



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL
ENGENHARIA CIVIL

REBECA NARA NOGUEIRA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA EDIFICAÇÃO ATRAVÉS DA
ADEQUAÇÃO DE RESULTADOS DE SOFTWARE COM INTEROPERABILIDADE
BIM À REALIDADE DE UMA CONSTRUTORA LOCALIZADA EM FORTALEZA,
CEARÁ**

FORTALEZA

2018

REBECA NARA NOGUEIRA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA EDIFICAÇÃO ATRAVÉS DA
ADEQUAÇÃO DE RESULTADOS DE SOFTWARE COM INTEROPERABILIDADE BIM
À REALIDADE DE UMA CONSTRUTORA LOCALIZADA EM FORTALEZA, CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Marinho de Carvalho

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N715a Nogueira, Rebeca Nara.

Avaliação do Ciclo de Vida de uma Edificação através da adequação de resultados de software com interoperabilidade BIM à realidade de uma construtora localizada em Fortaleza, Ceará / Rebeca Nara Nogueira. – 2018.

73 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Ricardo Marinho de Carvalho.

1. Avaliação do Ciclo de Vida. 2. Edificações. 3. Interoperabilidade. 4. Building Information Modeling. I. Título.

CDD 620

REBECA NARA NOGUEIRA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA EDIFICAÇÃO ATRAVÉS DA
ADEQUAÇÃO DE RESULTADOS DE SOFTWARE COM INTEROPERABILIDADE BIM
À REALIDADE DE UMA CONSTRUTORA LOCALIZADA EM FORTALEZA, CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheira Civil.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Marinho de Carvalho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Marisete Dantas de Aquino
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. José Ademar Gondim Vasconcelos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Lucineide e Paulo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à Deus, que me deu energia, forças e a perseverança para concluir este trabalho.

Aos meus pais, Lucineide e Paulo, que sempre me motivaram durante todos esses anos de faculdade – e de vida, e são meu alicerce.

Aos professores da graduação, em especial ao professor Ricardo Marinho, que me orientou neste trabalho durante este ano e à professora Verônica que nos proporcionou tantos momentos únicos em 2018.

À Angela, ao Cícero e ao Roderick, que me ajudaram nas revisões, nas dúvidas e na parte técnica e foram tão importantes nesse processo.

Aos meus colegas: Dávila, Diego, Elizabete, Gabriela, Giovanna, João Victor e Wanderson. Alguns que estão comigo desde o primeiro semestre e outros que chegaram agora, mas todos muito importantes para essa jornada, em especial este último ano.

Ao meu namorado, Marcelo, que esteve comigo durante todo esse processo, me apoiando e me ajudando.

Às minhas queridas amigas: Lana, Melissa e Rafaella, que ainda são minhas amigas e me amam (e eu amo) apesar das minhas constantes falas de: “Desculpa, não posso ir, preciso terminar um trabalho”. Obrigada por estarem comigo por todos esses anos e por todos os anos que ainda estão por vir.

Enfim, agradeço a todos que fizeram e fazem parte deste momento tão importante da minha vida.

“We are all connected to each other
In a circle, in a hoop that never ends.”
(Pocahontas, 1995)

RESUMO

A avaliação quantitativa da sustentabilidade das edificações através da avaliação do ciclo de vida é uma tarefa considerada, de forma geral, complexa e que demanda tempo e esforços, principalmente no Brasil, onde ainda não existe um grande banco de dados de inventário e a utilização direta de banco de dados estrangeiros pode gerar erros devido a divergências construtivas. Diante deste cenário, este trabalho apresenta uma avaliação do ciclo de vida (ACV) através da adequação dos resultados de software com interoperabilidade BIM (Tally) de uma edificação de uma construtora localizada em Fortaleza, CE, a fim de apresentar uma ferramenta de cálculo de ACV simplificada que possa ser utilizada nas fases iniciais de projeto com a utilização de dados do orçamento como entradas. A metodologia foi subdividida em quatro partes principais, seguindo os princípios básicos da NBR ISO 14.040: 1) delimitação do escopo e limitações; 2) coleta de dados; 3) criação de uma ferramenta de cálculo; 4) comparação dos resultados e discussão. A coleta de dados de inventário deu-se através de um modelo BIM do edifício analisado. Em seguida, foram extraídos os dados para a criação da ferramenta e obtenção dos resultados de impactos ambientais. Foi feita também a comparação dos resultados obtidos com a Ferramenta de Cálculo elaborada e o software com interoperabilidade BIM (Tally). Nos resultados, foi observado que o sistema de paredes foi o maior contribuinte em todas as categorias com exceção de Potencial de Acidificação e Potencial de Depleção do Ozônio Estratosférico, e que insumos que possuem processos de queima na sua fabricação acabam influenciando mais nos impactos ambientais da edificação. Além disso, os insumos com cimento em sua composição têm um grande percentual de impacto em todas as categorias. Por fim, foi percebido que para a utilização de software com interoperabilidade BIM sem o intermédio da Ferramenta de Cálculo são necessárias adequações no modelo específicas para a ACV para aumentar a confiabilidade dos resultados.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida. Edificações. Interoperabilidade. Building Information Modeling.

ABSTRACT

The quantitative analysis of buildings' sustainability is a task that is considered to be, in general, complex and requires time and effort. Especially in Brazil, where there isn't a large life cycle inventory database and the direct use of a non-native life cycle inventory data might produce errors due to divergences on countries' building typology. That being said, this project presents a life cycle assessment (LCA) of a construction company's building located in Fortaleza, CE (Brazil), through the adaptation of the results of a software with BIM interoperability (Tally), on the purpose of presenting a simplified LCA calculation tool that can be used on the initial project phases, using budget data as input. The methodology was divided into four main steps according to the basic principles of NBR ISO 14.040: 1) Delimitation of scope and limitations; 2) Data collection; 3) Creation of the LCA calculation tool; 4) Results' comparison and discussion. The inventory data was collected through a BIM model of the analyzed building. Afterward, data were extracted for the creation of the LCA calculation tool and for generating the results of the environmental impacts of the building. A comparison between the LCA calculation tool and the software with BIM interoperability results was done as well. On the results, it was observed that the Walls system was the major contributor on all impact categories except 'Acidification Potential' and 'Ozone Depletion Potential' and that materials that have burning processes on their fabrication weigh more on the environmental impacts of a building. Moreover, elements that have cement on their composition have a great influence on all impact categories. Lastly, it was noticed that to use software with BIM interoperability it is necessary specific LCA adaptations to the model in order to increase results reliability.

Keywords: Life Cycle Assessment. Buildings. Interoperability. Building Information Modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de Sistema de Produto para ACV	21
Figura 2 - Processos Elementares dentro de um sistema de produto.....	22
Figura 3- Ciclo de Vida de uma Edificação.....	22
Figura 4- Fases de uma ACV.....	26
Figura 5 - Etapas metodológicas	35
Figura 6 - Pavimento tipo do Edifício A	37
Figura 7 - Coleta de dados.....	38
Figura 8 - Distâncias de transporte padrão fornecidas pelo Tally	39
Figura 9 – Athena EcoCalculator – <i>Worksheet</i> de cálculo para Fundações.....	40
Figura 10 - Resumo do Escopo Inicial da Avaliação.....	41
Figura 11 - Resumo do escopo final da Avaliação.....	42
Figura 12 - Escolha da Matriz Energética - Geração em cada país.....	45
Figura 13 - Impactos por Fase do Ciclo de Vida (Tally)	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Impactos percentuais por subsistema construtivo	50
Gráfico 2 - Divisão Percentual - Potencial de Acidificação	53
Gráfico 3 - Divisão Percentual - Potencial de Eutrofização	54
Gráfico 4 - Divisão Percentual - Potencial de Depleção do Ozônio Estratosférico	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de abordagens em uma ACV	23
Tabela 2 – Elementos da AICV	25
Tabela 3- Estudos de materiais com emissões associadas calculadas no Brasil.....	32
Tabela 4 - VUP Mínimo.....	43
Tabela 5 - Média histórica dos Impactos na fase de construção da Construtora	44
Tabela 6 - Descrições do Trillemma Index	44
Tabela 7 - Distâncias de transporte.....	45
Tabela 8 - Resultados por sistema (Tally)	47
Tabela 9 - Impactos ambientais com a Ferramenta de Cálculo	48
Tabela 10 - Insumos que geram os maiores impactos no Edifício A.....	49
Tabela 11 - Desvio percentuais (Tally x Ferramenta de Cálculo).....	51
Tabela 12 - Potencial de Aquecimento global (kgCO _{2eq})/m ² dos principais insumos	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ACV-m	Avaliação do Ciclo de Vida Modular
AICV	Avaliação de Impactos
BIM	Building Information Modeling
BREEM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
GEE	Gases de Efeito Estufa
GWP	Global Warming Potential – Potencial de Aquecimento Global
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ICV	Análise de Inventário
ISO	International Organization for Standardization
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
ONU	Organização das Nações Unidas
PBACV	Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e produtividade do habitat
PGO	Planejamento Geral da Obra
VUP	Vida Útil de Projeto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1.	Problema de Pesquisa	16
1.2.	Justificativa.....	16
1.3.	Objetivos.....	17
1.3.1.	<i>Objetivo Geral</i>	17
1.3.2.	<i>Objetivos Específicos</i>	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1.	Histórico da Sustentabilidade na Construção Civil	18
2.2.	Ferramentas Qualitativas	19
2.3.	Ferramentas Quantitativas (Avaliação do Ciclo de Vida).....	21
2.3.1.	<i>Fases de uma ACV</i>	23
2.3.1.1.	<i>Definição de objetivo e escopo</i>	23
2.3.1.2.	<i>Análise de Inventário (ICV)</i>	24
2.3.1.3.	<i>Avaliação de impactos (AICV)</i>	25
2.3.1.4.	<i>Interpretação</i>	25
2.3.2.	<i>Categorias de Impacto</i>	26
2.3.3.	<i>Métodos de AICV</i>	28
2.3.4.	<i>A ACV na Construção Civil</i>	29
2.3.4.1.	<i>ACV na Construção Civil no Brasil</i>	30
2.3.5.	<i>Interoperabilidade com o Building Information Modeling (BIM)</i>	33
3	METODOLOGIA	35
3.1.	Definição do Escopo e das Limitações.....	36
3.1.1.	<i>Objeto de Estudo</i>	36
3.2.	Coleta de dados (Inventário).....	38
3.3.	Criação da ferramenta.....	39
3.4.	Comparação de Resultados.....	40
4	RESULTADOS.....	41
4.1.	Fronteiras do sistema e limitações.....	41
4.2.	Coleta de dados.....	42
4.2.1.	<i>Adequação dos Elementos Construtivos no Tally</i>	42
4.2.2.	<i>Adequação para o Cálculo dos Impactos na Fase de Construção do Edifício</i>	44
4.2.3.	<i>Distâncias de Fornecimento de Insumos</i>	45

4.3.	Ferramenta de Cálculo de ACV	46
4.4.	Impactos Ambientais do Edifício A.....	46
4.5.	Discussão e conclusões.....	51
5.	CONCLUSÃO	55
5.1.	Limitações	55
5.2.	Impactos ambientais da edificação	55
5.3.	Utilização do Tally.....	56
5.4.	Sugestões para trabalhos futuros	57
	REFERÊNCIAS	58
	APÊNDICE A – Escopo por materiais – Ferramenta de Cálculo x Tally.....	62
	APÊNDICE B – Escolha dos materiais Tally para a adequação	63
	APÊNDICE C – Impactos por insumos (Tally).....	66
	APÊNDICE D – Impactos por insumos (Ferramenta de cálculo).....	69
	APÊNDICE E – Quantitativos no PGO e no modelo (Extraídos pelo Tally).....	72

1 INTRODUÇÃO

Os impactos das ações humanas no meio ambiente começaram a ser discutidos de forma mais ampla a partir da segunda metade do século XX por entidades governamentais, não-governamentais e população geral e a indústria da construção, considerada uma das mais nocivas ao meio ambiente, teve que adaptar-se às novas exigências por desenvolvimento sustentável.

Com a crescente preocupação com os impactos da construção civil, surgiu a necessidade de avaliar edificações quanto a sua sustentabilidade. De acordo com Severo e Sousa (2016) existem dois tipos de ferramentas, que podem ser subdivididas em ferramentas qualitativas (como as certificações e selos ambientais) e quantitativas.

A ferramenta quantitativa é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), considerada a mais completa entre as ferramentas disponíveis para avaliar o desempenho ambiental de um material ou produto por englobar todas as entradas e saídas de todos os estágios de sua vida útil, desde a extração da matéria prima ao seu fim de vida, podendo agregar possíveis impactos ambientais e avaliações para dar suporte a tomadores de decisão (ASDRUBALI; BALDASSARRI; FTHENAKIS, 2013).

Em edificações, a ACV é utilizada de forma mais eficiente como ferramenta para tomada de decisão nas fases iniciais de projeto, pois o potencial de redução de impactos ambientais é maior, devido à possibilidade de alterações no projeto para diminuir seus impactos ambientais.

Todavia, a ACV possui limitações quando aplicada ao contexto da construção civil, principalmente associadas ao fato de consumirem muito tempo e recursos devido às particularidades de um edifício como longo ciclo de vida e o fato serem construídos no local, e, além disso, a pouca interoperabilidade com o BIM (*Building Information Modeling*) ainda não pode ser aplicada de forma definitiva no país porque *software* com interoperabilidade BIM utilizam bancos de dados de inventário estrangeiros, o que torna este tipo de simplificação ainda mais sujeita a erros.

Tendo em vista o cenário atual, a aplicação e discussão sobre as limitações da ACV no país faz-se necessária para a construção da ferramenta de forma mais sólida, visando incentivar a ampliação do banco de dados de inventário nacional para tornar as aplicações na construção civil mais consistentes e incentivar o uso da ferramenta como forma de avaliação do desempenho ambiental e, na fase de projeto, auxiliar na tomada de decisão.

1.1. Problema de Pesquisa

O setor da construção civil é um dos que mais geram impactos ambientais. Devido a esta característica, a necessidade de quantificar e identificar tais impactos vem aumentando ao longo dos anos a utilização da ferramenta da ACV (EVANGELISTA et al., 2014).

De forma generalizada, a ACV para a edifícios é complexa devido às suas particularidades como, por exemplo, ser construído no local, ter impactos de transporte significantes devido aos diversos fornecedores de insumos e ter ciclo de vida longo (décadas). Os impactos de um empreendimento podem ser reduzidos se decisões forem tomadas ainda na fase inicial de projeto (BASBAGILL et al., 2013; DIAZ; ANTÓN, 2014; BRIBIÁN; USÓN; SCARPELLINI, 2009), portanto, quanto mais cedo for feita a avaliação mais fácil é de identificar onde existem os maiores impactos para auxiliar na tomada de decisão.

A ACV é uma tarefa que demanda muito tempo, esforços e um banco de dados de inventário consistente (DIAZ; ANTÓN, 2014), algo que o no Brasil ainda é incipiente e gera limitações que praticamente torna a avaliação praticamente impraticável comercialmente (EVANGELISTA et al., 2014; SILVA, 2003, cap. 2). Além disso, ainda há dificuldade para aplicação em *software* com interoperabilidade BIM devido às diferenças entre as tipologias construtivas utilizadas nos países do banco de dados de origem e as tipologias construtivas utilizadas no Brasil.

1.2. Justificativa

Países na Europa e os Estados Unidos já possuem um banco de dados e metodologias bem definidas para suas respectivas tipologias construtivas (embora em constante desenvolvimento) e já existem *software* com interoperabilidade BIM, como o Tally, a fim de facilitar a aplicação da ACV ainda nas fases iniciais de projeto, todavia, para aplicação de tais *software* no Brasil ainda há certa incompatibilidade devido às divergências entre as tipologias construtivas aplicadas no Brasil em relação às aplicadas nos países de origem do banco de dados utilizado, portanto, tais *software* não poderiam ser utilizados de forma definitiva.

Espera-se que a aplicação da ACV ainda na fase inicial de projeto seja facilitada e incentivada com uma Ferramenta de Cálculo de ACV que possua elementos construtivos utilizados no Brasil, de forma a ajudar na tomada de decisão ao indicar qual elemento gera menos impactos ao meio ambiente.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é a realização de uma avaliação do ciclo de vida através da adequação de resultados de software com interoperabilidade BIM à realidade de uma construtora localizada em Fortaleza, Ceará, através de uma ferramenta para cálculo de impactos ambientais utilizando a metodologia de ACV que possa ser utilizada como avaliação simplificada para ajudar na tomada de decisão nas fases iniciais de projeto.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Criação de uma ferramenta de cálculo no Excel para cálculo dos impactos ambientais com elementos construtivos utilizados pela construtora.
- b) Comparar resultados obtidos com a Ferramenta de cálculo em Excel com resultados obtidos com a utilização do *software* Tally (extensão do Revit).
- c) Comparar os resultados obtidos por sistema construtivo e por fases do ciclo de vida, bem como fornecer resultados para os elementos considerados críticos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Histórico da Sustentabilidade na Construção Civil

O setor da construção civil é um reconhecido um dos setores que mais gera impactos ambientais, com grandes gastos energéticos, de água e geração de resíduos (sólidos, líquidos e gasosos). Para exemplificar, no Brasil, apenas no ano de 2016, foram produzidas 57.300.000 toneladas de cimento, com um consumo de eletricidade de 7.111 GWh, totalizando emissões de aproximadamente 580.968,7 tCO_{2e} (toneladas de dióxido de carbono equivalente)¹. Apenas a produção de cimento representa aproximadamente 3% do consumo energético nacional (BRASIL, 2017), e isto é apenas parcela dos impactos que a construção civil tem nacionalmente.

Tendo isto em vista, a indústria da construção, sendo uma indústria de atividades geradoras de, além de grandes impactos ambientais, impactos sociais e econômicos, tem papel fundamental para o alcance do desenvolvimento sustentável das nações.

Um dos conceitos de desenvolvimento sustentável mais utilizados internacionalmente foi proposto no Relatório de Brundtland (1987) ou “Nosso Futuro Comum” – *Our Common Future* na *World Commission on Sustainable Development*:

“Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que atende as necessidades do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras de atenderem suas próprias necessidades”

Em 1992, a Organização das Nações Unidas (ONU) organizou a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento no Rio de Janeiro, sendo conhecido como Rio 92. Na Rio 92, 179 países assinaram a Agenda 21 Global para promover o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 201-?), e, após a Rio 92, em 1998, em busca de minimizar os impactos específicos da construção, surge a Agenda 21 para Construção Sustentável e em 1999 a Agenda 21 para Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento (CIB, 1999), onde a construção sustentável é definida como: “um processo holístico que aspira a restauração e manutenção da harmonia entre os ambientes natural e construído, e a criação de assentamentos que afirmem a dignidade humana e encorajem a equidade econômica”.

