

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Engenharia**  
**Departamento de Engenharia de Materiais e Construção**  
**Programa de Pós-Graduação em Construção Civil**

**Thaís Ribeiro Molina**

**PROCESSO DE MODELAGEM DE INFORMAÇÕES EM PLATAFORMA BIM E  
TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA CERTIFICAÇÃO EDGE**

**Belo Horizonte**

**2020**

Thaïs Ribeiro Molina

**PROCESSO DE MODELAGEM DE INFORMAÇÕES EM PLATAFORMA BIM  
E TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA CERTIFICAÇÃO EDGE**

**Versão final**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Tecnologia na Construção Civil. Linha de Pesquisa: Gestão de Empreendimentos na Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Marques Arantes

Belo Horizonte

2020

M722p

Molina, Thaís Ribeiro.

Processo de modelagem de informações em plataforma BIM e transferência de dados para certificação EDGE [recurso eletrônico] / Thaís Ribeiro Molina. - 2020.

1 recurso online (132 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Eduardo Marques Arantes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 108-132.

Bibliografia: f. 103-107.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

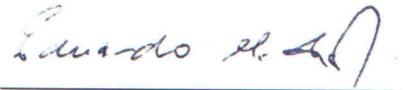
1. Construção civil - Teses. 2. Modelagem de informação da construção - Teses. 3. Dynamo - Teses. 4. Sustentabilidade - Teses. I. Arantes, Eduardo Marques. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 69 (043)

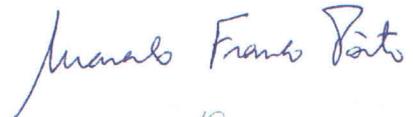
ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CONSTRUÇÃO CIVIL Nº: 200, da aluna **THAÍS RIBEIRO MOLINA**.

Às quatorze horas e trinta minutos do dia vinte e sete de maio de dois mil e vinte, reuniu-se, por meio de sistema de interação de áudio e vídeo em tempo real (Google Meet), a Comissão Examinadora de Dissertação de Mestrado, aprovada *ad referendum* pelo Coordenador do Colegiado do Curso de Mestrado em Construção Civil - EE.UFMG, **Prof. Dr. Eduardo Chahud**, para julgar, em exame final, o trabalho intitulado “**PROCESSO DE MODELAGEM DE INFORMAÇÕES EM PLATAFORMA BIM E TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA CERTIFICAÇÃO EDGE**”, requisito final para a obtenção do Grau de MESTRE EM CONSTRUÇÃO CIVIL na área de: **TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, **Prof. Dr. Eduardo Marques Arantes**, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra à candidata para apresentação do seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa da candidata. Logo após, sem a participação da candidata na transmissão, houve o julgamento e expedição do resultado final pela Comissão. Foram atribuídas as seguintes indicações:

**PROF. DR. EDUARDO MARQUES ARANTES - APROVADA**



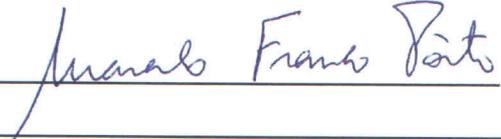
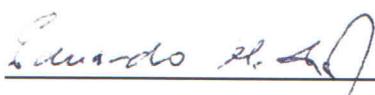
**PROF. DR. MARCELO FRANCO PORTO – APROVADA**



**PROFA. DRA. SIDNEA ELIANE CAMPOS RIBEIRO – APROVADA**



Pelas indicações dos membros acima, a candidata foi considerada aprovada. Caso tenham sido sugeridas correções no trabalho, conforme pareceres anexos, a candidata terá o prazo máximo de 60 (sessenta) dias para efetuá-las e entregar a versão final da dissertação à Secretaria do Curso de Mestrado em Construção Civil. O resultado final foi comunicado publicamente à candidata pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a transmissão e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, vinte e sete de maio de dois mil e vinte.



Obs.: Este documento não terá validade sem a assinatura e carimbo da Coordenação do Curso de Mestrado em Construção Civil.

Eduardo  
Chahud

Assinado de forma digital  
por Eduardo Chahud  
Dados: 2022.11.20  
08:41:17 -03'00'

**Prof. Dr. Eduardo Chahud**  
Coordenador do Curso de Mestrado em Construção Civil  
ESCOLA DE ENGENHARIA/UFMG

*Às mulheres que me trouxeram aqui, às  
irmãs que se (e me) curaram e ao  
sagrado feminino que me sucederá.*

## **AGRADECIMENTOS**

A gratidão não precisa de cerimônia, formalidades ou intermediários. A gratidão pode dispensar palavras e traduzir-se em abraços, sorrisos, olhares ternos, orações ou na serenidade de quem se alegra pelo até então conquistado.

Cada uno e cada elemento, cada qual a seu tempo, no seu espaço e no seu possível, trouxe a sua contribuição para agregar valor à criatura e à criação. Impossível nomeá-los sem tropeçar no injusto esquecimento, em meio a tantos mercedores de minha gratidão. Até mesmo aos incrédulos devo o meu “muito obrigada” pelo desafio que me impulsionou a ir além do que até então construía como limite. Encerro este trabalho melhor do que o comecei, pessoal e profissionalmente.

Entrego todos e cada um ao Creador e sua Sabedoria infinita, numa reverência pela multiplicação das bênçãos recebidas sob todas as formas, visíveis ou não.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Eduardo Marques Arantes, e à CAPES.

“Até aqui ajudou-me o Senhor” (1 SAMUEL 7:12)

(...)

*“No soy ni lo conocido, ni el conocimiento o*

*El conecedor, sin forma es mi forma.*

*Habito en los sentidos, pero ellos no son mi hogar.*

*Serena y en equilibrio, no soy ni libre ni esclava.*

*Soy Conciencia y Alegría y en la Gloria soy hallada.”*

*La canción del alma (Sri Shankaracharya)*

## RESUMO

Com esta pesquisa buscou-se desenvolver um sistema baseado no Building Information Model (BIM) de modo a se estruturarem requisitos e disponibilizar informações necessárias à transferência (parcial) de dados solicitados pelo *software online* da Certificação *Excellence in Design for Greater Efficiencies* (EDGE). O alcance de tal objetivo visa, em última instância, a tornar possível o cálculo da energia incorporada nos materiais e sistemas utilizados no modelo, de forma automatizada. Por meio do método *Constructive Research*, ou Pesquisa Construtiva, recorreu-se às ferramentas Autodesk *Revit*, *Dynamo*, Excel e à linguagem de programação *Python*. Apesar do uso de *softwares* proprietários, não se identificaram problemas de interoperabilidade devido à compatibilidade dos sistemas aplicados. O processo de modelagem da informação proposto possibilitou a retirada dos parâmetros do modelo requeridos pela Certificação EDGE, dentro das delimitações de escopo estabelecidas neste projeto. Os resultados obtidos corroboram o potencial da tecnologia BIM para contribuir na melhoria do desempenho do processo de projeto de um edifício, com vistas a uma certificação ambiental. Identificou-se que os vários recursos utilizados, como materiais e fontes de energia, interferem individual e conjuntamente no cálculo do desempenho final do edifício. A automatização do sistema trouxe a possibilidade de se verificarem várias alternativas de projeto em tempo reduzido, manter as informações sempre atualizadas e o resultado confiável. A contribuição desta pesquisa para a academia e o mercado é apresentar um processo de modelagem da informação que possibilita a comunicação entre um modelo BIM e uma certificação de ecoeficiência. O resultado que o processo retorna é passível de ser analisado e avaliado pelos agentes envolvidos para uma tomada de decisão mais embasada em relação aos impactos que o empreendimento produz no meio ambiente.

Palavras-chave: BIM. Certificação EDGE. *Dynamo*. Sustentabilidade. Ecoeficiência.

## ABSTRACT

This research sought to develop a system based on Building Information Model (BIM) in order to structure requirements and provide information necessary for the (partial) data transfer requested by the online software of the Certification Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE). The achievement of this objective aims, ultimately, to make it possible to calculate the energy incorporated in the materials and systems used in the model, in an automated way. The methodology used was Constructive Research. The tools applied were Autodesk *Revit*, *Dynamo*, Excel and Python programming languages. Despite the use of proprietary softwares, there were not any interoperability issues due to the compatibility of the systems applied. The proposed information modeling process enabled the removal of the model parameters required by the EDGE Certification, within the scope limits established in this project. The results obtained corroborate the potential of BIM technology to contribute to improving the performance of the building design process, with a view to environmental certification. It was identified that the various aspects of a building's performance, such as materials and energy resources, have been found to connect and affect each other. The automation of the system brought the possibility of verifying several design alternatives in a short time, keeping the information always updated and the reliable result. The contribution of this research to the academy and the market is to present an information modeling process that enables communication between a BIM model and an eco-efficiency certification. The result that the process returns is liable to be analyzed and evaluated by the agents involved for a more informed decision-making in relation to the impacts that the project produces on the environment.

Keywords: BIM. EDGE Certification. Dynamo. Sustainability. Eco-efficiency.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo proposto para fase de concepção de projeto arquitetônico	26
Figura 2 - Dimensões da sustentabilidade	36
Figura 3 - Processo de certificação EDGE	44
Figura 4 - Fluxo da pesquisa construtiva adaptado a este trabalho	52
Figura 5 - O fluxo de informação na pesquisa	56
Figura 6 - Imagem da descrição e características de um sistema validado pela Certificação EDGE	69
Figura 7 - Parâmetros de informações de projeto	71
Figura 8 - Propriedades das paredes externas especificadas em projeto	72
Figura 9 - Propriedades de tipo da família piso	73
Figura 10 - Propriedades de tipo da família telhado	73
Figura 11 - Relação dos parâmetros de projeto disponíveis para os elementos	74
Figura 12 - Modelo analisado de casa baseado no padrão da Caixa	75
Figura 13 - Anatomia de um <i>node</i> do Dynamo	78
Figura 14 - Rotina em Dynamo para captura dos dados do modelo	81
Figura 15 – Parte da rotina Dynamo: criação das planilhas Excel	82
Figura 16 - Diagrama do procedimento da rotina em <i>Dynamo</i> para geração da planilha Excel.	83
Figura 17 - Parte da rotina em Dynamo: limpeza dos dados da planilha	85
Figura 18 - Diagrama do procedimento da rotina em <i>Dynamo</i> para limpeza dos dados da planilha	86

Figura 19 - Planilha Excel com dados do modelo gerada automaticamente pelo  
Dynamo 89

Figura 20 – Trecho do *script* Python para capturar dados da planilha para o *software*  
*online* 92

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação entre as ferramentas de automação	33
Quadro 2 - Especificações do modelo baseado no projeto da Caixa	76
Quadro 3 - Tradução do algoritmo em linguagem humana para o Dynamo, no sentido do fluxo em que ocorre	84
Quadro 4 - Tradução do algoritmo em linguagem humana para o Dynamo	87
Quadro 5 - Comparativo modelo básico x modelo proposto	96

## LISTA DE ABREVIATURAS

AECO –	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação
AIA –	<i>The American Institute of Architects</i>
API –	<i>Application Program Interfaces</i>
APO –	Avaliação Pós-Ocupação
AQUA-HQE –	Alta Qualidade Ambiental França / Brasil
AAB –	<i>Algorithm-Aided BIM</i>
A-BIM –	<i>Algorithmic-Based BIM</i>
BIM –	<i>Building Information Model</i> (Modelagem da Informação da Construção)
BREEAM –	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CAD –	<i>Computer-Aided Design</i>
CESBA –	<i>Common European Sustainable Built Environment Assessment</i>
CIB –	<i>International Council for Research and Innovation in Buildings and Construction</i>
CMD –	Comando do Windows
CPDS –	Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável
EDGE –	<i>Excellence in Design for Greater Efficiencies</i>
EPC –	<i>Energy Performance Certificate</i>
GEE –	Gases de Efeito Estufa
GHG –	<i>Greenhouse Gases</i> (GEE)
IFC –	<i>Industry Foundation Classes</i>
IFC –	<i>International Finance Corporation</i>

ICE –	Inventário de Carbono e Energia da University of Bath
IPCC –	Painel de Mudanças Climáticas (ONU)
LEED –	<i>Leadership in Energy and Environmental Design USA</i>
LOD –	<i>Level of Development</i>
ND –	Nível de Desenvolvimento do Modelo (tradução livre de LOD)
NLP –	<i>Natural Language Processing</i>
PROCEL EDIFICA –	Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações
PMCMV –	Programa Minha Casa Minha Vida da Caixa Econômica
RASE –	<i>Requirements, Applicabilities, Selection, Exceptions</i>
REPL –	<i>Read-Eval-Print-Loop</i>
SECOVI SP –	Sindicato das Empresas de Compra, Venda, Locação e Administração de Imóveis Residenciais e Comerciais do Estado de São Paulo
UNCED –	<i>United Nations Conference on Environment and Development</i>
WCED ONU –	<i>World Commission on Environment and Development United Nations Organization</i>
WOS –	<i>Web of Science</i>
WWR –	<i>Window-To-Wall Ratio</i>

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1 Problema e Questões de Pesquisa	16
1.2 Objetivos	18
1.3 Justificativa	19
1.4 Contribuição científica	22
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>23</b>
2.1 Processo de Projeto em BIM	23
2.2 Interoperabilidade	27
2.3 Verificação automática de projetos em BIM	28
2.4 Ferramentas de automação	30
2.5 Sustentabilidade	34
2.6 Dimensão Prática da Sustentabilidade na Engenharia e Arquitetura	38
2.7 Projeto Sustentável	39
2.8 A Certificação EDGE	41
2.8.1 Como funciona a Certificação EDGE	43
2.8.2 Atualização	45
2.9 Trabalhos correlatos	46
2.10 Resumo da Revisão	50
<b>MÉTODOS E PROCEDIMENTOS</b>	<b>51</b>
3.1 Tipo de Pesquisa	51
3.2 Framework	54
3.3 Aplicação do método	57
<b>A METODOLOGIA EDGE</b>	<b>62</b>
<b>O MODELO BIM</b>	<b>67</b>
<b>IMPLEMENTAÇÃO DA ROTINA</b>	<b>77</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>93</b>
<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>99</b>
<b>CONCLUSÕES</b>	<b>101</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>103</b>
<b>APÊNDICE A – Mapa mental da Certificação EDGE</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICE B – Planilhas Excel</b>	<b>109</b>
<b>APÊNDICE C – Script em Python</b>	<b>111</b>

## INTRODUÇÃO

A construção civil é responsável por 25% da contribuição da indústria ao PIB e representa cerca de 8,5% do total de empregos gerados (IBGE, 2016). A crise que assola o país nos últimos anos influencia negativamente esses números, mas a representatividade desta indústria permanece expressiva. Entretanto, apesar do benefício socioeconômico que proporciona, a construção civil produz grande impacto ambiental, desperdiçando quantidade vultuosa dos recursos aplicados. Some-se a isso o consumo de água, energia e a emissão de gases de efeito estufa que uma edificação produz ao longo de todo o ciclo de vida útil (MARCOS, 2009; MACHADO *et al*, 2015; CARVALHO *et al*, 2017).

A crescente conscientização dos danos ambientais, sociais e econômicos que a exploração desordenada do crescimento urbano produz tem levado a esforços para reverter esse quadro de desequilíbrio. Desde o Protocolo de Kyoto (2005)<sup>1</sup>, as pessoas passaram a se preocupar mais com as questões ambientais do Planeta.

Alavancadas por um consumidor cada vez mais exigente e um mercado altamente competitivo, as incorporadoras vêm assumindo a responsabilidade que lhes tange no tocante à aplicação dos conceitos de sustentabilidade em seus empreendimentos. Pesquisa do Secovi-SP (2014) mostra que 61% dos incorporadores consideram a transformação do mercado uma das principais razões para o desenvolvimento de empreendimentos sustentáveis. A busca por edifícios mais eficientes e de baixo impacto ambiental aparece como diferencial de mercado e agrega valor à marca.

Há que se ressaltar que o conceito de sustentabilidade tem sido tratado de forma fragmentada pelos projetistas, que apenas têm consolidado a dimensão ambiental, esquecendo-se das ações relacionadas ao social e ao econômico (CSILLAG, 2007). Na prática, a dimensão social foge ao controle do projetista, incapaz de garantir, por exemplo, valor social na produção dos insumos que proverão o ambiente construído

---

<sup>1</sup> Acordo internacional entre os países integrantes da Organização das Nações Unidas (ONU) para a redução da emissão de gases causadores do efeito estufa e consequente aquecimento global.

e o considerado durante todo o processo de obra. Em alguns casos, identifica-se avaliação da sustentabilidade econômica nos empreendimentos, mas a aplicação ampla da sustentabilidade ainda não foi alcançada pelo mercado. Diante dessa limitação, no contexto deste trabalho, adotar-se-á o termo sustentabilidade com conotação ambiental ou de ecoeficiência.

Dentre as várias iniciativas para incorporação de práticas ambientalmente sustentáveis aos edifícios, encontramos os selos e certificações verdes. Desde 2007, certificações ambientais internacionais vêm ganhando campo no setor de construção civil no Brasil, sobretudo em projetos comerciais e de alto padrão (MARCOS, 2015), cada qual com sua estrutura, método de avaliação e categorias. As mais difundidas vão desde as internacionais, como LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*, USA, BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*, Reino Unido e adaptações brasileiras de certificações de outros países como o AQUA-HQE - Alta Qualidade Ambiental, França/Brasil, até as certificações setoriais, como o Selo Qualiverde, na cidade do Rio de Janeiro; Selo BH Sustentável em Belo Horizonte, Procel Edifica - Etiqueta de Eficiência Energética de Edificações, Brasil e o Selo Casa Azul da Caixa, este direcionado às construções do Programa Minha Casa Minha Vida, do Governo Federal. Em 2014, foi a vez da certificação EDGE, do Banco Mundial, entrar no Brasil.

Atento ao mercado emergente, a IFC - *International Finance Corporation*, instituição membro do Grupo Banco Mundial, criou a Certificação EDGE - *Excellence in Design for Greater Efficiencies*. Adaptada às necessidades de seu público-alvo, mais de cem mercados emergentes, e visando à expansão da aplicação do conceito de eficiência ambiental e econômica, a EDGE apresenta como diferenciais o baixo custo de implementação em relação às outras certificações, o uso de um *software online* gratuito ([www.app.edgebuildings.com/](http://www.app.edgebuildings.com/)), a simplificação da estrutura e da metodologia aplicada, a agilidade do processo focado apenas em aspectos técnicos e a mensuração automática do custo das decisões. A obtenção do selo EDGE está condicionada às reduções mínimas de 20% no consumo de energia, 20% no consumo de água e 20% de energia embutida nos materiais de construção, quando

comparado a um *benchmark* estabelecido com base nas práticas usuais do mercado.

Num setor complexo como o da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), com exigências muitas vezes contraditórias, as tecnologias de informação, *design* e comunicação aparecem como recursos indispensáveis para o gerenciamento de todo o espectro a que se referencia o ambiente construído. O conceito BIM – *Building Information Model*<sup>2</sup> destaca-se nesse contexto por antecipar informações, permitir análises a partir de um modelo virtual muito próximo do real e acompanhar o empreendimento desde a concepção até a fase de demolição ou *retrofit*. A informação disponibilizada no BIM possibilita a melhoria dos projetos e do desempenho das edificações (WONG; FAN, 2013). Porém, o uso da plataforma BIM pressupõe a reavaliação e reinvenção do modelo de gestão de projetos atual. O trabalho integrado e colaborativo aparece como uma questão crucial neste novo processo de projeção, independente do porte e complexidade do empreendimento. Verificações automáticas de códigos pré-estabelecidos devem ser exploradas para contribuir na redução de erros e antecipação de problemas que gerem retrabalho e consequente perda de tempo e elevação de custo.

### **1.1 Problema e Questões de Pesquisa**

A modelagem de requisitos na plataforma BIM é importante para a tomada de decisão dos projetistas, por possibilitar: a) organização de grande quantidade de informações qualitativas e quantitativas relativas às opções de especificação de sistemas e seus elementos; b) visualização e disposição dessas informações para os proponentes; c) controle dos requisitos ao longo do processo de desenvolvimento do empreendimento e d) padronização de alguns critérios na modelagem e avaliação de projetos. A ferramenta BIM facilita o acesso a informações sobre requisitos, por auxiliar na organização ou estruturação de grande quantidade de informações, além de possibilitar a conexão entre requisitos e o modelo do produto, facilitando a visualização, disponibilização e controle do equilíbrio dessas informações (BALDAUF, 2013).

---

<sup>2</sup> BIM pode ser traduzido como Modelagem da Informação da Construção.

Frente ao exposto, a principal questão colocada é a seguinte:

“Como implantar, a partir de um modelo na plataforma BIM, uma estrutura para transferência automatizada de informações de energia incorporada nos materiais de construção de uma habitação para atender aos requisitos de uma certificação ambiental?”

Essa questão desdobra-se em outras:

- a) como os modelos e estruturas de requisitos da plataforma BIM podem ser configurados para facilitar a disponibilização das informações sobre os requisitos de ecoeficiência dos materiais nas habitações?
- b) quais os benefícios e desafios para o gerenciamento dos critérios de um sistema de certificação ao utilizar sistemas interoperáveis com as ferramentas BIM para automatização do processo?

Diante deste desafio, estabelecem-se as seguintes delimitações:

- a) a rotina apenas será aplicada à tipologia habitacional, tendo como base uma habitação unifamiliar de padrão baixo;
- b) apenas será verificada a energia incorporada nos materiais, de acordo com os requisitos estabelecidos na Certificação EDGE;
- c) considerar-se-ão somente as especificações de materiais e sistemas já validadas dentro do *software* EDGE;
- d) a validação do processo desenvolvido será feita com uma única especificação para cada material / sistema.

## 1.2 Objetivos

### *Objetivo principal*

A presente pesquisa intenta desenvolver um processo dentro da plataforma BIM que estruture requisitos e disponibilize as informações necessárias à transferência (parcial) dos dados solicitados pelo *software* online da certificação EDGE, a fim de que seja possível realizar, de forma automatizada, o cálculo da energia incorporada nos materiais do modelo proposto.

### *Objetivos específicos*

Para atingir o objetivo geral proposto, estabelecem-se algumas metas:

- a) avaliação do potencial BIM para armazenar e disponibilizar as informações solicitadas pelo *software*;
- b) construção de um modelo de informação que conecte ambas as plataformas - BIM e *software online* – de forma automatizada;
- c) avaliação dos benefícios e desafios do processo no gerenciamento dos critérios do sistema de certificação;
- d) análise dos benefícios da proposição para os agentes tomadores de decisão no tocante ao planejamento de um edifício ambientalmente sustentável.

### 1.3 Justificativa

O desenvolvimento sustentável tornou-se urgente em tempos de alterações ambientais, sociais e econômicas marcantes em todo o Planeta. A construção civil, como grande responsável por esse impacto, têm-se deparado com um consumidor cada vez mais crítico e a necessidade de justificar e equilibrar o uso dos recursos disponíveis. Nesse sentido, acredita-se relevante examinar a contribuição que o BIM pode dar à já complexa produção do setor, ao apresentar, de forma clara e transparente, parâmetros para serem analisados, avaliados e validados.

A proposta de automatizar a verificação de requisitos de sustentabilidade de um projeto visa a tornar o processo ágil e transparente. A possibilidade de aplicação do método na fases iniciais de planejamento, enquanto as intervenções não geram impactos substanciais no tempo e no custo, permite também a participação, interação e colaboração de todos os agentes envolvidos.

A opção por métodos automáticos permite que os projetistas possam efetuar verificações parciais de conformidade durante o processo de elaboração dos projetos, dentro de um processo mais rápido (RODRIGUES, 2015). Segundo este autor, a verificação automática é uma importante ferramenta de apoio à decisão durante a fase de projeto.

A seleção tecnológica de materiais, componentes e sistemas construtivos contribui fortemente para os impactos que a edificação causará ao longo de seu ciclo de vida: projeto, produção, construção, uso, manutenção e desconstrução ou renovação (OLIVEIRA, MELHADO e MITIDIARI FILHO, 2013). A opção por avaliar a energia incorporada nos materiais, em detrimento da energia e da água, baseou-se na intenção de despertar a consciência dos projetistas para a importância da especificação de elementos e sistemas no impacto energético da edificação. Não obstante, avaliações de consumo de água e energia também permeiam a análise da energia incorporada nos materiais ao longo de seu ciclo de vida.

A certificação ambiental é um dos requisitos para se estabelecer o desenvolvimento sustentável, aliada a políticas voltadas à geração de emprego, educação e salubridade, essenciais para um país crescer e se desenvolver. Uma construção sustentável, pensada como tal desde a concepção, terá maior desempenho a um custo menor. Barros e Fabrício (2011) citam algumas pesquisas que mostram que edifícios ambientalmente sustentáveis reduzem consideravelmente o consumo de energia e de água, a emissão de CO<sub>2</sub> e o descarte de resíduos, além de garantirem um ambiente interno saudável e confortável, a ponto de aumentar a produtividade dos usuários.

Embora a crescente discussão sobre o tema da sustentabilidade no setor da construção civil, Piccoli (2009) observa que, apesar do grande interesse dos construtores sobre o tema, muitos ainda desconhecem algumas normas vigentes e os sistemas de avaliação ambiental disponíveis. Segundo o mesmo autor, alguns construtores apontam como fator inibidor da certificação o custo das inovações tecnológicas que consideram inerentes à adoção dos princípios da construção sustentável.

A certificação EDGE não se restringe a habitações de interesse social, porém fica clara a intenção da IFC – *International Finance Corporation*, instituição do Grupo Banco Mundial que criou a Certificação, em atender a esse nicho de mercado nos mais de cem países emergentes. Adaptada às necessidades de seu público-alvo e visando à expansão do conceito de ecoeficiência, a EDGE apresenta como diferenciais o baixo custo de implementação, o uso de um *software* online gratuito ([www.app.edgebuildings.com](http://www.app.edgebuildings.com)), a simplificação da estrutura e da metodologia aplicada, a agilidade do processo focado apenas em aspectos técnicos e a mensuração automática do custo das decisões. Nesse intuito, o *software* pode ser usado, até o nível de projeto, para mensurar o potencial sustentável dos impactos ambientais e econômicos gerados, a custo zero, mesmo que não haja interesse no processo de certificação. Dentro dessa perspectiva de democratizar as boas práticas da sustentabilidade ambiental, optou-se pela aplicação da certificação EDGE como parâmetro de avaliação neste trabalho, considerando o baixo custo investido, a interface intuitiva do *software* e a facilidade de aplicação e visualização dos efeitos das decisões consideradas.

Embora existam diversas ferramentas BIM de desenvolvimento de projetos executivos de arquitetura, o Graphisoft ArchiCAD e o Autodesk *Revit* destacam-se como as mais usadas no Brasil. Ambas oferecem recursos para suprir os usos BIM com número praticamente equivalente de funcionalidades para atender às necessidades dos projetistas (MONTEIRO; MATIAS, 2015). A preferência de escolha pelo Autodesk *Revit*, aqui na versão 2018, deu-se pela sua liderança de mercado no Brasil (GARBINI, 2012), disponibilidade na versão educacional, conhecimento prévio da ferramenta pela autora e facilidade de suporte no meio em que esta se insere.

Para automatização do processo, utilizou-se a plataforma de programação visual *Dynamo* para trocas de informação entre o *Revit* e a planilha eletrônica Excel, a linguagem de programação *Python* para captura dos dados da planilha e o *prompt* de comando do Windows – CMD para acessar o *software* online. Como o *Dynamo* é um *software* que pode ser executado como *plugin* de programação visual para o *Revit* e este já é compatível com o Excel, as questões de interoperabilidade encontram-se salvaguardadas.

*Python* é uma linguagem de programação textual, com regras de sintaxe para escrever um código válido, e também um *software* interpretador que lê o código-fonte escrito nesta linguagem e executa suas instruções. O interpretador *Python* é gratuito e pode ser baixado de <http://python.org/>. A escolha desta linguagem ocorreu em função da facilidade de aprendizagem e uso, além da sua compatibilidade com o *software* *Dynamo*, embora este seja escrito em C# (VILLARES; MOREIRA, 2017). Importante observar que o usuário não precisará ter conhecimento de programação para aplicação do método, já que o *script* faz parte deste.

Atualmente, os métodos de melhoria de processo de projeto focam especialmente em economia de tempo e redução da carga de trabalho. Projetistas buscam uma solução de alta eficiência e precisão (LIU; MENG; TAM, 2015). O uso de ferramentas tecnológicas capazes de acompanhar e evoluir ao longo do processo projetual da edificação estimula futuras discussões sobre verificação automática de regras e interação entre tecnologias, a serviço da melhoria da qualidade na produção da

AECO. Esta pesquisa repensa a Arquitetura, inserindo-a num contexto de transdisciplinaridade ao lado de outras ciências, como a Ciência da Computação.

#### **1.4 Contribuição científica**

A principal contribuição desta pesquisa para a academia e o mercado é trazer um processo de modelagem da informação que possibilita a comunicação entre um modelo BIM e uma certificação de ecoeficiência. O modelo de troca de informações entre plataformas diferentes agrega transparência e clareza para todos os *stakeholders*, economia de tempo, custo, redução do trabalho para projetistas e diminuição das margens de erro na tomada de decisão, em relação às estratégias de redução da energia incorporada nos materiais aplicados.

A pesquisa se baseou na seguinte hipótese: como a tecnologia BIM pode contribuir para melhorar o desempenho do processo de projeto de um edifício, com vistas a uma certificação ambiental?

