

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

ALINE MEDEIROS FERREIRA DE ARAUJO

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DE CONSTRUÇÕES  
DURANTE A FASE PRÉ-OPERACIONAL COM AUXÍLIO DE  
FERRAMENTAS BIM**

CURITIBA  
2015

ALINE MEDEIROS FERREIRA DE ARAUJO

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DE CONSTRUÇÕES  
DURANTE A FASE PRÉ-OPERACIONAL COM AUXÍLIO DE  
FERRAMENTAS BIM**

Monografia apresentada ao curso de Pós Graduação em Construções Sustentáveis, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de especialista.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Fernando Tavares

CURITIBA  
2015

## FOLHA DE APROVAÇÃO

### AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DE CONSTRUÇÕES DURANTE A FASE PRÉ-OPERACIONAL COM AUXÍLIO DE FERRAMENTAS BIM

Por

Aline Medeiros Ferreira de Araujo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Construções Sustentáveis, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 06 de novembro de 2015, pela seguinte banca de avaliação:

---

Prof. Orientador - Prof. Dr. Sérgio Fernando Tavares  
UTFPR

---

Prof. Dr. André Nagalli  
UTFPR

---

Profa. Dra. Libia Patricia Peralta Agudelo UTFPR

## RESUMO

ARAUJO, Aline M. F. Avaliação do Ciclo de Vida Energético de Construções Durante a Fase Pré-operacional com Auxílio de Ferramentas BIM. 2015. 55 f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma importante ferramenta para analisar e quantificar os impactos causados ao meio ambiente a partir da existência de um produto ou serviço. Porém, devido a algumas características próprias, a ACV na indústria da construção civil possui certas peculiaridades. É fundamental que a ACV de uma construção seja realizada durante a etapa de pré projeto para que maiores impactos, causados por possíveis improvisos e desperdícios, sejam evitados. A Avaliação do Ciclo de Vida Energético consiste em um método de ACV que analisa os impactos com base na quantidade de energia consumida durante os processos. As fases do ciclo de vida energético de uma edificação podem ser classificadas como fase pré-operacional, na qual são contabilizados consumos de energia para transformação, fabricação e transporte de materiais e de pessoas que participarão de toda a construção, chamada energia embutida; fase de operação, que inclui energia consumida por equipamentos e manutenção durante a vida útil do edifício; e por fim, a fase pós-operacional que necessita de recursos para demolição e transporte de resíduos. O presente trabalho apresenta uma proposta de metodologia para calcular a energia embutida de uma edificação para a fase de pré-operação durante a elaboração de projetos, utilizando o software Revit Architecture, a fim de facilitar e melhorar o processo de seleção de materiais. A plataforma BIM atualmente visa reduzir retrabalhos, gerenciar de forma adequada informações de projetos, modelar e simular de forma eficiente o desempenho de construções do ponto de vista temporal, econômico e sustentável. O método proposto se mostrou viável e prático, uma vez que fornece de forma prática os resultados de energia embutida conforme se define materiais e configurações do modelo.

**Palavras chave:** Avaliação do Ciclo de Vida. Energia Embutida. *Building Information Modeling*.

## ABSTRACT

ARAUJO, Aline M. F. Building Energy Life Cycle Assessment during pre operational phase using BIM tools. 2015. 55 f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

The Life Cycle Assessment (LCA) is an important tool to analyze and to quantify environmental impacts about a product or service. Building LCA has its peculiarities due specific characteristics. It is essential that building LCA be made during the pre-design stage so that impacts caused by improvisations and materials waste could be avoided. The Energy Life Cycle Assessment is defined as a LCA method that analyzes the impacts based on energy consumption in the cycle. Building Energy LCA phases is classified as pre operation, which is the energy consumption on materials processing, manufacturing and transportation, and people transportation, call as embodied energy; operation phase, that is the energy consumed by equipment and maintenance during building life; and the post operation phase, that is the energy consumption in destruction and waste transport. This papers present a methodology to calculate the embodied energy of a building in pre - operation phase, using the Revit Architecture to improve material selection process. Today BIM aims to reduce rework, to properly manage project information, to model and simulate buildings performance about temporal, economic and sustainable perspective. The proposed method has proved as a feasible and practical tool, since it easily provides results about embodied energy, once materials and model settings are defined.

**Keywords:** Life Cycle Assessment. Embodied Energy. *Building Information Modeling*.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – FASES DE ACVE EM EMA CONSTRUÇÃO .....	17
FIGURA 2 – LISTA DE MATERIAIS BRASILEIROS E RESPECTIVOS DADOS DE ENERGIAS EMBUTIDAS .....	21
FIGURA 3 – PLANTA BAIXA DA CASA MODELADA PARA EXEMPLO.....	29
FIGURA 4 – CLASSIFICAÇÃO DE CATEGORIAS DE UM ELEMENTO NO REVIT	30
FIGURA 5 – VISTAS EM 3D DO MODELO CRIADO .....	31
FIGURA 6 – <i>LAYOUT</i> DO CAMPO DE PARÂMETROS COMPARTILHADO DO REVIT.....	32
FIGURA 7 – PROCESSO PARA CRIAÇÃO DE NOVOS PARÂMETROS DE TIPO	33
FIGURA 8 – NOVOS PARÂMETROS APRESENTADOS NAS PROPIEDADES DE TIPO NO REVIT .....	34
FIGURA 9 – EXEMPLO DE TABELA CRIADA PARA GERAR OS RESULTADOS DE EE TOTAL.....	38
FIGURA 10 – TABELAS GERADAS NO REVIT COM OS RESULTADOS DE EE PARA CADA ELEMENTO .....	41
FIGURA 11 – MODELO EXPORTADO DO REVIT PARA OPENSTUDIO SKETCHUP NO FORMATO IFC .....	44
FIGURA 12 – INFORMAÇÕES DO MODELO EXPORTADO EM FORMATO IFC ...	45
FIGURA 13 – MODELO EXPORTADO DO REVIT PARA OPENSTUDIO SKETCHUP NO FORMATO GBXML COMO AMBIENTE RENDERIZADO COMO SUPERFÍCIE.....	46
FIGURA 14 – MODELO EXPORTADO DO REVIT PARA OPENSTUDIO SKETCHUP NO FORMATO GBXML COMO AMBIENTE RENDERIZADO POR ZONAS TÉRMICAS E INFORMAÇÕES NO <i>OPENSTUDIO INSPECTOR</i> .....	47

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- DESCRIÇÃO DE ELEMENTOS E MATERIAIS DE CONSTRUÇÕES DEFINIDOS NO MODELO CRIADO. ....	29
QUADRO 2 – LISTA DE PARÂMETROS INSERIDOS NO REVIT E RESPECTIVOS SÍMBOLOS ADOTADOS.....	32
QUADRO 3 – ELEMENTOS (TIPOS) UTILIZADOS NO MODELO E PARÂMETROS DE ENERGIA CALCULADOS.....	37
QUADRO 4 – RESULTADOS GERADOS NA TABELAS.....	42

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	8
1.1	JUSTIFICATIVA .....	10
1.2	OBJETIVOS .....	11
1.2.1	Objetivo Geral.....	11
1.2.2	Objetivos Específicos .....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....	12
2.2	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	13
2.3	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES .....	17
2.3.1	Fase Pré-operação .....	18
2.3.2	Fase de Operação .....	21
2.3.3	Fase de Pós-Operação.....	24
2.4	BIM NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....	24
3	METODOLOGIA .....	28
3.1	CRIAÇÃO DE ELEMENTOS E ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAIS .....	29
3.2	INSERÇÃO DOS PARÂMETROS DE ENERGIA.....	31
3.3	ATRIBUIÇÃO E CÁLCULOS DOS PARÂMETROS DE ENERGIA.....	34
3.4	CRIAÇÃO DE TABELAS.....	37
3.5	PREPARAÇÃO DO MODELO PARA EXPORTAÇÃO DE COORDENADAS .....	38
4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	40
5	CONCLUSÃO .....	48
	REFERÊNCIAS.....	50



## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável tem como principal propósito fazer com que as necessidades das pessoas e do mundo sejam atendidas, sem que as necessidades das futuras gerações sejam comprometidas. Dentro deste contexto, nenhuma sociedade será capaz de alcançar o desenvolvimento sustentável sem que a construção civil, que lhe serve de suporte para quase todas as atividades, passe por drásticas transformações (JOHN, 2000).

Segundo Antón e Díaz (2014) os processos envolvidos na construção causam impactos ao meio ambiente devido ao consumo de recursos e emissões de poluentes. Aproximadamente 40% da energia consumida na União Europeia é utilizada pelo setor da construção. Além disso, esta indústria está sempre em expansão, e portanto, o consumo de energia cresce cada vez mais. A construção civil também consome aproximadamente 40% dos recursos naturais e também gera 40% dos resíduos do mundo todo. Outro aspecto importante de se analisar é que a construção civil é um importante mecanismo da economia, sendo estimado que este setor compreende em um décimo de toda economia global.

Apesar da importância da preocupação com o meio ambiente, o desempenho das construções vem sendo tradicionalmente avaliado em termos de qualidade, tempo e dinheiro. A análise de performance ambiental é relativamente nova, e por isso ainda apresenta grandes desafios de metodologia, limitando sua praticabilidade e confiabilidade. Os indicadores ambientais são estruturados para identificar o uso de recursos e consequentes impactos ao meio ambiente. Tais indicadores são designados a investigar processos e utilizar as informações para facilitar decisões. Algumas questões são comuns entre diversos setores da economia, como por exemplo emissão de CO<sub>2</sub>. Porém, as construções são um caso a parte em relação à avaliação dos impactos, devido ao seu elevado tempo de vida e suas múltiplas funções e especificações, o que requer um complexo conjunto de indicadores de emissão e consumo energético (SAADE, 2014).

Um projeto de arquitetura, engenharia e construção para ser considerado sustentável deve ser minucioso, com uma maior atenção na fase inicial uma vez que as decisões feitas nesta etapa têm influência significativa no projeto como um todo. Ao mesmo tempo, todo o ciclo de vida da construção deve ser considerado. É essencial enxergar a construção sustentável não como uma tendência complicada e

cara, e sim como uma forma integrada de projeto, no qual todos os componentes são vistos de forma holística e não individualmente. Pode-se dizer que um projeto integrado é o fator chave para atingir a sustentabilidade (ANTÓN; DÍAZ, 2014).

A indústria da construção civil é considerada o setor com menor investimento em pesquisas e desenvolvimento. Este fato naturalmente dificulta qualquer forma de melhoria e evolução tecnológica. As pequenas e médias empresas constituem a maior parte da indústria da construção, enquanto que as grandes companhias são as que possuem mais recursos para pesquisas. A criação de alianças provisórias em projetos individuais também é um fator que dificulta a aplicação de novas metodologias de projetos e construção (ANTÓN; DÍAZ, 2014).

De acordo com Basbagill et al. (2013), diversas pesquisas mostram que o quanto antes decisões são feitas em um projeto da construção civil, e quanto menores forem as mudanças realizadas a respeito destas decisões em fases mais avançadas do projeto, maior será o potencial de redução dos impactos ambientais causados pela edificação. A energia incorporada em uma edificação abrange elementos como matérias primas e seus respectivos processos energéticos de produção e transformação em materiais de construção, assim como todo combustível consumido para realizar as atividades necessárias na construção, pode ser particularmente significativa. Ou seja, escolher materiais com baixa energia incorporada pode impactar de forma expressiva na redução de impactos em todo ciclo de vida da construção.

Uma vez que a preparação de dados necessários em análises energéticas e de ciclo de vida no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) é bastante extensiva, este processo normalmente é realizado por engenheiros especialistas ou grupos de pesquisadores, ao final do projeto, a fim de validar o as decisões dos projetistas ou comprovar requisitos legais necessários para licenças. Por outro lado, o uso de simulações energéticas avançadas durante o processo de criação auxiliar na melhor compreensão dos possíveis problemas do projeto em relação à energia, impactos ambientais, qualidade do ar no ambiente interno, conforto térmico, desempenho acústica, entre outras questões. Os múltiplos fatores de influência e complexas inserções de dados necessários para este tipo de simulação inibem que estas ações sejam tomadas durante os projetos (EASTMAN et al., 2011).

O *Building Information Modeling* (BIM) fornece diversos recursos para auxiliar e facilitar a aplicação de processos complexos e trabalhosos na área de AEC.

Segundo Marcos (2009) as ferramentas BIM representam uma nova geração de instrumentos orientados à gerenciar informações da construção no ciclo de vida do projeto, iniciando assim um novo desafio a ser explorado por profissionais da área em relação à colaboração, interoperabilidade e melhor proveito de informações, visando maior competitividade, eficiência e melhoria contínua no desenvolvimento de projetos.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O uso da água, energia e outros recursos naturais pela indústria de materiais de construção civil, assim como pela própria construção e operação de casas e edifícios, é responsável por uma parcela dominante dos impactos ambientais causados pela sociedade (BUENO et al., 2013).

Em relação à análise sustentável e ambiental de sistemas construtivos é importante identificar os procedimentos e origens dos elementos que os compõem. A avaliação da sustentabilidade de materiais deve evitar conceitos vagos e subjetivos, de forma que tais avaliações possam servir de parâmetros para utilização. O simples julgamento da sustentabilidade de produtos deve ser evitado, uma vez que há uma série de itens e critérios a serem seguidos de forma complexa para uma correta avaliação. Uma adequada seleção de materiais é fundamental, tal como o correto detalhamento do projeto, que resultará em impactos menores e maior benefício social. Por isso ferramentas de seleção são importantes e devem ser desenvolvidas (MACEDO, 2011).

Através da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de edificações, as empresas, governos e organizações estão sendo capazes de identificar oportunidades, planejar e estabelecer melhores estratégias para o setor da construção civil. Desta forma, torna-se viável a melhoria dos aspectos ambientais das construções, possibilitando a definição de prioridades e seleção de materiais e fornecedores adequados (SILVA, 2012).