Esta busca pelo equilíbrio entre aspectos sociais, econômicos e ambientais que pode ser observada na definição de construção sustentável é chamada de “*triple bottom line*”

¹ Valor calculado utilizando o fator de emissão de GEE médio anual de 2016 (BRASIL,2018)

– o tripé sustentável, e essa busca e tais critérios devem ser levados em consideração ainda durante o início do projeto para edificações para diminuir os impactos ambientais (DIAZ; ANTÓN, 2014).

Foram desenvolvidas ao longo dos anos ferramentas para avaliar a sustentabilidade das edificações, que podem ser subdivididos em dois tipos: ferramentas qualitativas e ferramentas quantitativas (SEVERO; SOUSA, 2016), que devem, preferencialmente, ser utilizadas de forma conjunta para uma avaliação de sustentabilidade mais completa.

2.2. Ferramentas Qualitativas

As ferramentas qualitativas, incluem certificações e selos atribuídos aos empreendimentos. Nesta metodologia, as certificações e selos baseiam-se no desempenho relativo ambiental quando comparada a outros edifícios e outras alternativas de concepção. A edificação é pontuada em aspectos ambientais como eficiência energética, consumo de água, qualidade interior, entre outros, para ser certificada (SEVERO; SOUSA, 2016).

A seguir, algumas certificações utilizadas no Brasil:

- *BREEM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)*

Certificação inglesa desenvolvida no Reino Unido na década de 90. A performance é medida através de categorias como Energia, Saúde e Bem-Estar, Inovação, Uso do Solo, Materiais, Gestão, Poluição, Transporte, Resíduos e Água e podem ser atingidas os níveis de certificação: Aceitável para Passar, Bom, Muito Bom, Excelente e Excepcional. Existem cinco tipos de Certificações para diferentes usos como Comunidades, Infraestrutura e Novas Construções. Atualmente, existem mais de 565.000 certificações em 77 países e mais de 2.274.000 de prédios registrados (BREEM, 201-?).

- *LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)*

Sistema de certificação norte-americano de 1998, que atualmente é a certificação para prédios sustentáveis mais utilizada mundialmente, presente em mais de 165 países, e propõe reduzir gastos com energia, água e recursos, gerando menos resíduos e dando suporte a saúde humana. Assim como a BREEM, possui cinco tipos de certificações, sendo as mais utilizada a BD+C (Novas Construções). Várias categorias são analisadas, que podem variar de acordo com o tipo de certificação, algumas são: Design Integrado, Energia, Água, Resíduos,

Materiais, Localização e Transporte, Sites Sustentáveis, Impacto Regional e Inovação (USGBC, 201-?).

- *HQE Bâtiment*

Certificação francesa, baseada em quatro compromissos: Qualidade de vida, respeito ao meio ambiente, performance econômica e gestão responsável. O Sistema de avaliação é baseada em uma abordagem de performance, possui 12 objetivos, 28 temas e é possível obter as classes A, B, C, D, E e F (CERTIVEA, 201-?).

- *AQUA – HQE (Alta Qualidade Ambiental)*

Desenvolvido a partir da certificação francesa Démarche HQE e aplicado no Brasil pela Fundação Vanzolini com lançamento em 2008. Seu diferencial está em considerar cultura, clima, normas técnicas e a regulamentação presentes no Brasil. A avaliação do Edifício é feita para as 14 categorias de preocupação ambiental (Relação do Edifício com seu entorno, Conforto Acústico, Conforto Visual, Gestão da Água, Gestão da Energia, Gestão de Resíduos, etc) e classifica nos níveis Base, Boas Práticas ou Melhores Práticas, sendo necessário alcançar um perfil mínimo de desempenho com 3 categorias no nível Melhores Práticas, 4 categorias no nível Boas Práticas e 7 categorias no nível Base. Atualmente, foram certificados mais de 9 milhões de metros quadrados (VANZOLINI, 201-?).

- *Selo Casa Azul*

Desenvolvido para projetos financiados pela Caixa, como forma de promover o uso racional de recursos naturais nas construções, com a missão de reconhecer projetos que adotam soluções eficientes de uso, construção, ocupação e manutenção do edifício. São 53 critérios subdivididos em 6 categorias (Qualidade Urbana, Projeto e Conforto, Eficiência Energética, Conservação de Recursos Materiais, Gestão da Água e Práticas Sociais). É possível obter os níveis Bronze, Prata e Ouro (CAIXA, 201-?).

- *Fator Verde*

Certificação da Prefeitura de Fortaleza para Construções, Parcelamento e Atividades Sustentáveis. Os níveis de certificação são: Bronze, Prata, Ouro e Diamante e os critérios possuem 6 dimensões: Cidade Sustentável, Ambiente Saudável, Energético, Hídrico,

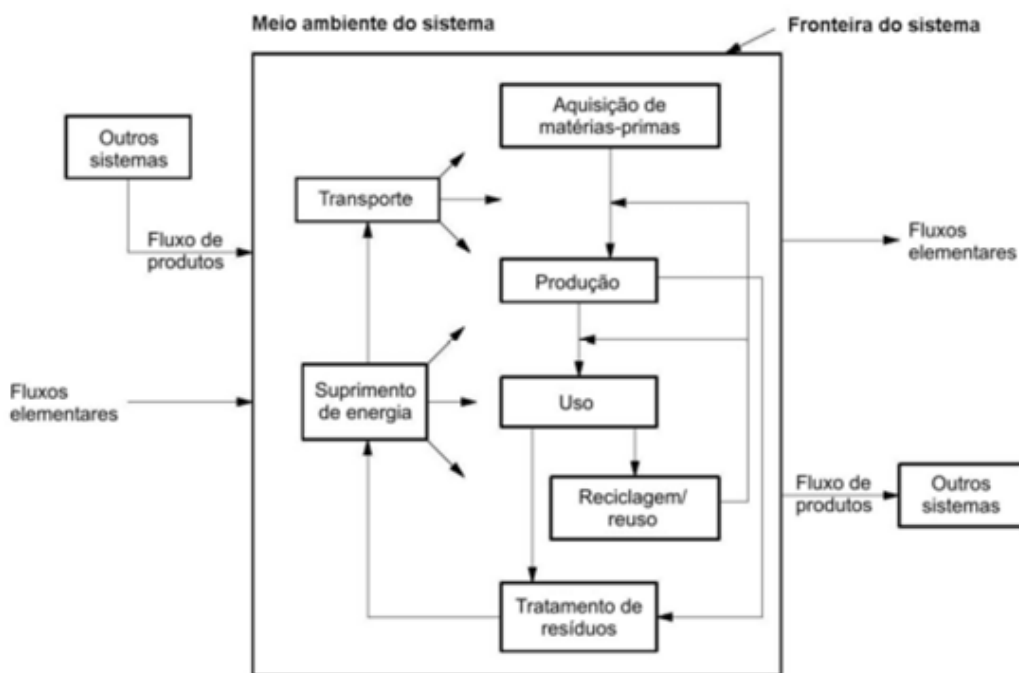
Materiais e Resíduos e Social, sendo 12 critérios obrigatórios e 33 opcionais. É uma certificação nova e possui apenas um empreendimento pré-certificado até o momento (FORTALEZA, 2016).

2.3. Ferramentas Quantitativas (Avaliação do Ciclo de Vida)

A ferramenta quantitativa melhor aceita internacionalmente é utilização da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Sendo uma ferramenta para avaliação puramente do desempenho ambiental, a ACV é uma técnica em constante desenvolvimento que objetiva mensurar os impactos ambientais a fim de melhor compreender e lidar com tais impactos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a).

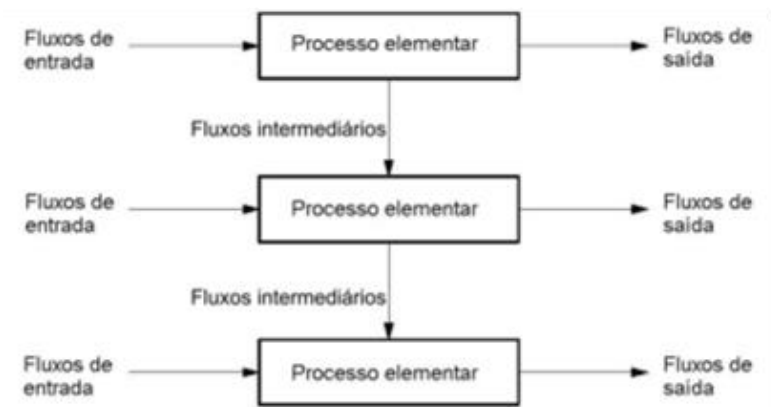
A ACV modela o ciclo de vida de um produto através do sistema de produto (Figura 1), imerso no meio ambiente, sendo caracterizada pela sua função e não apenas em termos de produto final. Estes sistemas são compostos por processos elementares (Figura 2) que são ligados por fluxos intermediários.

Figura 1 – Exemplo de Sistema de Produto para ACV



Fonte: ABNT NBR ISO 14.040:2009

Figura 2 - Processos Elementares dentro de um sistema de produto



Fonte: ABNT NBR ISO 14.040:2009

Quando aplicada aos edifícios, é um método para prever os impactos de uma edificação durante seu ciclo de vida, podendo incluir desde a extração dos materiais de seus componentes, produção, transporte, construção, operação, manutenção, reparo, reposição e demolição, sendo estes os processos elementares no ciclo de vida de um edifício, como pode ser visto na Figura 3.

Figura 3- Ciclo de Vida de uma Edificação



Fonte: Adaptado de Khasreen, Banfill e Menzies (2009)

A abordagem citada anteriormente é chamada de *cradle to grave* (berço ao túmulo), podendo incluir também reutilização ou reciclagem (*cradle to cradle* – berço ao

berço). Além da abordagem *cradle to grave*, há também a *cradle to gate* (berço ao portão), que vai da extração do material até a produção dos insumos (KHASREEN; BANFILL; MENZIES, 2009)

Tabela 1 – Tipos de abordagens em uma ACV

Tipo	Tradução	Escopo
Cradle to gate	Berço ao portão	Impactos de extração dos materiais, produção e transporte
Cradle to grave	Berço ao túmulo	Impactos de extração dos materiais, produção, transporte, construção, operação, manutenção, reparo, reposição e fim de vida
Cradle to cradle	Berço ao berço	Impactos de extração dos materiais, produção, construção, operação, manutenção, reparo, reposição, reutilização/reciclagem e fim de vida

Fonte: Adaptado de Khasreen, Banfill e Menzies (2009)

O uso da ACV iniciou-se na década de 1960, porém para a construção civil seu uso tornou-se mais amplo apenas na década de 1990. A ACV foi normalizada em 1997 através da criação da série ISO 14.040:1997, que mais tarde seriam atualizadas e traduzidas para o português, estando atualmente válidas no Brasil as normas ABNT NBR ISO 14.040:2009 e ABNT NBR ISO 14.044:2009.

A ACV também pode ser utilizada em conjunto com ferramentas qualitativas quando utilizada para edificações. No LEED 2009 e LEED v4, por exemplo, existem créditos onde, através da utilização da ACV, pontos podem ser adquiridos, como o crédito de Redução do Impacto do Ciclo de Vida (*Building Life-cycle impact reduction*) através da realização da ACV no prédio todo na fase de projeto para redução de impactos (GBCI, 2017).

2.3.1. Fases de uma ACV

Segundo a ABNT NBR ISO 14.040:2009, a ACV é composta por quatro fases:

2.3.1.1. Definição de objetivo e escopo

São definidos as fronteiras do sistema, unidade funcional, pressupostos e limitações e o nível de detalhamento que será abordado no estudo.

A unidade funcional define as características de desempenho do produto, para assegurar a comparabilidade dos resultados de ACV. Em um edifício, a unidade funcional

seria provavelmente o m² ou m³ para a maioria das categorias de impactos ambientais (KHASREEN; BANFILL; MENZIES, 2009; SILVA, 2003, cap. 2).

Como será visto a seguir, o objetivo e escopo podem variar ao longo do processo de avaliação do ciclo de vida, pois o mesmo é iterativo.

2.3.1.2. *Análise de Inventário (ICV)*

Trata-se da coleta de todos os dados dos processos elementares de entrada/saída ou *input-output* e procedimentos de cálculo. Pode ser feita análise de processo, com uma árvore de processos ou através dos cálculos de entrada/saída (KHASREEN; BANFILL; MENZIES, 2009).

A fase de ICV é um processo iterativo, quanto mais se coleta dados, mais se conhece sobre o sistema e novos requisitos e limitações são identificados, podendo mudar o escopo e objetivo do estudo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a). Ou seja, se algum tipo de informação não poder ser identificada, o escopo e objetivo do estudo pode ser alterado, então a completude das informações na fase de ICV é essencial.

A ABNT NBR ISO 14.040:2009 define os passos a serem seguidos na fase de inventário, dentre eles a coleta de dados (onde são definidas e coletadas as entradas e energia, matéria prima, entradas auxiliares, etc e as emissões através de fontes confiáveis de banco de dados) e o cálculo com os dados (onde os dados coletados são validados e é feita a correlação com os processos e à unidade funcional). Além disso, deve ser considerada a possibilidade de alocação dos dados quando se tratar de sistemas que envolvem múltiplos produtos e sistemas e reciclagem, apesar da mesma não ser obrigatória.

Na construção civil, o que normalmente é incluído na fase de inventário, de acordo com o que estiver descrito no escopo, é a energia incorporada de materiais e componentes do prédio, transporte de materiais e componentes para o canteiro, o uso de energia do edifício, reparo e manutenção, demolição e transporte de resíduos para os locais de tratamento. Alguns estudos também incluem o desperdício de materiais e consumo de água (KHASREEN; BANFILL; MENZIES, 2009).

Dentre as fases da ACV, a ICV na construção civil é a mais delicada e importante devido à dificuldade de reunião de dados: dados incompletos e, no caso do Brasil, um banco de dados de inventário de materiais e elementos de construção incipiente produzem erros e são limitações inerentes ao processo da ACV.

2.3.1.3. Avaliação de impactos (AICV)

Objetiva prover informações para ajudar na avaliação dos resultados obtidos na ICV, para obter melhor entendimento da importância ambiental. Envolve a escolha de categorias de impacto e indicadores.

A AICV possui elementos mandatórios e opcionais, sendo esses:

Tabela 2 – Elementos da AICV

Tipo de Elemento	Elementos
Elementos obrigatórios	Seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização
	Correlação de resultados do ICV (classificação)
	Cálculo de resultados dos indicadores de categoria (caracterização)
Elementos opcionais	Cálculo da magnitude dos resultados dos indicadores relativamente a informações de referência (normalização)
	Agrupamento
	Ponderação

Fonte: ABNT NBR 14.040:2009

Nos elementos obrigatórios, a seleção das categorias de impacto deve ser justificada e consistente com o objetivo e escopo da ACV, porém, para a maioria dos estudos, as categorias de impacto e indicadores existentes são selecionadas de acordo com uma metodologia pré-definida.

Por exemplo, uma categoria de impacto presente na maioria dos estudos é o Potencial de Aquecimento Global (GWP – *Global Warming Potential*). A correlação dos agentes responsáveis pelo GWP é feita (classificação) e são transformados para um indicador comum (caracterização) – tCO_{2eq} (tonelada de dióxido de carbono equivalente).

Outras categorias de impacto serão abordadas no item 2.3.2.

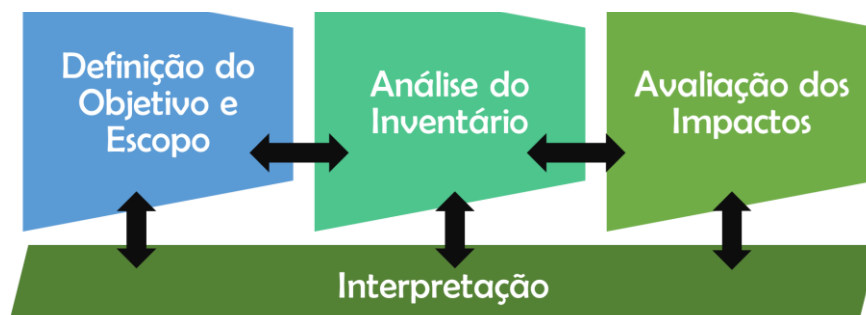
2.3.1.4. Interpretação

Onde os resultados da ICV, AICV ou ambos são sumarizados e tomados como base para alcançar os objetivos da ACV.

Na fase de interpretação, devem ser identificadas as questões significativas e ser feita uma avaliação através da verificação da completude, sensibilidade e consistência do

estudo. Devem explicar as limitações, tirar conclusões e prover recomendações de acordo com as avaliações feitas.

Figura 4- Fases de uma ACV



Fonte: ABNT NBR ISO 14.040:2009

Como ferramenta quantitativa, e sendo a diretriz mais bem definida e aceita no mercado internacional para mensuração de impactos ambientais, segundo a ABNT NBR ISO 14.040:2009, a ACV pode subsidiar:

- Identificação de oportunidades de melhoria;
- Tomada de decisão (e.g.: planejamento estratégico, definição de prioridades);
- Seleção de indicadores de desempenho ambiental relevantes;
- Marketing.

Como está representado na Figura 4, o processo da ACV é um processo iterativo, contribuindo para a consistência do estudo e dos resultados relatados.

No final da ACV, deve ser feita a comunicação através de relatórios. A ABNT ISO 14.044:2009 define requisitos e considerações gerais para comunicação dos resultados de uma ACV (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009b).

2.3.2. *Categorias de Impacto*

Na fase de AICV, como mencionado anteriormente (item 2.3.1.3), são definidas as categorias de impacto e seus é feita sua classificação e caracterização.

A seleção das categorias de impacto muitas vezes vem de uma metodologia pré-definida, e, dentre as categorias de impacto mais comumente encontradas em *software* para realização de ACV em *software* para ACV utilizados na Construção Civil, considerados relevantes para o setor, temos:

- (a) **Potencial de Acidificação ($kgSO_2$):** O potencial de acidificação é uma medida da

capacidade de uma molécula de aumentar a concentração do íon hidrogênio (H⁺) na presença de água, aumentando o teor de acidez no ar, na água ou no solo (diminuindo o valor do pH). Seus efeitos incluem a mortalidade de peixes, desmatamento florestal e deterioração de materiais de edificações (IBICT, 2014).