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica para esta dissertação abordou o processo de projeto em BIM, a interoperabilidade das tecnologias selecionadas na troca de informações, a pertinência e usabilidade da verificação automática de requisitos nos modelos BIM, levantamento das ferramentas de automação cabíveis ao propósito deste trabalho, os conceitos de sustentabilidade, construção sustentável e projeto sustentável, e o estudo da certificação EDGE de uso em questão. Apresentam-se também alguns estudos correlatos a este trabalho, o estado da arte no mundo.

### 2.1 Processo de Projeto em BIM

Azambuja (2013) afirma que todo projeto compreende uma cronologia de definições, dos requisitos do usuário aos requisitos de desempenho do edifício, finalizando com as definições de soluções de produto e processo para atender a esses requisitos. Para além da análise de projetos pautada na verificação das exigências estabelecidas no programa de necessidades, há que se comprovar a conformidade da seleção de alternativas de projeto, frente às alternativas disponíveis na origem do planejamento do negócio.

O advento do BIM na produção do setor da construção afeta tanto as práticas de trabalho como as relações contratuais entre os agentes. O princípio de construção do modelo BIM possibilita o trabalho concorrente dos diversos agentes, e acontece em concordância com o processo e a maturidade pressupostos pela Engenharia Simultânea na AECO (MANZIONE, 2013).

BIM tem sido considerado uma ferramenta-chave para a reinvenção de projetos de construção na contemporaneidade. A abordagem integrativa possibilitada pelo BIM, além da modelagem geométrica do edifício, facilita o gerenciamento da complexidade de projeto, construção e manutenção do ambiente construído (GHAFARIANHOSEINI et al., 2017; BRYDE; BROQUETAS; VOLM, 2013).

O uso da modelagem da informação dá-se, em especial, nos estágios de pré-construção, segundo pesquisa de Eadie *et al* (2013). Agregar revisões à fase de projeto possibilita à equipe de projetos garantir também as expectativas de sustentabilidade dos usuários durante o ciclo de vida da edificação. Nesse caso, faz-se necessário tornar os requisitos de eficiência legíveis para o sistema computacional (MALTESE *et al.*, 2017; RODRIGUES, 2015).

Como a modelagem é desenvolvida desde os estágios iniciais de projeto, uma série de definições, que usualmente eram desenvolvidas em etapas de projeto executivo, passa a ser necessária nas fases iniciais (LU *et al.*, 2014). Junte-se a isso a possibilidade dos proprietários terem uma ideia mais clara do projeto desde as fases iniciais, o que facilita as alterações passíveis de atenderem melhor aos requisitos do cliente (GHAFFARIANHOSEINI *et al.*, 2017).

As vantagens oferecidas pelo BIM são consideradas importantes para o desenvolvimento de projetos energeticamente eficientes (SILVERIO *et al.*, 2016). Apesar disso, a plataforma tem sido subutilizada para esse propósito. Maltese *et al.* (2017) sugerem que a integração entre ferramentas e métodos existentes com uso de BIM pode auxiliar o gerenciamento da complexidade da produção do setor. Os autores consideram o BIM como a mais inovadora metodologia orientada a processos do setor da AECO, capaz de evitar ambiguidade de dados, duplicação ou ausência de informação.

Maltese *et al.* (2017) argumentam que uma ferramenta capaz de calcular e gerenciar critérios desde os estágios preliminares do processo possibilita um projeto melhor e mais sustentável, sob os pontos de vista ambiental, econômico e social. Além disso, permite a avaliação dinâmica de vários cenários, a fim de se obterem melhores resultados durante os estágios de construção e operação, reforma ou manutenção.

Durante a fase de projeto, BIM facilita a troca e integração de dados, proporciona a visualização da análise do desempenho, simulações e propicia a avaliação das alternativas de projeto (LU *et al.*, 2017; LIU; MENG; TAM, 2015). Recente avaliação do *Energy Performance Certificate* – EPC, maior instrumento político e legislativo da União Europeia, concluiu que a evolução do sistema somente se dará com a

integração de modelos BIM dentro de uma abordagem mais confiável, acessível, abrangente e adaptada ao cliente, a qual acelere o processo de aquisição de dados e mantenha os custos baixos (LI et al., 2019).

O projeto arquitetônico tem sido um dos que mais tem avançado no uso de BIM, tanto em termos nacionais como internacionais. Garbini (2012) apresenta uma estrutura para desenvolvimento de projetos de arquitetura em BIM, a qual contempla três etapas: concepção, desenvolvimento e conclusão. Na Figura 1, ilustra-se o modelo proposto.

Segundo a autora, a concepção é marcada pelo contato com o cliente e detalhamento das necessidades. Nessa etapa são definidos os produtos esperados do modelo BIM, que vão nortear o processo de desenvolvimento e detalhamento, e o processo de troca de informações com os demais envolvidos no projeto. O desenvolvimento inicia-se com o estudo preliminar, no qual as propostas de acabamento e as definições da etapa anterior são incorporadas a uma maquete eletrônica, que será submetida à aprovação do cliente. Na sequência, são criadas etapas do modelo (anteprojeto, projeto executivo, projeto básico), definindo-se o nível de detalhamento esperado para cada uma. Ao final, o modelo incorporará todas as definições da etapa de concepção.

Na etapa de conclusão, segundo Garbini (2012), o projeto executivo é desenvolvido e este pode ser subdividido em pré-executivo, básico, executivo, detalhes, caderno de especificação, compatibilização, coordenação, gerenciamento do projeto e assistência à obra. Apesar de vários produtos, esta etapa torna-se breve, uma vez que os modelos, detalhes e definições foram desenvolvidos na etapa anterior.

Caso os demais projetistas utilizem BIM, a compatibilização de projetos acontece de forma automática, apontando os conflitos conforme surgem. Nesta fase é feito também o controle da qualidade do modelo, analisando-se as expectativas da fase inicial e os produtos resultantes, gerando-se um relatório com eventuais justificativas de itens que não foram atendidos. Finalmente, deve ser definida a forma de entrega do projeto, e questões de autoria e controles de alteração do modelo ao longo de sua utilização (GARBINI, 2012).

**Figura 1 - Modelo proposto para fase de concepção de projeto arquitetônico**



Fonte: Adaptado de Garbini (2012).

A implantação da tecnologia BIM nos escritórios de arquitetura muda o processo de projeto atual. Com a utilização desta tecnologia nos projetos, os fluxos dentro de um escritório sofrem modificações, já que, para desenvolver modelos paramétricos, com informações do projeto, é preciso identificar uma série de questões que só seriam levantadas em fases posteriores do processo (GARBINI, 2012).

A tecnologia BIM, muito além de uma tecnologia ou uma ferramenta, representa uma grande mudança no processo de projeto, e essa mudança precisa ser vista pelos escritórios de arquitetura como uma evolução e não como uma revolução das tecnologias da informação. A mudança precisa ser vista como uma forma de ajudar os escritórios a alcançar a excelência em seus projetos.

## 2.2 Interoperabilidade

A produção do ambiente construído congrega vários agentes de diversas especialidades. Surge daí a necessidade de intercambiarem-se geometria, dados e informações, gerados por diversos *softwares* especialistas, de forma a contribuir para o trabalho. A interoperabilidade surge como uma forma de todos os sistemas envolvidos trocarem informações entre si e fazerem uso delas.

Interoperabilidade é a capacidade da informação estruturada e confiável fluir entre aplicativos digitais diversos, ao longo do processo de projeto (PEZESHKI; IVARI, 2018). A interoperabilidade em BIM tem sido bastante estudada pela tecnologia da informação dirigida ao setor da arquitetura, engenharia, construção e operação (AECO). A troca de informação nesse nível proporciona a relação integrada e colaborativa entre os membros de uma equipe de projetos, um dos grandes desafios de uma indústria tão grande e diversificada.

A interoperabilidade entre os sistemas CAD e simuladores de desempenho de edifícios, em especial, tem sido alvo de esforços da academia e dos desenvolvedores de *software*. As principais questões abordadas envolvem o tempo consumido na modelagem, continuidade no processo e colaboração interdisciplinar. Tais abordagens foram divididas em quatro categorias: a) integração; b) tempo consumido na interoperabilidade; c) troca de arquivo e d) independência (ØSTERGÅRD; JENSEN; MAAGAARD, 2016). Os maiores desenvolvedores trabalham no sentido de integrar algoritmos diretamente no *software* CAD ou desenvolver *softwares* proprietários de simulação de desempenho, a fim de facilitar a interoperabilidade. Como exemplo, podemos citar *Green Building Studio* para Autodesk *Revit* e *EcoDesigner Star* para Graphisoft *ArchiCAD*.

A academia e as comunidades *online* de programas de código aberto também têm criado grande quantidade de extensões de programa com o mesmo objetivo e dando ênfase especial à rapidez no retorno da informação e na análise paramétrica. Muitas dessas extensões são aplicativos a partir da API (*Application Programming Interfaces*) do *software*. Para Østergård *et al* (2016), apesar da evolução identificada nesse campo, ainda há grandes obstáculos a serem ultrapassados, como os

relativos a instâncias, mudanças de configuração na troca de projeto e a confiança dos projetistas em diferentes pacotes de *software* e em sua tradição de modelagem.

Para se proceder à verificação automática de projetos é preciso ter resolvido a questão da interoperabilidade. E esta é uma questão básica neste trabalho.

### **2.3 Verificação automática de projetos em BIM**

A verificação automática de projetos busca acelerar e reduzir a margem de erros na análise dos requisitos de projetos, ao passar de uma atividade manual para uma automática. Ganhar tempo no processo de projeto significa para o projetista a oportunidade de se ater mais demoradamente em questões importantes de construtibilidade, associadas à aplicação do conhecimento e da experiência para otimizar as construções e torná-las mais eficientes, atendendo aos objetivos do empreendimento (WONG, LAM, *et al.*, 2006). Isso leva ao aumento da qualidade do produto gerado e à possibilidade de inovação.

No processo de verificação de regras, o modelo BIM é uma entrada para os programas que analisam automaticamente geometria, relações espaciais, tolerâncias, folgas e outras análises dimensionais, determinando-se subsequentemente se o projeto proposto está em conformidade com o predefinido gerado pelo usuário de regras (FRANÇA e SCHEER, 2017). Segundo Porto (2016), os avanços tecnológicos possibilitam avanços nos processos de automatização e simulação de projetos porque permitem a manipulação das informações.

Na plataforma BIM, a informação contida nos elementos do modelo já se encontra no formato digital. A verificação automática de projetos deve atentar para a interoperabilidade das plataformas em uso para permitirem a perfeita comunicação entre elas na retirada dos dados, análise e avaliação dos resultados.

Rodrigues (2015) afirma que o processo manual de verificação de projetos usado atualmente é penoso e por vezes ineficiente, visto que podem ocorrer erros ou lapsos. Segundo Eastman (2015), a verificação automatizada de regras é um potencial fornecedor de valor significativo para a indústria de AECO. Com ela, pode-

se agregar valor ao produto e ao processo de desenvolvimento de projetos. Eastman *et al* (2008) propôs como meta que em 2020 a verificação automática de projetos seja alcançada de forma plena.

O uso de processos automatizados pressupõe que o processo de verificação seja mais eficiente. Monteiro e Martins (2011) salientam a necessidade, ainda, da interpretação humana. Os autores consideram que, para ser caracterizado como automático, o processo de verificação deve extrair automaticamente todas as informações do projeto, verificá-las e apresentar o resultado.

Manzione (2017), em sua revisão sistemática da literatura acerca da verificação automatizada de regras em BIM, comprova que o tema vem tendo interesse crescente dos pesquisadores, conforme apontam os dados bibliométricos. Com base em 56 publicações no idioma inglês, encontradas na base do Web of Science (WOS) entre 2009 e 2017, o autor identificou que a maior parte das pesquisas foca em aplicações sobre plataformas existentes ou no desenvolvimento de novas linguagens. Há uma predominância de regras escritas codificadas em linguagem computacional. O pesquisador também observa aumento no desenvolvimento de *plugins* para aplicativos proprietários como *Revit*, *Tekla* e *Solibri*, sendo que, destes, somente o *Revit* possui API aberta, oportunizando novas aplicações.

Apesar das difundidas metodologias RASE e NLP, Manzione (2017) observou lacunas na etapa de preparação de regras. Além disso, segundo o pesquisador, as pesquisas visam à obtenção dos resultados das buscas e dificilmente abordam a interface gráfica do usuário e experiências para transformar a experiência amigável para o usuário leigo.

A detecção de incompatibilidades em projeto baseadas em código é complexa, por estar vinculada ao cumprimento de requisitos de uma forma geral (KEHL, 2015). A autora cita, entre outros exemplos: “rota de fuga em caso de incêndio deve ser inferior a 20m”, obediência à seleção de materiais e sistemas consagrados nas especificações de projeto para certificação, atendimento aos requisitos de durabilidade da Norma de Desempenho (NBR 15.575/2013). Em outras palavras, a

verificação de regras aponta conflitos complexos e específicos, os quais demandam *softwares* e rotinas direcionados para tal (KEHL, 2015).

O processo de verificação automática apenas torna-se realmente eficiente quando ligado a modelos orientados por objetos paramétricos ((MONTEIRO; MARTINS, 2011; SILVA; ARANTES, 2016). A utilização de modelos promove a aplicação direta dos critérios de conformidade para verificação automática de projetos.

Eastman et al (2009) reconhecem o uso de *plugin* aplicado a um *software* de projetos, plataforma baseada na web utilizando o navegador ou *software* específico, como opções para desenvolvimento da verificação automática. Os autores também estabelecem quatro fases para o processo: (1) interpretação das regras e passagem das especificações para estrutura lógica de programação; (2) preparação do modelo, existente ou novo, com entradas capazes de satisfazer às exigências estabelecidas; (3) aplicação do *software* ou *plugin* que rodará as rotinas de verificação, baseado na informação do modelo do código, e (4) criação de mecanismos para a produção de saídas através de relatórios gráficos, tabelas ou documentação escrita.

A verificação automática de regras agiliza significativamente a gestão e a execução dos projetos, com possibilidade de ganhos em tempo, custo e assertividade. Para tanto, há que se prover infraestruturas necessárias em termos de equipamento como também em termos funcionais. Embora o *clash detection* seja talvez o atributo mais conhecido na prática BIM atual, o *code checking* apresenta um vasto campo para estudos mais aprofundados do processo de análise crítica. A possibilidade do atendimento aos requisitos espaciais do programa, às normas e aos requisitos específicos em cada caso, de forma automática, amplia o universo BIM para uso nas fases iniciais do processo de projeto e instrumentaliza adequadamente a análise crítica de projetos (BENNING *et al.*, 2010 *apud* KEHL, 2015).

## **2.4 Ferramentas de automação**

De acordo com o propósito deste trabalho, analisamos algumas ferramentas que permitissem explorar a automação do motor de cálculo de energia dentro do *software* EDGE, a partir do modelador. As principais ferramentas usadas foram as

de *Design* Generativo (DG) com ferramentas BIM, *plugins* com o mesmo objetivo e linguagens de programação compatíveis com BIM que permitam o controle e a troca de informações com a web.

#### **2.4.1 *Design* generativo / programação visual**

As ferramentas de programação visual possibilitam automatizar processos de modelagem (*design* generativo) e processos de gestão de informação em modelos BIM.

Ferreira e Leitão (2016) definem o *design* generativo como “uma abordagem algorítmica para a criação de modelos arquitetônicos, permitindo mecanizar tarefas, produzir geometrias complexas e otimizar o modelo criado”. Combinado ao BIM, o *design* generativo (GD) deu origem ao que se convencionou chamar de “BIM Algorítmico” (FEIST *et al.*, 2016). Esse processo foi desenvolvido, a princípio, para facilitar as mudanças necessárias durante o processo de concepção. Entretanto, o alcance da tecnologia hoje atinge novos padrões e métodos de fabricação avançados (KOLAREVIC, 2003 *apud* CAETANO *et al.*, 2016).

A abordagem por *design* generativo produz soluções com reduzido espaço de tempo e evita tarefas repetitivas, através do uso de algoritmos. O projetista precisa desenvolver uma etapa intermediária, em que produz uma definição algorítmica do *design*, onde declara os seus parâmetros e as dependências entre eles (LEITÃO, 2013). Esses algoritmos, implementados sob a forma de programas visuais, permitem a fácil geração de variações do mesmo modelo (FERREIRA e LEITÃO, 2016). Essas ferramentas têm seu uso facilitado para atenderem aos arquitetos, normalmente com pouco conhecimento de programação de dados.

A gestão da informação através de programação visual automatiza a extração de informações do modelo para nutrir outros processos, como planejamento, orçamentação, controle de obras etc. O uso de tais ferramentas também possibilita análises de engenharia sob a forma de *code-checking*, dentro de critérios previamente estabelecidos.

Conhecidos como *Algorithm-Aided BIM* ou *Algorithmic-Based BIM*, *Dynamo*, *Grasshopper / Lyrebird*, *GenerativeComponents*, e *RosettaBIM* são alguns exemplos de extensões desse novo paradigma. Os dois primeiros são os mais conhecidos e utilizados no Brasil.

#### 2.4.2 Grasshopper e Lyrebird

O *Grasshopper* é uma linguagem de programação visual para arquitetos, a qual possui uma dinâmica de trabalho muito semelhante à do *Dynamo*. A linguagem representa um fluxo de dados grafados como um conjunto de componentes e ligações entre eles (PAYNE, A; ISSA, 2009). A ligação e combinação entre os componentes - funções, parâmetros ou elementos geométricos, pode produzir algoritmos complexos. O *Grasshopper* também disponibiliza componentes de *scripting* que permitem escrever programas em VB.NET, C# e *Python*.

Enquanto linguagem visual, o *Grasshopper* é fácil de aprender e utilizar. No entanto, o seu aspecto gráfico torna-se desvantajoso à medida que os programas crescem e ficam difíceis de compreender e manipular.

O *Grasshopper* apenas funciona com a ferramenta CAD *Rhinoceros*, mas a sua funcionalidade vem sendo estendida com *plugins*, como o *Lyrebird*, que tornam possível a interoperabilidade com outras aplicações BIM, como o *Revit*.

#### 2.4.3 Dynamo

O *Dynamo*, inicialmente apenas um *plugin* para o *Revit*, foi fortemente influenciado por linguagens de programação visuais como o *Grasshopper*. Assim como este, possui uma dinâmica de trabalho baseada na associação de *nodes* através de *fiões* que transportam informação entre eles. As ligações entre *nodes* associam duas portas de *nodes* distintos, uma de saída e a outra de entrada, que suportam o mesmo tipo de informação. Os *nodes* podem representar diversos elementos do *Revit*, como linhas, funções matemáticas e objetos BIM, ou serem personalizados pelo programador (FERREIRA e LEITÃO, 2016). O *Dynamo* também suporta *nodes*

de código, elementos que podem conter pequenos programas escritos em linguagem de programação, como o *Python*.

#### 2.4.4 RevitPythonShell

O *RevitPythonShell* é um *plugin* desenvolvido para acessar a API do Revit na linguagem *Python* e simplificar sua utilização (THOMAS, D: <http://darenetwork.blogspot.pt/2009/12/introducing-revitpythonshell.html>).

O *plugin* utiliza o *IronPython* como linguagem e um editor de código fornecido pela *Python Tools*. Com este editor, os utilizadores têm acesso a um *Read-Eval-Print-Loop* (REPL) que lhes permite experimentar mais facilmente as funcionalidades da API. Segundo Thomas (<http://darenetwork.blogspot.com/2009/12/introducing-revitpythonshell.html>), “com a REPL, basta apenas escrever uma expressão, avaliá-la, ver os resultados e passar à próxima expressão”.

#### 2.4.5 Comparação

No Quadro 1, apresenta-se uma comparação entre as ferramentas analisadas. O símbolo  $\Delta$  indica suporte limitado,  $\blacktriangle$  indica suporte e  $\blacktriangledown$  indica o não suporte. Na última coluna, o número de  $\blacktriangle$  expressa a quantidade de funcionalidade suportada.

**Quadro 1 - Comparação entre as ferramentas de automação**

	Visual	Textual	Suporte BIM	Operações Geométricas	Operações BIM
Grasshopper	$\blacktriangle$	$\Delta$	$\blacktriangledown$	$\blacktriangle$	$\blacktriangledown$
Lyrebird	$\blacktriangle$	$\blacktriangledown$	$\blacktriangle$	$\blacktriangledown$	$\blacktriangle\blacktriangle$
Dynamo	$\blacktriangle$	$\Delta$	$\blacktriangle$	$\blacktriangle$	$\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle$
<i>RevitPythonShell</i>	$\blacktriangledown$	$\blacktriangle$	$\blacktriangle$	$\blacktriangle$	$\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle$

Fonte: Adaptado de FERREIRA e LEITÃO (2016).

## 2.5 Sustentabilidade

A preocupação com os danos causados pelo homem ao ambiente e com a finitude dos recursos naturais é relativamente recente. Surgem estudos e teorias acerca do tema e a busca por novas práticas de projetos de menor impacto ambiental. Embora do ponto de vista das intervenções urbanas e arquitetônicas ainda não haja claro entendimento dos termos frequentes e suas aplicações, muitos dos conceitos relacionados à sustentabilidade são óbvios. Alguns desses conceitos são relativos às edificações e às comunidades e à forma de o homem construir ou modificar o seu meio, minorando a adição dos impactos inerentes à ocupação. Algumas atitudes são simples no entendimento e no procedimento, como: uso racional da água, preferência e otimização do uso de recursos energéticos renováveis, redução do uso de materiais de construção, seleção dos materiais menos impactantes ao homem e ao ambiente e busca do aumento da durabilidade da edificação, do reúso dos materiais e da minimização das perdas (SATTLER, 2007).

A construção e operação dos edifícios gera grandes impactos, em especial no consumo de energia, entorno, clima urbano e regional e na água. Além disso, gera uma enorme quantidade de resíduos. De alguma forma o ecossistema é afetado, independente de onde e como eles são construídos. O *habitat* gerado, por sua vez, abriga problemas ambientais e desafios, cada vez mais evidentes.

A sustentabilidade relaciona-se ao desenvolvimento econômico e material sem agressão ao meio ambiente, com aporte racional dos recursos.

O conceito de sustentabilidade é complexo, já que abrange muitas variáveis interligadas. Sachs (1993, *apud* SATTLER, 2007) descreve as diversas dimensões da sustentabilidade:

a) sustentabilidade social: recomenda uma sociedade mais igualitária na distribuição de rendas e bens, com menor distanciamento e distorções entre as camadas sociais;

- b) sustentabilidade econômica: preconiza a eficiência econômica em termos macrossociais, além dos critérios macroeconômicos de rentabilidade empresarial;
- c) sustentabilidade ecológica: busca pela racionalização do uso dos recursos, com atenção especial àqueles esgotáveis ou danosos ao meio ambiente; redução do volume de resíduos e adoção de práticas de reciclagem; conservação de energia; incentivo ao desenvolvimento de pesquisas de tecnologias ambientalmente mais adequadas e implementação de políticas de proteção ambiental;
- d) sustentabilidade geográfica ou espacial: propõe uma distribuição rural/urbana mais equilibrada, proteção de ecossistemas frágeis, a criação de reservas para a proteção da biodiversidade e a prática da agricultura e da agrossilvicultura com técnicas regenerativas e em menor escala, e
- e) sustentabilidade cultural: valorização das raízes vernaculares, das soluções que considerem as tipicidades do ecossistema, de forma a permitir a continuidade cultural.

Assim, qualquer intervenção humana, para ser considerada sustentável, precisa ser ecologicamente correta, economicamente viável, socialmente justa e culturalmente diversa. Elkington *apud* Motta (2009) atesta que o objetivo do desenvolvimento sustentável é o equilíbrio entre essas dimensões, definidas como *triple bottom line*, conforme mostra-se na Figura 2.

Alguns eventos e feitos na área de sustentabilidade se destacaram nos últimos anos. A seguir, citamos alguns.

Em 1968, o chamado Clube de Roma publicou *The limits of growth* (Os limites do crescimento). Nesse estudo, o grupo de intelectuais expôs as contradições entre o crescimento exponencial da população e a finitude dos recursos naturais, preconizando uma crise sem precedentes na história.

Em 1972, a ONU realizou a *Conference on the Human Environment* (Conferência sobre o meio ambiente humano), em Estocolmo. Na oportunidade, foram colocadas as responsabilidades dos países ricos, com o consumismo exagerado, e dos países

pobres, com a explosão demográfica, ambas as situações geradoras de problemas ambientais. O encontro produziu uma declaração que atenta para o direito das gerações futuras e da atual ao usufruto dos recursos naturais, com vistas a sua preservação.

**Figura 2 - Dimensões da sustentabilidade**



Fonte: ELKINGTON, 1994 apud MOTTA, 2009.

Na década de 80, Ignac Sachs publicou o livro *Ecodevelopment* (Ecodesenvolvimento), que propõe o desenvolvimento baseado em três pilares: eficiência econômica, justiça social e prudência ecológica.

Após dez anos de vigência das ações propostas pela Conferência de Estocolmo, em 1983, a ONU criou a Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento (WCED) com o objetivo de propor estratégias de longo prazo para alcançar um desenvolvimento sustentável por volta do ano 2000. Então, a Comissão assumiu formalmente seu conceito de desenvolvimento sustentável: “aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades”. Em 1987, o WCED publicou *Our common future* (Nosso futuro comum) também conhecido como Relatório Brundtland. O relatório concluiu que o uso excessivo dos recursos naturais é um

processo que vai provocar o colapso dos ecossistemas, e propôs uma ação sistêmica da humanidade.

Já em 1988 o filósofo Andrew Brennan publicou o livro *Thinking about Nature*, no qual defende que a sociedade defina seus interesses e o contexto em que se inserem, para só então considerar os princípios ecológicos no mapa ambiental.

Em 1992, a ONU realiza a *United Nation Conference on Environment and Development* – UNCED, que aconteceu no Rio de Janeiro e ficou conhecida como Cúpula da Terra, Eco'92 ou Rio'92, reunindo 108 chefes de estado. Na conferência foram discutidos planos de ações para preservar os recursos do planeta e promover o desenvolvimento sustentável no século XXI. Dos cinco documentos resultantes da conferência, tem-se a Agenda 21, com recomendações de estratégias de preservação do planeta e metas de exploração sustentável dos recursos naturais, sem prejuízo ao desenvolvimento de qualquer país. Cada país desenvolveu a sua Agenda 21, com um plano de ação local e global a ser adotado por governo e sociedade para conter o impacto ambiental em todos os setores de atuação humana. No Brasil, as discussões foram coordenadas pela Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável - CPDS.

O setor de construção civil iniciou as discussões sobre o tema em 1994, com a primeira conferência sobre eficiência energética nas edificações realizada pelo CIB (*International Council for Research and Innovation in Buildings and Construction*). Nos anos que se seguiram, a discussão foi ampliada e chegou-se ao conceito atual de Construção Sustentável (CIB, 1999) ou edifícios de alto desempenho (SERRADOR, 2008).

A crescente conscientização acerca do aumento do efeito estufa e consequente aquecimento global levou à assinatura, em 1997, de ambicioso tratado ambiental: o Protocolo de Kyoto. Nele, os 35 países industrializados signatários se comprometeram a reduzir em 5% suas emissões de gases em relação ao nível de 1990 no período de 2008 a 2012.

Em 2007, o Painel de Mudanças Climáticas da ONU, IPCC, ganha o Nobel da Paz pelos seus estudos sobre o problema climático e a proposição das medidas necessárias para enfrentar o problema. O prêmio foi dividido com o americano Al Gore, pelo seu papel na divulgação da ameaça causada pelo aquecimento global. Desde então, a dimensão da sustentabilidade passou a sensibilizar a sociedade de forma mais direta e abrangente (MOTTA; AGUILAR, 2009).

## **2.6 Dimensão Prática da Sustentabilidade na Engenharia e Arquitetura**

O setor da construção civil também buscou a interpretação da Agenda 21, considerando suas especificidades dentro de uma agenda local e setorial, da mesma forma que as demais áreas de interferência humana.

O CIB, que em 1999 criara uma agenda baseada nas contribuições dos países desenvolvidos, reconheceu que os anseios, desafios e soluções destes deveriam ser revistos e compreendidos sob a ótica dos países em desenvolvimento. Em 2002, o Comitê lança a *Agenda 21 for sustainable construction in developing countries* que, dentre outras questões, expõe a inovação nos métodos e materiais de construção. Neste quesito, considera-se a diferença que a construção sustentável representa para a sustentabilidade ambiental global, particularmente no tocante à redução drástica no usos dos recursos naturais e no consumo de energia de materiais como cimento, aço, agregados e alumínio.

O relatório sugere a pesquisa de materiais alternativos aos da construção convencional, reconhecendo a validade das pesquisas com os subprodutos da agricultura e outros materiais biológicos como insumos da construção, além do reuso e da reciclagem. Degani e Cardoso (2002) apontam como principais impactos decorrentes da extração de recursos naturais a escassez e extinção de fontes e jazidas, além de alterações na flora e fauna do entorno destes locais de exploração. Faz-se necessário também apoiar a economia local, desenvolvendo estratégias de reunir materiais e métodos de construção tradicionais com processos modernos e tecnológicos na produção do micro ambiente construído. E, do ponto de vista social, é preciso levar em conta o incremento de custo de novas tecnologias e materiais

para que a maioria da população dos países em desenvolvimento, pobre e com limitada capacidade de investimento, tenha acesso (DU PLESSIS, 2002).