Atualmente é imprescindível o desenvolvimento de métodos para avaliar os impactos ambientais causados pela indústria da construção civil através do conceito da ACV, com o auxílio de novas tecnologias. De acordo com Cervantes (2009), ao utilizar ferramentas BIM é possível acessar conjuntos de informações necessárias

para a análise de parte do ciclo de vida de uma edificação, ainda nas fase iniciais do projeto, o que possibilita a avaliação instantânea dos resultados e possíveis impactos causados pelas escolhas da equipe que está modelando a edificação.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho visa propor uma metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida Energética (ACVE) para a fase pré-operacional de edificações no Brasil com o auxílio do software Revit Architecture, para quantificar valores de energia embutida nos materiais selecionados durante a fase de projeto.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a importância de se fazer Avaliação do Ciclo de Vida Energético durante a fase de projeto de uma edificação e como a plataforma BIM pode contribuir para isto;
- Testar a viabilidade de aplicação da metodologia proposta e identificar suas facilidades, dificuldades, aspectos positivos e negativos;
- Apresentar os resultados quantitativos calculados para o modelo utilizado como exemplo e identificar as principais vantagens do método proposto;
- Indicar como um modelo criado no Revit Architecture pode ser preparado e exportado para posterior simulação do consumo energético de toda fase de operação do edifício.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Avaliação de ciclo de vida pode ser compreendida como uma análise sistemática dos impactos ambientais resultantes de serviços e produtos. (HORNE; GRANT; VERGHESE, 2009). De acordo com Grann (2012), o objetivo da avaliação de ciclo de vida é promover uma visão holística de uma análise ambiental, levando em consideração todas as fases de um produto, serviço ou sistema produtivo, desde a fase de transformação da matéria prima, fabricação, uso até a disposição final ou reciclagem.

Segundo Sonnemann et al. (2003 *apud* MACEDO, 2011), a avaliação do ciclo de vida teve sua origem na década de 60 nas análises de embalagem de refrigerante que visavam identificar quais delas produziam menor impacto ambiental. Em 1974, as análises foram aprimoradas e este trabalho se tornou a primeira referência de ACV.

A ACV é baseada em um sistema de análise simplificado, porém, esta simplificação consiste em uma extensa linearização de fatores. Fazer interconexões entre as partes do ciclo de vida de um produto que existe na realidade gera relações extremamente complexas em uma modelagem, tornando-a mais difícil de lidar. Existem diversas possibilidades de trabalhar com as informações entrelaçadas e com os desvios da estrutura linear da análise, como por exemplo, através de abordagens interativas ou matrizes numéricas (KLOPFER, GRAH, 2014).

A ACV atualmente está dentro do escopo de trabalho do Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP), que trabalha com a Iniciativa de Ciclo de Vida (*Life-Cycle Initiative*). A União Europeia criou um projeto chamado Plataforma Internacional do Ciclo de Vida, na qual o Brasil tem participação, e que visa padronizar as informações dos produtos e possibilitar o compartilhamento. Os países da Europa se encontram em um estágio em que o conceito de ACV já está difundido e portanto, apresentam exigências compatíveis em relação aos produtos a serem importados por eles. Desta maneira, pode-se perceber que as iniciativas em ACV no Brasil estão sendo impulsionadas principalmente pelas exportações, ou seja, o desenvolvimento é mais forte nos setores de produtos passíveis de

exportação, como por exemplo, a siderurgia, manufatura em madeira, biocombustíveis entre outros (MACEDO, 2011).

A partir do crescente interesse a respeito das questões ambientais em diversos países foi implementado pela *International Organization for Standardization* (ISO) um comitê especial para elaborações de normas ambientais, denominado ISO/TC 207, que por sua vez deu origem a diversos subcomitês, dentre eles, o SC5, o qual trata das normas de ACV (OLIVEIRA, 2007).

A série ISO 14000 trata de normas de gestão ambiental que estabelecem diretrizes para as empresas. Dentro desta série, foram criadas as NBRs ISO 14020, 14021, 14024 e 14025 que abordam a rotulagem ambiental para orientação dos Selos Verdes, com conceitos, definições e tipologias de rotulagens. Em especial, a NBR ISO 14025/2006 define a Rotulagem Ambiental Tipo III, a qual exige a utilização de ACV para certificar procedimentos do ciclo de vida do produto. Por sua vez, o conjunto de normas brasileiras que trata de procedimentos e técnicas de ACV engloba principalmente as ABNT NBR ISO 14040 e 14044, ambas revisadas em 2009 (MACEDO, 2011).

Conforme a ABNT NBR ISO 14040, a Avaliação do Ciclo de Vida é uma técnica de análise de materiais e processos que aponta os potenciais impactos ambientais. Ciclo de vida são os estágios sucessivos e encadeados de um produto. Em cada um dos estágios são contabilizadas as entradas e saídas de materiais, energia, produtos e emissões.

A NBR ISO 14040 define o método de ACV que analisa todas as fases do produto e todos os processos interativos que o compõe, estruturado em quatro categorias, conforme é explicado por Saade (2014):

- Objetivo e Escopo: fase em que são definidos os propósitos do estudo;
- Análise do Inventário: delimitar e quantificar as entradas e saídas do sistema;
- Avaliação do Impacto: compreender e analisar a magnitude e significância dos potenciais impactos ambientais;
- Interpretação: quando os resultados das análises são apresentados.

## 2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A indústria da construção civil é uma das maiores responsáveis pelos impactos ambientais gerados atualmente, uma vez que esta produz os artefatos com as maiores dimensões físicas do planeta. A cadeia produtiva das construções gera impactos em todos os processos envolvidos: desde a extração de matéria-prima, transformação e fabricação de materiais, ocupação e modificação de terrenos, construção, uso da edificação e demolição, considerando também dentro desse aspecto o consumo de energia e água em todas as etapas, além de todos os resíduos gerados (OLIVEIRA, 2007).

Segundo Oliveira (2007), a ACV pode ser entendida como um procedimento sistemático que tem a finalidade de mensurar os impactos que determinado produto causa ao meio ambiente e sobre a saúde humana. São considerados aspectos que englobam dados desde a produção até sua disposição final. Em cada etapa da ACV os efeitos relacionados ao meio ambiente são ponderados em forma de variáveis de entrada (*input*) e saídas (*output*). Na avaliação do ciclo de vida de um produto da construção civil, em cada uma das fases do desenvolvimento haverá uma quantidade de fluxos de recursos consumido, dos resíduos gerados e materiais reciclados ou reutilizados em outra linha de produção. Após a quantificação destes fluxos, uma grande quantidade de dados é gerado, tornando-se necessário o uso de ferramentas computacionais com banco de dados para gerenciar tais informações.

Do ponto de vista ambiental, a ACV fornece um inventário completo sobre massas e fluxos de energias para cada sistema e permite que sejam realizadas comparações destes balanços em formas de impactos gerados. A avaliação do ciclo de vida em construções inclui a produção de materiais de construção, operação, manutenção, desconstrução e gerenciamento dos resíduos. Portanto, a metodologia de ACV pode ter grande importância para os métodos de análises ambientais de edifícios (BUENO; ROSSIGNOLO; OMETTO, 2013).

A ACV é comumente utilizada em setores como da indústria automotiva, equipamentos de manufatura e em desenvolvimento de produtos de consumo. Ao comparar tais produtos com edificações, é possível perceber que a construção civil possui características únicas, como o tempo de vida, que pode ser calculado em décadas, suas múltiplas funções, e alocação em um único local. Devido a estes fatores, a adoção de métodos de ACV em projetos de arquitetura, engenharia e construção tem sido limitada. Os métodos tradicionais de ACV exigem grandes esforços e longo período de tempo para ser realizados. As dificuldades em se aplicar

ACV na indústria de AEC incluem desde a obtenção de dados a respeito dos impactos ambientais causados, fluxos de materiais e definições das fronteiras do sistema (BASBAGILLA et al., 2013).

A indústria da construção como um todo está claramente cada vez mais voltada para a sustentabilidade, porém alguns aspectos têm um peso maior que outros a respeito disso. Um fator distinto é que cada projeto é único e possuem características próprias. Tais características estão relacionadas a condições específicas, ou seja, necessidades individuais de cada cliente, localizações em que está inserida, entre outras. Consequentemente o produto tem que ser flexível, de forma que a performance possa ser melhorada através de simples modificações. De fato, entre todas as diferentes fases do ciclo de vida de uma construção, a fase de projeto é a que possui maior potencial por influenciar e agregar valor à edificação. Uma vez que a construção já tenha sido iniciada, o projeto como um todo perde grande parte de sua flexibilidade e apenas pequenas alterações são possíveis, o que representam altos custos financeiros (ANTÓN; DÍAZ, 2014).

Com a finalidade de minimizar as dificuldades de se aplicar a metodologia convencional de ACV na indústria da construção civil, Chevalier e Le Teno (1996 apud BUENO; ROSSIGNOLO; OMETTO, 2013) propuseram requisitos especiais para este processo: definir de forma concisa as regras para estabelecer as fronteiras de entradas e saídas; descartar o pressuposto de acurácia e exatidão nas análises; documentar a qualidade dos dados e relações entre eles; utilizar um programa de computador para auxiliar o processo.

Segundo Saade (2014), dentro do CEN-TC350 (*European Committee for Standardization, Technical Committee 350*), o qual se dedica a desenvolver padrões sustentáveis para o setor da construção, publicou o EN 15978, que estabelece uma estrutura para as informações da Avaliação do Ciclo de Vida nas construções. Segundo a EN 15978, os impactos são distribuídos em quatro fases: produção de materiais, processo de construção, uso e desconstrução. O limite do sistema faz a interface entre a construção e o meio. Todos os aspectos e resultados dependem da abordagem adotada na definição dos limites, por exemplo, fase da produção (do berço ao portão); construção (do berço à entrega); manutenção, reparos e substituições (do berço ao uso); e fim da vida dos produtos (do berço ao túmulo). Neste sentido, os impactos podem ser determinados como parte, ou módulo de ciclo de vida, das cargas ambientais da construção.



Silvia (2007 apud SAADE, 2014) mostra que os estudos brasileiros que têm como finalidade definir indicadores de sustentabilidade para o setor da construção são consideravelmente variáveis e definidos por critérios e metodologias que não são necessariamente replicáveis. Porém as definições destes indicadores e cálculos também variam ao redor do mundo. Alguns indicadores apresentam questões conceituais que ainda devem ser resolvidas, como o caso da emissão de carbono, por exemplo. Embora a categoria da mudança climática, expressa em termos correspondente de potencial de aquecimento global, esteja bem estabelecida no campo da ACV, a percepção sobre o potencial de contribuição dos materiais de construção e a própria edificação como um todo para o aquecimento global pode variar consideravelmente.

Diversos softwares vem sendo desenvolvidos como ferramentas para auxiliar na tomada de decisões em relação a produtos e serviços sustentáveis. Um programa muito conhecido para estudiosos da área como instrumento de apoio à decisão, desenvolvido especificamente pela SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) é o *Building for Environmental and Economic Sustainability* (BEES, versão 3.0). Porém, o BEES foi desenvolvido nos Estados Unidos, e portanto, não possui aplicabilidade direta para as condições de países com realidades tão diferentes como é o caso do Brasil (OLIVEIRA, 2007).

O software BEES, assim como diversos outros programas já existentes utilizam diversos tipos de impactos ambientais para definir a metodologia de ACV em construções e como forma de mensurar e comparar os resultados obtidos. Entre os diferentes indicadores utilizados, pode-se citar: Potencial de Aquecimento Global, Potencial de Acidificação, Potencial de Eutrofização, Depleção de Combustíveis Fósseis, Alteração de Habitats, Critério de Poluição do Ar, Saúde Humana, Depleção da Camada de Ozônio, Smog, Toxicidade Ecológica, entre outros (LIPPIATT, 2002).

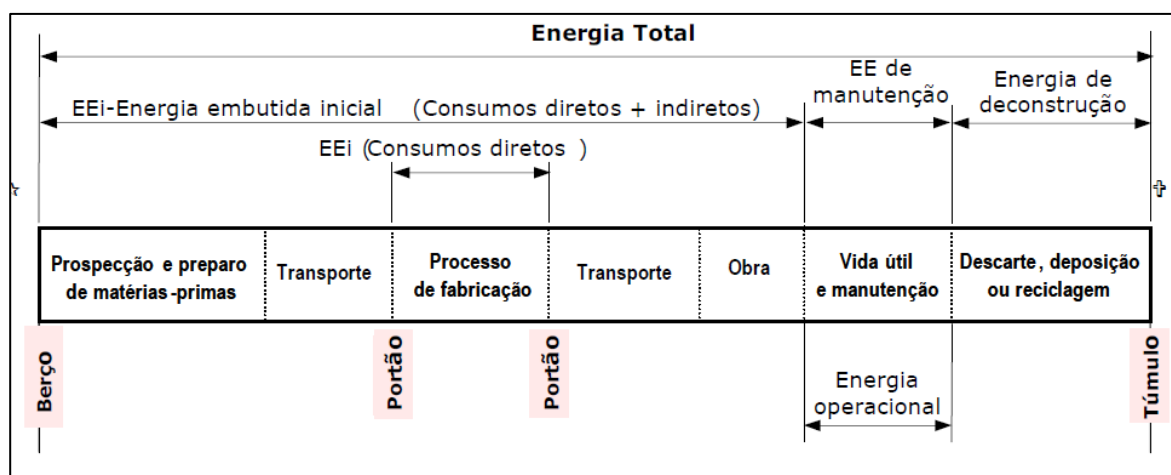
Macedo (2011) cita também outros critérios ambientais de análise de impactos, muito comumente utilizados pelos certificadores ambientais de edificações, como: Consumo de Recursos Hídricos, Potencial de Reciclagem, e o conceito de Energia Incorporada. Este último será mais amplamente detalhado e aprofundado mais especificamente no presente trabalho.

