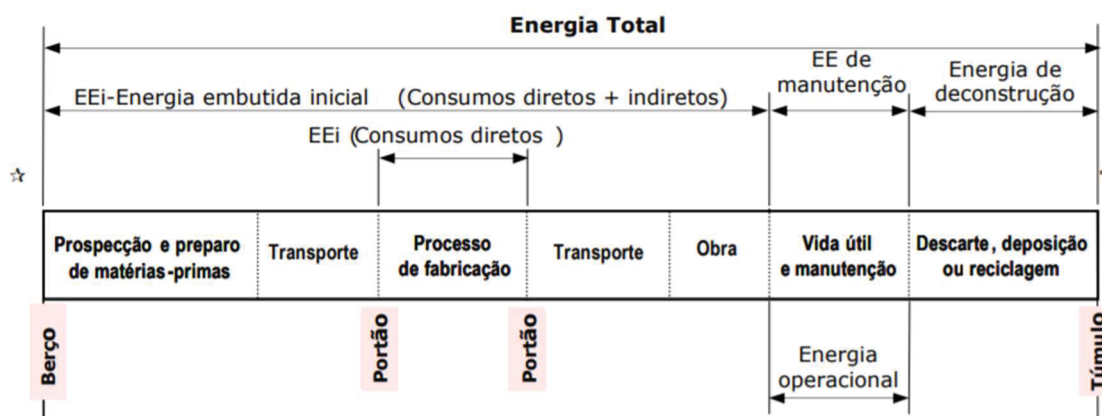
FIGURA 9 – DIRETRIZES PARA A ACV



Fonte: EUROPEAN COMMISSION (2010). Baseado na ISO 14040:2006.

Tavares (2006) sintetiza as etapas frequentemente citadas em uma divisão básica, acrescentando as nomenclaturas usuais dos consumos energéticos por cada fase do ciclo de vida da edificação (FIGURA 10). Difere-se as etapas do ciclo de vida da edificação em três pontos: berço, portão e túmulo.

FIGURA 10 – CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DE UMA EDIFICAÇÃO



Fonte: Tavares (2006).

Najjar et al. (2017) em um contexto mais atual também divide a ACV de edificações em três fases principais, conforme mostra a FIGURA 11: pré-construção (*pre-building*); construção (*building*); e, pós-construção (*post-building*). Cada uma destas fases aborda diferentes atividades e a relevância da energia apresentada é classificada de acordo com a natureza de cada fase.

A coluna da direita na FIGURA 11 destaca o consumo de energia de edificações durante seu ciclo de vida em cinco principais estágios. O primeiro destes é caracterizado como energia incorporada, é a fase de extração e fabricação de matéria-prima. O estágio seguinte é o da energia cinza e refere-se a fase de transporte de materiais do local de produção à construção. O terceiro e quarto estágio indicam a energia de fato utilizada em fases de construção e operação. Nestas duas fases os tipos de energia são conhecidos, respectivamente, como energia induzida e energia operacional. Por último, no estágio final apresenta-se a energia utilizada para demolição, reciclagem, reuso ou reutilização, denominada por Najjar et al. (2017) como energia de descarte, conectada com a fase de final da vida da edificação ou, utilizando conceitos de economia circular, vincula-se com a fase inicial de um novo ciclo.

FIGURA 11 – FASES DO CICLO DE VIDA E CONSUMOS DE ENERGIA RELEVANTES

<b>Fase do Ciclo de Vida</b>	<b>Atividades</b>	<b>Energia Relevante na Fase</b>
Pré-Construção	Extração de insumos, manufatura, empacotamento e transporte até o canteiro.	Energia Incorporada: É a energia consumida na extração e manufatura de materiais de construção. Energia Cinza: É a energia consumida para transportar materiais de construção da fábrica ao canteiro de obras.
Construção	Construção, instalação, operação e manutenção	Energia Induzida: É a energia consumida na etapa de construção e instalação da edificação. Energia Operacional: É a energia consumida durante a operação da edificação.
Pós-Construção	Demolição, Reciclagem e/ou Reuso	Energia de Descarte: É a energia consumida na demolição e descarte da edificação.

Fonte: Najjar et al. (2017). Traduzido pela Autora.

De acordo com Trusty e Horst (2005), existem três níveis de técnicas para obtenção do ACV em edificações: i) Nível 1: Técnicas tipo *Building Material and Components Combination* (combinação de materiais e componentes de construção) concentram-se em produtos individuais ou conjuntos simples,

comumente utilizadas para comparar os produtos com base em critérios ambientais e/ou econômicos, principalmente na fase de detalhamento do projeto; ii) Nível 2: são técnicas do tipo *Whole Process of Construction* (processo completo de construção) que levam em consideração completos conjuntos de construção ou elementos. Normalmente, essas técnicas se concentram em uma área de interesse, como a energia operacional, iluminação e os impactos ambientais do ciclo de vida. As técnicas deste nível são geralmente aplicadas em todo o processo de concepção (projeto conceitual e fases detalhamento de projeto); e iii) Nível 3: são técnicas de avaliação mais abrangentes que incorporam uma ampla gama de aspectos ambientais, econômicos e sociais da sustentabilidade. (JRADE; ABDULLA, 2012).

A aplicação do método de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) contribui com o desenvolvimento de bibliotecas de dados por meio de informações geradas nos Inventários de Ciclo de Vida (ICV), como a TABELA 3 de Tavares e Bragança (2016) que estudou materiais de construção utilizados comumente em edificações brasileiras, assim como internacionalmente tem-se a Ecoinvent, GaBi, Athena, ICE Bath, Ökobaudat, entre outras citadas no QUADRO 5 presente no Capítulo 3 deste trabalho. Estes bancos são geralmente adaptados com especificações de acordo com a região, fonte energética, clima do local e etc., mas apresentam dados muitas vezes genéricos. Ressalta-se que no Brasil, atualmente, está sendo desenvolvido o Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida (SICV).

TABELA 3 – ÍNDICES DE ENERGIA E CO<sub>2</sub> EMBUTIDOS NOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO TÍPICOS BRASILEIROS

MATERIAIS	EE (MJ/kg)	kgCO <sub>2</sub> / kg
AÇO E FERRO	35,0	2,73
ALUMÍNIO	155,0	10,19
AREIA	0,5	0,03
ARGAMASSA <sup>(1)</sup>	2,1	0,34
CAL	3,0	0,87
CERÂMICA REVEST.	3,0	0,29
CERÂMICA VERM.	5,0	0,17
CHAPA DE COMPENSADO	8,0	0,41
CIMENTO	4,5	0,79
COBRE	75,0	3,95
CONCRETO <sup>(2)</sup>	1,2	0,12
FIBROCIMENTO <sup>(3)</sup>	6,0	0,72
IMPERMEABILIZANTES	90,0	5,50
MADEIRA <sup>(4)</sup>	2,0	0,11
PAPEL	20,0	1,54
PEDRA	1,5	0,10
PLÁSTICOS	80,0	5,02
TINTAS <sup>(5)</sup>	75,0	3,57
VIDRO	18,5	0,99
OUTROS MATERIAIS <sup>(6)</sup>	50,0	2,58

- 1) Traço 1 : 2 : 8 Cimento, Cal Hidratada, Areia
- 2) Percentual de cimento 12%
- 3) Para 70% de cimento
- 4) Madeira maciça para batentes e esquadrias
- 5) 1Kg de produto; rendimento médio 3,33 m<sup>2</sup> (duas demãos)
- 6) Segundo BEN 2015 (EPE, 2015)

Fonte: Tavares e Bragança (2016).

## 2.2.1 Declarações e Rótulos/Etiquetas Ambientais

Segundo a NP EN ISO 14020:2005 – Rótulos e declarações ambientais

– Princípios gerais, existem três tipos de rótulos/declarações ambientais:

- Declarações ambientais do Tipo I: Rótulos/Etiquetas ambientais
- Declarações ambientais do Tipo II: Auto declarações
- Declarações ambientais do Tipo III: Declarações Ambientais de Produtos (DAP; Environmental Product Declaration – EPD)

### 2.2.1.1 Declarações Ambientais de Produtos (DAP)

Visando uma prática assídua de ACV pelos fornecedores de matérias, a norma Europeia EN 15804, assim como a ISO 14025 padronizam o

desenvolvimento de Declarações Ambientais de Produtos (DAP), em inglês *Environmental Product Declarations* (EPD), aplicadas às edificações e ao setor da construção no geral. Além da ISO 14025, o Sistema Internacional EPD® adere aos seguintes padrões internacionais: ISO 9001, Sistemas de gestão da qualidade; ISO 14001, sistemas de gestão ambiental; ISO 14040, ACV - Princípios e procedimentos; e, ISO 14044, ACV - Requisitos e diretrizes.

Pode-se conceituar DAP como declarações dos impactos ambientais associados a uma marca específica ou a média de um grupo de produtos (TRUSTY, 2011). O sistema internacional EPD® desenvolve Regras de Categoria de Produto (*Product Category Rules*, PCR) para avaliação de desempenho ambiental e, conseqüentemente, para declaração desta por uma DAP. Para materiais de construção, o PCR visa o cumprimento das normas europeias EN 15804 (Sustentabilidade das obras de construção - Declarações de produtos ambientais - Regras fundamentais para a categoria de produtos de construção) e EN 15978 (Sustentabilidade das obras de construção - Avaliação do desempenho ambiental dos edifícios - Método de cálculo).

Segundo o *Green Building Council* Brasil, o processo de criação de uma DAP pode ser basicamente dividido nas seguintes etapas padrões: i) Pesquisar e considerar RCP (Regra de Categoria de Produtos) disponível; ii) Se necessário, criar novo RCP; iii) Conduzir e verificar a ACV; iv) Criar a DAP; v) Verificação da DAP; e, vi) Registrar a DAP. Por ser relativamente recentes as normatizações de DAP, não há um número suficiente de declarações já desenvolvidas, o que relativamente acaba restringindo a aplicação deste método para contabilização de impactos ambientais de edificações.

Os potenciais impactos ambientais (TABELA 4) devem ser calculados e reportados na DAP de acordo com a EN 15804. Assim como o uso de recursos do inventário do ciclo de vida (exceto água e ar) devem ser relatados por unidade funcional (TABELA 5).

A prática obrigatória de DAP no mercado facilitaria a padronização e automatização de simulações de impactos ambientais. Os dados, além de mais precisos, deveriam ser publicados para toda sociedade e a responsabilidade de desenvolver as DAP seriam das próprias fornecedoras. Uma vez que as padronizações internacionais já visualizam o uso de DAP na concepção de projeto e na escolha dos materiais, cedo ou tarde, as Declarações Ambiental de

Produtos eliminarão os problemas de requisitos de ACV orientados para produtos genéricos (TRUSTY, 2011). Além disso, internacionalmente, já se trabalha na normatização da ISO/WD 22057 que basicamente visa padronizar o uso de DAP em níveis de construções utilizando ferramenta BIM.

TABELA 4 – INDICADORES DE IMPACTOS

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>
Depleção de recursos abióticos		
- Elementos	Potencial de depleção abiótica (ADP elementos) para recursos não fósseis	kg Sb equiv.
- Combustíveis fósseis	Potencial de depleção abiótica (ADP combustíveis-fósseis) para recursos fósseis	MJ, valor calorífico líquido
Acidificação para solo e água		
	Potencial de acidificação do solo e da água, AP	kg SO <sub>2</sub> equiv <sup>3</sup>
Depleção de ozônio		
	Potencial de esgotamento da camada de ozônio estratosférico, OPD	kg CFC 11 equiv.
Aquecimento global		
	Potencial de aquecimento global, GWP	kg CO <sub>2</sub> equiv.
Eutrofização		
	Potencial de eutrofização, EP	kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> equiv.
Criação de ozônio fotoquímico		
	Potencial de formação do ozono troposférico, POCP	kg Ethene C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> equiv.

Fonte: Product Category Rules (2018). Traduzido pela Autora.

TABELA 5 – INDICADORES PARA USO DE RECURSOS

<b>Categoria de Impacto Ambiental</b>	<b>Unidade</b>
Utilização de energia primária renovável excluindo os recursos energéticos primários utilizados como matéria-prima	MJ, valor calorífico líquido
Utilização de recursos energéticos primários renováveis utilizados como matéria-prima	MJ, valor calorífico líquido
Utilização de energia primária não renovável excluindo os recursos energéticos primários utilizados como matéria-prima	MJ, valor calorífico líquido
Utilização de recursos energéticos primários não renováveis utilizados como matéria-prima	MJ, valor calorífico líquido
Uso de material secundário	MJ, valor calorífico líquido
Uso de combustíveis secundários renováveis	kg
Utilização de combustíveis secundários não renováveis	MJ, valor calorífico líquido
Uso de água doce líquida	m <sup>3</sup>

Fonte: Product Category Rules (2018). Traduzido pela Autora.

### 2.2.1.2 Etiquetas Ambientais

Um critério específico presente no programa de etiquetagem britânico BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) tem o objetivo de reconhecer e impulsionar o uso de ferramentas robustas e apropriadas de Avaliação do Ciclo de Vida e, conseqüentemente, a especificação de materiais de construção com baixo impacto ambiental (incluindo carbono incorporado) durante todo o ciclo de vida do edifício (ORTIZ, CASTELLS e SONNEMANN, 2009). Em contrapartida, segundo Athena Sustainable Materials Institute (2014), o programa LEED v4 requer que os

projetos estrutural e arquitetônico sofram melhorias de no mínimo 10% de redução de ao menos três categorias de impactos dentro da lista abaixo:

- Potencial de aquecimento global (gases de efeito estufa), em kg de CO<sub>2eq</sub>;
- Deterioração da camada de ozônio estratosférico, em kg CFC<sup>-11</sup>;
- Acidificação de terras e fontes de água, em moles H + ou kg SO<sub>2</sub>;
- Eutrofização, em kg de nitrogênio ou kg de fosfato;
- Formação de ozônio troposférico, em kg NO<sub>x</sub>, kg O<sub>3</sub> eq ou kg de eteno;
- Consumo de recursos energéticos não renováveis, em MJ.

A TABELA 6 apresenta uma comparação entre requisitos de conformidade que relacionam uma nova proposta de edificação com a de referência, considerando quatro diferentes programas de certificação ambiental: i) LEED v4; ii) Green Globes 2013®; iii) AQUA-HQE; iv) IgCC 2012; e, v) CALGreen (ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE, 2014; AQUA-HQE, 2018). Dessa forma, é possível perceber que o indicador de potencial de aquecimento global (*Global warming potential*) refere-se ao impacto de carbono equivalente, assim como o parâmetro de energia - com variações de critérios de fontes energéticas – estão presentes em todos os programas citados.

No contexto nacional, foi criado o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) utilizados para os ensaios do Selo Procel proveniente do Inmetro (NOGUEIRA, 2015). No entanto, cabe ressaltar que o mesmo só considera avaliações energéticas com critérios de apenas aquecimento, bombeamento, climatização, desempenho térmico, eletrodomésticos, qualidade, iluminação e instalações elétricas. Dessa forma, o programa ignora os impactos embutidos originários dos materiais utilizados na edificação.

TABELA 6 - REQUISITOS DE CONFORMIDADE EM PROGRAMAS RELACIONANDO A EDIFICAÇÃO PROPOSTA COM A EDIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA

	LEED v4	Green Globes 2013®	AQUA-HQE	IgCC 2012	CALGreen 2010/2012
<b>Indicadores de impactos a serem quantificados</b>	Potencial de aquecimento global (GWP)				
	Potencial de acidificação (Atmosférica, terra e água)				
	Potencial de eutrofização (Poluição em fontes de água)				
	Potencial de depleção do ozônio estratosférico				
	Potencial de Neblina (Formação de ozônio fotoquímico/troposférico)				
	Energia primária não-renovável	Energia primária de combustível fóssil	Consumo de energia e água, resíduos sólidos e esgotamento de recursos.	Energia primária total	Energia primária de combustível fóssil
<b>Objetivo de melhoria</b>	Redução de no mínimo 10% para pelo menos 3 indicadores de impactos, e um destes deve ser de potencial de aquecimento global.	Redução de no mínimo 10% em pelo menos 3 indicadores de impactos, sendo um potencial de aquecimento global; ou, redução de no mínimo 15% em 2 indicadores, sendo um GWP; ou, redução de no mínimo 20% em GWP.	Conhecer os indicadores de impacto ambiental dos produtos de construção utilizados e optar pelos quais limitem os impactos ambientais, neutralizem o CO <sub>2</sub> e não pratiquem a informalidade na cadeia produtiva.	Redução de no mínimo 20% para no mínimo 3 indicadores de impactos, e um destes deve ser de potencial de aquecimento global.	Redução de no mínimo 10% para pelo menos 3 indicadores de impactos, e um destes deve ser de potencial de aquecimento global.
<b>Limite excedente</b>	Máximo de 5% de aumento para qualquer indicador de impacto.	Não mais do que um indicador de impacto pode aumentar.	Não citado	Não citado	Não citado
<b>Período de estudo</b>	Mínimo de 60 anos	Mínimo de 60 anos e máximo de 120 anos, ou aprovado por especialista.	Não citado	Não citado	Mínimo de 60 anos, a não ser que tenha aprovação da agência fiscalizadora.

Fonte: Athena Sustainable Materials Institute (2014) e AQUA-HQE (2018).  
Adaptado pela Autora.

### 2.3 INTEGRAÇÃO BIM-ACV

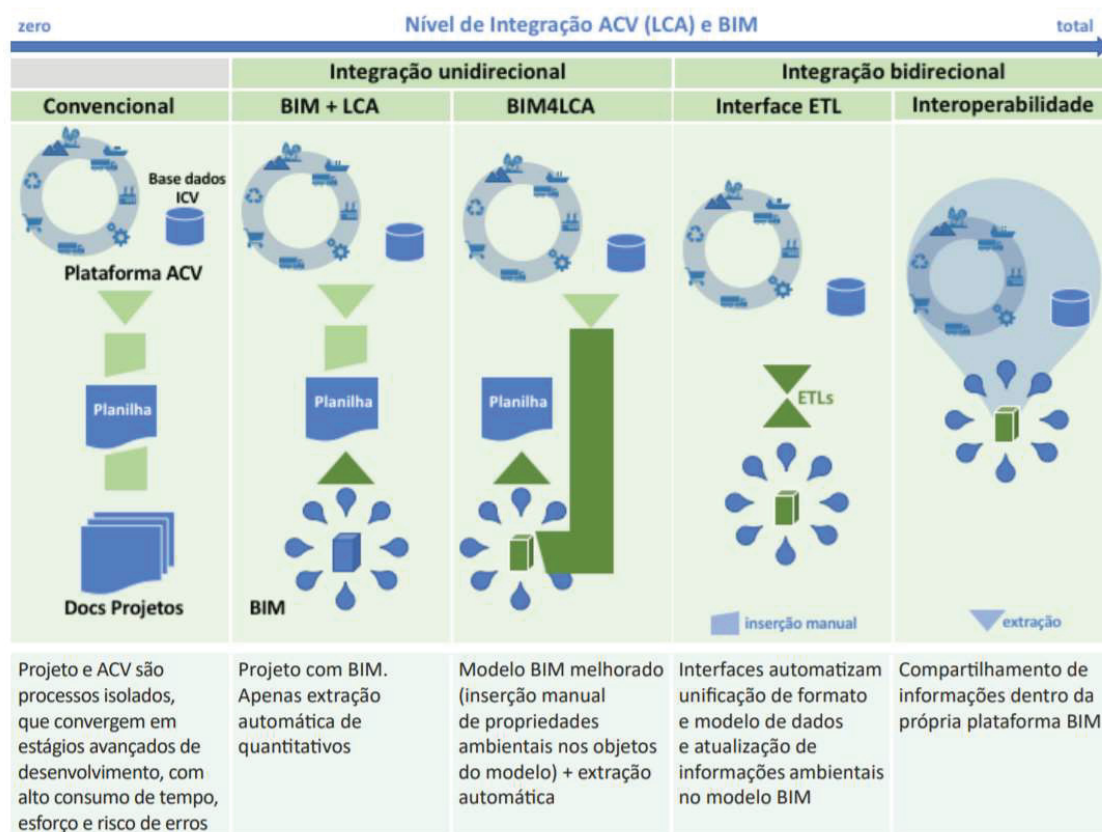
Problemas de interoperabilidade para gerenciamento de dados BIM em análises de sustentabilidade estão ainda presentes nos processos atuais. Visando reduzir quantidade de tempo demandada, esforço e riscos causados por entrada manual de dados BIM em ferramentas de ACV, alguns esquemas que automatizem o sistema BIM-ACV facilitariam para o profissional investigar materiais alternativos e arquitetura determinando como cada um afetaria na energia e carbono incorporado (SHADRAM et al., 2018).

Gomes e Barros (2018) apresentam uma organização para medir o nível de integração entre ferramentas BIM e ACV (FIGURA 12). A primeira classificada como convencional (nível zero), seria a geração de relatórios utilização apenas ferramentas ACV com o apoio de planilhas. Em seguida, apresenta-se as integrações unidirecionais (BIM+ACV e BIM4ACV), estas contemplam o uso de *software* BIM para extração de quantitativos, no entanto, a inserção e conexão dos dados são feitas manualmente, uma solução utilizando planilhas de apoio e outra inserindo os dados de impactos ambientais dentro do próprio *software* de modelagem. Por fim, são explicadas as integrações de nível bidirecional. Conforme Shadram et al. (2018) o uso de ferramentas de ETL (*Extract Transform Load*) é uma possível solução para garantir a integração com interoperabilidade BIM-ACV, uma vez que apresenta considerável potencial de estimar rapidamente impactos ambientais, viabilizando que informações geradas por meio de simulações contribuam para melhorias nas especificações de materiais e/ou fornecedores durante a concepção do empreendimento. O nível mais avançado seria a utilização de recursos de programação do tipo API (*Application Programming Interface*) ou *plug-ins* executados dentro da própria ferramenta de modelagem BIM, como a tally®.

Outra solução para quantificar impactos de sustentabilidade em edificações seria utilizar DAPs para modelagens que apresentam um LoD 350 no mínimo. No contexto internacional, visto o potencial desta conexão, está sendo desenvolvida a ISO/WD 22057 que permite o uso de Declarações Ambientais do Produto (DAP) em nível de obras utilizando a Modelagem da Informações da Construção (BIM). No entanto, atualmente ainda a quantidade de dados genéricos médios de ACV são incomparavelmente mais abundantes

que EPDs, cabendo ainda a exploração da integração com interoperabilidade BIM-ACV. (DUPUIS et al., 2017; GOMES e BARROS, 2018; SHADRAM et al., 2018).

FIGURA 12 – ESTÁGIOS DE INTEGRAÇÃO ENTRE BIM E ACV



Fonte: Gomes e Barros (2018)

### 3 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

A Revisão Sistemática de Literatura (RSL) apresentada neste capítulo trata-se sobre a interoperabilidade de ferramentas BIM e Avaliação do Ciclo de Vida de Edificações. Esta RSL, inicialmente escrita na língua inglesa, contou com a colaboração outros dois colegas, Mestres em Engenharia da Construção Civil pelo PPGECC da UFPR: Aline Araújo e Diogo de Bem.

Ressalta-se que esta RSL foi estruturada como um esquema teórico-prático constituído por estudos que desenvolveram artefatos próximos ao contexto do problema e das questões de pesquisa apresentados anteriormente.

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Segundo Asdrubali et al. (2013), Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método completo que avalia a sustentabilidade de uma edificação, ou de um produto qualquer, durante o seu ciclo de vida. A ACV é um método que analisa todas as fases de um produto e os processos relacionados com o mesmo. Em cada fase do ciclo de vida de um produto, toda as entradas e saídas de energia, materiais, processos e emissões de gases do efeito estufa são considerados. Na indústria da AEC, esta avaliação representa os efeitos resultantes da construção no ambiente, considerando os impactos desde a extração do material, transporte, concepção da edificação, até finalmente a disposição dos materiais no ambiente ou a reciclagem/reuso/reutilização dos mesmos, sendo que este último da sequência a um novo ciclo.

Kulahcioglu et al. (2012) define que o desempenho ambiental de uma edificação deve ser avaliado durante a fase de projeto, uma vez que é quando as mudanças podem ser executadas e assim, mitigar grandes impactos. Nesta fase, não somente o custo e a construtibilidade devem ser levadas em conta, mas também, pode-se analisar o impacto ambiental e criar soluções para reduzi-lo juntamente com os demais fatores. É exatamente na fase de projeto que o benefício da integração BIM-ACV tem maior potencial de reduzir os impactos ambientais.

Apesar do fato de que a integração BIM-ACV pode reduzir o tempo e melhorar a aplicação da análise ambiental, alguns desafios ainda precisam ser

superados. A correta aplicação de um método de ACV para avaliar os impactos ambientais do projeto pode ser prejudicado devido à falta de informações no banco de dados sobre os materiais ou devido a falha na interoperabilidade entre um software BIM e a ferramenta de ACV. (JRADE; JALAEI, 2013). Além disso, a ACV tende a ser extremamente demorada, especialmente devido a quantidade de informação necessária e as dificuldades de obtê-las corretamente (DIAZ e ANTON, 2014). No entanto, o uso de BIM para a aplicação da ACV pode reduzir de fato, consideravelmente, a necessidade de entradas de dados (SOUST-VERDAGUER et al., 2016).

Atualmente, a aplicação de BIM está fase de crescimento e diversas publicações já enfatizam os potenciais desta utilização para contribuir com o processo de tomada de decisão em termos de impactos ambientais (KREINER et al., 2015; MEDAS et al., 2015). Pode-se dizer que o BIM apresenta grande potencial de desenvolver projetos mais sustentáveis devido ao fato de que o mesmo é capaz de melhorar o fluxo de informação de um projeto, o que contribui para o alcance de uma melhor performance e qualidade final do empreendimento (ANTÓN; DIAZ, 2014).

Alguns estudos apresentam-se até mais complexos, uma vez que não utilizam o BIM apenas para escolha de materiais os quais foram produzidos com menos quantidade de energia e/ou emitiram menos CO<sub>2</sub>, mas também visam identificar e reduzir desperdícios (LIU et al., 2015) e até mesmo criar um plano de desconstrução sustentável (AKBARNEZHAD et al., 2012) envolvendo, por exemplo, conceitos de economia circular.

Existem algumas publicações na literatura que envolvem BIM integrado com ACV, no entanto, estudos que de fato desenvolvam e avaliem métodos de maneira prática são ainda raros. Dessa forma, este capítulo tem como propósito avaliar artefatos de integração desenvolvidos por diferentes autores que avaliem o ciclo de vida de uma edificação utilizando modelos BIM por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura. Para tanto, formulou-se a seguinte questão de pesquisa: Quais são os artefatos definidos na literatura que integram BIM e ACV? Além disso, o estudo não se limita a publicações que avaliaram o ciclo de vida de edificações por completo, e também inclui métodos que integram BIM apenas com análise de carbono incorporado, pegada de carbono e/ou consumo de energia.

### 3.2 CONDUÇÃO DA REVISÃO SISTEMÁTICA

Elaborar uma revisão de literatura é um requisito essencial para desenvolver uma pesquisa científica de qualidade (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). Dessa forma, com o objetivo de coletar informações e elaborar uma análise crítica de diversos estudos sobre o tema, como parte da estratégia de pesquisa foi optado por elaborar uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL).

Como parte do método escolhido para desenvolvimento desta RSL, termos de pesquisas foram definidos com o objetivo de encontrar resultados convenientes e eficazes que atendam o principal propósito da revisão. A estratégia foi baseada em não apenas procurar por termos relacionados com Avaliação do Ciclo de Vida com a Modelagem da Informação da Construção, mas também buscar por termos separados como pegada de carbono e energia incorporada integrados com BIM.

Três plataformas de base de dados foram utilizadas a fim de obter o maior número possível de publicações sobre o tema, sendo estas: *Google Scholar*, *Science Direct* e *Scopus*. Dessa forma, para otimizar a estratégia de pesquisa e selecionar estudos relacionados ao escopo, a busca por termos foi restrita nos títulos das publicações. Foram incluídos nesta revisão sistemática apenas estudos publicados entre o período de 2013 e 2017, em anais de conferências ou periódicos e redigidos na língua inglesa. O resultado desta primeira etapa está apresentado no QUADRO 1.

QUADRO 1 - TERMOS DE PESQUISA, PLATAFORMAS ELETRÔNICAS E PRIMEIROS RESULTADOS

Termos de pesquisa: apenas no título (2013 - 2017)	<i>Google Scholar</i>	<i>Science Direct</i>	<i>Scopus</i>	<b>TOTAL</b> *incluindo duplicados
BIM LCA	24	3	8	35
BIM CO <sub>2</sub>	6	1	3	10
BIM <i>Carbon</i>	25	3	15	43
BIM <i>Life Cycle</i>	57	6	26	89
BIM <i>Embodied Energy</i>	4	2	3	9
<i>Information Modeling Embodied Energy</i>	0	0	1	1
<i>Information Modeling LCA</i>	1	0	0	1
<i>Information Modeling Life Cycle</i>	18	6	17	41
<i>Information Modeling Carbon</i>	9	2	6	17
<i>Information Modeling CO2</i>	5	1	1	7
<b>TOTAL</b>	<b>94</b>	<b>17</b>	<b>54</b>	<b>253 artigos</b>

Fonte: A Autora com colaboração de Aline Araújo e Diogo de Bem.

Consequentemente, por meio dos resultados obtidos, publicações duplicadas que foram encontradas repetidamente nas diferentes bases de dados foram excluídas e mantidas apenas uma cópia. Em seguida, a primeira filtragem foi executada apenas lendo os títulos das publicações e analisando se estes encontravam-se dentro do contexto definido, no caso, não prescreviam artefatos englobando o sistema BIM-ACV. Neste momento, também foram excluídos os estudos que não estavam de acordo com os critérios definidos anteriormente. Por exemplo, publicações que não estivessem escritas na língua inglesa foram desconsideradas, assim como revisões de literatura, livros, dissertações e teses. Outros estudos que abordaram tecnologias obsoletas – como a ferramenta Ecotect – ou não focaram em sustentabilidade e ACV, trazendo como discussão principal temas como manutenção, custo, segurança, infraestrutura, performance e etc.

Além disso, em uma segunda filtragem, foi lido todos os resumos (*abstracts*) seguido de uma leitura dinâmica dos artigos por completo, utilizando os mesmos critérios para excluir estudos indesejáveis ou inapropriados, resultando 28 publicações a serem analisadas. Foram também incluídos manualmente 6 outros estudos que não foram encontrados por meio desta

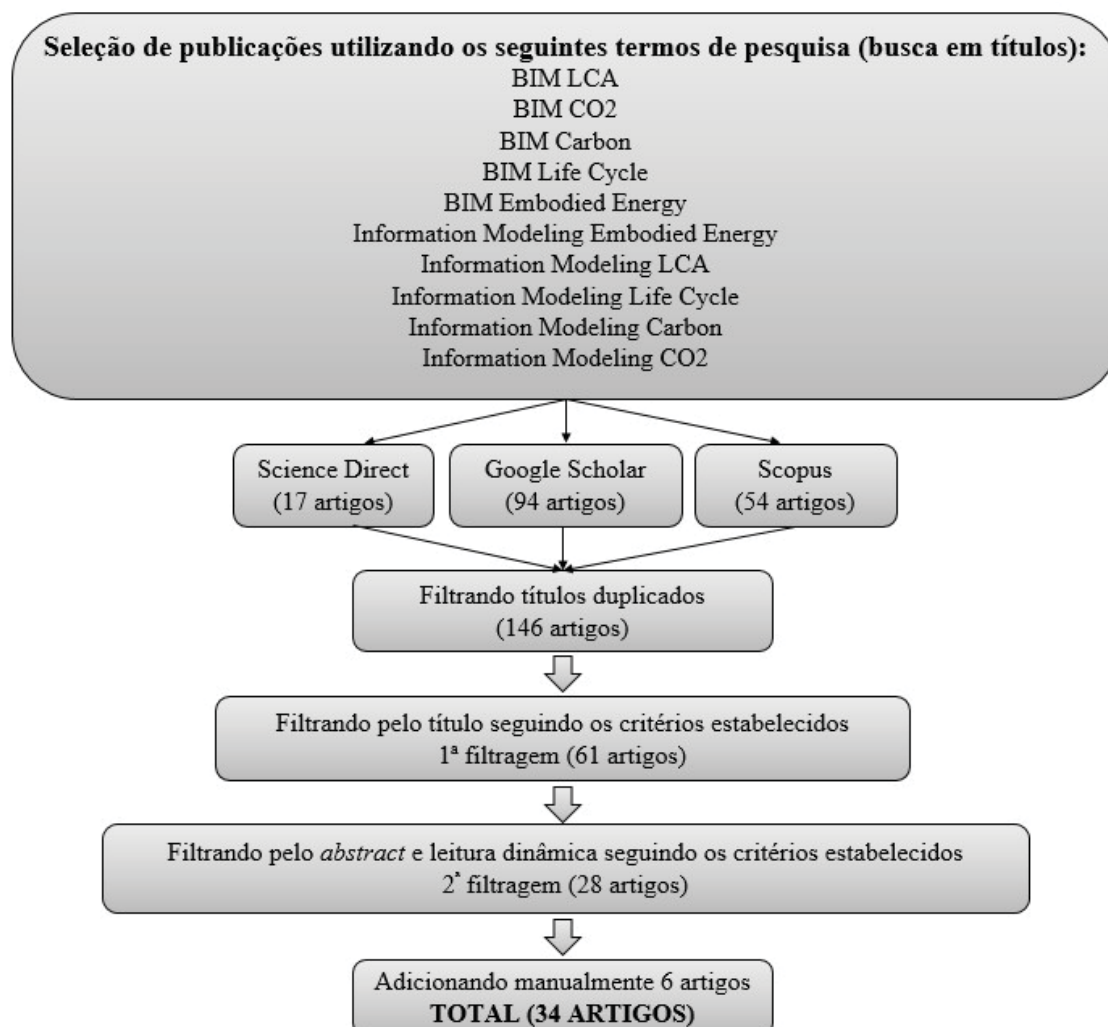
pesquisa sistemática, mas estavam presentes no trabalho de Araújo et al. (2017), resultando em um total de 34 artigos sobre o tema. Os resultados divididos em diferentes etapas estão apresentados no QUADRO 2. Os 34 artigos finais foram relidos e analisados se os mesmos realmente estavam enquadrados nos critérios estabelecidos nas primeiras etapas de filtragem. O fluxograma apresentado na FIGURA 13 representa a abordagem da pesquisa proposta para esta RSL.

QUADRO 2 - TERMOS DE PESQUISA, TOTAL DE PUBLICAÇÕES ENCONTRADAS EXCLUINDO DUPLICADAS, FILTRAGENS E TOTAL FINAL

Termos de pesquisa: apenas no título (2013 - 2017)	Excluindo duplicadas	1ª filtragem	2ª filtragem	TOTAL
BIM LCA	18	14	9	<b>34 artigos</b>
BIM CO <sub>2</sub>	3	3	3	
BIM <i>Carbon</i>	28	18	10	
BIM <i>Life Cycle</i>	57	15	3	
BIM <i>Embodied Energy</i>	2	2	1	
<i>Information Modeling Embodied Energy</i>	0	0	0	
<i>Information Modeling LCA</i>	1	0	0	
<i>Information Modeling Life Cycle</i>	26	6	1	
<i>Information Modeling Carbon</i>	8	3	1	
<i>Information Modeling CO<sub>2</sub></i>	3	0	0	
	146	61	28 + 6	

Fonte: A Autora com colaboração de Aline Araújo e Diogo de Bem.