- (b) **Potencial de Eutrofização(kg N):** problema ambiental resultante do aumento da concentração de nutrientes na água ou no solo provocado pela disposição de rejeitos, que ocasiona um aumento na quantidade de espécies no ecossistema e na produção de biomassa (IBICT, 2014). Em ecossistemas aquáticos, o aumento da produção de biomassa pode levar a redução nos níveis de oxigênio devido ao aumento no consumo de oxigênio na decomposição da biomassa.
- (c) **Potencial de Aquecimento Global (kg CO₂):** medida de emissão de gases de efeito estufa, como dióxido e carbono e metano. Esses aumentos nas emissões estão causando um aumento na absorção de radiação emitida pela terra, aumentando o efeito estufa. Pode ter efeitos negativos na saúde geral dos ecossistemas, saúde humana e qualidade dos materiais (IBICT, 2014).
- (d) **Depleção de Ozônio Estratosférico (CFC-11):** medida das emissões que contribuem para a depleção da camada de ozônio estratosférico, que levam a mais raios ultravioletas chegando a superfície terrestre com efeitos negativos à humanos e plantas. Pode resultar no crescimento de doenças, interferências com o ecossistema e danos a materiais (IBICT, 2014).
- (e) **Formação Fotoquímica de Ozônio (kg O₃):** É o aumento na concentração de ozônio na camada mais baixa da atmosfera devido a reações fotocatalisadas entre poluentes primários (NO_x e VOC) com oxigênio (IBICT, 2014). Também chamada de Formação de Fumaça ou Smog (que vem da junção das palavras em inglês “*smoke*” e “*fog*”), pode causar uma variedade de problemas respiratórios.

É derivado principalmente da combustão de combustíveis fósseis, podendo resultar também da combustão do carvão. Sua formação depende da temperatura e dos raios de sol, logo, problemas de smog são maiores em dias ensolarados (CCME, 1998).

- (f) ***Demanda de Energia Primária:*** quantidade total de energia utilizada de recursos não renováveis como petróleo e gás natural e de recursos renováveis como hidroelétricas, energia solar, etc.

Alguns estudos simplificados para edificações utilizam apenas as categorias de impacto de Potencial de Aquecimento Global e Demanda de Energia Primária, além de outras métricas como geração de resíduos (sólidos) e pegada hídrica, como será visto no item 2.3.4 e na Tabela 3.

2.3.3. ***Métodos de AICV***

Existem metas e ações estratégicas para ter um método validado de AICV aplicável no Brasil sendo desenvolvido pelo Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV), porém tal método ainda não está consolidado.

Existem dois níveis de avaliação do impacto: ***Midpoint*** e ***Endpoint***. O nível de avaliação *midpoint* está localizado ao longo do resultado do inventário, antes de chegar ao ponto final, possuindo menor nível de incerteza, enquanto que o nível de avaliação de impacto *endpoint* possui maior incerteza, apesar de costumeiramente ser mais fácil de entender e interpretar que indicadores do tipo *midpoint* por referir-se a um dano específico (PRÉ, 2016).

Existem diversos métodos desenvolvidos nos níveis de avaliação de impacto, entre eles, um método global e utilizado por diversos *software* é o CML 2002, método holandês, de abordagem *midpoint* que aborda categorias de impacto de depleção de recursos abióticos, uso da terra, mudança climática, depleção do ozônio estratosférico, ecotoxicidade, acidificação, eutrofização, entre outras. Possui escopo global (exceto para acidificação e formação de foto-oxidantes, que são direcionadas para Europa).

Um exemplo de método *endpoint*, desenvolvido com o objeto de facilitar seu entendimento na Holanda é o Eco-indicator 99 e possui as categorias de impacto de Saúde humana, Qualidade do ecossistema e Recursos.

Outro método que utiliza o nível de avaliação de impacto *midpoint*, o TRACI, é um método de avaliação de impacto elaborado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, com abrangência global para as categorias de **depleção de ozônio** e **aquecimento global** e escopo local para a América do Norte para acidificação, eutrofização e formação de fumaça (ou formação fotoquímica de ozônio), além de escopo válido apenas para

os Estados Unidos para as categorias de ecotoxicidade e saúde humana (MENDES; BUENO; OMETTO, 2015).

2.3.4. AACV na Construção Civil

A ACV já é bastante utilizada na indústria automobilística e na produção de equipamentos e produtos para consumo, todavia, devido às dificuldades de reunião de dados na fase de inventário e das características únicas de um edifício, como sua vida útil elevada e por serem construídos no local, ainda existem barreiras para o desenvolvimento da ACV de edifícios completos, sendo necessários muito tempo e esforços. Além disto, ainda há certa falta de interoperabilidade com o BIM (Building Construction Modeling) (BASBAGILL et al., 2013; DIAZ; ANTÓN, 2014; BRIBIÁN; USÓN; SCARPELLINI, 2009).

Devido a estas dificuldades, na ausência de dados para a fase de inventário da ACV, recomenda-se a utilização das ferramentas qualitativas como forma de avaliação da sustentabilidade de uma edificação (SEVERO; SOUSA, 2016).

Segundo Bribián, Usón e Scarpellini (2009), os principais usos da ACV no setor da construção civil são: escolher o local da construção, escolher o tamanho do projeto e, principalmente, para arquitetos e engenheiros, comparar opções de design (geometria/orientação, escolhas técnicas). Tais usos dão-se nas fases projeto preliminar e projeto de arquitetura e engenharia detalhado, que possuem o maior potencial de acrescentar valor ao projeto tendo em vista sua flexibilidade.

Patzlaff, Kern e González (2010) propuseram elementos para a construção de um sistema de apoio à decisão em edificações baseado no tripé sustentável, onde a ferramenta proposta no âmbito ambiental foi a avaliação do ciclo de vida. Para os autores, o desenvolvimento de produto na construção civil, feito muitas vezes de forma intuitiva, pode ter resultados melhores ao utilizar mecanismos de auxílio a tomada de decisão como a Avaliação do Ciclo de Vida. Um destes resultados pode ser a redução das emissões atmosféricas e outros impactos ambientais através da realização da ACV nas fases iniciais de projeto.

Além disso, percebe-se que há uma proporcionalidade entre as fases do ciclo de vida de uma edificação: se mais for investido durante a construção e projeto, menor será o gasto com manutenção, e, para analisar os impactos ambientais de um investimento maior na fase de construção, a ACV é uma boa ferramenta quantitativa para dar suporte a tomada de decisão.

Para ajudar a superar a complexidade e demanda de esforços na ACV na construção civil Bribián, Usón e Scarpellini (2009) propuseram uma metodologia simplificada para superar o preconceito de arquitetos e engenheiros com a ACV. Tal metodologia simplificada, foi desenvolvida para complementar os resultados obtidos por um software de certificação Espanhol. Nesta metodologia, simplificações nas categorias de impacto e coleta de dados são feitas para ajudar no entendimento dos resultados, onde alguns aspectos foram considerados para desenvolver tal metodologia:

- Informações de entrada fáceis de serem encontradas no projeto do edifício;
- Deve-se inserir o mínimo possível de informações
- Indicadores e categorias de impacto simples e fáceis de entender (consumo de água, energia incorporada, CO₂, resíduos, etc)

Também em 2009, a relevância de simplificações realizadas em ACV de edificações já foi abordada por Kellenger e Althaus (2009). Simplificações como, por exemplo, não considerar as distâncias de transporte de materiais em casos em que a distância e peso eram poucas, em processos construtivos, materiais auxiliares e material de bota fora, que foram muito utilizadas anteriormente, segundo os resultados do estudo feito são significantes e os impactos de tais fases devem ser contabilizados (KELLENBERGER; ALTHAUS, 2009). Outro tipo de simplificação pouco citada e amplamente utilizada é a coleta de dados através de bancos de dados externos, não sendo coletados das fontes primárias de produção dos insumos ou produtos utilizados nas edificações(CBCS, 201-?), porém tais simplificações são necessárias devido à dificuldade de coleção de dados em ambientes não controlados e com tantas variáveis como edificações.

2.3.4.1. ACV na Construção Civil no Brasil

No Brasil, ainda não há um amplo banco de dados para elementos e materiais da construção civil, e, tendo em vista que os métodos utilizados em países onde a ACV já é mais utilizada difere dos métodos brasileiros, a ACV fica sujeita a erros (SILVA, 2003, cap. 2). Além disso, devido a sua grande extensão e diversidade entre regiões, a distância de transporte tem um valor relevante na ACV e deve ser levado em conta devido a seus impactos elevados se comparado com outros lugares.

Silva (2003, cap. 2) considerou a prática de ACV no Brasil como complexa, impraticável e insuficiente devido à inexistência de um banco de dados de materiais de construção brasileiro, pois as bases de dados existentes de países estrangeiros são aplicáveis

apenas dentro de seus limites geográficos. Isso ocorre, pois, o processo de obtenção e produção e muitos materiais e produtos de construção estrangeiros diferem das características nacionais e as práticas construtivas também diferem, não cobrindo todos os componentes fundamentais da construção brasileira.

Apesar das dificuldades, trabalhos sobre ACV tem sido realizados no Brasil. Em 2007, o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Ibict) lançou um site pioneiro sobre ACV, que tinha por objetivo a disseminação da metodologia no Brasil através do PBACV (Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida), onde o principal produto é o Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida (SICV Brasil), porém este inventário ainda está em formação (IBICT, 201-?). No mesmo, podemos encontrar, relevantes para a construção civil, apenas inventário de processos de cimento e eletricidade (IBICT, 201-?). Ou seja, ainda falta muito para a integração dos inventários na construção civil.

No entanto, trabalhos tem sido realizados em paralelo ao trabalho realizado pelo Ibict. O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) começou a desenvolver um projeto chamado ACV Modular (ACV-m), que foi implantado de forma inicial no setor de blocos de concreto para alvenaria e pavimento. A ACV-m é uma simplificação de uma ACV, onde estima-se as cinco principais faixas de indicadores como uso de materiais, consumo de energia e água, emissões de CO₂ e geração de resíduos. O projeto realizou um ICV coletando dados de inventário direto das empresas participantes do projeto (CBCS, 201-?).

Em 2014, foi realizada uma ACV em um empreendimento residencial completo na Bahia utilizando o *software* SimaPro, porém não houve contabilização dos dados de transporte. Nos resultados, concluiu-se que o clínquer, utilizado no processo de fabricação do cimento, é o maior contribuinte para as emissões que contribuem para o Potencial de Aquecimento Global (tCO_{2eq}). Outros materiais impactantes em uma edificação são o cobre, PVC e revestimentos cerâmicos (EVANGELISTA et al., 2014), logo, atualmente esta imprecisão na fase de produção de materiais e construção seria diminuída tendo em vista que já existem dados de ACV para concreto, cimento e revestimentos cerâmicos no Brasil (Tabela 3), dois dos insumos que geram mais impactos na construção civil no país.

Além dos trabalhos feitos para aumentar o banco de dados de inventário nacional, em 2016, foi publicado um trabalho sobre os impactos da adoção de BIM na avaliação de energia e emissões GHG incorporadas, onde se utilizou o Revit como plataforma BIM para introduzir os impactos ambientais nos materiais Revit. Comparado com a ACV tradicional, a ACV utilizando um modelo BIM teve uma variação de +3% nos impactos devido ao nível de

desenvolvimento do modelo BIM. Concluiu-se, no trabalho, que quanto mais detalhado o modelo, mais preciso será o valor resultante da ACV (BARROS, 2016).

Tabela 3- Estudos de materiais com emissões associadas calculadas no Brasil

MATERIAL	ESTUDO	CATEGORIAS DE IMPACTO / EMISSÕES ASSOCIADAS
CIMENTO	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA AMBIENTAL APLICADA A CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO: COMPARAÇÃO ENTRE CIMENTOS PORTLAND COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS. CARVALHO (2002) apud (KUHN, 2006)	MATERIAL PARTICULADO, NOX, SOX, CO2
TIJOLO DE SEIS FUROS	INVENTÁRIO DA PRODUÇÃO DE PISOS E TIJOLOS CERÂMICOS NO CONTEXTO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA. (SOARES; PEREIRA, 2004)	CO, CO2, H2O, C(FULIGEM/CINZAS) E NOX
PISO CERÂMICO		CO, CO2, MATERIAL PARTICULADO, NO2, SO2, ENERGIA
TELHA ECOLÓGICA	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE TELHA ECOLÓGICA À BASE DE PAPEL RECICLADO (YOSHIMURA; YOSHIMURA; WIEBECK, 2012)	POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL, POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA, ACIDIFICAÇÃO, EUTROFICAÇÃO, TOXIDADE HUMANA
SISTEMA DYWALL	COMPARAÇÃO ENTRE MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL ATRAVÉS DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: SISTEMA DRYWALL E ALVENARIA DE VEDAÇÃO (CONDEIXA, 2013)	ACIDIFICAÇÃO, EUTROFIZAÇÃO, MUDANÇAS CLIMÁTICAS, RADIAÇÃO IONIZANTE, DEPLEÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO, EFEITOS RESPIRATÓRIOS, COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS, EXTRAÇÃO MINERAL
ALVENARIA DE VEDAÇÃO		
BLOCOS DE CONCRETO	SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA DE BLOCOS E PAVIMENTO DE CONCRETO AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA MODULAR(CBCS, 201-?)	CO2, ENERGIA, ÁGUA, RESÍDUOS, USO DE MATÉRIAS-PRIMAS
PAVIMENTOS DE CONCRETO		

Continua

MATERIAL	ESTUDO	CATEGORIAS DE IMPACTO / EMISSÕES ASSOCIADAS
PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE VEDAÇÕES ESTRUTURAIS	CO, NOX, MATERIAL PARTICULADO, CO2
ALVENARIA EM BLOCOS DE CONCRETO	EM PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS E ALVENARIA EM BLOCOS DE CONCRETO (CAMPOS, 2012)	
LIGHT STEEL FRAMING	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO E DE EMISSÕES DE CO2 DE UMA EDIFICAÇÃO HABITACIONAL UNIFAMILIAR DE LIGHT STEEL FRAMING(CALDAS, 2014)	ENERGIA E EMISSÕES CO2

Fonte: Autora, 2018.

Em 2017, uma ACV foi realizada em uma unidade unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida utilizando o OpenLCA e a base de dados EcoInvent v3.3. Neste estudo, fica claro que foi feita regionalização para adaptar o banco de dados à realidade brasileira (MORAGA, 2017).

2.3.5. Interoperabilidade com o *Building Information Modeling* (BIM)

De acordo com Barros e Silva (2016, p. 89) “a principal vantagem do uso de BIM na ACV é a sua capacidade de otimizar o processo, auxiliar a tomada de decisão durante toda a evolução do projeto e instigar a convergência para uma solução otimizada.”

Basbagill et al. (2013) e Diaz e Antón (2014) falam da falta de interoperabilidade da ACV com o BIM, todavia, esforços de pesquisa e novos *software* de integração tem surgido para inverter esta situação tem crescido ao longo dos anos.

Barbagill et al. (2013) introduzem uma abordagem através da utilização de um modelo BIM para prover impactos distribuídos em elementos dos edifícios, para aplicação especificamente nas fases iniciais de projeto, quando o potencial de redução de impactos é maior. Nesta abordagem, diversos *software* foram utilizados para o cálculo dos impactos, porém ainda sem automatização, não alcançando ainda a completa interoperabilidade.

Diaz e Antón (2014) apresentaram duas abordagens de integração entre BIM e ACV:

A primeira, envolve a extração automática das informações do prédio do modelo

BIM para poder fazer comparações e mudanças ainda nos estágios iniciais de projeto, cujas características desejadas em tal ferramenta são:

- (a) Os dados para ICV devem ser retirados automaticamente do modelo BIM;
- (b) Deve ser de fácil de usar para encorajar o uso;
- (c) Avaliação em tempo real (comparação entre alternativas de design para tomada de decisão);
- (d) Deve ser possível avaliar todo o prédio, e também deve fornecer resultados particulares de elementos específicos;
- (e) Deve haver integração entre a informação no modelo BIM e nos bancos de dados de ACV.

Outra abordagem é incluir informações da ACV nos materiais BIM como parâmetros no próprio Revit (BARROS; SILVA, 2016; DIAZ; ANTÓN, 2014). Desta forma, os impactos poderiam ser calculados de forma automatizada, porém, os dados precisam ser locados no Revit a cada novo empreendimento devido às características únicas de cada obra, exigindo um grande esforço inicial para atingir tal grau de interoperabilidade e automação, ou a precisão da avaliação é reduzida devida à variável distância de transporte.

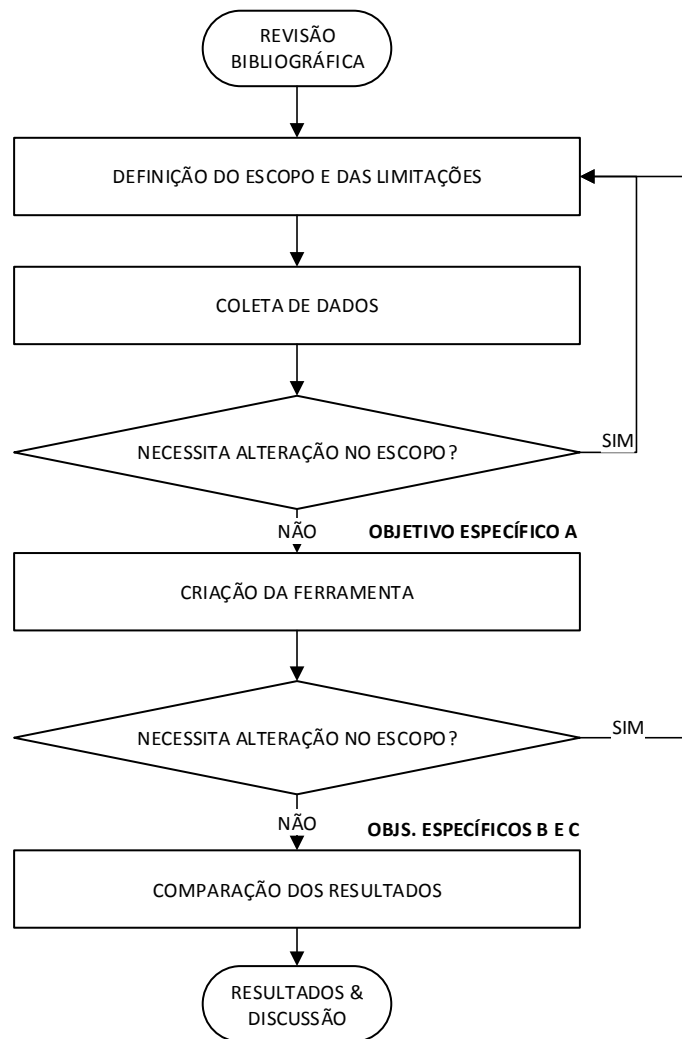
Além disso, atualmente existem *software* comercializados específicos para ACV de edificações que podem ser utilizados como *plug in* no Revit, como o Tally e o OneClickLCA, que através dos dados dos materiais já calculam automaticamente seus volumes e áreas e utilizam bancos de dados de inventário para calcular os impactos ambientais dos elementos construtivos dos edifícios, sendo necessário verificar apenas se cada elemento está alocado com seus materiais correspondentes e colocar as distâncias dos fornecedores para o cálculo de impactos de transporte,

Todavia, no Brasil ainda existe a barreira do banco de dados de inventário incipiente e esses *software*, principalmente o Tally, utilizam métodos de AICV regionalizados. O OneClickLCA possui alguns dados brasileiros (cimento, por exemplo).