## 2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES

Análise do Ciclo de Vida Energético é uma maneira simplificada de ACV e avaliar os impactos ambientais, porém significativa. Esta análise tem base da norma ISO 14040, mas é realizada priorizando o inventário de dados de consumo de energia que fazem parte do ciclo de forma direta e indireta. Através da ACVE também é possível perceber os impactos ambientais causados e por ter uma estrutura mais simplificada, demanda menor custo e menos esforço para ser executada (TAVARES, 2006).

Segundo Bueno (2010) o ciclo de vida de um edifício inclui a fabricação de materiais de construção, a própria construção em si, fase de operação, manutenção, desmontagem e gestão de resíduos. Todas as fases devem ser consideradas em uma ACV completa.

A Figura 1 ilustra as diferentes fases de uma ACVE descritas por Tavares (2006).



**Figura 1 – Fases de ACVE em uma Construção**  
Fonte: Tavares (2006)

A soma dos requisitos energéticos de todo sistema é a Energia Total no ciclo de vida energético. A ACVE pode ser separada em várias etapas que avaliam todos os processos desde o berço ao túmulo, segundo a terminologia da ISO 14040.

A Energia Embutida (EE) inicial é entendida como a associação de todos os insumos energéticos necessários para extrair matéria prima, beneficiar, fabricar e transportar produtos e materiais que serão utilizados na construção, incluindo

transporte até o canteiro de obras, e finalmente a energia despendida na obra propriamente dita. Além da EE, também há um grande consumo de energia por parte dos equipamentos usados durante toda vida útil da edificação, a chamada Energia Operacional. Esta energia de operação inclui todos os gastos energéticos para realizar atividades de iluminação, cocção, entretenimento, climatização, entre outros (TAVARES, 2006).

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN, 2014) com ano base de 2013 as residências foram responsáveis por 9,1 % de toda energia consumida no Brasil. Já segundo Silva (2012), a Pesquisa de Posses e Hábitos de Consumo de Energia (PPH), com ano base de 2005, indicou que 10,5% dos lares brasileiros possuíam pelo menos um aparelho de ar condicionado.

É importante considerar também a energia utilizada na execução de reformas e manutenções que ocorrem no decorrer do tempo, incluindo a Energia Embutida dos materiais utilizados nesta etapa, que pode ser denominada como Energia Embutida de Manutenção ou Energia Recorrente. Por fim, há a Energia de Desconstrução, que contabiliza o consumo na etapa final do ciclo, com descarte, deposição e/ou reciclagem dos resíduos, considerando insumos diretos para desconstrução ou demolição, transporte de materiais e pessoas. Vale citar que se os materiais forem reaproveitados ou reciclados para outra construção, irão agregar valor na ACV dos novos edifícios (TAVARES, 2006).

### 2.3.1 Fase Pré-operação

Segundo Mateus (2004 apud MACEDO, 2011) a energia embutida primária ou incorporada pode ser definida como o inventário energético do material ao longo de sua vida útil. Este inventário apresenta os dados em unidade energética por unidade de massa (MJ/kg) ou por unidades de volume (MJ/m<sup>3</sup>).

De acordo com Tavares (2006), toda atividade de transporte ou transformação de materiais requer alguma forma de energia. É fundamental a compreensão dos fluxos de energia para entender como os recursos energéticos são consumidos. Uma análise energética consiste na determinação, de forma sistemática, da energia necessária para a produção de um bem ou serviço. Esta análise é complexa e fundamental para definir os limites do sistema da produção do produto.

A energia que é consumida no transporte de materiais, resíduos e até mesmo na mão-de-obra está diretamente relacionada com o local e a distância geográfica entre a origem e o destino. As obras que se encontram mais próximas dos centros produtores de materiais de construção apresentam parcelas de energia de transporte menores que as que se encontram mais distantes. O mesmo se aplica à distância em relação as residências dos trabalhadores. O veículo que é utilizado, tipo de combustível, condições de trânsito e condições das vias também são fatores que possuem grande influência nesta questão energética. Outro fator a ser contabilizado na fase pré-operacional é a questão do transporte do desperdício, que inclui os materiais em excesso na obra, ou materiais estragados e/ou inutilizados, devido ao armazenamento incorreto ou falta de planejamento (SILVA, 2012).

Tavares (2006) obteve valores de energia embutida em materiais de construção brasileiros através de análises de processos e análises estatísticas. Os resultados encontrados estão apresentados na Figura 2 apresentada a seguir.

<b>MATERIAIS</b>	<b>(<sup>2</sup>) EE (MJ/kg)</b>	<b>EE (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>(<sup>3</sup>) Desperd. %</b>	<b>(<sup>4</sup>) Dens. (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Aço - chapa galvanizada	33,80	265330,00		7850
Aço - chapa dobrada	30,00	235500,00		7850
Aço - laminado CA 50A <sup>(1)</sup>	30,00	235500,00	10	7850
Aço - reciclado	12,50			
Acrílico	80,00			
Água	0,02	20,00		1000
Alumínio lingote <sup>(1)</sup>	98,20	265140,00		2700
Alumínio anodizado	210,00	567000,00		2700
Alumínio reciclado - extrudado	17,30			
Alumínio reciclado - anodizado	42,90			
Areia	0,05	75,75	50	1515
Argamassa - mistura	2,10	3906,00	40	1860
Asfalto	51,00	107865,00		2115
Batente - madeira aparelhada	3,50	2100		600
Borracha natural - latex	69,00	63480,00		920
Borracha sintética	135,00	160650,00		1190
Brita	0,15	247,50	40	1650
Cal virgem	3,00	4500,00	50	1500
Carpete	50,00		15	
Cêra	52,00			
Cerâmica - azulejo	6,20	12400,00		2000
Cerâmica - bloco de 8 furos <sup>(1)</sup>	2,90	4060,00	15	1400
Cerâmica - branca	25,00	52075,00	5	2000
Cerâmica - piso esmaltado	5,00	10000,00		2000
Cerâmica - revest, biqueima	6,20	12400,00		2000
Cerâmica - revest, monoqueima <sup>(1)</sup>	5,10	10200,00	15	2000
Cerâmica porcelanato	13,00	27300,00	15	2100
Cerâmica - refratária	32,40			
Cerâmica - telha	5,40	10260,00		1900
Chapa de compensado	8,00	4400,00	15	550
Chumbo lingote	21,00	238140,00		11340
Cimento Portland <sup>(1)</sup>	4,20	8190,00	40	1950
Cobre	75,00	669975,00		8933
Concreto armado	3,10			
Concreto bloco	1,00	2000,00	15	2000
Concreto simples	1,20	2760,00	10	2300
Dobradiça - ferro	40,00	314800,00		7870
Fechaduras	55,00	467500,00		8500
Ferro fundido	32,80	246000,00		7500
Fibra de vidro	24,00	768,00		32
Fibrocimento - telha	6,00	11520,00	10	1920
Fio termoplástico	83,00	201690,00	25	2430
Gesso	4,00	3200,00		800
Gesso acartonado	6,10			
Granito - aparelhada	2,00	5400,00		2700
Lã mineral	19,00	2090,00		110
Latão	80,00	682400,00		8530
Madeira - aparelhada seca forno	3,50	2100,00	15	600
Madeira - aparelhada seca ar livre	0,50	300,00	15	600
Madeira - laminada colada	7,50	4875,00	15	650
Madeira - MDF	9,00	9000,00	15	1000
Mármore	1,00	2680,00		2680
Marmorite	0,48			
Palha	0,24	31,20		130
Papel <sup>(1)</sup>	18,54	17242,20		930

Papel kraft	37,70			
Papel de parede	36,40			
Placa de gesso	4,50	4500,00	35	1000
Poliamida - nylon	125,00	143750,00		1150
Poliestireno expandido	112,00	6160,00		55
Poliétileno de alta densidade	95,00	90250,00		950
Polipropileno	83,80	92180,00		1100
Poliuretano - espuma	74,00	2590,00		35
Porta - madeira aparelhada	3,50	2275,00		650
Prata	128,20	1346100,00		10500
Selante - formaldeído	80,00	120000,00		1500
Solo-cimento - bloco	0,60	1020,00		1700
Solvente - tolueno	67,90	74690,00		1100
Telha de vidro	23,13	55512,00		2400
Tinta acrílica	61,00	79300,00	15	1.3 kg/l
Tinta óleo	98,10	127530,00	15	1.3 kg/l
Tinta PVA latex	65,00	84500,00	15	1.3 kg/l
Torneiras e registros	95,00			
Tubo - PVC	80,00	104000,00	17	1300
Tubo de ferro galvanizado	33,80			
Vermiculita	1,37	167,14		122
Vidro plano	18,50	46250,00	5	2500
Vidro - blindex	26,20			
Vinil	47,00			
Zinco	51,00	364140,00		7140

**Figura 2 – Lista de Materiais brasileiros e Respetivos Dados de Energias Embutidas**  
**Fonte: Tavares (2006)**

### 2.3.2 Fase de Operação

Sartori e Hestnes (2006) desenvolveram um estudo com dados de 60 ACVs de diferentes edificações, localizados em diversas regiões do mundo e concluíram que a energia de operação representa a maior parcela de toda energia consumida em todo ciclo de vida. Os autores afirmam que existe uma relação linear entre a energia operacional e a energia total em uma edificação, independente das condicionantes climáticas e outros fatores contextuais. Outro fato relevante identificado na pesquisa é que projetos com baixos consumos energéticos operacionais também tendem buscar por materiais com menores energia embutida.

Ações como utilizar técnicas arquitetônicas adequadas, atentar sobre as especificações de materiais e produtos eficientes energeticamente e aderir critérios racionais de projeto, possibilitam significativas reduções no consumo energético de uma edificação. Combinando isto ao uso equipamentos eficientes, é possível intensificar a redução no consumo de energia e ainda atender a perfeitas condições de conforto ambientais para os usuários (LAMBERTS et al., 2007).

Antes de surgir no mercado o condicionador de ar, as técnicas construtivas variavam conforme o clima local, como por exemplo, os climas quentes e úmidos das florestas tropicais, ou quente e seco dos desertos, ou ainda o clima frio e seco percebidos nos polos. Eram utilizados os recursos disponíveis em cada local para favorecer as condições de conforto térmico no ambiente construído. Porém nas últimas décadas, com os avanços do desenvolvimento do ar condicionado, houve certa tendência em se atentar cada vez menos aos elementos e materiais de fechamentos dos espaços, uma vez que é possível instalar poderosos equipamentos que condicionam o ar para garantir o conforto em um ambiente. O problema é que muitas vezes não eram levados em consideração os custos operacionais destes equipamentos (BULLA, 1995).

A partir da necessidade crescente de informações sobre o desempenho de produtos e técnicas construtivas, diversos países instituíram regulamentos para desempenho térmico e energético já antes da década de 90. No Brasil, o desenvolvimento da primeira norma de desempenho térmico para edifícios ocorreu em 2005, com a NBR 15220 (ABNT), a qual determina critérios conforme os parâmetros adequados à realidade do país. Porém a NBR 15220 se restringiu apenas para edificações unifamiliares de interesse social e, portanto, uma nova norma foi elaborada para estabelecer requisitos de desempenho para edificações residências. A primeira versão da NBR 15575 foi publicada em 2008, após revisões, a versão final da norma entrou em vigor em julho de 2013. A norma em questão engloba requisitos mínimos de desempenho térmico, acústico, lumínico e de durabilidade (SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2014).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) institui três procedimentos para análise do desempenho térmico das edificações: o procedimento simplificado, no qual verifica-se o atendimento dos requisitos para fachadas, coberturas, sistemas de vedação e cobertura; o método de medição, feita na própria edificação ou em protótipos construídos; e o método de simulação, que é realizado através de simulação computacional para verificação do atendimento dos critérios de desempenho.

A norma NBR 15575 recomenda o emprego do programa EnergyPlus para a realização de simulações computacionais ou então softwares que sejam validados pela ASHRAE Standard 140 (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) que possuam as características básicas, como por exemplo, reconhecer o levantamento de informações climáticas, sobre a edificação e

propriedades físicas dos materiais componentes, e que sejam capazes de determinar os ganhos de calor por radiação solar, por condução, por fontes de calor interna, por trocas de massa de ar e definir as cargas térmicas de condicionamento e/ou das temperaturas ambiente.

O EnergyPlus é um software gratuito escrito em linguagem Fortran 90, desenvolvido pelo DOE (*The Department of Energy*) nos Estados Unidos, com base nos programas BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e DOE-2, ambos desenvolvidos no início dos anos 80. O software é uma ferramenta de simulação higrotérmica que permite estimar trocas térmicas a partir das propriedades do sistema construtivo aplicado, dados climáticos da região, padrões de uso e consumo do ambiente e equipamentos para determinar o consumo energético de equipamentos, sistemas de ar condicionado e fluxos de energia (GOMES, 2010).

Segundo Lamberts et al. (2010), o EnergyPlus possui uma simulação diferenciada que permite o cálculo de infiltração de ar para cada zona térmica, cálculos de índices de conforto, escolha de intervalos de tempo pelo usuário, entre outros. Os resultados obtidos pelo programa são diversos dados referentes a temperaturas internas e superficiais, ganhos internos de calor, trocas de ar e consumo energético.

Em sua pesquisa, Gomes (2010) utiliza o método BEStest (*Building Energy Simulation test*) para validar o software EnergyPlus ao comparar seus resultados com simulações de diversos programas semelhantes. O método BEStest foi adotado pela ASHRAE Standard 140 como norma para validação de programas de simulação de desempenho. Os resultados obtidos também foram comparados com medições *In situ* para os casos aplicados.