FIGURA 13 – ABORDAGEM DE PESQUISA PARA A REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA



Fonte: A Autora com colaboração de Aline Araújo e Diogo de Bem.

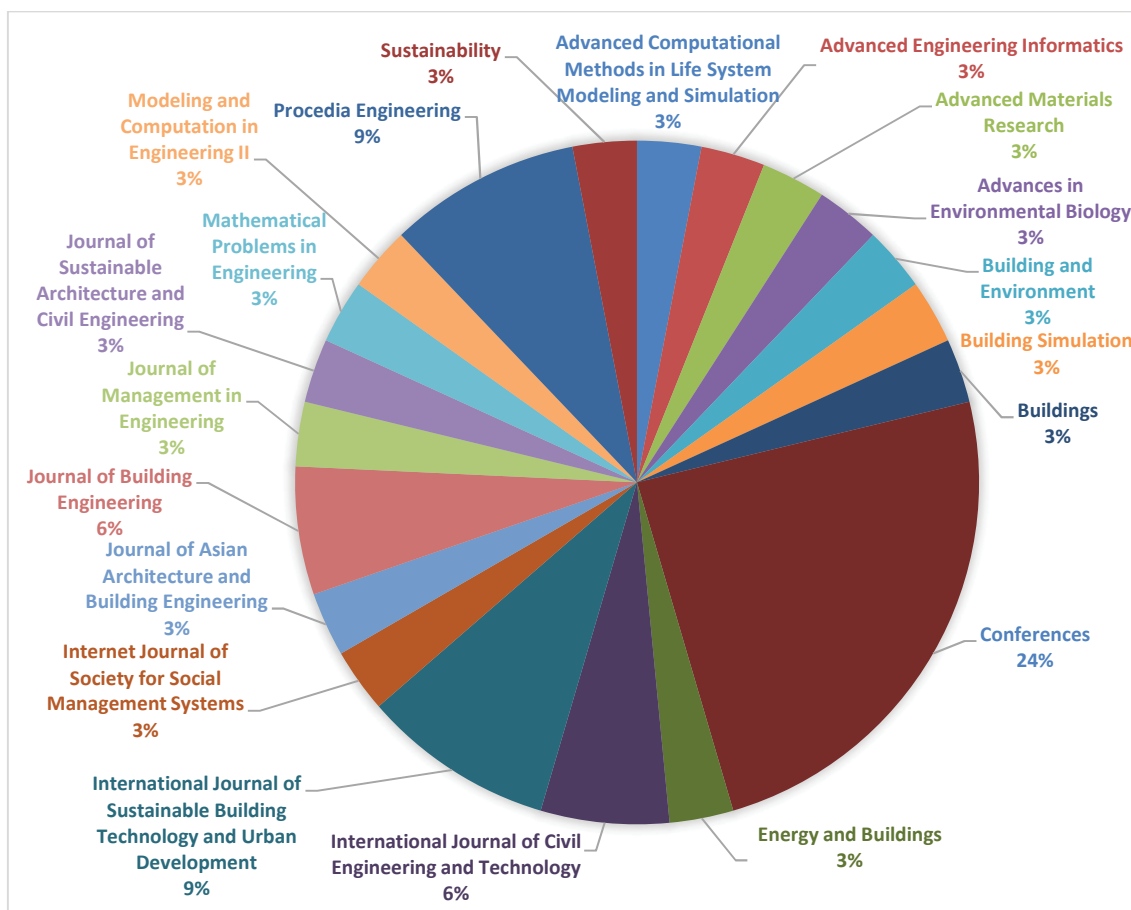
### 3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Uma análise bibliométrica das publicações científicas selecionadas é também incluída nesta RSL. De acordo com Araújo (2006) bibliometria é um método quantitativo e estatístico que mede índices de produção e disseminação de conhecimento. Baseando-se nesta definição, este estudo enumerou os países em que foram desenvolvidas as publicações selecionadas, identificando desta forma quais são os lugares que mais estudam sobre a integração BIM-ACV confirmando que o tema da análise é atual e relevante. Os periódicos que

tiveram os artigos publicados também foram identificados, assim como aqueles que foram apresentados em conferências, como mostra o GRÁFICO 2.

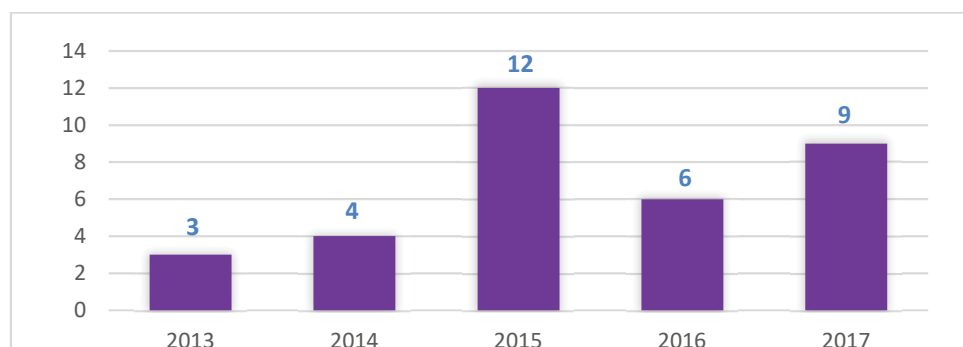
A quantidade de artigos que relacionam ferramentas de ACV utilizando BIM cresceu de 2013 para 2015. Como mostra o GRÁFICO 3, as publicações entre 2016 e 2017 representam, respectivamente, 18% e 26% dos estudos selecionados.

GRÁFICO 2 – PUBLICAÇÕES POR REVISTAS OU CONGRESSOS



Fonte: A Autora com colaboração de Aline Araújo e Diogo de Bem.

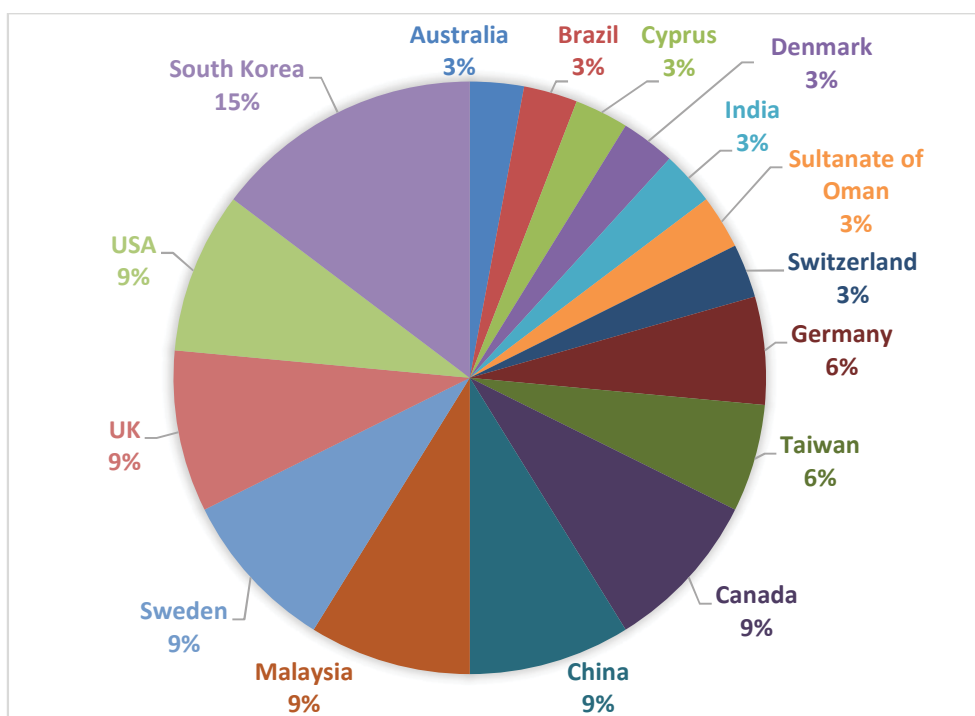
GRÁFICO 3 – PUBLICAÇÕES POR ANO



Fonte: A Autora com colaboração de Aline Araújo e Diogo de Bem.

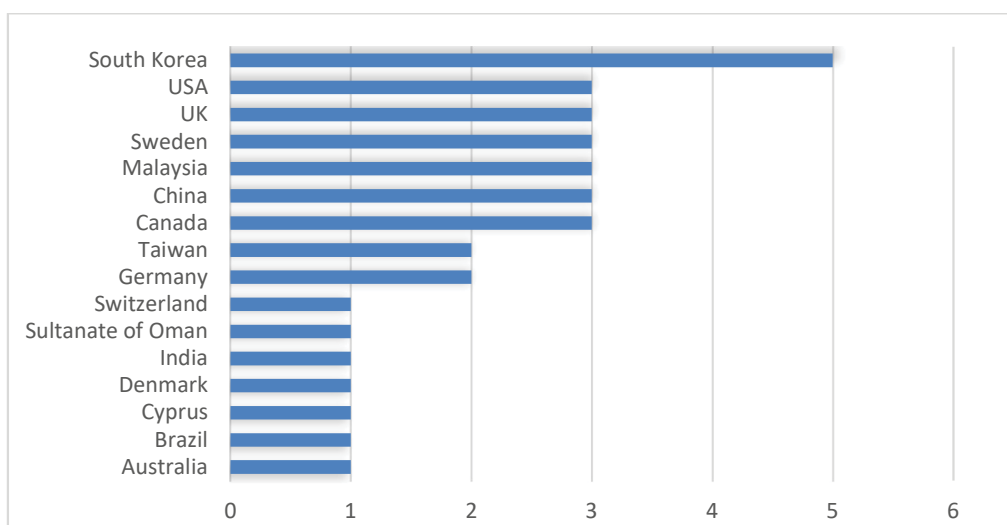
O GRÁFICO 4 e GRÁFICO 5 mostram os artigos selecionados foram publicados por 16 diferentes países. A Coreia do Sul foi o país com mais representatividade dentro da seleção de artigos, com 5 publicações sobre o tema. Estados Unidos, Suécia, Malásia, Reino Unido, China e Canadá contribuíram com 3 publicações cada. Entre os outros países que apresentaram uma ou duas publicações estão Taiwan, Alemanha, Suíça, Sultão de Omã, Índia, Dinamarca, Ciprus, Brasil e Austrália.

GRÁFICO 4 – PUBLICAÇÕES POR PAÍS



Fonte: A Autora com colaboração de Aline Araújo e Diogo de Bem.

GRÁFICO 5 – QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES POR PAÍS



Fonte: A Autora com colaboração de Aline Araújo e Diogo de Bem.

O QUADRO 3 apresenta as fases do ciclo de vida considerados em cada artigo, assim como o tipo de impacto analisado (ACV e/ou análise energética). É perceptível que 50% das publicações consideram a análise da fase de construção, 44% consideram a operação, 30% o reparo e manutenção e apenas 23% a fase de demolição. Nenhum dos artigos considerou em sua análise de emissão de carbono e consumo de energia as atividades durante planejamento e projeto da edificação. Durante esta análise, a maioria dos artigos encontrados (74%) estudaram os impactos dos materiais utilizados, enquanto apenas 26% consideraram os impactos de transporte de tais materiais até a fábrica e/ou canteiro de obra do empreendimento. A análise de carbono foi o impacto mais avaliado na vasta maioria dos documentos (23 dos 34 artigos). Apenas 11 destes executaram a análise energética efetivamente.

QUADRO 3 – FASES DO CICLO DE VIDA E IMPACTOS ANALISADOS PELOS ARTEFATOS (CONTINUA)

PUBLICAÇÃO	PRÉ-CONSTRUÇÃO		CONSTRUÇÃO E USO				PÓS-CONSTRUÇÃO		IMPACTOS		
	MATERIAIS	TRANSPORTE	CONSTRUÇÃO	OPERAÇÃO	REPARO E MANUTENÇÃO	DEMOLIÇÃO / FIM DE VIDA	CONSTRUÇÃO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUÇÃO	
Schultz et al (2016)	x		x		x					x	
Lu, Chen et al (2015)	x			x						x	
Yang and Wang (2013)	x	x		x						x	
Shadram et al (2016)	x	x	x	x						x	x
Shadram, Lu and Olofsson (2017)		x	x							x	x
Santos and Costa (2016)	x		x	x				x		x	x
Jun, Lim and Kim (2015)			x							x	
Chen and Li (2014)	x			x				x		x	
Oh and Na (2017)			x	x				x		x	x
Shafiq et al. (2015)	x	x	x							x	
Hollberg et al. (2017)	x		x							x	
Lee et al. (2015)	x										
Gardezi et al.(2014)	x		x							x	
Akbarnezhad and Nadoushani (2014)	x									x	x
Won and Cheng (2016)	x	x	x	x						x	
Tae and Lee (2015)											
Díaz, Alvarez-Anton and Reitschmidt (2016)	x		x								
Abanda, Oti and Tah (2017)	x	x	x							x	x
Najjar et al. (2017)	x		x	x						x	x



De outra forma, o QUADRO 4 lista as ferramentas de software utilizadas no desenvolvimento da modelagem BIM em cada publicação. Quase todas utilizaram o Revit® como *software* responsável pelo modelo 3D parametrizado junto com o Excel para os cálculos de consumo de energia e emissão de CO<sub>2</sub>. Apenas onze artigos utilizaram um software específico para cálculo e dez um simulador de energia. Os Inventários de Ciclo de Vida (ICV) e bancos de dados utilizados para as análises também variam consideravelmente entre as publicações, como mostra o QUADRO 5.

QUADRO 4 – FERRAMENTAS UTILIZADAS NOS ARTEFATOS (CONTINUA)

CITAÇÃO	Software BIM		Software LCA - Calculator				Energy Simulator Software				Complementar	
	Revit	Outro	Athena	Gabi	Tally	Outros	Green Building Studio	eQuest	Revit Energy Analysis	Outros	Excel	Outro
Schultz et al (2016)	x		x		x						x	
Lu, Chen et al(2015)	x											
Yang and Wang (2013)	x									x	x	
Shadram et al (2016)	x										x	x
Shadram, Lu and Olofsson (2017)	x										x	
Santos and Costa (2016)	x				x				x			
Jun, Lim and Kim (2015)	x										x	
Chen and Li (2014)	x							x			x	
Oh and Na. (2017)		x										
Shafiq et al. (2015)	x										x	
Hollberg et al. (2017)												
Lee et al. (2015)												
Gardezi et al.(2014)	x											
Akbarnezhad and Nadoushani (2014)		x										x
Won and Cheng (2016)										x		
Tae and Lee (2015)	x											
Díaz, Alvarez-Anton and Reitschmidt (2016)												
Abanda, Oti and Tah (2017)	x											x
Najjar et al. (2017)	x									x		



QUADRO 5 – BASE DE DADOS DE AICV UTILIZADAS NOS ARTEFATOS

Citação	AICV e Base de dados
Schultz et al (2016)	Base de dados Tally e Athena
Lu, Chen et al. (2015)	Não especificado
Yang e Wang (2013)	Chinese Data + Ecoinvent + Ökobau.dat
Shadram et al (2016)	Base de dados internacional (Norwegian e German)
Shadram, Lu e Olofsson (2017)	Não especificado
Santos e Costa (2016)	Base de dados GaBi e Tally
Jun, Lim e Kim (2015)	Base de dados Korean
Chen e Li (2014)	Não especificado
Oh e Na (2017)	Criado pelo autor (Baseado no Korean Statistics)
Shafiq et al. (2015)	Inventário de carbono e energia de Geoff Hammond
Hollberg et al. (2017)	Ökobau.dat
Lee et al. (2015)	Não especificado
Gardezi et al. (2014)	ICE da Bath University
Akbarnezhad and Nadoushani (2014)	Não especificado
Won and Cheng (2016)	Não especificado
Tae and Lee (2015)	Não especificado
Díaz, Alvarez-Anton and Reitschmidt (2016)	Ökobau.dat
Abanda, Oti and Tah (2017)	ICE da Bath University
Najjar et al. (2017)	Base de dados de Inventário
Kylili et al. (2015)	Base de dados Gabi
Anton and Díaz (2014)	Não utilizou
Ajayi et al., (2015)	Não especificado
Xiaoxing, Qiming e Dezhi, L. (2017)	Inventário IPCC greenhouse gas
Dupuis et al. (2017)	Não especificado
Shafiq et al.. (2015)	ICE da Bath University
Chowdary e Gunarani (2017)	Não especificado
Tsikos, Negendahl e Kristoffer (2017)	Base de dados de material externo
Mousa, Luo e McCabe B. (2016)	Não especificado
Basbagill et al. (2013)	Não especificado
Krantz et al. (2015)	Não especificado
Shin e Cho (2015)	Não especificado
Oti e Tizani (2015)	Não especificado
Jrade e Jalaei (2013)	Base de dados externa
Inyim, Rivera e Zhu (2015)	Base de dados SimulEIcon

Fonte: A Autora com colaboração de Aline Araújo e Diogo de Bem.

### 3.4 DISCUSSÃO

É vantajoso relacionar banco de dados de impactos com BIM para elaborar avaliações durante a fase de projeto, emissões de gases do efeito estufa proveniente dos materiais de construção e consumo de energia. É possível prever impactos ambientais em diferentes fases de ciclo de vida de edificações (pré-construção, construção, operação, manutenção e demolição/reciclagem). Modelagem da Informação da Construção apresenta oportunidades para incorporar indicadores de desempenho ambiental durante o processo de projeto do empreendimento. No entanto, existe uma certa deficiência na interoperabilidade de BIM com ferramentas de ACV convencionalmente utilizadas. Visando resolver esse obstáculo, todas publicações selecionadas nesta RSL desenvolveram ou demonstraram algum método para integrar BIM e ACV com uma abordagem específica e criativa. A maioria dos métodos analisados envolvem diversas ferramentas que atuam de maneira complementar afim de desenvolver análises ambientais. Algumas dessas abordagens e considerações significantes são evidenciadas no parágrafo a seguir.

Shadram *et al.* (2016) propõem um esquema que permite elaborar análises de energia incorporada associada com a cadeia de suprimentos de materiais de construção baseadas em Declarações Ambientais de Produto (DAPs), em inglês, *Environmental Product Declarations* (EPDs). O esquema utiliza uma tecnologia de “Extração Transformação Carregamento”, em inglês, *Extract Transform Load* (ETL), que serve para processar e integrar BIM e dados de EPD através de avaliação, automatizando o controle das distâncias entre fornecedores e o local de construção, assim como os quantitativos provenientes do modelo BIM. Dessa forma, algumas percepções puderam ser evidenciadas tratando-se de energia incorporada, as quais podem ser utilizadas na fase de projeto durante a seleção de materiais. O uso de materiais locais não necessariamente reduz impactos incorporados, e é importante considerar ambas, distância dos materiais transportados e o modal de transporte quando analisar o impacto total. Esse estudo também enfatizou a carência de um formato padronizado propriamente para DAPs, por exemplo em um arquivo em XML e/ou IFC, e como pode limitar a armazenagem automática de novas DAPs no banco de dados.

Schultz *et al.* (2016) comparou o plugin Tally da Autodesk com o Athena Impact Estimator, dessa forma foi descoberto que existem algumas discrepâncias

entre os dois na entrada e saída de informações ambientais. Na verdade, ambas ferramentas possuem grande potencial que contribui para que arquitetos e engenheiros, os quais não possuem conhecimento fundamentado em ACV, tomem decisões sustentáveis durante o desenvolvimento do projeto. Entretanto, para uma análise detalhada, um conhecimento mais profundo é necessário, assim como melhoria na interface destas ferramentas.

Santos e Costa (2016) também concordam que o plugin Tally produz apenas uma análise rápida e aproximada dos impactos ambientais provenientes de uma edificação. De acordo com os autores, este plugin apesar de identificar os elementos do Revit presentes no projeto, não reconhece as informações dos objetos, uma vez que funciona utilizando o banco de dados GaBi. Dessa forma, o usuário deve manualmente adicionar toda a informação depois de projetar a arquitetura e digitar as soluções dentro do Revit.

Shadram *et al.* (2017) propuseram um esquema para estimar os impactos ambientais durante a fase de construção, no entanto, ao invés de calcular o impacto incorporado em materiais de construção – como a maioria dos métodos fazem – o estudo conscientemente avaliou o impacto no canteiro de obras. Neste estudo, o BIM foi integrado junto com uma Simulação de Eventos Discretos, em inglês, *Discrete Event Simulation* (DES), em ordem de simular a cadeia de suprimentos da construção considerando interações dinâmicas entre as tarefas e recursos, assim fornece informações consistentes referente a hora de manuseio de cada equipamento, o que pode ser aplicado alinhado com dados de ACV.

Um projeto modelado em BIM contém muitas informações de elementos em diferentes de Nível de Detalhamento, ou em inglês, *Level of Detail* (LOD) durante todas as etapas de projeto. Dupuis *et al.* (2017) apresentou um método que produz cálculos de ACV automaticamente, dentro de um modelo criado baseando-se no primeiro nível de desenvolvimento (LOD 100), assim colaborando para atualizações fáceis de cálculo através de uma evolução de um modelo BIM. No entanto, os pesquisadores afirmam que isto aplicado em modelo ideal de BIM, as informações dos elementos devem estar pelo menos em LOD 350 para os resultados de ACV serem precisos. De acordo com Lee *et al.* (2015), um *green template* baseado em modelagem de uma edificação deve ser implementado no mínimo em LOD 300 ou um nível mais detalhado. O nível de detalhamento refere-se à maturidade da informação

relacionada as propriedades de elementos e materiais utilizados, assim como seus respectivos volumes.

Abanda et al. (2017) desenvolveu um sistema que automatiza a computação de energia incorporada e CO<sub>2</sub> de casas e alinha os resultados com padrões de medição do Reino Unido. Os modelos computacionais existentes baseados em matrizes propostas em padrões Britânicos foram mapeados por códigos XML, os quais foram carregados no Navisworks, e exportados para uma planilha que pode ser importada em um sistema. Este sistema faz interconexão com o Revit, trazendo automaticamente quantidades e volumes dos componentes de edificações. O sistema possui em seu *core* uma base de dados integrada com informações de densidade, energia incorporada e concentrações de CO<sub>2</sub> adaptado do Bath ICE para computar quantidades em quilograma de energia incorporada e CO<sub>2</sub>.

É muito importante para vários pesquisadores preocupados com o desenvolvimento e melhoria de métodos BIM-ACV, no entanto, muitos fatores podem afetar a validade destes esquemas desenvolvidos. De acordo com Tsikos e Negendahl (2017), um dos fatores incluem a precisão do modelo BIM, da extração de quantitativos e do banco de dados. Na pesquisa de Basbagill's (2013) e outros, a validação do método é limitado a casos de estudos únicos que envolvem detalhes particulares como tipologia da edificação, tamanho, localização e geometria. Assim, aplicações adicionais de estudos de casos são necessárias para conseguir validar e concluir sobre o desempenho destes métodos.

De acordo com Jrade e Jalei (2013), além da falta de interoperabilidade entre o projeto e as ferramentas de análises, existem outras razões pelas quais quantificar impactos ambientais de edificações é ainda tão difícil: a escassez de informação sobre materiais mais sustentáveis em base de dados. Enquanto alguns autores também sugerem outras discussões, até mesmo de cunho comercial. A maioria das ferramentas de ACV possuem seu próprio banco de dados, ou usam alguns já consolidados assim como inventários de ciclo de vida. Banco de dados de impactos ambientais são calculados principalmente a partir de processos da América do Norte e Europa ou baseados em valores médios da indústria, o que impossibilita muitas vezes a avaliação de diferenças nos impactos de específicos materiais entre diferentes fornecedores ou localizações. Assim como a pesquisa de Yang, Wang e Xie (2013) aponta que não existem padronizações e *benchmarks* para impactos ambientais do ciclo de vida de edificações na China, este mesmo problema também

ocorre ao redor de todo planeta. Entre tanto, existe um grande potencial em desenvolver ferramentas do tipo BIM-ACV como produzir uma interface amigável para o usuário, completar as bases de dados de impactos de materiais e componentes de construção e configurar *benchmarks* para diferentes tipos de edificações de acordo com padrões nacionais e locais de cada país.

Além da falta de interoperabilidade, existe uma escassez de pesquisa e desenvolvimento na indústria da construção. Anton e Diaz (2014) defendem que existe uma vasta variedade de *stakeholders* com diferentes características envolvidas na indústria da construção, e isso pode adiar padronizações na indústria e dificultar a implementação de mudanças. Algumas vezes os *stakeholders* da indústria da construção não estão a par da importância de considerar impactos ambientais entre critérios de projetos em estágios iniciais e muitas vezes eles se recusam a implementar este passo devido ao esforço necessário para tal.

Muitas publicações utilizaram um esquema criativo para importar o modelo BIM para um software de análise energética em ordem de calcular consumo de energia e emissões nas fases de operação e manutenção, mas poucos estudos estavam preocupados com as fases de demolição e fim da vida de edificações.

### 3.5 CONCLUSÃO

Levando em consideração os países que publicaram artigos sobre o assunto, pode-se interpretar que o assunto está presente em todos os 5 continentes, exceto a África. Se comparado com os outros continentes, a Ásia e a Europa tiveram mais estudos desenvolvidos. Além disso, 76% dos 34 artigos selecionados foram publicados em periódicos, enquanto os demais foram apresentados em congressos. A quantidade de publicações que relacionam métodos de calcular um ACV utilizando BIM aumentou de 2013 para 2015, comprovando a que o tema de pesquisa é atual e relevante.

Além disso, os resultados desta pesquisa mostram que a vasta maioria de publicações sobre ACV e análise energética nos últimos 5 anos apenas utilizam Revit como a ferramenta de modelagem BIM e o Excel para formular os cálculos necessários e arquivar a base de dados. Não muitas ferramentas específicas e *plugin* de Análise Ciclo de Vida foram de fato utilizadas, fazendo com que os métodos acabem sendo improdutivos. Um dos principais motivos para utilizar BIM é

automatizar cálculos e processos. Exportar dados de uma planilha de Excel toda vez que é necessário fazer uma simulação pode consumir bastante tempo. Utilizar *plugins* ou *software* que possuem essa relação direta com uma ferramenta BIM pode economizar tempo e contribuir para escolha da melhor solução em uma maneira mais assertiva.

Não existe nenhum consenso sobre a base de dados utilizada em cada publicação analisada, até mesmo em artigos provenientes do mesmo país. Dados de carbono e energia de cada produto são algo individual e regional, até porque a matriz energética é específica para cada país e até mesmo cidade. Dessa forma, para fazer uma análise apropriada de pegada de carbono e energia consumida de uma construção é interessante possuir dados assertivos e atualizados.

## 4 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta uma introdução à teoria da *Design Science Research* (DSR) com uma consequente sistematização da estratégia de pesquisa adotada, assim como detalha os procedimentos referentes as etapas desta estratégia.

### 4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A Ciência do Artificial ou, em inglês, *Design Science Research* (DSR) é motivada pelo desejo de melhorar o ambiente pela introdução de artefatos novos e inovadores e pelos processos de criação dos mesmos (SIMON, 1996). Trabalhos que se enquadram neste tipo de estratégia visam prescrever artefatos de alto rigor e relevância com propostas que possam ser aplicadas na indústria e utilizadas por diversos gestores e profissionais envolvidos, de maneira que se transforme em um produto ou serviço útil para a sociedade (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

Para classificar este trabalho como *Design Science* foi utilizado como base os conceitos apresentados por Lacerda et al. (2013) sobre pesquisas orientadas para a prescrição de um artefato. As características, crenças básicas e categorias deste paradigma estão expostas nas TABELA 7, TABELA 8 e TABELA 9, respectivamente, e podem ser consideradas genéricas para estudos que tem como objetivo a criação de soluções tecnológicas.

TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS DA *DESIGN SCIENCE*

<b>Característica</b>	<b>Programa de Pesquisa Orientado para a Descrição</b>
Paradigma Dominante	<i>Design Science</i> / Ciência do Artificial
Foco	Na solução
Perspectiva	Participativa
Lógica	Intervenção para alcançar um resultado
Típica Questão de Pesquisa	Soluções alternativas para uma classe de problemas
Típico Produto de Pesquisa	Regra tecnológica testada e fundamentada
Natureza do Produto de Pesquisa	Heurística
Justificação	Saturação por evidências
Tipo de Teoria Resultante	Teoria Gerencial

Fonte: Lacerda et al. (2013, p. 745 e 746), com base em Van Aken (2004, p. 236), Manson (2006, p. 168) e Romme (2003, p. 559). Adaptado pela Autora.

TABELA 8 – CONCEITOS DA *DESIGN SCIENCE*

<b>Conceitos</b>	<b><i>Design Science</i></b>
Ontologia	Múltiplas alternativas, situadas de forma contextualizada em diferentes ambientes reais. Habilidades sociotecnologicamente.
Epistemologia	Conhecimento gerado a partir das decisões tomadas: construção objetivamente limitada dentro de um determinado contexto. Definições feitas de forma iterativa revelam o sentido ( <i>meaning</i> ) da realidade.
Metodologia	Medir os impactos dos artefatos no sistema como um todo.
Axiologia	Controle; criação; progresso (melhoria, por exemplo); compreensão/entendimento.

Fonte: Lacerda et al. (2013, p. 745 e 746), com base em Van Aken (2004, p. 236), Manson (2006, p. 168) e Romme (2003, p. 559). Adaptado pela Autora.

TABELA 9 – CATEGORIAS DA *DESIGN SCIENCE*

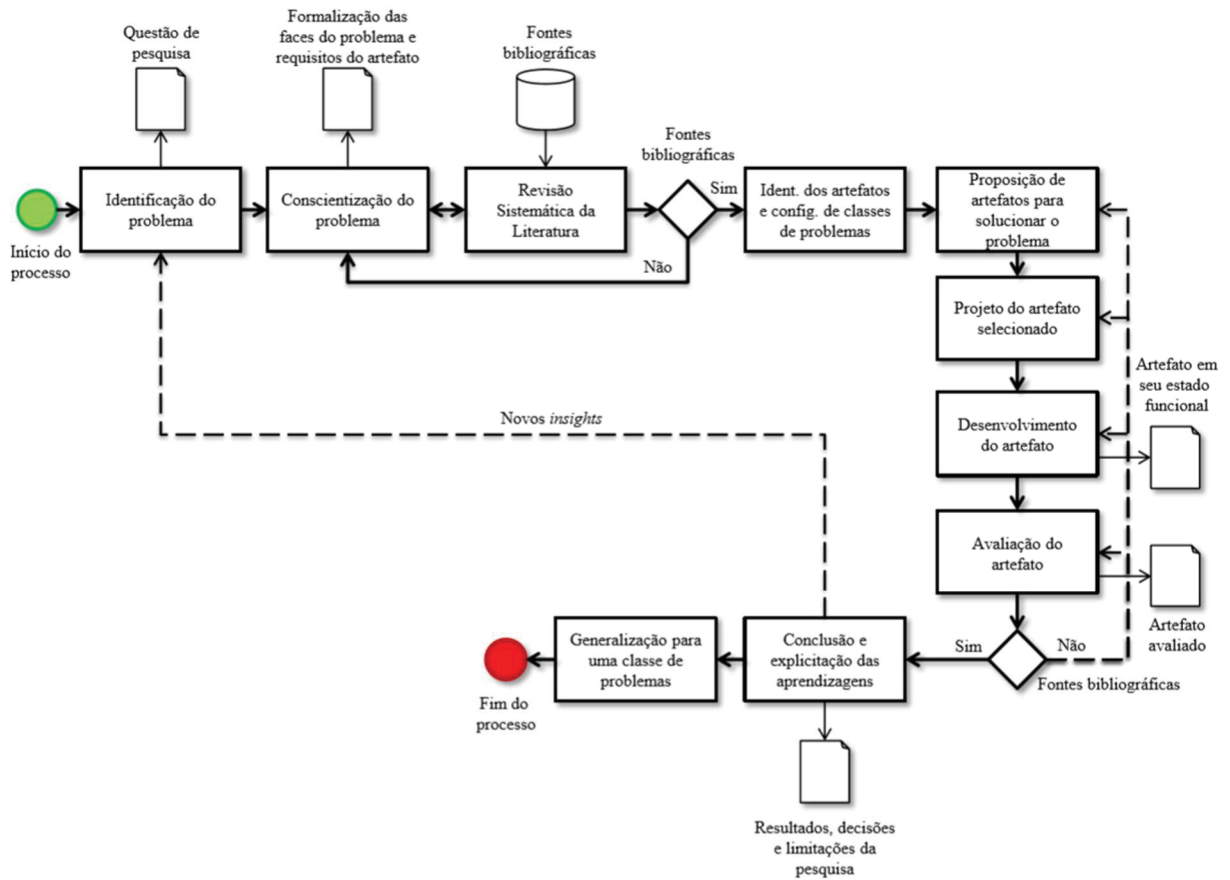
<b>Categorias</b>	<b><i>Design Science</i></b>
Propósito	Produzir sistemas que ainda não existem – isto é, mudar sistemas organizacionais e situações já existentes para alcançar melhores resultados.
Modelo	Design e engenharia (por exemplo, arquitetura, engenharia aeronáutica, ciências da computação)
Visão do Conhecimento	Pragmática: conhecimento a serviço da ação; a natureza do pensamento é normativa e sintética. Mais especificamente, o design assume que cada situação é única e se inspira em propostas e soluções ideais, pensamento sistêmico, e informações limitadas. Além disso, enfatiza a participação, o discurso como um meio de intervenção, e a experimentação pragmática
Natureza dos Objetos	Questões organizacionais e sistemas como objetos artificiais com propriedades mal definidas, tanto descritivas como imperativas, exigindo intervenções não rotineiras por parte de agentes com posições internas na organização. Propriedades imperativas também se desdobram de fins e de sistemas idealizados de maneira mais ampla.
Foco do Desenvolvimento da Teoria	Será que um dado conjunto integrado de proposições de projeto funciona em uma certa situação (problema) mal definida? O projeto e desenvolvimento de novos artefatos tendem a se mover para fora das fronteiras da definição inicial da situação.

Fonte: Lacerda et al. (2013, p. 745 e 746), com base em Van Aken (2004, p. 236), Manson (2006, p. 168) e Romme (2003, p. 559). Adaptado pela Autora.

## 4.2 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS PROPOSTAS

Nas subseções a seguir, são apresentadas as características de cada etapa proposta para este trabalho que foram formuladas com base nos conceitos delimitados em Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), como mostra a FIGURA 14. Apresenta-se também as saídas e os pontos (TABELA 10) que devem estar explícitos ao longo das etapas de condução de uma DSR de acordo com Manson (2006) e adaptado por Lacerda et. al (2013).

FIGURA 14 – ETAPAS PARA PRESCRIÇÃO DE UM ARTEFATO



Fonte: Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015). Adaptado por Machado (2018).