O conceito de construção sustentável muda de país para país, de acordo com as prioridades estabelecidas por cada um. Há visões diferentes e divergentes, de acordo com a economia de mercado, seja ela uma economia desenvolvida, economia em transição ou país em desenvolvimento. O entendimento e a aplicação do conceito na construção evoluiu ao longo do tempo. A ênfase que a princípio era dada à questão dos recursos limitados, especialmente energia, e à redução do impacto ambiental alcançou questões técnicas de materiais, componentes e tecnologia e sobre energia relacionada aos conceitos de projeto. Com o tempo, a atenção se voltou para as questões não técnicas, chamadas de “*soft*” mas cruciais ao desenvolvimento sustentável na construção.

Sustentabilidade econômica e social se incorporaram ao conceito de sustentabilidade, independente de local ou definição, com vistas a um assentamento humano que reafirme a dignidade humana e encoraje a igualdade econômica. Atualmente, as questões culturais e as implicações da herança cultural agregam-se ao ambiente da construção sustentável (Agenda 21 *on sustainable construction*, [s.d.]; CSILLAG, 2007).

## **2.7 Projeto Sustentável**

Construções energeticamente eficientes têm sido buscadas no mundo. Entretanto, há uma tendência a se focar em projetos de larga escala, especialmente comerciais, apesar do conhecimento disseminado de que edifícios residenciais causam maior impacto ambiental ao longo do seu ciclo de vida. O governo do Reino Unido, na contramão da tendência e alinhado com os resultados das pesquisas que apontam os edifícios residenciais como os maiores contribuidores para emissão de CO<sub>2</sub>, tem demonstrado interesse em edifícios residenciais mais eficientes com a criação de padrões e políticas nesse sentido (SILVERIO et al., 2016).

O conceito de ciclo de vida norteou o desenvolvimento de metodologias de avaliação ambiental de edifícios a partir da década de 90. Aplicado à construção, o ciclo de

vida é um método para avaliar impactos ambientais provocados por um ambiente construído, considerando seu ciclo de vida total – do berço ao túmulo (*cradle to grave*) (EDWARDS; BENNETT, 2003; UGAYA, 2004).

À medida que o impacto ambiental dos edifícios se torna mais e mais evidente, cresce a busca por estratégias de projeto sustentável com mudanças necessárias e suficientes para redução desse impacto, ao longo do ciclo de vida da construção (SOUZA, 2008). Como o projeto é a primeira fase do ciclo de vida de um edifício, a expectativa é de que os projetistas responsáveis incluam soluções minimizadoras dos impactos nesta etapa (DEGANI, 2010).

Seja com vias à certificação de um produto ou como forma de resguardar o atendimento ao proposto no *briefing*, é necessário um processo associado ao desenvolvimento do modelo, o qual dê suporte e funcione como um facilitador na escolha das soluções de projeto. Oliveira *et al* (2013) recomendam que os requisitos que deverão ser atendidos pelo empreendimento e as tecnologias que apresentam potencial para atender a esses requisitos devem ser definidos nas etapas iniciais do processo, quando as alternativas são mais variadas e o custo é menor. Tal definição deve vir acompanhada da devida justificativa da escolha. Na prática, identificam-se dificuldades para que esse processo flua de forma eficiente, seja pela forma como é estabelecido o empreendimento, pela prática sequencial de projeto ainda vigente, falta de interação e ambiente colaborativo entre os projetistas ou outras limitações.

Um empreendimento concebido como sustentável agrega às questões técnico-funcionais de conforto e qualidade, aspectos econômicos, sociais e ambientais. A ponderação de todos esses requisitos e a seleção das melhores práticas em cada caso demanda um conhecimento amplo dos profissionais e algum tempo consumido na etapa. A verificação manual das exigências em cada caso é algo complexo e exige experiência dos profissionais e uma rotina de procedimentos nem sempre sistematizada.

A CESBA<sup>3</sup> (*Common European Sustainable Built Environment Assessment*), associação comum europeia para avaliação do ambiente construído sustentável, busca o nivelamento dos indicadores dos vários sistemas de certificação para promover uma avaliação uniforme e a qualidade dos ativos sustentáveis adotados com diferentes pesos e critérios em cada país. A principal barreira encontrada pela instituição reside na complexidade cada vez maior com que os sistemas de certificação lidam (MALTESE et al., 2017).

## 2.8 A Certificação EDGE

Utilizando uma metáfora com o metabolismo do organismo humano, Butera (2010) comparou a estrutura de consumo de recursos e energia em cidades de países desenvolvidos e em desenvolvimento. A conclusão a que chegou é que, para mitigar os efeitos do aquecimento global, países em desenvolvimento devem buscar soluções de projeto sustentável diferentes do padrão (ineficiente) dos países desenvolvidos.

EDGE é um sistema de certificação de construção sustentável para mercados emergentes criado pela IFC, instituição membro do Grupo Banco Mundial. Este sistema permite aos arquitetos e engenheiros mensurar a otimização de recursos em seus projetos, aumentando o valor agregado do produto. O processo de certificação foi projetado para ser simplificado e ágil, ao reduzir a classificação de ativos sustentáveis e focar apenas em aspectos técnicos que produzem os resultados de desempenho mais significativos. A IFC, criadora da certificação, entende que a disseminação da prática sustentável, neste momento, é o mais importante.

O *software* EDGE permite visualizar como medidas de eficiência no uso de energia e água melhoram o desempenho de um edifício com pouco ou nenhum custo adicional. Os números indicam o caminho mais econômico para viabilizar construções mais sustentáveis. A interface do *software* permite uma fácil modelagem de desempenho. O *software* EDGE é gratuito para todos com certificação acessível

---

<sup>3</sup> <https://www.cesba.eu/>

a um preço inferior ao das demais certificações do mercado. Entretanto, a obtenção do selo EDGE é condição para financiamento imobiliário pelo Banco Mundial.

Para se qualificar a uma certificação, um edifício deve atingir reduções de 20% no consumo de energia, 20% no consumo de água e 20% no consumo de energia embutida nos materiais de construção, quando comparado a edifícios convencionais. EDGE funciona para uma variedade de edifícios residenciais e comerciais em aproximadamente 100 países, incluindo casas e apartamentos, hotéis e resorts, edifícios corporativos de escritório, hospitais e lojas de varejo.

O banco de dados de energia incorporada nos materiais, também conhecido como resultado da análise do ciclo de vida dos materiais, tem como referência o Inventário de Carbono e Energia (ICE) da *University of Bath*. Tais dados são de domínio público. Ao contrário das medidas de eficiência para energia e água, as quais se diferenciam de acordo com o tipo de edifício, no caso dos materiais a lista mantém-se inalterada independente da tipologia adotada. O cálculo da eficiência energética dos materiais é feito pela seguinte equação básica:

$$\text{energia incorporada por unidade de área (MJ/m}^2\text{)} = \text{espessura (m)} \times \text{densidade (kg/m}^3\text{)} \times \text{energia incorporada (MJ/kg)}$$

Shadram *et al* (2016) defendem que a cadeia de suprimentos de material de construção, como produção e transporte, contribui significativamente para a energia incorporada e total da energia usada. Por isso, a especificação de materiais deve ser cuidadosamente avaliada durante as fases de projeto e pré construção, quando as opções para redução da energia incorporada são grandes.

Para garantir a consistência e confiabilidade do cálculo da energia resultante, a metodologia assumida pelo sistema EDGE foi o uso de um *software* de simulação dinâmica (eQuest: [www.doe2.com/equest/](http://www.doe2.com/equest/)) e a comparação dos resultados obtidos em nove localidades. A variação menor que 10% nos resultados foi considerada aceitável, dada a simplicidade do modelo.

As equipes de projeto podem adotar um enfoque quantitativo, uma vez que o *software* traz custos e dados climáticos locais para obter resultados específicos de cada localidade. EDGE pode ser usada em todas as etapas do ciclo de vida de um projeto – da idealização até as decisões tomadas no canteiro de obras.

A Certificação apresenta soluções simples para residências, como iluminação de baixo consumo, vidros térmicos nas fachadas e equipamentos economizadores de água. Considera os materiais e sistemas relacionados suficientes para produzir um ambiente confortável, bem ventilado e iluminado, e com custos mensais reduzidos nas contas de água, energia elétrica, gás, manutenção e reparos.

### 2.8.1 Como funciona a Certificação EDGE

O processo de certificação dá-se em duas etapas: etapa de projeto e etapa de construção, conforme mostra-se na Figura 3. No primeiro passo do processo, cabe ao potencial cliente verificar se seu projeto enquadra-se no escopo do Programa EDGE dentro do mercado local.

#### 1) Etapa de projeto

A certificação tem início na primeira fase de projeto, quando os detalhes são inseridos no *software* e as soluções sustentáveis são selecionadas. Caso o edifício atinja a meta de redução de 20% nos consumos de energia, de água e de energia embutida nos materiais de construção, se comparado a edifícios convencionais, o projeto é registrado para certificação e recebe um código de identificação – *EDGE ID Code*, que o acompanhará por todo o processo. O próximo passo do cliente é submeter toda a documentação de projeto, a qual é enviada no formato PDF.

Após este procedimento, conhecido como autoavaliação, o cliente deverá registrar o projeto em uma organização certificadora parceira da EDGE e selecionar um auditor local ou global, caso não existam auditores no país.

O auditor é responsável pela auditoria de projeto, a qual inclui a revisão da autoavaliação feita pelo cliente e o acompanhamento da documentação inserida.

Caso considere satisfatório o desempenho do projeto planejado de acordo com o padrão estabelecido pela certificação, o auditor faz uma recomendação ao órgão certificador de “Certificação Preliminar”.

De posse da recomendação do auditor, a entidade certificadora avalia se a auditoria do projeto está completa e, em se confirmando, emite a Certificação Preliminar.

**Figura 3 - Processo de certificação EDGE**



## 2) Etapa de construção

Durante a fase de obra, o cliente deverá reportar ao auditor eventuais alterações no projeto previamente submetido a avaliação, através de entrada de dados no *software* EDGE e registro da documentação “*as built*”.

Concluída a fase de projeto da edificação, o auditor fará uma auditoria na obra para se certificar de que os parâmetros estabelecidos em projeto foram respeitados e estão de acordo com as medidas de eficiência estabelecidas pela certificação

EDGE. Se a avaliação do auditor for positiva, este fará uma recomendação à entidade certificadora para certificação do edifício. A entidade certificadora confere se a auditoria de campo está completa e então emite o Certificado EDGE para a edificação, confirmando seu desempenho.

Importante ressaltar que a Certificação EDGE usada como parâmetro nesta pesquisa considera, tanto na certificação de um projeto novo como na avaliação de edifícios existentes, apenas as características do edifício, não seu desempenho. A avaliação final é feita ao término da obra. A Certificação apresenta-se como um instrumento de classificação de ativos, quando na comparação do produto avaliado com um produto previamente estabelecido como básico. Então, a existência de uma certificação verde de projeto não garante ao consumidor que o empreendedor vá cumprir e respeitar as boas práticas de eficiência e conforto, já que a obtenção do selo de sustentabilidade é obtida após a conclusão da obra. Da mesma forma que as demais certificações, a entidade responsável concede o selo apenas depois de cumpridas todas as etapas até o funcionamento pleno do imóvel. As fases anteriores a essa apenas integram o processo, em regra acompanhado por consultores. Assim, para atestar o desempenho do edifício seria necessário mensurar a compatibilidade entre o produto oferecido e a expectativa do cliente (BALDAUF, 2013), em processo de avaliação de pós ocupação (APO).

No escopo deste trabalho, iremos nos ater ao cálculo automático da energia incorporada nos materiais, no todo e em parte, com base na modelagem de um produto em formato proprietário e na tabulação de dados específicos a partir dos dados paramétricos de entrada no projeto.

### *2.8.2 Atualização*

Em 16/09/2019, a equipe EDGE comunicou a inclusão de mais dois tipos de certificação, além da original: EDGE Avançado e Zero Emissão de Carbono. Os novos formatos referem-se à economia de energia, permanecendo inalteradas as exigências de pelo menos 20% de economia em água e materiais. Para atingir o EDGE Avançado, prescreve-se economia mínima de 40% em energia; para o nível de Zero emissão de carbono, busca-se a neutralidade de carbono com 40% ou mais

economia em energia local, atingindo 100% através de energias renováveis ou completando a compensação de carbono.

## 2.9 Trabalhos correlatos

Lihitruangsilp *et al.* (2018) desenvolveram um sistema de base BIM para avaliar os impactos das mudanças feitas na fase de construção. O sistema foca, especialmente, os impactos nas condições físicas (escopo), planejamento (cronograma) e orçamento, considerados pelos autores como os principais aspectos afetados. A comunicação dessa quantidade significativa de informações, normalmente baseada em documentos escritos, nem sempre é organizada. Os pesquisadores desenvolveram um sistema capaz de assistir os agentes envolvidos através da visualização e quantificação dos impactos nas alterações na construção. Na arquitetura do sistema estão integradas várias ferramentas compatíveis com BIM e interoperáveis, como *Autodesk Revit*, *Dynamo*, *Microsoft Excel* e *VBA*, estes últimos conectados ao *Microsoft Project*.

Nguyen *et al* (2016) propuseram uma ferramenta automatizada, implementada dentro da plataforma BIM, para avaliar um projeto de edifício verde, de acordo com os critérios da Certificação LEED. A ferramenta apresentada adota o modelador *Revit Architecture 2003* para criar um modelo 3D de um edifício, com seus componentes, propriedades e parâmetros LEED. Alguns métodos/funções adicionais foram programados na API (*Application Programming Interface*) do *Revit* para coletar dados gráficos e não gráficos, com base na lógica contida nos algoritmos da certificação. Uma interface de usuário desenvolvida na linguagem de programação C# providencia um resumo dos dados extraídos do modelo BIM e cria um *link* para os usuários entre *Revit* e *MS Access / Excel*. Nestes aplicativos, os pontos LEED e os relatórios de avaliação podem ser visualizados (NGUYEN; TOROGHI; JACOBS, 2016). Os autores reconhecem muitas oportunidades dentro do mercado de sustentabilidade e energia para criar componentes paramétricos que incorporem especificações das certificações ambientais.

Ayman *et al* (2019) acreditam que a maneira revolucionária com que o BIM proporciona geração, visualização, troca, antecipação de resultados e

monitoramento da informação cria as condições ideais para a entrega de projetos sustentáveis eficientes. Apesar disso, constatam, essa junção permanece imatura e inconsistente. Em seu artigo de revisão da prática de BIM para sustentabilidade, os autores identificaram nos artigos estudados mudanças no processo de projeto de edifícios ambientalmente sustentáveis, como: forma de lidar com documentação, evidência de requisitos, monitoramento do fluxo e tomada de decisão. Ainda segundo os pesquisadores, há poucos estudos que relacionem os obstáculos do fluxo de projeto “verde” com a capacidade potencial do BIM de melhorá-lo.

Pesquisas têm sido feitas no sentido de entender a sinergia entre projetos colaborativos / sustentabilidade e analisar os conceitos adotados, sob diferentes perspectivas (CHONG; LEE; WANG, 2017; LU *et al.*, 2017; WONG; FAN, 2013).

A sustentabilidade na AECO tem muitos aspectos e requer uma melhor definição (AYMAN; ALWAN; MCINTYRE, 2019; WONG; ZHOU, 2015; WONG; FAN, 2013). Wong *et al* (2013) chamam a atenção para desperdício e ineficiência, os grandes problemas do setor, os quais vão de encontro aos princípios da sustentabilidade. A avaliação da energia incorporada na produção e transporte de materiais durante a fase de projeto produz grande efeito sobre a eficiência energética do edifício e deve ser considerada na tomada de decisão (SHADRAM *et al.*, 2016). Estes autores propuseram um processo semiautomático de avaliação da energia incorporada nos materiais durante o ciclo de vida do edifício, na fase de projeto.

Projetistas e construtores reconhecem a importância da sustentabilidade em projetos e práticas construtivas, mas ainda acreditam que o uso BIM é mais importante para coordenação de projetos e visualizações (BYNUM; ISSA; OLBINA, 2013). Porém, os autores observaram que à medida em que os profissionais do setor compreendem as vantagens da associação entre BIM e sustentabilidade, a ferramenta torna-se cada vez mais vital ao processo.

Wong e Zhou (2015) revisaram e compararam vários artigos referentes ao uso de BIM em projetos sustentáveis, os chamados *green* BIM. Os autores aferiram a habilidade da ferramenta em auxiliar com as certificações de avaliação de edifícios verdes. *Softwares* comerciais também tem sido desenvolvidos para ajudar projetistas

a converter projetos conceituais em modelos analíticos de energia, através da análise do objeto como um todo integrado. Outros *softwares* objetivam a análise luminotécnica, como parte do complexo processo do projeto sustentável. Tais ferramentas podem também auxiliar na automatização de atividades penosas como extração de quantitativos de material (WONG; ZHOU, 2015).

Azhar *et al.* (2011) alcançaram que 17 créditos e 2 pré-requisitos (total de 38 pontos no LEED) podem ser avaliados por ferramentas BIM como *Autodesk Revit™* ou *IES Virtual Environment™*. Jalaei e Jrade (2014) desenvolveram uma ferramenta que incorpora BIM, análise de desempenho de energia e estimativa de custo para possibilitar ao sistema de certificação de edifícios sustentáveis avaliar uma variedade de opções de projeto de edifício verde. Em relação às certificações verdes, Ilhan e Yaman (2016) apresentaram uma solução baseada em IFC para simplificar o processo de certificação em termos de tempo e custo, valendo-se do potencial da plataforma de permitir interações nas fases iniciais de projeto e melhorar a disponibilização das informações. Os autores recomendam que os estudos sejam estendidos ao impacto das decisões em todo o ciclo de vida da edificação.

Na tentativa de incorporar os indicadores de vários sistemas de avaliação, Maltese *et al.* (2017) investigaram a oportunidade de incluir a dimensão verde no BIM, visando à avaliação dinâmica de múltiplos cenários e obtenção dos melhores resultados. O padrão IFC usado por Maltese *et al.* (2017) mostrou-se ainda incapaz de acompanhar todo o processo, sendo necessário o uso de *softwares* proprietários e manuais de orientação para modelagem BIM.

Apesar dos comprovados benefícios do uso de BIM em projetos de edifícios sustentáveis (AYMAN; ALWAN; MCINTYRE, 2019; LU *et al.*, 2017; WONG; ZHOU, 2015; BYNUM; ISSA; OLBINA, 2013), o conceito não tem sido plenamente explorado e seus benefícios ainda não foram totalmente absorvidos pelos agentes da indústria (CHONG; LEE; WANG, 2017; GHAFARIANHOSEINI *et al.*, 2017). Ayman *et al.* (2019) defendem que, além da tecnologia, deveriam ser incorporados aspectos sócio-técnicos. Estes autores identificaram seis áreas importantes para estudo: representação, simulação de desempenho, comunicação e colaboração,

documentação, automação e padronização das orientações. Wong e Zhou (2015) sintetizaram as deficiências na literatura referente aos *green BIM* em: esforço limitado para gerenciar o desempenho ambiental dos edifícios nas fases de manutenção, *retrofit* e demolição; falta de ferramentas BIM de simulação de impacto ambiental de edifícios ao longo de todo ciclo de vida (*cradle-to-grave*<sup>4</sup>); pouca consideração do gerenciamento da tecnologia de computação em nuvem e bancos de dados dentro das ferramentas de *green BIM*. Ayman *et al* (2019), Lu *et al.* (2017) e Wong e Fan (2013) apresentam algumas limitações para a exploração de todo o potencial oferecido pela plataforma em conjunção com a sustentabilidade: deficiências tecnológicas, baixa precisão dos modelos de simulação de base BIM, falta de interoperabilidade entre os vários aplicativos, resistência dos agentes a mudanças, falta de apoio nas fases de construção e operação, deficiência do mercado, falta de padrões industriais que abranjam as diversas áreas dos aplicativos de *green BIM*, indefinição da academia e do mercado acerca das melhores práticas de projetos “verdes”, baixa aceitação da indústria dos aplicativos de *green BIM*, falta de métodos apropriados de entrega de projetos, condição de imaturidade e inconsistência da equipe etc. Para Lu *et al* (2017), o desenvolvimento do chamado *green BIM* somente se dará com mudanças.

No âmbito deste trabalho, a inclusão de parâmetros ecoeficientes no modelo BIM demandou uma nova forma de evidenciar os requisitos da certificação pretendida e monitorar o fluxo da informação para a tomada de decisão. As ferramentas utilizadas no sistema mostraram-se compatíveis com BIM e interoperáveis, apesar do uso de *softwares* proprietários. O uso do BIM no sistema automatizado permitiu a avaliação de vários cenários e a confiabilidade do resultado alcançado. Isso corrobora com os estudos que aferiram a habilidade da plataforma em auxiliar com as certificações de avaliação de edifícios “verdes”. O sistema desenvolvido dispensa o uso de aplicativos de simulação de *Green BIM*, mas requereu um planejamento criterioso na identificação, seleção e classificação dos parâmetros de projeto adotados. A aplicação do sistema por especialistas independe de seu conhecimento de programação, o que aumenta a abrangência de uso.

---

<sup>4</sup> Do berço ao túmulo.

## 2.10 Resumo da Revisão

A revisão da literatura apresentada mostra uma tendência crescente na exploração da sinergia entre BIM e sustentabilidade. Embora a própria plataforma seja ainda pouco utilizada e seus recursos subutilizados, à medida que o conhecimento se dissemina, vão-se intensificando as pesquisas, agregando novas interoperabilidades e novos usos. O caminho é longo e pressupõe, sobretudo, mudança de mentalidade de todos os envolvidos no setor.

Percebe-se também uma confusão, certa indefinição, a nível de mercado e academia, da diferença entre edifícios sustentáveis e edifícios ecoeficientes. Ignorando as dimensões econômica e social, os chamados e certificados “edifícios verdes” não podem ser classificados como sustentáveis. Percebe-se, na verdade, que o termo é usado como apelo mercadológico.

O grande número de certificações espalhadas pelo mundo tem lugar em sistemas e conjunturas diferenciados e devem ser continuamente revistos para atenderem à diversidade de contextos, sem se perderem do estabelecimento de um conceito que agregue valor às questões que impactam o desenvolvimento da AECO.

O problema da falta de interoperabilidade entre as diversas ferramentas disponíveis no mercado aparece repetidas vezes nas pesquisas como fator limitante do uso, compartilhamento e disseminação de informações e conhecimento. A questão tem sido parcialmente resolvida com associação de programação computacional na forma de introdução de novas funções ou criação de algoritmos.

Neste trabalho, a modelagem das informações foi feita em plataforma BIM. Os dados requeridos para preenchimento dos campos do *software* online da Certificação foram transferidos de forma automatizada para uma planilha eletrônica compatível com a plataforma. Embora não haja necessidade de acessar as planilhas para dar sequência ao processo, os dados exibidos possibilitam análise e rastreamento das informações do modelo. Recorreu-se a um *script* em *Python* para estabelecer a comunicação entre o modelo e o *software*. Dessa forma, apesar do uso de *softwares* proprietários, não se identificaram problemas de interoperabilidade.

## MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

### 3.1 Tipo de Pesquisa

O modelo de pesquisa adotado neste trabalho é o *Constructive Research* ou Pesquisa Construtiva. Este procedimento de investigação contém uma proposta para a solução de um problema relevante existente no mundo real, com uma contribuição científica à teoria da(s) disciplina(s) em que se insere (LUKKA, 2003). Neste método de pesquisa, o autor faz uma forte intervenção na realidade observada e propõe um “artefato”, isto é, um produto inovador como forma de contribuição. O artefato pode ser um novo modelo, plano, diagrama, estrutura organizacional, algoritmo, *software* ou processo. (LUKKA, 2003)

A pesquisa construtiva desenvolve-se nas seguintes fases, segundo Lukka (2003): (i) selecionar um problema prático relevante, (ii) examinar o potencial de pesquisa, (iii) adquirir conhecimento prático e teórico da área, (iv) propor uma solução, (v) implementar e testar a solução e (vi) ponderar sobre sua aplicabilidade.

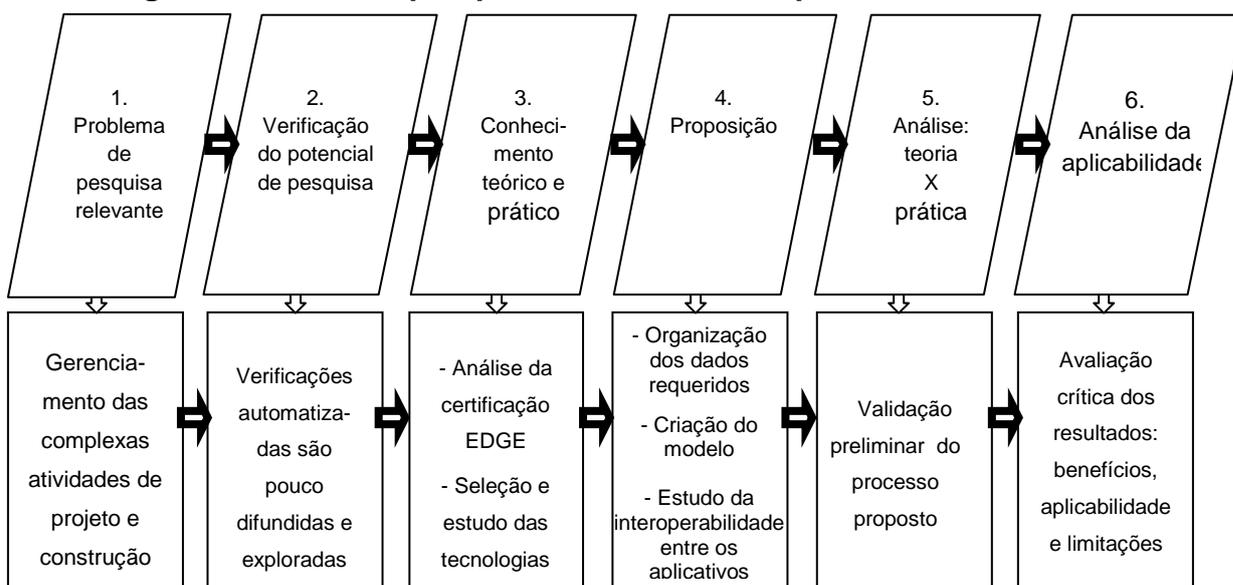
No contexto deste trabalho, a pesquisa construtiva segue um fluxo, como demonstra-se na Figura 4.

Atender plenamente à legislação e todos os demais requisitos do empreendimento não é tarefa fácil. Isso se dá, em especial, devido à diversidade de exigências, despreparo dos projetistas e tempo reduzido que estes têm para desenvolver os projetos. Neste contexto, identificou-se a carência de ferramentas que auxiliem projetistas a gerenciarem as complexas atividades de projeto e construção de forma rápida, barata e assertiva. Edifícios causam impactos nos cenários ambiental e econômico em que se inserem.

A revisão bibliográfica feita para o propósito de reconhecer o potencial de pesquisa para resolução do problema acima identificou oportunidades de melhoria do processo de projeto no tocante à forma de verificação de requisitos e documentação gerada. Segundo Silva e Arantes (2016), a conferência de projetos por procedimento

automatizado e com uso de ferramenta BIM é um processo inovador e as iniciativas identificadas ao redor do mundo são incipientes e pouco difundidas. A partir desse pressuposto, buscou-se o entendimento dos pontos relevantes ao tema, treinamento nas funcionalidades e potenciais das ferramentas e nas possibilidades de comunicação entre elas. O método foi aplicado a uma adaptação de um projeto de habitação unifamiliar da Caixa.

**Figura 4 - Fluxo da pesquisa construtiva adaptado a este trabalho**



Fonte: Adaptado de Lukka (2003).

Fez-se necessário aprofundar no potencial da plataforma BIM para armazenar dados e informações requeridos pela certificação, organizá-los, extraí-los, exportá-los para um ambiente externo, lançá-los automaticamente no *software online* de cálculo de eficiência e obter o resultado atualizado.

Para produzir o constructo, alargou-se o conhecimento em três direções. A primeira, voltada para os conceitos de sustentabilidade e o impacto da seleção de materiais e sistemas nesse âmbito; a segunda, relacionada com as referências assumidas pela certificação EDGE para estabelecer os parâmetros dos materiais pré definidos e a terceira direção levou ao conhecimento da ferramenta BIM de modelagem (*Revit*), dos *softwares* compatíveis e das linguagens computacionais interoperáveis.

A proposição do projeto foi organizada em cinco etapas distintas, a saber:

- a) identificação, classificação e seleção dos dados solicitados pelo *software* EDGE para cálculo do consumo energético da edificação;
- b) criação de um *template* dentro do modelador que contém os tipos de família de materiais e sistemas já consagrados pela certificação EDGE com os novos parâmetros e campos para novas informações do projeto;
- c) geração de uma rotina que identifica, comunica e disponibiliza as informações de projeto requeridas, e possibilita a sua atualização automática;
- d) tradução e sistematização das informações selecionadas para linguagem compatível com o sistema computacional, de forma a serem inseridas automaticamente no *software* EDGE online de cálculo do consumo energético;
- e) captura do resultado dos cálculos executados pelo *software* e atualização da informação para possibilitar visualização e comparação dos impactos ambientais e econômicos das decisões em cada caso.