Desta maneira, a ACVE e a norma de desempenho ABNT NBR 15575 se tornam elementos complementares, uma vez que o desempenho prescrito na norma pode alimentar os parâmetros entre os sistemas analisados na ACV, ao tempo que a ACV pode ser um método de análise de adequação à norma. A NBR 15575 prevê a ACV como instrumento de avaliação ambiental e recomenda a utilização de inventários para avaliação de sistemas construtivos. A ACVE é uma ferramenta que compara sistemas ou materiais que exercem a mesma função, cujas substituições possam ser realizadas sem prejuízos de desempenho definidos previamente. Desta



forma, os critérios de desempenho mínimos exigidos pela NBR podem servir como parâmetros de unidades funcional da ACVE (MACEDO, 2011).

### 2.3.3 Fase de Pós-Operação

A fase pós-operacional do ciclo de vida de uma construção se inicia no momento em que a edificação é considerada como não adequada aos usos e desempenho necessários, sendo então iniciado o processo de desconstrução. O consumo de energia durante esta fase ocorre principalmente pela utilização de máquinas e equipamentos no processo de demolição e/ou desconstrução, devido ao transporte de pessoas que realizarão tais atividades ou transporte do resíduos até seu local de disposição final ou reutilização (TAVARES, 2006).

De acordo com Silva (2012) o destino final dos materiais de demolição tem grande influência na quantificação de energia despendida nesta etapa. Se existe perspectivas de reuso dos materiais, sem que estes sejam novamente processados, a fase de desconstrução tende a consumir mais energia devido ao maior esforço e maiores cuidados necessários para que a edificação seja desconstruída sem danificar os materiais em questão. Por outro lado, nos casos em que os materiais são reciclados, ou seja, sofrem processos de transformação para posterior utilização, o consumo energético durante a fase de desconstrução tende a ser menor. Porém, ao serem utilizados os materiais proveniente de reuso ou reciclagem na construção de uma nova edificação, tais processos contribuirão para a redução da energia embutida na fase pré-operacional desta nova edificação. Por isso também é fundamental que materiais passíveis de serem reutilizados tenham certa prioridade durante a seleção de materiais na fase inicial do ciclo de vida.

## 2.4 BIM NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

*Building Information Modeling* (BIM) é um dos avanços mais promissores na indústria de arquitetura, engenharia e construção (AEC). Com a tecnologia BIM é possível criar modelos virtuais de edificações de forma extremamente acurada. Quando prontos, estes modelos gerados contêm geometrias precisas e dados necessários para representar e auxiliar na construção, fabricação e aquisição de produtos para a edificação. O BIM também proporciona diversas funções

necessárias na modelagem de todo ciclo de vida de uma edificação, fornecendo a possibilidade de novos designs e mudanças no projeto. Quando adotado de forma adequada, os sistemas BIM facilitam a realização de projetos e processos mais integrados, resultando em melhores edificações, com qualidades ideais, menores custos e duração de projetos reduzida (EASTMAN et al., 2011).

O uso da plataforma BIM vem sendo crescente pelos projetistas, principalmente devido suas vantagens em representação gráfica e também pelas facilidades concedidas durante a fase inicial do projeto. Em relação à ACV de uma edificação, o ideal é que esta seja realizada na fase de projeto, quando o número de alternativas de design é grande, pois ainda não está totalmente definido, sendo assim, o potencial de redução de impactos pode ser enorme. A partir disto a utilização de métodos computacionais que integrem os softwares BIM com a Avaliação do Ciclo de Vida e também com programas de simulações energéticas pode ser muito útil, e isso se torna possível através da interoperabilidade (BASBAGILLA et al. 2013).

Interoperabilidade pode ser entendida como a habilidade de se transmitir dados entre diferentes aplicativos, facilitando de forma automatizada os fluxos de trabalho e eliminando a necessidade de réplica de informações já fornecidas anteriormente (EASTMAN et al., 2011).

Para uso eficiente da interoperabilidade nas informações dos modelos de edificações é fundamental a utilização de um padrão entre as tarefas interligadas do projeto. O principal modelo de referência para este padrão é o *Industry Foundation Classes* (IFC). Este formato permite a troca de informações entre diferentes softwares BIM, que serão utilizadas em diferentes áreas de projeto (ANDRADE; RUSCHEL, 2009).

Um dos maiores desafios da indústria da construção civil é se beneficiar a partir de conhecimentos e tecnologias que visam o desenvolvimento sustentável. ACV e BIM são ferramentas ideais para alcançar esse propósito. Serviços ambientalmente corretos necessitam do auxílio de ferramentas mais colaborativas e o BIM pode contribuir para a melhoria da comunicação e colaboração entre os diferentes atores envolvidos em um projeto (ANTÓN; DÍAZ, 2014).

Existe uma vantajosa sinergia entre BIM e construções sustentáveis, uma vez que sustentabilidade depende de um modelo integrado e visão global do projeto, portanto, devido a suas características particulares, o BIM facilita tais processos.

Sistemas em BIM fornecem meios de acurar e facilitar os fluxos de informações nos projetos, a fim de alcançar melhores performances e maior qualidade. Ao fornecer suporte para trabalhos colaborativos entre todos os envolvidos em um projeto, durante a fase de pré-projeto, erros futuros, custos e retrabalhos desnecessários podem ser reduzidos e evitados. Os modelos em BIM fornecem dados estruturados que também podem ser muito úteis para processos da industrialização da construção, como por exemplo, a pré-fabricação (ANTÓN; DÍAZ, 2014).

A modelagem em BIM traz impactos positivos nos três pilares da sustentabilidade. Economicamente falando, tais ferramentas podem reduzir custos através do melhor gerenciamento de informações, redução de algumas atividades meramente mecânicas, que dispendem de grandes períodos de tempo para serem realizadas, ou ao evitar retrabalhos desnecessários, aumentando desta forma a eficiência dos projetos e consequentemente estimulando a concorrência. Do ponto de vista dos aspectos sociais, a plataforma BIM facilita análises e simulações de diversos parâmetros, simulações estas que em ferramentas tradicionais se tornam extremamente complicadas e necessitam de entradas de dados manuais. Portanto análises complexas podem ser facilmente cumpridas a fim de criar melhores condições de conforto e bem estar em ambientes construídos. E por fim, em relação ao aspecto ambiental, o BIM fornece inúmeras recursos para análises de impactos ao meio ambiente, especialmente quanto se relaciona com ferramentas especiais, como a ACV por exemplo (ANTÓN; DÍAZ, 2014).

Com o intuito de analisar a viabilidade do uso do BIM para mensurar impactos ambientais de edificações, Graf e seus colaboradores (2012) atribuíram informações à um modelo geométrico criado com a ferramenta Revit Architecture 2012. Foram atribuídos dados de energia incorporada e de CO<sub>2</sub> incorporado aos elementos construtivos do modelo, através de parâmetros compartilhados criados. O software Revit Architecture permite a criação de tabelas para manejo de dados e informações. O estudo compara os resultados alcançados através do auxílio da ferramenta BIM e resultados de cálculos realizados em planilhas eletrônicas, método convencionalmente utilizado, para mensurar impactos ambientais relacionados à energia e CO<sub>2</sub> incorporados. Foram constatados valores semelhantes e com pequena diferenças numéricas para os dois métodos comparados, validando assim o uso da ferramenta Revit Architecture como meio de avaliar impactos ambientais e contribuir para a concepção de projetos ambientalmente conscientes.

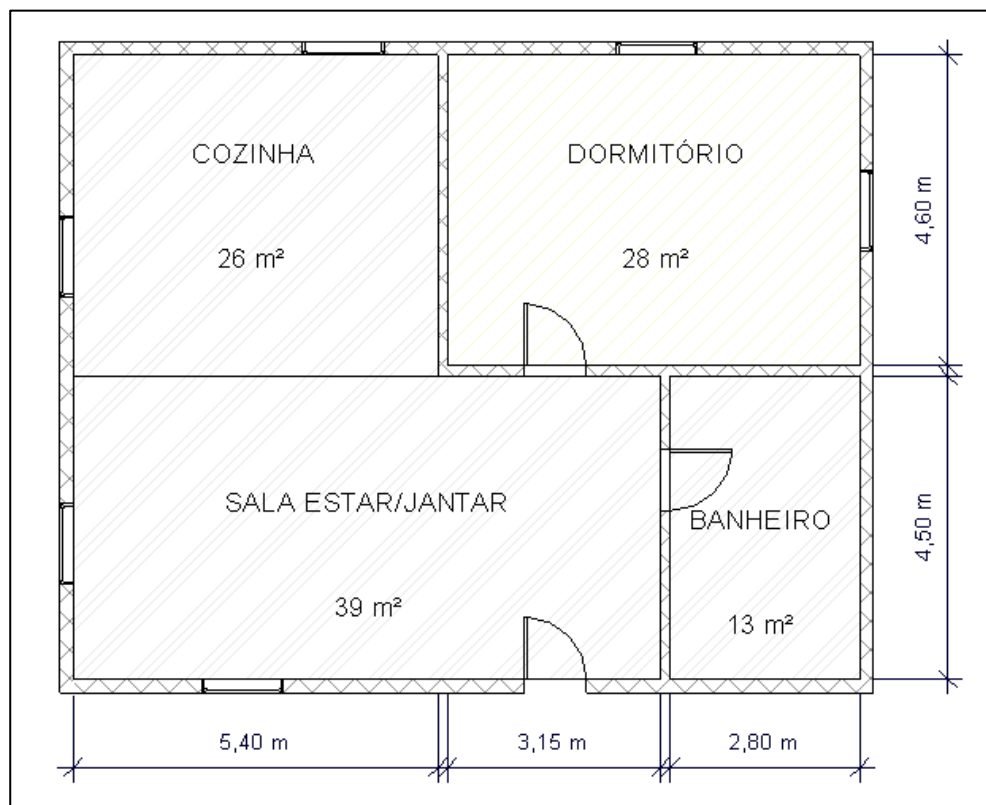
Gouveia, Andrade e Magalhães (2014) estudaram a possibilidade de exportar uma geometria modelada no Revit para o programa EnergyPlus. Devido a falta de um plug-in que possibilite a exportação direta de um arquivo em RTV para o formato IDF, foi então necessária a utilização de outros programas para exercer tal metodologia. Os programas recomendados para esta exportação são: Ecotect Analysis (Autodesk, 2014), Sketchup (Google, 2015) e Legacy OpenStudio (DOE, 2015).

### 3 METODOLOGIA

O presente estudo pode ser definido como de natureza explanatória uma vez que propõe um método novo para a realização de uma ACVE de edificações, e ao mesmo tempo descritiva, por detalhar o arranjo do ciclo de vida a partir da modelagem. Quanto ao método, o trabalho pode ser classificado como experimental.

A metodologia que é proposta pode ser definida como uma forma simplificada de Avaliação do Ciclo de Vida Energético na qual somente a fase pré-operacional da edificação é considerada dentro do sistema. Ou seja, a fase operacional e fase de desconstrução não fazem parte método desenvolvido, porém a metodologia aplicada indica como o modelo pode ser preparado para posterior simulação de desempenho energético do edifício durante seu ciclo de operação, com a finalidade de propor uma ferramenta mais completa de seleção de materiais.

Para testar a proposta de metodologia, foi utilizado o programa Revit Architecture 2014, a partir do qual foi possível criar um modelo de uma habitação simples utilizada como exemplo. Trata-se de uma casa não existente, desenvolvida apenas para fim ilustrativo, a qual possui um dormitório, um banheiro, sala e cozinha. A área total da casa é de 106 m<sup>2</sup>, e a planta baixa é apresentada na Figura 3. Uma vez que a energia consumida durante a fase de operação não será calculada no trabalho, não foi necessário definir quantidade de moradores, padrões de consumo e equipamentos eletrônicos da habitação, portanto foi determinado apenas o sistema construtivo e materiais componentes.



**Figura 3 – Planta Baixa da Casa Modelada para Exemplo**  
**Fonte: Própria**

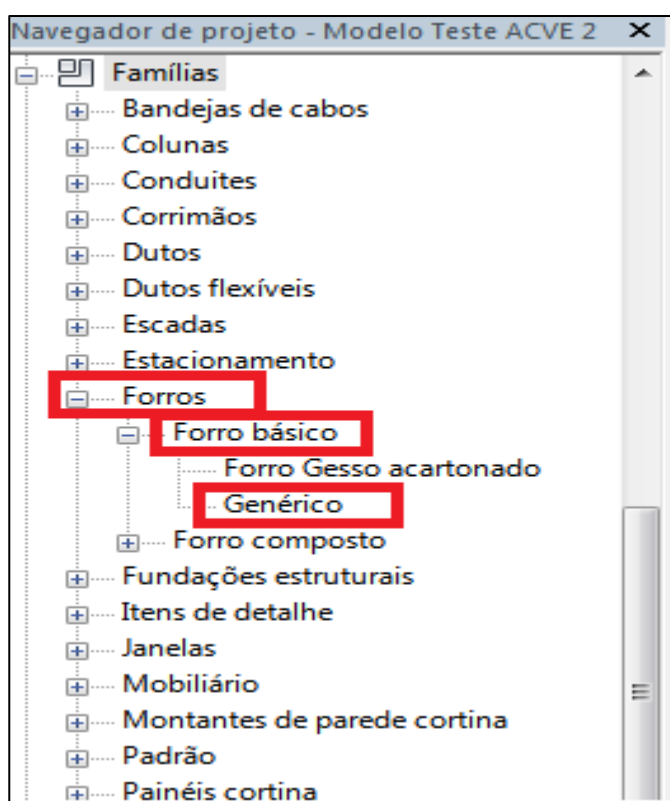
### 3.1 CRIAÇÃO DE ELEMENTOS E ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAIS

As especificações dos materiais utilizados no modelo teste estão discriminados no Quadro 1. É fundamental ressaltar que o modelo desenvolvido para este trabalho visa apenas testar a viabilidade de aplicação da metodologia de ACVE sugerida, e não julgar sistemas construtivos, materiais selecionados e desempenho como adequados ou não.