3 METODOLOGIA

A metodologia foi subdividida em quatro passos principais segundo o fluxograma apresentado na Figura 5. O processo metodológico iniciou-se com uma Revisão Bibliográfica objetivando entender o estado da arte e a compreensão do assunto abordado. Através desta, foi possível identificar métodos de simplificação aceitos e métodos de AICV globalizados e regionalizados.

Figura 5 - Etapas metodológicas



Fonte: Autora, 2018.

Em seguida, foi definido o objeto de estudo: a construtora e o edifício. Esta escolha foi feita de maneira não-probabilística, tendo em vista que a construtora foi escolhida por ser onde esta que vos escreve estagia, como uma demanda interna da própria empresa. Foi definido o escopo e as limitações do estudo segundo a NBR ISO 14.040:2009.

Por fim, foi feita a coleta de dados utilizando o modelo BIM da edificação escolhida para o Estudo e a criação da ferramenta (atendendo ao objetivo específico “a”), seguida por sua aplicação e comparação de resultados de impactos ambientais com os resultados objetivos pelo software Tally (atendendo ao objetivo específico “b”). Além disso, foram comparados os resultados obtidos dentro da ferramenta por subsistema construtivo e por fases do ciclo de vida, e, resultados para elementos considerados críticos (que geram mais impactos), atendendo ao objetivo específico “c”.

Cada etapa do método utilizado será abordada de forma mais aprofundada nos próximos tópicos.

3.1. Definição do Escopo e das Limitações

De acordo com a NBR 14.040:2009, uma ACV deve ser iniciada com a definição do objetivo e escopo do estudo. Como pode ser visto no fluxograma apresentado na Figura 5, a definição do Escopo e das limitações foi um processo iterativo durante o curso deste trabalho e houveram modificações quanto ao escopo inicial e novas limitações foram percebidas ao longo do processo metodológico.

No processo de definição do escopo, inicialmente, foi definido o Objeto de Estudo (item 3.1.1) e as fronteiras do sistema e suas limitações.

3.1.1. Objeto de Estudo

- ***A Construtora***

Presente no mercado cearense a 40 anos, a Construtora é uma empresa que segue uma filosofia de gestão LEAN baseada em três pilares: BIM (tecnológico), LIFE (saúde e bem estar de seus colaboradores, clientes e população em geral) e GREEN, que é a preocupação com o meio ambiente.

Foi a primeira construtora do Brasil a ter um empreendimento certificado LEED, e é a primeira construtora a ter um empreendimento pré-certificado pelo Fator Verde em 2016, certificação da Prefeitura de Fortaleza e o Selo Casa Azul da Caixa.

Todos seus empreendimentos tem suas emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) inventariadas e a empresa busca dar um passo adiante através da realização da Avaliação do Ciclo de Vida de seus empreendimentos para compreender melhor os seus impactos no meio ambiente.

- **O Edifício**

O edifício escolhido para a realização do Estudo, que chamaremos que **Edifício A**, está atualmente em construção (fase de estrutura e alvenaria), então foi possível observar se alguns dos dados de materiais descritos na Planejamento Geral da Obra (PGO) e no modelo Revit são compatíveis com a realidade e verificar dados reais de fornecimento de insumos para tais sistemas (ver item 4.2.3).

Figura 6 - Pavimento tipo do Edifício A



Fonte: Website da construtora, 2018.

É um edifício de uso residencial multifamiliar voltado para pessoas com maior poder aquisitivo, localizado no bairro Dionísio Torres, em Fortaleza, Ceará, possui 18 pavimentos tipo com dois apartamentos por andar, totalizando 36 unidades habitacionais e uma área total construída de 13.020 m². Há modelo BIM do mesmo que teve que ser adaptado para utilização no *software* Tally, pois simplificações no modelo são feitas para deixá-lo mais leve, como detalhar apenas um pavimento.

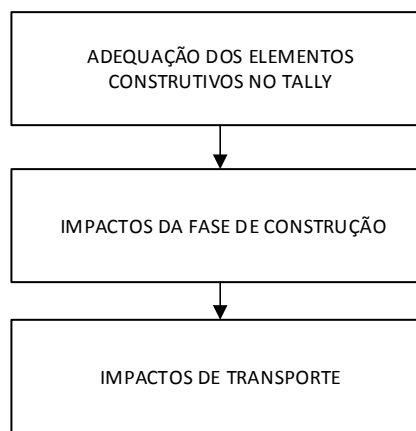
Quanto a sua tipologia construtiva, é um edifício com vedação externa em bloco cerâmico, utilizado pela primeira vez pela construtora (que pretende levar este insumo para outras obras), e divisórias internas em bloco de gesso, como outros da construtora. No subsistema estrutural, utiliza colunas em concreto armado e vigas e lajes protendidas. Utiliza revestimentos cerâmicos tipo cerâmica, porcelanato e pastilha (fachadas) e a principal forma de impermeabilização nas áreas molhadas é com a utilização de manta asfáltica.

3.2. Coleta de dados (Inventário)

No Edifício A foi realizada uma ACV preliminar utilizando o *software* Tally, *software* para cálculo dos impactos ambientais através da aplicação de metodologias de ACV que possui interoperabilidade BIM. Foi utilizado um modelo BIM do edifício e foram feitas adequações à realidade da construtora (item 4.2.1) dentro do próprio Tally.

A coleta pode ser subdividida em três passos principais:

Figura 7 - Coleta de dados



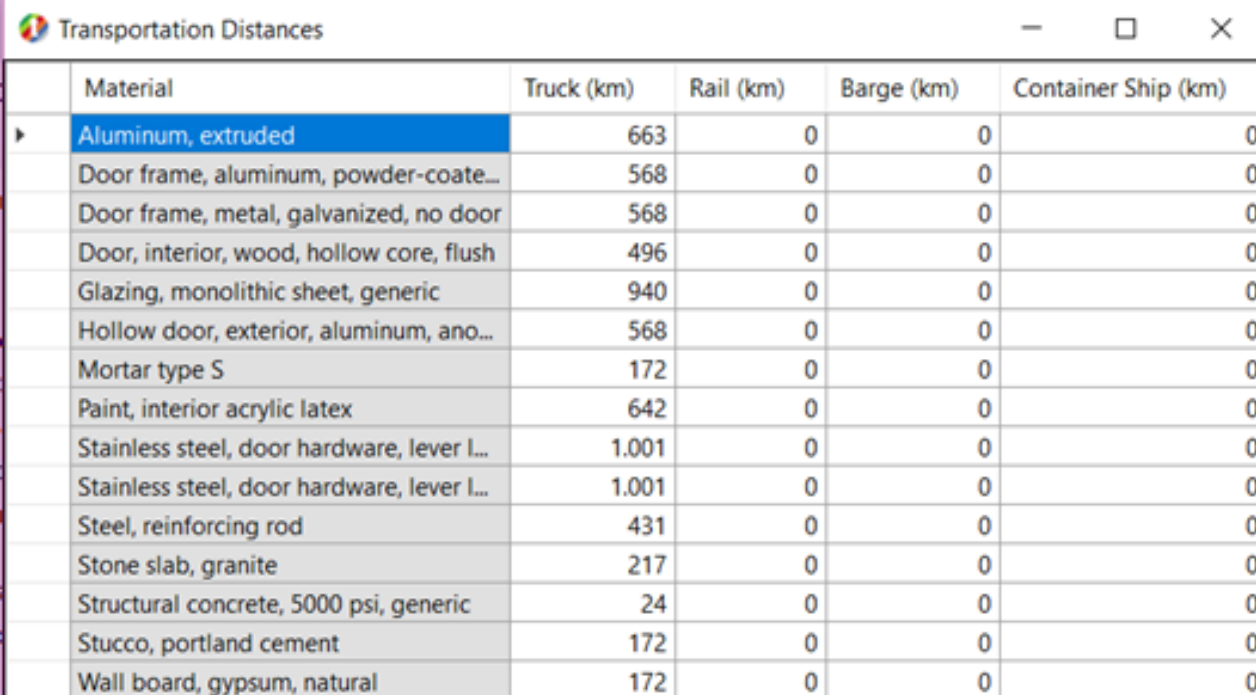
Fonte: Autora, 2018.

Foram escolhidos os “Materiais Tally” que mais adequavam-se aos materiais utilizados no Edifício A, sendo que a adequação dos elementos construtivos utilizados pela construtora para sua realidade deu-se através das modificações dentro do Tally utilizando de algumas premissas, que serão abordadas nos resultados.

Nos impactos da Fase de Construção, foram utilizados dados históricos de obras finalizadas da construtora retiradas de seus Inventários de Emissões GEE e foi adequada a Matriz Energética brasileira à uma Matriz Energética que se assemelhasse de acordo com o tipo de geração de energia.

Por fim, o *software* Tally calcula os impactos de transporte para os modais rodoviário, metroviário e hidroviário de forma automatizada e possui distâncias de transporte padrão para alguns insumos (Figura 8).

Figura 8 - Distâncias de transporte padrão fornecidas pelo Tally



Material	Truck (km)	Rail (km)	Barge (km)	Container Ship (km)
Aluminum, extruded	663	0	0	0
Door frame, aluminum, powder-coate...	568	0	0	0
Door frame, metal, galvanized, no door	568	0	0	0
Door, interior, wood, hollow core, flush	496	0	0	0
Glazing, monolithic sheet, generic	940	0	0	0
Hollow door, exterior, aluminum, ano...	568	0	0	0
Mortar type S	172	0	0	0
Paint, interior acrylic latex	642	0	0	0
Stainless steel, door hardware, lever l...	1.001	0	0	0
Stainless steel, door hardware, lever l...	1.001	0	0	0
Steel, reinforcing rod	431	0	0	0
Stone slab, granite	217	0	0	0
Structural concrete, 5000 psi, generic	24	0	0	0
Stucco, portland cement	172	0	0	0
Wall board, gypsum, natural	172	0	0	0

Fonte: Software Tally, 2018.

Com as Notas Fiscais dos Insumos de compras passadas, foi possível localizar o local de saída dos insumos e calcular a distância de transporte dos insumos com o auxílio do website de georeferenciamento Google Maps

3.3. Criação da ferramenta

A ferramenta foi inspirada no *software* de cálculo de ACV *Athena EcoCalculator* que fornece dados de impactos por unidade funcional por área dos Estados Unidos/Canadá. “Designers utilizam o Athena EcoCalculator para uma rápida análise da pegada ecológica de um prédio” (ATHENA, 201-?, tradução nossa). É um *software* estruturado no Excel com diversos *worksheets* para cada subsistema construtivo (colunas e vigas, pisos, paredes externas, etc). Em cada *worksheet*, deve-se completar as informações de área de cada elemento dos subsistemas que existem no prédio analisado e seus impactos são calculados.

Figura 9 – Athena EcoCalculator – *Worksheet* de cálculo para Fundações

Athena EcoCalculator for Residential Assemblies			TOTAL IMPACTS BY BUILDING COMPONENT		Fossil Fuel Consumption (MJ) TOTAL	GHG (near CO ₂ e) TOTAL	Acidification Potential (moles of H ⁺ eq) TOTAL	PM ₁₀ Criteria (kg PM ₁₀ eq) TOTAL	Eutrophication Potential (g N eq) TOTAL	Ozone Depletion Potential (mg CFC-11 eq) TOTAL	Smog Potential (kg O ₃ eq) TOTAL
1			FOUNDATIONS & FOOTINGS		0	0	0	0	0	0	0
2			WHOLE BUILDING TOTAL		0	0	0	0	0	0	0
A. FOUNDATIONS & FOOTINGS (other assembly tabs at bottom of spreadsheet)											
IN THE YELLOW CELLS BELOW, ENTER THE AMOUNT OF SQUARE FOOTAGE THAT EACH ASSEMBLY USES IN YOUR BUILDING											
ASSEMBLY TYPE	FOUNDATION ENVELOPE	Square Footage	Percentage of total	Fossil Fuel Consumption per ft ² (MJ)	Global Warming Potential per ft ² (kg CO ₂ eq)	Acidification Potential per ft ² (moles of H ⁺ eq)	PM ₁₀ Criteria per ft ² (g PM ₁₀ eq)	Eutrophication Potential per ft ² (mg N eq)	Ozone Depletion Potential per ft ² (mg CFC-11 eq)	Smog Potential per ft ² (g O ₃ eq)	
FOUNDATION WALL											
1	8" Cast-in-Place	Vapor Barrier	0.0	52.31	5.14	1.32	19.17	1,204.81	0.04	295.72	
2	8" Concrete Block	Vapor Barrier	0.0	53.25	5.56	1.38	17.43	1,141.58	0.04	305.24	
3	8" Cast-in-Place	R15 Polyisocyanurate Foam Continuous Insulation Vapor Barrier	0.0	41.56	5.60	1.42	19.43	1,432.72	0.06	320.56	
4	8" Concrete Block	R15 Polyisocyanurate Foam Continuous Insulation Vapor Barrier	0.0	62.78	6.02	1.48	17.63	1,249.48	0.05	320.31	
TOTAL FOUNDATION WALL SQUARE FOOTAGE			0.0								
FOUNDATION SLAB											
4" Poured Concrete slab			0.0	23.23	2.46	0.62	9.41	410.07	0.02	142.50	
TOTAL FOUNDATION SLAB SQUARE FOOTAGE			0.0								

Fonte: *Software* de Cálculo – Athena EcoCalculator (ResEcoCalc_Zone_6_USA_v1.21.xls)

Todavia, este estudo é específico para prédios com o padrão do prédio utilizado na análise inicial, localizados nas suas proximidades e que tenham distâncias de transporte para o fornecimento de insumos semelhantes.

3.4. Comparação de Resultados

A comparação dos resultados foi feita através de gráficos, de forma visual com o auxílio da formatação condicional no Excel e de forma quantitativa (desvios) para:

- Tally vs. Ferramenta de cálculo
- Sistemas construtivos
- Insumos

Foi utilizado o comando =MAIOR() e =PROCV() do Excel para identificar os elementos que geram maior impacto para cada categoria de impacto.

4 RESULTADOS

4.1. Fronteiras do sistema e limitações

Inicialmente, definiu-se as fronteiras do sistema da ACV preliminar que foi realizada no Tally: o Edifício A, que incluiu os sistemas de Estrutura, Vedações Externas, divisórias internas, forros, pisos e esquadrias (portas, janelas, pele de vidro e guarda-corpo) e as Fases do Ciclo de Vida: Fabricação, Construção, Manutenção, Disposição final e Transporte. Não foi incluso no escopo o transporte no fim de vida.

Figura 10 - Resumo do Escopo Inicial da Avaliação

ESCOPO																
Método	Sistemas Inclusos									Fases do Ciclo de Vida						
	Solo	Fundações	Estrutura	Vedações externas	Divisórias internas	Forros	Pisos	Esquadrias	Instalações	Mobília	Fabricação	Construção	Manutenção	Uso	Disposição final	Transporte
Tally			✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓		✓	✓
Unidade Funcional:	m ²										Área:	13020	m ²			

Fonte: Autora, 2018.

A unidade funcional utilizada para fins de comparabilidade dos impactos ambientais foi o metro quadrado (m²) de área construída.

Entre as principais limitações intrínsecas ao estudo, estão não incluir os sistemas de movimentação de solo, fundações e instalações e as Fase do Ciclo de Vida de uso, que proporcionalmente, com relação a Vida Útil do edifício, deve possuir o maior potencial para impactos ambientais.

O escopo da ACV realizada com a ferramenta de cálculo elaborada neste estudo para a ACV foi alterado diversas vezes ao longo deste estudo e terminou sendo basicamente o mesmo escopo inicial da avaliação preliminar realizada com o Tally com relação aos sistemas inclusos, sendo necessárias apenas a exclusão de alguns materiais que não foi possível incluir na Ferramenta de Cálculo por dificuldades na extração de dados do PGO ou do modelo BIM.

Dentre as diferenças observadas nos dois escopos, pode-se destacar que os quantitativos de pisos e paredes externas, por exemplo, entraram na avaliação final e não entraram na ACV preliminar pois não foi utilizado o modelo de paisagismo que inclui boa parte dos quantitativos externos e do térreo.

O escopo da Ferramenta de cálculo pode ser observado na Figura 11 - Resumo do

escopo final da Avaliação e a lista dos materiais inclusos no escopo do Tally e da Ferramenta de Cálculo pode ser visto no **APÊNDICE A – Escopo por materiais – Ferramenta de Cálculo x Tally**.

Figura 11 - Resumo do escopo final da Avaliação

ESCOPO																
Método	Sistemas Inclusos										Fases do Ciclo de Vida					
	Solo	Fundações	Estrutura	Vedações externas	Divisórias internas	Forros	Pisos	Esquadrias	Instalações	Mobília	Fabricação	Construção	Manutenção	Uso	Disposição final	Transporte
Tally			✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓		✓	✓
Ferramenta de Cálculo	///	///	✓	✓	✓	✓	✓	✓	///	///	✓	✓	✓	///	✓	✓
Unidade Funcional:	m ²										Área:		13020	m ²		

Fonte: Autora, 2018.

Algumas das principais limitações da ferramenta de cálculo elaborada incluem a fusão de elementos (como a de bloco de gesso de diferentes dimensões com placa de gesso colada), entre outras simplificações, que serão abordadas na discussão e conclusões dos resultados, no item 4.5.