TABELA 10 - PONTOS A EXPLICITAR AO LONGO DAS ETAPAS DE CONDUÇÃO DE UMA DSR

Etapa de Condução	Saídas da DSR	Pontos a Explicitar
Conscientização	Proposta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evidenciar a situação problemática</li> <li>Explicitar o ambiente externo e seus principais pontos de interação com o artefato</li> <li>Explicitar as métricas e os critérios para a aceitação da solução do artefato (quando não for possível a obtenção de uma solução ótima)</li> <li>Explicitar os atores que se interessam pelo artefato</li> <li>Explicitar as Classes de Problemas, os artefatos existentes e suas limitações</li> </ul>
Sugestão	Tentativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Explicitar as premissas e requisitos para a construção do artefato</li> <li>Registrar todas as tentativas de desenvolvimento do artefato</li> <li>Registrar as razões que fundamentaram a exclusão da tentativa de artefato do Desenvolvimento</li> <li>Verificar possíveis implicações éticas da aplicação do artefato</li> </ul>
Desenvolvimento	Artefato	<ul style="list-style-type: none"> <li>Justificar a escolha das ferramentas para o desenvolvimento do artefato</li> <li>Explicitar os componentes do artefato e as relações causais que geram o efeito desejado para que o artefato realize seus objetivos</li> <li>Explicitar as formas pelas quais o artefato pode ser testado</li> </ul>
Avaliação	Medidas de Desempenho	<ul style="list-style-type: none"> <li>Explicitar, em detalhes, os mecanismos de avaliação do artefato</li> <li>Evidenciar os resultados do artefato em relação às métricas inicialmente projetadas</li> <li>No caso de avaliações qualitativas do artefato, explicitar as partes envolvidas e as limitações de viés</li> <li>Evidenciar o que funcionou como o previsto e os ajustes necessários no artefato</li> </ul>
Conclusão	Resultados	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sintetizar as principais aprendizagens em todas as fases do projeto</li> <li>Justificar a contribuição do trabalho para a Classe de Problemas em questão</li> </ul>

FONTE: Elaborado por Lacerda et. al (2013), a partir de Manson (2006).

#### 4.2.1 Identificação e Conscientização do Problema

O problema de pesquisa identificado no desenvolver primeiro capítulo deste trabalho e pode ser expressado por meio da seguinte questão de pesquisa: “Como realizar a integração BIM-ACV visando automatizar o processo e subsidiar tomadas de decisão de projeto a partir da escolha de materiais e produtos mais sustentáveis reduzindo os impactos ambientais provenientes de edificações?”. Além da questão de pesquisa formulada, uma fundamentação teórica sobre os pontos destacados que envolvem a integração de BIM e ACV foi apresentada no Capítulo 2 deste documento.

#### 4.2.2 Revisão Sistemática de Literatura

Elaborar uma revisão de literatura é um requisito essencial para desenvolver uma pesquisa científica de qualidade (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). Dessa forma, com o objetivo de coletar informações e elaborar uma análise crítica de diversos estudos sobre o tema, como parte da estratégia de pesquisa se optou por elaborar uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL). Na TABELA 11 está descrito o protocolo para revisões sistemáticas de acordo com Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015).

TABELA 11 – PROTOCOLO DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE BIM-ACV

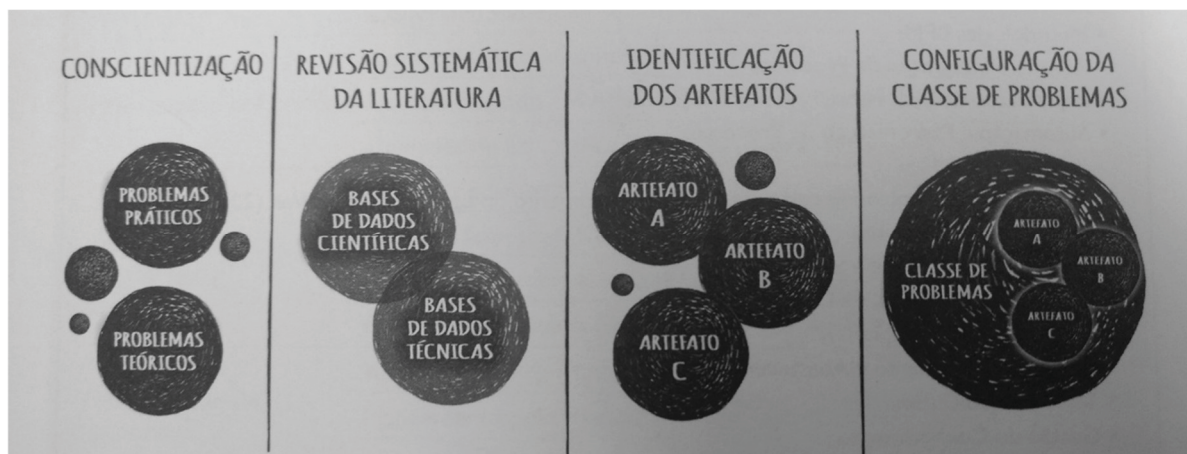
<i>Framework</i> conceitual	Avaliar artefatos de integração desenvolvidos por diferentes autores que avaliem o ciclo de vida de uma edificação utilizando modelos BIM			
Contexto: Mundial	Horizonte: 2013-2017		Idiomas: Inglês	
Questão de revisão	Quais são os artefatos definidos na literatura que integram BIM e ACV?			
Estratégia de revisão	Configurativa			
Critérios de busca	Inclusão	Estudos que prescreveram artefatos englobando um sistema BIM-ACV		
	Exclusão	Revisões de literatura, livros, dissertações e teses. Estudos que abordaram tecnologias obsoletas, ou que não tiveram como foco principal sustentabilidade e ACV.		
Termos de busca	BIM LCA BIM Embodied Energy Information Modeling LCA Information Modeling Carbon	BIM CO <sub>2</sub>	BIM Carbon Information Modeling Information Modeling Life Cycle Information Modeling CO <sub>2</sub>	BIM Life Cycle Embodied Energy Information Modeling Life Cycle
Fontes de busca	Base de dados: <i>Science Direct</i> e <i>Scopus</i> Internet: Google Scholar			

Fonte: Elaborado pela Autora, a partir de Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015).

#### 4.2.3 Identificação de Artefatos e Configuração de Classes de Problemas

Esta etapa da pesquisa foi sistematizada de acordo com a lógica baseada em Lacerda et al. (2013) e elaborada por Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), conforme mostra a FIGURA 15. Inicialmente é feita a conscientização dos problemas práticos e teóricos, para então formular a Revisão Sistemática de Literatura. Em seguida, os artefatos encontrados na literatura foram identificados e analisados, afim de estruturar as classes de problemas que os envolvem. Os resultados dessa etapa estão apresentados no Capítulo 2, subseção 2.1.3.

FIGURA 15 – LÓGICA PARA CONFIGURAÇÃO DA CLASSE DE PROBLEMAS



Fonte: Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015).

Como resultado da Revisão Sistemática de Literatura, foram configuradas seis classes de problemas que envolvem a integração BIM-ACV. Para mapeamento destas classes, foram analisadas quais fases do ciclo de vida da edificação foram abordados pelos autores. Vale destacar que alguns estudos englobaram somente análise energética, outros apenas de emissão de  $CO_{2eq}$ , assim como houve a avaliação de ambos impactos. Este critério não foi avaliado afim de simplificação das classes de problemas.

Baseando-se na FIGURA 11, apresentada na seção 2.2, foram classificados os conceitos de energia para cada fase do ciclo de vida. Como diversos estudos desenvolveram artefatos analisando mais do que uma fase do ciclo de vida, esses encontram-se classificados duas vezes ou mais no

QUADRO 6 que apresenta as seis classes de problemas mapeadas, as quais visam solucionar problemas por meio da integração BIM-ACV.

QUADRO 6 – CLASSES DE PROBLEMAS

Classe de Problemas		Referências que apresentaram artefatos relacionados com as classes de problemas
Impactos analisados	Fase do Ciclo de Vida	
Energia e/ou Carbono <b>Incorporado</b> em Edificações	Materiais (extração de recursos e/ou produção)	Schultz et al (2016); Lu, Chen et al (2015); Yang and Wang (2013); Shadram et al (2016); Santos and Costa (2016); Chen and Li (2014); Shafiq et al. (2015); Hollberg et al. (2017); Lee et al. (2015); Gardezi et al. (2014); Akbarnezhad and Nadoushani (2014); Won and Cheng (2016); Díaz, Alvarez-Anton and Reitschmidt (2016); Abanda, Oti and Tah (2017); Najjar et al. (2017); Kylili et al. (2015); Ajayi et al., (2015); Xiaoxing, Qiming and Dezhi, L. (2017); Shafiq et al.. (2015); Tsikos, Negendahl and Kristoffer (2017); Basbagill et al. (2013); Krantz et al. (2015); Shin and Cho (2015); Jrade and Jalaei (2013); Inyim, Rivera and Zhu (2015); Tae and Lee (2015); Anton and Díaz (2014).
Energia e/ou Carbono <b>Cinza</b> em Edificações	Transporte	Yang and Wang (2013); Shadram et al (2016); Shadram, Lu and Olofsson (2017); Santos and Costa (2016); Shafiq et al. (2015); Won and Cheng (2016); Abanda, Oti and Tah (2017); Ajayi et al., (2015); Krantz et al. (2015); Shin and Cho (2015).
Energia e/ou Carbono <b>Induzido</b> em Edificações	Construção	Schultz et al (2016); Shadram et al (2016); Shadram, Lu and Olofsson (2017); Santos and Costa (2016); Jun, Lim and Kim (2015); Oh and Na (2017); Shafiq et al. (2015); Hollberg et al. (2017); Gardezi et al. (2014); Won and Cheng (2016); Díaz, Alvarez-Anton and Reitschmidt (2016); Abanda, Oti and Tah (2017); Najjar et al. (2017); Kylili et al. (2015); Ajayi et al., (2015); Krantz et al. (2015); Shin and Cho (2015).
Energia e/ou Carbono <b>Operacional</b> em Edificações	Operação	Lu, Chen et al (2015); Yang and Wang (2013); Shadram et al (2016); Santos and Costa (2016); Chen and Li (2014); Oh and Na (2017); Won and Cheng (2016); Najjar et al. (2017); Kylili et al. (2015); Ajayi et al., (2015); Xiaoxing, Qiming and Dezhi, L. (2017); Chowdary and Gunarani (2017); Mousa, Luo and McCabe B. (2016); Basbagill et al. (2013); Shin and Cho (2015).
Energia e/ou Carbono de <b>Manutenção</b> em Edificações	Reparo e Manutenção	Yang and Wang (2013); Santos and Costa (2016); Chen and Li (2014); Oh and Na (2017); Kylili et al. (2015); Ajayi et al., (2015); Tsikos, Negendahl and Kristoffer (2017); Basbagill et al. (2013); Shin and Cho (2015).
Energia e/ou Carbono de <b>Descarte</b> em Edificações	Demolição ou Final de Vida	Oh and Na (2017); Akbarnezhad and Nadoushani (2014); Najjar et al. (2017); Kylili et al. (2015); Ajayi et al., (2015); Tsikos, Negendahl and Kristoffer (2017); Shin and Cho (2015).

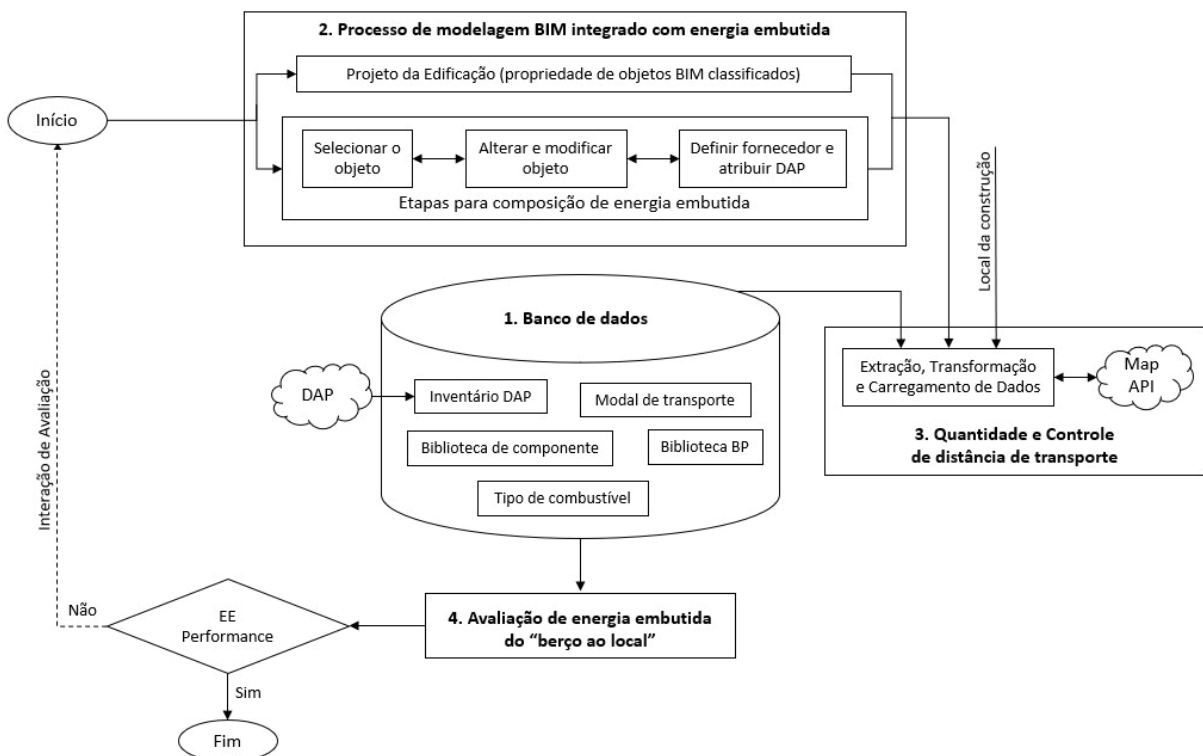
Fonte: A Autora.

#### 4.2.4 Proposição do Artefato para Solução do Problema

Para March e Smith (1995), os artefatos podem ser classificados em quatro diferentes tipos: **Constructos**, artefato teórico que delinea problemas dentro de um domínio e especificar suas respectivas soluções, deve ser definido termos aplicado na descrição e na compreensão das tarefas; **Modelos**, conjunto de hipóteses ou afirmações que represente as relações entre constructos, o qual deve ser apresentado por meio de uma definição ou representação de uma configuração ou estrutura real; **Métodos**, conjunto de passos utilizados para executar tarefas, baseiam-se nos constructos e modelos elaborados para determinada solução; **Instanciação**, aplicação de um ou diversos artefatos (constructo, modelo e/ou método) em um determinado contexto prático, afim de comprovar viabilidade e eficácia.

Considerando a realidade da pesquisa e seu contexto de atuação, é proposto um método fundamentado na identificação de artefatos, estruturação de classes de problemas e apresentações de soluções existentes encontradas por meio da RSL. Dessa forma, o artefato prescrito nesta pesquisa foi fundamentado no *framework* (FIGURA 16) proposto por Shadram et al. (2016).

FIGURA 16 – FRAMEWORK UTILIZADO COMO BASE PARA PRESCRIÇÃO DO ARTEFATO



Fonte: Shadram et al. (2016). Traduzido pela Autora.

#### 4.2.5 Projeto, Desenvolvimento e Avaliação do Artefato Selecionado

Neste trabalho é prescrito um artefato do tipo método que define uma estrutura de avaliação dos impactos ambientais e uso de recursos energéticos associados à cadeia de suprimentos de materiais. O estudo envolve o impacto da cadeia de fornecimento de materiais com base em DAP dos fornecedores e outros provenientes de bases de dados de ICV, sendo esta executada em formato *cradle-to-site* (berço ao local).

Como apresentado na FIGURA 14, presente neste capítulo no item 4.2, o desenvolvimento do artefato é interativo. Dessa forma, primeiramente havia sido proposto um esquema que utilizaria uma ferramenta de ETL - Extração, Transformação e Carga (em inglês *Extract, Transform and Load*) - integrada ao processo BIM-ACV visando facilitar e automatizar a avaliação. Para melhor entendimento, uma ETL é capaz de extrair dados de sistemas variáveis, transformá-los conforme necessário para, finalmente, alimentar um banco de dados ou sistema principal. Cabe a exemplificação de alguns líderes de mercado: SAP, Oracle, IBM, SAS Institute, entre outros.

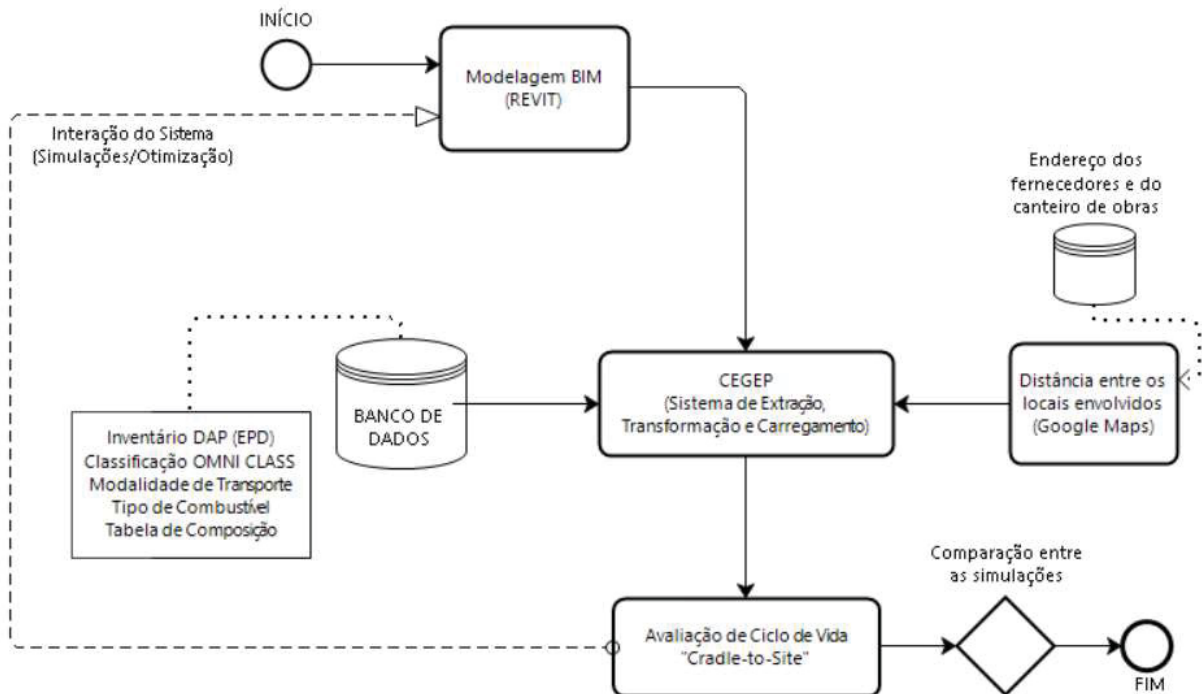
Esta ideia surgiu ao analisar o esquema proposto por Shadram *et al.* (2016) observado na etapa de identificação de artefatos em decorrência a RSL executada. Este método permite elaborar análises de energia incorporada associada com a cadeia de suprimentos de materiais de construção baseadas em Declarações Ambientais de Produto (DAP). O esquema utiliza uma ferramenta do tipo ETL, que processa e integra BIM com dados de DAP, automatizando o controle das distâncias entre fornecedores e o local de construção, assim como os quantitativos provenientes do modelo BIM.

A ferramenta ETL que seria utilizada de neste trabalho é denominada CEGEP (Centro de Gestão de Projetos), e fora desenvolvida em 2015 utilizando a linguagem PHP, pela empresa Campestrini – Inovação na Construção. O CEGEP foi programado para o setor da construção considerando conceitos da filosofia Lean Construction (Construção Enxuta) e do processo BIM aplicados na fase de concepção de projetos. Atualmente, a ferramenta é utilizada para gestão da informação e automatização de planejamentos BIM 4D e orçamentos BIM 5D nos processos internos da Campestrini. Dessa forma, seria desenvolvido uma nova solução para mensuração automática de

impactos e uso de recursos ambientais utilizando um modelo BIM dentro do próprio CEGEP.

Neste estágio da pesquisa, fora esboçado um conjunto de passos (FIGURA 17) para avaliar os impactos e usos de recursos ambientais em uma cadeia de suprimento de materiais de construção. O processo inicia-se com a modelagem BIM e, neste caso fora optado por utilizar a ferramenta Revit para desenvolver o modelo, uma vez que esta foi a mais usada nas publicações que contemplaram a RSL deste trabalho, vide QUADRO 4. Em seguida, os quantitativos dos elementos já classificados de acordo OmniClass seriam importados em formato .CSV para a plataforma CEGEP, onde poderia ser selecionado qual banco de dados de inventário de ciclo de vida se desejasse utilizar, além de conter base de dados de fornecedores e localização geográfica das fábricas dos suprimentos, facilitando o cálculo das distâncias. Em seguida, seria estimada a quantidade dos indicadores ambientais provenientes da edificação em estudo, para então fazer uma remodelagem dos projetos ou alteração de materiais/fornecedores dando início a um novo ciclo.

FIGURA 17 – 1º PROPOSTA DE *FRAMEWORK* ESBOÇADO PELA AUTORA



Fonte: A Autora.

Após alguns ciclos de interações o artefato proposto tomou outra forma. Em 2016, quando Shadram *et al.* (2016) propõe o *framework* apresentado na FIGURA 16,

algumas percepções foram evidenciadas, assim como ficou enfatizado a carência de um formato padronizado propriamente para DAP, por exemplo em um arquivo em XML e/ou IFC e possibilitar a armazenagem automática de novas DAP no banco de dados. Seguindo o mesmo raciocínio, Abanda et al. (2017) utilizou modelos computacionais existentes baseados em matrizes propostas em padrões britânicos mapeados por códigos XML, os quais foram carregados no programa Navisworks e exportados para uma planilha que pode ser importada em um sistema. Este sistema faz interconexão com o Revit que fornece as quantidades e volumes dos componentes de edificações e possui em seu núcleo uma base de dados integrada com informações de densidade, energia incorporada e concentrações de CO<sub>2</sub> adaptado do Bath ICE.

As pesquisas de Shadram et al. (2016) e Abanda et al. (2017) foram realizadas antes de 25 de abril de 2018, data em que segundo Environdec (2018) o Sistema Internacional EPD® lançou uma nova base de dados com informações de DAP digitais, legíveis por máquina (*Machine Readable EPDs*). Neste ponto, parecendo acatar as sugestões destes e de outros autores, DAP legíveis por máquina tem suas informações armazenadas em um formato de arquivo .XML que pode ser usado para diferentes aplicativos e possibilitaram novas maneiras de utilizar a comunicação do desempenho ambiental dos produtos. No entanto, enquanto o banco de dados de DAP convencional (FIGURA 18) possui mais de 900 publicações, as DAP legíveis por computador (FIGURA 19) contam com apenas 31 conjuntos de dados.

FIGURA 18 – EXEMPLO DE PARTE DE UMA DAP CONVENCIONAL PUBLICADA EM PDF REFERENTE AO CIMENTO CP II E 40 DA VOTORANTIM

ENVIRONMENTAL IMPACTS	CP II E 40			UNIT
	A1 –A2	A3	TOTAL	
Global warming potential, GWP (100 years)	25,9	763,2	789,1	kg CO <sub>2</sub> -eq.
Depletion potential of the stratospheric ozone layer, ODP	0,0	0,0	0,0	kg CFC 11-eq.
Acidification potential of soil and water, AP	0,1	1,5	1,7	kg SO <sub>2</sub> -eq.
Eutrophication potential, EP	0,0	0,2	0,2	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq.
Formation potential of tropospheric ozone, POCP	0,0	0,1	0,1	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq.
Abiotic depletion potential for non-fossil resources, ADP-elements	0,0	0,0	0,0	kg Sb-eq.
Abiotic depletion potential for fossil resources, ADP-fossil fuels	407,5	1419,7	1827,2	MJ

Fonte: International EPD® System. Disponível em:

<https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/11919/epd895%20Votorantim%20Cement.pdf>

FIGURA 19 - EXEMPLO DE PARTE DE UMA DAP LEGÍVEL POR COMPUTADOR REFERENTE A AGREGADOS DE BRITAGEM MÓVEL EM BJURHOLM - 0/150 MM

Process Data set: Aggregates from the mobile crushing plant in Bjurholm - 0/150 mm (en) <i>en</i>			
<input type="button" value="Collapse all sections"/> <input type="button" value="Go back"/> <input type="button" value="Close"/>			
▼ Process information			
Key Data Set Information			
Location	SE		
Reference year	2016		
Name	Aggregates from the mobile crushing plant in Bjurholm - 0/150 mm		
Synonyms	S-P-00842		
Classification number			
Classification	Class name : Hierarchy level The International EPD System: Construction products / Other		
General comment on data set	Product group 1 (0/150 mm)		
Scenarios	Scenario:		
Copyright	Yes		
Owner of data set	NCC Industry AB		
Quantitative reference			
Reference flow(s)	Aggregates from mobile crushing.(Bjurholm) - 1000.0 kg (Mass)		
Time representativeness			
Data set valid until	2022		
Time representativeness description	Registration date: 2016-08-25 Validity date: 2022-11-06		
Technological representativeness			
▶ Modelling and validation			
▶ Administrative information			
▼ Environmental indicators			
Indicators of life cycle			
Indicator ↕	Direction ↕	Unit ↕	Production A1-A3
Components for re-use	Output	kg	-
Exported electrical energy	Output	MJ	-
Exported thermal energy	Output	MJ	-
Hazardous waste disposed	Output	kg	0.00000125
Materials for energy recovery	Output	kg	-
Materials for recycling	Output	kg	-
Use of net fresh water	Input	m <sup>3</sup>	0.00221
Non hazardous waste dispose	Output	kg	0.00182
Use of non renewable primary energy	Input	MJ	23.8
Use of non renewable primary energy resources used as raw materials	Input	MJ	0
Use of non renewable secondary fuels	Input	MJ	0
Radioactive waste disposed	Output	kg	0.0000324
Use of renewable primary energy	Input	MJ	1.19
Use of renewable primary energy resources used as raw materials	Input	MJ	0
Use of renewable secondary fuels	Input	MJ	0
Use of secondary material	Input	kg	0
Total use of non renewable primary energy resource	Input	MJ	23.8
Total use of renewable primary energy resources	Input	MJ	1.19
Indicators of the impact assessment			
Indicator ↕		Unit ↕	Production A1-A3
Abiotic depletion potential for non fossil resources	kg Sb eq.		1.38E-7
Acidification potential of soil and water	kg SO <sub>2</sub> eq.		0.016
Global warming potential	kg CO <sub>2</sub> eq.		1.7
Eutrophication potential	kg (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> -eq.		0.00345
Abiotic depletion potential for fossil resources	MJ		23.7
Depletion potential of the stratospheric ozone layer	kg CFC 11 eq.		5.76E-13
Formation potential of tropospheric ozone	kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> eq.		0.00156

Fonte: International EPD® System. Disponível em:  
<https://data.environdec.com/processList.xhtml?stock=Environdata>

Tendo em vista o atual contexto, a Autora optou por desenvolver algoritmos que permitam a interoperabilidade dessas DAP em formato .XLM com uma ferramenta BIM, de modo a automatizar o desenvolvimento de ACV em edificações. No entanto, visto o recente lançamento, o banco de dados é bastante limitado o que impossibilita

desenvolver a avaliação utilizando apenas informações provenientes deste interação. Assim, compilou-se em uma planilha excel um banco de dados de ICV de materias brasileiros (APÊNDICE E) baseado nas informações geradas por Tavares (2006) e Tavares e Bragança (2016), utilizadas e adaptadas também por Araujo (2018).

Outro fator levado em consideração, foi o constructo prescrito por Gomes e Barros (2018) apresentado no segundo capítulo item 2.3 deste trabalho, FIGURA 12. Segundo as Autoras, o nível de integração BIM e ACV é considerado maior quando se relaciona à interoperabilidade, que nada mais é que o compartilhamento de informações entre sistemas e que na nova solução pretendida acontece de maneira automatizada dentro do próprio software BIM, o que não aconteceria de fato se utilizando uma interface ETL como era proposto no primeiro *framework*.

#### 4.2.5.1 Ferramentas e Conceitos Utilizados

Para a modelagem BIM, optou-se por utilizar o Autodesk® Revit como ferramenta para desenvolver o modelo. Esta escolha deu-se uma vez que o *software* foi o mais utilizado dentre todos citados nas publicações apresentadas pela RSL deste trabalho, vide QUADRO 4.

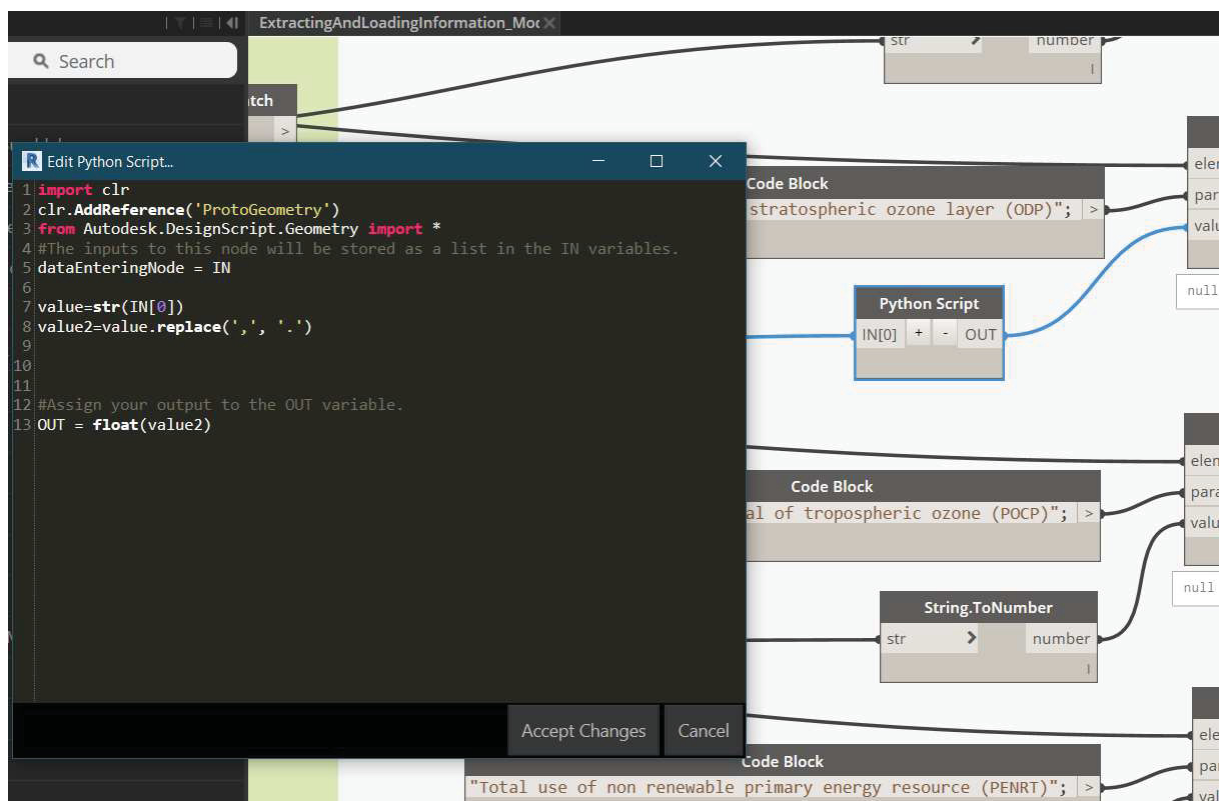
Dessa forma, para desenvolver a integração BIM-ACV com uma solução de interoperabilidade, possível de ser gerenciada e aplicada dentro do próprio *software* BIM, consideraram-se duas opções de ferramentas para programação dos algoritmos: uma baseada em linguagem de texto e outra sendo um ambiente de programação visual. Esta transição entre a programação visual de fluxo de dados e a linguagem baseada em texto é conhecida pela Autodesk como *DesignScript*, o que possibilita uma curva de aprendizagem mais rápida, permitindo uma introdução gradual de conceitos de programação e linguagens mais avançados. Esta interação permite que o mundo pragmático da automação e desenvolvimento de projetos esteja conectado ao mundo da ciência da computação e do pensamento algorítmico. O *DesignScript* foi originalmente desenvolvido no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Autodesk em Cingapura e agora é o mecanismo computacional do Autodesk® Dynamo Studio, o qual pode ser definido como uma plataforma de programação visual que opera de forma independente de qualquer outra ferramenta.

Da mesma forma, foi desenvolvido o conceito de *DesignScript* para funcionar dentro do próprio Autodesk® Revit utilizando o Dynamo. Este funciona como uma

extensão de programação visual que possibilita uma programação gráfica *open-source* para modelagem BIM, além de permitir manipular dados, esculpir geometria, explorar opções de projeto, automatizar processos e criar ligações (*links*) entre vários aplicativos.

A linguagem de texto frequentemente utilizada nesta plataforma é o Python que pode ser utilizado por meio de um pacote do Dynamo conhecido como IronPython. A FIGURA 20 mostra um exemplo utilizado neste trabalho de como esta interação é executada. Além disso, existe um API chamado de RevitPythonShell que possibilita programar utilizando Python dentro do próprio *software* de modelagem BIM, sem a necessidade de utilizar *DesignScript*.

FIGURA 20 – UTILIZAÇÃO DO NÓ PYTHON SCRIPT DENTRO DO DYNAMO



Fonte: A Autora.

Já tratando-se da escolha de um sistema de classificação da informação da construção, uma vez que será aplicado o método em um projeto compatível com o contexto do mercado brasileiro, o ideal seria utilizar a ABNT NBR 15965 – partes 1 a 7, intitulada como Sistema de Classificação da Informação da Construção. No entanto, das sete partes, apenas quatro foram publicadas até o momento: parte 1 – Classificação e Terminologia; parte 2 – Características dos Objetos da Construção; parte 3 – Processos da Construção; e a parte 7 – Informação da Construção. Assim,

será aplicada a OmniClass™, a qual está sendo utilizada como base para o desenvolvimento da NBR 15965 e também possui suas tabelas fundamentadas na norma ISO 12006 “Building Construction - Organization of Information about Construction Works”.

Para classificar os elementos pertencentes ao modelo, foi utilizado um gerenciador de classificação gratuito da Autodesk para o Revit. Este faz parte de um grupo maior de ferramentas que auxiliam os profissionais em seus fluxos de trabalho BIM conhecido como *Autodesk BIM Interoperability Tools*. O aplicativo *Classification Manager for Revit* possibilita inserir rapidamente dados de diversos sistemas de classificação rapidamente, contribuindo para uma padronização e facilidade de classificar o modelo conforme a OmniClass. Esta operação é crucial para o funcionamento dos algoritmos desenvolvidos neste trabalho.

O cálculo do transporte dos materiais ao local da obra foi baseado no estudo de Tavares (2006) que utilizou a fórmula apresentada na FIGURA 21. Sendo que a mesma foi adaptada para obtenção da quantidade de energia em KJ, assim como é apresentado nas DAP.

FIGURA 21 – FÓRMULA PARA CÁLCULO DE ENERGIA EMBUTIDA NO TRANSPORTE DOS MATERIAIS ATÉ O CANTEIRO DE OBRAS

$$EE_{trmat} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot l_i \cdot CE_{tr}$$

onde:

- $i$  = material de construção discriminado
- $n$  = número de materiais
- $m_i$  = Quantidade de material de construção (kg)
- $l_i$  = distância do fabricante de material ao sítio da obra (km)
- $CE_{tr}$  = Consumo energético do transporte utilizado (MJ/kg.km)

Fonte: (IFIB, 1995) apud Tavares (2006).