ELEMENTOS	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS SELECIONADOS
Paredes	Tijolo de cerâmica de oito furos com camadas internas e externas de concreto simples.
Pisos	Cerâmica esmaltada para os ambientes sala, cozinha e banheiro; Madeira laminada para o dormitório.
Forro	Gesso acartonado em todos os ambientes.
Laje de Cobertura	Concreto simples
Telhado	Telhas de cerâmica vermelha
Portas	Madeira aparelhada para porta e batente.
Janelas	Vidro plano e caixilhos de madeira.

**Quadro 1- Descrição de Elementos e Materiais de Construções Definidos no Modelo Criado.**  
**Fonte: Própria**

Cada elemento construtivo utilizado no projeto foi criado com as especificações desejadas. O Revit já possui diversos componentes de uma construção cadastrados em sua biblioteca, tais como paredes, portas, janelas, tubulações, etc. Os componentes são separados por Famílias, as quais se subdividem em Subcategorias e estas em Tipos. Cada Tipo compreende um elemento específico que exerce determinada função, com características que definem os materiais, espessuras, propriedades físicas, mecânicas, aparência e diversos parâmetros. Para exemplificar, a Figura 4 destaca em vermelho a Família de Forros, com Subcategoria Forro básico, dentro da qual encontra-se o Tipo Genérico de forro.



**Figura 4 – Classificação de Categorias de um Elemento no Revit**  
Fonte: Própria

Para inserir um elemento que não está cadastrado na biblioteca do Revit, é necessário selecionar um elemento já existente na biblioteca de famílias, como por exemplo, o Tipo "parede básica" dentro da Família de paredes, na barra de propriedades clicar em **Editar Tipo > Duplicar > Renomear**. Desta forma cria-se um novo elemento, ou seja, um novo Tipo de parede no qual é possível criar um nome e editar sua estrutura, inserindo materiais, camadas, acabamentos e diversos

parâmetros. Para cada material inserido no novo elemento, também é possível editar características como nome, composição, aparência, propriedades físicas e térmicas. Este procedimento foi realizado para cada elemento que compõe o modelo. É possível salvar as Famílias criadas para que os elementos novos possam ser utilizados em outros projetos. A Figura 5 apresenta vistas 3D do modelo teste gerado.

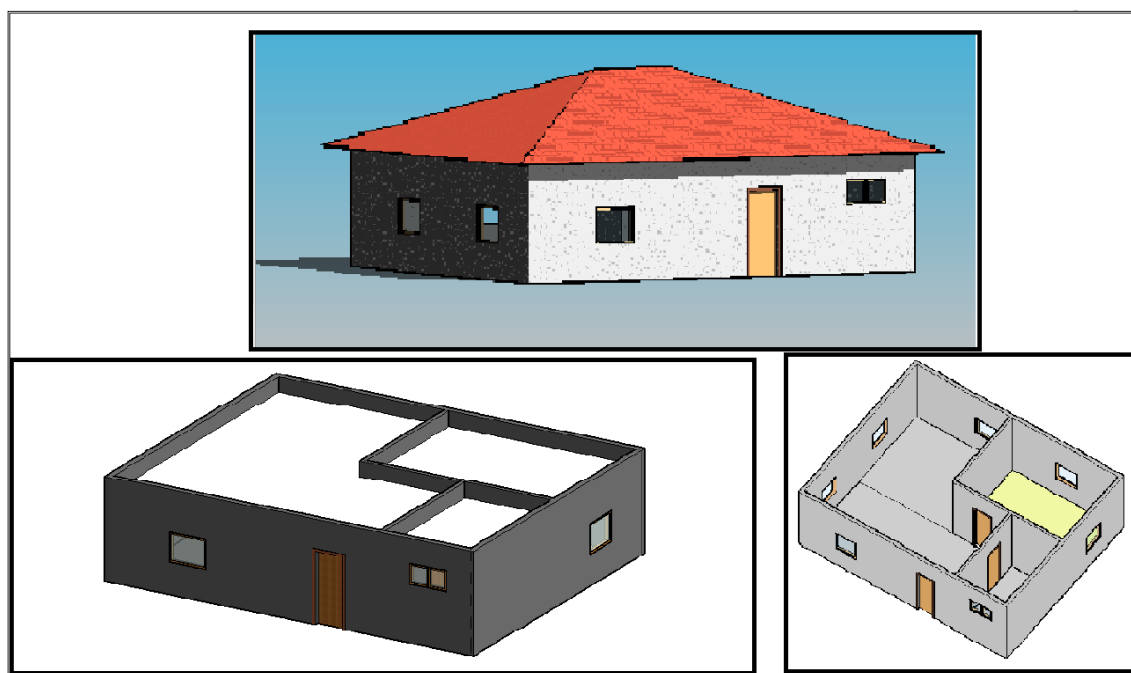


Figura 5 – Vistas em 3D do Modelo Criado  
Fonte: Própria

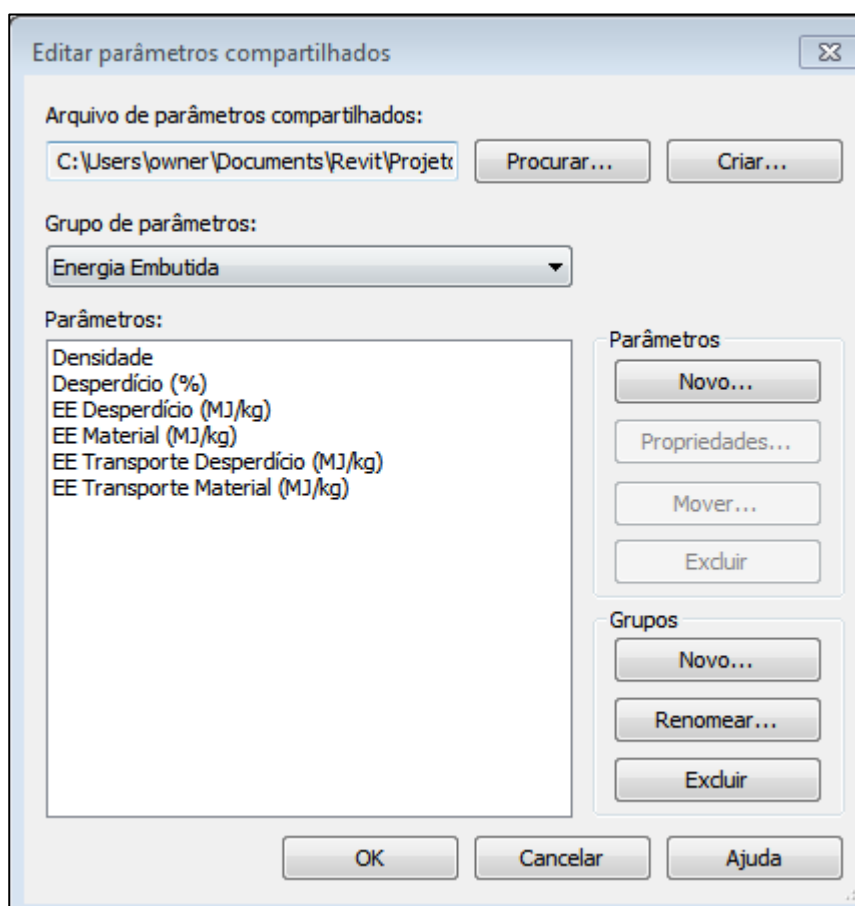
### 3.2 INSERÇÃO DOS PARÂMETROS DE ENERGIA

A próxima etapa foi realizada para determinar a Energia Embutida (EE) de cada elemento. Na aba “Gerenciar” do programa, selecionou-se a opção “Parâmetros Compartilhados” para criar novos parâmetros, os quais poderão ser usados em diversas Famílias e projetos. Os parâmetros criados estão listados no Quadro 2 e a Figura 6 apresenta o *layout* do *software* ao se criar novos parâmetros.



PARÂMETROS	NOME ATRIBUÍDO COMO PARÂMETRO NO REVIT	SÍMBOLO UTILIZADO
Densidade	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	<i>d</i>
Energia embutida nos materiais	EE Material (MJ/kg);	<i>EE</i>
Taxa de desperdício	Desperdício (%)	<i>Desp</i>
Energia embutida nos materiais desperdiçados	EE Desperdício (MJ/kg);	<i>EE<sub>desp</sub></i>
Energia consumida no transporte de materiais	EE Transporte Material (MJ/kg);	<i>EE<sub>transp</sub></i>
Energia consumida no transporte do material desperdiçado	EE Transporte Desperdício (MJ/kg),	<i>EE<sub>transp.desp</sub></i>

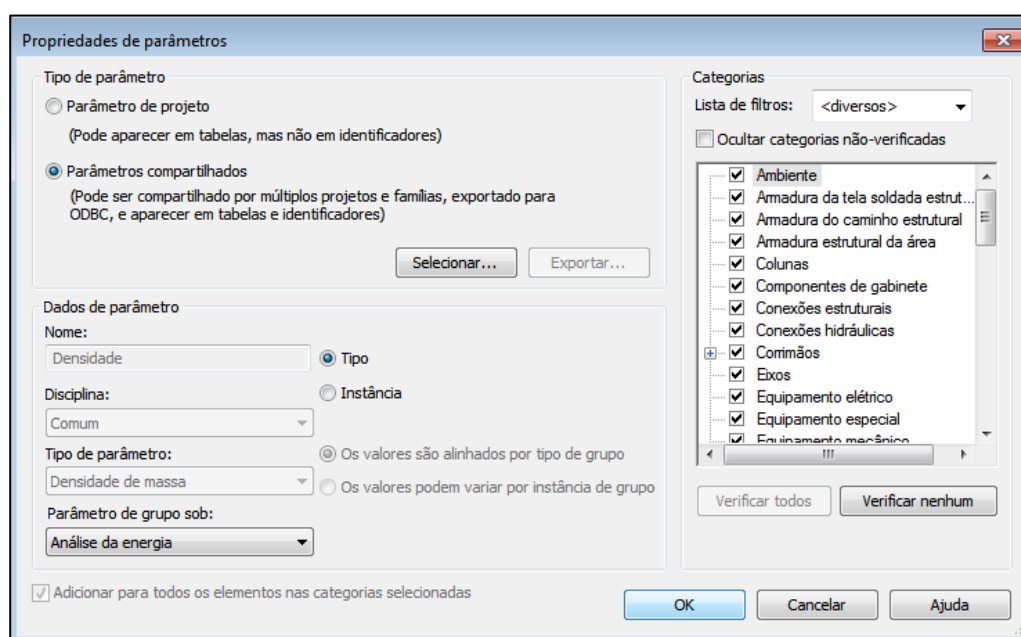
**Quadro 2 – Lista de Parâmetros Inseridos no Revit e Respectiveiros Símbolos Adotados**  
**Fonte: Própria**



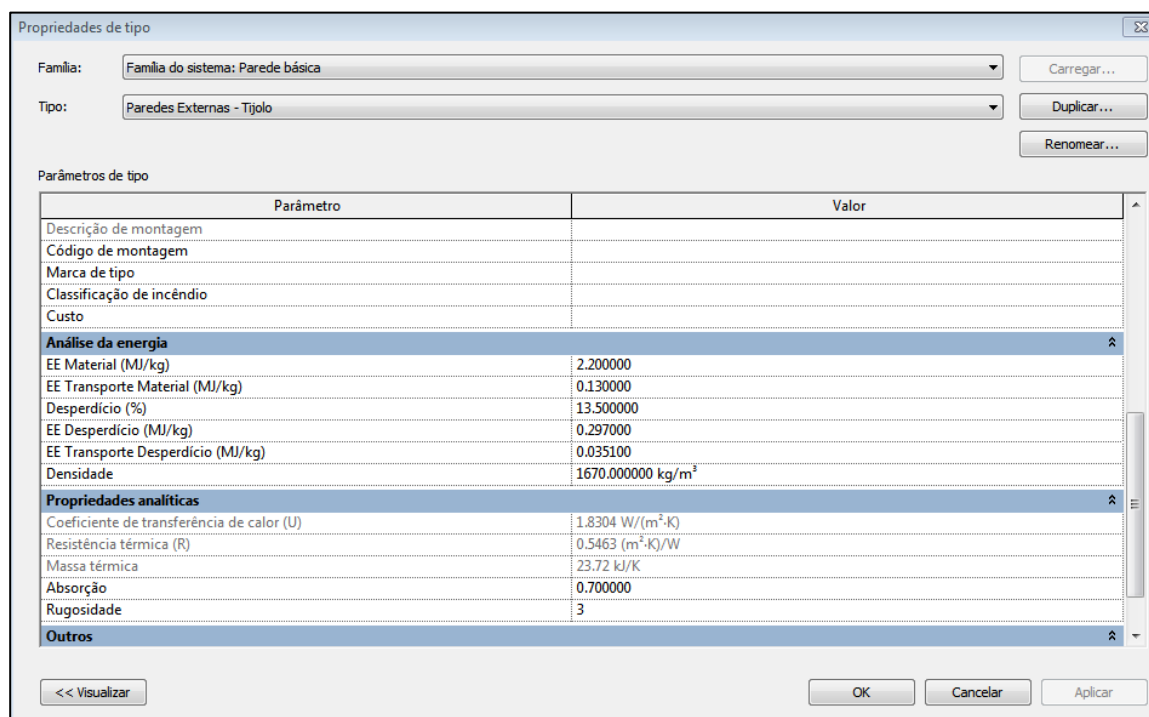
**Figura 6 – Layout do Campo de Parâmetros Compartilhado do Revit**  
**Fonte: Própria**

Uma vez criados novos Parâmetros Compartilhados, foi necessário criar os “Parâmetros de Tipo”, os quais especificam parâmetros que podem ser adicionados nas categorias de elementos em um projeto e utilizado em tabelas. Uma vez que um

valor numérico é atribuído a um Parâmetro de Tipo, este mesmo valor será automaticamente gerado nos parâmetros de todo elemento daquele mesmo tipo. Por exemplo, para todos os pisos no modelo que forem determinados como “Piso Tipo 1”, os parâmetros de EE terão os mesmos valores. A Figura 7 está ilustrando o processo de como os Parâmetros de Tipo são criados e a Figura 8 apresenta o formato que tais parâmetros são mostrados nas propriedades de Tipo. É possível definir em quais categorias de Famílias tais parâmetros estarão presentes. O caminho utilizado no software foi: **Gerenciar > Parâmetros de Tipo > Criar**.



