

FACULDADE DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS  
MESTRADO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

PERIVALDO ALVES PERFEITO

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL  
CONSTRUÍDA A PARTIR DE CONTÊINERES MARÍTIMOS RECICLADOS**

Porto Alegre

2017

PÓS-GRADUAÇÃO - *STRICTO SENSU*



Pontifícia Universidade Católica  
do Rio Grande do Sul



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA HABITAÇÃO DE  
INTERESSE SOCIAL CONSTRUÍDA A PARTIR DE  
CONTÊINERES MARÍTIMOS RECICLADOS**

**PERIVALDO ALVES PERFEITO**

ARQUITETO E URBANISTA

**DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM  
ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

**Porto Alegre**

**Março, 2017**



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA HABITAÇÃO DE  
INTERESSE SOCIAL CONSTRUÍDA A PARTIR DE  
CONTÊINERES MARÍTIMOS RECICLADOS**

**PERIVALDO ALVES PERFEITO**

ARQUITETO E URBANISTA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcus Seferin

Dissertação realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Tecnologia de Materiais.

**Porto Alegre**

**Março, 2017**

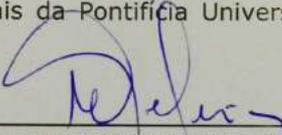


Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

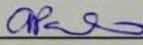
## AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL CONSTRUÍDA A PARTIR DE CONTÊINERES MARÍTIMOS RECICLADOS

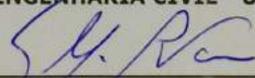
**CANDIDATO: PERIVALDO ALVES PERFEITO**

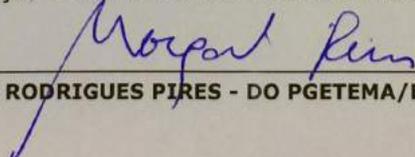
Esta Dissertação de Mestrado foi julgada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

  
\_\_\_\_\_  
**DR. MARCUS SEFERIN - ORIENTADOR**

### BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
**DRA. ANA CAROLINA BADALOTTI PASSUELO - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - UFRGS**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. GUILHERME LUÍS ROEHE VACCARO - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS E EM GESTÃO E NEGÓCIOS - UNISINOS**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. MARÇAL JOSÉ RODRIGUES PIRES - DO PGETEMA/FENG - PUCRS**

**PUCRS**

Campus Central  
Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 30 - Sala 103 - CEP: 90619-900  
Telefone: (51) 3353.4059 - Fax: (51) 3320.3625  
E-mail: engenharia.pg.materiais@pucrs.br  
www.pucrs.br/feng

*“Conheço muitos que não puderam  
quando deviam, porque não  
quiseram quando podiam.”*

*(François Rabelais)*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Carolina minha namorada, amiga e parceira, por sua grande compreensão nos períodos de ausência e que em todas as horas esteve do meu lado apoiando e incentivando para que este trabalho fosse realizado.

Ao meu grande amigo Vinicius, que com certeza sem o apoio dele meu mestrado não teria terminado.

Ao meu irmão Guilherme, que sempre me ajudou nos momentos difíceis.

Aos colegas do Laboratório de Química Industrial Igor e Kaique pela amizade e apoio deste arquiteto no mundo da química.

E ao meu orientador Marcus Seferin, por ter acreditado em mim e ter aceito um grande desafio de ensinar a um arquiteto o mundo da engenharia de materiais.

Obrigado a todos!!!

# SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>6</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>10</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>12</b>
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	<b>13</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	<b>14</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>15</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>16</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1. Objetivo Geral</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2. Objetivos Específicos</b> .....	<b>21</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1. Habitação de Interesse Social: HISTÓRICO E NORMATIZAÇÃO</b> .....	<b>22</b>
3.1.1. Programa Minha Casa Minha Viva.....	24
3.1.2. Norma de desempenho NBR 15.575 .....	25
<b>3.2. Sustentabilidade EM CONSTRUÇÃO CIVIL</b> .....	<b>27</b>
3.2.1. Triple Bottom Line .....	28
3.2.2. Sustentabilidade e Impactos da Construção Civil .....	29
3.2.3. Arquitetura Sustentável.....	30
3.2.3.1. Certificações de Arquitetura Ambiental Sustentável .....	32
3.2.3.2. Inovação em materiais e componentes de arquitetura sustentável .	37
3.2.3.2.1 <i>Drywall</i> .....	38
3.2.3.2.2 <i>Telhado verde</i> .....	41
<b>3.3. Avaliação do Ciclo de Vida</b> .....	<b>43</b>
3.3.1. Definição dos Objetivos e do Escopo.....	45
3.3.2. Análise do Inventário.....	45
3.3.3. Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida.....	46
3.3.4. Interpretação de Resultados .....	47
3.3.5. Avaliação do Ciclo de Vida na Construção Civil .....	48
<b>3.4. Contêineres MARÍTIMOS</b> .....	<b>51</b>