Estabelecido o processo, este foi testado e validado preliminarmente em modelo, até atingir segurança na utilização e relevância das regras. O objeto de análise foi um projeto residencial unifamiliar adaptado do padrão desenvolvido pela CAIXA dentro do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Devido à exiguidade de tempo inerente ao desenvolvimento da pesquisa, o processo não foi submetido à avaliação de especialistas.

Ao final, procedeu-se à avaliação crítica dos resultados preliminarmente obtidos: benefícios, aplicabilidade e limitações do uso das ferramentas BIM para troca de informações e verificação automática de requisitos de sustentabilidade e sua importância na tomada de decisão na fase de projeto.

Diante do exposto, considera-se pertinente a aplicação do Método Construtivo nesta pesquisa.

### 3.2 Framework

A estrutura desta pesquisa foi construída de forma a auxiliar projetistas na tomada de decisão em relação à ecoeficiência do ambiente construído. Para tanto, buscaram-se no processo caminhos que mostrassem de forma simples, transparente e eficiente os impactos alcançados em cada caso. A possibilidade de refazer o processo, monitorá-lo e mantê-lo sempre atualizado de forma rápida e confiável foi outro norteador das escolhas.

Na Figura 5 apresenta-se o processo de modelagem da informação proposto neste trabalho. As cores das setas diferenciam a ação manual (cor vinho) da ação automatizada (cor azul).

O processo é iniciado pelo(a) arquiteto(a), baseado na demanda por projeto com certificação ambiental. O levantamento dos requisitos da Certificação EDGE leva ao conhecimento da estrutura, do método de avaliação e das categorias estabelecidos neste caso, já que estes diferem entre as certificações existentes no mercado. De posse dessas informações, o projetista passa à modelagem das informações do produto.

Os dados paramétricos modelados no *Autodesk Revit* (quadro roxo) relacionam-se com os requisitos da Certificação. Conforme ilustram as cores relativas usadas nos quadros “Autodesk Revit – Projeto” e “Certificação EDGE”, os dados do projeto são informações textuais da localização e dados da construção (lilás); a geometria modelada fornece os detalhes da área requeridos (vermelho); as especificações em projeto de laje de piso, telhado, paredes internas e externas, piso e esquadrias de janela enquadram-se nos materiais e sistemas já avaliados pela Certificação (magenta) e os dados de ecoeficiência respondem às questões colocadas como premissas para o caso básico e acerca do uso de sistemas prediais (amarelo). Assim, todos os requisitos da Certificação constam no modelo, sob a forma de dados alfanuméricos.

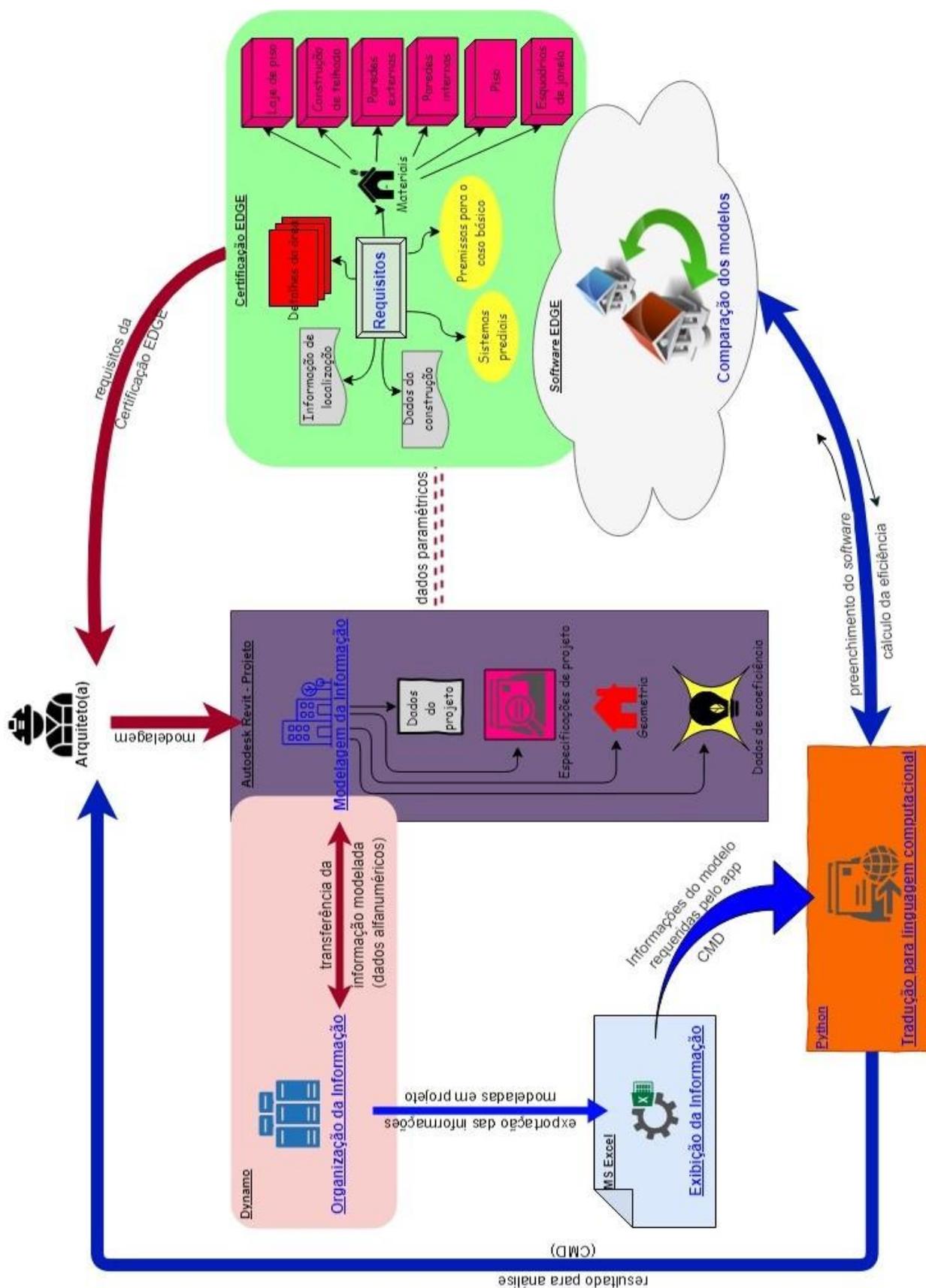
Com a criação de uma rotina no *Dynamo* (quadro rosa), aqui usado como *plugin* dentro do *Revit*, os dados alfanuméricos são capturados e organizados para serem

exportados, automaticamente (seta azul), para o Excel. A execução repetida da rotina garante atualização das informações, caso seja feita qualquer alteração no modelo que impacte o resultado do cálculo da eficiência. As planilhas geradas de forma automatizada no Excel exibem os dados necessários para preenchimento dos campos do *software* EDGE. Para rastreamento das informações modeladas, de forma clara e concisa, podem-se consultar tais planilhas, mas, necessariamente, elas não precisam ser abertas para que o processo flua.

Embora a informação exibida pelas planilhas Excel esteja clara, é mister que também possa ser lida pelo *software online* da Certificação para que o processo siga automatizado, com ganho de tempo e menos risco de erros. Por isso, é através de um algoritmo na linguagem textual *Python* que as informações do modelo disponibilizadas no Excel são levadas ao *software* (quadro ocre). Essa ação é efetivada pelo projetista no CMD, onde um comando reúne o arquivo Excel e o *script* em *Python*.

O cálculo da eficiência dos materiais e sistemas aplicados no modelo é feito no motor de cálculo do *software* EDGE, na “nuvem”. O resultado obtido é retornado no *prompt* de comando do *windows* (CMD) para ser analisado, avaliado e validado pelo projetista. O processo pode ser repetido inúmeras vezes, com a possibilidade de serem testadas, de forma rápida, várias especificações até que se alcance a eficiência esperada para o modelo. Assim, podem-se tomar decisões de projeto mais embasadas.

Figura 5 - O fluxo de informação na pesquisa



### 3.3 Aplicação do método

Na primeira fase da proposição, buscou-se identificar, classificar e selecionar os dados solicitados pelo *software* EDGE para cálculo do consumo energético da edificação.

Conforme elucidado na Figura 5, a seção de materiais já validados no *software* EDGE inclui as medidas de eficiência para os seguintes sistemas de edificação: lajes de piso, cobertura, paredes externas, paredes internas, piso e estrutura de janelas. A espessura e a quantidade de aço por área devem ser especificadas para todas as lajes de piso, com exceção dos pisos de madeira e para as coberturas de concreto. Alguns tipos de paredes internas e externas também devem ter a espessura esclarecida. Todos os sistemas da edificação avaliados, com exceção da laje de piso, são considerados na proporção de uso, levando-se em conta a especificação de até dois tipos. O programa solicita informações de projeto, divididas em categorias como: detalhes do projeto, detalhes do subprojeto, informação de localização, dados da construção, detalhes da área, sistemas prediais e principais premissas para o caso básico.

#### *Detalhes de projeto*

Os dados abaixo relacionados são textuais e foram inseridos no modelo como família – informações de projeto - e preenchidos manualmente, à semelhança de um carimbo de projeto. Têm a função de identificar o empreendimento de forma geral. A saber:

1. nome do projeto
2. número de edifícios distintos
3. nome do proprietário do projeto
4. email do proprietário do projeto
5. endereço do projeto
6. país
7. Estado / Município
8. cidade

9. código postal
10. telefone do proprietário
11. você pretende certificar?
12. nome da casa ou edifício
13. compartilhar com investidor(es) ou Banco(s)?

#### *Detalhes do subprojeto*

Da mesma forma que os dados anteriores, os detalhes deste campo também são textuais, foram inseridos no modelo como família – informações de projeto - e preenchidos manualmente. Buscam a identificação das unidades do empreendimento, caso existam. A saber:

1. nome do subprojeto
2. casa ou nome do edifício
3. multiplicador do subprojeto para o projeto
4. estágio da certificação
5. tipo de subprojeto
6. endereço do projeto
7. país
8. Estado / Município
9. cidade
10. código postal

#### *Informação de localização*

Ainda na mesma classificação, as informações de localização também são textuais e foram inseridas no modelo como família – informações de projeto - e preenchidos manualmente. Essas informações são substanciais para a contextualização do empreendimento e geração do padrão básico de comparação. Para cada país e nível de renda, adota-se um *benchmark*; a alteração de cidade, pelo menos no Brasil, onde se verificou, não altera o padrão. Essa contextualização, ainda que não minuciosa, remete ao critério de individualização do sistema de análise da certificação. Requerem-se:

1. país
2. cidade
3. categoria de renda

#### *Dados da construção*

O levantamento dos dados requeridos para preenchimento deste campo identificou dados textuais de preenchimento manual (1, 5, 6) e informações possíveis de serem coletadas automaticamente pelo modelo (2, 3, 4). Como o modelo adotado é bastante simplificado (uma unidade de casa unifamiliar), optou-se pelo preenchimento manual de todo o campo. As informações a seguir começam a referenciar ao tipo de unidade, seu uso e ocupação:

1. tipo de unidade
2. área média da unidade (m<sup>2</sup>)
3. dormitórios / unidade (n<sup>o</sup>)
4. pisos (n<sup>o</sup>)
5. unidades (n<sup>o</sup>)
6. ocupação (pessoas / unidade) (n<sup>o</sup>)

#### *Detalhes da área*

Chegamos neste ponto a dados numéricos linear e de área. Tais cálculos são possíveis de serem feitos e atualizados dentro do modelo e consagram-se de extrema importância para o cálculo energético. Demanda-se:

1. dormitório (m<sup>2</sup>)
2. cozinha (m<sup>2</sup>)
3. sala de estar / jantar (m<sup>2</sup>)
4. banheiro (m<sup>2</sup>)
5. comprimento da parede externa / unidade (m)
6. área do telhado/ unidade (m<sup>2</sup>)
7. área comum / unidade (m<sup>2</sup>)

### *Sistemas prediais*

A ocorrência dos sistemas prediais pode ser preenchida manualmente, como texto. Reconhece-se esta informação como de suma importância no caso de cálculo da energia consumida; para o cálculo da energia incorporada nos materiais, não é relevante. Pergunta-se:

1. O projeto do edifício inclui sistema de ar condicionado?
2. O projeto do edifício inclui sistema de aquecimento de ambiente?

### *Principais premissas para o caso básico*

Algumas das premissas avaliadas para estruturação do caso básico incluem a dimensão econômica da sustentabilidade e são relevantes para a comparação das especificações e tomada de decisão. Entretanto, esses dados são relevantes para análise do consumo de energia, o que foge ao escopo deste trabalho. O preenchimento, quando pertinente, foi feito de forma textual. Solicitam-se:

1. combustível usado para aquecimento da água
2. combustível usado para aquecimento de ambientes
3. custo da eletricidade (R\$/Kwh)
4. custo do diesel (R\$/l)
5. custo do GLP / gás natural (R\$/l)
6. custo da água (R\$/kl)
7. emissões de CO<sub>2</sub> da eletricidade (g/Kwh)
8. temperatura externa – média mensal (°C)
9. latitude (graus)

De maneira geral, identificados os dados requeridos, estes foram classificados como parâmetros de tipos de família ou informações de projeto. Os parâmetros dos tipos de famílias especificados puderam ser elucidados nas tabelas de quantitativos do modelador, geradas automaticamente. Para as informações de projeto foram criados novos campos para inserção manual.

O Apêndice A, Mapa mental da Certificação EDGE, resume as informações requeridas.

Verificou-se que a página na *web* e o aplicativo da EDGE podem ser lidos na língua portuguesa. Entretanto, no desenvolvimento do *script* na linguagem *Python* percebeu-se que alguns dados somente são possíveis de serem lidos se estiverem na linguagem de programação original, o inglês. A intenção de usar a língua portuguesa, no intuito de favorecer a leitura e compreensão por parte dos projetistas, acabou por dar uma ideia de falta de critério na organização dos dados. Exceção deve ser feita à lista de materiais, em muitos casos realmente incompreensível na grafia original em inglês para o usuário sem intimidade com os termos.

A tradução de requisitos para uma linguagem computacional, possível de ser lida por uma máquina, não é uma tarefa simples. Em muitos casos, é necessária uma interpretação de significado e sentido, exigindo um domínio significativo do assunto. Existem conceitos implícitos e relativos. Devido ao grande número de códigos de construção e número teoricamente infinito de regras que podem ser definidas, é fundamental sistematizar as regras para tornar a tarefa de verificação exequível (SILVA, 2017).

## A METODOLOGIA EDGE

A Certificação define um padrão global e o contextualiza de acordo com os ocupantes e sua localização. EDGE é aplicável às tipologias: residências, hotéis, escritórios, hospitais e varejo. Este trabalho se atém à categoria residencial.

O estabelecimento do caso básico está baseado no seguinte:

1. condições climáticas do local;
2. tipologia de edificação;
3. projeto e especificações;
4. orientação do edifício (para determinados tipos de edifícios).

Esses pontos não são excludentes entre si, mas juntos compõem a energia, água e energia incorporada consumida pelo edifício. Existe uma preocupação em produzir avaliações consistentes e confiáveis dos recursos aplicados. A certificação se propõe a auxiliar a tomada de decisão também no âmbito da análise financeira, porém, sem a pretensão de substituir os complexos *softwares* de orçamento, especialmente em se tratando de empreendimentos de maior porte.

### *1. Condições climáticas*

As informações específicas de localização consideradas pela EDGE em cada uma das cidades relacionadas são:

- temperatura média mensal dos bulbos seco e úmido;
- velocidade média mensal dos ventos;
- umidade média mensal;
- intensidade da radiação solar;
- precipitação média anual;
- intensidade de dióxido de carbono gerada pela fonte de eletricidade;
- custo médio da energia (por tipo de combustível) e da água.

Caso determinada cidade não esteja relacionada dentre as opções, poderão ser utilizados os dados de uma cidade próxima.

## 2. Projeto e especificações

Os parâmetros de projeto, como tamanho ou geometria da forma, e as especificações, como propriedades do vidro ou equipamentos de refrigeração influenciam fortemente o desempenho final de energia de uma edificação. Algumas das premissas consideradas para o caso básico são:

- propriedades térmicas da envoltória do edifício: o caso básico reflete a prática mais comum em cada país específico. Alguns dos pressupostos para edifícios residenciais, os quais serão atualizados com base nas pesquisas do mercado local, são os seguintes:
  1. sem dispositivos de sombreamento;
  2. cobertura de concreto sem isolamento;
  3. paredes sem isolamento de alvenaria de tijolos rebocados;
  4. janelas de metal e vidro simples;
  5. unidade *split* de ar condicionado (onde aplicável);
  6. caldeiras convencionais conservação e aquecimento de água (onde aplicável);
  7. lâmpadas incandescentes e tubulares fluorescentes T12 para iluminação, sem controle de acendimento;
  8. instalações de água com alta vazão;
  9. sem reúso ou reciclagem de água
- razão parede / janela (WWR): o caso básico de edifícios não residenciais adota a razão de 55% de WWR; no caso de edifícios residenciais, o padrão usado é de 30%. Esses dados baseiam-se em estudos feitos em várias regiões e na experiência do IFC com clientes residenciais.

### 3. *Orientação do edifício*

A orientação do edifício condiciona o aproveitamento do aquecimento e ventilação naturais. A Certificação assume, para projetos residenciais, a média da orientação nas oito direções, considerando que:

- como a EDGE é focada na simplicidade e escala, uma média das oito direções é preferível a requerer que o usuário calcule a orientação e geometria de cada *flat* / apartamento ou casa, o que pode demandar aumento de custo e tempo no processo de certificação;
- é impraticável, no caso de grandes projetos e blocos de apartamentos, otimizar a orientação de todas as unidades.

### 5. *Caso básico x Caso melhorado*

O caso básico de um edifício típico é a referência para reduções de consumo dentro da EDGE. Todos esses modelos foram construídos com base em dados empíricos dos edifícios padrões ao redor do mundo.

Cria-se um caso melhorado quando o projetista inclui medidas técnicas no projeto. A diferença de consumo entre o caso básico e o caso melhorado define se o edifício atinge o padrão EDGE. Além da economia no consumo, EDGE também se reporta às reduções de GHG<sup>5</sup> e custo de operação.

Para determinar os parâmetros de eficiência de energia, água e materiais do caso básico, EDGE baseia-se nas informações coletadas na prática de edifícios típicos e nas normas nacionais de desempenho das edificações, quando cabível. Nos países que possuem normas de eficiência de energia, estas dão suporte para o cálculo do caso básico. Sistemas típicos de eficiência de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar foram baseados na ASHRAE-90.1 2007<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> GHG – *GreenHouse Gases*; em português, GEE – Gases de Efeito Estufa.

<sup>6</sup> <http://www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/standard-90-1>

### *Energia incorporada dos materiais de construção*

EDGE analisa os dados de energia incorporada nos materiais de construção ao redor do mundo. O maior ponto de referência desses dados, o qual também serve de base para a “Análise do Ciclo de Vida dos Materiais”, é o Inventário de Carbono e Energia (ICE, em inglês) desenvolvido pela Universidade de *Bath*. Tais dados são de domínio público.

### *Validação da lógica*

Para garantir que os resultados de cálculo de energia da EDGE fossem consistentes e confiáveis, a certificadora validou a metodologia de cálculo por *software* de simulação dinâmica – *eQuest*<sup>7</sup> - e comparou os resultados de cada uma das nove localidades com os resultados obtidos pelo *software* EDGE.

Além disso, revisões de EDGE para residências vêm sendo monitoradas por um terço dos consultores nas Filipinas e no México para validar a ferramenta para os mercados locais:

- nas Filipinas, os consultores (Grupo WSP<sup>8</sup>) conduziram um estudo para comparar os resultados entre o *software* EDGE e o *software* de simulação dinâmica IES<sup>9</sup>. O teste chegou a uma variação de 5%.
- no México, a *Lean House Consulting* foi contratada para comparar resultados entre EDGE e dois *softwares* de simulação dinâmica, DOE<sup>10</sup> e *Design Builder*<sup>11</sup>, para quatro localidades: Cancun, Guadalajara, Hermosillo e Mexicali. O resultado foi uma variação de 7-8%.

---

<sup>7</sup> [www.doe2.com/equest/](http://www.doe2.com/equest/)

<sup>8</sup> [www.wspgroup.com](http://www.wspgroup.com)

<sup>9</sup> *Software – Integrated Environmental Solutions* – [www.iesve.com/software](http://www.iesve.com/software)

<sup>10</sup> [www.doe2.com](http://www.doe2.com)

<sup>11</sup> [www.designbuilder.co.uk](http://www.designbuilder.co.uk)

Considerando a simplicidade do *software* EDGE em relação aos softwares de simulação dinâmica, uma taxa de variação menor que 10% entre eles foi considerada aceitável.

#### *Perspectivas futuras*

EDGE pretende atender a demanda por uma ferramenta simples, rápida e acessível a qual possa ser usada para planejar e avaliar o projeto de eficiência de recursos, de forma a contribuir para o aumento da construção verde nos mercados emergentes. A complexidade da metodologia assenta-se sob a interface do aplicativo para que os profissionais da indústria possam facilmente determinar a eficiência de recursos e reduzir os custos, sem necessidade de contratar caros especialistas em energia ou adquirir modelagem adicional. A EDGE destina-se a atender a demanda por *software*. A ferramenta propõe-se a evoluir constantemente à medida que os dados tornarem-se disponíveis, os padrões tornarem-se mais exigentes e mercados adicionais implementarem o produto.

Como EDGE foi desenvolvido para uso global, a intenção é customizar a ferramenta ao nível local através do suporte das instituições base de cada país, as quais fornecem estudos de mercado e dados coletados. Com esse apoio, consegue-se atingir maior fidelidade nos parâmetros e suposições do caso básico e a escolha e qualificação das medidas de eficiência dos recursos são mais afinadas. Esse método pretende tornar a Certificação relevante e aplicável às práticas e padrões locais. Para tanto, a EDGE incentiva a colaboração dos profissionais de construção em todo o mundo.

## O MODELO BIM

Após a identificação, classificação e seleção dos dados requeridos para análise pela certificação, procedeu-se à construção do modelo BIM, dentro das prerrogativas que apresentam-se a seguir.

O objeto de análise é um projeto residencial unifamiliar adaptado do padrão desenvolvido pela CAIXA dentro do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). O projeto se constitui de construção térrea, com: sala, dois quartos, banheiro e cozinha, com área total de 42m<sup>2</sup>. O acabamento mínimo do padrão considera:

Alvenaria: Painéis de blocos de concreto ou cerâmico com espessura mínima de 14 cm, desconsiderando os revestimentos, assentados com argamassa de cimento, cal e areia no traço 1:0,5:8.

Revestimento interno e áreas comuns (exceto áreas molhadas): gesso, chapisco e massa única ou emboço e reboco, ou ainda em concreto regularizado e plano, adequados para acabamento final em pintura PVA.

Revestimento externo: concreto regularizado e plano, com chapisco e massa única ou emboço e reboco, adequados para acabamento final em pintura acrílica ou textura impermeável.

Revestimento de áreas molhadas: azulejo com altura mínima de 1,50m em todas as paredes da cozinha e banheiro, e em toda a altura da área do box. Nas áreas de serviço externas à edificação, o azulejo deverá cobrir no mínimo a largura correspondente ao tanque e à máquina de lavar roupas (largura mínima de 1,20m). Pintura acrílica no restante da parede.

Portas: externas em madeira de lei maciça com almofadas, acabamento em esmalte, fechaduras de latão cromado, com maçanetas; internas lisas de compensado, pintadas com esmalte sintético.

Janelas e básculas: em  o, madeira de lei e pintura em esmalte sint tico ou alumínio anodizado fosco.

Cobertura: sobre laje, em telhas claras de cerâmica esmaltada, concreto ou fibrocimento, sobre estrutura de madeira ou metálica.

Piso: Cerâmica esmaltada e calçada de prote o em cimentado áspero.

Embora a Certifica o possa ser aplicada a outras tipologias, conforme já citado na revisão, restringimos o estudo e a verifica o apenas   tipologia residencial.

O modelo foi gerado dentro de um *template* específico para o projeto em questão. A cria o de *templates* específicos para cada tipo ou objetivo de projeto   algo que tem-se buscado no mercado por projetistas em plataforma CAD. O tempo salvo no processo de projetar e a facilidade de revisão das informa es prévias justificam a necessidade do arquivo básico padrão e a busca por soluço mais eficaz.

No caso da certifica o EDGE, faz-se necessário o planejamento da documenta o necessária. O *template* para um projeto que verificar  suas condi es de sustentabilidade no aplicativo da certifica o deve conter, no mínimo, as famílias e tipos avaliados, os parâmetros requeridos para cada família, configura o dos parâmetros compartilhados e de projeto, abertura de campos para entrada das informa es de projeto e determina o das planilhas de saída de todos os dados necessários. C culos automáticos têm podem ser acrescentados.

As informa es requeridas para análise prévia do projeto não requerem alto grau de detalhamento, podendo ser atendidas mesmo no LOD 200. O Nível de Desenvolvimento (ND) do modelo, tradu o livre de LOD (*Level of Development*)   uma classifica o conceitual assumida pelo AIA (*The American Institute of Architects*) no *BIM Protocol Exhibit* (2008)) do processo de desenvolvimento dos objetos do projeto e da evolu o do detalhamento das suas informa es. De acordo com a classifica o, que varia de 100 a 500, no LOD 200 a representa o gráfica do objeto utiliza uma forma genérica ou objeto, com características físicas, quantidades,

bem como local onde se insere e orientação próximas da realidade. Parte da informação não gráfica simples pode também ser incluída.

No manual do usuário da certificação, os sistemas considerados no *software* EDGE são identificados com código, descrição e componentes e imagem. Em cada caso, foram avaliadas as seguintes variáveis: espessura mínima, espessura padrão, espessura máxima, quantidade de aço por área (quando cabível) e energia incorporada na espessura padrão, conforme pode-se observar na Figura 6. Assim, com base nessas informações disponibilizadas, incluíram-se todos os parâmetros no modelo. A disponibilização dessas informações facilita o alinhamento no que tange ao entendimento de cada especificação.

**Figura 6 - Imagem da descrição e características de um sistema validado pela Certificação EDGE**

#### 2.20 - Steel (zinc or galvanised iron) Sheets on Steel Rafters



##### Description

Steel is one of the strongest and most affordable materials. It is a ferrous metal, that is, it contains iron. It has a favorable strength-to-weight ratio and provides elasticity. Other benefits include stiffness and fire and corrosion resistance.

Steel roof profiles create economical solutions in both new building and renovation and in operating and maintenance. The profiles come in a very broad range of shapes, finishing, and colors that enable innovative designs. In addition, they can be installed with insulation for better thermal performance.

##### Components:

Thin steel sheet  
Steel angles  
Ceiling board  
Plaster skim coat

Minimum thickness 0.100 m

Default thickness 0.150 m

Maximum thickness 0.250 m

Default reinforcement 0.0 kg / m<sup>2</sup>

Embodied energy at default thickness 431 MJ/m<sup>2</sup>

Para as informações de projeto, propôs-se uma base sistemática para inserção dos dados necessários à avaliação do consumo energético pelo *software*. O preenchimento desses dados foi feito manualmente, dentro dos novos campos criados de informações de projeto.

Embora tenha sido preenchida uma planilha completa com todos os dados disponibilizados de todos os materiais validados pela certificação, neste trabalho apenas acrescentaram-se ao *template* os dados dos materiais que foram usados na especificação. Essa opção foi feita com vistas a agilizar o processo, sem prejuízo do resultado. Entretanto, num caso real, o *template* deverá estar completo.

O modelador BIM usado foi o *Autodesk Revit* versão 2018, *software* proprietário com licença para estudante.

Nas figuras seguintes apresentam-se algumas das configurações do *template* estabelecido para este trabalho. Entretanto, salienta-se que este não está completo devido às limitações de tempo da pesquisa frente ao grande número de famílias com que a certificação trabalha; o modelo básico em questão se restringe às especificações adotadas.

Na Figura 7 mostram-se os parâmetros de informações de projeto. Os campos de informações externas dessa família, como endereço, propriedade etc., foram preenchidos manualmente por não se tratarem de dados parametrizados. No caso das famílias que envolvem especificação e quantificação de materiais e sistemas, como as de laje, piso, parede etc., os campos são preenchidos automaticamente, de acordo com os dados parametrizados.

**Figura 7 - Parâmetros de informações de projeto**

Informações do projeto

Família: Família do sistema: Informações do projet

Tipo:

Parâmetros de instância - Controlam a instância selecionada ou a ser criada

Parâmetro	Valor
<b>Texto</b>	
Categoria de renda	Baixo
Cidade	Belo Horizonte
Casa ou nome do edifício	Casa Modulada
Certification Stage	Preliminar
<b>Dados de identidade</b>	
Nome da organização	
Descrição da organização	
Nome da construção	
Autor	
Área média da unidade (m <sup>2</sup> )	42,000 m <sup>2</sup>
Dormitórios/unidade (nº)	2
Ocupação (pessoas/unidade) (nº)	4
Pisos (nº)	1
Banheiro (m <sup>2</sup> )	2,000000
Cozinha (m <sup>2</sup> )	6,000000
Dormitório (m <sup>2</sup> )	18,000000
Roof área / unidade (m <sup>2</sup> )	56,000000
Sala de estar / jantar (m <sup>2</sup> )	8,000000
Nome do projeto	Casa Modulada
Latitude (grau)	26,000000
Number of Distinct Buildings	1
Nome do proprietário do projeto	Jorge Aragão
Nome da casa ou do edifício	Casa Modulada
Número de telefone do proprietári	00 00000-0000
Endereço linha 1	Rua das Caixas, 19

Na figura 8 observam-se as propriedades das paredes externas. Os parâmetros “componentes”, “espessura” (mm) e “descrição”, os quais aparecem assinalados, foram inseridos como parâmetros de instância (diferentes para cada tipo de família) e preenchidos manualmente.