Os valores de impactos ambientais e energia utilizada para fabricação dos materiais serão programados para serem obtidos apenas utilizando as DAP legíveis por computador, mas poderá ser adaptado o procedimento para outro banco de dados de ICV que se desejar. No entanto, para gerar informações de carbono emitido e energia utilizada para a fase de transporte foram utilizados os valores em MJ/t.km, também equivalentes a KJ/kg.km referentes a modais de transporte, os quais foram

encontrados no Inventário Ecológico publicado pelas Universidades de Karlsruhe e Weimar na Alemanha e Zurich na Suíça. Para estimar a quantidade emissão de CO<sub>2</sub> com base nos consumos energéticos de transporte, foi utilizada a relação de 0,0002 KJ/kg para kg CO<sub>2</sub>/kg. Esta informação foi apresentada por Buchanan e Honey (1994) e refere-se ao transporte rodoviário e ferroviário na Nova Zelândia (IFIB, 1995; Buchanan e Honey, 1994 apud Tavares, 2006).

TABELA 12 - CONSUMO ENERGÉTICO ASSOCIADO AOS MEIOS DE TRANSPORTE

MEIO DE TRANSPORTE	MJ/km/t
Navio de carga em hidrovias	0,93
Navio de carga oceânico	0,13
Van de entrega (< 3.5 t)	11,10
Caminhão, 16 t	5,17
Caminhão, 28 t	3,56
Caminhão, 40 t	2,54
Carro de passeio	5,15
Trem de carga	1,50

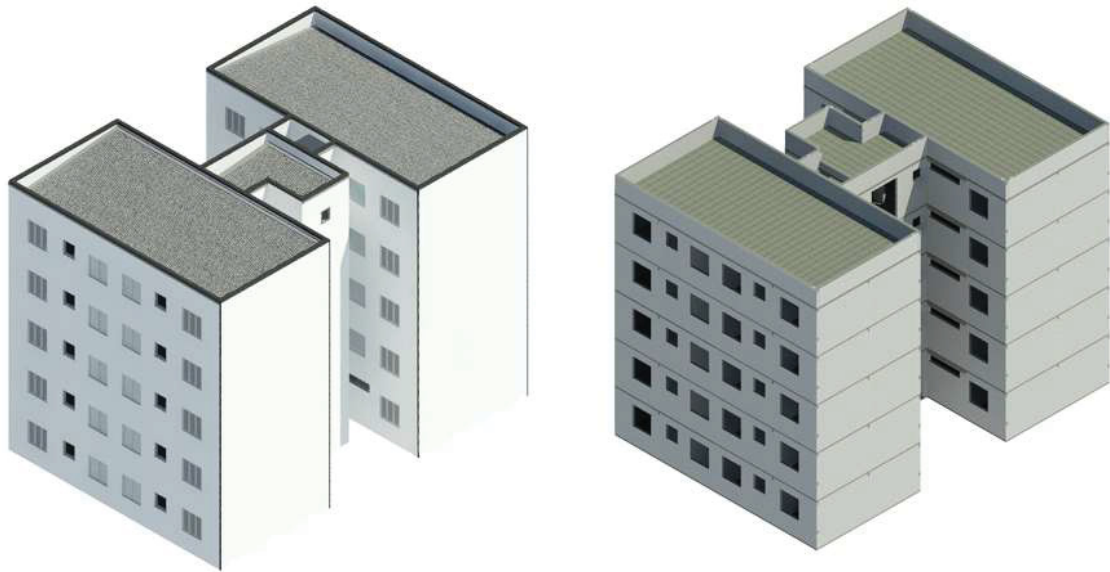
Fonte: (IFIB, 1995) apud Tavares (2006)

#### 4.2.5.2 Aplicação no Modelo BIM

Para o desenvolvimento da solução para integração BIM-ACV foi necessário a aplicação em uma modelagem BIM realizada no Revit, a qual possibilitou executar experimentos e validações das ferramentas. Gentilmente disponibilizado pela empresa Campestrini, foram utilizados modelos BIM em LOD 350 de uma edificação habitacional multifamiliar de baixo padrão, do tipo “Minha Casa, Minha Vida” (FIGURA 22). Ressalta-se que as bibliotecas de famílias devem estar adaptadas com o parâmetro de “Volume” calculado para utilização do algoritmo de integração BIM-LCA.

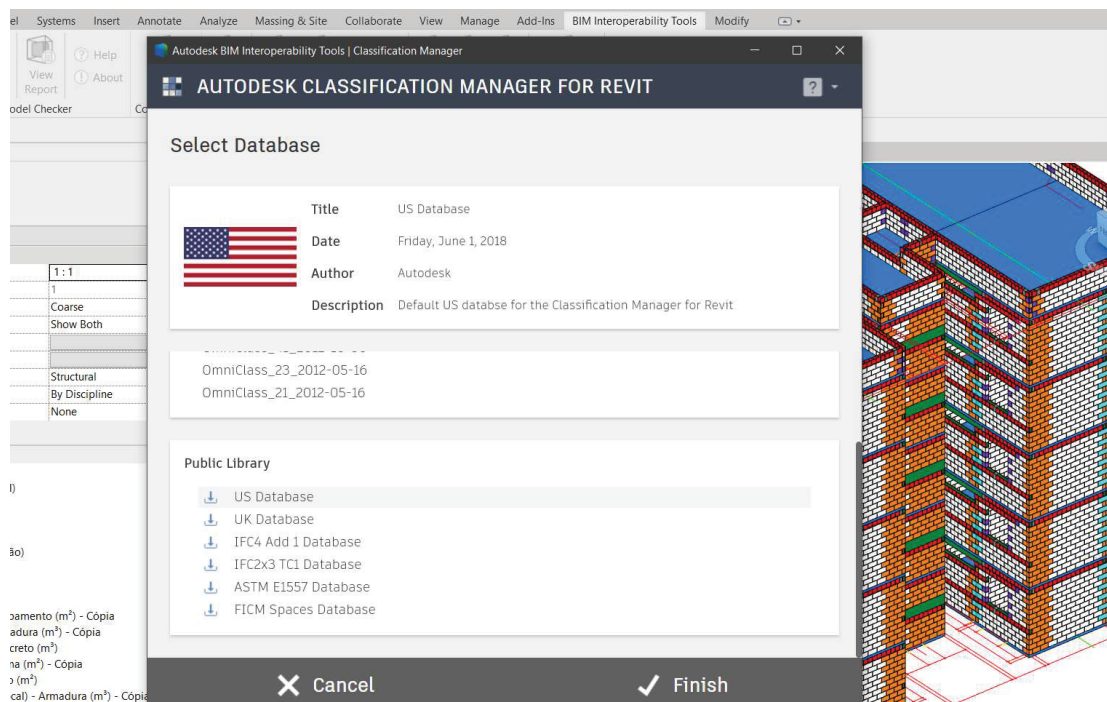
O aplicativo *Autodesk Classification Manager for Revit* possui bibliotecas públicas de dados disponíveis para serem baixadas e utilizadas, além de possibilitar a inserção de tabelas próprias de sistema de classificação. Entre os bancos de dados fornecidos pela própria plataforma, foi utilizado o *US Database* (FIGURA 23) que conta com a OmniClass em sua composição.

FIGURA 22 – MODELOS DOS PROJETOS ARQUITETÔNICO E ESTRUTURAL DE UMA HABITAÇÃO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR DE BAIXO PADRÃO



Fonte: Campestrini. Classificação dos Elementos Utilizando a OmniClass

FIGURA 23 – APLICATIVO AUTODESK CLASSIFICATION MANAGER FOR REVIT

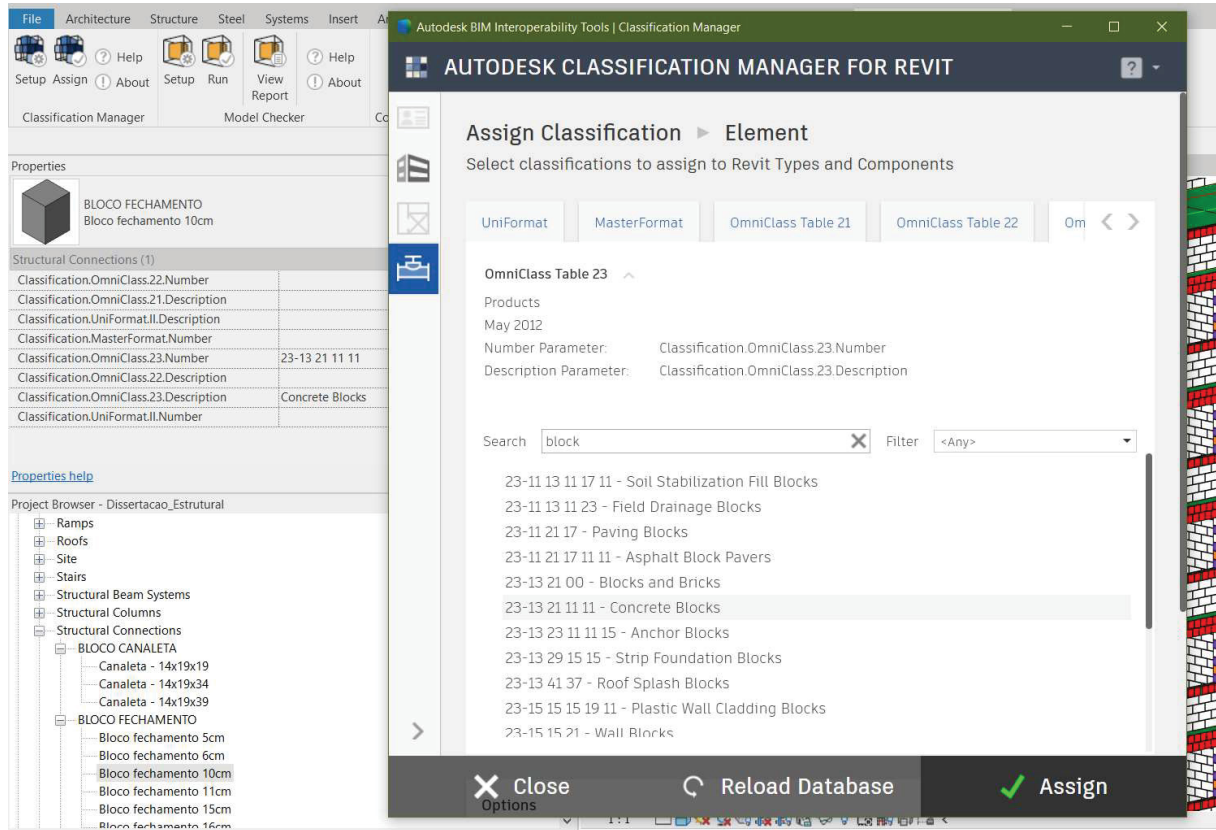


Fonte: A Autora.

Como parte do procedimento, depois de executar o *Setup* e efetuar a carga (*download*) do banco de dados, é necessário abrir a opção de atribuição (*Assign*) e ir na aba da tabela a qual se deseja classificar o elemento. No caso exemplificado na FIGURA 24 foi selecionado um bloco de fechamento de concreto e utilizando a Tabela

23 da OmniClass definiu-se que o elemento corresponde ao código 23-13 21 11 11 – *Concrete Blocks*.

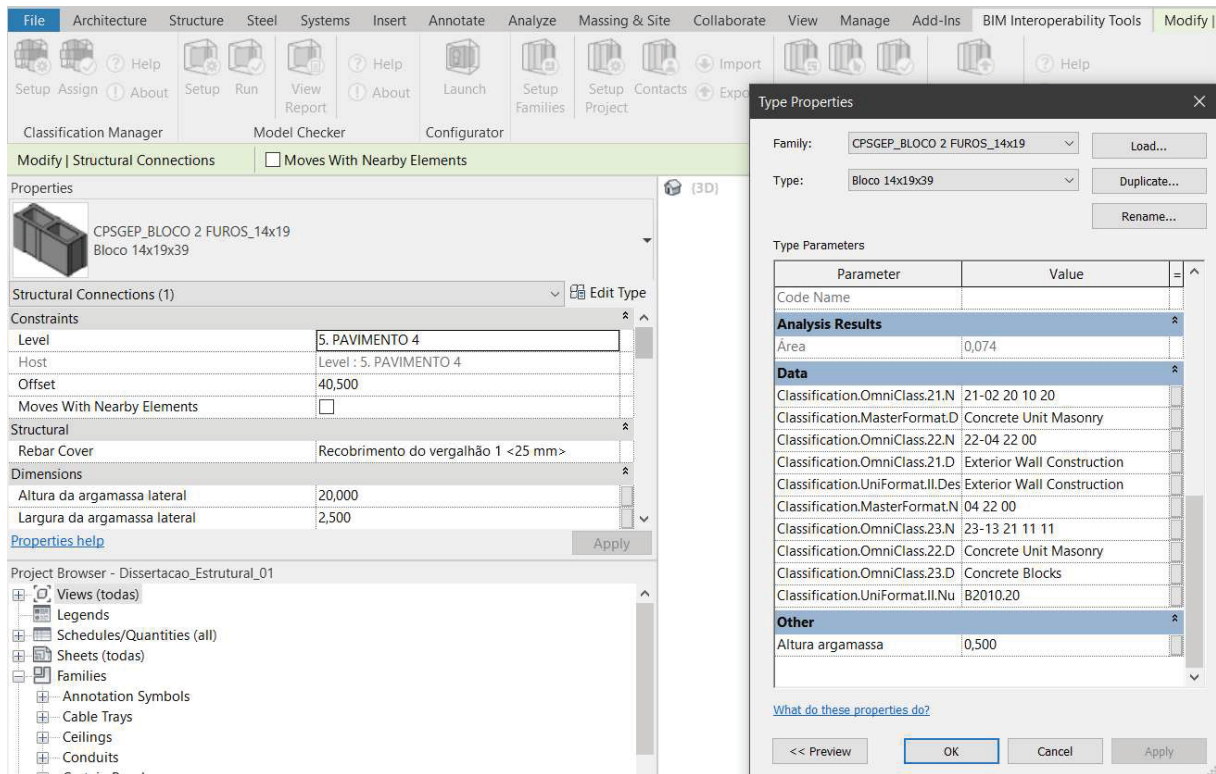
FIGURA 24 – CLASSIFICANDO OS ELEMENTOS UTILIZANDO O APLICATIVO



Fonte: A Autora.

Este mesmo procedimento pode ser repetido para todos os tipos de família, no momento da modelagem ou após a mesma estar finalizada. No exemplo da FIGURA 25, para fins de ilustração, o bloco de concreto 14x19x19 com 2 furos foi classificado, seguindo este mesmo passo, de acordo com três diferentes tabelas da OmniClass - Tabelas 21, 22 e 23 – além das classificações UniFormat e MasterFormat.

FIGURA 25 – PROPRIEDADES DE UM TIPO DE FAMÍLIA APÓS CLASSIFICAÇÃO



Fonte: A Autora.

#### 4.2.5.3 Levantamentos das Informações de ICV e DAP

Para ter acesso as DAPs legíveis por computador é necessário se cadastrar no *International EPD® System - Data hub*, no seguinte endereço de web: <https://data.environdec.com/index.xhtml>. Uma vez executado o *login*, o sistema possibilita fazer a procura do conjunto de dados para o processo desejado (FIGURA 26). Em seguida, é possível visualizar o arquivo por completo na própria web ou fazer o *download* em formato XML (FIGURA 27). Todas as 31 DAPs existentes até o dado momento foram salvas dentro de um mesmo arquivo no computador que foi utilizado para esta pesquisa. Devido ao déficit de informações de produtos e processos dentro do Sistema Internacional EPD®, serão utilizados também dados de energia e CO<sub>2</sub> embutidos nos materiais de construção típicos brasileiros apresentados por Tavares (2006) e Tavares e Bragança (2016), os quais foram compilados em uma planilha excel apresentada no APÊNDICE E deste trabalho. Dessa maneira, será possível avaliar o artefato e comprovar que o mesmo método pode ser aplicado com outros inventários de base de dados de ACV.

FIGURA 26 – PESQUISA DE CONJUNTO DE DADOS NA PLATAFORMA DATA HUB

Fonte: International EPD® System. Disponível em:  
<https://data.environdec.com/processSearch.xhtml?stock=Environdata>

FIGURA 27 – DAP LEGÍVEL POR COMPUTADOR APRESENTADA NA WEB

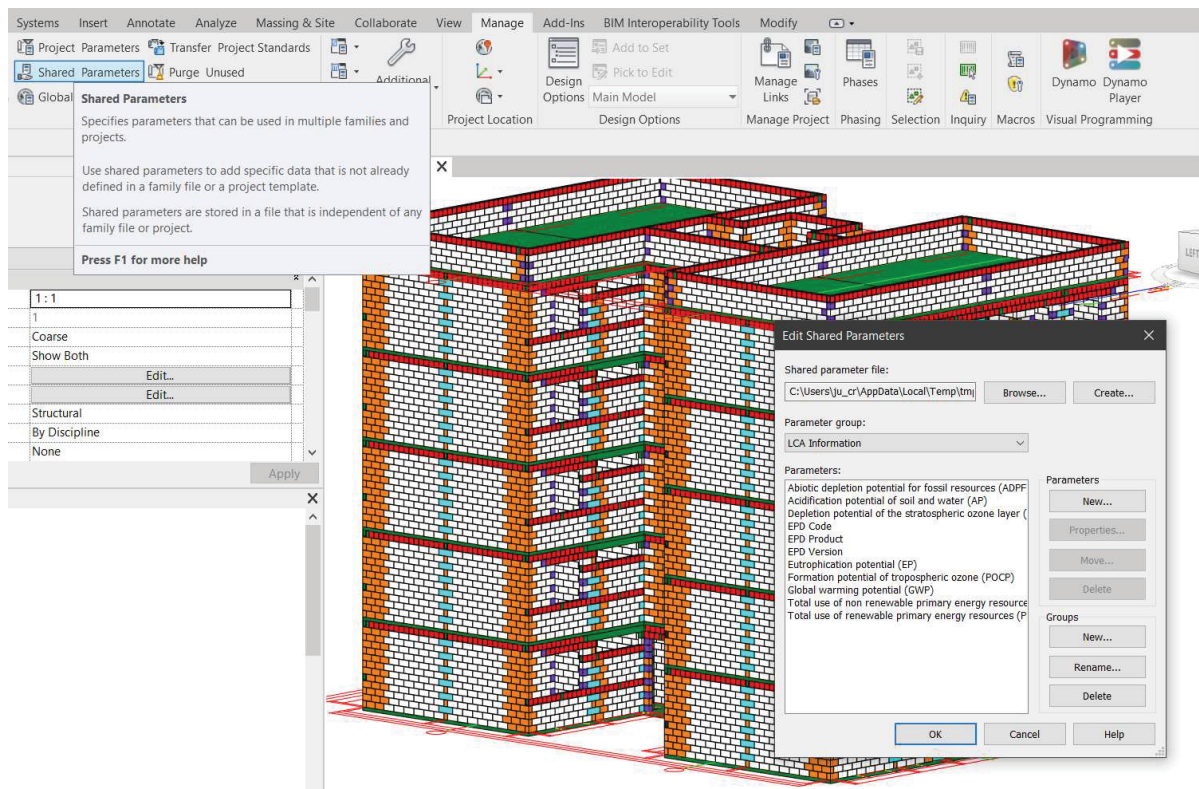
Full name	Aggregates from the mobile crushing plant in Bjurholm - 0/150 mm	Location	SE	Reference year	2016	Valid until	2022
Reference flow(s)	Aggregates from mobile crushing (Bjurholm) - 1000.0 kg (Mass)	Type	EPD	Parameterized?	no	LCIA results included?	yes
Category	Construction products / Other	Synonyms		S-P-00842			
Use advice for data set	Data set use approval						
General comment	Product group 1 (0/150 mm)						

Fonte: International EPD® System. Disponível em:  
[https://data.environdec.com/showProcess.xhtml?stock=Reference\\_data&uuid=ceab5e27-6ec8-4f05-8135-9fa369992315](https://data.environdec.com/showProcess.xhtml?stock=Reference_data&uuid=ceab5e27-6ec8-4f05-8135-9fa369992315)

#### 4.2.5.4 Criação Automatizada de Parâmetros

Utilizando o Dynamo um primeiro algoritmo foi desenvolvido com a intenção de criar os parâmetros de indicadores de impactos e usos de recursos ambientais. Dessa forma, automatizou-se o processo de criação de um arquivo de parâmetros compartilhados (APÊNDICE A) para alimentar com os dados provenientes das DAPs. Além disso, com o algoritmo programado é necessário que exista uma pasta configurada para criação dos mesmos, e em seguida, basta executar o arquivo Dynamo e os parâmetros já estarão disponíveis no *template*, assim como apresentado na FIGURA 28.

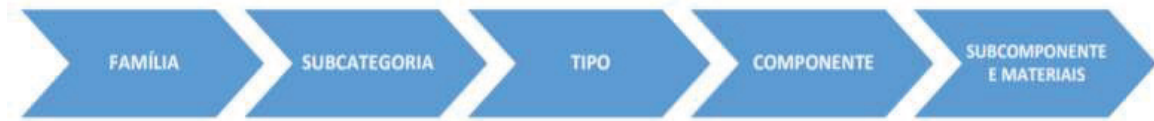
FIGURA 28 – ARQUIVO DE PARÂMETROS COMPARTILHADOS “LCA INFORMATION”



Fonte: A Autora.

Contudo, para transformar este arquivo gerado em parâmetros de projeto de fato, foi necessário aprofundar-se mais em conceitos que envolvem categorias, famílias e tipos dos elementos de um modelo BIM. Araújo (2018) organiza as partes de um modelo BIM conforme apresenta a FIGURA 27.

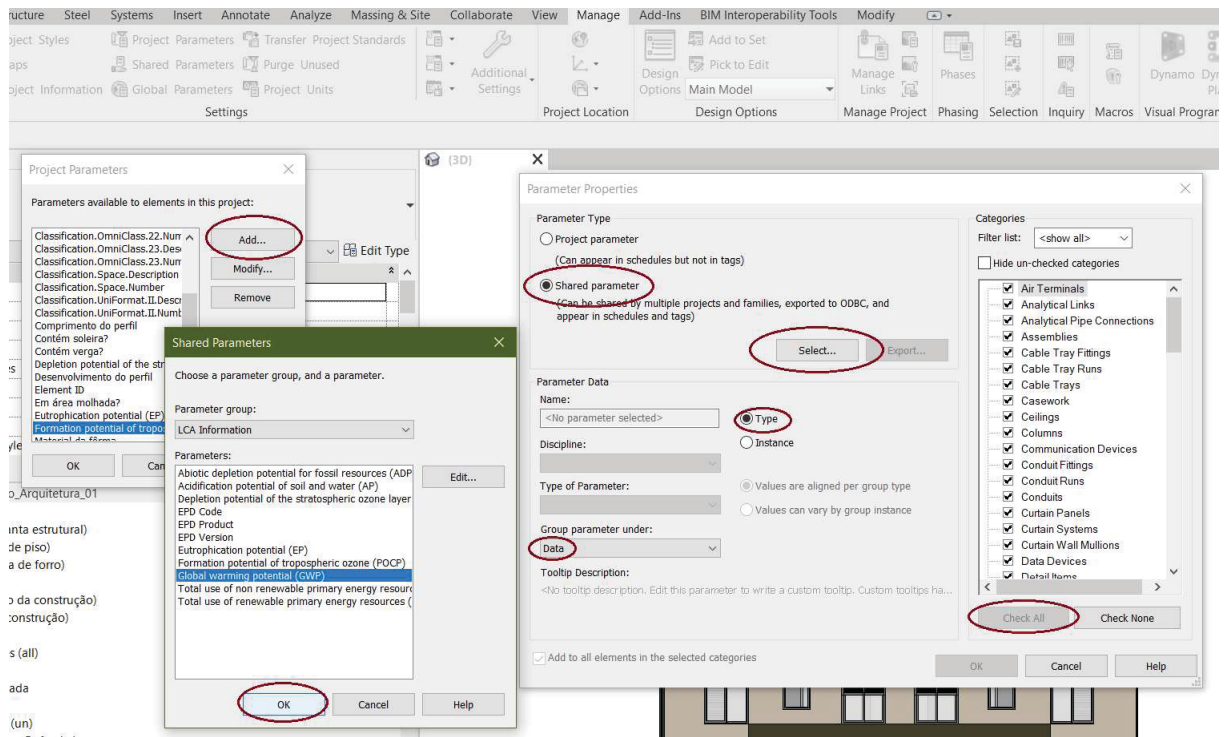
FIGURA 29 - PARTES DO MODELO BIM



Fonte: Araujo (2018).

Optou-se por criar os parâmetros de projetos em categoria de tipo uma vez que estes eles apresentam as mesmas características de indicadores de ACV e assim otimiza o sistema, fazendo-o mais eficiente. A FIGURA 30 mostra com detalhes como definir as propriedades para que estas fiquem de acordo com o segundo algoritmo que foi desenvolvido para aplicar de fato a integração BIM-ACV.

FIGURA 30 – CONFIGURAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PARÂMETROS DE PROJETO

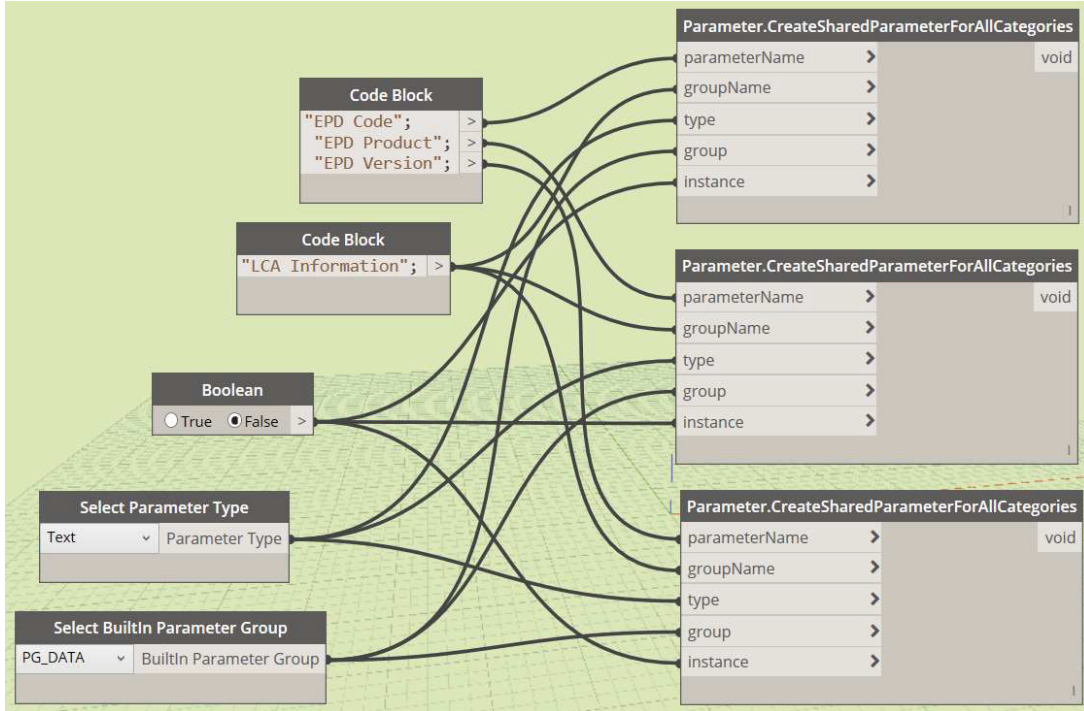


Fonte: A Autora.

Foram desenvolvidos dois algoritmos para desenvolvimento dos parâmetros, sendo que estes podem ou não ser utilizados em conjunto a critério do usuário. O primeiro foi estabelecido para abrigar as informações referentes as DAP legíveis por computador. Neste momento, deve-se adicionar o pacote LunchBox dentro do Dynamo, o qual viabiliza a leitura do arquivo .XML de maneira otimizada. Neste caso, foi utilizado o nó “Parameter.Create SharedParameterForAllCategories” (FIGURA 31) que cria parâmetros compartilhados, mas poderia ser substituído por outro que cria

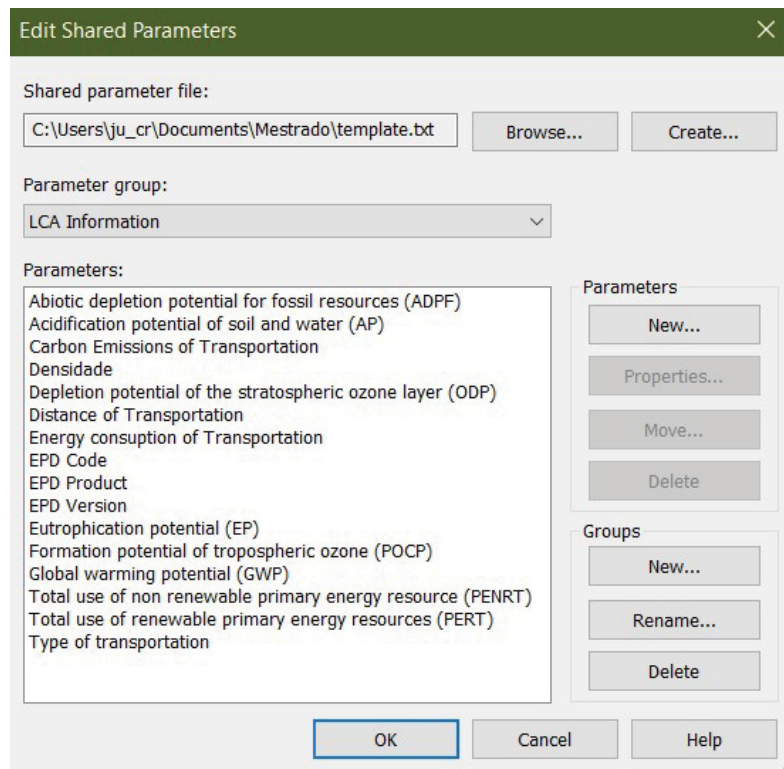
parâmetros de projeto. Os parâmetros criados para a interoperabilidade BIM com DAP legíveis por computador são apresentados na FIGURA 32.

FIGURA 31 – PARTE DO ALGORÍTMO DE CRIAÇÃO DE PARÂMETROS PARA LEITURA DE DAP



Fonte: A Autora.

FIGURA 32 – PARÂMETROS COMPARTILHADOS CRIADOS PARA LEITURA DE DAP

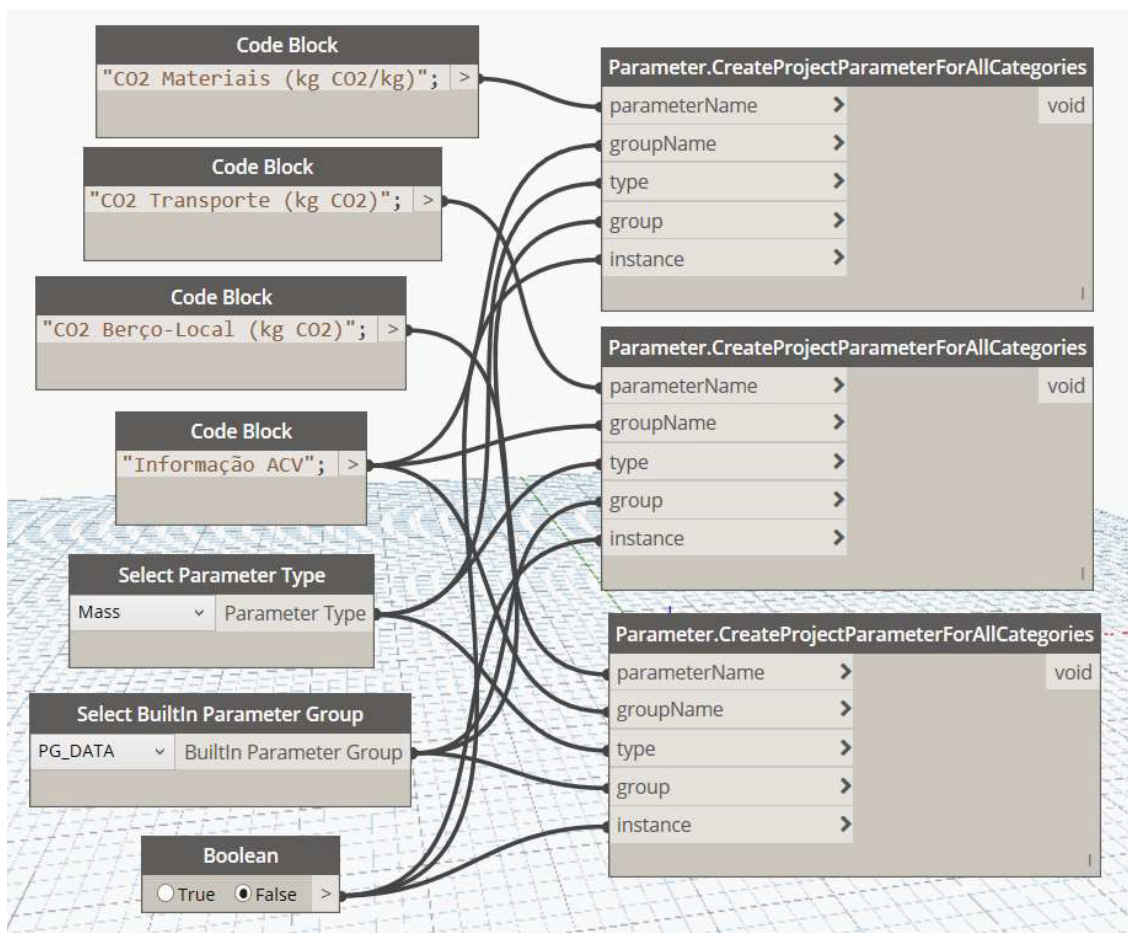


Fonte: A Autora.

Foi necessário o desenvolvimento de outro algoritmo para criação dos parâmetros provenientes do banco de dados de ICV apresentados em uma planilha Excel. Visando testar uma nova solução, optou-se por criar utilizando o Dynamo parâmetros de projeto e não compartilhados como utilizado para DAP. Para isso, utilizou-se o nó “Parameter.CreateProjectParameterForAllCategories” (FIGURA 33). Os parâmetros criados para a interoperabilidade BIM com banco de dados de ICV em formato Excel são destacados dentro dos parênteses vermelhos na FIGURA 34.