4.2. Coleta de dados

4.2.1. Adequação dos Elementos Construtivos no Tally

Na ICV deste estudo foram feitas as seguintes adequações dentro do *software* Tally, através da escolha dos “Materiais Tally”:

- **Bloco Cerâmico:** Como existia apenas o bloco maciço, e na obra foram utilizados blocos cerâmicos vazados, foi ajustada sua densidade para a densidade catalogada Ficha de Avaliação de Desempenho do PBQP-H do Bloco Cerâmico vazado, com valor de 1629 kg/m³.
- **Porcelanato:** Existia apenas “Porcelain Tile” ou Piso Elevado, que há uma grande quantidade de metais (parafusos e suporte). Foi ajustada a quantidade de metais para zero.
- **Saiote:** O Tally reconhecia o saiote (primeira fiada em concreto para divisórias em gesso em áreas molhadas) como um volume que ia do piso ao teto. Isto foi adequado utilizando sua porcentagem em volume proporcional à sua altura (altura do saiote/pé

direito).

- **Protensão:** Na impossibilidade de modelar os cabos de protensão no Revit, foi utilizado “High reinforcement” para todas as vigas (155,4 kg de aço / m³ de viga), enquanto que para armaduras de colunas e lajes foi utilizado “moderate reinforcement” (111 kg/m³ e 88,8 kg/m³ de aço, respectivamente).
- **Concreto Usinado:** Foi utilizado $f_{ck} = 35$ MPa para todos os elementos em concreto, apesar de haverem elementos com outras resistências características à compressão, devido à impossibilidade de reconhecer no modelo quais elementos possuíam cada resistência.

Outras especificações podem ser vistas no quadro resumo no **APÊNDICE B – Escolha dos materiais Tally para a adequação Escolha dos Materiais Tally para adequação** .

Durante a inserção e escolha dos “Materiais Tally”, foi necessário inserir a Vida Útil de Projeto dos materiais, que foi selecionada segundo a Tabela 4, e, para materiais e elementos não presentes na Tabela 4 ou não identificáveis no projeto devido a forma de identificação dificultada algumas vezes dentro da visualização no Revit, foi utilizada a VUP padrão do *software*.

Tabela 4 - VUP Mínimo

SISTEMA	VUP (mínimo de anos)
PISOS EXTERNOS	13
VEDAÇÃO EXTERNA	40
VEDAÇÃO INTERNA	20
REVESTIMENTO INTERNO ADERIDO	13
REVESTIMENTO INTERNO NÃO ADERIDO	8
REVESTIMENTO DE FACHADA ADERIDO	20
REVESTIMENTO DE FACHADA NÃO ADERIDO	20
PINTURA INTERNA	3
PINTURA EXTERNA	8
ESQUADRIA INTERNA	8 A 13
ESQUADRIA EXTERNA	20
INSTALAÇÕES APARENTES	3

Fonte: Memorial Descritivo do Edifício A, 2017.

4.2.2. Adequação para o Cálculo dos Impactos na Fase de Construção do Edifício

Nos impactos decorrentes da Fase de Construção, foram utilizados dados históricos da construtora retirados de seus Inventários de Emissões GEE.

Todavia, no Tally não são disponibilizados os fatores de emissão para a matriz energética brasileira para o cálculo através do software e para isto foi utilizado um critério de seleção de uma Matriz Energética que assemelha-se à Matriz Energética brasileira.

Tabela 5 - Média histórica dos Impactos na fase de construção da Construtora

Água		Energia	
44	L/m ²	12,286	KWh/m ²
Fonte: Média de Pegada Hídrica		Fonte: Inventários GEE de empreendimentos passados	

Fonte: Dados históricos fornecidos pela construtora, 2018.

O Trillemma Index baseia-se em três dimensões principais: Energy Security, Energy Equity e Environmental Sustainability (WORLD ENERGY COUNCIL, 2016):

Tabela 6 - Descrições do Trillemma Index

Energy Security	Energy Equity	Environmental Sustainability
Habilidade de suprir a demanda atual e futura	Acessibilidade e preço da energia	Fornecimento de energia de fontes renováveis e outras fontes com baixo consumo de carbono

Fonte: World Energy Council, 2016.

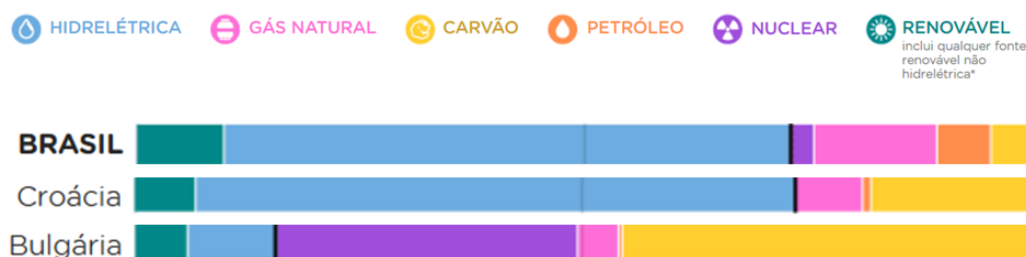
O critério de seleção baseou-se inicialmente no Ranking dos Países nas dimensões de Energy Security e Environmental Sustainability, onde todos os países presentes *software* Tally encontrados no relatório do World Energy Council de 2016 foram ordenados e comparados com o Brasil segundo estes dois critérios.

Todavia, este critério mostrou-se insuficiente de acordo com dados da Agência Internacional de Energia (ALMEIDA; ZANLORENSSI, 2018), que mostrou que a Matriz Energética da Bulgária, país que seria selecionado segundo este critério, possui grande parte da geração de sua energia advinda de fontes nucleares, diferente do Brasil, que tem fontes hidrelétricas na sua maioria.

Logo, foi selecionada a matriz energética da Croácia para representar a brasileira no Tally na ACV preliminar, pois além de possui o ranking próximo ao do Brasil com relação a Sustentabilidade e Demanda, apresenta a Matriz Energética mais parecida segundo os dados

da AIE dentre as matrizes energéticas presentes no *software*.

Figura 12 - Escolha da Matriz Energética - Geração em cada país



Fonte: Almeida e Zanlorenssi, 2018

4.2.3. Distâncias de Fornecimento de Insumos

A distância foi calculada utilizando o website de georreferenciamento Google Maps, porém para alguns insumos cuja distância era requerida pelo *software*, não foi possível obter a distância ou optou-se por utilizar a distância padrão do *software*, pois alguns serviços, como o de pintura e instalação de Guarda-Corpo são terceirizados. A distância de transporte para os principais insumos pode ser vista na Tabela 7.

Tabela 7 - Distâncias de transporte

Nº	Material	Distância
1	Concreto Usinado	20
2	Aço	40,9
3	Tinta	1,5*
4	Portas	716*
5	Janelas	716*
6	Guarda-Corpo	13,8*
7	Bloco de concreto	-
8	Areia	10,9
9	Brita	37,7
10	Manta asfáltica	1152
11	Cimento	6,2
12	Bloco de gesso	16,5
13	Tijolo cerâmico	26
14	Mármore	20,1
15	Granito	3937
		3931
16	Revestimentos Cerâmicos / Porcelanato	2827
		3452
		3489

Fonte: Autora, 2018.

A distância de Revestimentos Cerâmicos / Porcelanato inserida no *software* foi

uma média aritmética da distância dos diversos fornecedores (ou seja, 3527 km) e para alguns fornecedores de serviço terceirizados optou-se por utilizar a distância padrão fornecida pelo software Tally (marcados com “*” na Tabela 7).

Vale ressaltar que foi utilizado o modal rodoviário, com caminhões a diesel.

4.3. Ferramenta de Cálculo de ACV

A ferramenta que foi desenvolvida possui termos e elementos utilizados pela construtora analisada localizada em Fortaleza, como forma de facilitar sua utilização, fornecendo seus impactos por unidade funcional (área construída – m²) para ser possível a identificação do insumo e elemento que naquela obra especificamente está gerando mais impactos.

Os dados de entrada, para facilitar a utilização da ferramenta, foram retirados do Planejamento Geral da Obra (PGO), logo, suas entradas estão em unidades correspondentes (ex: bloco de gesso em m² e aço em kg).

A ferramenta foi subdividida em oito abas no Excel, que podem ser acessadas de forma facilitada através da navegação por hiperlinks na aba ‘Início’. Na aba ‘Início’, foi definido o Escopo do Estudo (preenchendo os sistemas que serão inclusos nos locais devidos, hachurados) e possui instruções para o preenchimento da planilha.

Na aba ‘Entradas’, foram preenchidas as quantidades de cada elemento incluso no escopo presente na planilha de acordo com a unidade especificada no PGO.

As outras abas são de apoio, para cálculo dos impactos ambientais, sendo os resultados gerais fornecidos na aba ‘Resumo-Resultados’ e os resultados por elemento fornecidos na aba ‘Saídas’.

4.4. Impactos Ambientais do Edifício A

Os resultados de impactos ambientais obtidos com o Tally podem ser observados na Tabela 8. Percebe-se que os sistemas de Estrutura e Paredes são os que contribuem de forma mais significativa para a maioria das categorias de impacto, com exceção da categoria de Depleção do Ozônio Atmosférico, onde, sobressaem-se principalmente Portas e Estrutura.

Tabela 8 - Resultados por sistema (Tally)

Sistema	Potencial de Acidificação kgSO ₂ eq	Potencial de Eutrofização kgNeq	Potencial de Aquecimento Global kgCO ₂ eq	Potencial de Depleção do Ozônio Estratosférico CFC-11eq	Potencial de Formação de Smog kgO ₃ eq	Demanda Energética MJ	Demanda Energética Não-Renovável MJ	Demanda Energética Renovável MJ
Tetos	1.13E+02	1.03E+01	5.51E+04	9.03E-07	2.08E+03	9.64E+05	9.37E+05	2.69E+04
Construção	2.80E+03	6.54E+02	4.75E+05	5.11E-06	6.33E+04	6.92E+06	6.43E+06	5.26E+05
Pele de vidro e Guarda Corpo	4.85E+02	2.27E+01	9.15E+04	3.59E-04	7.22E+03	1.41E+06	1.26E+06	1.47E+05
Portas	6.06E+02	7.67E+01	1.19E+05	4.73E-02	8.07E+03	1.70E+06	1.41E+06	2.96E+05
Pisos	7.24E+03	4.26E+02	2.17E+06	4.78E-03	1.37E+05	2.04E+07	1.99E+07	4.78E+05
Estrutura	1.02E+04	3.77E+02	2.30E+06	1.61E-02	1.38E+05	1.72E+07	1.62E+07	1.00E+06
Paredes	1.03E+04	8.59E+02	3.58E+06	1.98E-03	2.10E+05	4.89E+07	4.74E+07	1.57E+06
Janelas	1.72E+02	1.04E+01	2.73E+04	3.67E-05	2.60E+03	4.11E+05	3.86E+05	2.51E+04
TOTAL	3.19E+04	2.44E+03	8.82E+06	7.05E-02	5.68E+05	9.79E+07	9.39E+07	4.07E+06

Fonte: Autora, 2018.

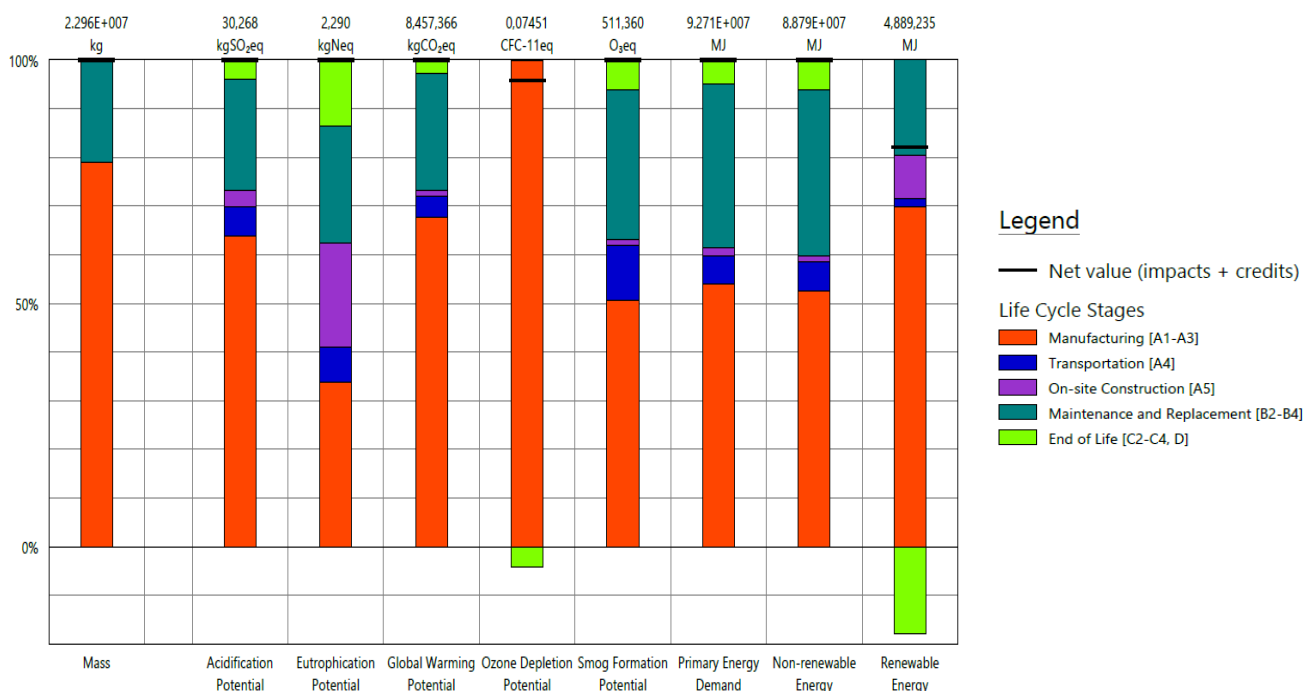
Os resultados por material podem ser vistos no **APÊNDICE C – Impactos por insumos (Tally) por Insumos (Tally)**.

Observa-se que na Tabela 8 estão inclusos os impactos de construção, apesar do mesmo ser um estágio do ciclo de vida, porém ele teve de ser acrescido para manter a totalidade dos impactos. Quanto a fase do ciclo de vida, é possível observar na Figura 13 (retirada do relatório extraído do Tally) que os impactos de construção são mais significativos nas categorias de impacto de Potencial de Eutrofização, Potencial de Acidificação e Demanda Energética Renovável.

Optou-se por priorizar a análise por sistemas construtivos neste trabalho, porém através dos resultados do Tally, observa-se que dentre as fases do ciclo de vida presentes no escopo a fabricação gera mais impactos em todas as categorias (principalmente na categoria de impacto de Depleção da Camada de Ozônio), seguida pela fase do ciclo de vida de manutenção e reparo. Os impactos de transporte são mais significativos para a categoria de impacto de Potencial de Eutrofização e Potencial de Formação de *Smog*.

Vale lembrar que neste estudo não está incluso no escopo a fase de operação, fase que predomina a vida útil de uma edificação.

Figura 13 - Impactos por Fase do Ciclo de Vida (Tally)



Fonte: Autora, 2018.

Tabela 9 - Impactos ambientais com a Ferramenta de Cálculo

Sistema	Potencial de Acidificação kgSO ₂ eq	Potencial de Eutrofização kgNeq	Potencial de Aquecimento Global kgCO ₂ eq	Potencial de Depleção do Ozônio Estratosférico CFC-11eq	Potencial de Formação de Smog kgO ₃ eq	Demanda Energética MJ	Demanda Energética Não-Renovável MJ	Demanda Energética Renovável MJ
Tetos	9.37E+01	8.46E+00	4.58E+04	7.45E-07	1.72E+03	8.00E+05	7.78E+05	2.21E+04
Construção	2.80E+03	6.54E+02	4.75E+05	5.11E-06	6.33E+04	6.92E+06	6.43E+06	5.26E+05
Pele de vidro e Guarda-Corpo	4.21E+02	2.00E+01	7.67E+04	2.64E-04	6.37E+03	1.17E+06	1.06E+06	1.12E+05
Portas	5.86E+02	7.28E+01	1.10E+05	3.62E-02	7.72E+03	1.59E+06	1.29E+06	3.01E+05
Pisos	4.87E+03	3.47E+02	1.43E+06	3.19E-03	8.84E+04	1.43E+07	1.40E+07	3.29E+05
Estrutura	1.04E+04	3.85E+02	2.35E+06	1.64E-02	1.41E+05	1.76E+07	1.66E+07	1.03E+06
Paredes	9.81E+03	7.96E+02	3.46E+06	2.23E-03	1.95E+05	4.63E+07	4.49E+07	1.47E+06
Janelas	9.63E+01	6.12E+00	1.55E+04	2.67E-05	1.41E+03	2.36E+05	2.19E+05	1.64E+04
TOTAL	2.91E+04	2.29E+03	7.96E+06	5.83E-02	5.05E+05	8.89E+07	8.52E+07	3.81E+06
TOTAL TALLY	3.19E+04	2.44E+03	8.82E+06	7.05E-02	5.68E+05	9.79E+07	9.39E+07	4.07E+06
Desvio %	8.88%	5.97%	9.76%	17.31%	11.11%	9.20%	9.33%	6.51%

Fonte: Autora, 2018.

Foram obtidos, também, impactos ambientais com a Ferramenta de Cálculo e foi calculado o desvio com os resultados do Tally (Tabela 9).

Os resultados da ferramenta por insumo podem ser vistos no **APÊNDICE D – Impactos** por insumos (Ferramenta de cálculo) **por insumos (Ferramenta de Cálculo)**.

Percebe-se que os maiores desvios estão em Potencial de Depleção do Ozônio Atmosférico e em Formação de *Smog*.

No Gráfico 1 (página 51), temos um panorama geral com todos os impactos por sistema construtivo. Percebe-se que na maioria das categorias de impacto, predominam os impactos causados pelo sistema de estruturas e vedações, com exceção da categoria de impacto de Depleção do Ozônio Atmosférico.

Por fim, atendendo ao objetivo específico “c”, foram identificados e obtidos os impactos ambientais por categoria de impacto dos insumos que causam mais impacto presentes no estudo (Tabela 10).