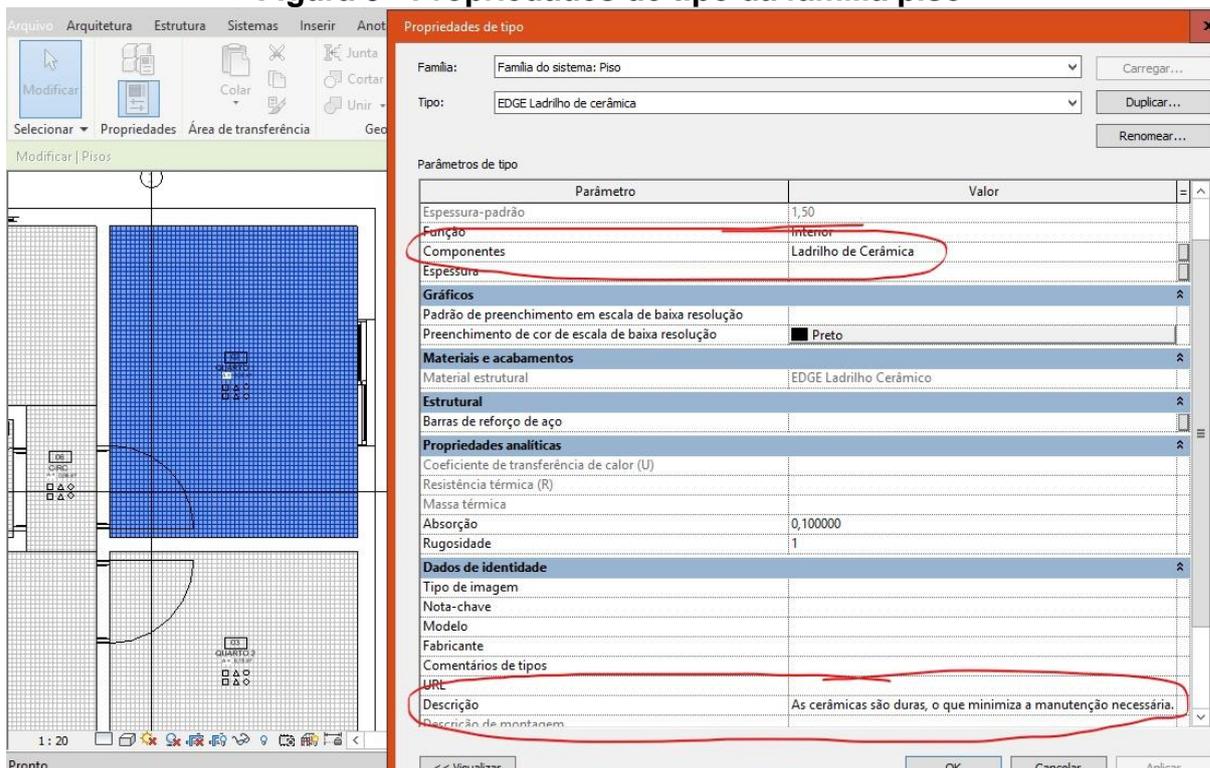
**Figura 8 - Propriedades das paredes externas especificadas em projeto**

The screenshot shows the 'Propriedades de tipo' (Type Properties) dialog box for an external wall. The 'Tipo' is 'Parede Externa - EDGE Parede comum de tijolos com emboço interno e externo'. The 'Componentes' (Components) field is set to 'Tijolos comuns, emboço' and the 'Descrição' (Description) field is set to 'Tijolos comuns, ou tijolos de barro, costumam ser populares entre...'. The 'Descrição' field is circled in red.

Parâmetro	Valor
Virar nas inserções	Não virar
Virar nas extremidades	Nenhum
Largura	20,00
Função	Exterior
Componentes	Tijolos comuns, emboço
Espessura	200,000000
<b>Gráficos</b>	
Padrão de preenchimento em escala de baixa resolução	
Preenchimento de cor de escala de baixa resolução	■ Preto
<b>Materiais e acabamentos</b>	
Material estrutural	Alvenaria - Bloco de Cerâmico - 14cm
<b>Propriedades analíticas</b>	
Coefficiente de transferência de calor (U)	
Resistência térmica (R)	
Massa térmica	
Absorção	0,100000
Rugosidade	1
<b>Dados de identidade</b>	
Tipo de imagem	
Nota-chave	
Modelo	
Fabricante	
Comentários de tipos	
URL	
Descrição	Tijolos comuns, ou tijolos de barro, costumam ser populares entre
Descrição de montagem	

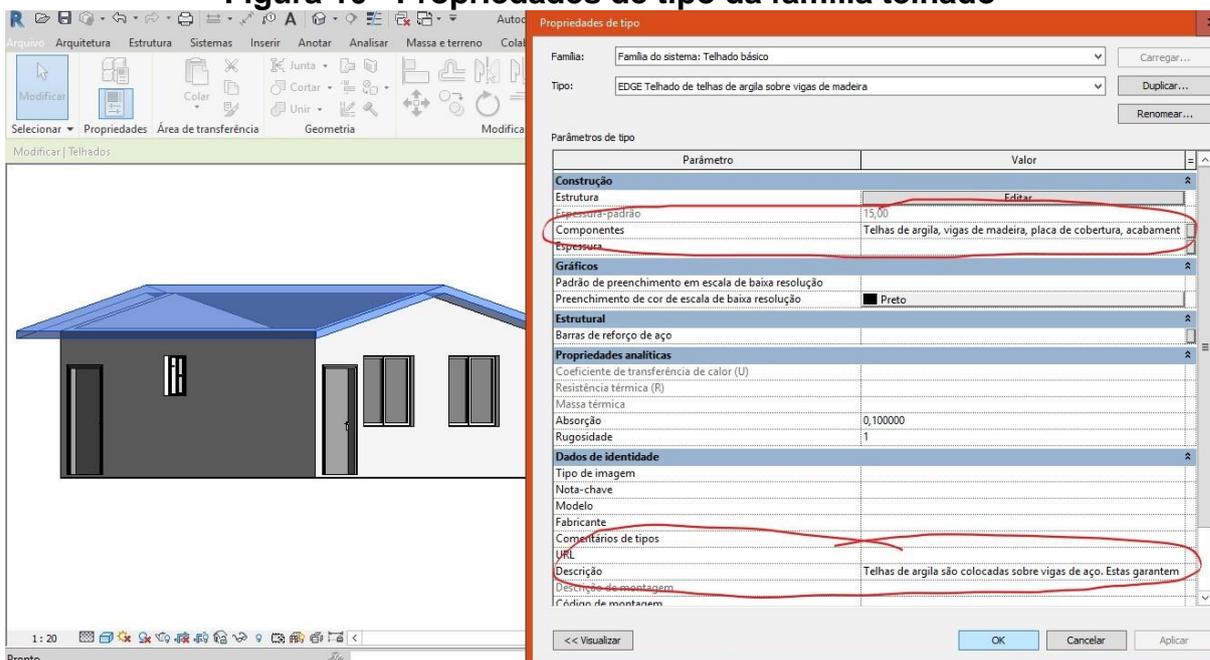
Na Figura 9 apresentam-se as propriedades de tipo da família piso, com realce dos parâmetros “componentes” e “descrição”, os quais foram inseridos e preenchidos de acordo com as definições estabelecidas no Manual de Referência dos Materiais, guia disponibilizado pela EDGE.

### Figura 9 - Propriedades de tipo da família piso



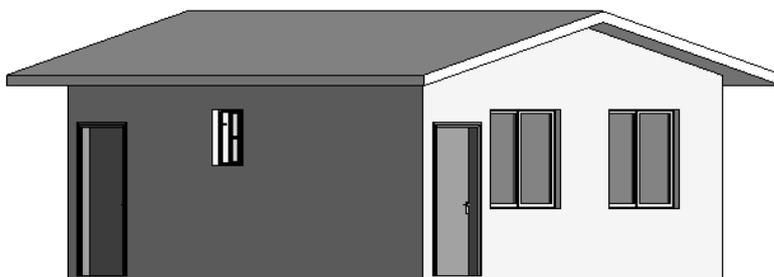
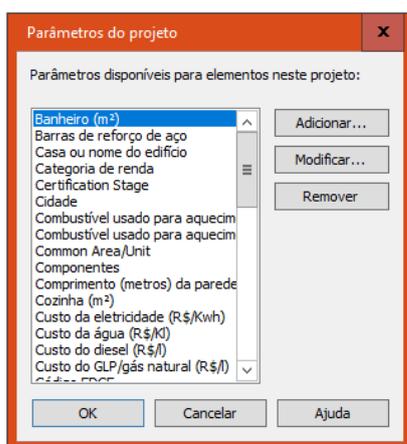
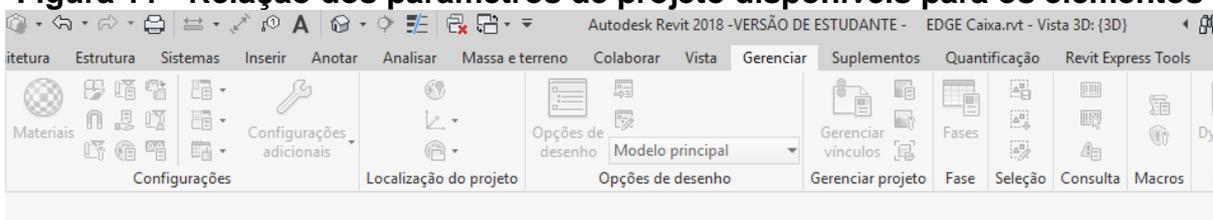
Ao tipo “Telhado de telhas de argila sobre vigas de madeira” da família “Telhado básico” foram inseridos os campos grafados na Figura 10: componentes e descrição. O preenchimento destes está em conformidade com as especificações do guia de materiais da Certificação.

### Figura 10 - Propriedades de tipo da família telhado



Na Figura 11 mostra-se parte da relação dos parâmetros criados para os elementos do projeto, conforme solicitado pelo *software* online.

**Figura 11 - Relação dos parâmetros de projeto disponíveis para os elementos**



O software EDGE está traduzido para outras línguas, inclusive o português. Os testes feitos neste estudo basearam-se na língua pátria, na tentativa de, eventualmente, facilitar para quem não domina a língua inglesa, especialmente os termos técnicos. Procurou-se manter a mesma nomenclatura do *software* nos parâmetros do modelo, a fim de facilitar a relação. Entretanto, essa inconstância da linguagem pode dar margem à impressão de alguma desorganização, de falta de padrão na estrutura do trabalho.

Quando da escrita do *script* em *Python*, verificaram-se ainda outras minúcias, como a não aceitação de todos os termos em português, ainda que visualmente apareçam traduzidos no *software*. Exemplo disso é o campo país que, no caso do Brasil, somente é possível ser lido pela máquina se grafado com "z", como na língua inglesa - *Brazil*. Para evitar erros, todos os tipos de famílias de materiais foram escritos em ambas as línguas no *script* e verificados todos os campos da aba geral "Projeto". No caso de se trabalhar avaliação de consumo de energia e água, há que se estar atento a esse detalhe.

Na Figura 12 apresenta-se o modelo em questão.

**Figura 12 - Modelo analisado de casa baseado no padrão da Caixa**

The screenshot displays the Revit interface with a 3D model of a house, a floor plan, and three tables detailing material specifications for the roof, floor, and walls.

**Tabela de telhado - EDGE Caixa.rvt**

A	B	C	D
Código EDGE	Família e tipo	Descrição	Compon
HMM02	Telhado básico: EDGE	Telhado de telha	Telhas de argila são colocad
			Telhas de argila, vig

**Tabela de piso - EDGE Caixa.rvt**

A	B	C	D	E
Código EDGE	Família e tipo	Descrição	Componentes	Espess
HMM01	Piso: EDGE	Laje de concreto reforçada	Um dos mais popul	Concreto, ago de f
HMM05	Piso: EDGE	Ladrilho de cerâmica	As cerâmicas são	Ladrilho de Cerâmi

**Tabela de parede - EDGE Caixa.rvt**

A	B	D
Código EDGE	Família e tipo	
HMM03	Parede básica: Parede Externa - EDGE	Parede comum de tijolos com emboço interno
HMM04	Parede básica: Parede Interna - EDGE	Blocos alveolares de argila com reboco em a
		Bloco

Para adequar o projeto original proposto pela Caixa às soluções ecoeficientes avaliadas pela certificação, assumiram-se algumas alterações prévias nas especificações de materiais e sistemas relacionados em seu escopo, conforme apresenta-se no Quadro 2. A opção por laje de concreto, telhado de telhas de argila sobre vigas de madeira, paredes rebocadas de tijolos de barro, piso em ladrilho de cerâmica e janelas com esquadria de alumínio deu-se em razão desta especificação ser comum no Brasil para este padrão e tipologia de edificação.

**Quadro 2 - Especificações do modelo baseado no projeto da Caixa**

<b>Material / Sistema</b>	<b>Modelo padrão Caixa</b>	<b>Modelo proposto</b>
<b>Laje de Piso</b>	NA <sup>12</sup>	Laje de concreto reforçada <i>in situ</i>
<b>Telhado de cobertura</b>	Telhado de telhas claras de cerâmica esmaltada, concreto ou fibrocimento, sobre estrutura de madeira ou metálica	Telhado de telhas de argila sobre vigas de madeira
<b>Parede externa</b>	Painéis de blocos de concreto ou cerâmico com espessura mínima de 14 cm	Parede comum de tijolos com emboço interno e externo
<b>Parede interna</b>	Painéis de blocos de concreto ou cerâmico com espessura mínima de 14 cm	Blocos alveolares de argila com reboco em ambos os lados
<b>Piso</b>	Ladrilho de cerâmica	Ladrilho de cerâmica
<b>Esquadria de janela</b>	Aço, madeira de lei e pintura em esmalte sintético ou alumínio anodizado fosco.	Alumínio

---

<sup>12</sup> Não Aplicável

## IMPLEMENTAÇÃO DA ROTINA

A proposição de um algoritmo exige conhecimentos dos campos de arquitetura, matemática, ciência da computação e linguagem de programação lógica. Esses instrumentos são utilizados pelas ferramentas que possibilitam solução automatizada de problemas.

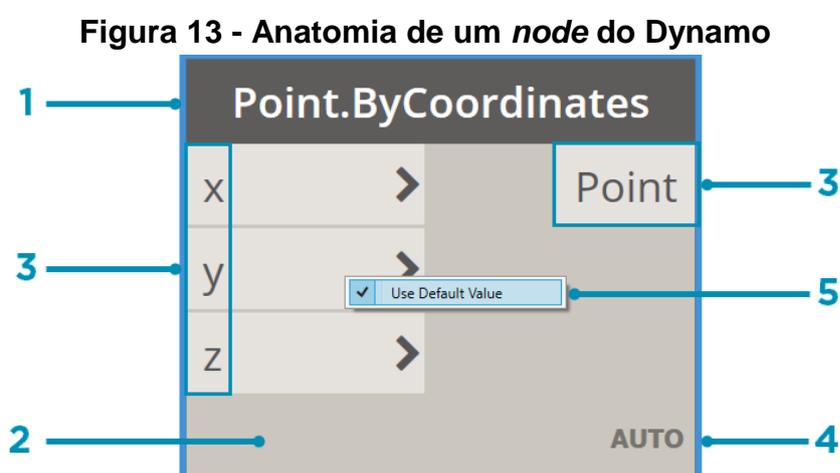
Em 1982, Swinson (*apud* SANTOS ANDRADE, 2017), em seu artigo “*Logic Programming: a computing tool for the architect of the future*”, já defendia a necessidade dos arquitetos que trabalham com CAD estarem antenados com o avanço das lógicas de computação. Nigel Cross (1980, *apud* SANTOS ANDRADE, 2017), no artigo “*The automated architect*”, alega que problemas de projeto não são problemas científicos, matemáticos ou de lógica, nem tampouco quebra-cabeças ou jogos de adivinhação com uma única resposta correta. O projeto arquitetônico pode conter várias soluções possíveis e envolver aspectos de vários campos do conhecimento.

Santos Andrade (2017) considera que, na prática, essas afirmações não são bem compreendidas pela maioria das Escolas de Arquitetura e dos escritórios do Brasil, os quais se afastaram do campo da lógica e subutilizam a tecnologia embutida nas ferramentas aplicadas. Para a autora, os avanços tecnológicos somente serão plenamente absorvidos com o desenvolvimento de técnicas de lógica formal para solução de problemas, com auxílio de computador.

Os *softwares* de programação visual como o *Dynamo*, com sua interface gráfica e mais intuitiva, têm-se mostrado atraentes para profissionais como os arquitetos sem conhecimento formal de linguagem de programação. Inserido no Revit como um plugin, isto é, com a função de aumentar a funcionalidade do programa originário, o *Dynamo*, assim como as linguagens textuais de programação, também é capaz de utilizar a API (*Application Programming Interface*) do *Revit*. Ambos têm o mesmo potencial de programação, contudo, o *Dynamo* não exige conhecimento de linguagem de programação e possibilita a visualização da sequência de passos do algoritmo numa interface gráfica.

No *Dynamo*, as rotinas são criadas com a conexão dos *nodes*, formando um programa visual. Cada *node* executa uma operação, de maior ou menor complexidade. A construção gráfica do algoritmo nesta interface é caracterizada pela seleção, ligação e configuração dos *nodes*. Estes podem ser preexistentes, customizados ou criados, em caso de se desejar realizar nova tarefa. Para criação da rotina neste trabalho utilizamos apenas *nodes* abertos e gratuitos, nativos ou de pacotes disponíveis no programa. Isso permitirá a replicabilidade do processo discutido.

A maioria dos *nodes* é composta de cinco partes, como mostrado na Figura 13.



1. nome do *node* com uma convenção de nomenclatura *Category.Name*;
2. corpo principal do *node* - clicando com o botão direito nessa área são apresentadas as opções do *node*;
3. receptores para os dados de entrada e resultados da ação executada pelo *node*;
4. opção de sequência especificada para entradas de lista correspondente;
5. valor padrão – em alguns *nodes*, clicando com o botão direito do *mouse* em uma porta de entrada, obtém-se o valor padrão, que pode ser aceito ou não.

Fonte: [http://primer.dynamobim.org/en/03\\_Anatomy-of-a-Dynamo-Definition/3-1\\_dynamo\\_nodes.html](http://primer.dynamobim.org/en/03_Anatomy-of-a-Dynamo-Definition/3-1_dynamo_nodes.html)

Apesar da aparência da interface, a essência do *Dynamo* é linguagem de programação, ou seja, os *nodes* são, na verdade, códigos de linguagem. Os dados gerados na rotina são estruturados em listas e requerem o gerenciamento da hierarquia das informações, de acordo com a intenção do usuário. Nas listas é possível organizar informação, atributo, parâmetro etc.

Existe uma grande variabilidade de procedimentos para se criar um algoritmo. Por isso, antes de mais nada, é preciso definir claramente o objetivo do algoritmo que se pretende implementar. Os dados a serem alcançados, as tarefas e as relações entre as ações necessárias para executá-las são premissas essenciais para efetivar de forma correta e eficaz uma rotina no *Dynamo*.

A seleção dos dados contidos nas planilhas baseou-se nos requisitos do *software* EDGE para cálculo da energia incorporada nos materiais. Optou-se por elucidar a descrição e os componentes de cada material/sistema, de modo a nivelar o entendimento da análise de cada alternativa entre certificação e projetista. A criação dos campos “descrição” e “componentes” foi feita como parâmetro compartilhado de projeto e constam nas tabelas criadas no *Revit*.

### *A rotina Dynamo*

Criar uma aplicação em *Dynamo*, também chamada de rotina, significa montar uma sequência de tarefas a serem executadas. Essas tarefas podem ser entendidas como um comando do próprio *Revit*, uma operação matemática ou qualquer outro recurso pré programado, nativo ou não. Assim, uma tarefa pode alterar o valor de um parâmetro de um elemento, selecionar objetos, comparar valores, ler e escrever planilhas de Excel, criar e apagar objetos no modelo etc.

No âmbito deste trabalho, a rotina criada em *Dynamo* tem a intenção de automatizar as atualizações. O projetista tem, desta forma, a possibilidade de verificar várias alternativas de especificação em projeto e analisar seu impacto. A automatização do processo, a atualização automática da documentação e a geração da informação retornada permitem uma análise rápida, simples e confiável. Para tanto, durante o

processo de modelagem, os dados deverão estar parametrizados, de forma a permitir acesso e extração das informações necessárias.

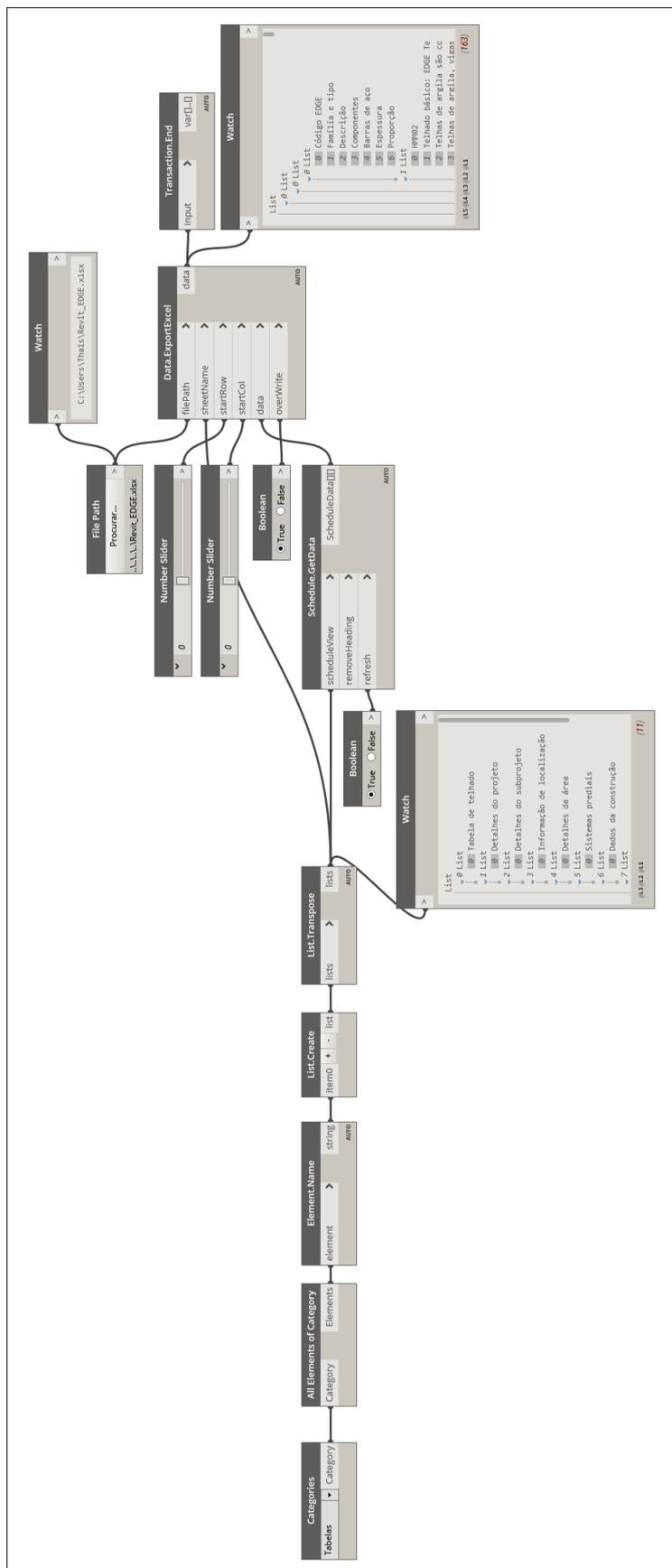
O algoritmo proposto nesta dissertação, como mostra-se na Figura 14, captura os dados já selecionados e contidos nas tabelas e os registra em uma planilha Excel.

A parte da rotina apresentada na Figura 15 seleciona os elementos da categoria tabela por nome e cria listas com as tabelas identificadas no *Revit*. Em ciência da computação, uma lista é uma estrutura de dados abstrata que implementa uma coleção ordenada de valores, onde o mesmo valor pode ocorrer mais de uma vez. Organizados desta forma, os dados são lidos no modelo e escritos no arquivo Excel especificado. O processo foi configurado de modo que as tabelas fossem escritas em pastas de um mesmo arquivo e mantivessem o mesmo nome que têm no *Revit*.

Na Figura 16 mostra-se o fluxo do algoritmo:

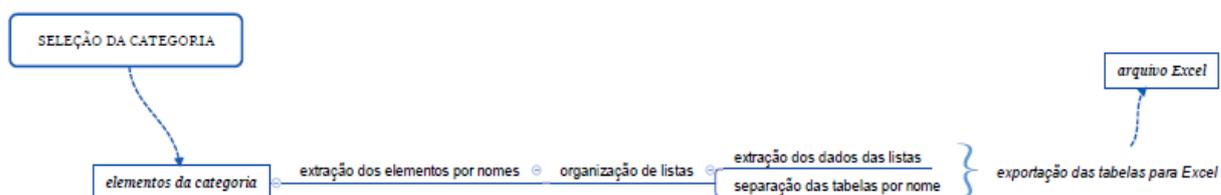


Figura 15 – Parte da rotina Dynamo: criação das planilhas Excel



.Fonte: Algoritmo elaborado pela autora no Dynamo 2.0.

**Figura 16 - Diagrama do procedimento da rotina em *Dynamo* para geração da planilha Excel.**



Ao compararmos a rotina com o diagrama, traduzimos o fluxo da linguagem humana para a linguagem gráfica computacional, como no Quadro 3.

Entretanto, para garantir que os dados estejam atualizados, caso haja modificações na seleção dos recursos no decorrer do processo de projeto, é necessário, antes de iniciar essa parte da rotina, limpar os dados já escritos. Isso também permite a comparação do impacto da seleção de material/sistema em cada caso.

Para assegurar a confiabilidade do código, criamos outro algoritmo que precisa estar localizada acima do código de escrever os dados, conforme mostra-se na figura. O algoritmo para limpeza prévia do arquivo aparece na Figura 17.