**Figura 7 – Processo para Criação de Novos Parâmetros de Tipo**  
Fonte: Própria



**Figura 8 – Novos Parâmetros Apresentados nas Propriedades de Tipo no Revit**  
**Fonte: Própria**

### 3.3 ATRIBUIÇÃO E CÁLCULOS DOS PARÂMETROS DE ENERGIA

Para atribuir os valores de energia em cada elemento foram utilizados os valores determinados por Tavares (2006), conforme discriminado na Figura 2, apresentada anteriormente.

No caso de elementos que possuem mais de um material em sua composição, como paredes com diferentes camadas, portas e janelas, os valores de parâmetros de energia foram calculados a partir da proporção de material presente no volume total do elemento e respectivas densidades. O exemplo a seguir apresenta como foram calculados os parâmetros das paredes internas, as quais foram criadas no *software* sendo compostas por tijolos de oito furos com espessura de 9,0 cm, mais uma camada de concreto simples de 3,0 cm de cada lado, para representar quantitativamente o chapisco, emboço, reboco e argamassa entre os blocos, somando no total, uma espessura de 15,0 cm.

Exemplo 1: Determinação de valores de densidade, energia embutida no material e porcentagem de desperdício para o elemento Tipo Parede Interna:

Dados de energia do materiais utilizados:

a) Bloco de tijolo com 8 furos:

- $EE_{tijolo} = 2,90 \text{ MJ/kg}$  ou  $EE1_{tijolo} = 4.060,00 \text{ MJ/m}^3$
- $Desp = 15\%$
- $d = 1.400,00 \text{ kg/ m}^3$

b) Concreto Simples:

- $EE_{concreto} = 1,20 \text{ MJ/kg}$  ou  $EE1_{concreto} = 2.760,00 \text{ MJ/m}^3$
- $Desp = 10\%$
- $d = 2.300,00 \text{ kg/ m}^3$

Cálculos:

1) Equação (1) e (2) utilizadas para calcular a proporção de tijolo e de concreto em 1 metro de parede:

$$P_{tijolo} = e_{tijolo} \times e_{parede} \quad (1)$$

$$P_{concreto} = e_{concreto} \times e_{parede} \quad (2)$$

Sendo  $e$  a espessura e  $P$  a proporção de cada material na parede, portanto, a proporção encontrada é de 0,60 de tijolo para 0,40 de concreto.

2) Equação 3 para calcular a densidade da parede em  $\text{kg/ m}^3$ :

$$P_{tijolo} \times d_{tijolo} + P_{concreto} \times d_{concreto} = d_{parede} \quad (3)$$

$$0,60 \times 1.400 + 0,40 \times 2.300 = 1.760,00$$

3) Cálculo de energia embutida na parede em  $\text{MJ/ m}^3$ :

$$P_{tijolo} \times EE1_{tijolo} + P_{concreto} \times EE1_{concreto} = EE1_{parede} \quad (4)$$

$$0,60 \times 4.060 + 0,40 \times 2760 = 3.540,00$$

4) Cálculo de energia embutida na parede em  $\text{MJ/ kg}$ :

$$EE_{parede} \div d_{parede} = EE_{parede} \quad (5)$$

$$3.540 \div 1.760,00 = 2,0114$$

5) Cálculo da taxa de desperdício em porcentagem:

$$P_{tijolo} \times Desp_{tijolo} + P_{concreto} \times Desp_{concreto} = Desp_{parede} \quad (6)$$

$$0,60 \times 15,0 + 0,40 \times 10,0 = 13,0$$

O valor do parâmetro de energia embutida no desperdício de materiais é o valor de Energia Embutida de materiais, multiplicado pela taxa de desperdício.

$$EE_{desp} = EE_{material} \times Desp \div 100 \quad (7)$$

Para estimar o consumo energético nos transportes de materiais não foram levantadas as distâncias dos centros de transformação até o sítio das obras, por se tratar de uma residência fictícia, foi utilizada apenas uma distância média, conforme é feito no método de Tavares (2006). A distância média atribuída foi de 80 km, a qual aplicada ao índice de consumo energético de veículos à óleo diesel, de 1,62 MJ/t/km, resulta em um índice simplificado de 0,13 MJ/kg para todo produto transportado nesse exemplo. Os materiais desperdiçados têm por definição da metodologia o dobro da distância transportada; portanto o índice neste caso é de 0,26 MJ/kg, que deve ser multiplicado pela taxa de desperdício.

$$EE_{transp} = 0,13 \quad (8)$$

$$EE_{transp.desp} = 0,26 \times Desp \div 100 \quad (9)$$

No Quadro 3 estão descritos todos os elementos utilizados, com configurações de espessuras e materiais componentes e parâmetros calculados, separados por Tipo.

ELEMENTO (Tipo)	$d$ (kg/m <sup>3</sup> )	$EE$ (MJ/kg)	$EE_{transp}$ (MJ/kg)	$Desp$ (%)	$EE_{desp}$ (MJ/kg)	$EE_{transp.desp}$ (MJ/kg)
Paredes Externas – Tijolo	1.670,00	2,2000	0,13	13,50	0,2970	0,0351
Paredes Internas – Tijolo	1.760,00	2,0114	0,13	13,00	0,2615	0,0338
Cerâmica- Piso Esmaltado	2.000,00	5,0000	0,13	0,00	0,0000	0,0000
Piso Madeira Laminado Colado	650,00	7,5000	0,13	0,00	0,0000	0,0000
Forro – Gesso Acartonado	660,00	6,1000	0,13	0,00	0,0000	0,0000
Laje de Cobertura	2.300,00	12,0000	0,13	10,00	0,1200	0,0260
Porta simples- madeira aparelhada	643,50	3,5000	0,13	0,00	0,0000	0,0000
Janela Simples	1.816,00	16,7159	0,13	3,20	0,5349	0,0091
Janela banheiro	1.550,00	15,5968	0,13	2,50	0,3899	0,0065

**Quadro 3 – Elementos (Tipos) utilizados no Modelo e Parâmetros de Energia Calculados**  
 Fonte: Própria

Por questão de praticidade, não foram considerados no modelo diversos elementos estruturais e componentes complementares como instalações hidráulicas, elétricas, entre outros. Porém a forma de inserção e cálculos dos parâmetros poderia ser feita com os mesmos processos descritos para estes outros elementos.

### 3.4 CRIAÇÃO DE TABELAS

Depois de inseridos e calculados os parâmetros para cada elemento do projeto, foram criadas tabelas para quantificar e somar os valores de energia embutida. Foram criadas tabelas para cada Família do projeto, com especificações de parâmetros já existentes e calculados automaticamente pelo programa, como volume e também os parâmetros criados de Energia Embutida. Ao fim, é possível inserir colunas a mais para a tabela, e especificar fórmulas para realizar operações entre os valores da tabela. Foi inserida mais uma coluna para calcular a Massa de cada elemento em quilogramas.

$$Massa = Volume \times d \quad (10)$$

E por fim, foi criada uma coluna a mais para calcular a Energia Embutida Total, a qual é definida pela soma dos quatro parâmetros de Energia gerados, multiplicados pela massa do elemento, conforme equação (11). É possível gerar a soma total das Energias Embutidas Totais, conforme destacado na Figura 9, que mostra um exemplo de tabela criada.

$$EE_{Total} = Massa \times (EE + EE_{transp} + EE_{desp} + EE_{transp.desp}) \quad (11)$$

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Tipo	Massa	Volume	Densidade	EE Material (MJ/kg)	EE Transporte Mat	Desperdício (%)	EE Desperdício	EE Transporte De	Energia Embutida
Tijolo e Concret	28162.76 kg	12.24 m³	2300.00 kg/m³	2.9	0.13	0.15	2.9	0.26	98682.33
Tijolo e Concret	25760.00 kg	11.20 m³	2300.00 kg/m³	2.9	0.13	0.15	2.9	0.26	90263.04
Tijolo e Concret	20431.22 kg	8.88 m³	2300.00 kg/m³	2.9	0.13	0.15	2.9	0.26	71591.00
Parede da fundação T.C	60940.11 kg	26.50 m³	2300.00 kg/m³	2.9	0.13	0.15	2.9	0.26	213534.15
Tijolo e Concret	47915.09 kg	20.83 m³	2300.00 kg/m³	2.9	0.13	0.15	2.9	0.26	167894.46
Tijolo e Concret	86519.79 kg	37.62 m³	2300.00 kg/m³	2.9	0.13	0.15	2.9	0.26	303165.34
Total geral: 6									945130.32

**Figura 9 – Exemplo de Tabela Criada para Gerar os Resultados de EE Total**

Fonte: Própria

É válido ressaltar que para o caso dos elementos de porta, janelas e forro, os quais fazem parte de categorias de Família um pouco diferentes das demais, por se tratar de objetos que possuem determinadas funções e especificações pré-definidas nas bibliotecas, foi necessário inserir manualmente os valores de volume, pois o Revit não faz o cálculo automaticamente, uma vez que não é trivial a determinação das espessuras.

### 3.5 PREPARAÇÃO DO MODELO PARA EXPORTAÇÃO DE COORDENADAS

A última etapa da metodologia proposta consiste em exportar o modelo para ser simulado no software EnergyPlus (DOE, 2014) para possíveis cálculos de energia consumida durante a fase operacional. Para isso foi necessário o auxílio de mais duas ferramentas: Sketchup 2015 (Google, 2015) e Legacy OpenStudio versão 1.8.0 (DOE, 2014).

Este processo foi realizado de três formas diferentes a fim de comparar qual método de exportação das coordenadas seria mais efetivo. Antes de exportar o

arquivo, cada cômodo da residência foi classificado como espaços e ambientes diferentes. Estes procedimentos podem ser feitos em **Analisar>Espaços>Colocar Espaços Automaticamente** ou **Arquitetura>Ambientes**. Ao criar Espaços no modelo é possível inserir informações sobre uso do ambiente, número de pessoas, cargas elétricas, iluminação, grau de reflexão das superfícies, tipo de sistema de aquecimento/resfriamento, dentre outros. Esta opção é própria para análises energéticas posteriores. Já a principal função utilizada para classificar as áreas como Ambientes, é principalmente por questões de identificação, cálculos de área e volumes.

O modelo foi exportado em três formatos diferentes: como formato IFC, formato gbXML como categoria de Espaço e em gbXML como categoria de Ambiente. Depois os arquivos foram abertos no Sketchup com o Plug-in OpenStudio, com o qual é possível salvar o arquivo como IDF para então ser aberto no EnergyPlus.





<Tabela de telhado>									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Tipo	Volume	Densidade	Massa	EE Material	EE Transporte Material	Desperdício (%)	EE Desperdício	EE Transporte Desperdício	EE Total (MJ)
Telhado Ceramica	3.06 m³	1900.00 kg/m³	5813.58 kg	5.4	0.13	0	0	0	32149.08
Total geral: 1									32149.08

<Tabela Laje>									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Tipo	Volume	Densidade	Massa	EE Material	EE Transporte Material	Desperdício (%)	EE Desperdício	EE Transporte Desperdício	EE Total (MJ)
Laje de cobertura	5.81 m³	2300.00 kg/m³	13372.49 kg	1.2	0.13	10	0.12	0.026	19737.79
Total geral: 1									19737.79

<Tabela de parede>									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Tipo	Volume	Densidade	Massa	EE Material	EE Transporte Material	Desperdício (%)	EE Desperdício	EE Transporte Desperdício	EE Total (MJ)
<b>Paredes Externas - Ti</b>									
Paredes Externas	5.45 m³	1670.00 kg/m³	9109.02 kg	2.2	0.13	13.5	0.297	0.0351	24249.11
Paredes Externas	6.80 m³	1670.00 kg/m³	11350.16 kg	2.2	0.13	13.5	0.297	0.0351	30215.25
Paredes Externas	5.55 m³	1670.00 kg/m³	9266.00 kg	2.2	0.13	13.5	0.297	0.0351	24667.01
Paredes Externas	6.35 m³	1670.00 kg/m³	10606.40 kg	2.2	0.13	13.5	0.297	0.0351	28235.30
<b>Paredes Internas - Tj</b>									
Paredes Internas	2.10 m³	1760.00 kg/m³	3703.92 kg	2.0114	0.13	13	0.261482	0.0338	9025.28
Paredes Internas	2.57 m³	1760.00 kg/m³	4517.01 kg	2.0114	0.13	13	0.261482	0.0338	11006.52
Paredes Internas	1.77 m³	1760.00 kg/m³	3107.91 kg	2.0114	0.13	13	0.261482	0.0338	7572.99
Total geral: 7									134971.45

**Figura 10 – Tabelas Geradas no Revit com os Resultados de EE para Cada Elemento**  
**Fonte: Própria**

O programa não permite inserir todos os dados em uma mesma tabela, processo este que facilitaria a soma dos valores de energia, portanto, as somas de energia embutida calculadas para cada Família foram somadas separadamente para se encontrar o resultado final. Porém, é possível exportar as tabelas para um arquivo de texto (.txt) e desta forma se pode trabalhar com os resultados de diversas maneiras, inclusive em planilhas eletrônicas. No Quadro 4 estão detalhados os valores dos parâmetros de entrada, valores das massas e Energias Embutidas Totais calculadas.