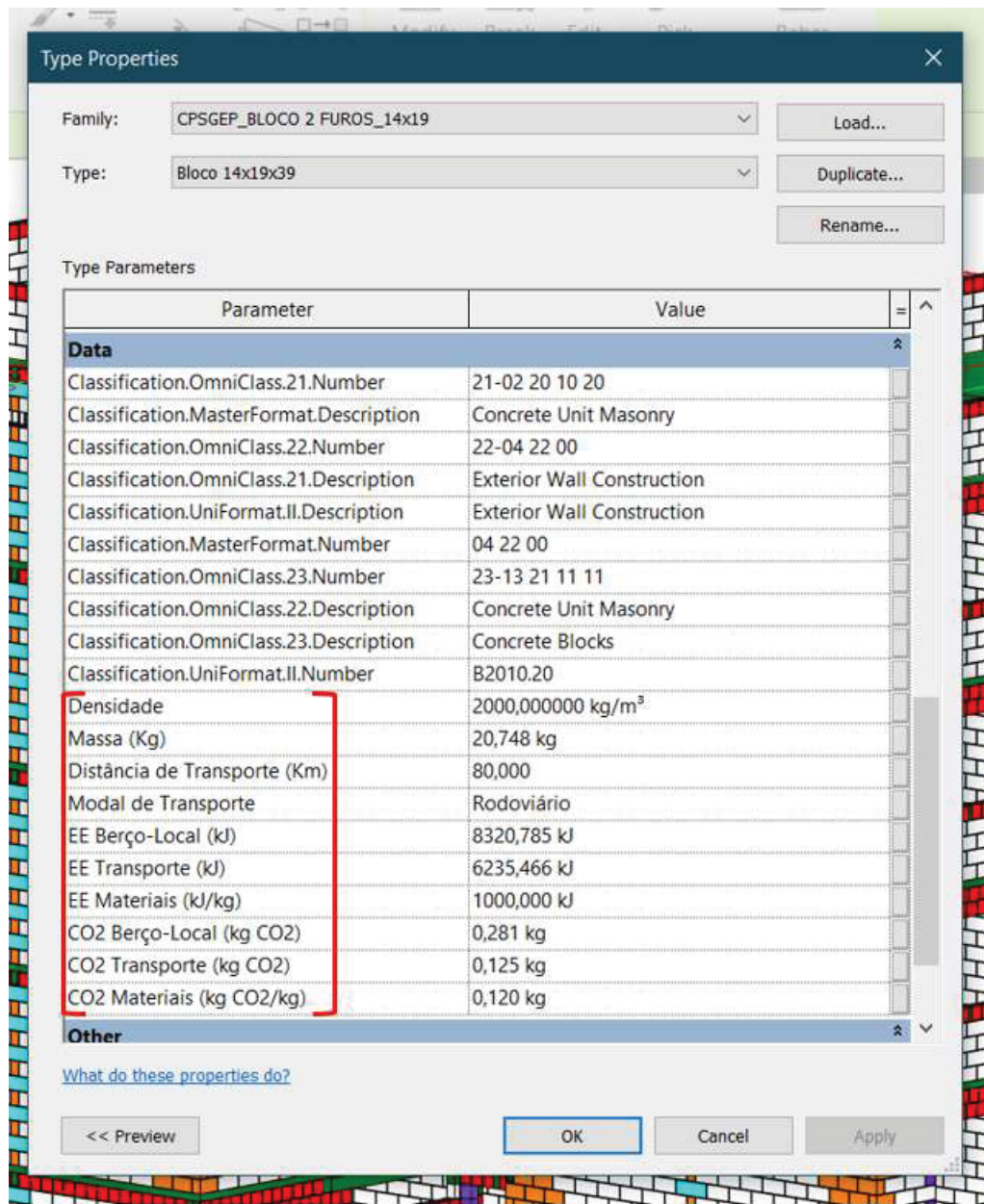
Essa nova maneira foi mais eficaz no sentido de tempo despendido para criação dos parâmetros, no entanto, o algoritmo começou a apresentar erros e criou alguns parâmetros compartilhados aleatoriamente ao invés de parâmetros de projetos. Infelizmente, a Autora não conseguiu identificar o motivo.

FIGURA 33 – PARTE DO ALGORÍTMO DE CRIAÇÃO DE PARÂMETROS PARA LEITURA DOS DADOS DE ICV



Fonte: A Autora.

FIGURA 34 - PARÂMETROS DE PROJETO CRIADOS PARA LEITURA DO BANCO DE DADOS ICV



Fonte: A Autora.

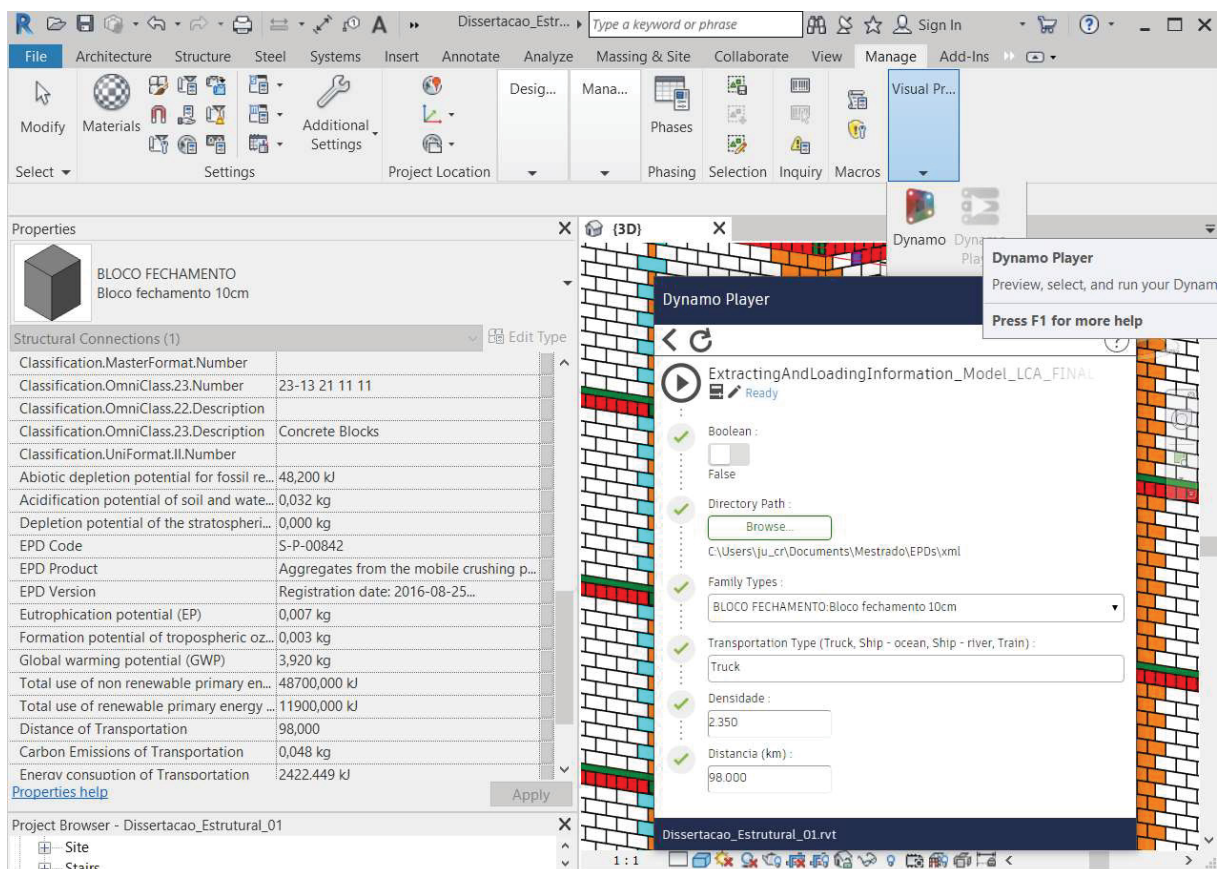
#### 4.2.5.5 Integração BIM-ACV

Neste momento desenvolveu-se o algoritmo que conecta os elementos classificados conforme a OmniClass com as informações de impactos e usos de recursos naturais obtidas no banco de dados de DAP (APÊNDICE C). Para tal, todos os arquivos XML que estavam salvos em uma mesma pasta foram abertos em formato de lista no Dynamo utilizando um nó chamado "DataSets.DeserializeXML" do pacote LunchBox, o que possibilita a leitura e extração de informações das diversas DAP.

Além disso, é necessário carregar o pacote Clockwork para o utilizar o nó “Scopelf+” para fazer o teste se a classificação do elemento possui o mesmo código que o programado para aquela DAP. Caso o resultado seja verdadeiro os valores serão automaticamente adicionados no elemento BIM, se não o algoritmo não será executado até o final. Também foi utilizado o Rhythm como pacote complementar, o que contribuiu para conseguir os parâmetros de um determinado tipo de família por meio do nó “Elements.GetParameterValueByNameTypeOrInstance”.

Para aplicar o algoritmo no modelo deve-se abrir o Dynamo Player na aba *manage* dentro de *visual programming*. Em seguida, deve-se clicar em *edit inputs* e alterar para o tipo de família que se deseja alimentar os dados, densidade do material, modal de transporte e distância de transporte, como mostra a FIGURA 35. Após aplicar o programa, se os dados forem compatíveis com aquela classificação da OmniClass, as informações serão atualizadas automaticamente.

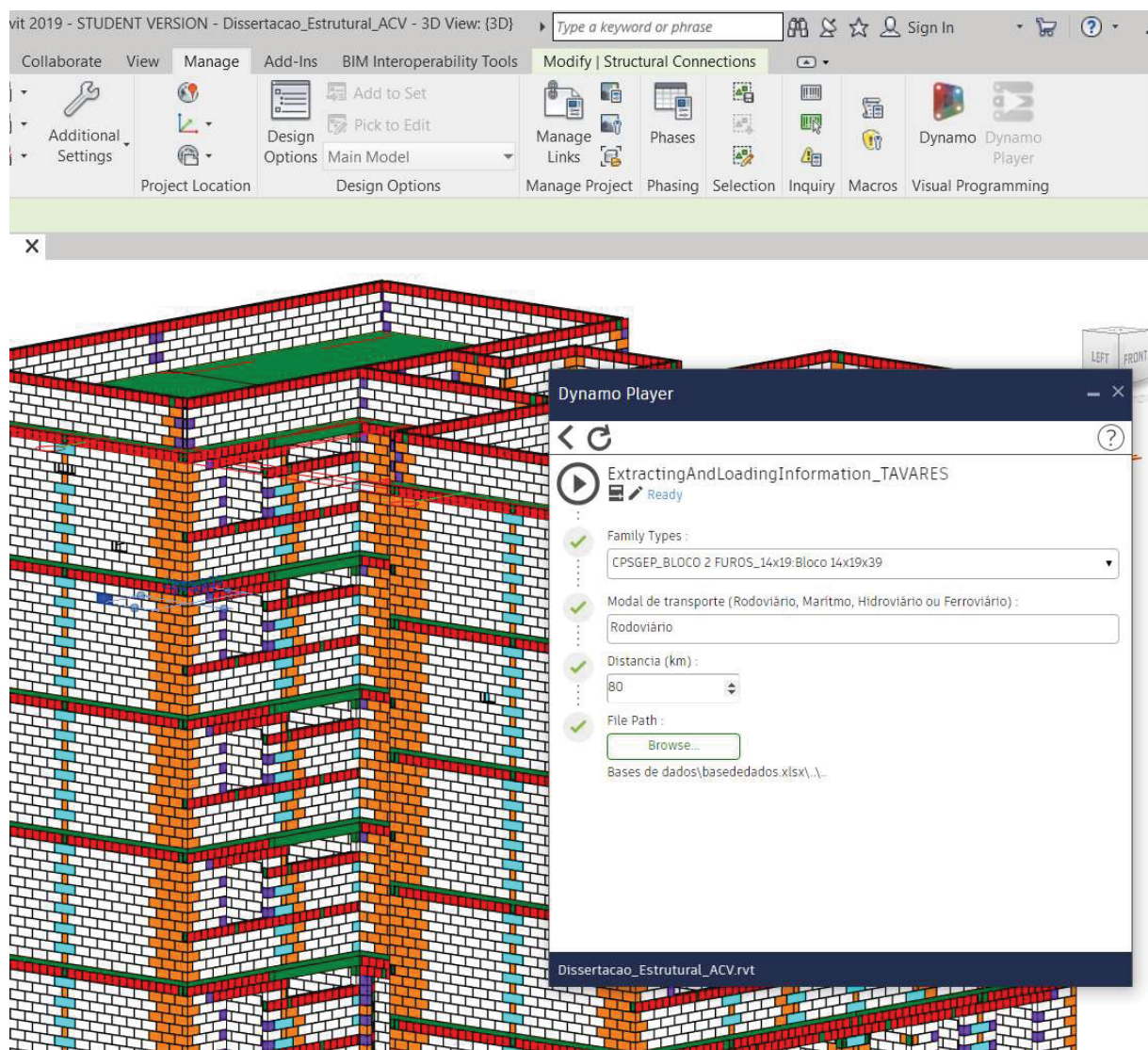
FIGURA 35 – APLICAÇÃO DO ALGORITMO DESENVOLVIDO UTILIZANDO O DYNAMO PLAYER PARA LEITURA E CARREGAMENTO DAS INFORMAÇÕES DAS DAP



Fonte: A Autora.

Já para ler as informações provenientes do banco de dados de ICV em formato Excel foi necessário desenvolver um outro algoritmo (APÊNDICE D). Uma vez que a densidade dos produtos se encontra na própria tabela não é necessário entrar com o valor manualmente como ocorre com o algoritmo de leitura de DAP, as únicas informações que o usuário precisa entrar no Dynamo Player é a distância entre a fábrica e o local da obra, assim como o modal de transporte utilizado para transportar este tipo de família (FIGURA 36).

FIGURA 36 – APLICAÇÃO DO ALGORITMO DESENVOLVIDO UTILIZANDO O DYNAMO PLAYER PARA LEITURA E CARREGAMENTO DAS INFORMAÇÕES DO BANCO DE DADOS DE ICV



Este algoritmo também foi adaptado para situações em que cada instância possuía um valor de volume diferente como aconteceu com os grautes, pisos, vigas e outros. Dessa forma, deve-se gerar uma tabela de quantidades e transferir a quantidade volume total de material antes de rodar o Dynamo Player (FIGURA 37).



(1995), um artefato do tipo método deve ser analisado baseado nas seguintes qualidades: fácil utilização; eficiência; generalidade; e, operabilidade.

TABELA 13 – MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DOS ARTEFATOS

Forma de Avaliação	Métodos propostos
<b>Observacional</b>	Estudo de Caso: Estudar o artefato existente, ou não, em profundidade no ambiente de negócios. Estudo de Campo: Monitorar o uso do artefato em projetos múltiplos. Esses estudos podem, inclusive, fornecer uma avaliação mais ampla do funcionamento dos artefatos configurando, dessa forma, um método misto de condução da pesquisa.
<b>Analítico</b>	Análise Estatística: Examinar a estrutura do artefato para qualidades estáticas. Análise da Arquitetura: Estudar o encaixe do artefato na arquitetura técnica do sistema técnico geral. Otimização: Demonstrar as propriedades ótimas inerentes ao artefato ou então demonstrar os limites de otimização no comportamento do artefato. Análise Dinâmica: Estudar o artefato durante o uso para avaliar suas qualidades dinâmicas (por exemplo, desempenho).
<b>Experimental</b>	Experimento Controlado: Estudar o artefato em um ambiente controlado para verificar suas qualidades (por exemplo, usabilidade). Simulação: Executar o artefato com dados artificiais.
<b>Teste</b>	Teste Funcional ( <i>Black Box</i> ): Executar as interfaces do artefato para descobrir possíveis falhas e identificar defeitos. Teste Estrutural ( <i>White Box</i> ): Realizar testes de cobertura de algumas métricas para implementação do artefato (por exemplo, caminhos para a execução).
<b>Descritivo</b>	Argumento informado: Utilizar a informação das bases de conhecimento (por exemplo, das pesquisas relevantes) para construir um argumento convincente a respeito da utilidade do artefato. Cenários: Construir cenários detalhados em torno do artefato, para demonstrar sua utilidade.

Fonte: Hevner, Marh e Park (2004, pg. 86)

#### 4.2.7 Explicitação das Aprendizagens

Para Tremblay, Hervner e Berndt (2010) existe duas possibilidades de aplicar grupos focais em *Design Science Reserach*: exploratório ou confirmatório (TABELA 14). Assim, com o desenvolvimento do Método para o uso do Modelo BIM-ACV, finalizou-se a etapa de especificação da aprendizagem da metodologia DSR utilizando-se de um grupo focal do tipo confirmatório que visa comprovar a utilidade do artefato desenvolvido no campo de aplicação.

TABELA 14 – TIPOS DE GRUPOS FOCALIS EM *DESIGN SCIENCE RESEARCH*

Características	Grupo Focal Exploratório	Grupo Focal Confirmatório
<b>Objetivo</b>	Alcançar melhorias incrementais rápidas na criação de artefatos.	Demonstrar a utilidade dos artefatos desenvolvidos no campo de aplicação.
<b>Papel do Grupo Focal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fornecimento de informações que possam ser utilizadas para eventuais mudanças tanto no artefato, como no roteiro do Grupo Focal.</li> <li>Refinamento do roteiro do Grupo Focal e identificação de constructos a serem utilizados em outros grupos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>O roteiro de entrevistas previamente definido para ser aplicado ao grupo de trabalho, não deve ser modificado ao longo do tempo a fim de garantir a possibilidade de se fazer comparativos entre cada Grupo Focal participante.</li> </ul>

Fonte: Tremblay, Hevner e Berndt. Adaptado por Lacerda et. al (2015).

Foi elaborada uma validação expedita, onde aplicou-se um roteiro de entrevistas definidas previamente pela Autora. Para tanto, inspirou-se em Algayer (2019) que utilizou o protocolo *Thinking Aloud* (pensando em voz alta) para obter as respostas necessárias sobre a usabilidade de seu método. Segundo o autor, este protocolo é geralmente utilizado para coletar dados em testes de usabilidade em design e desenvolvimento de produtos, em psicologia e em diversas ciências sociais.

Para desenvolvimento das perguntas em formato de questionário, levou-se em consideração principalmente as qualidades de March e Smith (1995) que devem ser analisadas em um artefato do tipo método: fácil usabilidade; eficiência; generalidade; e, operabilidade. Para estimular o avaliador a descrever o que ele pensou sobre o método BIM-ACV proposto, aplicou-se a entrevista aos mestres dividida em 3 etapas: a introdução; outra após a apresentação do artefato; e por final, a conclusão, e seguiu-se o roteiro de questionamentos:

#### **I. INTRODUÇÃO**

- Diga o que você pensa sobre: Utilização de BIM para desenvolvimento de ACV.
- Diga o que você pensa sobre: Técnicas de integração BIM-ACV que visam automatizar cálculos de ACV em edificações utilizando BIM.
- Diga o que você pensa sobre: Incentivar a implementação de ACV por projetistas que utilizam BIM.

#### **II. APÓS A APRESENTAÇÃO DO MÉTODO E DOS ALGORITMOS DESENVOLVIDOS.**

- Diga o que você pensa sobre: Como esta abordagem pode melhorar a eficiência de cálculos ACV em edificações.
- Diga o que você pensa sobre: Este método de integração BIM-ACV pode ser aplicável para desenvolvimento de projetos mais sustentáveis?
- Diga o que você pensa sobre: Generalização do método proposto para outras classes de problemas.

#### **III. CONCLUSÃO.**

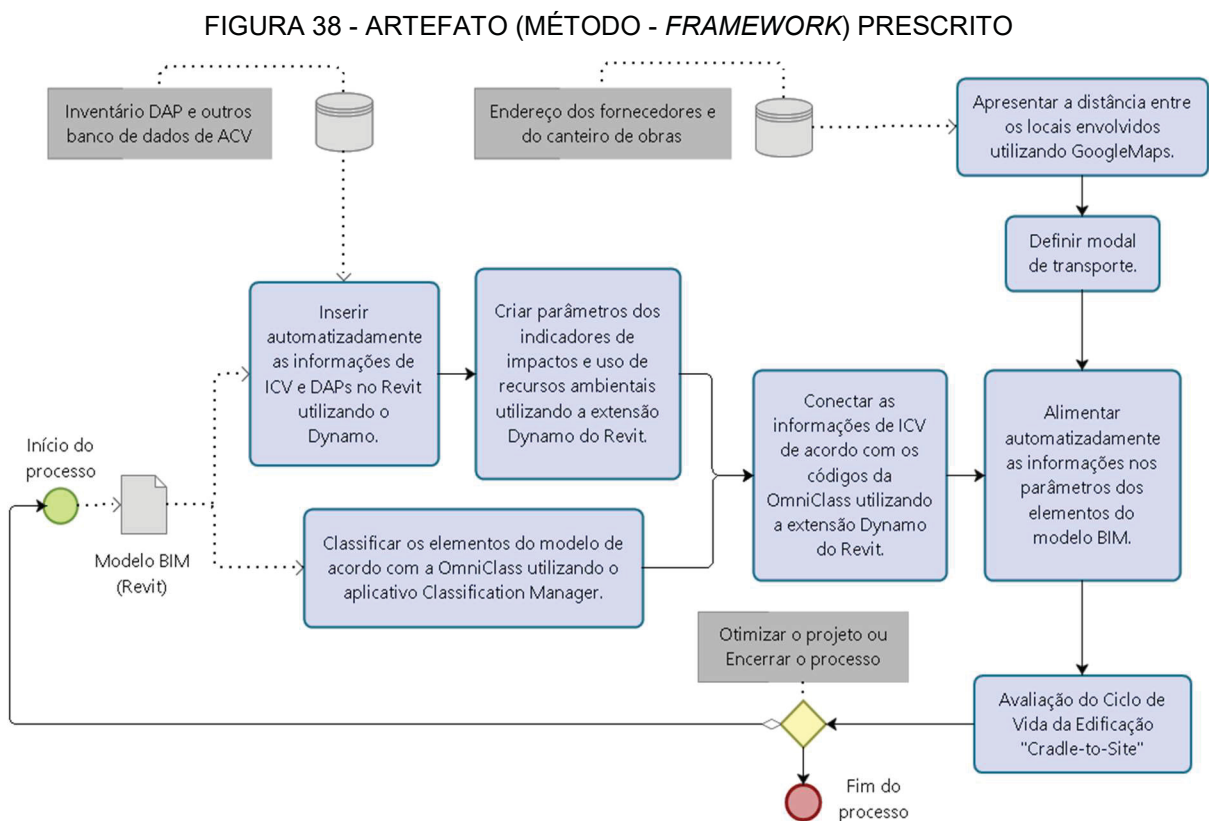
- Diga o que você pensa sobre: Sugestões para melhoria do sistema.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta e discute as últimas etapas para a prescrição do artefato que envolvem: a Proposição do Artefato para Resolução do Problema apresentado; Projeto, Desenvolvimento e Avaliação do artefato escolhido como solução a ser validada; Explicitação das Aprendizagens e Generalização para uma Classe de Problemas.

### 5.1 ARTEFATO PRESCRITO

Visando a interoperabilidade de inventários de DAP legíveis por computador em formato .XLM com uma ferramenta BIM, algoritmos em um ambiente de programação visual foram desenvolvidos de modo a automatizar o desenvolvimento de ACV em edificações na fase do berço ao local (em inglês, *cradle-to-site*). Como resultado, foi obtido o método prescrito na FIGURA 38.



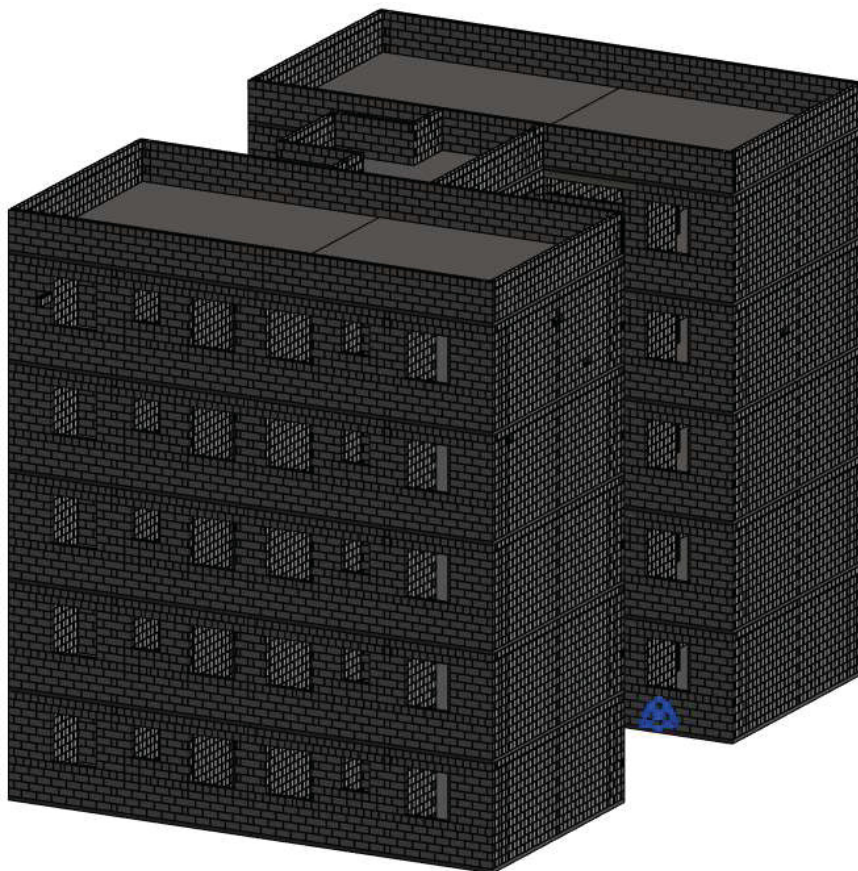
Fonte: A Autora.

Dessa forma, o processo tem início com o projeto arquitetônico e estrutural modelado em BIM utilizando a ferramenta REVIT. Os elementos deste modelo devem ser classificados com as informações provenientes da OmniClass utilizando o aplicativo *Classification Manager*. Em paralelo, deve ser executada a inserção automatizada para o Dynamo das informações provenientes das DAP ou outro banco de dados de ICV para que então seja criado os parâmetros de projetos no Revit. Uma vez que estas duas ações foram executadas, as informações podem ser conectadas utilizando os códigos da OmniClass ao mesmo tempo em que são adicionadas as informações de distância e modal de transporte utilizado para levar o material da fábrica até o local da obra. Neste momento, processa-se o algoritmo para alimentação automática das propriedades e informações dos tipos de elementos do modelo BIM. Dessa forma, basta extrair as quantidades derivadas do modelo para ter o cálculo de ACV “Cradle-to-Site” (berço ao local). A partir deste momento, os envolvidos poderão otimizar o projeto, optando por outros materiais mais sustentáveis e iniciar novamente o processo, ou dar como encerrado.

#### 5.1.1 Avaliação do Artefato

Para experimentação do método foi-se utilizado um modelo BIM desenvolvido em LOD 350 e disponibilizado pela empresa Campestrini (FIGURA 39). O referente modelo refere-se ao projeto estrutural de uma edificação habitacional multifamiliar de baixo padrão, do tipo “Minha Casa, Minha Vida. O sistema construtivo utilizado trata-se de uma alvenaria de concreto estrutural.

FIGURA 39 – MODELO REFRENTE AO PROJETO ESTRUTURAL DE UMA HABITAÇÃO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR DE BAIXO PADRÃO MODELADO PELA CAMPESTRINI



Fonte: Campestrini.

O resultado da ACV de berço ao local deste modelo está apresentado na TABELA 15. A área total construída possui aproximadamente 1.160 m<sup>2</sup>, dessa forma o projeto estrutural apresenta 8,98 kg CO<sub>2</sub> eq. / m<sup>2</sup> construído enquanto a energia incorporada exhibe 284,57 MJ / m<sup>2</sup> construído.

De forma semelhante ao realizado por Tavares (2006) e Araujo (2018), para fins de praticidade, foi considerado todos os materiais foram produzidos a uma distância de 80 km e transportados por caminhões. Para o índice de consumo de energia no transporte rodoviário foi utilizado uma média aritmética dos valores dos 3 tipos de caminhões apresentados na TABELA 12 do capítulo 4 no item 4.2.5.2.3 deste trabalho. Em um projeto real, estes índices deverão ser calculados levando em consideração o meio de transporte e distância real de cada fornecedor.

TABELA 15 – RESULTADOS DA ACV BERÇO-LOCAL DO MODELO ESTRUTURAL

Família: Tipo: Quantidade de Instâncias	Volume (m³)	CO2 BERÇO-LOCAL (kg CO2)	EE BERÇO-LOCAL (kJ)
ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO - BLOCO CANALETA: CANALETA - 14X19X19: 7253	0,9776	0,33	11,30
ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO - BLOCO FECHAMENTO: BLOCO FECHAMENTO 5CM: 10	10,9776	3,73	126,89
ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO - CPSGEP_BLOCO 1 FURO_14X19X19: 1/2 BLOCO - 14X19X19: 1489	0,0870	0,03	0,34
ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO - CPSGEP_BLOCO 2 FUIROS_14X19: BLOCO 14X19X34: 3968	1,1528	0,39	13,33
ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO - CPSGEP_BLOCO 2 FUIROS_14X19: BLOCO 14X19X39: 14755	8,7718	2,98	34,47
ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO - CPSGEP_BLOCO 3 FUIROS_14X19X54: BLOCO TRÊS FUIROS - 14X19X54: 523	0,0523	0,02	0,21
ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO - CPSGEP_BLOCO MACIÇO_14X19: BLOCO - 14X19X4: 1120	0,1121	0,04	0,44
ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO - CPSGEP_BLOCO MACIÇO_14X19: BLOCO - 14X19X9: 168	0,0413	0,01	0,16
BLOCO CANALETA: CANALETA - 14X19X19: 7253	13,2001	1507,68	33679012,30
BLOCO FECHAMENTO: BLOCO FECHAMENTO 10CM: 10	0,0280	1,77	30854,30
BLOCO FECHAMENTO: BLOCO FECHAMENTO 11CM: 241	0,7423	43,52	790233,70
BLOCO FECHAMENTO: BLOCO FECHAMENTO 15CM: 1	0,0042	0,20	4053,20
BLOCO FECHAMENTO: BLOCO FECHAMENTO 16CM: 151	0,6765	30,19	641251,00
BLOCO FECHAMENTO: BLOCO FECHAMENTO 5CM: 10	0,0140	1,57	21177,20
BLOCO FECHAMENTO: BLOCO FECHAMENTO 6CM: 114	0,1932	18,54	265795,00
CPSGEP_BLOCO 1 FURO_14X19X19: 1/2 BLOCO - 14X19X19: 1489	4,3282	309,52	6914111,30
CPSGEP_BLOCO 2 FUIROS_14X19: BLOCO 14X19X34: 3968	19,5863	795,12	16940028,20
CPSGEP_BLOCO 2 FUIROS_14X19: BLOCO 14X19X39: 14755	80,0753	4152,29	122773189,20
CPSGEP_BLOCO 3 FUIROS_14X19X54: BLOCO TRÊS FUIROS - 14X19X54: 523	3,8806	176,03	5794201,90
CPSGEP_BLOCO MACIÇO_14X19: BLOCO - 14X19X4: 1120	1,4364	171,03	2111721,00
CPSGEP_BLOCO MACIÇO_14X19: BLOCO - 14X19X9: 168	0,4564	28,74	471205,80
CPSGEP_CONEXÃO_01: CANTONEIRA L 64X8,0: 2	0,5320	50,10	1725113,50
CPSGEP_CONEXÃO_02: CANTONEIRA L 64X8,0: 9	2,3940	225,45	7763010,70
CPSGEP_CONEXÃO_03: CANTONEIRA L 64X8,0: 2	0,5320	50,10	1725113,50
CPSGEP_CONEXÃO_04: CANTONEIRA L 64X8,0: 2	0,5320	50,10	1725113,50
CPSGEP_CONEXÃO_05: CANTONEIRA L 64X8,0: 9	2,3940	225,45	7763010,70
CPSGEP_CONEXÃO_06: CANTONEIRA L 64X8,0: 2	0,5320	50,10	1725113,50
CPSGEP_CONEXÃO_07: CANTONEIRA L 64X8,0: 11	2,9260	275,55	9488124,10
CPSGEP_CONEXÃO_08: CANTONEIRA L 64X8,0: 11	2,9260	275,55	9488124,10
CPSGEP_VIGA RETANGULAR COM BASE VARIÁVEL MOLDADA NO LOCAL: 14 X 19 CM: 20	1,7249	25,23	1249238,30
CPSGEP_VIGA RETANGULAR COM BASE VARIÁVEL MOLDADA NO LOCAL: 14 X 40 CM: 15	1,4756	21,63	1069329,50
CPSGEP_VIGA RETANGULAR COM BASE VARIÁVEL MOLDADA NO LOCAL: VIGAS BLOCO CANALETA: 718	22,4285	324,11	16193293,30
FLOOR: CPSGEP_LAJE MACIÇA MOLDADA NO LOCAL_10 CM: 38	147,3609	1530,56	76440968,30
GRAUTE: GRAUTE: 189	4,3442	66,19	3304424,10
		<b>10413,86 kg CO2</b>	<b>330097,00 MJ</b>

Fonte: A Autora.

## 5.2 EXPLICITAÇÃO DAS APRENDIZAGENS

As aprendizagens adquiridas serão explicitadas nesta etapa, apresentando os benefícios obtidos e limitações identificadas no decorrer da pesquisa. Além da opinião da Autora, este trabalho foi posto em julgamento por meio de um estudo empírico com um arquiteto e uma arquiteta, ambos mestres e professores no tema. Para estimular os avaliadores a descrever o que pensaram sobre o método BIM-ACV proposto, aplicou-se o roteiro aos entrevistados apresentado na seção 4.2.6. deste trabalho. Os resultados obtidos através do questionário respondido pelos entrevistados estão apresentados nas TABELA 16 (Etapa 1. Introdução), TABELA 17 (Etapa 2. Após a apresentação do método proposto) e TABELA 18 (Etapa 3. Conclusão).

TABELA 16 – PERGUNTAS E RESPOSTAS DA ETAPA I: INTRODUÇÃO (CONTINUA)

<i>O que você pensa sobre...</i>	<i>Pontos levantados pelo Entrevistado</i>
<i>Utilização de BIM para desenvolvimento de ACV.</i>	<p>ENTREVISTADO I: “Eu acredito que o proposito principal é reaproveitar os dados e informações. No mundo social, essa coisa não será paga se a gente não utilizar ferramentas que permitam entregar no mesmo tempo. Depende do tempo que o mercado tem para a entrega do produto. As coisas não acontecem não porque as pessoas não sabem fazer, mas porque não está ajustado ao mercado. O mercado da construção civil é tacanho.”</p> <p>ENTREVISTADO II: “Penso que a tecnologia BIM está trazendo possibilidades de automatização para diversos níveis de processos na construção civil. Utilizar os benefícios dessa tecnologia para reduzir impactos ambientais é essencial para o desenvolvimento mais sustentável do setor nos próximos anos.”</p>

*Fonte: A Autora.*

TABELA 16 – PERGUNTAS E RESPOSTAS DA ETAPA I: INTRODUÇÃO (CONCLUSÃO)

<p><i>Técnicas de integração BIM-ACV que visam automatizar cálculos de ACV em edificações utilizando BIM.</i></p>	<p>ENTREVISTADO I: “Parece-me que a lógica continua se repetindo, ninguém vai pagar para que a alguém refaça. Os mundos estão muito isolados, os <i>software</i> não se conectam. As pessoas utilizam o IFC apesar de, e não para que. Ainda parece uma luta contra a transposição de dados e não sobre o que eu posso fazer. Tudo está baseado no cliente final. Posso ligar com a ACV no lado da engenharia, mas como você chega no lado da arquitetura? Modelo de dados vs. Modelos apenas geométricos. São tudo fases do mercado. Ainda mais no Brasil em que a multidisciplinaridade é menos reconhecida que nos outros lugares do mundo.”</p> <p>ENTREVISTADO II: “O uso do BIM ainda está em desenvolvimento, bem como suas possíveis aplicações. Acredito que muito ainda precisa ser feito para que de fato uma ACV possa ser realizada de forma totalmente automatizada e precisa. Justamente por isso é necessário que cada vez mais sejam realizadas pesquisas e novos métodos sejam testados com essa finalidade, utilizando as diversas ferramentas disponíveis.”</p>
<p><i>Incentivar a implementação de ACV por projetistas que utilizam BIM.</i></p>	<p>ENTREVISTADO I: “Ele será pago? Tem duas possibilidades: é tão mais rápido que eu consigo vender sobre o mesmo preço produtos a mais? O tempo de projeto se reduz mesmo que em um começo a pessoa não precisa pagar por isso? Ou começamos fazer o cliente pagar por esse produto? Se você cobrar a incorporadora, ela vai cobrar do banco..., mas o cliente final não paga. Se é importante ou não, talvez a pergunta seria: O que a gente chama de projeto não teria que mudar? Enquanto o mercado olhar como um conjunto de entregas. É epistemologicamente projetado... Em que momento foi necessário mudar, o mercado pediu ou foi louvor histórico? O arquiteto ainda não é contrato para fazer o meio de campo, ele é contratado para entregar o projeto em etapas. Talvez, quando o mercado perceber que poderá mudar funcione. O jeito que o mercado contrata é o jeito de ensinar, aprendizado acumulativo. Se não é desde a origem passado por informação e não por entrega, o mercado não vai conseguir enxergar isso.”</p> <p>ENTREVISTADO II: “Com certeza é muito importante que projetistas sejam incentivados e estejam atentos quanto às questões de sustentabilidade e sobre os impactos de suas decisões projetuais. Mas mais que isso, acredito o BIM e a automatização de ACVs possam permitir maior cobrança e transparência de informações sobre o real impacto gerado em toda a cadeia da construção.”</p>

Fonte: A Autora.