**Quadro 3 - Tradução do algoritmo em linguagem humana para o Dynamo, no sentido do fluxo em que ocorre**

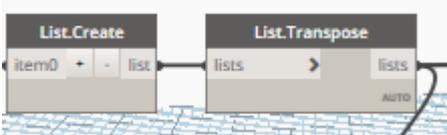
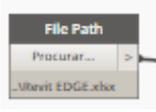
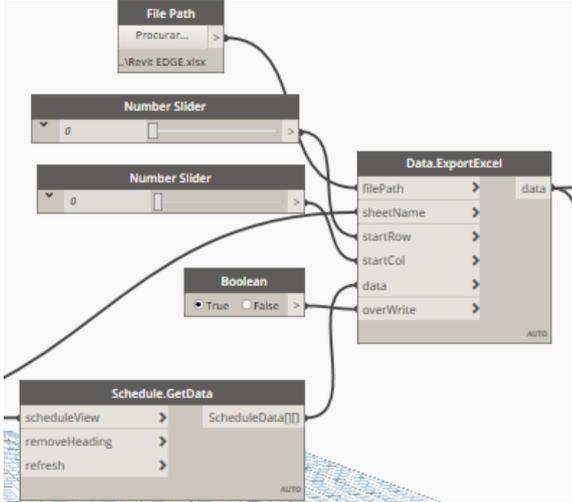
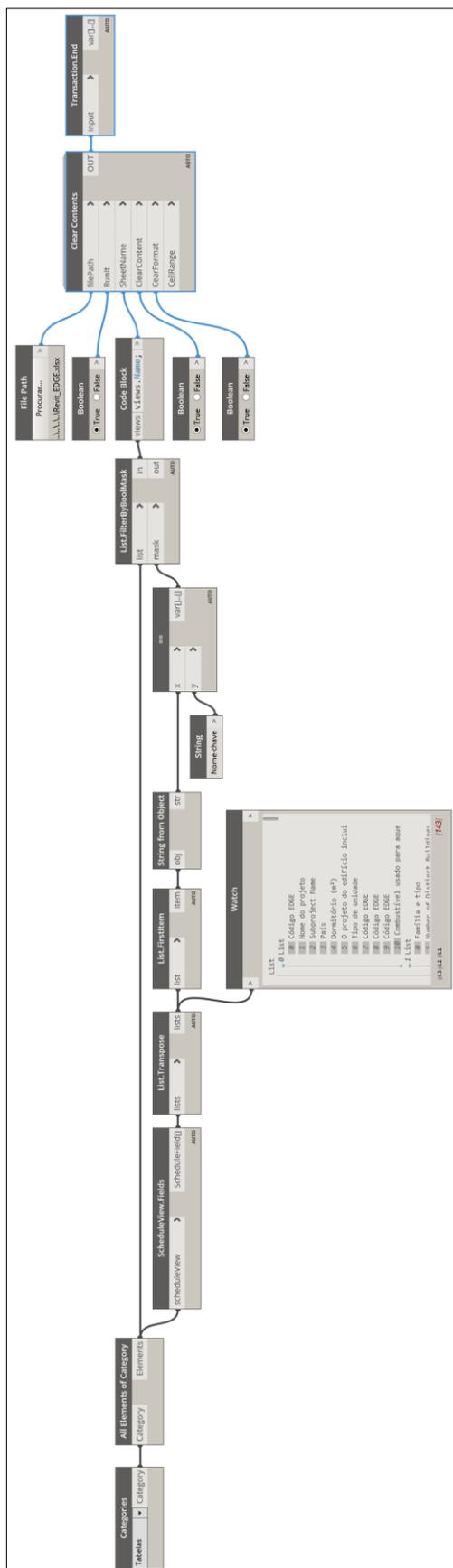
Fluxograma da rotina	Nodes do Dynamo
<p><b>Seleção da categoria.</b>                      Ao selecionarmos a categoria “Tabelas” , conectamos esse <i>node</i> ao <i>All Elements of Category</i> para extrair todos os elementos da categoria e em seguida os identificarmos por nome.</p>	
<p><b>Listagem das tabelas.</b>                      As tabelas são extraídas e organizadas em listas. Os nomes das tabelas fazem referência aos títulos dos campos do <i>software</i> EDGE.</p>	
<p><b>Identificação do arquivo Excel.</b>                      O caminho da pasta local onde será escrito o arquivo Excel e o nome do arquivo é estabelecido.</p>	
<p><b>Exportação das tabelas para o Excel.</b>                      Com os dados organizados em listas por tabela e a definição do local e a ordem em que serão escritos, o arquivo é gerado automaticamente.</p>	

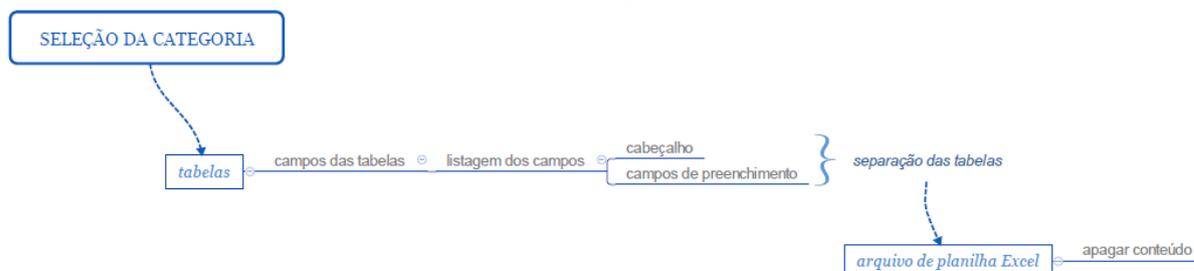
Figura 17 - Parte da rotina em Dynamo: limpeza dos dados da planilha



Fonte: Algoritmo elaborado pela autora no Dynamo 2.0.

Na Figura 18, ilustram-se de forma esquemática as etapas definidas para esse algoritmo.

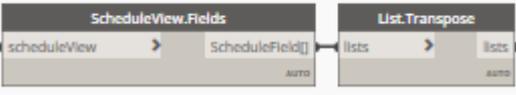
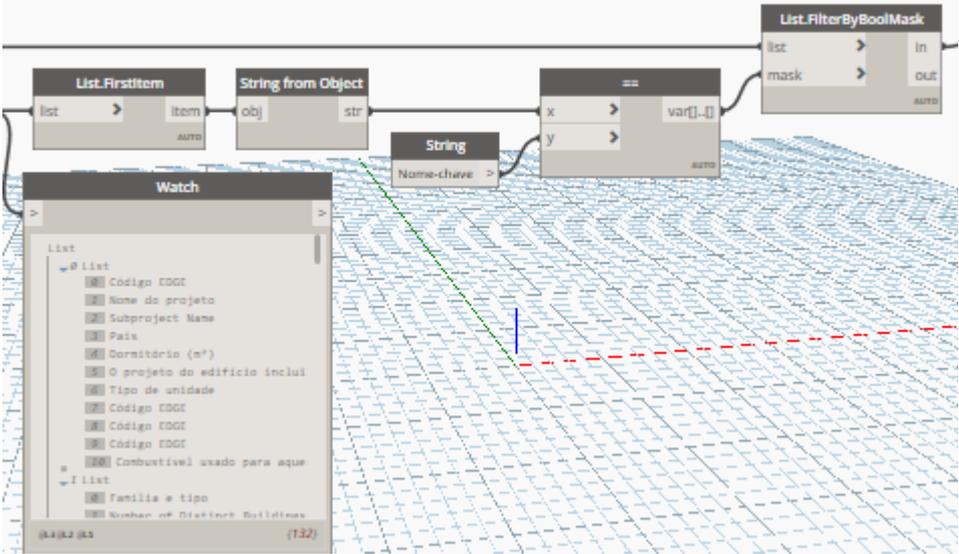
**Figura 18 - Diagrama do procedimento da rotina em Dynamo para limpeza dos dados da planilha**

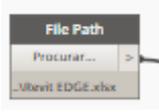
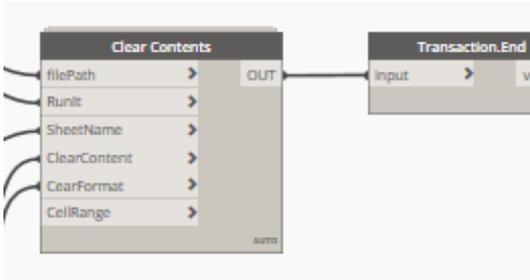


Em função das limitações de tempo impostas pelo programa de pesquisa, os requisitos do *software* EDGE sofreram um recorte, tendo sido contemplados apenas aqueles relacionados à energia incorporada nos materiais / sistemas utilizados. Entretanto, ressalta-se que, em alguns casos, o sistema considera o impacto da seleção de alguns materiais no padrão de consumo energético. Neste trabalho, isso não será considerado, mas em caso real de certificação isso deverá sim ser levado em conta na avaliação do impacto global do empreendimento.

Com essa rotina, temos um arquivo Excel com todos os dados requeridos pelo *software* EDGE para cálculo da energia incorporada nos materiais. Qualquer atualização referente a esses quesitos que venha a ser feita no projeto será automaticamente atualizada no arquivo. Essa facilidade permite também ao projetista, de forma rápida e prática, alterar as especificações do projeto, dentro das opções já validadas pela certificação, e avaliar as alternativas sob a perspectiva do impacto na sustentabilidade do edifício. A agilidade e precisão para comparar diferentes opções de projeto no BIM permitem soluções mais eficientes, sustentáveis e com custo controlado (GHAFFARIANHOSEINI et al., 2017).

**Quadro 4 - Tradução do algoritmo em linguagem humana para o Dynamo**

Fluxograma da rotina	Nodes do Dynamo
<p><b>Seleção da categoria.</b></p> <p>Ao selecionarmos a categoria "Tabelas", conectamos esse <i>node</i> ao <i>All Elements of Category</i> para extrair os elementos da categoria.</p>	
<p><b>Listagem dos campos das tabelas.</b></p> <p>Os campos das tabelas são extraídos e organizados em listas.</p>	
<p><b>Separação dos campos das tabelas.</b></p> <p>A identificação do primeiro item de cada tabela determina o limite de cada uma delas. Os <i>nodes</i> "String" definem as variáveis como texto e estas são filtradas e organizadas em linhas e colunas.</p>	

<p><b>Identificação do arquivo Excel.</b></p> <p>O arquivo Excel criado em uma pasta local é identificado. Nele estão todos os dados das tabelas geradas no <i>Revit</i>.</p>	
<p><b>Apagar conteúdo.</b></p> <p>O <i>node Clear Contents</i> é conectado ao arquivo gerado para apagar seus dados, onde serão reescritos os dados atualizados. A ação é finalizada e a próxima rotina é executada.</p>	

A transferência dos dados selecionados para uma planilha Excel requer a criação prévia de um arquivo. O ajuste das linhas e colunas preenchidas deverá ser feito manualmente, caso se deseje melhor apresentação, mas as linhas e fontes podem ser estabelecidas ainda na rotina. Na Figura 19, mostra-se o arquivo com uma das planilhas já configurada. O arquivo completo com todas as planilhas consta no Apêndice B.

**Figura 19 - Planilha Excel com dados do modelo gerada automaticamente pelo Dynamo**

Clique para adicionar cabeçalho

Código EDGE	Família e tipo	Descrição	Componentes	Barras de aço	Espessura	Proporção
HMM02	Telhado básico: EDGE Telhas de argila sobre vigas de madeira	Telhas de argila são colocadas sobre vigas de aço. Estas garantem durabilidade e resistência, mas a energia incorporada contida no aço é maior que nas vigas de madeira. EDGE estima a energia incorporada baseado na espessura de 10mm para as telhas de argila e 8mm para as vigas de aço ou madeira.	Telhas de argila, vigas de madeira, placa de cobertura, acabamento argamassado.			100

### O Script Python

Num segundo momento, um *script* em linguagem *Python* extrai os dados da planilha Excel, a partir da seleção e classificação prévias de requisitos a serem imputados como dados parametrizados. Os documentos foram gerados a partir do modelador, com informações suficientes e necessárias para avaliação do modelo. As informações foram retirados da planilha gerada e enviados para o *software web* através da linguagem de programação textual.

De posse dessas informações, o *software online* executou os cálculos no seu “motor de cálculo”. Essa prerrogativa foi estabelecida por considerar-se irrelevante ao processo proposto repetir ou cogitar um processo já validado e automatizado pela certificadora. O *script*, desenvolvido com base no código fonte aberto do *software online* EDGE, tem a função de fornecer os dados requeridos pelo motor de cálculo do *software* de forma automática, sem nenhuma interferência manual.

A linguagem *Python* foi escolhida pela facilidade de uso e por ser *open source*. Além disso, embora o *Dynamo* seja escrito em linguagem *C#* (lê-se *C Sharp*), o sistema possui grande compatibilidade com *Python*, usado em *nodes* e no *DesignScript* (VILLARES; MOREIRA, 2017).

O *script* foi escrito na versão 3.7 do *Python*, que deverá ser baixada pelo usuário, assim como a biblioteca “openpyxl”, única que não vem instalada. O programa é gratuito, disponível em [www.python.org](http://www.python.org).

O comando de execução do programa em *Python*, que lê as informações da planilha Excel, foi feito através do *prompt* de comando do *windows* (CMD). Os arquivos *.py* e *.xlsx* devem estar na mesma pasta, preferencialmente na do usuário. Ao digitar *python 'nome do arquivo'.py 'nome do arquivo'.xlsx* na pasta onde estão os arquivos, o comando é executado e retorna o valor do cálculo da porcentagem de energia embutida nos materiais em relação ao modelo básico considerado e, caso a economia alcance valor superior aos 20% requeridos, o *script* também realçará esse fato em texto, da mesma forma que no programa *online*.

O *software* EDGE está disponível também em português. Para facilitar a aplicação, a língua nativa foi usada nas informações das tabelas. Em linguagem computacional, a aparência adquirida com a tradução da língua é chamada de *front end*. A nova aparência em nada interfere no código, que normalmente está em inglês – *back end*. Considerando os símbolos específicos da língua portuguesa, como acento e cedilha, optou-se pela codificação em utf-8.

Bibliotecas necessárias importadas, definimos as funções. Ao passarmos o nome da planilha (*sheet\_name*), esta é aberta e os cabeçalhos (*headers*) são separados e seus valores extraídos. De posse dessas informações, criam-se dicionários, conjunto formado por pares de chaves (*keys*), dados fixos na linha do cabeçalho, e seus valores (*values*), dados móveis correspondentes em cada linha, respectivamente.

Os materiais e sistemas avaliados pela certificação EDGE receberam os seguintes códigos: HMM01 – Lajes de piso; HMM02 – Cobertura; HMM03 – Parede externa; HMM04 – Parede interna; HMM05 – Piso e HMM06 – Esquadria de janela. Cada um

desses elementos apresenta uma série de opções de especificação já validadas pela Certificação, que devem ser selecionadas em cada grupo.

À exceção da laje de piso, os demais sistemas e materiais admitem até duas opções de uso e deve ser especificada a proporção do uso de cada sistema. A grandeza espessura (mm) deve ser determinada para a laje de piso, alguns tipos de telhado e para as paredes internas e externas. As barras de reforço de aço também devem ser consideradas no caso da laje de piso e de alguns tipos de telhado.

Cria-se um dicionário com o mapa de cada código, no intuito de identificar a seleção especificada em português com o código em inglês. As chaves com os nomes (*strings*) à esquerda estão em português e os valores à direita correspondem ao nome do campo em inglês. Cada código, de HMM01 a HMM06, recebe um dicionário. Na Figura 20 mostra-se esse trecho do *script* desenvolvido, com os valores possíveis para HMM01 – laje de piso. O material completo consta no Apêndice C.

Dicionário é uma coleção em *Python*, um tipo de mapeamento nativo. Um mapa é uma coleção associativa desordenada feita a partir de uma chave, que pode ser qualquer tipo imutável, para um valor, que pode ser qualquer objeto de dados do *Python*. As atribuições adicionam pares chave-valor para o dicionário. O lado esquerdo define o dicionário e a chave a ser associada. O lado direito define o valor a ser associado a essa chave. O processo definido a seguir recebe cada dicionário e relaciona as chaves com os valores obtidos na planilha Excel. Além do nome da família e tipo, também são obtidos os valores de espessura e barras de reforço de aço, requeridos para alguns tipos de família. Novo dicionário é obtido com essas informações. Esse processo é feito para cada um dos seis sistemas avaliados, ao chamar o arquivo \*.xlsx.

A geração de dicionários permite a organização da informação requerida, assim como a comparação destas informações com as premissas do projeto básico. As linhas que se seguem no *script* buscam o preenchimento desses dicionários, de acordo com o código do *software* online EDGE. Esse *input* de dados é usado pelo motor de cálculo do *software* para comparação do consumo de energia entre o modelo básico e o projeto avaliado.

A requisição final (*Request*) traduz e retorna o valor da medida de eficiência dos materiais e sistemas especificados no projeto.

**Figura 20 – Trecho do *script* Python para capturar dados da planilha para o *software online***

```
HMM01_MAP = {  
    "Laje de concreto reforçadas in-situ": "In-Situ Reinforced Concrete Slab",  
    "Piso misto de concreto e aço in situ (vedação permanente)": "Composite In-Situ Concrete and  
Steel Deck (Permanent Shuttering)",  
    'Composto formado por placas finas com vigas de aço tipo "I"': "Composite Slim Slabs with Steel I-  
Beams",  
    "Laje de enchimento de concreto": "Concrete Filler Slab",  
    "Placas com enchimento de concreto e blocos de poliestireno": "Concrete Filler Slab with  
Polystyrene Blocks",  
    "Laje pré-moldada de núcleo oco": "Hollow Core Precast Slab",  
    "Concreto in-situ com >25% GGBS": "In-Situ Concrete with >25% GGBS",  
    "Concreto in-situ com >30% PFA": "In-Situ Concrete with >30% PFA",  
    "Laje de concreto em calha in-situ": "In-Situ Trough Concrete Slab",  
    "Laje de concreto nervurada in-situ": "In-Situ Waffle Concrete Slab",  
    "Chapa do piso galvanizada de bitola pequena": "Light Gauge Steel Floor Cassette",  
    "Concreto pré-moldado com perfis tipo duplo T": "Precast Concrete Double Tee Units",  
    "Pranchas RC pré-moldadas e sistema de sustentação": "Precast RC Planks and Joist System",  
    "Reúso de laje de piso existente": "Re-Use of Existing Floorslab",  
    "Piso fino de concreto pré-moldado e laje mista in situ": "Thin Precast Concrete Deck and  
Composite In-Situ Slab",  
    "Construção de pisos de madeira": "Timber Floor Construction",  
}
```

## RESULTADOS

Foram feitas várias tentativas no sentido de obter os dados do modelo e lançá-los diretamente no aplicativo *online*, por meio de *webscraping* na linguagem de programação *Python*, imitando a ação humana. Embora contendo um *node* para inserção de *scripts* em *Python* (*Python Script*), o *Dynamo* ainda utiliza a versão 2.7.3 do *IronPython*, bastante desatualizada e limitada em relação à versão atual 3.7 do *Python*. Isso torna algumas bibliotecas do *Python* não legíveis para o *Dynamo*. Conseguiu-se fazer, por *webscraping*, que a página do aplicativo fosse aberta automaticamente por comando do *script* no *Dynamo*, e que os campos da primeira aba, com as informações do projeto, fossem preenchidos. Entretanto, a impossibilidade de troca de aba para entrada das especificações de materiais e sistemas utilizados foi obstáculo para continuidade do processo. Buscou-se por alternativas nos fóruns, *blogs* e artigos de programadores e a questão, ainda pouco explorada, permanece no impasse até que seja feita a atualização da versão do *IronPython* usada pelo *Dynamo*.

Admite-se que outras proposições poderiam levar à solução do problema, como acesso à API do *Revit*, uso de outras linguagens, criação de *plugin* etc. Mas com o intuito de simplificar o processo e sua manutenção pelo usuário, optou-se pelo uso de múltiplas plataformas, como *Revit / Dynamo*, *Excel*, *Python* e *prompt* de comando do *Windows*. Tais plataformas mostraram-se interoperáveis, na sequência em que foram usadas.

Um dos grandes desafios de trabalhar com um *software online* é acompanhar as suas atualizações. Essas são feitas com frequência, algumas com mais, outras com menos impacto no cálculo gerado. Em alguns casos, identificaram-se apenas alterações no leiaute da página. O maior impacto observado foi no cálculo de energia, o que foge a nosso escopo de checagem, que foca apenas nas questões de energia incorporada nos materiais. De qualquer forma, ao longo do trabalho várias revisões foram necessárias para manter a credibilidade e a verificabilidade do método.

Há que se comentar que, embora esta pesquisa se atenha ao resultado do cálculo da energia incorporada nos materiais, estes muitas vezes também impactam o custo e o consumo de energia no momento de sua aplicação, além da energia para extração, produção e transporte já calculada para cada sistema. A Certificação EDGE não considera as etapas de operação e manutenção dos materiais e sistemas instalados.

Embora sejam necessárias várias informações de projeto, conforme relacionado na subseção 3.3 (aplicação do método), o preenchimento passo a passo dos campos cruzado com a inspeção no aplicativo mostrou que apenas algumas informações influenciam no cálculo. Também observou-se que as informações que interferem nos cálculos fazem-no de forma diferenciada nas questões de água, energia e materiais.

As informações Detalhes do projeto e Detalhes do subprojeto são neutras em relação ao cálculo, já que apenas identificam o projeto. Os campos de Informação de Localização interferem bastante, o que se justifica pela condição específica de cada local e pela categorização de renda em cada caso. Ao adentrar-se na descrição física do edifício, constata-se que os Dados da Construção e os Detalhes da Área são condicionantes de consumo energético e de água. Assim, identificam-se diferenças de parâmetro se o objeto avaliado for casa ou *flat* / apartamento e a dependência da área dos espaços individuais e total. O uso ou não de sistemas prediais, como ar condicionado e calefação, impacta o resultado do consumo energético. Computando-se todas essas variáveis, no cálculo específico do consumo da energia incorporada nos materiais apenas pesam os valores referentes a: Informações de Localização, Dados da Construção e Detalhes da Área.

Executados os cálculos de consumo de energia incorporada nos materiais pelo *software* EDGE, o resultado preliminar retornado informa foi possível ao modelo atingir o patamar de 20% de economia requerido pela Certificação. Isso permite a análise, avaliação e validação do resultado obtido com as decisões tomadas em projeto. Como a rotina ocorre a nível de projeto inicial e de forma automatizada, as várias alternativas poderão ser provadas para a tomada da melhor decisão pela equipe responsável. Entretanto, o alcance do sistema proposto não foi testado por outros especialistas. O que aqui se apresentam são resultados preliminares que

atestam a possibilidade de funcionamento do processo determinado. Observa-se também que, durante essa tratativa, os arquivos locais referenciados no *script* apenas serão lidos se estiverem ambos localizados na pasta do usuário.

A Certificação EDGE, assim como todas as demais certificações, considera um modelo básico, um marco zero, e, a partir das características desse modelo, compara este resultado com o desempenho do modelo proposto. A IFC tem envidado esforços para garantir a validade e confiabilidade do produto padrão, com revisões e adaptações constantes, baseadas em sugestões dos usuários em cada país. Por ser uma certificação pouca conhecida no Brasil, sugere-se que estudos aprofundados do padrão básico sejam feitos em relação ao padrão construtivo brasileiro, avaliando o consumo energético global de cada tipologia e tipo de unidade.

Conforme ilustra-se no Quadro 5, o modelo proposto sugere alterações na quantidade de barras de reforço de aço da laje de piso e na sua espessura (de 33kg/m<sup>2</sup> para 1 kg/m<sup>2</sup>, e de 200mm para 100mm), no tipo de telhado de cobertura (de laje de concreto armado moldada *in situ* com 200mm de espessura e 30kg/m<sup>2</sup> de reforço de aço para telhado de telhas de argila sobre vigas de madeira) e no tipo e espessura da parede interna (de parede de tijolo comum com reboco em ambos os lados, 200mm para blocos alveolares de argila com reboco em ambos os lados, 150mm).

Um cálculo estrutural preliminar mostrou a possibilidade de reduções na quantidade de aço usada na laje de piso e na sua espessura, considerando a sobrecarga da caixa d'água e do telhado, casa térrea de padrão baixo e a existência de uma cobertura sobre a laje, a qual impede que esta esteja diretamente exposta às intempéries

A opção por telhas de argila sobre madeiramento como cobertura é uma prática comum nas habitações brasileiras, por permitir maior conforto térmico aos moradores e atender às exigências de escoamento pluviométrico, normalmente sem necessidade de uso de materiais adicionais para impermeabilização. Paredes internas de tijolos cerâmicos furados também são prática comum nas construções,

com tecnologia bem assimilada; na espessura de 15cm, as paredes atendem às normas brasileiras de desempenho.

**Quadro 5 - Comparativo modelo básico x modelo proposto**

<b>Material / Sistema</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Modelo básico</b>	<b>Modelo proposto</b>
<b>Laje de Piso</b>	Especificação	Laje de concreto reforçada <i>in situ</i>	Laje de concreto reforçada <i>in situ</i>
	Espessura	200mm	100mm
	Barra de reforço de aço	33kg/m <sup>2</sup>	1kg/m <sup>2</sup>
<b>Telhado de cobertura</b>	Especificação	Laje de concreto armado moldada <i>in situ</i>	Telhado de telhas de argila sobre vigas de madeira
	Proporção	100%	100%
	Espessura	200	-
	Barra de reforço de aço	33kg/m <sup>2</sup>	-
<b>Parede externa</b>	Especificação	Parede comum de tijolos com emboço interno e externo	Parede comum de tijolos com emboço interno e externo
	Proporção	100%	100%
	Espessura	200mm	200mm
<b>Parede interna</b>	Especificação	Parede de tijolo comum com reboco em ambos os lados	Blocos alveolares de argila com reboco em ambos os lados
	Proporção	100%	100%
	Espessura	200mm	150mm
<b>Piso</b>	Especificação	Ladrilho de cerâmica	Ladrilho de cerâmica
	Proporção	100%	100%
<b>Esquadria de janela</b>	Especificação	Alumínio	Alumínio
	Proporção	100%	100%

Em relação à automatização do método, o processo se mostrou eficiente e rápido. Entretanto, vários ajustes tiveram que ser feitos para torná-lo operante e confiável. Além da já citada dificuldade em acompanhar as atualizações do *site / software*, a intenção de usar a tradução do *software* para o português provocou alguns entraves na formatação das tabelas no *Revit* e sua leitura pelo *script* em *Python*. As

incompatibilidades são geradas pelo fato de nem todos os títulos e campos aceitarem o código em português. Por exemplo: o preenchimento do campo “combustível usado para aquecimento de água”, embora apresente as opções em português (*front end*), apenas pode ser lido pelo código se escrito em inglês (*back end*).

A fim de garantir a confiabilidade do método, os testes foram feitos *pari passu* entre *script* em *Python* e *software* EDGE. Campo a campo, título a título, foram sendo confrontados os resultados e executados os ajustes necessários. Apesar de nem todas as informações interferirem no resultado do cálculo da energia incorporada nos materiais, conforme explicitado acima, todos os campos da aba “Projeto” foram preenchidos, de forma a facilitar a extensão de futuras pesquisas para as áreas de consumo de energia e água. Além disso, as planilhas incorporam colunas com explicações sobre cada tipo de família, descrição e componentes, possibilitando o nivelamento do entendimento de cada especificação e elucidando o impacto gerado por cada material / sistema. Tais especificações foram obtidas no Manual do Usuário da Certificação EDGE e intencionam conscientizar as tomadas de decisão do projetista, dando-lhe parâmetros de escolha.

As alterações feitas nas especificações do modelo básico da certificação e a contextualização geográfica e dimensional do modelo proposto levaram a uma redução de 37,86% na energia incorporada nos materiais. Este desempenho, acima dos 20% requeridos, atende aos padrões exigidos pela EDGE.

Assumindo unicamente a especificação dos materiais em primeira mão, como mostrado no Quadro 5, chegou-se ao resultado de 45,89% (1188 MJ/m<sup>2</sup>) de economia na energia incorporada aos materiais. À medida que se migra para a aba “Projeto”, a contextualização dos sistemas adotados imprime nova figura. Quando se passa a adotar o contexto brasileiro, cidade de Belo Horizonte e nível de renda baixo, o resultado passa a 47,23%. Ressalta-se que o ambiente padrão adotado é a África do Sul, cidade de Bloemfontein, nível de renda alto. O preenchimento dos dados da construção – 1 casa térrea de 42m<sup>2</sup>, com 2 dormitórios e ocupada por 4 pessoas – reduz o consumo energético dos materiais para 33,63%. A comparação é feita com 50 *flats* / apartamentos de 80m<sup>2</sup>, com 10 pisos, 2 dormitórios e ocupados

por 3 pessoas em cada unidade. E, finalmente, a colocação dos detalhes da área de cada cômodo da casa elevam a economia para 37,86%, no quesito materiais.

Verificou-se que a consideração da temperatura média mensal de Belo Horizonte não alterou a economia de energia embutida nos materiais, mas aumentou o consumo energético em relação ao ambiente padrão em 4,10%. Entretanto, a não especificação de sistemas prediais de condicionamento e calefação para os ambientes reduz esse aumento de consumo para 3,80%. Em qualquer dessas situações, no caso real, ao se trabalhar com economia de energia, esse impacto deverá ser minimizado na especificação dos sistemas e materiais, de forma ampla, a fim de atender às reduções de consumo de energia no uso e nos materiais.

Essa análise corrobora os estudos de Liu *et al* (2015), que verificaram que os vários aspectos de desempenho de um edifício conectam-se entre si, afetando uns aos outros. Daí a necessidade de uma verificação holística do desempenho durante a fase de projeto.

A partir do *script*, e sem necessidade de se acessar o *site* do aplicativo, podem-se obter todos os relatórios disponíveis. Para tanto, basta requisitar a saída da informação desejada, que será apresentada no *prompt* de comando do *Windows*.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A intenção neste trabalho de se ater, num primeiro momento, às edificações habitacionais vem do reconhecimento do impacto que essa tipologia produz e do número sobrepujante de novas unidades a serem projetadas.

Ao simplificar e desonerar o processo, a Certificação EDGE torna-se mais acessível ao mercado a que se direciona, passível de alcançar desde unidades residenciais unifamiliares até edificações mais complexas. O uso de um *software* aberto possibilita que os ativos classificados pela Certificação possam ser usados como parâmetros de ecoeficiência pelos arquitetos, mesmo que a intenção não seja certificar a edificação. Além disso, toda a documentação protocolar e de metodologia estão disponíveis no site (em inglês). Isso em muito facilitou a construção do conhecimento sobre a Certificação.

No âmbito desta pesquisa, a modelagem BIM possibilitou a inserção de componentes paramétricos relativos às especificações da Certificação. Associada a um *plugin* de programação visual, pode-se garantir que os parâmetros do modelo fossem detectados e se mantivessem sempre atualizados.

O uso do BIM, pouco explorado na literatura para desenvolvimento de projetos "verdes", capacitou o gerenciamento da complexidade da informação, evitando ambiguidade, duplicação ou ausência de dados. A necessidade de compartilhamento e troca de grande quantidade de dados entre os atores do processo de construção exigiu um protocolo comum. Um plano de execução previamente elaborado foi essencial para garantir que o modelo incorporasse todas as informações relevantes à análise e verificação do processo em questão. Normalmente, são contratados projetistas externos, daí a importância do estabelecimento desse protocolo para que todos possam entregar modelos BIM que terão valor e usos corretos. Neste trabalho, criamos um *template* contendo os campos paramétricos requeridos pelo processo e a possibilidade dos *stakeholders* rastreá-los e visualizá-los nas planilhas Excel.