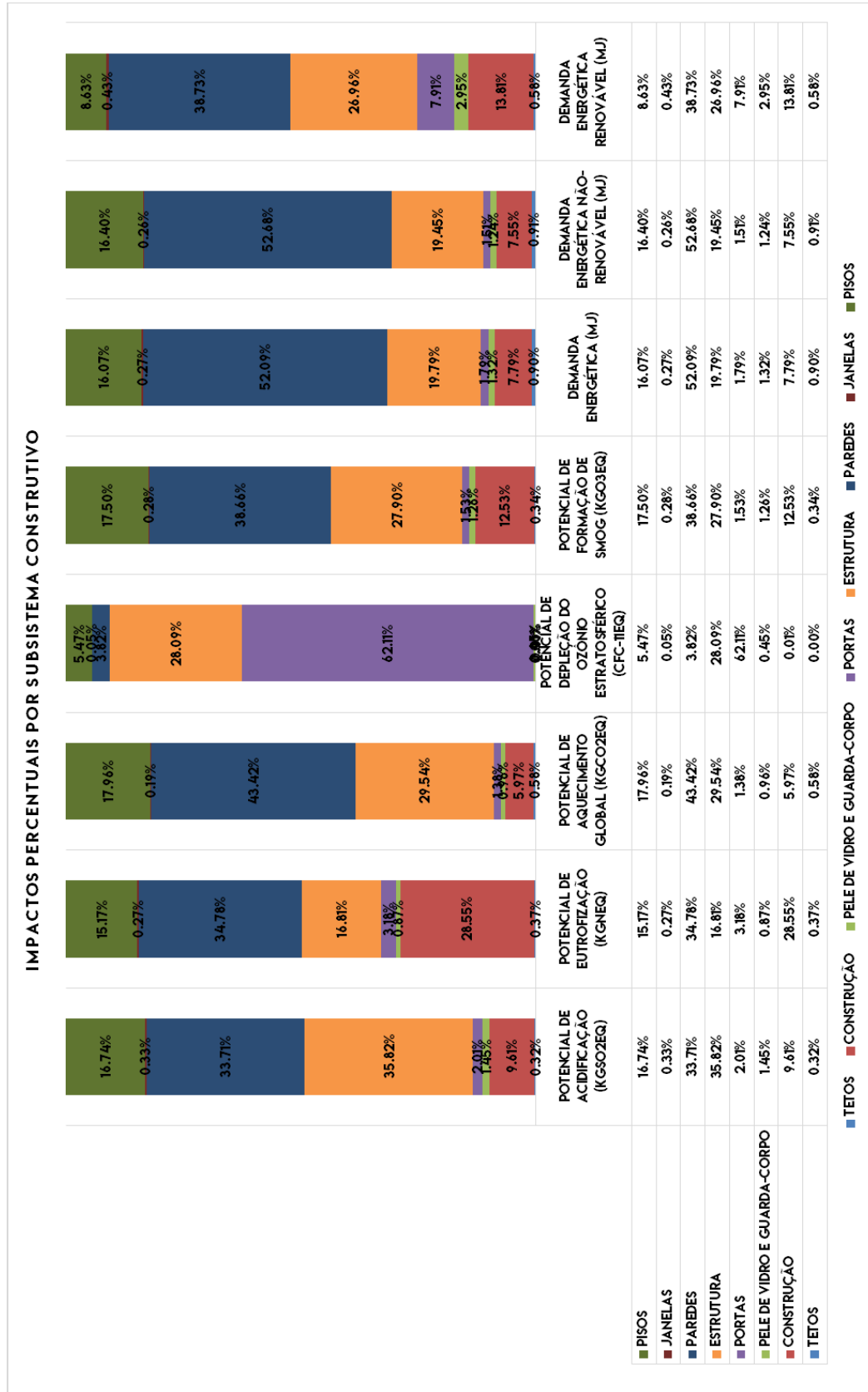
Tabela 10 - Insumos que geram os maiores impactos no Edifício A

	Potencial de Acidificação	Potencial de Eutrofização	Potencial de Aquecimento Global	Potencial de Depleção do Ozônio Estratosférico	Potencial de Formação de Smog	Demanda Energética	Demanda Energética Não-Renovável	Demanda Energética Renovável
Insumo	Concreto Usinado (fck = 35 MPa)	Uso de energia elétrica e água	Concreto Usinado (fck = 35 MPa)	Porta de alumínio	Concreto Usinado (fck = 35 MPa)	Bloco cerâmico	Bloco cerâmico	Aço
Impacto / m ²	0.70	0.05	144.10	0.00	9.52	1535.21	1483.82	67.50
%	31,23%	28,55%	23,57%	60,28%	24,54%	22,49%	22,68%	23,08%

Fonte: Autora, 2018.

Para o Potencial de Eutrofização o insumo que gera mais impactos (após o uso de energia elétrica e água) é o Concreto Usinado (fck = 35MPa), com 0,02 kgN_{eq}/m² sendo responsável por 13,70% do Potencial de Eutrofização da edificação.

Gráfico 1 - Impactos percentuais por subsistema construtivo



Fonte: Autora, 2018.

4.5. Discussão e conclusões

Na Tabela 11 podemos ver que os desvios entre os resultados obtidos com o Tally e a ferramenta de cálculo, que utiliza dados do PGO são menores que 10% para a maioria dos impactos, ultrapassando apenas nas categorias de Potencial de Depleção do Ozônio Estratosférico e Potencial de Formação de Smog.

Tabela 11 - Desvio percentuais (Tally x Ferramenta de Cálculo)

	Potencial de Acidificação	Potencial de Eutrofização	Potencial de Aquecimento Global	Potencial de Depleção do Ozônio Estratosférico	Potencial de Formação de Smog	Demanda Energética	Demanda Energética Não-Renovável	Demanda Energética Renovável
	kgSO2eq	kgNeq	kgCO2eq	CFC-11eq	kgO3eq	MJ	MJ	MJ
TOTAL	2.91E+04	2.29E+03	7.96E+06	5.83E-02	5.05E+05	8.89E+07	8.52E+07	3.81E+06
TOTAL TALLY	3.19E+04	2.44E+03	8.82E+06	7.05E-02	5.68E+05	9.79E+07	9.39E+07	4.07E+06
Desvio %	8.88%	5.97%	9.76%	17.31%	11.11%	9.20%	9.33%	6.51%

Fonte: Autora, 2018.

Nestas categorias, os insumos que mais contribuem são portas e uso de energia elétrica e água respectivamente. Na categoria de depleção de ozônio, as Portas de Alumínio contribuem, sozinhas, com cerca de 60% dos impactos gerados na categoria. Mesmo com poucos impactos, qualquer variação no quantitativo obtido pelo PGO e pelo modelo, altera os impactos obtidos nesta categoria, e, como pode ser visto no **APÊNDICE E – Quantitativos no PGO e no modelo (Extraídos pelo Tally) no PGO e no Modelo (Extraídos pelo Tally)**, há uma variação de aproximadamente 31,58% no quantitativo.

Estas diferenças no quantitativo podem acontecer devido à diversos fatores, podemos citar:

- As camadas de impermeabilização não são modeladas em todas as áreas molhadas com manta asfáltica e isto gerou uma diferença nos quantitativos entre gerados no Revit e os obtidos através do PGO;
- Durante a modelagem são feitas simplificações que aumentam os quantitativos de cerâmicas e porcelanatos de parede, que são geralmente associados com a parede que vai até a laje, enquanto no PGO esta diferenciação é feita para ficar mais próximo do valor obtido na realidade, onde as cerâmicas e porcelanatos de parede vão apenas até a altura do

forro.

- Como citado anteriormente no escopo (item 4.1), não foi utilizado no escopo do Tally o modelo de paisagismo que conta com áreas de piso externas e do térreo que são contabilizados no PGO;
- Possíveis erros não identificados durante a execução da ACV no Tally (escolha de “Materiais Tally” de forma equivocada para algum elemento).

Na categoria de Potencial para a Formação do Smog, os insumos que mais contribuem após o uso de energia e água são insumos que incluem processos de queima na sua cadeia produtiva (cerâmicas, bloco cerâmicos e concreto). O mesmo acontece nas categorias de impacto de Potencial de Aquecimento Global e Potencial de Acidificação, como pode ser visto na Tabela 12 que possui os principais insumos contribuintes para o aquecimento global da edificação.

Tabela 12 - Potencial de Aquecimento global (kgCO_{2eq})/m² dos principais insumos

#	Insumo	Impacto/m ²	%
1	Concreto Usinado (fck = 35 MPa)	144.10	22,57%
2	Bloco cerâmico	91.15	14,91%
3	Cerâmica - Parede	73.99	12,10%
4	Contrapiso	71.27	11,66%
5	Reboco / Emboço	44.28	7,24%
6	Argamassa	37.67	6,16%
7	Uso de energia elétrica e água	36.51	5,97%
8	Aço	36.45	5,96%
9	Cerâmica - Piso	23.13	3,78%
10	Bloco e placa de gesso	8.79	1,44%
11	Porcelanato - Piso	7.19	1,18%

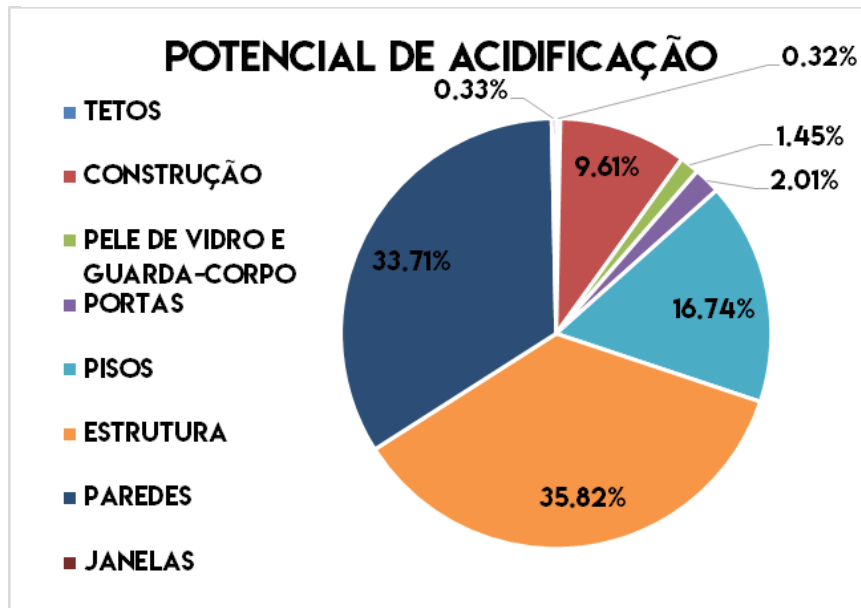
Fonte: Autora, 2018.

Voltando para o Gráfico 1 (página 51) podemos ver que em todas as categorias, o sistema que gera mais impactos ambientais é o sistema de vedações e divisórias (paredes), com exceção das categorias de Potencial de Acidificação e Depleção do Ozônio Estratosférico.

Como pode ser visto no Gráfico 2, o sistema estrutural é o que causa mais impactos de acidificação (35,82%), seguido por vedações e divisórias (paredes). O insumo que gera maior potencial de acidificação na edificação é o Concreto Usinado, presente no sistema estrutural.

Nos sistemas de vedação e divisória, o insumo que gera maior impacto são as cerâmicas, seguidos pelos blocos cerâmicos e argamassas. Logo, o que ocorre nesta categoria é que quanto maior a quantidade de cimento utilizada em obra, maior será a contribuição da edificação para o potencial de acidificação do solo e águas.

Gráfico 2 - Divisão Percentual - Potencial de Acidificação



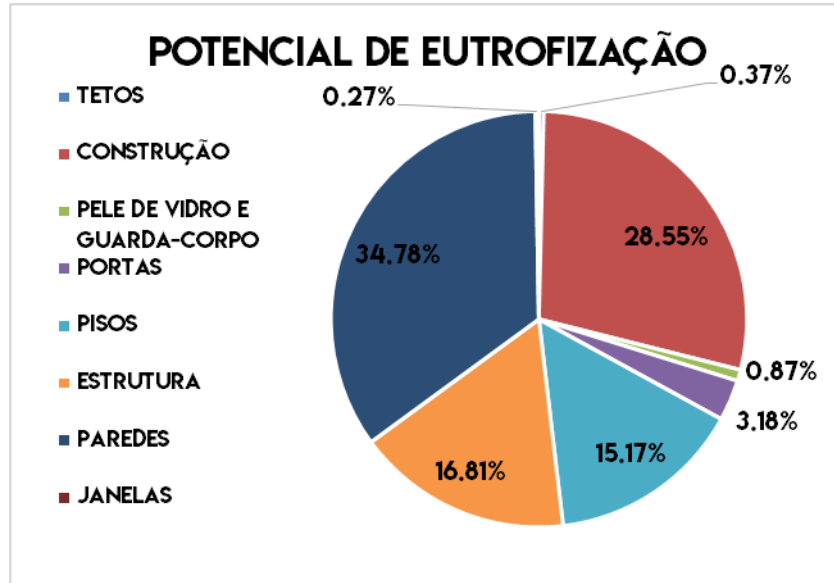
Fonte: Autora, 2018.

Percebe-se que a Demanda Energética Não-Renovável é maior que a Renovável. O padrão repete-se para todos os insumos que possuem processos de queima na sua fabricação (cimento, cerâmicas, blocos cerâmicos, etc) e cerca de 96% do total da Demanda Energética Primária vem de fontes não-renováveis. Isto possivelmente deve-se aos processos de queima envolvidos na fabricação dos insumos utilizados na construção civil.

No Potencial de Eutrofização, as paredes e divisórias geram mais impactos, porém, ao contrário do que acontece em outras categorias, os impactos gerados na fase do ciclo de vida de construção do edifício (com consumo de água e energia elétrica) são maiores que os impactos gerados na fabricação, manutenção, transporte e fim de vida do sistema estrutural.

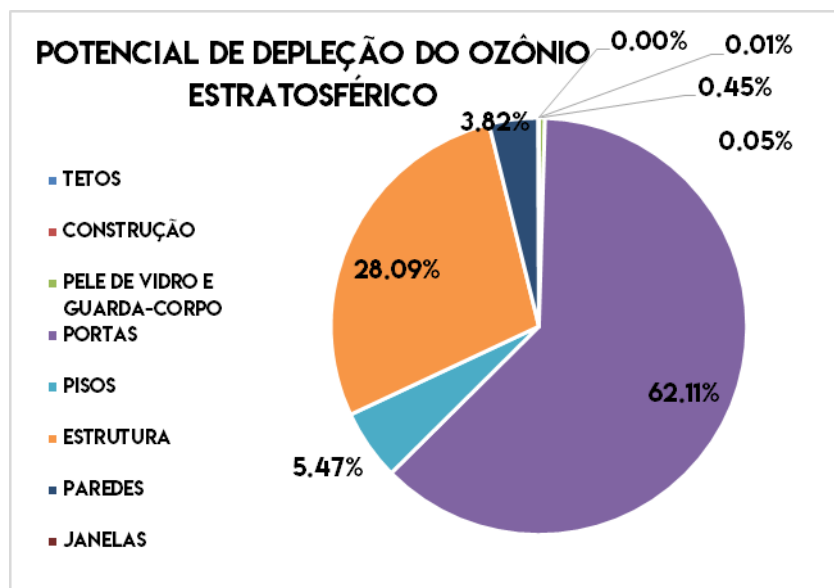
Apesar do conjunto de paredes e divisórias gerarem mais impactos, o insumo que gera mais impactos no potencial de eutrofização é o Consumo de Energia Elétrica e Água (28,55%), seguido pelo Concreto Usinado (13,70%).

Gráfico 3 - Divisão Percentual - Potencial de Eutrofização



Fonte: Autora, 2018.

Gráfico 4 - Divisão Percentual - Potencial de Depleção do Ozônio Estratosférico



Fonte: Autora, 2018.

No Potencial de Depleção do Ozônio Estratosférico, temos Portas com o maior percentual de impactos – 62,11%, onde o maior contribuinte são as portas de alumínio, com aproximadamente 60% do total dos impactos. Em seguida, a estrutura contribui mais nesta categoria com o Concreto Usinado (20,35%) e o Aço (7,74%). E ainda sim, percebe-se que o total da categoria de impacto tem um valor muito baixo se comparado com as demais (0,058 kg CFC-11 eq).

5. CONCLUSÃO

5.1. Limitações

Durante o curso do trabalho, foram percebidas algumas limitações que tornam este estudo uma avaliação do ciclo simplificada. A principal delas é a utilização da metodologia de cálculo TRACI, onde apenas os impactos ambientais de Potencial de Aquecimento Global e Depleção da Camada de Ozônio são globais, sendo todas as outras categorias regionais, sendo necessárias adaptações no modelo para aproximar os resultados obtidos, diminuindo a confiabilidade dos resultados.

Outra limitação foi a necessidade juntar insumos na Ferramenta de Cálculo. O ideal seria que estivessem mais subdivididos, porém devido a limitações de tempo e dificuldades de reconhecer no modelo as características de alguns elementos, foram necessárias tais simplificações. Podemos citar a junção das divisórias em bloco de gesso de diferentes espessuras com placa de gesso colada e a utilização da resistência característica de 35 MPa para todas as lajes, vigas e colunas do sistema estrutural.

A ausência da fase do ciclo de vida de uso no escopo é outra limitação do trabalho, por ser a fase com maior duração do ciclo de vida da edificação.

5.2. Impactos ambientais da edificação

Como resultados, obtivemos que o sistema construtivo que apresentou mais impactos em todas as categorias (com exceção de potencial de depleção da camada de ozônio e potencial de acidificação) foram as paredes e divisórias, seguidas pelo sistema estrutural, e em todos os impactos os sistemas comportam-se de maneira similar. Seguindo mais ou menos a ordem (do maior gerador de impactos ambientais para o menor):

- Paredes e divisórias;
- Estrutura;
- Pisos;
- Impactos da fase de construção;
- Portas / janelas / pele de vidro e guarda corpo

Neste trabalho, nota-se que os insumos que na sua fabricação possuem processos de queima contribuem de forma mais significativa para os impactos ambientais causados pela edificação em estudo, em todas as categorias de impacto.

Além disso, a sequência dos impactos por sistema reforça que elementos que

possuem cimento sem sua composição contribuíram de forma significativa para os impactos da edificação devido a energia associada a sua produção (Concreto usinado, contrapiso, Reboco, Argamassas etc). Apenas o concreto usinado representa aproximadamente 23,57% dos impactos de Potencial de Aquecimento Global e 31,23% dos impactos de Potencial de Acidificação.