TABELA 17 - PERGUNTAS E RESPOSTAS DA ETAPA II (APÓS A APRESENTAÇÃO DO MÉTODO)

<i>O que você pensa sobre...</i>	<i>Pontos levantados pelo Entrevistado</i>
<i>Como esta abordagem pode melhorar a eficiência de cálculos ACV em edificações.</i>	<p>ENTREVISTADO I: “Pode melhorar tornando mais rápido, mais chances de ser utilizado. Mais digno.”</p> <p>ENTREVISTADO II: “Esta abordagem facilita muito a realização de alguns cálculos, otimiza diversos processos dentro do software e reduz significativamente o tempo de análises quantitativas, uma vez que, permite que dados de Energia Embutida sejam automaticamente relacionados aos elementos a partir de um banco de dado qualquer. Porém, este método não exime a necessidade de conhecimento específico em ACV e também o domínio do software Revit e ferramenta de programação Dynamo.”</p>
<i>Este método de integração BIM-ACV pode ser aplicável para desenvolvimento de projetos mais sustentáveis?</i>	<p>ENTREVISTADO I: “Sim, se produz a informação. Melhora a inteligência dos processos, possibilita enxergar o impacto e possibilidades.”</p> <p>ENTREVISTADO II: “Sim, pode ser aplicado com certeza. Inclusive este método pode ser utilizado para quantificar e comprovar impactos conforme é exigido por certificações ambientais de edificações. Além disso, de auxiliar projetistas a selecionar materiais de baixo impacto ambiental, podendo também justificar suas escolhas para seus clientes.”</p>
<i>Generalização do método proposto para outras classes de problemas.</i>	<p>ENTREVISTADO I: “Acho viável. Por isso pensar a ferramenta como meta-meta-modelagem. Aumentar o escopo da resolução do algoritmo.”</p> <p>ENTREVISTADO II: “Da mesma forma que este método foi desenvolvido especificamente para análise e quantificação de energia embutida para alguns elementos construtivos, também pode ser aplicado para outros elementos da edificação, sendo necessário apenas alguns ajustes de forma particular. Utilizando a mesma lógica de programação, também é possível quantificar outros tipos de impactos, estimar resíduos e desperdício durante a construção ou desconstrução do edifício, ou até extrapolar para análises de custos e outros indicadores.”</p>

Fonte: A Autora.

TABELA 18 – PERGUNTAS E RESPOSTAS DA ETAPA III (CONCLUSÃO)

<i>O que você pensa sobre...</i>	<i>Pontos levantados pelo Entrevistado</i>
<i>Sugestões para melhoria do sistema.</i>	<p>ENTREVISTADO I: “Pensar a ferramenta como meta-meta-modelagem. Falta um nível de agregação de dados, como por exemplo a janela de tal fornecedor poderia ser uma variável, assim o algoritmo é dinâmico e não dá erro. Agrega-se como uma tabela de dados. Então, o que manda é tabela de dados, não o algoritmo... dessa maneira, sobrevive-se a adaptações de tabela de dados. Deve-se então definir quais informações precisam vir para cada tipo de objeto.”</p> <p>ENTREVISTADO II: “Sugiro deixar indicado de forma clara qual é a função de cada uma das rotinas no Dynamo, dessa forma outras pessoas podem replicar o método de forma mais assertiva, além de permitir adaptações e aprimoramentos. “</p>

Fonte: A Autora.

O resultado da aplicação deste estudo empírico de grande completude, mesmo com o semelhante perfil acadêmico dos dois entrevistados: ambos arquitetos, mestres em engenharia da construção civil e professores. Isto porque o primeiro contribuiu com uma visão complexa e filosófica sobre o mercado e a sociedade, enquanto o segundo tem um perfil mais pragmático e corporativo, atuando no momento como projetista em empreendimentos mais sustentáveis. Dessa maneira, ambos pensamentos mesmo com diferentes focos, se complementaram muito bem, não havendo divergências a serem destacadas.

### 5.2.1 Benefícios Obtidos

Vários aspectos da estrutura prescrita permitem criar um processo automatizado para Avaliação do Ciclo de Vida de edificações durante a fase de desenvolvimento do projeto. Esta estrutura possibilita comparar resultados de ACV de edificações aplicados em modelos BIM, contribuindo para tomada de decisões relacionadas a projetos alternativos, seleção de materiais, fornecedores e componentes de uma perspectiva ambiental.

Dessa forma, pode-se dizer que este trabalho tem como resultado empírico também o incentivo à filosofia de *Life-Cycle Thinking* (LCT), em português,

'pensamento de ciclo de vida', aplicada na indústria da construção que vai além do foco tradicional do local de produção e processos de fabricação e inclui o estudo dos impactos ambientais, culturais, sociais e econômicos de um produto durante todo o seu ciclo de vida. Ambos entrevistados do grupo focal enxergaram que o método de integração BIM-ACV proposto pode ser de fato aplicável para desenvolvimento de projetos mais sustentáveis.

Espera-se também que o estudo fomente políticas públicas, assim como incentive os fornecedores da cadeia de suprimento da indústria de AEC, a adotar e elaborar Declarações Ambientais de Produtos (DAP), principalmente no Brasil, uma vez que na Europa já está padronizada a metodologia aplicada nos produtos da construção, por meio das normas EN 15978 (edificações) e EN 15804 (produtos). Além disso, uma vez que a nova base de dados com informações de DAP digitais, legíveis por máquina foi lançada no dia 25 de abril de 2018, este trabalho pode ser apontado com o um dos pioneiros na aplicação destas com BIM.

O sistema de integração BIM-ACV desenvolvido com o uso das DAP legíveis por computador em formato XML e o Revit, contribui para a automatização do desenvolvimento de ACV em edificações. Isto ocorre, uma vez que o nível de integração é mais elevado quando se resolve a interoperabilidade, que nada mais é que o compartilhamento de informações, que no sistema desenvolvido acontece de maneira automatizada dentro do próprio software BIM. Além disso, a forma com que os algoritmos foram construídos possibilita a adaptação do inventário de DAP para qualquer outra base de dados de ICV, o que por si só, facilita a contabilização de impactos e recursos ambientais incorporados aplicado a cada tipo de elemento utilizado no projeto de interesse ou até mesmo na edificação por inteiro.

As ferramentas e conceitos utilizados para obtenção da integração BIM-ACV apresentam alguns outros benefícios. O *DesignScript* é particularmente relevante para os usuários que estão atualmente usando programação visual (como o Dynamo) e que são novos na programação baseada em texto (por exemplo, Python). A programação visual, por si só, é qualificada como fácil e intuitiva, o que possibilita alcançar produtividade, explorar e desenvolver diversas funcionalidades com pouco tempo dedicado ao treinamento. Além disso, as possibilidades de aplicações aumentam exponencialmente quando se aplica em conjunto com a programação baseada em texto. Os dois estilos de programação abordam diferentes tarefas computacionais e essencialmente se complementam, compartilhando uma notação

comum, o que significa que, em alguns casos, o mesmo código pode ser executado como fluxo de dados ou de forma imperativa. Além disso, as tarefas computacionais desejadas neste trabalho se beneficiam desta combinação de estilos de programação dentro do mesmo programa (Revit) e até mesmo dentro de uma mesma função ou método.

### 5.2.2 Limitações e Dificuldades

As maiores dificuldades foram encontradas no desenvolvimento dos algoritmos. Apesar do Dynamo ser considerada uma ferramenta de programação intuitiva e de fácil aprendizagem, algumas limitações de nós (*nodes*) apareceram no decorrer do trabalho. Dessa forma, houve a necessidade de buscar pacotes complementares que auxiliassem o desenvolvimento, como foi o caso do Rhythm, Clockwork e LunchBox. Estes “packages” não são bem definidos e não existe algum lugar que resuma suas aplicações e funcionalidades. Assim, gasta-se um tempo maior de procura e algumas de vezes de retrabalho até encontrar a melhor solução. Além disso, aquela vantagem inicial de facilidade de uso da programação visual, também pode se tornar uma desvantagem. À medida que diferentes nós são adicionados ao gráfico o efeito visual torna-se muito complexo e, eventualmente, difícil de ler. Então, neste momento, deve-se pensar em uma maneira mais sucinta de representar a lógica do programa.

Desenvolver o algoritmo utilizando também programação baseada em texto requer necessariamente o estudo de uma série de novos conceitos, além de uma terminologia precisamente definida e sintaxe até então pouco conhecida pela Autora, o que acabou resultando em mais uma dificuldade durante o fluxo do trabalho. Tratando-se de programar um raciocínio simples e direto, a linguagem Python encaixou-se adequadamente no trabalho. No entanto, nos momentos em que seria necessária uma interação mais complexa entre as listas de dados para automatizar ainda mais o algoritmo, a aplicação da linguagem em texto acabou tornando-se uma limitação. Como por exemplo, o algoritmo de interoperabilidade BIM-ACV está limitado a ler uma DAP de cada vez, então se faz necessário repetir o processamento do algoritmo algumas vezes até completar todos os elementos com as informações. Além disso, toda a vez que alguma nova DAP for publicada esta deverá ser baixada manualmente e inserida na pasta correspondente com o algoritmo. Assim como o

cálculo de distância do local da fábrica dos materiais até o canteiro de obras deverá ser fornecido manualmente no aplicativo Dynamo Player.

Tratando-se da coleta de informações, infelizmente, as DAP legíveis por computadores foram lançadas apenas há um ano atrás. Assim, os conjuntos de dados em formato XML existentes são apenas 31, os quais obviamente não contemplam todos os produtos da construção civil, enquanto o banco de dados de DAP convencional em formato PDF possui mais de 900 publicações. Portanto, para a avaliação do método proposto os algoritmos foram aplicados de maneira hipotética, utilizando-se das informações de impacto e uso de recursos ambientais provenientes de outros produtos. Apesar de conseguir validar a aplicação do método, ainda não é possível aplicar as informações verossímeis utilizando apenas as DAP legíveis por computadores, sendo necessário utilizar outro banco de dados para realizar de fato uma ACV de berço ao local aplicada a todos os materiais do projeto. Frisa-se que por limitação de tempo este artefato de instanciação não pode ser realizado.

### 5.3 GENERALIZAÇÃO PARA UMA CLASSE DE PROBLEMAS

Por fim, avalia-se o artefato proposto, para que este possa ser generalizado e adequado para uma classe de problemas, proporcionando o avanço do conhecimento científico. Assim, identificou-se também as potenciais aplicações das proposições em outros domínios de aplicação.

O raciocínio pelo qual o processo foi predefinido, possibilita a inserção no modelo BIM de informações vinculadas a qualquer tipo de banco de dados. Dessa forma, tratando-se da questão de interoperabilidade desenvolvida neste trabalho, a utilização do Dynamo como ambiente de programação visual e extensão da ferramenta Revit, adiciona grande valor ao trabalho. Uma vez que os algoritmos desenvolvidos podem ser adaptados para diferentes classes de problemas que necessitem de uma integração com BIM, possibilitando auxiliar na contabilização total dos quantitativos de projetos, independente de qual seja o parâmetro em análise. Isto pode ser constatado também pelos entrevistados do grupo focal. Ambos acham viável a generalização do método proposto para outras classes de problemas, o entrevistado II sugeriu algumas aplicações interessantes:

*“Utilizando a mesma lógica de programação, também é possível quantificar outros tipos de impactos, estimar resíduos e desperdício durante a construção ou desconstrução do edifício, ou até extrapolar para análises de custos e outros indicadores”.*

Além disso, a programação de fluxo de dados visual utiliza regras simples para conectar nós, os quais seguem uma padronização gráfica coerente que permite descobrir com facilidade mais aplicações, mesmo de nós desconhecidos. Dessa forma, a programação visual é qualificada como fácil e intuitiva. Com não muito treinamento já consegue ser produtiva e possibilita explorar e desenvolver diversas funcionalidades. Além disso, muito mais pode ser obtido quando aplicou o *DesignScript* que aborda a união da programação visual com a baseada em texto. Linguagens de programação baseadas em texto utilizam mais conceitos e permitem que esses sejam combinados de muitas outras maneiras. Assim, o programador consegue ser produtivo, expressivo e realizado aplicando esta compreensão de conceitos, terminologia e regras de programação.

## 6 CONCLUSÃO

Tendo em vista as revoluções tecnológicas da sociedade, verifica-se que há uma busca pela automação e digitalização dos serviços inclusive no âmbito da AEC utilizando-se do BIM, em que se faz necessário o desenvolvimento de algoritmos para otimização do tempo e das tomadas de decisão dos profissionais envolvidos. Enquanto no contexto da filosofia de *life-cycle thinking*, enxerga-se uma oportunidade de estudo e desenvolvimento ágil dos cálculos de impactos ambientais e consumo energético utilizando a ferramenta de ACV. Unindo os pontos destacados, o estudo visou prescrever um artefato (método) para automatizar a integração BIM-ACV que estime os impactos e uso de recursos ambientais provenientes dos materiais de construção e do transporte dos mesmos até o canteiro de obras, de maneira a auxiliar na tomada de decisão durante a fase de concepção do projeto. Para isso, foi incorporado dos conceitos e abordagem metodológica da *Design Science Research*.

Na RSL sobre a utilização do BIM para auxiliar na Avaliação Impactos do Ciclo de Vida de edificações, com ênfase nas emissões de carbono e consumo de energia, a qual foi estruturada para obter estudos que desenvolveram artefatos próximos ao contexto do problema e das questões de pesquisa apresentados anteriormente, foram identificados 34 artigos em periódicos internacionais entre 2013 e 2017. Neste estudo, foi perceptível que 50% das publicações consideram a análise da fase de construção, 44% consideram a operação, 30% o reparo e manutenção e apenas 23% a fase de demolição. Nenhum dos artigos considerou em sua análise de emissão de carbono e consumo de energia as atividades durante planejamento e projeto da edificação. Durante esta análise, a maioria dos artigos encontrados (74%) estudaram os impactos dos materiais utilizados, enquanto apenas 26% consideraram os impactos de transporte de tais materiais até o canteiro de obra do empreendimento. A análise de carbono foi o impacto mais avaliado na vasta maioria dos documentos (23 dos 34 artigos). Apenas 11 destes executaram a análise energética efetivamente. Entre as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento da modelagem BIM, a mais utilizada foi o Revit. Tratando-se do cálculo de ACV, 11 artigos utilizaram um *software* específico, sendo que os Inventários de Ciclo de Vida (ICV) e bancos de dados utilizados para as análises também variam consideravelmente entre as publicações.

Já na fase de projeto e desenvolvimento do artefato, visando a interoperabilidade, algoritmos em um ambiente de programação visual BIM foram

desenvolvidos de modo a automatizar o desenvolvimento de ACV em edificações na fase do berço ao local (em inglês, *cradle-to-site*). Para a modelagem BIM, optou-se por utilizar o Autodesk® Revit, enquanto para o desenvolvimento do algoritmo dentro da mesma ferramenta foi utilizado o conceito *DesignScript* que engloba em um mesmo ambiente ambos os tipos de programação: visual e linguagem de texto. No caso, foi utilizada a expansão do Dynamo e Python. Tratando-se do Sistema de Classificação da Informação da Construção foi aplicada a OmniClass™, a qual está sendo utilizada como base para o desenvolvimento da NBR 15965. A classificação dos elementos foi feita através do aplicativo Classification Manager for Revit. Os valores de ACV referentes aos impactos ambientais e energia utilizada para fabricação dos materiais foram programados para serem obtidos utilizando as DAP legíveis por computador. Enquanto, o cálculo de ACV referente ao transporte dos materiais ao local da obra foi baseado no estudo de Tavares (2006). Para gerar informações de carbono emitido e energia utilizada para a fase de transporte foi utilizado os valores publicados no Inventário Ecológico publicado pelas Universidades de Karlsruhe e Weimar na Alemanha e Zurich na Suíça e para estimar a quantidade emissão de CO<sub>2</sub> com base nos consumos energéticos de transporte foi utilizada a relação de 0,0002 KJ/kg para kg CO<sub>2</sub>/kg apresentada por Buchanan e Honey (1994).

O método proposto neste trabalho começa a partir do projeto arquitetônico e estrutural modelado em BIM utilizando a ferramenta REVIT. Os elementos deste modelo devem ser classificados com as informações provenientes da OmniClass utilizando o aplicativo Classification Manager. Em paralelo, deve ser executada a inserção automatizada para a expansão do Dynamo das informações provenientes das DAP ou outro banco de dados de ICV para que então seja criado os parâmetros de projetos no Revit. Uma vez que estas duas ações foram executadas, as informações podem ser conectadas utilizando os códigos da OmniClass ao mesmo tempo que são adicionadas as informações de distância e modal de transporte utilizado para levar o material da fábrica até o local da obra. Neste momento, processa-se o algoritmo para alimentação automática das propriedades e informações dos tipos de elementos do modelo BIM. Dessa forma, basta extrair as quantidades derivadas do modelo para ter o cálculo de ACV “Cradle-to-Site” (berço ao local). A partir deste momento, os envolvidos poderão otimizar o projeto, optando por outros materiais mais sustentáveis e iniciar novamente o processo, ou dar como encerrado.

Vários aspectos da estrutura prescrita permitem criar um processo automatizado para Avaliação do Ciclo de Vida de edificações durante a fase de desenvolvimento do projeto. Esta estrutura possibilita comparar resultados de ACV de edificações aplicados em modelos BIM, contribuindo para tomada de decisões relacionadas a projetos alternativos, seleção de materiais, fornecedores e componentes de uma perspectiva ambiental. Dessa forma, o estudo tende a fomentar políticas públicas, assim como os fornecedores da cadeia de suprimento da indústria de AEC, a adotar e elaborar Declarações Ambientais de Produtos (DAP).

O método proposto foi avaliado e validado aplicando-se um experimento controlado e um estudo empírico de grupo focal do tipo confirmatório. Como uma das aprendizagens, o método traz benefícios como a possibilidade de inserção no modelo BIM de informações vinculadas a diferentes classes de problemas, apenas alterando o banco de dados. Dessa forma, tratando-se da questão de interoperabilidade desenvolvida neste trabalho, a utilização do Dynamo como ambiente de programação visual e extensão da ferramenta Revit, adiciona grande valor a este trabalho. Os conceitos e os algoritmos desenvolvidos podem ser adaptados para diversas classes de problemas que carecem de uma interação com BIM, independente de qual seja o parâmetro em estudo. No entanto, sugere-se que nas próximas versões do Dynamo a funcionalidade “copiar e colar” e o “delete” sejam melhorados, pois o comando no teclado funciona inadequadamente, fazendo o que o usuário perca tempo desnecessário por retrabalho. Além disso, deveria existir uma ferramenta de copiar e colar partes de um algoritmo desenvolvido em outro arquivo também.

No entanto, tratando-se da aplicação apenas de DAP legíveis por computadores, ainda não é possível ter todas as informações de produtos utilizados no projeto, sendo necessário utilizar outro banco de dados para realizar de fato uma ACV da edificação do berço ao local. Frisa-se que por limitação de tempo este artefato de instanciação não pode ser realizado neste momento.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, otimizar o algoritmo para que este interaja de maneira mais automatizada entre os diferentes conjuntos de dados de DAP e de ICV, desenvolvendo-o como ferramenta de meta-meta-modelagem, aumentando um nível de agregação de dados para que a tabela de dados conduza a lógica e não o algoritmo, evitando erros ao trabalhar com diferentes materiais e produtos. Além disso, pode-se programar para que a leitura das DAP legíveis por computador seja executada diretamente da web, sem a necessidade de baixá-las manualmente a cada

nova publicação. Tratando-se do cálculo de distância da fase de transporte da fábrica ao local da construção é interessante formular alguma maneira de automatizá-lo utilizando algum aplicativo de GPS ou programar para buscar os dados da própria web. O escopo da ACV também pode ser estendido para as demais fases do ciclo de vida, envolvendo principalmente questões de circularidade da edificação e dos materiais. A solução de interoperabilidade em questão pode ser estendida numa forma integrada com uma Simulação de Eventos Discretos, em inglês, *Discrete Event Simulation* (DES), em ordem para simular a cadeia de suprimentos da construção considerando interações dinâmicas entre as tarefas e recursos, fornecendo informações consistentes referente a hora de manuseio de cada equipamento, o que pode ser aplicado alinhado com dados de ACV. Sugere-se elaborar um estudo que proponha uma organização dos produtos da construção, para que as informações de ACV venham um padrão de unidades adequado para cada tipo de elemento de acordo com o que se modela no software BIM. Por final, como um passo a mais para chamada Construção 4.0 sugere-se agregar conceitos e ferramentas de inteligência do artificial e internet das coisas com os conceitos e resultados apresentados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ABANDA, F.H., OTI, A.H., TAH, J.H.M, Integrating BIM and new rules of measurement for embodied energy and CO2 assessment, **Journal of Building Engineering**, vol. 12, pp. 288-306, 2017.

ABNT NBR ISO 14040. **Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT NBR ISO 14044. **Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2009.

AJAYI, S., OYEDELE, L., GALLANAGH M., KADIRI, K., Life cycle environmental performance of material specification: a BIM-enhanced comparative assessment, **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, vol. 6:1, pp. 14-24, 2015.

AKAN, M. Ö. A.; DHAVALÉ, D. G.; SARKIS, J.. Greenhouse gas emissions in the construction industry: An analysis and evaluation of a concrete supply chain. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 1195-1207, 2017.

AKBARNEZHAD, A., MOUSSAVI, Z.S., NADOUSHANI, M., Estimating the Costs, Energy Use and Carbon Emissions of Concrete Recycling Using Building Information Modelling, In: 31st INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION AND MINING (ISARC). **Anais...** Sydney, 2014.

AKBARNEZHAD, A., ONG, K.C.G., CHANDRA L.R., LIN, Z., Economic and environmental assessment of deconstruction strategies using building information modeling, In: CONSTR. RES. CONGR. **Anais...** pp. 1730–1739, 2012.

ALGAYER, T. A. **Gerenciamento da Informação Baseado em um Modelo BIM-FM para a Gestão da Manutenção**. 2019. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

ALSHAMRANI, O. S.; GALAL, K.; ALKASS, S. Integrated LCA–LEED sustainability assessment model for structure and envelope systems of school buildings. **Building and Environment**, v. 80, p. 61-70, 2014.

ANTÓN, L., DÍAZ, J., Integration of life cycle assessment in a BIM environment, **Procedia Engineering**, vol. 85, pp. 26-32, 2014a.

ANTÓN, L.Á., DÍAZ, J., Integration of LCA and BIM for sustainable construction, World Acad. Sci. Eng. Technol. **Int. J. Soc. Educ. Econ. Manag. Eng.** Vol. 8, pp. 1356–1360, 2014b.

AQUA-HQE. **Guia prático do referencial de avaliação da qualidade ambiental do edifício**. Fundação Vanzolini, São Paulo, Brasil. 2018. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/aqua/wp-content/uploads/sites/9/2018/08/GP-AQUA-HQE-NR-QAE-emConstruc%CC%A7a%CC%83o-ad-2018-08-03.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2018.

ARAUJO, A. M. F. **Avaliação de Ciclo de Vida Energética em Edificações a Partir de Modelagem BIM e Simulação Termo Energética: Aplicação Utilizando Revit E Energyplus.** 2018. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

ARAUJO, A. M. F.; CRIPPA, J.; UEHARA, L. K. S.; LOPES, T. V.; SCHEER, S. In: Interoperabilidade de ferramentas BIM e avaliação do ciclo de vida de edificações, 10º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO. **Anais...** Nov 2017, p. 251-259, 2017.

ARAÚJO, Carlos Alberto. **Bibliometria: evolução histórica e questões atuais.** Em questão, v. 12, n. 1, 2006.

ARIOĞLU, N. D.D. HATIPOĞLU, M.Ö. ARIOĞLU SALMONA, E. ARIOĞLU. In: Examination for concrete industry from the standpoint of sustainability concept, 11TH PREFABRICATION SYMPOSIUM – DESIGN OPPORTUNITIES IN PREFABRICATION. **Anais...** İzmir, Turkish, 2004.

ASDRUBALI, F., BALDASSARRI, C., FTHENAKIS, V., Life cycle analysis in the construction sector: guiding the optimization of conventional Italian buildings, **EnergyBuild.** Vol. 64, pp. 73–89, 2013.

ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE. **Athena Guide to Whole-Building LCA in Green Building Programs.** 2014. Disponível em: [https://calculatelca.com/wp-content/uploads/2014/03/Athena\\_Guide\\_to\\_Whole-Building\\_LCA\\_in\\_Green\\_Building\\_Programs\\_March-2014.pdf](https://calculatelca.com/wp-content/uploads/2014/03/Athena_Guide_to_Whole-Building_LCA_in_Green_Building_Programs_March-2014.pdf) 2014. Acesso em: 05 julho 2018.

AZHAR, S., BROWN, J., SATTINENI, A., A case study of building performance analyses using building information modeling, In: 27th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION. **Proceedings...** Bratislava, Slovakia, 2010

BASBAGILL, J., FLAGGER, F., LEPECH. M., FISCHER, M., Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts, **Building and Environment**, vol. 60, pp. 81-92, 2013.

BIM Protocol Exhibit: E202: **Building Information Modeling Protocol Exhibit.** pp. 09 2008.

BIMFORUM. **Level of Development (LOD) Specification.** 2013. Disponível em: <http://www.bimforum.org/lod>. Acesso em: 15 de junho de 2018.

BOESCH, M.E.; HELLWEG, S. Identifying improvement potentials in cement production with life cycle assessment. **Environmental science & technology**, 44(23), pp. 9143-9149, 2010.

BUCHANAN, A.; HONEY, B. Energy and carbon dioxide implications of building construction. **Energy and Buildings** 20, p. 205-217. Elsevier Science Ltd. 1994.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Implementação BIM - Parte 1:** Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras. Brasília, 2016.

CAPARELLI, A. P. A., CRIPPA, J., BOEING, L. C. **Integração das ferramentas BIM e LCA no desenvolvimento de edificações sustentáveis: estudo sobre vedações verticais**, Trabalho de Conclusão do Curso, Universidade Federal do Paraná, 2015.

CATELANI, W.; SANTOS, E. T. Normas Brasileiras sobre BIM. **Concreto & Construções**, São Paulo, n.84, p. 54 - 59, 01 out. 2016. Disponível em:< [http://ibracon.org.br/Site\\_revista/Concreto\\_Construcoes/pdfs/revista84.pdf](http://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/revista84.pdf)>. Acesso em 16 jun. 2017.

CHEN, P., LI, Y., BIM-Bases Integration of Carbon Dioxide Emission and Cost Effectiveness for Buildings in Taiwan, **Society of Social Management Systems Internet Journal**, vol. 12, 2014.

CHOWDARY, K., GUNARANI, G., Reduction of Operational Electricity Consumption and Carbon Dioxide Emissions of a Small Residential Building Using BIM Tool and IES VE with Green Materials, **International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)**, vol. 8:5, pp. 929-959, 2017.

COUGHLIN, J. **BIM Levels of Development**. 2018. Disponível em: <<https://www.mestekmachinery.com/bim-levels-of-development>>. Acesso em: 17 jul. 2018.

CRIPPA, J., BOEING, L. C., CAPARELLI, A. P. A., DA COSTA, M. D. R. D. M. M., SCHEER, S., ARAUJO, A. M. F., & BEM, D. A BIM–LCA integration technique to embodied carbon estimation applied on wall systems in Brazil. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 8, n. 5, p. 491-503, 2018.

DE BRITO MELLO, L. C. B.; DE AMORIM, S. R. L. O subsetor de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos. **Production**, v. 19, n. 2, p. 388-399, 2009.

DIAZ, J.; ANTON, L. Sustainable Construction Approach through Integration of LCA and BIM Tools. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2014, Orlando. **Proceedings...**, ASCE, p. 283–290, 2014.

DIAZ, J., ALVAREZ-ANTON, L., REITSCHMIDT, G., Integrating BIM and LCA. Comparison of Different Approaches for the Integration of Lifecycle Information in a Digital Planning Process, In: 16<sup>TH</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING (ICCCBE) **Proceedings...** Osaka, Japan, 2016.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Bookman Editora, 2015.

DUPUIS, M., APRIL, A., LESAGE, P., FORGUES, D., Method to enable LCA analysis through each level of development of a BIM model, **Procedia Engineering**, vol. 196, pp. 857-863, 2017.

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

EN 15804. **Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products.** European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2013.

EN 15978. **Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method.** European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2011.

ENVIRONDEC. **The International EPD® System launches a new database with digital EPD data.** 2018. Disponível em: <https://www.environdec.com/News-archive/the-international-epd-system-launches-a-new-database-with-digital-epd-data/>. Acesso em: 7 de dezembro de 2018.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2015: Ano base 2014.** Rio de Janeiro, 2015.

EUA. **Energy Efficiency and Renewable Energy Network (EREN).** Department of Energy. Center of Excellence for Sustainable Development, 2003.

EUROPEAN COMMISSION. JOINT RESEARCH CENTRE. **ILCD Handbook: General Guide for Life Cycle Assessment: Detailed Guidance.** Publications Office of the European Union, 2010.

FARIA, R. Tecnologia Construção Integrada. **Revista Técnica.** 2007. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/127/artigo286443-1.aspx>. Acesso em: 10 out. 2015.

GARDEZI, S.S.S, SHAFIQ, N., ZAWAWI, N. A. W., FARHAN, S.A., Embodied Carbon Potential of Conventional Construction Materials used in Typical Malaysian Single Storey Low Cost House using Building Information Modeling (BIM). **Advanced Materials Research**, vol. 1043, pp. 242-246, 2014.

GOMES, Vanessa; BARROS, Natalia Nakamura. Contribuição da modelagem BIM para facilitar o processo de ACV de edificações completas. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 13, n. 2, p. 19-34, 2018.

HARDIN, B., MCCOOL, D., **BIM and Construction Management**, Indianapolis, USA, 2009.

HERTWICH, E. G.; PETERS, G. G. Carbon footprint of nations: a global, trade-linked analysis. **Environ. Sci. Technol.**, v.43, n.16, p.6414–6420, 2009. Disponível em: <http://www.ppgcc.ufpr.br/dissertacoes/d0119.pdf>. Acesso em: 10 set. 2015.

HEVNER, A. R.; MARCH, S.T.; PARK, J. Design Science in Information Systems Research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

HOLLBERG, A., TSCHETWETAK, J., SCHNEIDER, S., HABERT, G., Design-integrated LCA using early BIM. In: LIFE CYCLE MANAGEMENT CONFERENCE. **Proceedings...** Luxembourg, 2017.

HOMER-DIXON, Thomas F. **Environment, scarcity, and violence**. Princeton University Press, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. 2016. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ids/tabelas>>. Acesso em: 27 março 2017.

IFIB, Institut für Industrielle Bauproduktion. Baustoffdaten – Ökoinventare. Universität Karlsruhe; Lehrstuhl Bauklimatik und Bauökologie, Hochschule für Architektur und Bauwesen (HAB) Weimar; Institut für Energietechnik (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich; M. Holliger, **Holliger Energie Bern**: Karlsruhe / Weimar / Zürich. 1995.

INYIM P., RIVERA, J., ZHU, Y., Integration of Building Information Modeling and Economic and Environmental Impact Analysis to Support Sustainable Building Design, **Journal of Management in Engineering**, vol. 31, 2014.

ISO 9001. **Quality management systems – Requirements**. International Organization for Standardization (ISO). Genebra, 2008.

ISO 12006. **Building construction - Organization of information about construction works**. International Organization for Standardization (ISO). Genebra, 2002.

ISO 14001. **Environmental management systems - Requirements with guidance for use**. International Organization for Standardization (ISO). Genebra, 2004.

ISO 14025. **Environmental labels and declarations – Type III Environmental declarations**. International Organization for Standardization (ISO). Genebra, 2010.

ISO 14040. **Environmental management - Life cycle assessment: Principles and framework**. International Organization for Standardization (ISO). Genebra, 2006.

ISO 14044. **Environmental management - Life cycle assessment: Requirements and Guidelines**. International Organization for Standardization (ISO). Genebra, 2006.

ISO 19011. **Guidelines for quality and/or environmental management systems auditing**. International Organization for Standardization (ISO). Genebra, 2018.

ISO 29481. **Building Information Modeling - Information Delivery Manual**. International Organization for Standardization (ISO). Genebra, 2010.

JRADE, A.; ABDULLA, R. Integrating building information modeling and life cycle assessment tools to design sustainable buildings. Disponível em: <<http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2012-Paper-24.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2015.

JRADE, A.; JFALAEI, F. Integrating building information modelling with sustainability to design building projects at the conceptual stage. **Building Simulation**, vol. 6:4, pp. 429–444, 2013.

JUN, H., LIM, N., KIM M., BIM-based Carbon Dioxide Emission Quantity Assessment Method in Korea, **Journal of Asian Arch. Build. Eng.**, vol. 576, 2015.

KOTA, S., HABERL, J.S., CLAYTON, M.J., YAN, W., Building information modeling (BIM)-based daylighting simulation and analysis, **Energy Build.** Vol. 81, pp. 391–403, 2014.

KASSEM, M; AMORIM, S. **BIM - Building Information Modeling no Brasil e na União Europeia.** Diálogos Setoriais. 2015. Disponível em: <http://sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/bim.pdf>. Acesso em: 07 out. 2015.

KRANTZ, J., LARSSON, J., LU, W., OLOFSSON, T., Assessing Embodied Energy and Greenhouse Gas Emissions in Infrastructure Projects, **Buildings**, vol. 5:4, pp. 1156-1170, 2015

KREINER, H., PASSER, A., WALLBAUM, H., A new systemic approach to improve the sustainability performance of office buildings in the early design stage, **EnergyBuild.** Vol. 109, pp. 385–396, 2015.

KRUSE, C. IIGCC - Briefing Note: Climate Change and the Construction Sector Prepared. **ISIS Asset Management.** jun. 2004. Disponível em: <[http://www.iigcc.org/docs/PDF/Public/ConstructionSector\\_2004.pdf](http://www.iigcc.org/docs/PDF/Public/ConstructionSector_2004.pdf)>. Acesso em: 07 out. 2015.

KULAHCIOGLU, T., DANG, J.; TOKLU, C. A 3D analyzer for BIM-enabled Life Cycle Assessment of the whole process of construction. **HVAC&R Research**, vol. 18, n.1-2, p. 283-293, 2012.

KYLILI, A., FOKAIDES, P., VAINIUNAS, J., SEDEIKYTE, L., Integration of Building Information Modelling (BIM) and Life Cycle Assessment (LCA) for sustainable constructions, **Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering**, vol. 4, pp. 28-38, 2015.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: Método De Pesquisa Para A Engenharia De Produção. **Gestão & Produção**, v. 20, N. 4, P. 741-761, 2013.