Tipo	Massa	EE Material (MJ/kg)	EE Transporte Material (MJ/kg)	EE Desperdício (MJ/kg)	EE Transporte Desperdício (MJ/kg)	EE Total (MJ)
Forro Gesso acartonado	370,39	6,10	0,13	0,00	0,00	2.307,54
Forro Gesso acartonado	855,36	6,10	0,13	0,00	0,00	5.328,89
Forro Gesso acartonado	166,32	6,10	0,13	0,00	0,00	1.036,17
<b>Total</b>						<b>8.672,61</b>
Janela banheiro	9,30	15,60	0,13	0,39	0,01	149,95
Janela banheiro	9,30	15,60	0,13	0,39	0,01	149,95
Janelas simples	1,82	16,72	0,13	0,53	0,01	31,58
Janelas simples	1,82	16,72	0,13	0,53	0,01	31,58
Janelas simples	1,82	16,72	0,13	0,53	0,01	31,58
Janelas simples	1,82	16,72	0,13	0,53	0,01	31,58
Janelas simples	1,82	16,72	0,13	0,53	0,01	31,58
Janelas simples	1,82	16,72	0,13	0,53	0,01	31,58
Janelas simples	1,82	16,72	0,13	0,53	0,01	31,58
<b>Total</b>						<b>489,37</b>
Paredes Externas – Tijolo	9.109,02	2,20	0,13	0,30	0,04	24.249,11
Paredes Externas – Tijolo	11.350,16	2,20	0,13	0,30	0,04	30.215,25
Paredes Externas – Tijolo	9.266,00	2,20	0,13	0,30	0,04	24.667,01
Paredes Externas – Tijolo	10.606,40	2,20	0,13	0,30	0,04	28.235,30
Paredes Internas – Tijolo	3.703,92	2,01	0,13	0,26	0,03	9.025,28
Paredes Internas – Tijolo	4.517,01	2,01	0,13	0,26	0,03	11.006,52
Paredes Internas – Tijolo	3.107,91	2,01	0,13	0,26	0,03	7.572,99
<b>Total</b>						<b>134.971,45</b>
Cerâmica - piso esmaltado	3.888,00	5,00	0,13	0,00	0,00	19.945,44
Cerâmica - piso esmaltado	756,00	5,00	0,13	0,00	0,00	3.878,28
Madeira Laminado colado	547,17	7,50	0,13	1,13	0,04	4.811,81
<b>Total</b>						<b>28.635,53</b>
Porta s. - madeira emparelhada	57,92	3,50	0,13	0,00	0,00	210,23
Porta s. - madeira emparelhada	57,92	3,50	0,13	0,00	0,00	210,23
Porta s. - madeira emparelhada	57,92	3,50	0,13	0,00	0,00	210,23
<b>Total</b>						<b>630,69</b>
Telhado Cerâmica	5.813,58	5,40	0,13	0,00	0,00	32.149,08
<b>Total</b>						<b>32.149,08</b>
Laje de cobertura	1.3372,49	1,20	0,13	0,12	0,03	19.737,79
<b>Total</b>						<b>19.737,79</b>
<b>TOTAL GERAL (MJ)</b>						<b>225.286,53</b>

**Quadro 4 – Resultados Gerados na Tabelas**

Fonte: Própria

Conforme mostra a tabela, a Energia Embutida Total, somando os resultados de todos elementos do modelo foi de 225.286,53 MJ ou 225,29 GJ. De acordo com Tavares (2006), algumas pesquisas internacionais apresentam índices de energia embutida nas edificações residenciais em torno de 4,0 a 4,5 GJ/m<sup>2</sup>. Já para o

panorama brasileiro no que tange aos insumos da Construção Civil para avaliações ambientais não é devidamente detalhado e portanto os dados brasileiros existentes apontam para valores de 3,0 a 4,0 GJ/m<sup>2</sup>. O modelo testado neste trabalho possui 106 m<sup>2</sup>, e portanto o valor encontrado é igual a 2,13 GJ/m<sup>2</sup>, resultado este que pode ser considerado razoável devido ao grau mínimo de detalhamento, considerando que foram atribuídos valores para apenas sete elementos da residência.

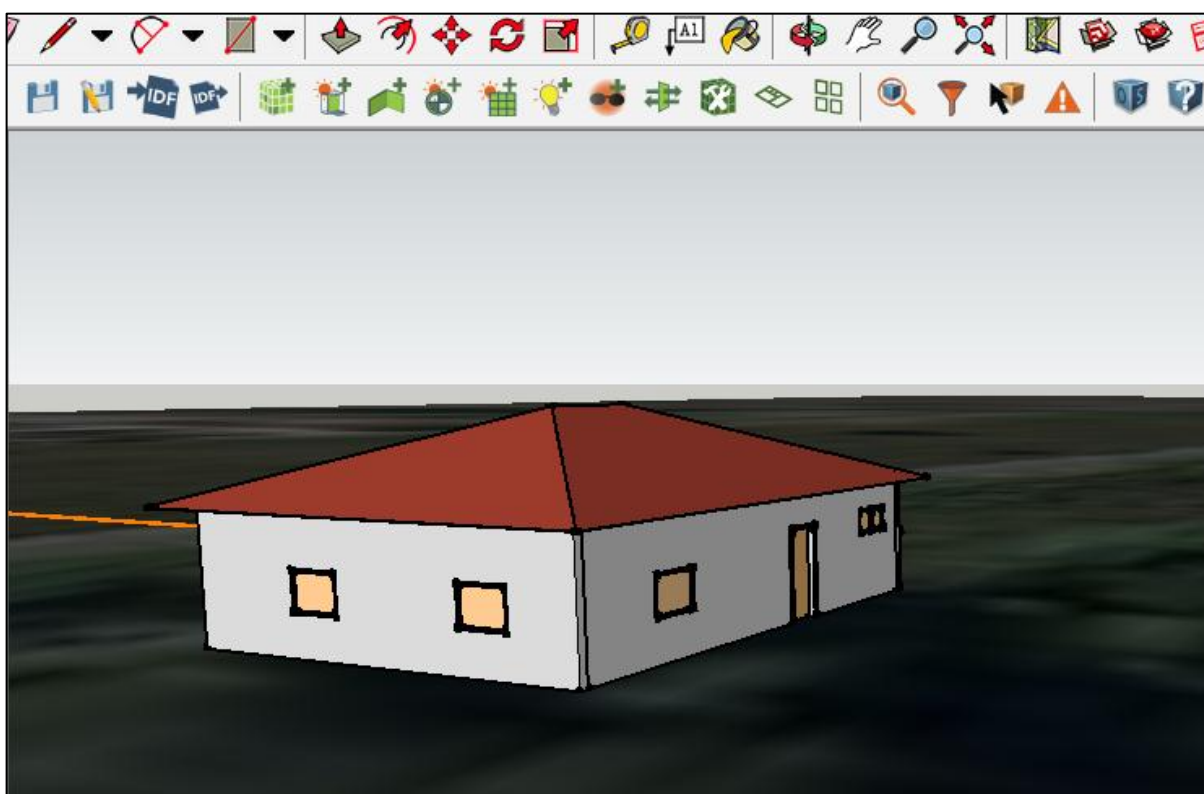
Apesar de o método proposto gerar resultados em tabelas não editáveis, havendo a necessidade de utilizar outros programas para que os dados sejam trabalhados e compilados de forma útil, uma das principais vantagens percebidas na metodologia proposta foi a simplificação de quantidades e dificuldades de processos. Uma vez que os Parâmetros Compartilhados são criados, é possível utilizá-los em qualquer outro projeto ou modelo. O mesmo ocorre para os Parâmetros de Tipo, que ao serem definidos e atribuídos respectivos valores, serão automaticamente gerados toda vez que se optar por utilizar o “Tipo” em questão para especificar um elemento, desde que sejam salvas as Famílias. Se o método for aplicado diversas vezes pelo projetista ou profissional responsável pelas análises energéticas e de ciclo de vida, com o passar do tempo será criada uma biblioteca de elementos diversificados com parâmetros já predefinidos. Ao ponto que, uma vez que todos os dados necessários já tenham sido inseridos anteriormente durante os projetos antigos, para realizar uma nova análise de ciclo de vida seria necessário apenas gerar as tabelas. Exceto para o caso dos parâmetros de energia de transporte, pois estes sempre mudarão em função das distâncias, eficiência do meio e combustível utilizado nos trajetos.

Uma vez que ao se utilizar ferramentas BIM é possível aumentar a eficiências dos processos ao torná-los mais fáceis e demandarem períodos de tempo reduzidos, é pertinente que tais constatações sejam feitas nos resultados do modelo proposto.

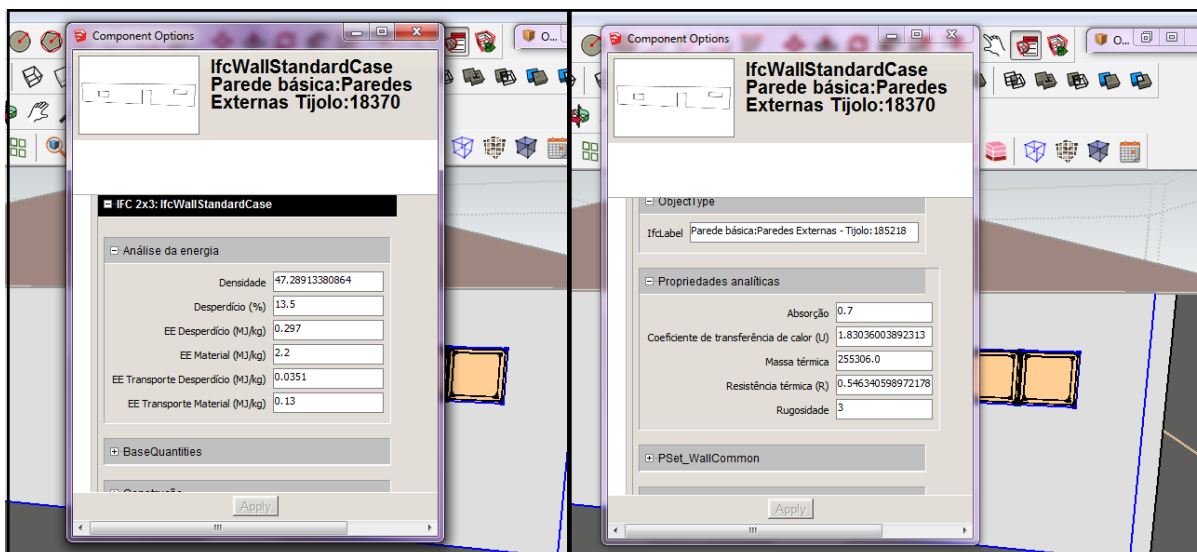
Outra questão significativa observada durante a realização dos procedimentos foi a facilidade com que se pode modificar estruturas e elementos do projeto sem que seja necessário redesenhar ou inserir e calcular novos dados em elementos que foram afetados pelas mudanças. Por exemplo, ao alterar a área de um ambiente, mudando uma parede de lugar, ou modificar medidas e alturas, os novos volumes já serão calculados automaticamente pelo Revit, e conseqüentemente os valores finais das tabelas de resultados também serão

atualizados rapidamente. Em um processo convencional de ACV em que se utiliza planilhas eletrônicas para calcular os resultados, a partir de volumes e massas estimados com base na área dos ambientes e da edificação, ao ter seus elementos modificados e áreas alteradas, todos os dados e valores deveriam ser estimados novamente e inseridos manualmente nas planilhas para que novos resultados fossem gerados. Além do exaustivo retrabalho nesta situação, ainda haveria maiores riscos de ocorrerem erros.

Em relação ao método de exportação do modelo para o plug-in OpenStudio no Sketchup, apenas uma entre as três maneiras apresentou resultado satisfatório. Ao exportar o modelo em formato em IFC foi possível abrir o modelo no software Sketchup com quase todas as características gráficas, informações de materiais e parâmetros. A Figura 11 e Figura 12 mostram exemplos de como o modelo e dados foram corretamente identificados na importação do arquivo ifc.