5.3. Utilização do Tally

No modelo BIM do prédio em estudo foram percebidos alguns pontos que podem diminuir a confiabilidade dos resultados. As divergências que geram o maior desvio em quantitativo são:

- Não são modeladas todas as áreas de impermeabilização de piso nas áreas molhadas;
- As cerâmicas e porcelanatos são modelados em conjunto com as paredes e divisórias, gerando um aumento no quantitativo.

Para as divergências nos quantitativos de revestimentos de pisos, não foi utilizado o modelo de Paisagismo, que possui a maioria dos pisos de áreas externas e do térreo que foram contabilizados no PGO e não foram nos quantitativos com o modelo BIM.

Portanto, percebe-se que a utilização do *software* com interoperabilidade BIM Tally ainda enfrenta obstáculos e são necessárias adaptações no modelo para ser utilizado de maneira confiável. Tendo em vista que quanto maior o nível de detalhe, maior será a confiabilidade dos resultados obtidos desta maneira, é importante modelar pensando na ACV, detalhando o máximo possível as camadas.

Podemos destacar, a partir do trabalho realizado, dois pontos importantes em um modelo que seja voltado para a ACV:

1. Devem estar modeladas todas as camadas;
2. As informações técnicas essenciais para a ACV dos componentes devem estar no próprio modelo (espessuras e tipos de vidro, resistência característica do concreto, etc)

O segundo item não é obrigatório, porém tornaria o trabalho mais rápido e preciso, pois a procura por informações técnicas em projetos exteriores ao modelo torna o trabalho demorado e passível a erros.

5.4. Sugestões para trabalhos futuros

- Procurar dados de entrada e saída direto de fornecedores para aumentar a confiabilidade dos dados;
- Aumentar o escopo dos insumos utilizados para ampliar o banco de dados da Ferramenta de Cálculo, tornando a avaliação mais próxima da realidade;
- Aplicar as melhorias sugeridas no modelo BIM específicas para a ACV para facilitar a interoperabilidade e alocação dos Materiais Tally;
- Realizar uma ACV com a Ferramenta de Cálculo de uma edificação construída de características semelhantes ao do estudo, utilizando o quantitativo e insumos reais que foram utilizados na obra;
- Estudar o processo de fabricação dos insumos que geram mais impactos em cada categoria através de uma ACV completa para entender os principais pontos geradores de impacto dentro da cadeia produtiva ainda na fabricação, fase do ciclo de vida da edificação que gera mais impactos dentre os presentes no escopo deste estudo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Rodolfo; ZANLORENSSI, Gabriel. **Hidrelétricas, carvão, petróleo: como cada país gera sua energia**. 2018. Disponível em: <<https://www.nexojornal.com.br/grafico/2018/03/27/Hidrelétricas-carvão-petróleo-como-cada-país-gera-sua-energia>>. Acesso em: 15 ago. 2018.
- ASDRUBALI, Francesco; BALDASSARRI, Catia; FTHENAKIS, Vasilis. Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings. **Energy and Buildings**, v. 64, p. 73–89, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.04.018>>. Acesso em: 9 abr. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14.040**: Gestão ambiental - Avaliação do Ciclo de vida - Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro, 2009. a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14044**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009. b.
- ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INTITUTE. **EcoCalculator**. Disponível em: <<http://www.athenasmi.org/our-software-data/ecocalculator/>>. Acesso em: 30 maio 2018.
- BARROS, Natalia Nakamura. **Impactos da adoção de bim na avaliação de energia e emissões de ghg incorporadas no ciclo de vida de edificações**. Campinas, SP, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/320710>> Acesso em: 5 abr. 2018.
- BARROS, Natalia Nakamura; SILVA, Vanessa Gomes Da. Bim na avaliação do ciclo de vida de edificações: revisão da literatura e estudo comparativo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 7, n. 2, p. 89–101, jun. 2016. Disponível em: <<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8645401>>. Acesso em: 5 abr. 2018.
- BASBAGILL, J. et al. Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. **Building and Environment**, Stanford, CA, Estados Unidos, v. 60, p. 81–92, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.009>>. Acesso em: 5 abr. 2018.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Fator médio - Inventários corporativos**. 2018. Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html>. Acesso em: 15 mar. 2018.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/balanco-energetico-nacional>>. Acesso em: 5 abr. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Construção Sustentável**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: 14 de maio de 2018.

BREEM. **How BREEM Certification Works**. Disponível em: <<https://www.breem.com/discover/how-breem-certification-works/>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

BRIBIÁN, Ignacio Zabalza; USÓN, Alfonso Aranda; SCARPELLINI, Sabina. Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. **Building and Environment**, v. 44, n. 12, p. 2510–2520, 2009.

CAIXA. **Selo Casa Azul**. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/produtos-servicos/selo-casa-azul/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

CALDAS, Lucas Rosse. **Avaliação do Ciclo de Vida Energético e de Emissões de CO2 de uma Edificação Habitacional Unifamiliar de Light Steel Framing**. Brasília, DF, 2016. 88 p. Disponível em: <http://www.pgea.unb.br/~lasp/research/DEFESA_VALERIO_AYMORE_MARTINS_DM-500_2012.pdf>. Acesso em: 1 out. 2018.

CAMPOS, Felipe Henrique Azevedo. **Análise Do Ciclo De Vida Na Construção Civil : Um Estudo Comparativo Entre Vedações Estruturais Um Estudo Comparativo Entre Vedações Estruturais Em Painéis Pré-Moldados E Alvenaria Em Blocos De Concreto**. Belo Horizonte, MG, 2012. 123 p. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ISMS-8XVK6S>>. Acesso em: 30 set. 2018.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Sustentabilidade na indústria de blocos e pavimento de concreto Avaliação de Ciclo de Vida Modular**. Disponível em: <<http://www.acv.net.br/website/acvs/show.asp?ppgCode=DE0D28E8-7BDE-4495-9405-8604588186C5>>. Acesso em: 30 set. 2018.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. **What is Smog?** Ontario, Canadá, 1998. Disponível em: <https://www.ccme.ca/files/Resources/air/emissions/pn_1257_e.pdf>. Acesso em: 23 out. 2018.

CERTIVEA. **Certification HQE Bâtiment Durable**. Disponível em: <<https://www.certivea.fr/offres/certification-hqe-batiment-durable>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

CIB. **Agenda 21 on sustainable construction**. Rotterdam, Holanda, 1999. Disponível em: <<http://cic.vtt.fi/eco/cibw82/A21text.pdf>> Acesso em: 6 maio 2018.

CONDEIXA, Karina de Macedo Soares Pires. **Comparação entre materiais da Construção Civil através da Avaliação do Ciclo de vida: sistema drywall e Alvenaria de vedação.** Niterói, RJ, 2013. Disponível em: <<http://www.poscivil.uff.br/conteudo/comparacao-entre-materiais-da-construcao-civil-atraves-da-avaliacao-do-ciclo-de-vida-sistem>>. Acesso em: 1 out. 2018.

DIAZ, Joaquín; ANTÓN, Laura Álvarez. Sustainable Construction Approach through Integration of LCA and BIM Tools. **The Sixth Annual International Conference on Computing in Civil and Building Engineering**, Giessen, Alemanha, p. 455–462, 2014. Disponível em: <<http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2014-paper-036.pdf>> Acesso em: 5 abr. 2018.

EVANGELISTA, Patricia et al. Desempenho Ambiental De Edificações : Avaliação De Ciclo De Vida Em Empreendimento Residencial. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Maceió, AL, n. 1, p. 3101–3110, 2014. Disponível em: <<http://doi.org/10.17012/entac2014.183>>. Acesso em: 9 abr. 2018.

FORTALEZA. Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. **Certificação Fator Verde: Programa de Certificação para Construções Sustentáveis**, 2016. Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/servicos/certificacao-fator-verde/cartilha_-_construcao.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2018.

IBICT. **Avaliação do Ciclo de Vida**. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/sobre/quem-somos/>>. Acesso em: 30 set. 2018.

IBICT. **SICV - Banco Nacional de Inventário de Ciclo de Vida**. Disponível em: <<http://sicv.acv.ibict.br/Node/>>. Acesso em: 30 set. 2018.

IBICT. **Avaliação do ciclo de vida: Ontologia Terminológica**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/documentos/publicacoes/529-ontologia-terminologica/>>. Acesso em: 30 set. 2018.

PRÉ. **Introduction to LCA with SimaPro Colophon**. v. 5.2. São Francisco, CA, EUA, 2016. p. 1–80. Disponível em: <<https://simapro.com/>>. Acesso em: 5 jun. 2016.

KELLENBERGER, Daniel; ALTHAUS, Hans Jörg. Relevance of simplifications in LCA of building components. **Building and Environment**, v. 44, n. 4, p. 818–825, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013230800142X>>. Acesso em: 5 abr. 2018.

KHASREEN, Mohamad Monkiz; BANFILL, Phillip F. G.; MENZIES, Gillian F. **Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: A review**. *Sustainability*, Edimburgo, Reino Unido, v. 1, n. 3, p. 674–701, 2009. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/1/3/674>>. Acesso em: 5 abr. 2018.

KUHN, Eugenia Aumond. **Avaliação da sustentabilidade ambiental do protótipo de habitação de interesse social Alvorada**. Porto Alegre, RS, 2006. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000599772&loc=2007&l=30263fedd0a4efd4>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

MENDES, Natalia Crespo; BUENO, Cristiane; OMETTO, Aldo Roberto. **Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos**. Production, São Carlos, SP, v. 26, n. 1, p. 160–175, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132015005010112&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 30 set. 2018.

MORAGA, Gustavo Longaray. **Avaliação do Ciclo de Vida em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida**. Porto Alegre, RS, 2017.

SEVERO, Elisabeth M. F.; SOUSA, Hipólito J. C. Avaliando a sustentabilidade das edificações através de ferramentas qualitativas e quantitativas. **RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao**, Porto, Portugal, n. 19, p. 1–14, 2016. Disponível em: <<http://www.risti.xyz/issues/risti19.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

SILVA, VG. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. São Paulo, SP, 2003. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~vangomes/Download_Tese/Capa.pdf>. Acesso em: 30 set. 2018.

SOARES, Sebastião Roberto; PEREIRA, Sibeli Warmling. Inventário da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. **Revista Ambiente Construído**, v. 4, n. 2, p. 83–94, 2004. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/3541/1942>>. Acesso em: 30 set. 2018.

USGBC. **LEED is green building**. Disponível em: <<https://new.usgbc.org/leed>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

VANZOLINI. **Processo Aqua**. Disponível em: <<https://vanzolini.org.br/aqua/%0A>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

WORLD ENERGY COUNCIL. **World Energy Trilemma Index 2016**. Londres, Inglaterra, 2016. Disponível em: <<http://www.worldenergy.org/publications/2016/world-energy-trilemma-2016-defining-measures-to-accelerate-the-energy-transition/>>. Acesso em: 30 set. 2018.

YOSHIMURA, K. S. O.; YOSHIMURA, H. N.; WIEBECK, H. Avaliação do ciclo de vida de telha ecológica à base de papel reciclado. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 7 n.2, p. 82–94, 2012. Disponível em: <<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/viewFile/308/248>>. Acesso em: 30 set. 2018.

APÊNDICE A – Escopo por materiais – Ferramenta de Cálculo x Tally

Sistema	Insumo / Serviço	FERRAMENTA	TALLY
Tetos	Pintura de forro em PVA (duas demãos)	S	S
Tetos	Forro de gesso	S	S
Construção	Uso de energia elétrica e água	S	S
Pele de vidro e Guarda-Corpo	Painéis do Sistema (vidro temperado)	S	S
Pele de vidro e Guarda-Corpo	Guarda-corpo com pintura (tubo de aço)	S	S
Portas	Guarnição de alumínio	S	S
Portas	Chapa de aço	S	S
Portas	Porta de madeira	S	S
Portas	Folha de vidro, genérico	N	S
Portas	Folha de vidro, temperado	S	S
Portas	Porta de alumínio	S	S
Portas	Ferragem de de portas (maçanetas, trincos etc)	S	S
Pisos	Porcelanato	S	S
Pisos	Manta asfáltica	S	N
Pisos	Piso cimentado	S	S
Pisos	Granito / Mármore	S	S
Pisos	Piso intertravado (bloquete)	S	S
Pisos	Contrapiso	S	S
Pisos	Cerâmica	S	S
Pisos	Argamassa de assentamento	S	S
Estrutura	Aço	S	S
Estrutura	Concreto Usinado (fck = 35 MPa)	S	S
Paredes	Bloco cerâmico	S	S
Paredes	Cerâmica	S	S
Paredes	Bloco de concreto	N	S
Paredes	Argamassa	S	S
Paredes	Tinta acrílica	S	S
Paredes	Porcelanato	S	S
Paredes	Granito / Mármore	S	S
Paredes	Saiote	S	S
Paredes	Reboco / Emboço	S	S
Paredes	Argamassa	S	S
Paredes	Bloco e placa de gesso	S	S
Janelas	Vidros (genéricos)	S	S
Janelas	Vidros (temperado)	S	S
Janelas	Guarnição de alumínio	S	S

APÊNDICE B – Escolha dos materiais Tally para a adequação

TIPO	MATERIAL	MATERIAIS TALLY
LAJES	CONCRETE - CAST-IN-PLACE	CAST-IN-PLACE CONCRET, REINFORCED STRUCTURAL CONCRETE, 35 MPA (SLAB, MODERATE REINFORCEMENT - 88,8 KG/M ³)
COLUNAS	CONCRETE - CAST-IN-PLACE	CAST-IN-PLACE CONCRET, REINFORCED STRUCTURAL CONCRETE, 35 MPA (COLUMN OR BEAM, MODERATE REINFORCEMENT - 111 KG/M ³)
VIGAS	CONCRETE - CAST-IN-PLACE	CAST-IN-PLACE CONCRET, REINFORCED STRUCTURAL CONCRETE, 35 MPA (COLUM OR BEAM, HIGH REINFORCEMENT - 155,4 KG/M ³)
PISO	GRANITO	STONE VENEER WALL, ARGAMASSA = 2000 KG/M ³ , PORTLAND CEMENT
PISO	REVESTIMENTO CERÂMICO	CERAMIC TILE, GLAZED, DEAFULT THICKNESS FOR MORTAR
PISO	REVESTIMENTO CERÂMICO	CERAMIC TILE, GLAZED, DEAFULT THICKNESS FOR MORTAR
	CONTRAPISO	PORTLAND CEMENT STUCCO
PISO	PISO CIMENTADO LISO COM JUNTA SECA	FLOORING, UNDERLAYMENT, CEMENTITIOUS
	CONTRAPISO	STUCCO, PORTLAND CEMENT
PISO	PORCELANATO	PORCELAIN TILE
PISO	IMPERMEABILIZAÇÃO	SELF-ADHERING SHEET WATERPROOFING, MODIFIED BITUMIOUS SHEET
	CONTRAPISO	STUCCO, PORTLAND CEMENT
PISO	BLOKRET	PRE-CAST CONCRETE PAVER (STRUCTURAL CONCRETE, 3000 PSI, GENERIC)
PORTAS	ALUMÍNIO	DOOR FRAME, ALUMINUM;
	VIDRO	GLAZING, MONOLITHIC SHEET, TEMPERED
PORTAS	ALUMÍNIO	DOOR FRAME, ALUMINUM;
PORTAS	MADEIRA - PORMADE - MADEIRA	DOOR, INTERIOR, WOOD, HOLLOW CORE, FLUSH
	METAL - PORMADE - ALUMÍNIO	DOOR FRAME, ALUMINUM;
PORTAS	MADEIRA	DOOR, INTERIOR, WOOD, HOLLOW CORE, FLUSH
PORTAS	ALUMINIO	DOOR FRAME, ALUMINUM;
	VENEZIANA	HOLLOW DOOR, ALUMINUM, ANODIZED

Continuação

TIPO	MATERIAL	MATERIAIS TALLY
PORTAS	AÇO GALVANIZADO	GALVANIZED STEEL
	ALUMINIO	DOOR FRAME, ALUMINUM;
PORTAS	VIDRO	GLAZING, MONOLITHIC SHEET, TEMPERED
	VENEZIANA	HOLLOW DOOR, ALUMINUM, ANODIZED
JANELAS	ALUMÍNIO BRONZE	WINDOW FRAME, ALUMINUM
	VENEZIANA	DUMMY MATERIAL
JANELAS	ALUMÍNIO BRONZE	WINDOW FRAME, ALUMINUM
	VIDRO BRONZE	GLAZING, MONOLITHIC SHEET, TEMPERED
JANELAS	ALUMÍNIO BRONZE	WINDOW FRAME, ALUMINUM
	VIDRO BRONZE	GLAZING, MONOLITHIC SHEET, GENERIC
	PINTURA PVA LÁTEX	PAINT, INTERIOR ACRYLIC LATEX
PAREDES	BLOCO DE CONCRETO (SAIOTE)	PRECAST CONCRET NON-STRUCTURAL PANEL
	PLACA DE GESSO	WALL BOARD, GYPSUM, NATURAL
	REBOCO / EMBOÇO	PORTLAND CEMENT STUCCO, APPLIED DIRECTLY TO CONCRETE
	CERÂMICA	CERAMIC TILE, GLAZED;
PAREDES	BLOCO DE CONCRETO (SAIOTE)	PRECAST CONCRET NON-STRUCTURAL PANEL
	PLACA DE GESSO	WALL BOARD, GYPSUM, NATURAL
	REBOCO / EMBOÇO	PORTLAND CEMENT STUCCO, APPLIED DIRECTLY TO CONCRETE
	PORCELANATO	PORCELAIN TILE
	PINTURA PVA LÁTEX	PAINT, INTERIOR ACRYLIC LATEX
PAREDES	BLOCO DE CONCRETO (SAIOTE)	PRECAST CONCRET NON-STRUCTURAL PANEL
	PLACA DE GESSO	WALL BOARD, GYPSUM, NATURAL
	REBOCO / EMBOÇO	PORTLAND CEMENT STUCCO, APPLIED DIRECTLY TO CONCRETE
	PORCELANATO	PORCELAIN TILE
	PINTURA PVA LÁTEX	PAINT, INTERIOR ACRYLIC LATEX
PAREDES	REBOCO / EMBOÇO	PORTLAND CEMENT STUCCO, APPLIED DIRECTLY TO CONCRETE
	TIJOLO CERAMICO	BRICK, GENERIC (D= 1400 KG/M ³)
	REVESTIMENTO CERÂMICO	CERAMIC TILE