LEE, S., TAE, S., ROH, S., KIM, T., Green Template for Life Cycle Assessment of Buildings Based on Building Information Modeling: Focus on Embodied Environmental Impact, **Sustainability Journal**, pp. 16498- 165512, 2015.

LIU, Z., OSMANI, M., DEMIAN, P., BALDWIN, A., A BIM-aided construction waste minimisation framework, **Autom. Constr.**, vol. 59, pp. 1–23, 2015.

LU, C., CHEN, J., PAN, C., JENG, T., A BIM Tool for Carbon Footprint assessment of building design, Emerging Experience in Past, Present and Future of Digital Architecture. In: 20TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION

FOR COMPUTER-AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH (CAADRIA). **Proceedings...** Hong Kong, 2015.

MACHADO, F. A. **Bim e Internet das Coisas para o Monitoramento do Consumo de Energia da Edificação**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2018.

MADURWAR, M. V.; RALEGAONKAR, R. V.; MANDAVGANE, S. A. Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. **Construction and Building Materials**, v. 38, p. 872-878, 2013.

MANSON, N. J. Is operations research really research? **Orion**, v. 22, n. 2, p. 155-180, 2006. <http://dx.doi.org/10.5784/22-2-40>.

MANZIONE, L. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2013.

MAO, C.; SHEN, Q.; SHEN, L.; TANG, L. Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two case studies of residential projects. **Energy and Buildings**, v. 66, p. 165-176, 2013.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, n. 4, p. 251-266, 1995.

MEDAS, M., CHESHIRE, D., CRIPPS, A., CONNAUGHTON, J., PETERS, M., Towards BIM-integrated, resource-efficient building services, CIBSE TECH SYMP. **Proceedings...**, 2015.

MORBI, A.; CANGIANO, S.; BORGARELLO, E. Cement Based Materials for Sustainable Development. In: SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CONSTRUCTION MATERIALS AND TECHNOLOGIES. **Proceedings...** Coventry University and the University of Wisconsin Milwaukee Center for by-products Utilization. 2010.

MONICH, C. R. **Avaliação Ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema wood frame no estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2012.

MOUSA, M., LUO, X., MCCABE, B., Utilizing BIM and Carbon Estimating Methods for Meaningful Data Representation, **Procedia Engineering**, vol. 145, pp. 1242-1249, 2016.

NAJJAR, M., FIGUEIREDO, K., PALUMBO, M., HADDAD, A, Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building, **Journal of Building Engineering**, vol. 14, pp. 115-126, 2017.

NIBS, **National Building Information Modeling Standard, Version 1: Part 1**, National Institute of Building Sciences NIBS, Washington, DC. 2007.

NOGUEIRA, L. A. H. et al. Evaluation of the energy impacts of the Energy Efficiency Law in Brazil. **Energy for Sustainable Development**, v. 24, p. 58-69, 2015.

OH, M., NA, S., Building Information Modelling (BIM) based CO2 Emissions assessment in the early design stage, **International Journal of civil Engineering and Technology**, vol. 8-5, 2017.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. **Construction and building materials**, v. 23, n. 1, p. 28-39, 2009.

OTI, A.H., TIZANI, W., BIM extension for the sustainability appraisal of conceptual steel design, **Advanced Engineering Informatics**, vol. 29:1, pp. 28-46, 2015

OU, X., LI Q., LI, D., Low-Carbon Architectural Design and Data Analysis Based on BIM, **Communications in Computer and Information Science**, vol. 761, pp. 390-399, 2017.

PENTTILÄ, H., Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression, **J. Inf. Technol. Constr.** Vol. 11, pp. 395–408, 2006.

PRODUCT CATEGORY RULES. **Product Category Classification: UN CPC 531. EPD®**. Vol. 2, 2018.

ROMME, A. G. L. Making a difference: Organization as Design. **Organization Science**, v. 14, n. 5, p. 558-573, 2003. <http://dx.doi.org/10.1287/orsc.14.5.558.16769>

SANTOS, R., COSTA, A.A., BIM in LCA/LCEA Analysis: Comparative analysis of Multi-family House and Single-family, In: CIB WORLD BUILDING CONGRESS 2016, **Proceedings...** Finland, 2016.

SCHULTZ, J., GINDLESPARGER, M., DOERFLER, J., A benchmark study of BIM-based whole-building life-cycle assessment tools and processes, **International Journal of Sustainable Build. Tech. and Urban Develop.**, vol. 7, pp. 219-229, 2016.

SHADRAM, F., WEIZHUO L., OLOFSSON, T., Assessment of the Energy Use and CO2 Emissions from a Construction Site: An Integrated BIM-DES-LCA Framework, In: **ICCREM**, Edmonton, 2016.

SHADRAM, F., JOHANSSON, T., SCHADE, W., OLOFSSON, T., An integrated BIM-based framework for minimizing embodied energy during building design, **Energy and Buildings**, vol. 128, pp. 592-604, 2016.

SHAFIQ, N., NURRUDIN, F., GARDEZI, S., KAMARUZZAMAN, A., Carbon footprint assessment of a typical low-rise office building in Malaysia using building information modelling (BIM), **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, vol. 6, pp. 157-172, 2015.

SHAFIQ, N., GARDEZI, S.S.S., Reduction of Embodied CO<sub>2</sub> Emissions from Conventional Single Storey House in Malaysia by Recycled Materials using Building Information Modelling (BIM), **Advances in Environment Biology**, vol. 9:1, pp. 17-21, 2015.

SHIN, Y., CHO, K., BIM Application to Select Appropriate Design Alternative with Consideration of LCA and LCCA, **Mathematical Problems in Engineering**, vol. 2015, 2015.

SILVA, Julio Cesar Bastos; AMORIM, S. R. L. A Contribuição dos Sistemas de Classificação Para a Tecnologia BIM: uma abordagem teórica. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO. **Anais...** v. 5, 2011.

SILVA, V. G.; PARDINI, A. F.. Contribution for the understanding of the application of LEED TM certification in Brazil based on two case studies. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 3, p. 81-97, 2010.

SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. MIT press, 1996.

SOUST-VERDAGUER, B., LLATAS, C., GARCÍA-MARTÍNEZ, A., Simplification in life cycle assessment of single-family houses: a review of recent developments, **Build. Environ.**, vol. 103, pp. 215–227, 2016.

SOUST-VERDAGUER, B., LLATAS, C, GARCIA-MARTINEZ, A. Critical review of bim-base LCA method to buildings, **Energy and Buildings**, vol 136, pp. 110-120, 2017.

SUHENDRO, B. Toward green concrete for better sustainable environment. **Procedia Engineering**, v. 95, p. 305-320, 2014.

TAE, S., LEE, S., Development of green template for building life cycle assessment using building information modeling, In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GREEN ENERGY & EXPO. **Anais...** Orlando, USA, 2015.

TAVARES, S. F. ; BRAGANCA, L. . Índices de CO<sub>2</sub> para materiais de construção em edificações brasileiras. In: SBE16 Brazil & Portugal - Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment, 2016, Vitoria-ES. SBE16 Brazil & Portugal - Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment. **Anais...** Vitoria-ES: Universidade Federal do Espírito Santo, 2016. v. 2. p. 927-936.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de Edificações residenciais brasileiras**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PPGEC, Curso de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2006.

TAVARES, S. F; LAMBERTS, R. Consumo de energia para construção, operação e manutenção das edificações residenciais no Brasil. In VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, ENCAC 2005. **Anais...** Maceió, AL. Outubro de 2005. CD-ROM.

TREMBLAY, M. C.; HERVNER, A. R.; BERNDT, D. J, Focus Groups for Artifact Refinement and Evaluation in Design Research. **Communications of the Association for Information Systems**, v. 26, n. 27, p. 599-618, 2010.

TRUSTY, W. **The Future of Life Cycle Assessment (LCA) in Codes**. 2011. Disponível em: <[http://www.athenasmi.org/wp-content/uploads/2012/05/Feb2011\\_BSJ\\_Future\\_of\\_LCA\\_in\\_Codes.pdf](http://www.athenasmi.org/wp-content/uploads/2012/05/Feb2011_BSJ_Future_of_LCA_in_Codes.pdf)>. Acesso em: 10 julho 2015.

TRUSTY, W., HORST, S. LCA Tools Around the World. **Building Design & Construction**, p.12-15. 2005.

TSIKOS, M., KRISTOFFER, N., Sustainable Design with Respect to LCA Using Parametric Design and BIM Tools, In: WORLD SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT CONFERENCE 2017. **Proceedings...** Hong Kong, 2017.

UNEP. **Buildings and climate change**: Summary for decision-makers. United Nations Environmental Programme, Sustainable Buildings and Climate Initiative, Paris, p. 1-62, 2009.

UNEP. **Buildings investing in energy and resource efficiency**. United Nations Environmental Programme Sustainable Buildings and Construction Initiative and the Central European University, Budapest, 2011.

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. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-6486.2004.00430.x>

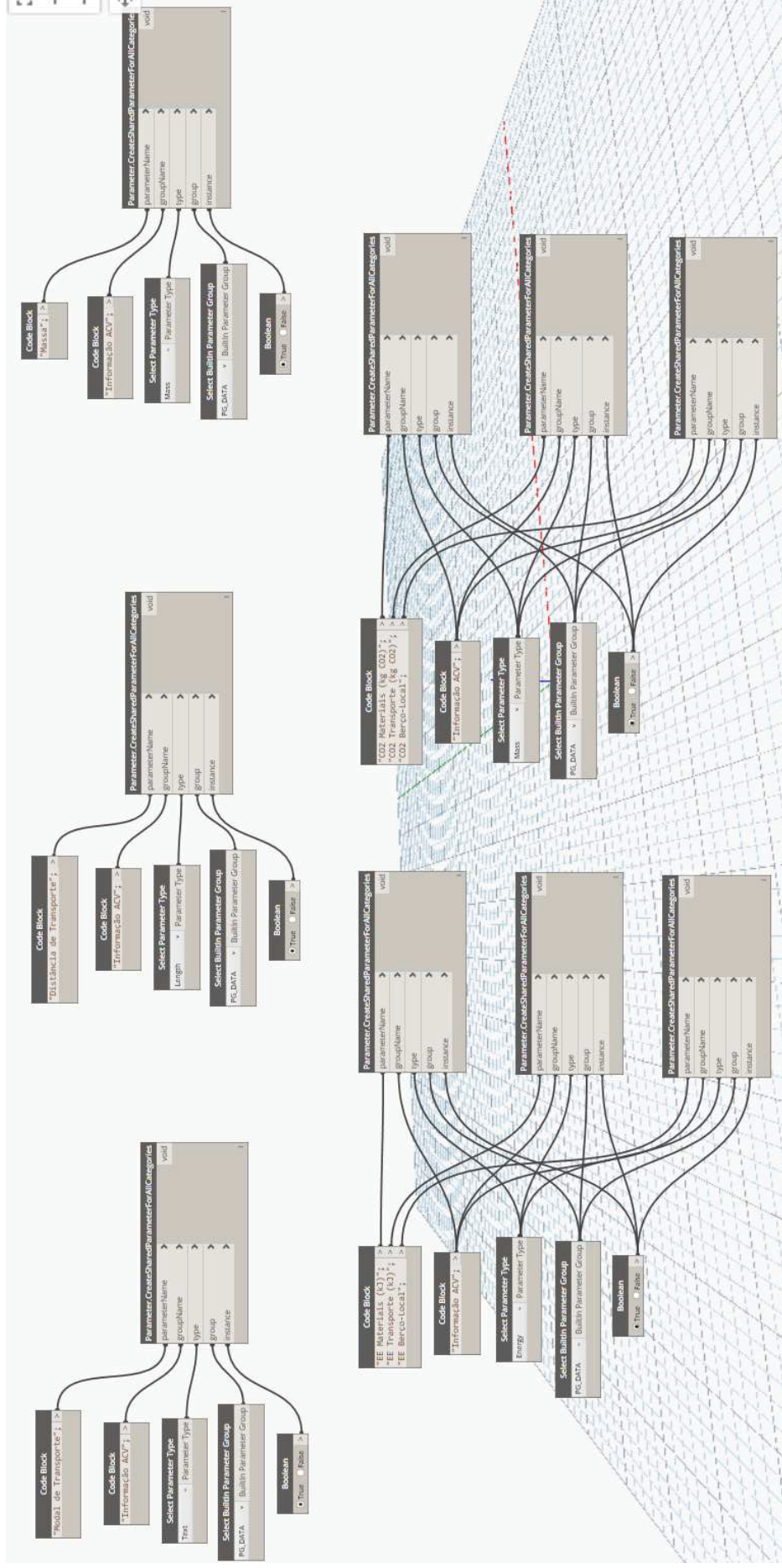
WON, J., CHENG, J., Evaluating the Design of Low Carbon Buildings of Different Configurations Using Building Information Modeling (BIM). In: 16<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING (ICCCBE). **Proceedings...** Osaka, Japan, 2016.

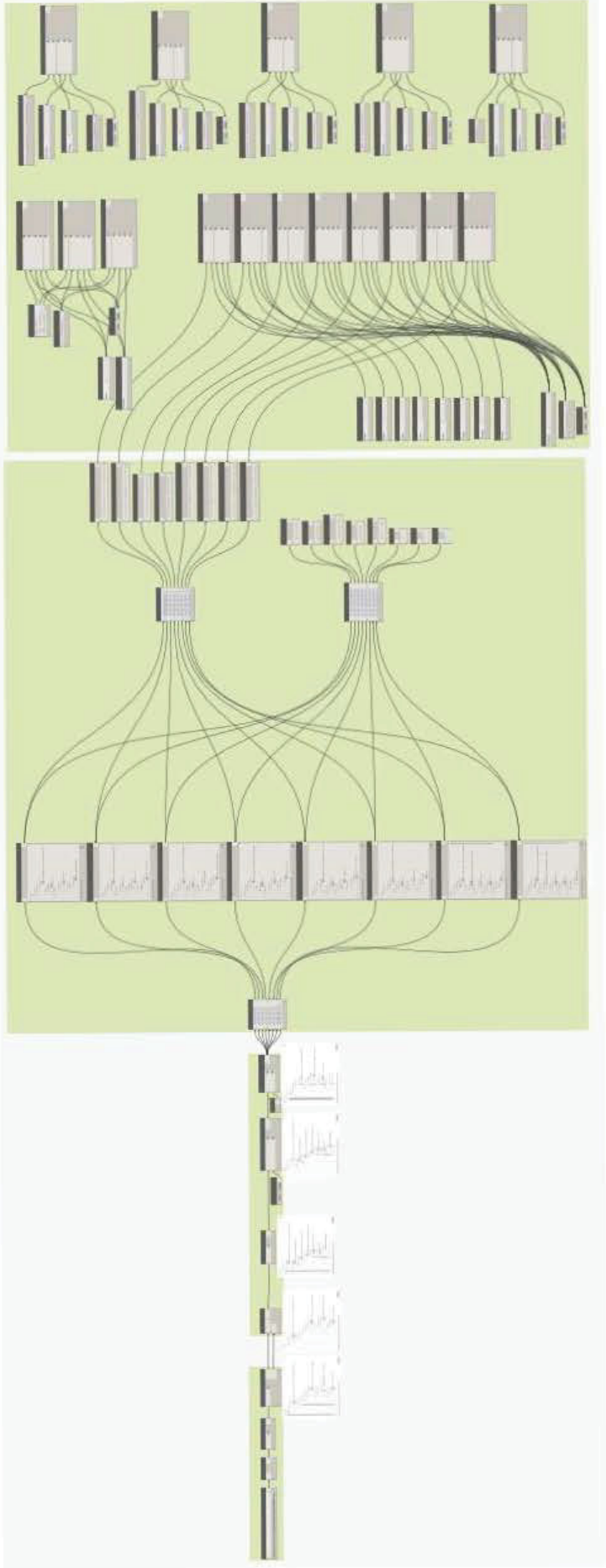
WONG, J.K.W., WANG, H. LI, H., HUANG, T., LUO, E., LI V., Toward low-carbon construction processes: the visualization of predicted emission via virtual prototyping technology, **Autom. Constr.**, vol. 33, pp. 72–78., 2013.

YANG, W., WANG, S., A BIM-LCA framework and case study of a residential building in Tianjin, 2nd SREE CONFERENCE ON MODELING AND COMPUTATION IN ENGINEERING (CMCE). **Proceedings...** Hong Kong, 2013.



# APÊNDICE A – ALGORITMO PARA CRIAÇÃO DE UM ARQUIVO DE PARÂMETROS COMPARTILHADOS FOCADO NA INSERÇÃO DE INFORMAÇÕES PROVENIENTES DE DAP PUBLICADAS EM FORMATO XML

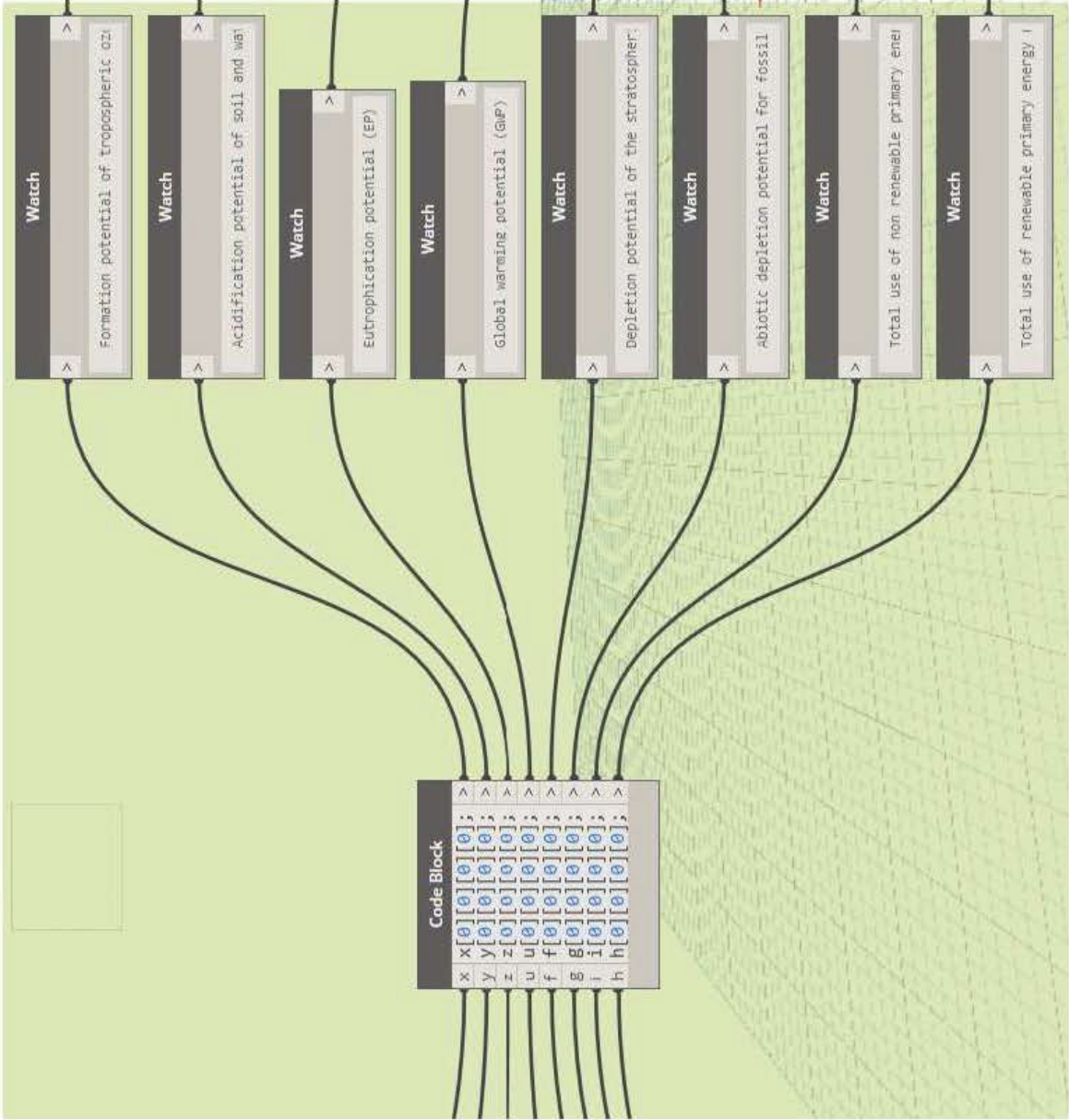




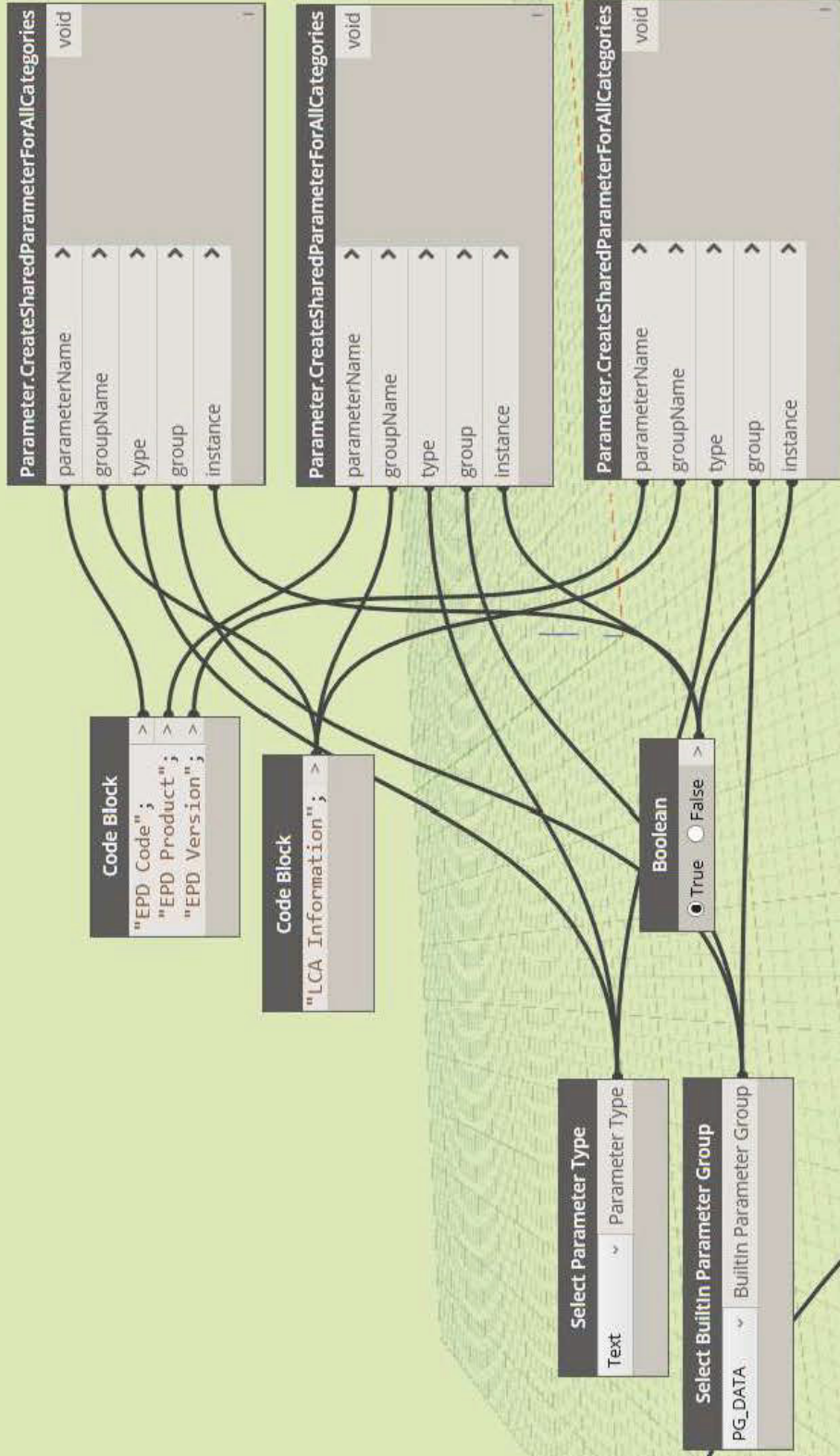


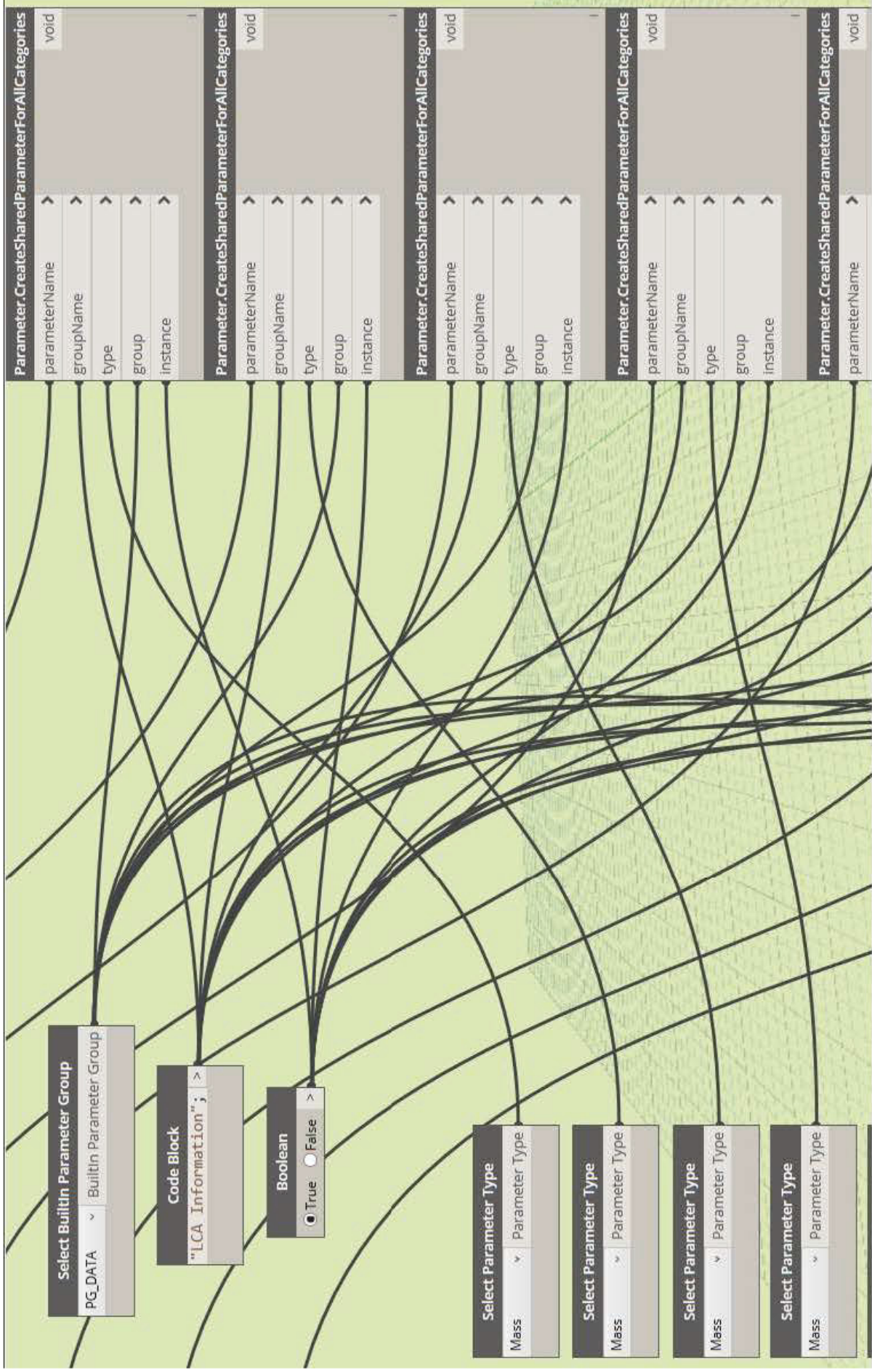
# EXTRACTING INFORMATION FROM LISTS

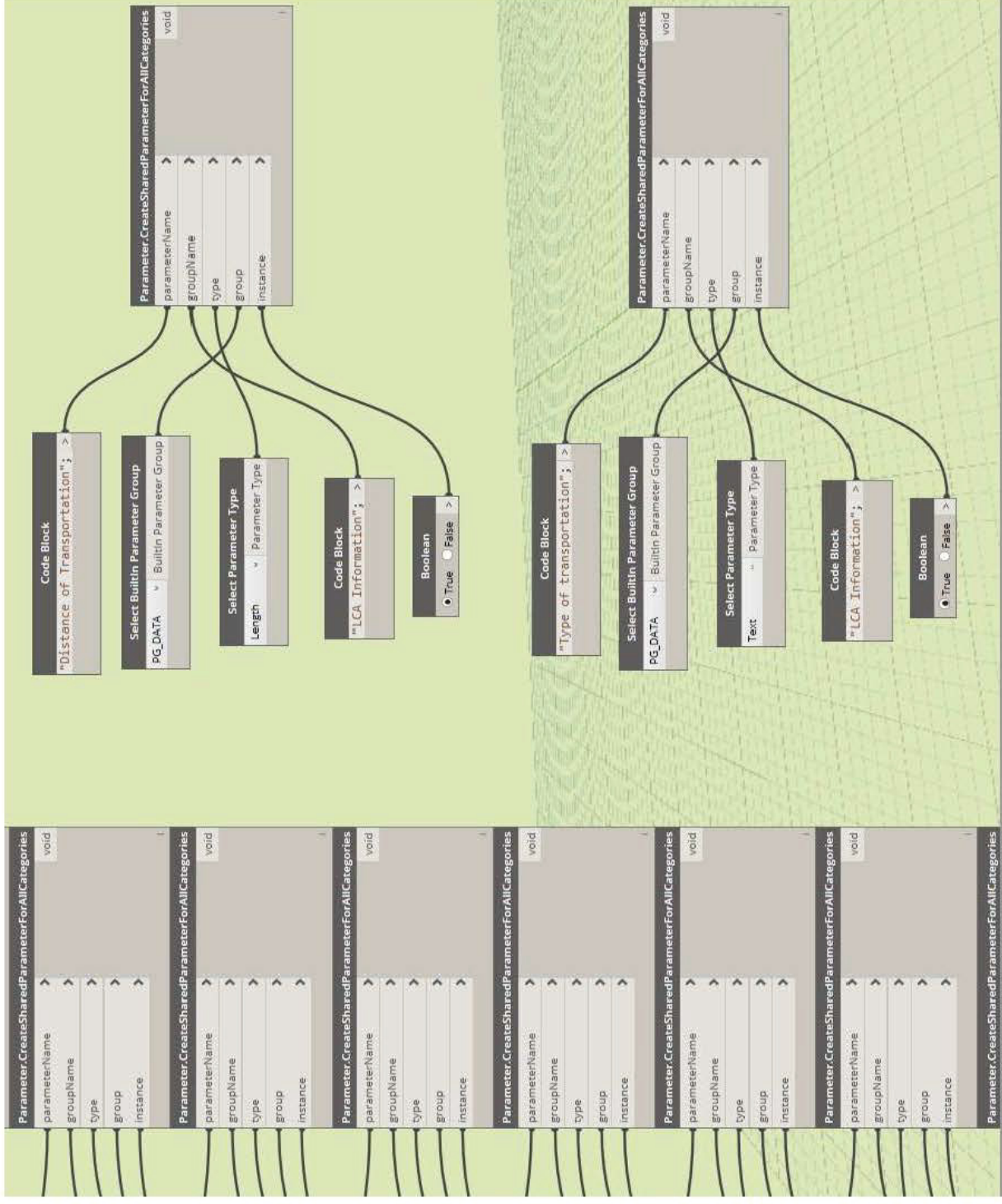




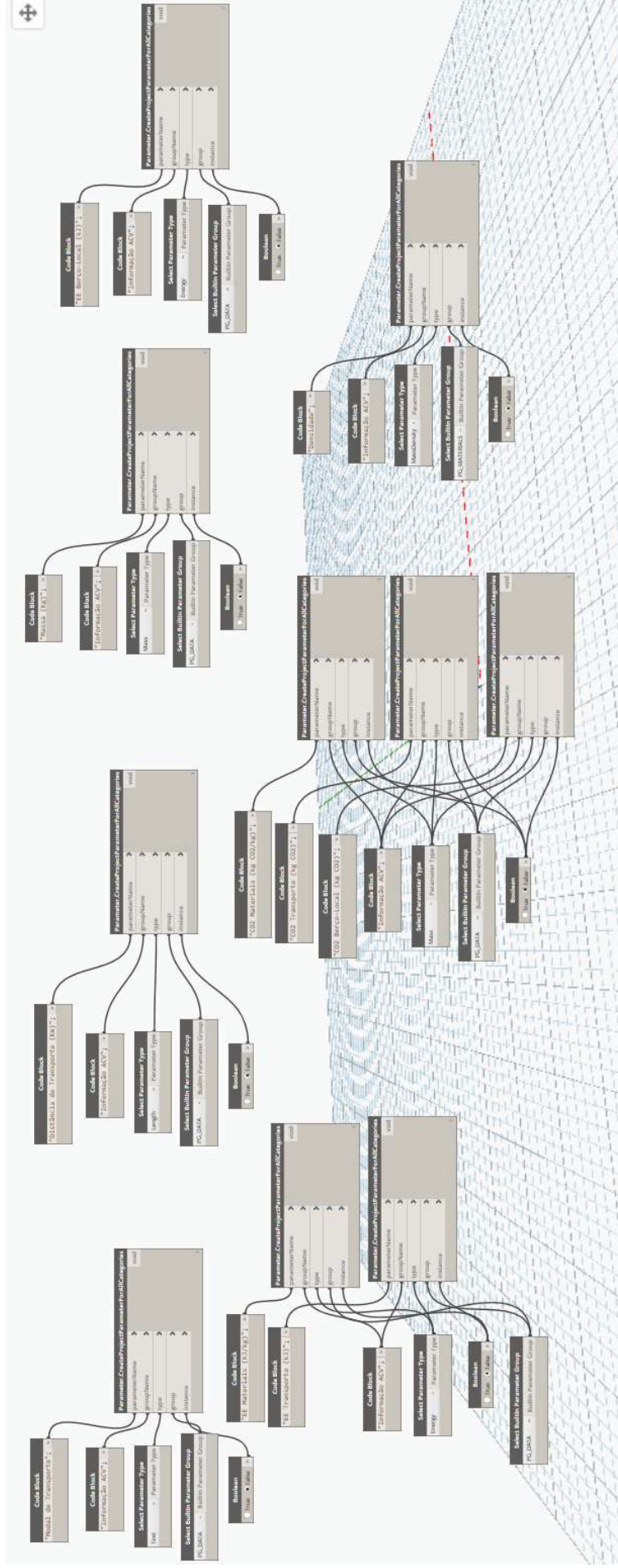
# CREATING SHARED PARAMETER



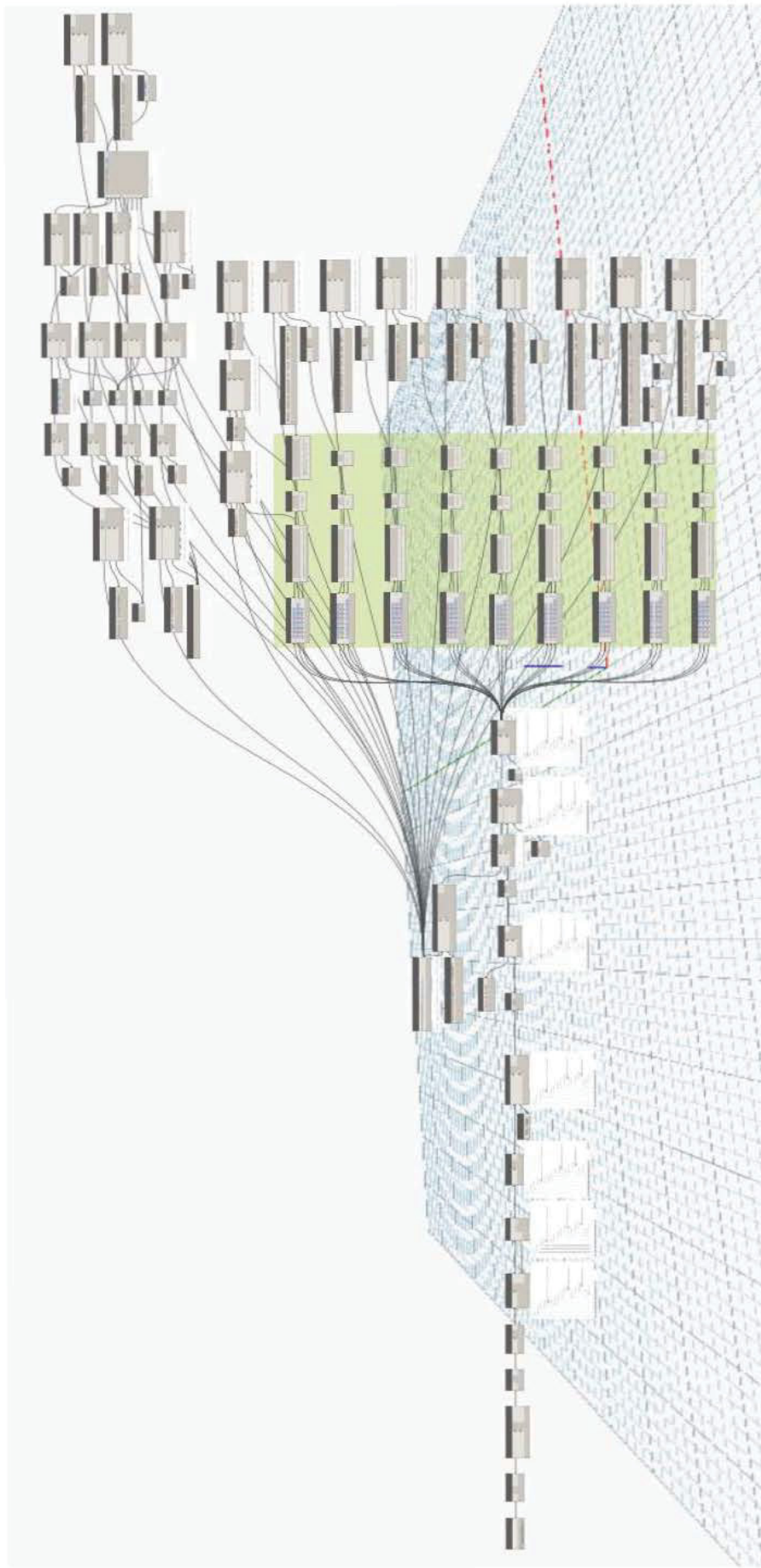




# APÊNDICE B – ALGORITMO PARA CRIAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETOS FOCADO NA INSERÇÃO DE INFORMAÇÕES PROVENIENTES DE UM BANCO DE DADOS DE ICV COMPILADOS EM PLANILHA EXCEL