Aqui foi possível selecionar ferramentas BIM de código proprietário (*Autodesk*) e aplicativos compatíveis e interoperáveis com elas. Entretanto, apesar da simplificação de uso estabelecida pelo *software* EDGE, a viabilidade de aplicação de uma ferramenta de código aberto no modelo deve ser considerada em trabalhos posteriores, atentando-se para a necessidade de disponibilização de todos os dados solicitados pela Certificação. As constantes atualizações que o *software online* vem sofrendo poderão evoluir para solicitar um modelo BIM (em formato não proprietário), ao invés de um arquivo *.pdf*, como hoje é feito.

Outro resultado que se traz à discussão é a relevância do uso de ferramentas de programação como aliadas no processo de produção do projeto. Sejam inseridas nas ferramentas BIM ou paralelas a elas, a programação aumenta a eficiência, automatiza tarefas rotineiras, insere o *code checking* e torna todo o processo mais rápido e assertivo. As linguagens de programação neste contexto aparecem como uma tendência. As ferramentas de desenho generativo, como o *Dynamo*, foram criadas como uma interface mais amigável na intenção de atender ao mercado de projetistas que desconhece linguagens de programação. Entretanto, o conhecimento de, pelo menos, lógica de programação deve ser avaliado pelos projetistas com vistas a uma melhoria do desempenho profissional.

Esta pesquisa envolveu várias disciplinas, como Arquitetura, Engenharia, Ciência da Computação, Ciências Ambientais. Alcançar a transdisciplinaridade permitiu uma visão holística das complexidades que envolvem a AECO, para a solução de problemas que nunca se estancam nos limites de uma só disciplina. O envolvimento de profissionais de várias áreas do conhecimento sempre contribuirá para a construção de soluções mais inteligentes e eficientes para todos.

## CONCLUSÕES

Os resultados alcançados nesta pesquisa atenderam aos objetivos propostos e comprovaram a exequibilidade do sistema proposto. Através do fluxo de processos orientados a transmitir a informação do modelo até o processo da certificação, chegou-se a um resultado passível de ser analisado e avaliado pelos agentes envolvidos na tomada de decisão.

Os dados requeridos pelo *software* foram selecionados e classificados para, através da plataforma BIM, serem parametrizados, organizados, preenchidos, armazenados e disponibilizados. A junção de BIM e sustentabilidade é um campo promissor a ser pesquisado. A exploração da interoperabilidade entre as tecnologias digitais existentes, usada de forma consistente, pode auxiliar na visualização, análise e tomada de decisão, num campo complexo como a AECO. Necessário, porém, que se tenha em mente que nenhuma tecnologia é capaz de substituir a capacidade crítica e a experiência profissionais.

O modelo de informação construído foi capaz de conectar as plataformas BIM e o *software* online de forma automatizada. Criou-se um fluxo através de várias plataformas e disciplinas e a automatização reduziu tempo, custo e aumentou a eficiência de verificação dos requisitos. Outro benefício alcançado foi a possibilidade de rastreamento de informações e reeleição de novas especificações, com resultados passíveis de serem analisados e avaliados.

Entretanto, os números devem ser vistos de forma crítica, sob os pontos de vista dos vários agentes e alinhada com o programa de necessidades do empreendimento. Atingir os objetivos da Certificação pode apenas garantir alguma eficiência energética ao edifício, mas não a sustentabilidade, já que o tripé meio ambiente – economia – sociedade/cultura não é plenamente alcançado pelas exigências estabelecidas. A possibilidade e o estímulo a uma pré análise econômica sobre as decisões de projeto aparece como diferencial no programa do Banco Mundial, em relação às demais certificações do mercado. Entretanto, a dimensão sociocultural do empreendimento deve ser observada e controlada na medida do possível.

Como sugestão para trabalhos posteriores, indica-se a extensão do processo para análise do consumo de água e de energia, aplicação do sistema em outras certificações, desenvolvimento de um *plugin* para troca dos dados do projeto, uso de plataformas *open source* para verificação e análise de requisitos etc.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYMAN, R.; ALWAN, Z.; MCINTYRE, L. **BIM for sustainable project delivery: review paper and future development areas.** Architectural Science Review, v. 0, n. 10, p. 1–19, 2019.

AZHAR, S. et al. **Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis.** Automation in Construction, v. 20, n. 2, p. 217–224, 2011.

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

BUTERA, F. M. **Climatic change and the built environment.** Advances in Building Energy Research, v. 2549, n. June, p. 45–75, 2010.

BYNUM, P.; ISSA, R. R. A.; OLBINA, S. **Building Information Modeling in support of sustainable design and construction.** Journal of Construction Engineering and Management, v. 139, n. 1, p. 24–34, 2013.

CHONG, H.-Y. Y.; LEE, C.-Y. Y.; WANG, X. **A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability.** Journal of Cleaner Production, v. 142, p. 4114–4126, 2017.

EADIE, R. *et al.* **BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis.** Automation in Construction, v. 36, p. 145–151, 2013.

EDWARDS, S.; BENNETT, P. **Construction products and life-cycle thinking.** Industry and Environment, v. 26, n. 2–3, p. 57–61, 2003.

FEIST, S. *et al.* **Portable generative design for building information modelling.** 21st International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRRIA 2016 - Hong Kong, p. 147–156, 2016.

GARBINI, M. A. L. **Proposta de modelo para implantação e processo de projeto utilizando a tecnologia BIM**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

GHAFFARIANHOSEINI, A. et al. **Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 75, n. September, p. 1046–1053, 2017.

ILHAN, B.; YAMAN, H. **Green building assessment tool (GBAT) for integrated BIM-based design decisions**. *Automation in Construction*, v. 70, p. 26–37, out. 2016.

JALAEI, F.; JRADE, A. **Integrating building information modelling with sustainability to design building projects at the conceptual stage**. *Journal of Information Technology in Construction*, v. 19, n. 2010, p. 494–519, 2 dez. 2014.

KEHL, C. **Barreiras e oportunidades para verificação automática de regras da produção na fase de projeto com uso da tecnologia BIM**. VII Encontro Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção - TIC, 2015, Recife. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/engineeringproceedings/tic2015/002.pdf>>. Acesso em: 3 dez. 2018.

LEITÃO, A. **Teaching Computer Science for Architecture: a proposal**. *Future Traditions: 1st eCAADe Regional International Workshop*. Anais...Porto, Portugal: FAUP, 2013.

LI, Y. et al. **Review of building energy performance certification schemes towards future improvement**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 113, n. February, 2019.

LIKHITRUANGSILP, V. et al. **A BIM-enabled system for evaluating impacts of construction change orders**. *Construction Research Congress 2018*, n. ScI 2002, p. 622–631, 2018.

LIU, S.; MENG, X.; TAM, C. **Building information modeling based building design optimization for sustainability**. Energy and Buildings, v. 105, p. 139–153, 2015.

LU, W. et al. **Demystifying the time-effort distribution curves in construction projects: A BIM and non-BIM comparison**. Construction Research Congress 2014 ©ASCE 2014. Research Gate, n. May, p. 329–338, 2014.

LU, Y. et al. **Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions**. Automation in Construction, v. 83, n. August, p. 134–148, 1 nov. 2017.

MALTESE, S. et al. **Sustainability assessment through green BIM for environmental, social and economic efficiency**. Procedia Engineering. Anais...2017 Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705817317186>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

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

MANZIONE, L. **Verificação automatizada de regras em BIM: Uma revisão sistemática da literatura**. [s.l.: s.n.]. 2017. Disponível em: <<http://www.makebim.com/wp-content/uploads/2017/09/VERIFICAÇÃO-AUTOMATIZADA-DE-REGRAS-EM-BIM-UMA-REVISÃO-SISTEMÁTICA-DA-LITERATURA-I.pdf>>. Acesso em: 4 out. 2018.

MARCOS, M. H. C. **Método de obtenção de dados de impactos ambientais, durante o processo de desenvolvimento do projeto, através do uso de ferramenta BIM**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

MONTEIRO, A.; MARTINS, J. P. **Licenciamento automático de projectos: um**

incentivo à adoção de metodologias BIM. International Conference on Engineering, ICEUBI 2011. Anais... Covilhã, Portugal: 2011

MONTEIRO, A.; MATIAS, K. **Avaliação de ferramentas BIM para elaboração de projetos executivos de arquitetura**. VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção - TIC 2015, Recife, 11p., 2015.

NGUYEN, T. H.; TOROGHI, S. H.; JACOBS, F. **Automated green building rating system for building designs**. Journal of Architectural Engineering, v. 22, n. 4, p. 1-10, dez. 2016.

ØSTERGÅRD, T.; JENSEN, R. L.; MAAGAARD, S. E. **Building simulations supporting decision making in early design: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 61, p. 187-201, 2016.

PAYNE, A; ISSA, R. **The Grasshopper Primer**. Second Edi ed. [s.l.] Robert McNeel and Associates, LIFT architects, 163p., 2009.

PICCOLI, R. **Análise das alterações no processo de construção decorrente da aplicação de sistema de certificação ambiental de edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, 2009.

PORTO, M. F. **Modelagem da informação para otimização de sistemas de combate a incêndios e pânico em edificações**. Tendências da Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação, v. 9, p. 188–207, 2016.

SANTOS DE ANDRADE, L. **Algoritmo para alvenaria estrutural em um sistema BIM**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

SHADRAM, F. et al. **An integrated BIM-based framework for minimizing embodied energy during building design**. Energy and Buildings, v. 128, p. 592–604, 15 set. 2016.

SILVA, F.; ARANTES, E. **Proposta de verificação automática dos requisitos de projetos pelo uso de ferramentas de análise BIM aplicados à Norma de Desempenho**. XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC 2016, São Paulo, p. 5039–5052, 2016.

SILVERIO, K. A. et al. **Challenges of BIM implementation in sustainable residential projects in the UK and future**. 2016. Disponível em [https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB\\_DC28901.pdf](https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC28901.pdf). Acesso em 18/04/2018.

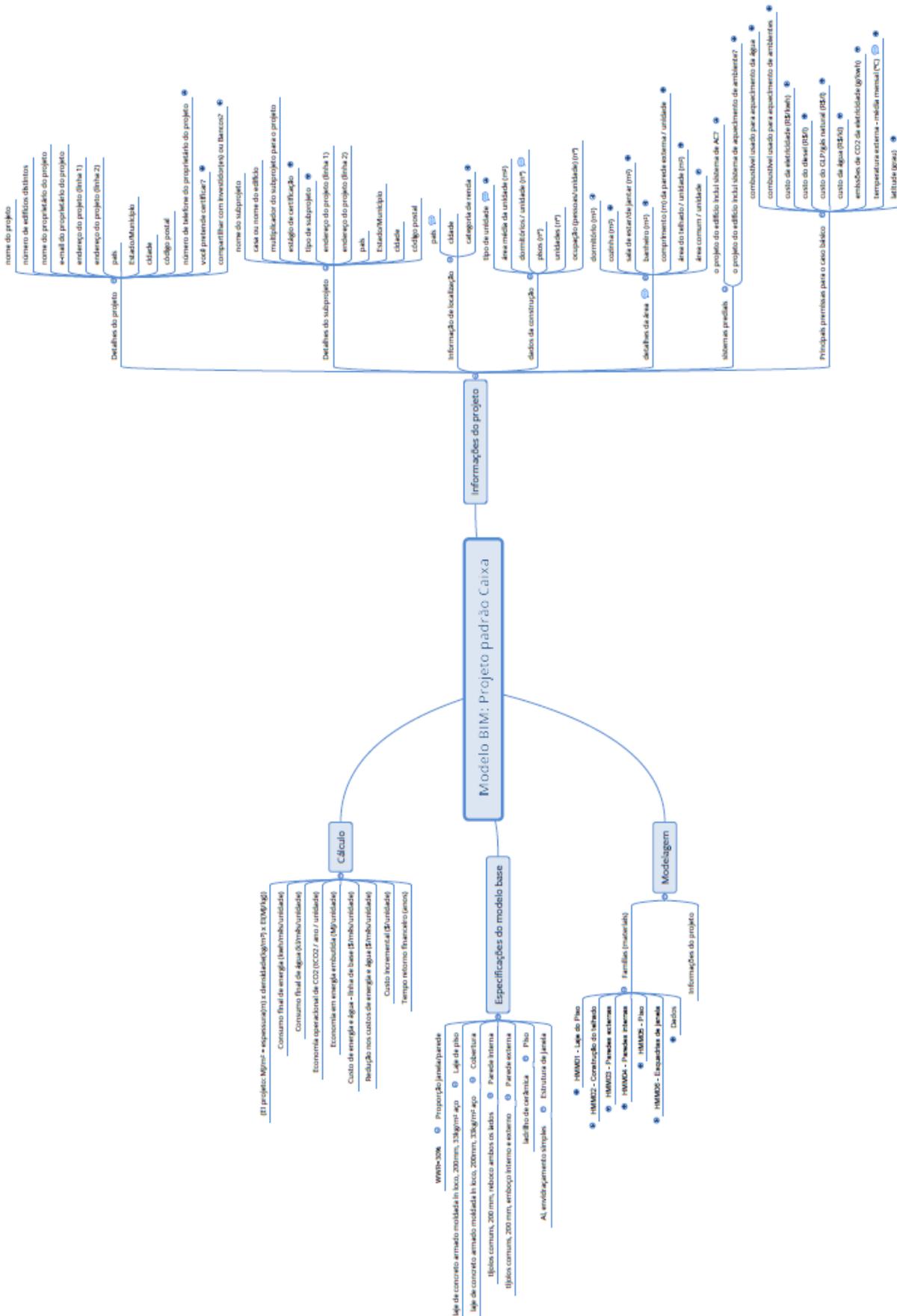
UGAYA, C. M. L. **Avaliação do ciclo de vida**. Disponível em [https://www.ecoinvent.org/files/131021\\_ugaya\\_avaliao\\_do\\_ciclo\\_de\\_vida.pdf](https://www.ecoinvent.org/files/131021_ugaya_avaliao_do_ciclo_de_vida.pdf). Acesso em 23/04/18.

VILLARES, A. B. DO A.; MOREIRA, D. DE C. **Python on the landscape of programming tools for design and architectural education**. XXI Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital - SIGraDi 2017, Concepción - Chile, p. 207–211, 2017.

WONG, J. K. W.; ZHOU, J. **Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review**. Automation in Construction, v. 57, p. 156–165, 2015.

WONG, K.; FAN, Q. **Building information modelling (BIM) for sustainable building design**. Facilities, Emerald Insight, v. 31, n. 3/4, p. 138–157, 2013.

## APÊNDICE A – Mapa mental da Certificação EDGE



## APÊNDICE B – Planilhas Excel

### Premissas para o caso básico

Combustível usado para aquecimento da água	Combustível usado para aquecimento ambiente	Custo da eletricidade (R\$/Kwh)	Custo do diesel (R\$/l)	Custo do GLP/gás natural (R\$/l)	Custo da água (R\$/Kl)	Emissões de CO2 da eletricidade (g/Kwh)	Latitude (grau)
Electric Resistance	Electricity	0	0	0	0	0	26

### Tabela de piso

Código EDGE	Família e tipo	Descrição	Componentes	Espessura	Barra de reforço de aço	Proporção
HMM01	Piso: EDGE Laje de concreto reforçadas in-situ	Um dos mais populares e convencionais tipos de construção de laje de piso, este piso usa cimento Portland, areia, agregados, água e aço de reforço.	Concreto, aço de reforço, acabamento de gesso.	100	1	-
HMM05	Piso: EDGE Ladrilho de cerâmica	As cerâmicas são duras, o que minimiza a manutenção necessária. No entanto, a argamassa entre as peças requer manutenção. As cerâmicas têm alta energia incorporada devido às grandes quantidades de energia necessárias para a queima, para endurecê-las durante o processo de fabricação.	Ladrilho de Cerâmica	-	-	100

### Tabela de parede

Código EDGE	Família e tipo	Descrição	Componentes	Espessura	Proporção
HMM03	Parede básica: Parede Externa - EDGE Parede comum de tijolos com emboço interno e externo	Tijolos comuns, ou tijolos de barro, costumam ser populares entre os construtores, pois são facilmente disponíveis e baratos. No entanto, como os tijolos comuns são acionados a altas temperaturas, normalmente alcançadas pela combustão de combustíveis fósseis, eles possuem alta energia incorporada.	Tijolos comuns, emboço	200	100
HMM04	Parede básica: Parede Interna - EDGE Blocos alveolares de argila com reboco em ambos os lados	Blocos de argila alveolares são feitos de argila cozida e têm uma seção transversal alveolar, resultando em menos material por metro quadrado de parede acabada. A estrutura de alvéolos torna os blocos fortes com alta resistência ao impacto e melhora o desempenho térmico. O tamanho grande dos blocos permite uma construção rápida. Não é necessário nenhum tipo de argamassa nas juntas verticais devido às bordas lingueta e ranhurada, reduzindo o uso de argamassa em até 40%. Os blocos podem ser personalizados. Blocos alveolares têm valor pós-consumo se forem desmontados cuidadosamente.	Blocos alveolares, reboco	150	100

### Esquadrias de Janela

Código EDGE	Material Quadro	Descrição	Componentes	Proporção
HMM06	Alumínio	A vantagem de usar caixilhos de janelas de metal é que eles são fortes, leves e requerem menos manutenção do que outros materiais usados para caixilhos de janelas. No entanto, como o metal conduz muito bem o calor, o desempenho térmico das janelas de metal não é tão bom quanto outros materiais. Para reduzir o fluxo de calor (indicado pelo Valor U), os quadros metálicos podem usar estratégias como uma quebra térmica entre o interior e o exterior do quadro. Os dois metais normalmente usados para caixilhos de janelas são alumínio ou aço. O alumínio é mais leve e não enferruja como um metal ferroso como o aço, mas a energia incorporada é muito maior. As janelas de aço são mais pesadas e exigem alguma manutenção para proteção da ferrugem (a menos que seja utilizado aço inoxidável).	Estrutura extrudada de alumínio para janela	100

## Dados da construção

Tipo de unidade	Área média da unidade (m <sup>2</sup> )	Dormitórios/unidade (n°)	Pisos (n°)	Unidades (n°)	Ocupação (pessoas/unidade) (n°)
Casa	42	2	1	1	4

## Sistemas prediais

O projeto do edifício inclui sistema de ar condicionado?	O projeto do edifício inclui sistema de calefação dos ambientes?
No	No

## Detalhes da área

Dormitório (m <sup>2</sup> )	Cozinha (m <sup>2</sup> )	Sala de estar/de jantar (m <sup>2</sup> )	Banheiro (m <sup>2</sup> )	Comprimento (metros) da parede externa/unidade	Roof área/unidade (m <sup>2</sup> )	Common Area/Unit (m <sup>2</sup> )
18	6	8	2	28	56	0

## Informação de localização

País	Cidade	Categoria de renda
Brazil	Belo Horizonte	Baixo

## Detalhes do subprojeto

Subproject Name	Casa ou nome do edifício	Subproject Multiplier for the Project	Certification Stage	Endereço linha 1	Endereço linha 2	Cidade	Estado/Município	Postal Code	País	Subproject Type
-	Casa Modulada	1	Preliminar	Rua das Caixas, 19	Bairro São Miguel	Belo Horizonte	MG	30000-000	Brazil	Edifício Novo

## Detalhes do projeto

Nome do projeto	Number of Distinct Buildings	Nome do proprietário do projeto	Nome da casa ou do edifício	Número de telefone do proprietário do projeto	Endereço linha 1	Endereço linha 2	Cidade	Estado/Município	Postal Code	País	Do you intend to certify?	Share with investor(s) or bank(s)
Casa Modulada	1	Jorge Aragão	Casa Modulada	00 00000-0000	Rua das Caixas, 19	Bairro São Miguel	Belo Horizonte	MG	30000-000	Brazil	Not Sure	Não

## Tabela de telhado

Código EDGE	Família e tipo	Descrição	Componentes	Barras de aço	Espessura	Proporção
HMM02	Telhado básico: EDGE Telhado de telhas de argila sobre vigas de madeira	Telhas de argila são colocadas sobre vigas de aço. Estas garantem durabilidade e resistência, mas a energia incorporada contida no aço é maior que nas vigas de madeira. EDGE estima a energia incorporada baseado na espessura de 10mm para as telhas de argila e 8mm para as vigas de aço ou madeira.	Telhas de argila, vigas de madeira, placa de cobertura, acabamento argamassado.			100

## Subproject Details

Subproject Name	Casa ou nome do edifício	Subproject Multiplier for the Project	Certification Stage	Endereço linha 1	Endereço linha 2	Cidade	Estado/Município	Postal Code	País	Subproject Type
-	Casa Modulada	1	Preliminar	Rua das Caixas, 19	Bairro São Miguel	Belo Horizonte	MG	30000-000	Brazil	Edifício Novo

**APÊNDICE C – Script em Python**  
**Efficiency\_measure.py**

```
# encoding: utf-8
"""
efficiency_measure

Calculate energy efficiency measures based on
`https://app.edgebuildings.com/#/`.

usage: efficiency_measure.py [-h] filename

positional arguments:
  filename  name of xlsx file

optional arguments:
  -h, --help  show this help message and exit

"""
import argparse
import openpyxl

try:
    from urllib.request import Request, urlopen
except ImportError:
    from urllib2 import Request, urlopen
import json

def _sheet_content(sheet_name):
    sheet = workbook[sheet_name]
    headers, *materials = sheet
    headers = [header.value for header in headers]
    for row in materials:
        row_values = (column.value for column in row)
        yield dict(zip(headers, row_values))

HMM01_MAP = {
    "Laje de concreto reforçadas in-situ": "In-Situ Reinforced Concrete Slab",
```

"Piso misto de concreto e aço in situ (vedação permanente)": "Composite In-Situ Concrete and Steel Deck (Permanent Shuttering)",

'Composto formado por placas finas com vigas de aço tipo "I"': "Composite Slim Slabs with Steel I-Beams",

"Laje de enchimento de concreto": "Concrete Filler Slab",

"Placas com enchimento de concreto e blocos de poliestireno": "Concrete Filler Slab with Polystyrene Blocks",

"Laje pré-moldada de núcleo oco": "Hollow Core Precast Slab",

"Concreto in-situ com >25% GGBS": "In-Situ Concrete with >25% GGBS",

"Concreto in-situ com >30% PFA": "In-Situ Concrete with >30% PFA",

"Laje de concreto em calha in-situ": "In-Situ Trough Concrete Slab",

"Laje de concreto nervurada in-situ": "In-Situ Waffle Concrete Slab",

"Chapa do piso galvanizada de bitola pequena": "Light Gauge Steel Floor Cassette",

"Concreto pré-moldado com perfis tipo duplo T": "Precast Concrete Double Tee Units",

"Pranchas RC pré-moldadas e sistema de sustentação": "Precast RC Planks and Joist System",

"Reúso de laje de piso existente": "Re-Use of Existing Floorslab",

"Piso fino de concreto pré-moldado e laje mista in situ": "Thin Precast Concrete Deck and Composite In-Situ Slab",

"Construção de pisos de madeira": "Timber Floor Construction",

}

HMM02\_MAP = {

"Telhado de telhas de argila sobre vigas de madeira": "Clay Roofing Tiles on Timber Rafters",

"Laje Concreto Reforçada in situ": "In-Situ Reinforced Concrete Slab",

"Folhas de alumínio sobre vigas de aço": "Aluminium Sheets on Steel Rafters",

"Folhas de alumínio sobre vigas de madeira": "Aluminium Sheets on Timber Rafters",

"Painel tipo sanduíche revestido de alumínio": "Aluminium-Clad Sandwich Panel",

"Telhas asfálticas sobre vigas de aço": "Asphalt Shingles on Steel Rafters",

"Telhas asfálticas sobre vigas de madeira": "Asphalt Shingles on Timber Rafters",

"Sistema de telhado com painel de tijolo": "Brick Panel Roofing System",

"Telhado de telhas de argila sobre vigas de aço": "Clay Roofing Tiles on Steel Rafters",

"Piso misto de concreto e aço in-situ (vedação permanente)": "Composite In-Situ and Steel Deck (Permanent Shuttering)",

'Composto formado por placas finas com vigas de aço tipo "I"': "Composite Slim Slabs with Steel I-Beams",

"Laje de enchimento de concreto": "Concrete Filler Slab",

"Placas com enchimento de concreto e blocos de poliestireno": "Concrete Filler Slab with Polystyrene Blocks",

"Folhas de cobre sobre vigas de aço": "Copper Sheets on Steel Rafters",

"Folhas de cobre sobre vigas de madeira": "Copper Sheets on Timber Rafters",

```

"Canaletas de telhado de ferro-cimento": "Ferro Cement Roofing Channels",
"Laje pré-moldada de núcleo oco": "Hollow Core Precast Slab",
"Concreto in-situ com >25% GGBS": "In-Situ Concrete with >25% GGBS",
"Concreto in-situ com >30% PFA": "In-Situ Concrete with >30% PFA",
"Laje de concreto em calha in-situ": "In-Situ Trough Concrete Slab",
}

HMM03_MAP = {
  "Parede comum de tijolos com emboço interno e externo": "Common Brick Wall with Internal & External Plaster",
  "Painel de arame em 3-D com jato de concreto": "3-D Wire Panel with 'Shot-Crete' Both Sides",
  "Perfil de revestimento de alumínio": "Aluminium Profile Cladding",
  "Painel tipo sanduíche revestido de alumínio": "Aluminium-Clad Sandwich Panel",
  "Blocos de concreto aerado autoclavado": "Autoclaved Aerated Concrete Blocks",
  "Painel de concreto tipo sanduíche com tijolo aparente": "Brick Faced Precast Concrete Sandwich Panel",
  "Blocos celulares de concreto leve": "Cellular Light Weight Concrete Blocks",
  "Placas de fibra de cimento sobre vigas de metal": "Cement Fibre Boards on Metal Studs",
  "Placas de fibra de cimento sobre vigas de madeira": "Cement Fibre Boards on Timber Studs",
  "Revestimento de ladrilhos de argila (ou 'revestimento ventilado em terracota') sobre vigas de metal": "Clay Tiles Cladding (or 'Terracotta Rainscreen Cladding') on Metal Studs",
  "Blocos comprimidos de terra estabilizada": "Compressed Stabilized Earth Blocks",
  "Tijolos perfurados (com furos) com emboço interno e externo": "Cored (with Holes) Bricks with Internal & External Plaster",
  "Paredes separadoras (elemento opaco)": "Curtain Walling (Opaque Element)",
  "Parede de tijolos aparentes com emboço interno": "Exposed Brick Wall with Internal Plaster",
  "Tijolos maciços (com furos) aparentes com reboco interno": "Exposed Cored (with Holes) Bricks with Internal Plaster",
  "Tijolos de revestimento e blocos de concreto ocos": "Facing Brick and Hollow Concrete Blocks",
  "Tijolos de revestimento e blocos de concreto sólidos": "Facing Brick and Solid Concrete Blocks",
  "Tijolos de revestimento e viga de madeira": "Facing Brick and Timber Stud",
  "Bloco FaLG": "FaLG Block",
  "Painel de parede revestido de ferrocimento": "Ferrocement Wall Panel",
  "Blocos de solo estabilizado de cinza volante": "Fly-Ash Stabilized Soil Blocks",
  "Blocos de solo estabilizado GGBS": "GGBS Stabilized Soil Blocks",
  "Concreto revestido com fibra de vidro reforçada": "Glass Fiber Reinforced Concrete Cladding",
  "Blocos alveolares de argila com emboço interno e externo": "Honeycomb Clay Blocks with Internal & External Plaster",
  "Parede reforçada in situ": "In-Situ Reinforced Wall",
  "Blocos de concreto oco de peso médio": "Medium Weight Hollow Concrete Blocks",

```

"Painel de fosfogesso": "Phosphogypsum Panel",  
 "Placas de reboco sobre vigas de metal": "Plasterboards on Metal Studs",  
 "Placas de reboco sobre vigas de madeira": "Plasterboards on Timber Studs",  
 "Emboço polimérico sobre tijolo": "Polymeric Render on Brick",  
 "Emboço polimérico sobre bloco de concreto": "Polymeric Render on Concrete Block",  
 "Painéis de concreto pré-moldado": "Precast Concrete Panels",  
 "Painéis sanduíche de concreto pré-moldado": "Precast Concrete Sandwich Panel",  
 "Blocos/Paredes de terra batida": "Rammed Earth Blocks/Walls",  
 "Reuso de parede existente": "Re-Use of Existing Wall",  
 "Blocos de concreto denso e sólido": "Solid Dense Concrete Block",  
 "Perfil de revestimento de aço": "Steel Profile Cladding",  
 "Painel tipo sanduíche revestido de aço": "Steel-Clad Sandwich Panel",  
 "Blocos de pedra": "Stone Blocks",  
 "Stone Blocks - Hand Cut": "Stone Blocks - Hand Cut",  
 "Stone Blocks - Machine Cut Unpolished": "Stone Blocks - Machine Cut Unpolished",  
 "Painel de concreto tipo sanduíche com pedra aparente": "Stone Faced Precast Concrete Sandwich Panel",  
 "Perfil de revestimento de pedra": "Stone Profile Cladding",  
 "Blocos de fardos de palha": "Straw Bale Blocks",  
 "Tábuas de revestimento de madeira sobre vigas de madeira": "Timber Weatherboard on Timber Studs",  
 "Prancha para intempéries UPVC com madeiramento estaiado": "UPVC Weatherboard on Timber Studs",  
 }