Conclusão

TIPO	MATERIAL	MATERIAIS TALLY
PAREDES	PINTURA PVA LÁTEX	PAINT, INTERIOR ACRYLIC LATEX
	REBOCO / EMBOÇO	PORTLAND CEMENT STUCCO, APPLIED DIRECTLY TO CONCRETE
	TIJOLO CERAMICO	BRICK, GENERIC (D= 1400 KG/M ³)
	PORCELANATO	PORCELAIN TILE
PAREDES	REBOCO / EMBOÇO	PORTLAND CEMENT STUCCO, APPLIED DIRECTLY TO CONCRETE
	TIJOLO CERAMICO	BRICK, GENERIC (D= 1400 KG/M ³)
	REVESTIMENTO CERÂMICO	CERAMIC TILE
PAREDES	REBOCO / EMBOÇO	PORTLAND CEMENT STUCCO, APPLIED DIRECTLY TO CONCRETE
	TIJOLO CERAMICO	BRICK, GENERIC (D= 1400 KG/M ³)
	PORCELANATO	PORCELAIN TILE
PAREDES	PORCELANATO	PORCELAIN TILE
	REBOCO / EMBOÇO	PORTLAND CEMENT STUCCO, APPLIED DIRECTLY TO CONCRETE
	TIJOLO CERAMICO	BRICK, GENERIC (D= 1400 KG/M ³)
	GRANITO	STONE SLAB, GRANITE

APÊNDICE C – Impactos por insumos (Tally)

Sistema	Insumo	Potencial de Acidificação	Potencial de Eutrofização	Potencial de Aquecimento Global	Potencial de Depleção do Ozônio Estratosférico	Potencial de Formação de Smog	Demanda Energética	Demanda Energética Não-Renovável	Demanda Energética Renovável
		kgSO ₂ eq	kgNeq	kgCO ₂ eq	CFC-11eq	kgO ₃ eq	MJ	MJ	MJ
Tetos	Pintura de forro em PVA (duas demãos)	4.44E+01	4.67E+00	1.05E+04	4.05E-07	7.80E+02	2.43E+05	2.30E+05	1.24E+04
Tetos	Forro de gesso	6.89E+01	5.59E+00	4.46E+04	4.98E-07	1.30E+03	7.22E+05	7.07E+05	1.44E+04
Construção	Uso de energia elétrica e água	2.80E+03	6.54E+02	4.75E+05	5.11E-06	6.33E+04	6.92E+06	6.43E+06	5.26E+05
Pele de vidro e Guarda-Corpo	Painéis do Sistema (vidro temperado)	3.29E+02	1.66E+01	4.81E+04	4.64E-06	5.40E+03	6.99E+05	6.78E+05	2.19E+04
Pele de vidro e Guarda-Corpo	Guarda-corpo com pintura (tubo de aço)	1.56E+02	6.17E+00	4.34E+04	3.54E-04	1.82E+03	7.06E+05	5.81E+05	1.25E+05
Portas	Guarnição de alumínio	2.86E+01	3.07E+00	6.34E+03	3.29E-05	2.49E+02	1.06E+05	9.13E+04	1.49E+04
Portas	Chapa de aço	7.53E-01	4.25E-02	1.41E+02	6.09E-06	1.40E+01	2.06E+03	1.94E+03	1.25E+02
Portas	Porta de madeira	1.17E+02	2.77E+01	1.47E+04	-5.35E-07	6.89E+02	2.45E+05	4.13E+04	2.03E+05
Portas	Folha de vidro, genérico	4.23E+00	2.09E-01	4.92E+02	3.22E-08	7.04E+01	6.92E+03	6.72E+03	2.03E+02
Portas	Folha de vidro, temperado	3.66E+02	1.85E+01	5.35E+04	5.16E-06	6.01E+03	7.78E+05	7.54E+05	2.43E+04
Portas	Porta de alumínio	6.18E+01	2.26E+01	3.45E+04	4.63E-02	7.44E+02	4.20E+05	3.74E+05	4.47E+04

Continuação

Sistema	Insumo	Potencial de Acidificação	Potencial de Eutrofização	Potencial de Aquecimento Global	Potencial de Depleção do Ozônio Estratosférico	Potencial de Formação de Smog	Demanda Energética	Demanda Energética Não-Renovável	Demanda Energética Renovável
		kgSO₂eq	kgNeq	kgCO₂eq	CFC-11eq	kgO₃eq	MJ	MJ	MJ
Portas	Ferragem de de portas (maçanetas, trincos etc)	2.68E+01	4.55E+00	9.31E+03	1.03E-03	2.98E+02	1.44E+05	1.35E+05	8.40E+03
Pisos	Porcelanato	1.57E+02	1.23E+01	5.89E+04	6.40E-06	3.05E+03	9.72E+05	9.43E+05	3.06E+04
Pisos	Manta asfáltica	5.26E+00	3.26E+00	1.66E+03	7.82E-08	9.36E+01	6.19E+04	6.15E+04	4.08E+02
Pisos	Piso cimentado	5.91E+00	2.92E-01	1.44E+03	6.05E-06	9.38E+01	1.31E+04	1.28E+04	3.45E+02
Pisos	Granito / Mármore	5.59E+02	2.20E+01	4.83E+04	7.63E-06	1.01E+04	7.08E+05	6.46E+05	6.21E+04
Pisos	Piso intertravado (bloquete)	5.87E+00	2.14E-01	1.23E+03	7.46E-06	8.13E+01	8.03E+03	7.91E+03	1.12E+02
Pisos	Contrapiso	4.16E+03	1.85E+02	1.40E+06	4.74E-03	6.26E+04	8.40E+06	8.29E+06	1.06E+05
Pisos	Cerâmica	2.34E+03	2.01E+02	6.51E+05	8.62E-06	6.05E+04	1.02E+07	9.91E+06	2.76E+05
Pisos	Argamassa de assentamento	1.16E+01	1.81E+00	4.74E+03	6.99E-08	2.56E+02	3.91E+04	3.69E+04	2.31E+03
Estrutura	Aço	1.31E+03	6.96E+01	4.64E+05	4.41E-03	1.66E+04	6.03E+06	5.17E+06	8.59E+05
Estrutura	Concreto Usinado (fck = 35 MPa)	8.91E+03	3.08E+02	1.84E+06	1.16E-02	1.22E+05	1.12E+07	1.11E+07	1.45E+05
Paredes	Bloco cerâmico	2.62E+03	1.69E+02	1.18E+06	1.91E-05	3.89E+04	1.98E+07	1.91E+07	6.63E+05
Paredes	Cerâmica	4.01E+03	3.45E+02	1.12E+06	1.48E-05	1.04E+05	1.74E+07	1.70E+07	4.74E+05
Paredes	Bloco de concreto	4.09E+02	1.93E+01	9.61E+04	4.22E-04	6.53E+03	7.07E+05	6.86E+05	2.07E+04
Paredes	Argamassa	1.38E+03	2.26E+02	5.36E+05	8.24E-06	3.03E+04	4.67E+06	4.40E+06	2.71E+05
Paredes	Tinta acrílica	5.71E+01	5.66E+00	1.23E+04	5.07E-07	1.17E+03	2.78E+05	2.64E+05	1.46E+04
Paredes	Porcelanato	1.71E+02	1.34E+01	6.41E+04	6.96E-06	3.32E+03	1.06E+06	1.02E+06	3.33E+04
Paredes	Granito / Mármore	1.19E+02	4.70E+00	1.03E+04	1.63E-06	2.15E+03	1.51E+05	1.38E+05	1.33E+04

Conclusão

Sistema	Insumo	Potencial de Acidificação	Potencial de Eutrofização	Potencial de Aquecimento Global	Potencial de Depleção do Ozônio Estratosférico	Potencial de Formação de Smog	Demanda Energética	Demanda Energética Não-Renovável	Demanda Energética Renovável
		kgSO2eq	kgNeq	kgCO2eq	CFC-11eq	kgO3eq	MJ	MJ	MJ
Paredes	Saiote	1.01E+02	3.68E+00	2.12E+04	1.28E-04	1.40E+03	1.38E+05	1.36E+05	1.92E+03
Paredes	Reboco / Emboço	1.21E+03	5.35E+01	4.06E+05	1.37E-03	1.81E+04	2.43E+06	2.40E+06	3.07E+04
Paredes	Argamassa	1.13E+01	1.84E+00	4.37E+03	6.72E-08	2.48E+02	3.81E+04	3.59E+04	2.21E+03
Paredes	Bloco e placa de gesso	2.11E+02	1.71E+01	1.37E+05	1.53E-06	3.98E+03	2.21E+06	2.17E+06	4.42E+04
Janelas	Vidros (genéricos)	6.92E+00	3.43E-01	8.05E+02	5.27E-08	1.15E+02	1.13E+04	1.10E+04	3.33E+02
Janelas	Vidros (temperado)	1.35E+02	6.82E+00	1.98E+04	1.91E-06	2.22E+03	2.88E+05	2.79E+05	9.00E+03
Janelas	Guarnição de alumínio	3.02E+01	3.24E+00	6.70E+03	3.48E-05	2.63E+02	1.12E+05	9.64E+04	1.58E+04

APÊNDICE D – Impactos por insumos (Ferramenta de cálculo)

Sistema	Insumo	Potencial de Acidificação kgSO2eq	Potencial de Eutrofização kgNeq	Potencial de Aquecimento Global kgCO2eq	Potencial de Depleção do Ozônio Estratosférico CFC-11eq	Potencial de Formação de Smog kgO3eq	Demanda Energética MJ	Demanda Energética Não-Renovável MJ	Demanda Energética Renovável MJ
Tetos	Pintura de forro em PVA (duas demãos)	36.10	3.79	8,506.94	0.00	633.84	197,090.10	187,013.94	10,090.52
Tetos	Forro de gesso	57.55	4.67	37,298.12	0.00	1,083.99	602,859.31	590,819.40	12,055.32
Construção	Uso de energia elétrica e água	2,797.00	653.70	475,338.00	0.00	63,272.00	6,921,831.00	6,429,091.00	525,779.00
Construção	Consumo de água	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pele de vidro e Guarda-Corpo	Painéis do Sistema (vidro temperado)	306.70	15.47	44,864.46	0.00	5,035.43	652,262.31	632,035.06	20,398.67
Pele de vidro e Guarda-Corpo	Guarda-corpo com pintura (tubo de aço)	114.66	4.52	31,819.49	0.00	1,333.95	518,439.82	426,511.79	91,994.03
Portas	Guarnição de alumínio	28.00	3.01	6,216.57	0.00	243.91	104,158.46	89,511.84	14,655.48
Portas	Chapa de aço	0.81	0.05	151.58	0.00	15.09	2,216.31	2,082.28	134.40

Continuação

Sistema	Insumo	Potencial de Acidificação kgSO2eq	Potencial de Eutrofização kgNeq	Potencial de Aquecimento Global kgCO2eq	Potencial de Depleção do Ozônio Estratosférico CFC-11eq	Potencial de Formação de Smog kgO3eq	Demanda Energética MJ	Demanda Energética Não-Renovável MJ	Demanda Energética Renovável MJ
Portas	Porta de madeira	127.27	30.06	15,956.13	0.00	746.46	264,942.12	44,768.73	220,252.01
Portas	Folha de vidro, genérico	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Portas	Folha de vidro, temperado	356.28	17.97	52,116.85	0.00	5,849.42	757,701.36	734,204.35	23,696.14
Portas	Porta de alumínio	46.99	17.20	26,237.94	0.04	565.26	318,992.19	284,522.86	33,991.39
Portas	Ferragem de de portas (maçanetas, trincos etc)	26.75	4.55	9,305.39	0.00	298.21	143,701.09	135,305.48	8,403.71
Pisos	Fasteners; stainless steel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pisos	Porcelanato	249.73	19.55	93,572.51	0.00	4,848.74	1,543,741.38	1,496,462.06	48,652.79
Pisos	Manta asfáltica	137.74	85.38	43,398.75	0.00	2,454.39	1,622,866.27	1,612,448.24	10,696.80
Pisos	Piso cimentado	6.59	0.33	1,603.60	0.00	104.59	14,644.11	14,269.16	384.15
Pisos	Granito / Mármore	612.16	24.10	52,956.60	0.00	11,039.33	775,227.99	707,250.47	67,989.14
Pisos	Piso intertravado (bloquete)	15.59	0.57	3,271.90	0.00	216.16	21,327.41	21,032.27	297.42
Pisos	Contrapiso	2,754.76	122.26	927,971.94	0.00	41,442.81	5,559,865.93	5,491,585.48	70,096.55
Pisos	Cerâmica	1,081.49	93.00	301,176.38	0.00	27,992.16	4,698,819.53	4,584,260.34	127,825.55
Pisos	Argamassa de assentamento	13.19	2.05	5,372.92	0.00	290.21	44,325.34	41,753.26	2,616.21

Conclusão

Sistema	Insumo	Potencial de Acidificação	Potencial de Eutrofização	Potencial de Aquecimento Global	Potencial de Depleção do Ozônio Estratosférico	Potencial de Formação de Smog	Demanda Energética	Demanda Energética Não-Renovável	Demanda Energética Renovável
		kgSO₂eq	kgNeq	kgCO₂eq	CFC-11eq	kgO₃eq	MJ	MJ	MJ
Estrutura	Aço	1,335.43	71.20	474,591.13	0.00	17,004.59	6,170,373.91	5,291,631.28	878,844.81
Estrutura	Concreto Usinado (fck = 35 MPa)	9,088.19	313.71	1,876,229.45	0.01	123,924.37	11,419,533.59	11,273,224.46	147,458.26
Paredes	Bloco cerâmico	2,648.19	170.17	1,186,786.93	0.00	39,321.39	19,988,471.03	19,319,290.73	669,853.10
Paredes	Cerâmica	3,459.32	297.47	963,359.37	0.00	89,537.25	15,029,903.04	14,663,467.71	408,869.83
Paredes	Fasteners; stainless steel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Paredes	Bloco de concreto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Paredes	Argamassa	1,264.44	206.64	490,446.67	0.00	27,760.49	4,271,249.25	4,027,583.49	248,084.76
Paredes	Tinta acrílica	59.84	5.92	12,908.66	0.00	1,225.39	291,383.69	276,078.48	15,329.55
Paredes	Porcelanato	153.34	12.01	57,458.19	0.00	2,977.37	947,934.17	918,902.32	29,875.24
Paredes	Granito / Mármore	148.54	5.85	12,849.79	0.00	2,678.67	188,107.26	171,612.67	16,497.41
Paredes	Saiote	178.09	6.51	37,376.44	0.00	2,469.24	243,632.85	240,261.30	3,397.58
Paredes	Reboco / Emboço	1,711.53	75.96	576,549.03	0.00	25,748.42	3,454,345.12	3,411,922.47	43,550.99
Paredes	Argamassa	9.93	1.62	3,851.85	0.00	218.03	33,546.35	31,632.62	1,948.44
Paredes	Bloco e placa de gesso	176.52	14.32	114,392.82	0.00	3,324.57	1,848,961.25	1,812,035.01	36,973.51
Janelas	Vidros (genéricos)	9.62	0.48	1,120.11	0.00	160.17	15,748.18	15,289.67	462.97
Janelas	Vidros (temperado)	64.35	3.25	9,413.82	0.00	1,056.57	136,862.93	132,618.69	4,280.21
Janelas	Guarnição de alumínio	22.30	2.40	4,952.39	0.00	194.31	82,977.07	71,308.95	11,675.18

APÊNDICE E – Quantitativos no PGO e no modelo (Extraídos pelo Tally)

Sistema	Insumo / Serviço	PGO	TALLY	DESVIO	Unidade (PGO)
Tetos	Pintura de forro em PVA (duas demãos)	8,292.73	10208.78	23.11%	m ²
Tetos	Forro de gesso	8529.53	10208.78	19.69%	m ²
Construção	Uso de energia elétrica e água	13020	13020.00	0.00%	m ²
Construção	Consumo de água			0.00%	m ³
Pele de vidro e Guarda-Corpo	Painéis do Sistema (vidro temperado)	1321.43	1416.61	7.20%	m ²
Pele de vidro e Guarda-Corpo	Guarda-corpo com pintura (tubo de aço)	324.27	441.88	36.27%	m ²
Portas	Guarnição de alumínio	934.58	953.13	1.98%	m ²
Portas	Chapa de aço	90.46	84.19	6.93%	m ²
Portas	Porta de madeira	982.38	906.78	8.34%	m ²
Portas	Folha de vidro, genérico		7.92	0.00%	m ²
Portas	Folha de vidro, temperado	767.52	788.34	2.71%	m ²
Portas	Porta de alumínio	172.06	226.39	31.58%	m ²
Portas	Ferragem de de portas (maçanetas, trincos etc)	326	326.00	0.00%	unidade
Pisos	Porcelanato	11191.97	7049.05	58.77%	m ²
Pisos	Manta asfáltica	8326.47	317.67	2521.11%	m ²
Pisos	Piso cimentado	311.85	279.72	11.49%	m ²
Pisos	Granito / Mármore	404.53	369.24	8.72%	m ²
Pisos	Piso intertravado (bloquete)	63.09	23.74	165.75%	m ²
Pisos	Contrapiso	8489.55	12823.06	51.05%	m ²
Pisos	Cerâmica	2215.66	4787.68	116.08%	m ²
Pisos	Argamassa de assentamento	127372.485	112448.94	11.72%	kg
Estrutura	Aço	368751.5	360485.73	2.24%	kg
Estrutura	Concreto Usinado (fck = 35 MPa)	3078.0995	3018.19	1.95%	m ³
Paredes	Bloco cerâmico	10891.89	10785.79	0.98%	m ²
Paredes	Cerâmica	5385.06	6246.55	16.00%	m ²
Paredes	Bloco de concreto		862.78	0.00%	m ²
Paredes	Argamassa	10891.89	11901.02	9.26%	m ²
Paredes	Tinta acrílica	14860.47	14188.45	4.74%	m ²
Paredes	Porcelanato	6609.01	7369.42	11.51%	m ²
Paredes	Granito / Mármore	314.09	252.48	19.62%	m ²
Paredes	Saiote	469.659	404.04	16.24%	m ²
Paredes	Reboco / Emboço	24630.22	17349.00	41.97%	m ²
Paredes	Argamassa	113943.665	129351.72	13.52%	kg

Continua

Sistema	Insumo / Serviço	PGO	TALLY	DESVIO	Unidade (PGO)
Paredes	Bloco e placa de gesso	7910.6	9461.36	19.60%	m ²
Janelas	Vidros (genéricos)	46.4	33.35	39.13%	m ²
Janelas	Vidros (temperado)	300.67	631.94	110.18%	m ²
Janelas	Guarnição de alumínio	357.91	483.94	35.21%	m ²