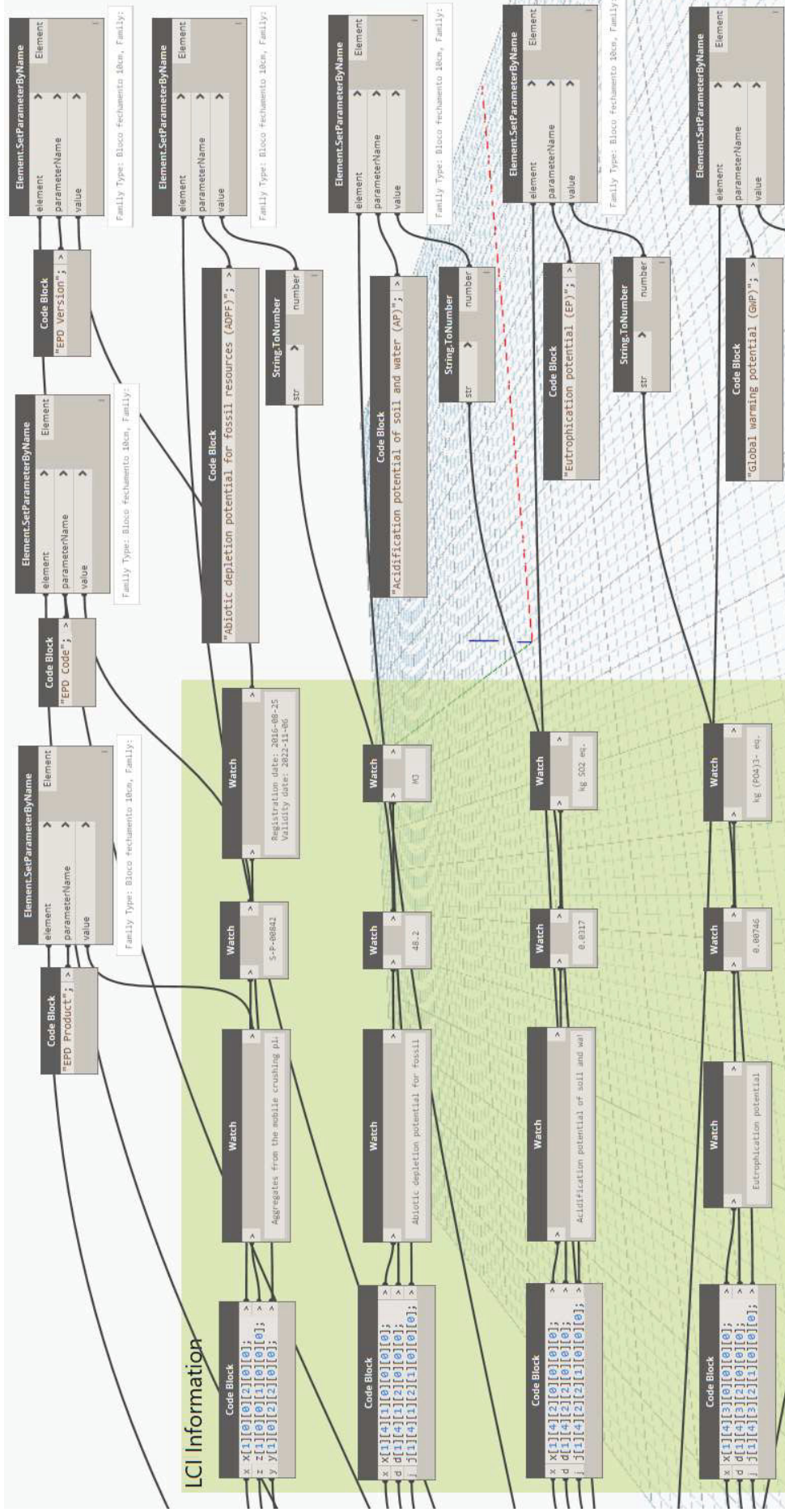
APÊNDICE C - ALGORITMO PARA INTEROPERABILIDADE BIM-ACV UTILIZANDO DAP EM FORMATO XML

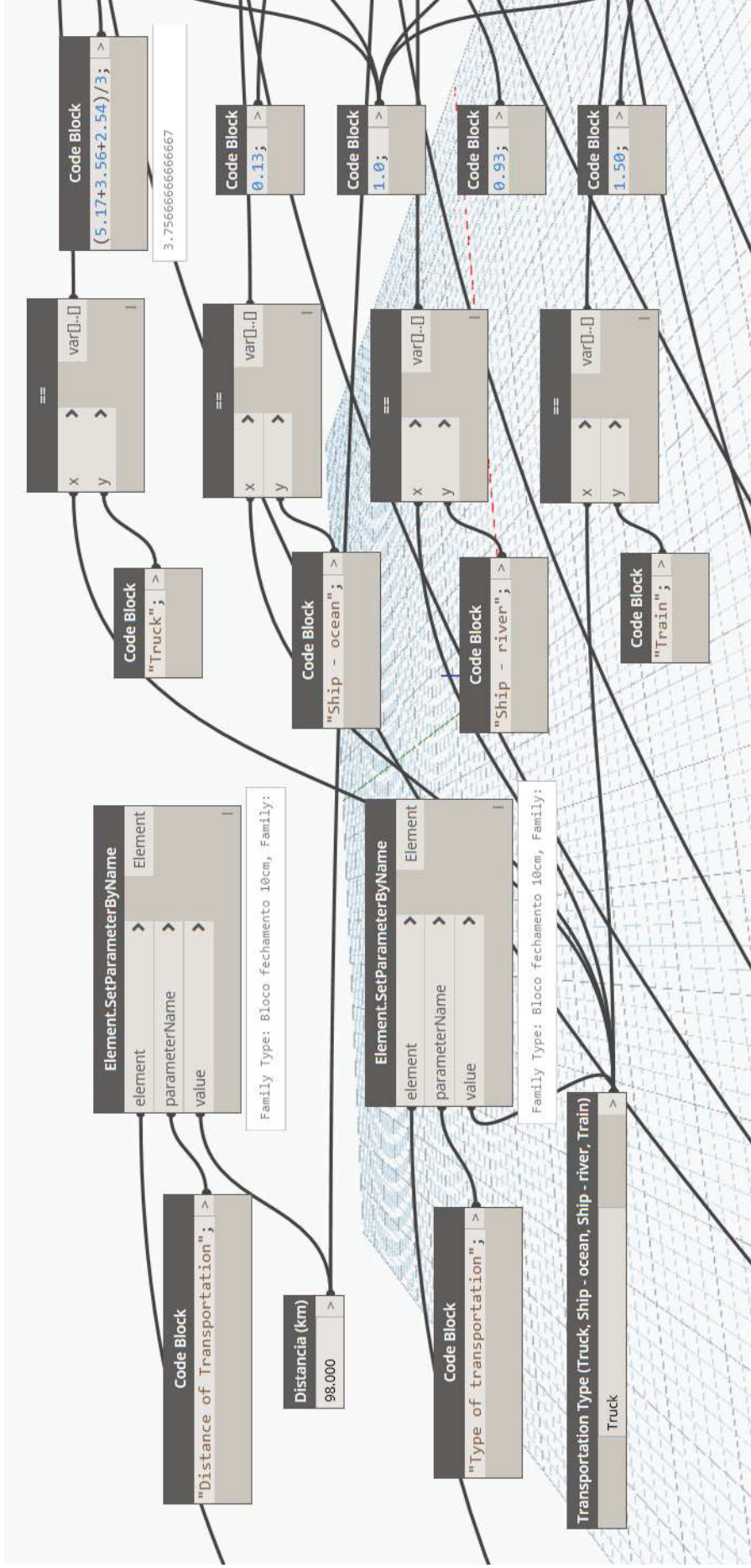


The screenshot shows a workflow of operations on a data structure. The operations are: Directory Path, Directory From Path, Directory Contents, File From Path, File Read Text, DataSets.DeserializeXML, and List Create. Each operation is followed by a view of the data structure, which is a list of lists. The XML views show the internal state of the data structure, including version information and aggregation details.

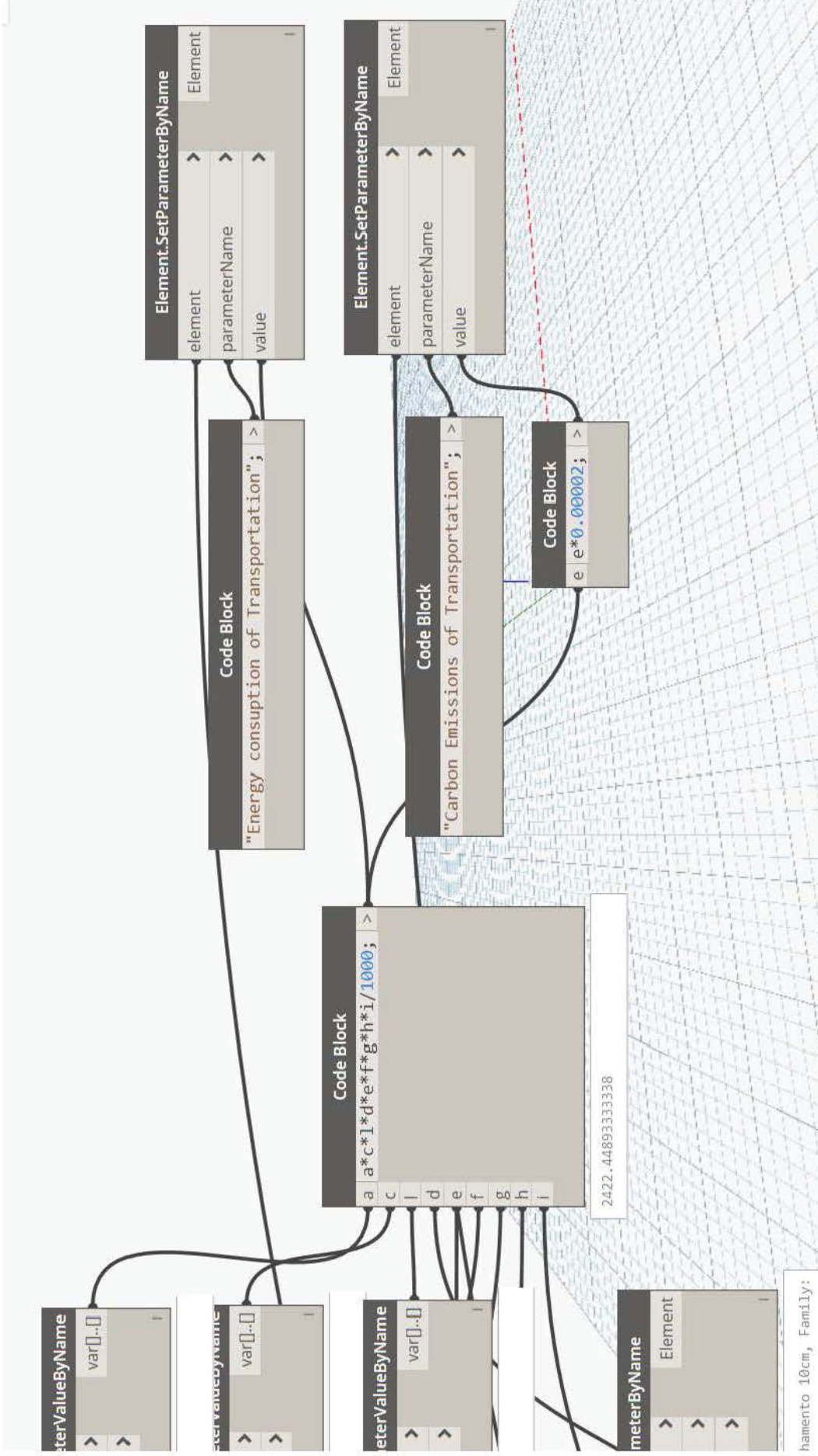
The screenshot shows a more complex workflow involving list manipulation and conditional execution. The operations are: Elements.GetParameterValuesByName, List.AddItemToFront, List.Clean, List.Transpose, Boolean, List.AddItemToFront, Code Block, List.AddItemToFront, Code Block, List.AddItemToFront, Code Block, and Scope.If. The XML views show the state of the data structure after each operation, including the addition of items to the front of the list and the execution of conditional logic.



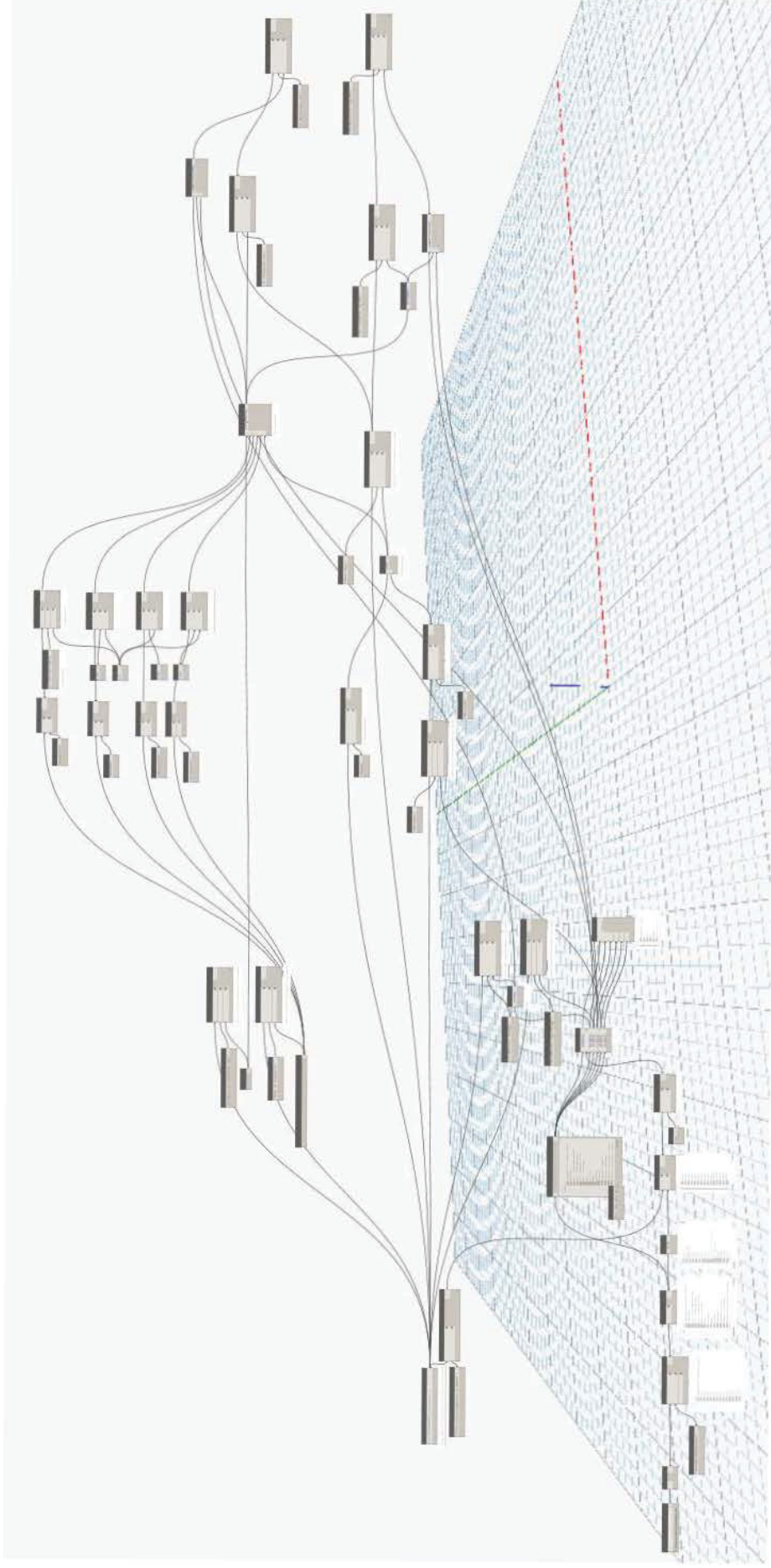








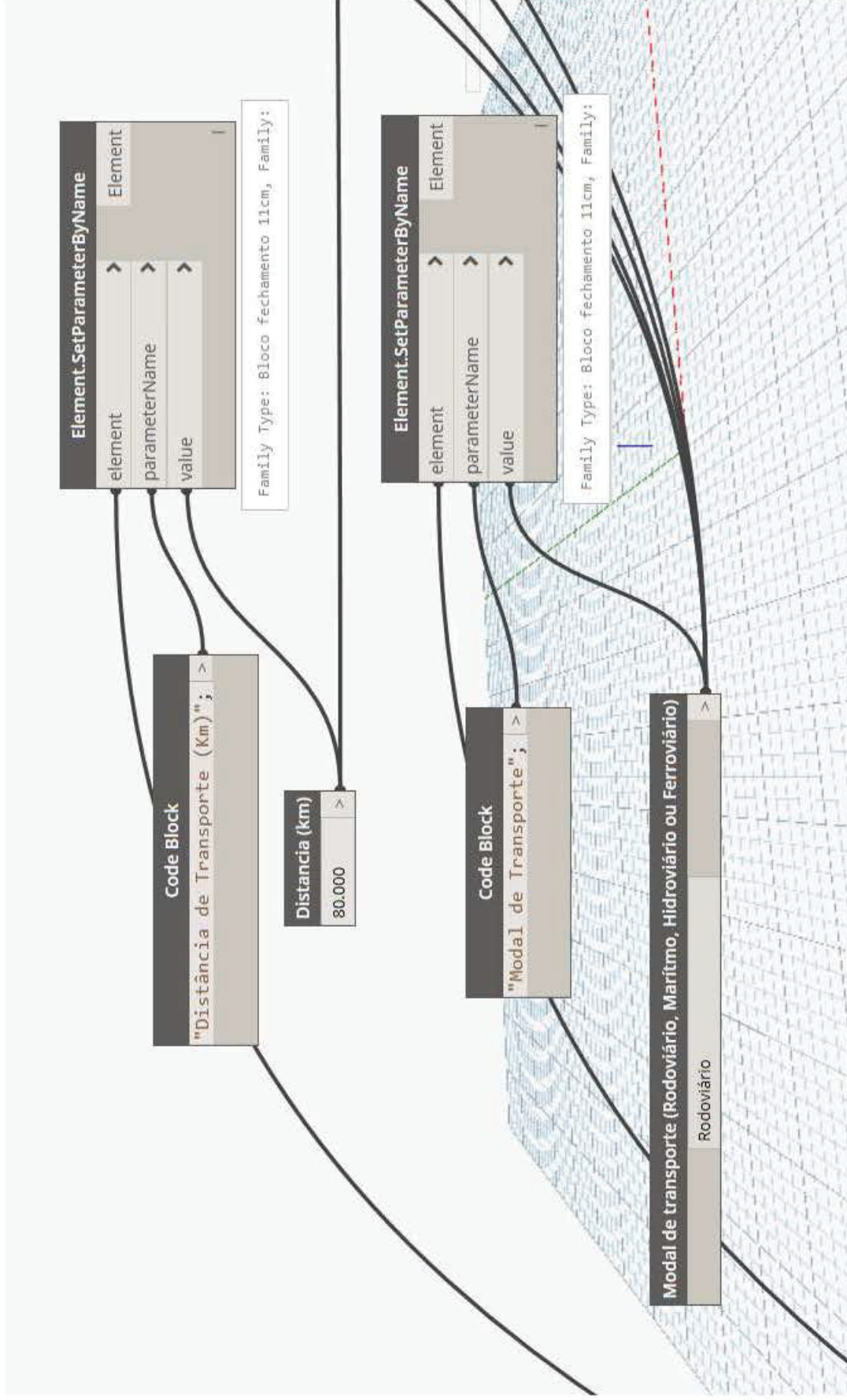
APÊNDICE D - ALGORITMO PARA INTEROPERABILIDADE BIM-ACV UTILIZANDO BANCO DE DADOS ICV EM EXCEL

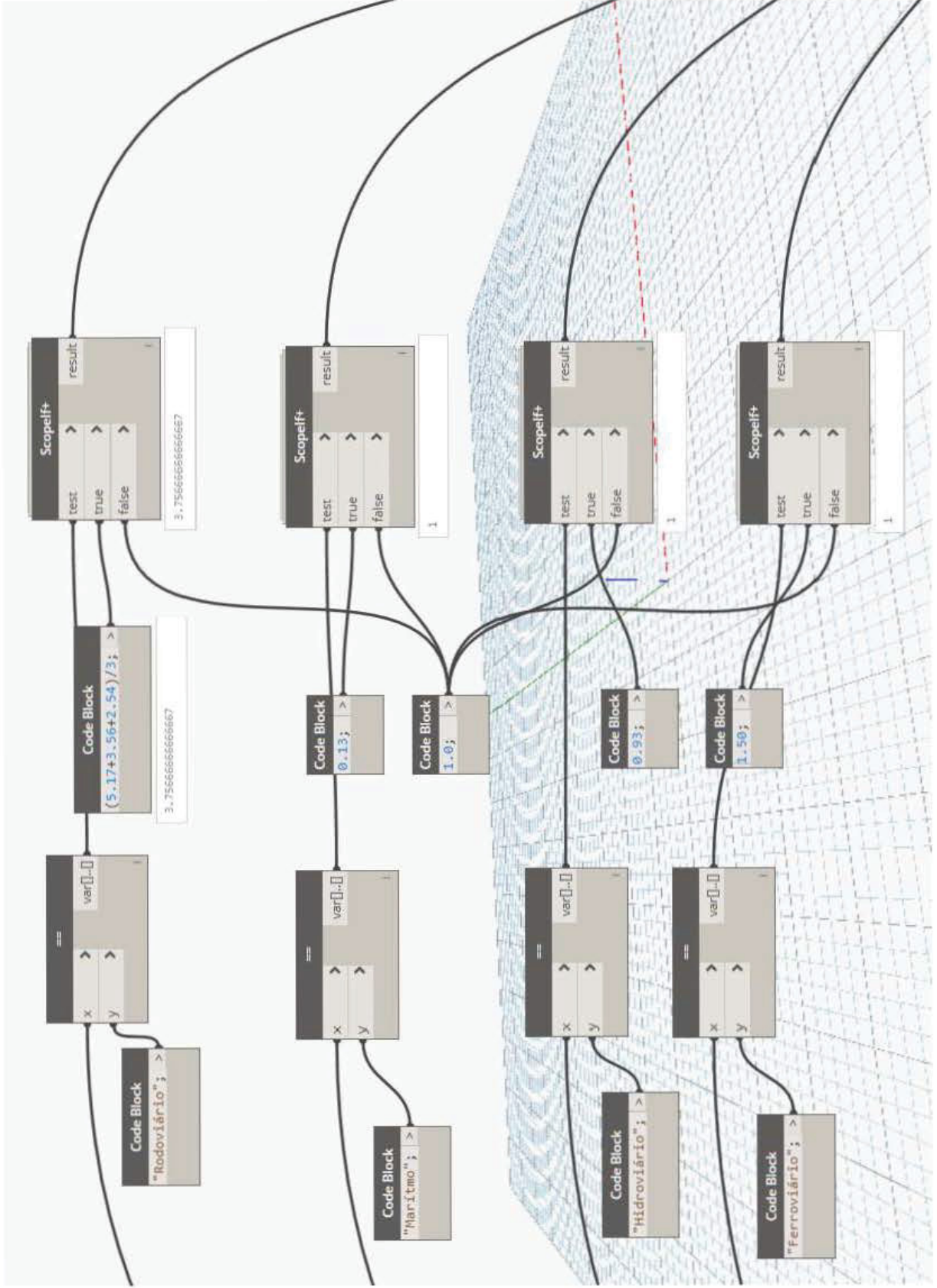


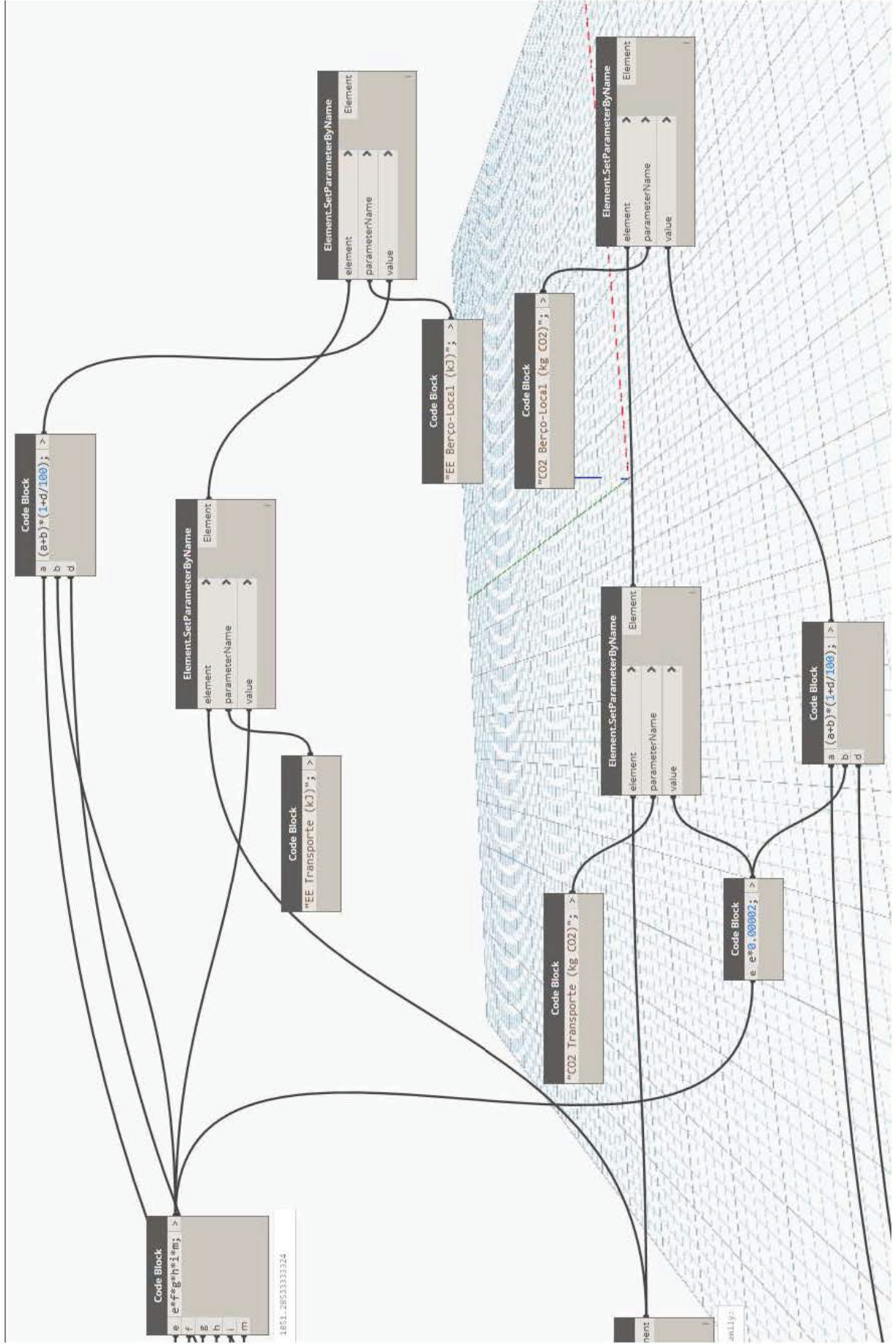












## APÊNDICE E – TABELA BANCO DE DADOS ICV

MATERIAIS	EE (MJ/ kg)	CO2 (kg CO2/kg)	Desperd. (%)	Dens. (kg/m3)	OmniClass
Aço - chapa galvanizada	33,80	2,73	10	7850	
Aço - chapa dobrada	30,00	2,73	10	7850	
Aço - laminado CA 50	30,00	2,73	10	7850	
Aço - reciclado	12,50		10	7850	
Aço	35,00	2,73	10	7870	
Acrílico	80,00				
Água	0,02			1000	
Alumínio	155,00	10,19	10	7870	23-13 21 25 15 11 11
Alumínio	155,00	10,19	10	7870	22-08 51 13
Alumínio lingote	98,20			2700	
Alumínio anodizado	210,00			2700	
Alumínio reciclado - extrudado	17,30				
Alumínio reciclado - anodizado	42,90				
Areia	0,05		50	1515	
Argamassa 1:2:8	2,10	0,34	20	1546	22-04 05 13
Asfalto	51,00			2115	
Batente - madeira aparelhada	3,50			600	
Borracha natural - latex	69,00			920	
Borracha sintética	135,00			1190	
Brita	0,15	0,10	40	1650	
Cal virgem	3,00	0,87	50	1500	
Carpete	50,00		15		
Cera	52,00				
cerâmica revestimento	3,00	0,29			
cerâmica vermelha	5,00	0,17			
Cerâmica - azulejo	6,20			2000	
Cerâmica - bloco de 8 furos	2,90		15	1400	
Cerâmica - branca	25,00		5	2000	
Cerâmica - piso esmaltado	5,00			2000	
Cerâmica — revest, biqueima	6,20			2000	
Cerâmica — revest, monoqueima	5,10		15	2000	
Cerâmica porcelanato	13,00		15	2100	
Cerâmica - refrataria	32,40				
Cerâmica - telha	5,40			1900	
Chapa de compensado	8,00	0,41	15	550	
Chumbo lingote	21,00			11340	
Cimento Portland	4,20	0,79	40	1950	
Cobre	75,00	3,95		8933	
Concreto armado	3,10	0,24	36	1766	23-13 35 11 13 13
Concreto estrutural	3,10	0,24	36	1766	23-13 35 23 11 11
Concreto bloco	1,00	0,12	15	2000	23-13 21 11 11
Concreto simples (12% cimento)	1,20	0,12	10	2300	23-13 15 15 13
Dobradiga - ferro	40,00			7870	
Fechaduras	55,00			8500	
Ferro	35,00	2,73	10	7500	
Ferro fundido	32,80			7500	
Fibra de vidro	24,00			32	
Fibrocimento - telha (70% cimento)	6,00	0,72	10	1920	
Fio termoplástico	83,00		25	2430	

Gesso	4,00			800	
Gesso acartonado	6,10				
Granito - aparelhada	2,00			2700	
impermeabilizantes	90,00	5,50			
Lã mineral	19,00			110	
Latao	80,00			8530	
Madeira - aparelhada seca forno	3,50		15	600	
Madeira - aparelhada seca ar livre	0,50		15	600	
Madeira - laminada colada	7,50		15	650	
Madeira - MDF	9,00		15	1000	
madeira (maciça - batentes e esquadrias)	2,00	0,11	15	720	
flarmore	1,00			2680	
flarmorite	0,48				
Palha	0,24			130	
Papel	18,54	1,54		930	
Papel kraft	37,70				
Papel de parede	36,40				
Pedra/brita	1,50	0,10		1650	
Placa de gesso	4,50		35	1000	
Plástico	80,00	5,02	0	1400	23-17 25 15 13
Poliamida - nylon	125,00			1150	
Poliestireno expandido	112,00			55	
Polietileno de alta densidade	95,00			950	
Polipropileno	83,80			1100	
Poliuretano - espuma	74,00			35	
Porta - madeira aparelhada	3,50			650	
Prata	128,20			10500	
Selante - formaldeido	80,00			1500	
Solo-cimento - bloco	0,60			1700	
Solvente - tolueno	67,90			1100	
Telha de vidro	23,13			2400	
tinta (1kg, rendimento 3,33 m <sup>2</sup> - 2 demãos)	75,00	3,57			
Tinta acrílica	61,00		15	1.3 kg/l	
Tinta oleo	98,10		15	1.3 kg/l	
Tinta PVA latex	65,00		15	1.3 kg/l	
Torneiras e registros	95,00				
Tubo - PVC	80,00		17	1300	
Tubo de ferro galvanizado	33,80				
Vermiculita	1,37			122	
Vidro plano	18,50	0,99	5	2500	23-13 19 13 11 17
Vidro - blindex	26,20				
Vinil	47,00				
outros materiais (BEM 2015)	50,00	2,58	10	1568	

Fonte: Adaptado pela Autora. Elaborado a partir de TAVARES (2006) e TAVARES E BRAGANÇA (2016) e ARAUJO (2018)