HMM04\_MAP = {

"Parede de tijolo comum com reboco em ambos os lados": "Common Brick Wall with Plaster on Both Sides",  
 "Painel de arame em 3-D com jato de concreto": "3-D Wire Panel with 'Shot-Crete' Both Sides",  
 "Painel de vergalhão em 3-D com 'concreto projetado' em ambos os lados com isolamento": "3-D Wire Panel with 'Shot-Crete' Both Sides with Insulation",  
 "Blocos de concreto aerado autoclavado": "Autoclaved Aerated Concrete Blocks",  
 "Blocos celulares de concreto leve": "Cellular Light Weight Concrete Blocks",  
 "Placas de fibra de cimento sobre vigas de metal": "Cement Fibre Boards on Metal Studs",  
 "Placas de fibra de cimento sobre vigas de madeira": "Cement Fibre Boards on Timber Studs",  
 "Blocos de pedra": "Stone Blocks",  
 "Blocos comprimidos de terra estabilizada": "Compressed Stabilized Earth Blocks",  
 "Tijolos perfurados (com furos) sem acabamento": "Cored (with Holes) Bricks no Finish",  
 "Tijolos maciços (com furos) com emboço em ambos os lados": "Common Brick Wall no Finish",  
 "Bloco FaLG": "FaLG Block",

"Painel de parede revestido de ferrocimento": "Ferrocement Wall Panel",  
 "Blocos de solo estabilizado de cinza volante": "Fly-Ash Stabilized Soil Blocks",  
 "Blocos de solo estabilizado GGBS": "GGBS Stabilized Soil Blocks",  
 "Blocos alveolares de argila com reboco em ambos os lados": "Honeycomb Clay Blocks with Plaster on Both Sides",  
 "Parede reforçada in situ": "In-Situ Reinforced Wall",  
 "Blocos de concreto oco de peso médio": "Medium Weight Hollow Concrete Blocks",  
 "Placas de reboco sobre vigas de metal": "Plasterboards on Metal Studs",  
 "Placas de reboco sobre vigas de metal com isolamento": "Plasterboards on Metal Studs with Insulation",  
 "Placas de reboco sobre vigas de madeira": "Plasterboards on Timber Studs",  
 "Placas de reboco sobre vigas de madeira com isolamento": "Plasterboards on Timber Studs with Insulation",  
 "Painéis de concreto pré-moldado": "Precast Concrete Panels",  
 "Painéis sanduíche de concreto pré-moldado": "Precast Concrete Sandwich Panel",  
 "Blocos/Paredes de terra batida": "Rammed Earth Blocks/Walls",  
 "Reuso de parede existente": "Re-Use of Existing Wall",  
 "Blocos de concreto denso e sólido": "Solid Dense Concrete Block",  
 "Stone Blocks - Hand Cut": "Stone Blocks - Hand Cut",  
 "Stone Blocks - Machine Cut Unpolished": "Stone Blocks - Machine Cut Unpolished",  
 "Blocos de fardos de palha": "Straw Bale Blocks",  
 }

HMM05\_MAP = {

"Ladrilho de cerâmica": "Ceramic Tile",  
 "Placas de cortiça": "Cork Tiles",  
 "Piso de concreto acabado": "Finished Concrete Floor",  
 "Piso de madeira laminada": "Laminated Wooden Flooring",  
 "Folha de linóleo": "Linoleum Sheet",  
 "Tapetes de náilon": "Nylon Carpets",  
 "Acabamentos com assoalho de tacos/blocos de madeira": "Parquet/Wood Block Finishes",  
 "Tapete com fibras vegetais (erva marinha, fibra de coco e juta)": "Plant Fibre (Seagrass, Sisal, Coir and Jute) Carpet",  
 "Reuso de piso existente": "Re-Use of Existing Flooring",  
 "Ladrilhos/Lajes de pedra": "Stone Tiles/Slabs",  
 "Piso de lajota": "Terracotta Tiles",  
 "Ladrilhos hidráulicos": "Terrazzo Tiles",  
 "Piso de vinil": "Vinyl Flooring",  
 }

```
HMM06_MAP = {
    "Alumínio": "Aluminium",
    "Madeiramento revestido de alumínio: Alumínio": "Aluminium Clad Timber: Aluminium",
    "Reuso de molduras de janelas existentes": "Re-Use of Existing Window Frames",
    "Aço": "Steel",
    "Madeira": "Timber",
    "UPVC": "UPVC",
}
```

```
def _process_hmm01(material):
    family_type = material.get("Família e tipo").split("EDGE")[-1].strip()
    updates = {
        "hmM01DDText_New": HMM01_MAP.get(family_type, ""),
        "hmM01Val_New": material.get("Espessura", ""),
        "hmM01Val_New1": material.get("Barras de reforço de aço", ""),
    }
    return updates
```

```
def value_generator(initial):
    yield initial
    index = 1
    while True:
        yield f"{initial}{index}"
        index += 1
```

```
hmm02_val = value_generator("hmM02Val_New")
hmm02_text = value_generator("hmM02DDText_New")
hmm02_prop = value_generator("hmM02Proportion")
```

```
def _process_hmm02(material):
    family_type = material.get("Família e tipo").split("EDGE")[-1].strip()
    updates = {
        next(hmm02_text): HMM02_MAP.get(family_type, ""),
        next(hmm02_prop): material.get("Proporção", ""),
        next(hmm02_val): material.get("Espessura", ""),
        next(hmm02_val): material.get("Barras de reforço de aço", ""),
    }
    return updates
```

```
hmm03_val = value_generator("hmM03Val_New")
```

```
hmm03_text = value_generator("hmM03DDText_New")
hmm03_prop = value_generator("hmM03Proportion")

def _process_hmm03(material):
    family_type = material.get("Família e tipo").split("EDGE")[-1].strip()
    updates = {
        next(hmm03_text): HMM03_MAP.get(family_type, ""),
        next(hmm03_prop): material.get("Proporção", ""),
        next(hmm03_val): material.get("Espessura", ""),
    }
    return updates

hmm04_val = value_generator("hmM04Val_New")
hmm04_text = value_generator("hmM04DDText_New")
hmm04_prop = value_generator("hmM04Proportion")

def _process_hmm04(material):
    family_type = material.get("Família e tipo").split("EDGE")[-1].strip()
    updates = {
        next(hmm04_text): HMM04_MAP.get(family_type, ""),
        next(hmm04_prop): material.get("Proporção", ""),
        next(hmm04_val): material.get("Espessura", ""),
    }
    return updates

hmm05_text = value_generator("hmM05DDText_New")
hmm05_prop = value_generator("hmM05Proportion")

def _process_hmm05(material):
    family_type = material.get("Família e tipo").split("EDGE")[-1].strip()
    updates = {
        next(hmm05_text): HMM05_MAP.get(family_type, ""),
        next(hmm05_prop): material.get("Proporção", ""),
    }
    return updates

hmm06_text = value_generator("hmM06DDText_New")
hmm06_prop = value_generator("hmM06Proportion")

def _process_hmm06(material):
```

```

family_type = material.get("Material Quadro").split("EDGE")[-1].strip()
updates = {
    next(hmm06_text): HMM06_MAP.get(family_type, ""),
    next(hmm06_prop): material.get("Proporção", ""),
}
return updates

def _process(material):
    def default(material):
        print("Not implemented yet")
        return []

    return {
        "HMM01": _process_hmm01,
        "HMM02": _process_hmm02,
        "HMM03": _process_hmm03,
        "HMM04": _process_hmm04,
        "HMM05": _process_hmm05,
        "HMM06": _process_hmm06,
    }.get(material["Código EDGE"], default)(material)

parser = argparse.ArgumentParser()
parser.add_argument("filename", help="name of xlsx file")
args = parser.parse_args()

workbook = openpyxl.load_workbook(filename=args.filename, guess_types=False)

# filter empty sheets
sheets = [sheet for sheet in workbook.sheetnames if not sheet.startswith("Plan")]

headers = {
    "User-Agent": "Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64; rv:61.0) ",
    "Gecko/20100101 Firefox/61.0",
    "Accept": "application/json, text/plain, */*",
    "Accept-Encoding": "gzip, deflate, br",
    "Accept-Language": "en-US,en;q=0.5",
    "Connection": "keep-alive",
    "Content-Length": "11138",
    "Content-Type": "application/json;charset=utf-8",
    "Cookie": "maxVersion=v2.1.0; selectedHomeVersion=v2.1.0; "

```

```

"selectedHotelVersion=v2.1.0; selectedRetailVersion=v2.1.0; "
"selectedOfficeVersion=v2.1.0; selectedHospitalVersion=v2.1.0; "
"redirectTo=; selectedLanguage=en; GoogleAnalyticsAccount=UA-55172657-1;"
" selectedCountryHomes=South%20Africa; selectedEducationVersion=v2.1.0; "
"isLoginDisplayed=True",
"DNT": "1",
"Referer": "https://app.edgebuildings.com/",
"versionHomes": "v2.1.0",
"versionHotels": "v2.1.0",
"versionRetail": "v2.1.0",
"versionOffices": "v2.1.0",
"versionHospitals": "v2.1.0",
"versionEducation": "v2.1.0",
}

```

```

data = {
  "projectName": "",
  "houseBlockName": "",
  "projectAddressLine1": "",
  "projectAddressLine2": "",
  "projectCity": "",
  "projectProvinceState": "",
  "projectPostalCode": "",
  "projectCountry": "",
  "projectType": "New Building",
  "yearOfConstruction": "2018",
  "subprojectMultiplier": "1",
  "country": "South Africa",
  "city": "Bloemfontein",
  "incomeCategory": "High",
  "climateType": "",
  "energyConsumption": "",
  "waterConsumption": "",
  "naturalGasConsumption": "",
  "dieselConsumption": "",
  "annualMeasuredLPG": "",
  "existingBuildingEnergy": "0.00",
  "existingBuildingWater": "0.00",
  "typeOfUnit": 1.0,
  "averageUnitArea": 80.0,

```

"noOfBedrooms": "2",  
"noOfFloors": 10.0,  
"noOfUnits": 50.0,  
"occupancy": 3.0,  
"buildingShapeCoefficient": "0.2",  
"buildingShapeCoefficient1": "",  
"bedroom": "20",  
"kitchen": "8",  
"living": "32",  
"bathroom": "6",  
"utilityShaft": "13.60",  
"grossInternalArea": "80",  
"externalWallLengthText": "Comprimento (metros) da parede externa/unidade",  
"externalWallLength": "17",  
"windowFloorRatio": "19.8%",  
"roofArea": "8",  
"commonArea": "20",  
"bedroom2": "",  
"kitchen2": "",  
"living2": "",  
"bathroom2": "",  
"grossInternalArea2": "",  
"externalWallLength2": "",  
"roofArea2": "",  
"commonArea2": "",  
"airConditioning": "Yes",  
"spaceHeating": "Yes",  
"typeOfSpaceCooling": "ASHRAE 90.1 Base",  
"typeOfHeatingSystem": "Air Source Heat Pump (DX type)-CAV",  
"fuelHotWater": "Electric Resistance",  
"fuelSpaceHeating": "Electricity",  
"costElectricity": "1.55",  
"costDieselFuel": "12.68",  
"costLPG": "0.67",  
"costWater": "24.22",  
"latitude": "26",  
"coEmissionsElectricity": "964",  
"windowWallRatio": "35%",  
"solarReflectivityPaintWall": "30%",  
"solarReflectivityPaintRoof": "30%",

```

"hotBoilerEfficiency": "80%",
"roofUValue": "0.27",
"wallUValue": "0.45",
"glassUValue": "5.75",
"glassSHGC": "0.80",
"acSysEfficiency": "2.90",
"fuelHotWater2": "Electric Resistance",
"fuelSpaceHeating2": "Electricity",
"costElectricity2": "",
"costDieselFuel2": "",
"costLPG2": "",
"costWater2": "",
"latitude2": "",
"coEmissionsElectricity2": "",
"windowWallRatio2": "",
"solarReflectivityPaintWall2": "",
"solarReflectivityPaintRoof2": "",
"hotBoilerEfficiency2": "",
"roofUValue2": "",
"wallUValue2": "",
"glassUValue2": "",
"glassSHGC2": "",
"acSysEfficiency2": "",
"thermallInertialR": "D≤2.5",
"thermallInertialW": "D≤2.5",
"showThermal": "0",
"jan": "23.9",
"feb": "22.2",
"mar": "20.0",
"apr": "16.1",
"may": "12.2",
"jun": "8.3",
"jul": "8.3",
"aug": "11.1",
"sep": "15.0",
"oct": "18.3",
"nov": "20.0",
"dec": "22.2",
"jan2": "",
"feb2": "",

```

"mar2": "",  
"apr2": "",  
"may2": "",  
"jun2": "",  
"jul2": "",  
"aug2": "",  
"sep2": "",  
"oct2": "",  
"nov2": "",  
"dec2": "",  
"energyEfficiencyMeasuresVal": "0.00%",  
"energyEfficiencyMeasuresText": "",  
"hmE01": False,  
"hmE02": False,  
"hmE03": False,  
"hmE04": False,  
"hmE05": False,  
"hmE06": False,  
"hmE07": False,  
"hmE08": False,  
"hmE09": False,  
"hmE10": False,  
"hmE11": False,  
"hmE12": False,  
"hmE13": False,  
"hmE14": False,  
"hmE15": False,  
"hmE16": False,  
"hmE17": False,  
"hmE18": False,  
"hmE19": False,  
"hmE20": False,  
"hmE21": False,  
"hmE22": False,  
"hmE23": False,  
"hmE24": False,  
"hmE01WWRVal": "",  
"hmE01WFRVal": "19.8%",  
"hmE02SolarReflectivityVal": "",  
"hmE03SolarReflectivityVal": "",

"hmE04AnnualAvgShadeFactorVal": "",  
"hmE05UVal": "",  
"hmE06UVal": "",  
"hmE07UVal": "",  
"hmE07SHGCVal": "",  
"hmE08UVal": "",  
"hmE08SHGCVal": "",  
"hmE11COPVal": "",  
"hmE12EffVal": "",  
"hmE13EffVal": "",  
"hmE14COPVal": "",  
"hmE19HotWaterVal": "",  
"hmE19CollectorVal": "-",  
"hmE20AnnualElectricityUseVal": "",  
"hmE20CapacityVal": "-",  
"hmE22Value": "Biomass",  
"hmE22Value2": "",  
"hmE23Value": "",  
"hmE23Value2": "-",  
"hmE24Value": "",  
"hmE24Value2": "-",  
"waterEfficiencyMeasuresVal": "0.00%",  
"waterEfficiencyMeasuresText": "",  
"hmW01": False,  
"hmW02": False,  
"hmW03": False,  
"hmW04": False,  
"hmW05": False,  
"hmW06": False,  
"hmW07": False,  
"hmW08": False,  
"hmW01Val": "",  
"hmW02Val": "",  
"hmW03Val": "",  
"hmW04Val": "",  
"hmW042ndVal": "",  
"hmW05Val": "",  
"hmW06Val": "",  
"materialsEfficiencyMeasuresVal": "0.00%",  
"materialsEfficiencyMeasuresText": "",

```
"hmM01DDText": "In-Situ Reinforced Concrete Slab",
"hmM02DDText": "In-Situ Reinforced Concrete Slab",
"hmM03DDText": "Common Brick Wall",
"hmM04DDText": "Common Brick Wall",
"hmM05DDText": "Ceramic Tile",
"hmM06DDText": "Aluminium",
"hmM07DDText": "None",
"hmM08DDText": "None",
"hmM01Val": "",
"hmM02Val": "",
"hmM03Val": "",
"hmM04Val": "",
"energyMessage1": "",
"energyMessage2": "",
"energyMessage3": "",
"energyMessage4": "",
"finalEnergyUse": "932.19",
"finalWaterUse": "22.45",
"operationalCO2Savings": "0.00",
"embodiedEnergySavings": "0.00",
"baseCaseUtilityCosts": "1988.73",
"utilityCostsReduction": "-",
"incrementalCost": "-",
"paybackinYears": "NA",
"energySavingsPerYear": "0.00",
"waterSavingsPerYear": "0.00",
"embodiedEnergyMaterialSavings": "0.00",
"CO2SavingsPerYear": "0.00",
"floorSpaceCertified": "5000.00",
"projectID": "",
"projectNumber": "",
"fileNumber": "",
"createdBy": "",
"edgeVersionNo": "",
"dateTimeStamp": "",
"modifiedBy": "",
"carbonEfficiency": "10.79",
"carbonEfficiencyText": "",
"energyChartData": {
  "minimumScale": 0.0,
```

```

"maximumScale": 160.0,
"majorUnit": 20.0,
"chartData": [
  {"name": "Energia de<br />aquecimento", "data": [8, 0, 8, 0]},
  {"name": "Energia de<br />refrigeração", "data": [31, 0, 31, 0]},
  {"name": "Energia de<br />ventilação", "data": [2, 0, 2, 0]},
  {"name": "Eletrodomésticos", "data": [47, 0, 47, 0]},
  {"name": "Áreas de lazer", "data": [4, 0, 4, 0]},
  {"name": "Iluminação", "data": [10, 0, 10, 0]},
  {"name": "Água quente", "data": [37, 0, 37, 0]},
  {"name": "Base", "data": [0, 140, 0, 140]},
],
},
"waterChartData": {
  "minimumScale": 0.0,
  "maximumScale": 300.0,
  "majorUnit": 50.0,
  "chartData": [
    {"name": "Chuveiros", "data": [88, 88]},
    {"name": "Cozinha", "data": [50, 50]},
    {"name": "Torneiras<br/>de água", "data": [61, 61]},
    {"name": "Vasos sanitários", "data": [42, 42]},
    {"name": "Lavar e limpar", "data": [29, 29]},
  ],
},
"materialChartData": {
  "minimumScale": 0.0,
  "maximumScale": 2500.0,
  "majorUnit": 500.0,
  "chartData": [
    {"name": "Lajes do piso", "data": [829, 829]},
    {"name": "Construção<br/>de telhados", "data": [92, 92]},
    {"name": "Paredes externas", "data": [445, 445]},
    {"name": "Paredes internas", "data": [465, 465]},
    {"name": "Piso", "data": [42, 42]},
    {"name": "Esquadrias", "data": [370, 370]},
    {"name": "Isolamento", "data": [0, 0]},
  ],
},
"materialChartData_New": {

```

```

"minimumScale": 0.0,
"maximumScale": 3000.0,
"majorUnit": 500.0,
"chartData": [
  {"name": "Lajes do piso", "data": [1026, 1026]},
  {"name": "Construção<br/>de telhados", "data": [114, 114]},
  {"name": "Paredes externas", "data": [529, 529]},
  {"name": "Paredes internas", "data": [474, 474]},
  {"name": "Piso", "data": [44, 44]},
  {"name": "janelas", "data": [351, 351]},
  {"name": "Isolamento", "data": [0, 0]},
],
},
"carbonChartData": {
  "minimumScale": -12.0,
  "maximumScale": 12.0,
  "majorUnit": 2.0,
  "chartData": [
    {"name": "Compensação fora do site", "data": [0]},
    {"name": "Emissões dos edifícios", "data": [11]},
  ],
},
"hmW06Text": "Rainwater Harvesting System - 50% of Roof Area Used for Rainwater Collection",
"shareProjLinkDisabled": True,
"sharedProjAccess": False,
"materialsEfficiencyMeasuresVal_New": "0.00%",
"materialsEfficiencyMeasuresText_New": "",
"hmM01DDText_New": "In-Situ Reinforced Concrete Slab",
"hmM02DDText_New": "In-Situ Reinforced Concrete Slab",
"hmM02DDText_New1": "In-Situ Reinforced Concrete Slab",
"hmM03DDText_New": "Common Brick Wall with Internal & External Plaster",
"hmM03DDText_New1": "Common Brick Wall with Internal & External Plaster",
"hmM04DDText_New": "Common Brick Wall with Plaster on Both Sides",
"hmM04DDText_New1": "Common Brick Wall with Plaster on Both Sides",
"hmM05DDText_New": "Ceramic Tile",
"hmM05DDText_New1": "Ceramic Tile",
"hmM06DDText_New": "Aluminium",
"hmM06DDText_New1": "Aluminium",
"hmM07DDText_New": "No Insulation",
"hmM08DDText_New": "No Insulation",

```

"hmM01Val\_New": "",  
"hmM01Val\_New1": "",  
"hmM02Val\_New": "",  
"hmM02Val\_New1": "",  
"hmM02Val\_New2": "",  
"hmM02Val\_New3": "",  
"hmM03Val\_New": "",  
"hmM03Val\_New1": "",  
"hmM04Val\_New": "",  
"hmM04Val\_New1": "",  
"hmM07Val\_New": "",  
"hmM08Val\_New": "",  
"hmM02Proportion": "100",  
"hmM02Proportion1": "0",  
"hmM03Proportion": "100",  
"hmM03Proportion1": "0",  
"hmM04Proportion": "100",  
"hmM04Proportion1": "0",  
"hmM05Proportion": "100",  
"hmM05Proportion1": "0",  
"hmM06Proportion": "100",  
"hmM06Proportion1": "0",  
"hmM01Text\_Line1": "In-Situ Reinforced Concrete Slab",  
"hmM02Text\_Line1": "In-Situ Reinforced Concrete Slab",  
"hmM03Text\_Line1": "Common Brick Wall with Internal & External Plaster",  
"hmM04Text\_Line1": "Common Brick Wall with Plaster on Both Sides",  
"hmM05Text\_Line1": "Ceramic Tile",  
"hmM06Text\_Line1": "Aluminium",  
"projImageUploaded": False,  
"hmM06Text\_Line3": "Envidraçamento simples",  
"hmM07Text\_Line1": "No Insulation",  
"hmM08Text\_Line1": "No Insulation",  
"hmM01Rebar": False,  
"hmM02Rebar": False,  
"hmM02Rebar1": False,  
"hmM01Text\_LineV1": "",  
"hmM02Text\_LineV1": "",  
"hmM03Text\_LineV1": "",  
"hmM04Text\_LineV1": "",  
"hmM05Text\_LineV1": "",

```

"hmM06Text_LineV1": "",
"hmM07Text_LineV1": "",
"hmM08Text_LineV1": "",
"currencySymbol": "ZAR",
"selectedProjectStage": "",
"createdVersion": "",
"modifiedVersion": "",
"energyChartSVG": "",
"waterChartSVG": "",
"materialChartSVG": "",
"materialChartSVG_New": "",
"carbonChartSVG": "",
"countrySelectionDisabled": False,
"currentCycleNumber": 1,
"projectDetailID": "",
"projectStatus": "",
"showProjectDecision": False,
"lpdUserInput": "",
"operableWindowToFacadeRatio": "",
"nonTraditionalWaterUtilization": "",
"nonTraditionalWaterUtilizationCWUse": "",
"designThermalPerformanceImprovements": "",
"gbWWR": "",
"hmE01Text": "Redução da Razão Janela-Parede – WWR de 30%",
"hmE02Text": "Reflective Paint/Tiles for Roof - Solar Reflectivity (albedo) of 0.7",
"hmE03Text": "Reflective Paint for External Walls - Solar Reflectivity (albedo) of 0.7",
"hmE04Text": "Dispositivos externos de sombreamento – fator de sombreamento médio anual
(AASF) de 0.8.",
"hmE05Text": "Isolamento do telhado – Valor U de 0.18",
"hmE06Text": "Isolamento térmico de paredes externas – Valor U de 0.25.",
"hmE07Text": "Vidros de baixa emissividade (low-e) – Valor-U de 3 W/m².K e SHGC de 0.45.",
"hmE08Text": "Vidros de alto desempenho térmico – Valor U de 1.9 W/m².K e SHGC de 0.28.",
"hmE11Text": "Sistema de Ar Condicionado – COP de 3.5",
"hmE12Text": "Caldeira de alta eficiência para calefação de ambientes (boiler) – eficiência de
95%.",
"hmE13Text": "Aquecedor de alta eficiência para água quente (boiler) – eficiência de 95%.",
"hmE14Text": "Bomba de calor para aquecimento de água – COP de 3",
"hmE19Text": "Coletores solares de água quente – 50% de demanda de água quente",
"hmE20Text": "Células fotovoltaicas solares – 25% de demanda total de energia",
"hmW01Text": "Chuveiros de vazão reduzida – 8 litros por minuto",

```

```

"hmW02Text": "Torneiras de vazão reduzida para pia da cozinha – 6 litros/minuto",
"hmW03Text": "Low-Flow Faucets in All Bathrooms - 6 L/min",
"hmW04Text": "Dual Flush for Water Closets in All Bathrooms - 6 L/first flush and 3 L/second flush",
"hmW05Text": "Vasos sanitários com descarga única – 6 litros/descarga",
"hmM01Text_Line2": "300 mm",
"hmM01Text_Line3": "Aço: 33 kg/m²",
"hmM02Text_Line2": "300 mm",
"hmM02Text_Line3": "Aço: 33 kg/m²",
"hmM03Text_Line2": "200 mm",
"hmM04Text_Line2": "100 mm",
"hmM07Text_Line2": "U : ~ 1.86 W/m²k",
"hmM08Text_Line2": "U : ~ 2.12 W/m²k",
"hmM07Text_Line": "U : ~ 1.86 W/m²k",
"hmM08Text_Line": "U : ~ 2.12 W/m²k",
"hmE23Text": "Aquisição de energia renovável fora do site – Igual a 100% do total Operacional de CO2",
"hmE24Text": "Compensação das emissões de carbono - 100% do total de CO2",
"hmE10Text": "Ventiladores de teto em todos os quartos habitáveis",
"hmE17Text": "Lâmpadas de baixo consumo – áreas comuns e espaços externos",
"hmE18Text": "Controles de iluminação para áreas comuns e áreas externas",
"hmM06Text_Line2": "Envidraçamento simples",
}

```

```
def _convert_type_of_unit(value):
```

```
    if value == "Flat/Apartamento":
```

```
        return "1"
```

```
    elif value == "Casa":
```

```
        return "2"
```

```
    return ""
```

```
def _building_data(design):
```

```
    return {
```

```
        "typeOfUnit": _convert_type_of_unit(design.get("Tipo de unidade")),
```

```
        "averageUnitArea": design.get("Área média da unidade (m²)",
```

```
        "noOfBedrooms": design.get("Dormitórios/unidade (nº)",
```

```
        "noOfFloors": design.get("Pisos (nº)",
```

```
        "noOfUnits": design.get("Unidades (nº)",
```

```
        "occupancy": design.get("Ocupação (pessoas/unidade) (nº)",
```

```
    }
```

```
def _area_details(design):
```

```
    return {
        "bedroom2": design.get("Dormitório (m²)"),
        "kitchen2": design.get("Cozinha (m²)"),
        "living2": design.get("Sala de estar/de jantar (m²)"),
        "bathroom2": design.get("Banheiro (m²)"),
        "externalWallLength2": design.get(
            "Comprimento (metros) da parede externa/unidade"
        ),
        "roofArea2": design.get("Roof área/unidade (m²)"),
        "commomArea2": design.get("Common Area/Unit (m²)"),
    }
```

```
def _building_systems(design):
```

```
    return {
        "airConditioning": design.get(
            "O projeto do edifício inclui " "sistema de ar condicionado?"
        ),
        "spaceHeating": design.get(
            "O projeto do edifício inclui sistema de " "calefação dos ambientes?"
        ),
    }
```

```
def _key_assumptions_for_the_base_case(design):
```

```
    return {
        "fuelHotWater2": design.get("Combustível usado para aquecimento da água"),
        "fuelSpaceHeating2": design.get("Combustível usado para aquecimento ambiente"),
        "costElectricity2": design.get("Custo da eletricidade (R$/Kwh)"),
        "costDieselFuel2": design.get("Custo do diesel (R$/l)"),
        "costLPG2": design.get("Custo do GLP/gás natural (R$/l)"),
        "costWater2": design.get("Custo da água (R$/l)"),
        "coEmissionsElectricity2": design.get(
            "Emissões de CO2 da eletricidade (g/Kwh)"
        ),
        "jan2": design.get(""),
        "feb2": design.get(""),
        "mar2": design.get(""),
        "apr2": design.get(""),
        "may2": design.get(""),
        "jun2": design.get(""),
    }
```

```

    "jul2": design.get(""),
    "aug2": design.get(""),
    "sep2": design.get(""),
    "oct2": design.get(""),
    "nov2": design.get(""),
    "dec2": design.get(""),
    "latitude2": design.get("Latitude (grau)"),
}

def _income_category(category):
    return "Low" if category == "Baixo" else "High"

def _location_data(design):
    return {
        "country": design.get("País"),
        "city": design.get("Cidade"),
        "incomeCategory": _income_category(design.get("Categoria de renda")),
    }

for sheet_name in sheets:
    for row in _sheet_content(sheet_name):
        # process only material tab
        if row.get("Código EDGE"):
            data.update(_process(row))
        # process design tab
        elif row.get("Tipo de unidade"):
            data.update(_building_data(row))
        elif row.get("Dormitório (m²)"):
            data.update(_area_details(row))
        elif row.get("O projeto do edifício inclui sistema de ar condicionado?"):
            data.update(_building_systems(row))
        elif row.get("Combustível usado para aquecimento da água"):
            data.update(_key_assumptions_for_the_base_case(row))
        elif row.get("Categoria de renda"):
            data.update(_location_data(row))

req = Request(
    "https://app.edgebuildings.com/api/hometool?selectedLanguage=English",
    headers=headers,
)

```

```
response = urlopen(req, data=json.dumps(data).encode("utf-8"))
retorno = json.load(response)
print(
    "{materialsEfficiencyMeasuresVal_New} {materialsEfficiencyMeasuresText_New}".format_map(
        retorno
    )
)
```