**Figura 11 – Modelo Exportado do Revit para OpenStudio Sketchup no Formato IFC**  
Fonte: Própria



**Figura 12 – Informações do Modelo Exportado em Formato IFC**  
**Fonte: Própria**

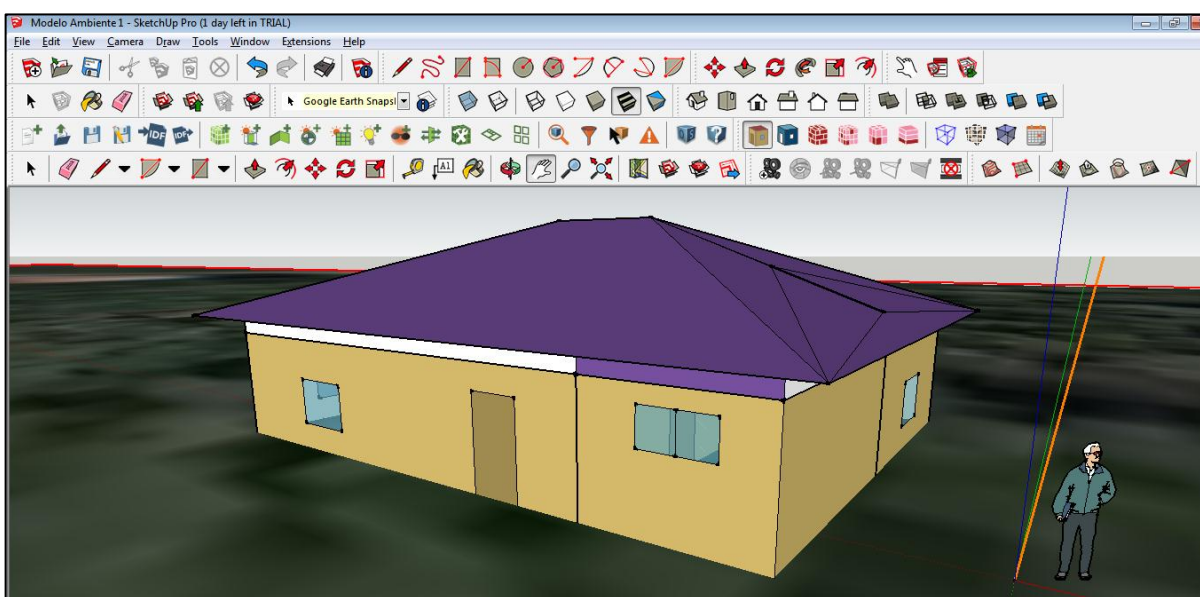
Uma vez que o propósito do formato IFC é facilitar a interoperabilidade, permitindo a troca de informações entre diferentes *softwares* BIM, é possível dizer que para este propósito a exportação funcionou quase que perfeitamente. Porém para realizar simulações e análises energéticas conforme a proposta, muitas destas informações não são totalmente úteis, e o formato exportado de modelo como sendo reconhecido como uma casa e todos características modeladas não serve para este fim. Os softwares de análises e simulação necessitam reconhecer um modelo massa, como um sólido simples com formas definidas.

Quando o modelo foi exportado em gbXML pelas categorias de Ambiente e Espaço, foi possível importar o arquivo e reconhecer a casa como um sólido. Ou seja, durante este processo ocorre a supressão das espessuras dos elementos, os quais passam a ser representados como uma única superfície. Este é o formato necessário para que o EnergyPlus faça a leitura do arquivo. Portanto, foi possível exportar e salvar novamente o arquivo no formato .OSM (OpenStudio) e exportá-lo para .IDF (EnergyPlus).

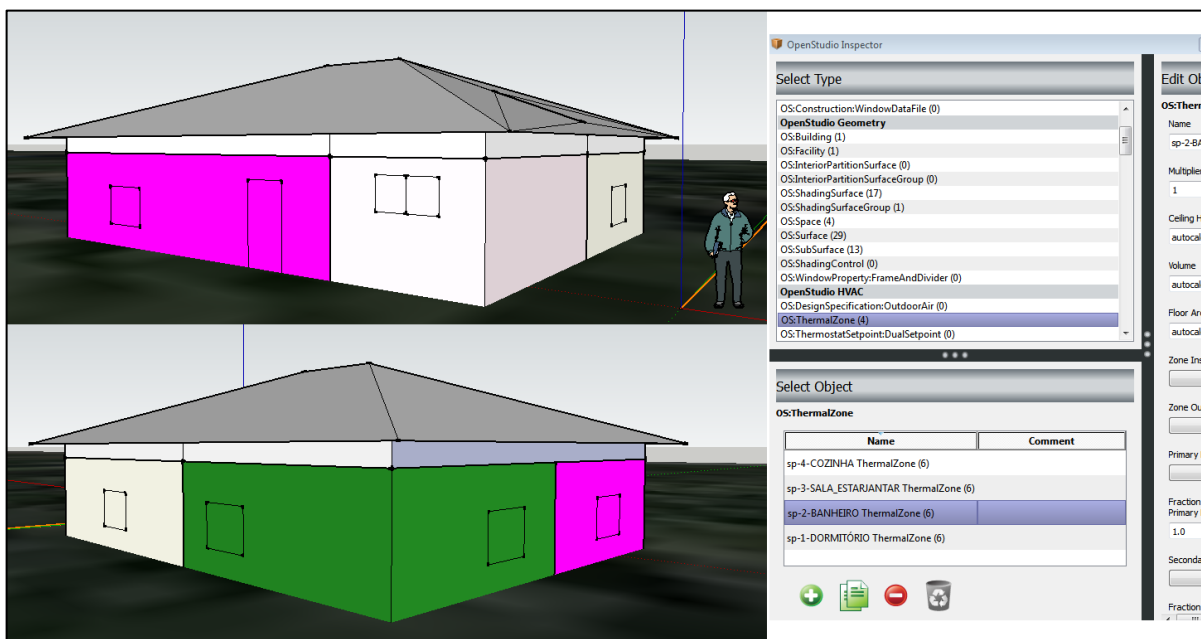
Tanto a exportação considerando os Ambientes, como ao considerar os Espaços, reconheceu os quatro cômodos da casa como quatro diferentes zonas térmicas automaticamente. Porém, a exportação por Espaços apresentou erros de configuração, uma vez que o programa identificou o volume entre o forro e a laje de cobertura como um quinto espaço não definido e sem características definidas.

Portanto os sólidos não ficaram muito bem definidos, deixando algumas paredes mescladas com a laje.

Por outro lado, o processo ocorreu como esperado, sem erros e para a exportação através da categoria de Ambientes. A Figura 13 ilustra a tela do programa com o modelo renderizado como tipos de superfícies no OpenStudio-Sketchup, e a Figura 14 mostra o mesmo modelo com renderização por zonas térmicas, as quais podem ser identificadas por cores diferentes. A opção encontrada como OpenStudio Inspector, também apresentado na figura, fornece informações e possibilita adicionar características ao projeto, em relação ao tipos de construções, materiais, sistemas de climatização, iluminação, ambientes, zonas térmicas, e etc. É possível perceber as quatro zonas térmicas na ferramenta de inspeção, classificadas como: Dormitório, Sala Estar/Jantar, Cozinha e Banheiro.



**Figura 13 – Modelo Exportado do Revit para OpenStudio Sketchup no Formato gbXML como Ambiente Renderizado como Superfície**  
Fonte: Própria



**Figura 14 – Modelo Exportado do Revit para OpenStudio Sketchup no Formato gbXML como Ambiente Renderizado por Zonas Térmicas e Informações no *OpenStudio Inspector***  
 Fonte: Própria

O aspecto negativo em utilizar o modelo exportado como Ambiente ao invés de Espaço é que ao classificarmos os Ambientes no Revit, não é possível inserir informações úteis para análises energéticas, o que por outro lado é totalmente viável e necessário na classificação de Espaços.

Para realizar simulações energéticas a partir deste ponto, seria necessário configurar algumas características do modelo e inserir diversos dados de entrada para configurar a situação adequada ao estudo. Estas análises não foram realizadas pois não fazem parte do escopo do presente trabalho.



## 5 CONCLUSÃO

A proposta de testar um novo método de Avaliação de Ciclo de Vida Energético de uma edificação para a fase pré-operacional, prevendo uma posterior simulação energética durante a fase de operação, surgiu a partir da carência de ferramentas simples e práticas de auxílio no processo de seleção de materiais por parte de projetistas e tomadores de decisões na indústria de AEC.

É extremamente proveitoso e positivamente impactante realizar uma ACV durante a fase de pré-projeto, uma vez que nesta etapa ainda é possível planejar de forma mais adequada os processos, materiais a serem utilizados, logísticas de transportes, entre outros fatores que ajudam a reduzir riscos de ações improvisadas no futuro. Quando ocorrem muitas mudanças em um projeto durante a etapa da obra, maiores são os prejuízos causados ao meio ambiente devido aos possíveis desperdícios, retrabalhos, maior consumo de materiais, combustíveis e tempo.

Os resultados obtidos no presente trabalho foram bastante satisfatórios uma vez que a metodologia proposta se mostrou viável e acessível. O principal diferencial desta metodologia é a facilidade em calcular valores de Energia Embutida testando materiais diferentes com diversas configurações arquitetônicas, sem que sejam necessários grandes esforços com inserção de dados, cálculos de volumes e massas e estimativas de quantidades. Deste modo é possível legitimar os objetivos a que a plataforma BIM vem se propondo: reduzir esforços, aumentar eficiência de projetos e processo e tornar as informações mais organizadas e acuradas.

Ainda existem algumas dificuldades e detalhes que dificultam alguns processos propostos pelas novas ferramentas BIM, porém são aspectos que podem e provavelmente virão a se aperfeiçoar conforme os avanços desta novas tecnologias.

O método proposto no presente estudo contribui para o estímulo e incentivo à análise de impactos ambientais na construção civil, podendo ser utilizado como uma primeira etapa para avaliação e seleção de materiais mais adequados para uma construção, do ponto de vista sustentável. A escolha de materiais e processos construtivos baseados no consumo energético deve avaliar os impactos causados durante todo ciclo de produção e transporte de insumos, relacionando o desempenho energético da edificação e sua posterior desconstrução e reciclagem.

Por este motivo, a metodologia também propõe um vínculo para uma possível continuação em trabalhos futuro, envolvendo simulações de eficiência energética e condições de conforto térmico e acústico, colocando sequência na análise do ciclo de vida.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. L. V. X., RUSCHEL, R. C. **Interoperabilidade de Aplicativos BIM Usados em Arquitectura por Meio do Formato IFC**. Gestão e Tecnologias de Projetos, São Carlos, v.4, n. 2, p76-111, nov, 2009.

ANTÓN, L. A.; DÍAZ J. **Integration of LCA and BIM for Sustainable Construction**. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic and Management Engineering. Vol:8, No:5, 2014. Disponível em: <<http://waset.org/publications/9998219>>

ANTÓN, L. A.; DÍAZ J. **Integration of Life Cycle Assessment in a BIM Environment**. Procedia Engineering: Elsevier, v 85, p. 26-32, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Desempenho de Edificações Habitacionais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BASBAGILL, J.; FLAGERB, F.; LEPECHC, M.; FISCHERD, M. **Application of Life Cycle Assessment to Early Stage Building Design for Reduced Embodied Environmental Impacts**. Building and Environment: Elsevier, v. 60, p. 81-92, 2013.

BUENO, C. **Avaliação de Desempenho Ambiental de Edificações Habitacionais: Análise comparativa dos sistemas de certificação no contexto brasileiro**. 2010. 123 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

BUENO, C.; ROSSIGNOLO, J. A.; OMETTO, A. R. **Life Cycle Assessment and The Environmental Certification Systems of Buildings**. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 7-18, jan.-jun. 2013.

BULLA, L. A. S. **Análise Paramétrica do Desempenho Termo - Energético de Um Edifício de Escritórios**. 1995. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

CERVANTES, A. F. **Acesso ao Modelo Integrado do Edifício**. 2009. 254 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers and Contractors**. 2ª ed. Hoboken, New Jersey: Jhon Wiley & Sons, 2011.

GRAF, H. F.; MARCOS, M. H. C.; TAVARES, S. F.; SCHEER, S. **Estudo de Viabilidade do uso de BIM para Mensurar Impactos Ambientais de Edificações por Energia Incorporada e CO2 Incorporado**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, XIV, 2012, Juiz de Fora, 2012.

GRANN, B. **A Building Information Model (BIM) Based Lifecycle Assessment of a University Hospital Building Built to Passive House Standarts**. 2012. 112 f. Tese (Mestrado em Ecologia Industrial) - Department of Energy and Process Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2012.

GOMES, K. S. A. **Validação da Modelação de um Edifício de Habitação com o Programa EnergyPlus por Comparação com Medições "In Situ"**. 2010. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto 2010.

GOUVEIA, A. C. A.; ANDRADE, L. S.; ALVIM, L. G.; MAGALHÃES, A. G., **Obtenção de Coordenadas da Geometria de Uma Edificação para Arquivo do Energyplus Utilizando o Revit**, Construindo: Belo Horizonte, v.6, n. 2, jul-dez 2014.

HORNE, R.; GRANT, T.; VERGHESE K. **Life Cycle Assessment: Principles, Practice and Prospects**. Austrália: CSIRO Publishing , 2009.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento**. 2000. 102p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

KLOPFFER, W.; GRAHL, B. **Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice**. Alemanha: Wiley-VCH, 2014.

LIPPIATT, B. C. **BEES 3.0 Building for Environmental and Economic Sustainability: Technical Manual and User Guide**. Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, 2002.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P.; CARLO, J. C.; BATISTA, J. O.; MARINOSKI, D. L.. **Desempenho Térmico de Edificações: ECV 5161** – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 182 p, 2007.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. **Casa Eficiente: Simulação Computacional do Desempenho Termo-Energético**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: 4 v. 53 p. 2010.

MACEDO, D. B. G. **Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida de Sistemas Construtivos: Aplicação em um Sistema Estruturado em Aço**. 2011. 246 f. Tese (Mestrado em engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MARCOS, M. H. C. **Análise de Emissão de CO2 na Fase Pré-Operacional da Construção de Habitações de Interesse Social Através da Utilização de uma Ferramenta CAD-BIM**. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

OLIVEIRA, A. S. **Análise Ambiental da Viabilidade de Seleção de Produtos da Construção Civil Através da ACV e do Software BEES 3.0**. 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SAADE, M. R. M.; SILVA, M. G.; GOMES, V. **Methodological Discussion and Piloting of LCA-Based Environmental Indicators for Product Stage Assessment of Brazilian Buildings**. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 43-62, jan./jun. 2014.

SARTORI, I.; HESTNES A.G. **Energy Use in the Life Cycle of Conventional a Low Energy Building: a review article**. Norwegian University of Science and Technology (NTNU); Noruega, 2006.

SILVA, L. P. **Análise do Ciclo de Vida Energético de Habitações de Interesse Social**. 2012. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575**. In: XII Encontro Nacional e VIII Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído, Brasília, n<sup>o</sup> 12, p. 13-22, 2014.

TAVARES, S. F. **Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras.** 2006, 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa, Florianópolis, 2006.