3.4.1. Descrição de um contêiner de 20 pés.....	53
3.4.2. Contêiner habitacional .....	55
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>56</b>
<b>4.1. Objetos e Escopo .....</b>	<b>56</b>
<b>4.2. Considerações gerais de estudo .....</b>	<b>56</b>
4.2.1. Fronteiras do sistema.....	58
4.2.2. Matriz energética.....	59
4.2.3. Transporte.....	60
<b>4.3. Projeto arquitetônico: Design da Habitação .....</b>	<b>60</b>
<b>4.4. Coleta de dados.....</b>	<b>61</b>
<b>4.5. Construção do inventário .....</b>	<b>61</b>
4.5.1. Fundação .....	62
4.5.2. Corte .....	63
4.5.3. Soldagem.....	64
4.5.4. Pintura.....	66
4.5.5. Drywall .....	66
4.5.6. Telhado verde .....	68
<b>4.6. Avaliação do Impacto Ambiental .....</b>	<b>68</b>
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>71</b>
<b>5.1. Construção do Inventário de ciclo de vida .....</b>	<b>71</b>
5.1.1. Resultados da coleta de dados de campo .....	71
5.1.2. Projeto arquitetônico: design da habitação .....	72
5.1.3. Fundação .....	78
5.1.4. Corte .....	78
5.1.5. Soldagem.....	78
5.1.6. Pintura.....	78
5.1.7. Drywall .....	79
5.1.8. Telhado verde .....	79
<b>5.2. Avaliação de Impacto Ambiental .....</b>	<b>80</b>
5.2.1. Mudanças Climáticas (Aquecimento Global) .....	82
5.2.2. Acidificação.....	84
5.2.3. Eutrofização .....	85
5.2.4. Formação fotoquímica de ozônio (nível do solo) .....	85
5.2.5. Ecotoxicidade.....	86

<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>88</b>
<b>7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>90</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>100</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Unidades habitacionais do Programa Minha Casa, Minha Vida no Residencial Casas do Parque, em Campinas (SP).....	24
Figura 2. Esquema de reciclagem e reuso.....	28
Figura 3. Desenvolvimento do conceito de Sustentabilidade na Construção Civil: (a) construção clássica; (b) construção tradicional; (c) construção eco eficiente e (d) construção sustentável.....	31
Figura 4. Selos de certificação LEED.....	35
Figura 5. Logomarcas do Selo Casa Azul níveis Ouro, Prata e Bronze.....	37
Figura 6. Camadas de um telhado verde.....	43
Figura 7. Fases de uma ACV.....	44
Figura 8. Estágios do ciclo de vida do produto.....	45
Figura 9. Procedimentos simplificados para análise de inventário.....	46
Figura 10. Framework da ACV na construção civil.....	51
Figura 11. Desenho de um contêiner de 20 HC.....	53
Figura 12. Composição de fechamento de um contêiner de 20 pés.....	54
Figura 13. Composição estrutural de um contêiner de 20 pés.....	54
Figura 14. Planta baixa de uma Unidade Habitacional padrão Caixa um dormitório.....	57
Figura 15. Fronteiras do Sistema em estudo.....	59
Figura 16. Grid elétrico brasileiro 2015, ano base 2014.....	60
Figura 17. Modelo da construção do Inventário do Ciclo de Vida.....	62
Figura 18. Esquema da volumetria de uma das sapatas de concreto.....	63
Figura 19. Cálculo da mesa do material depositado.....	65

Figura 20. Exemplo de cálculo para soldagem.....	65
Figura 21. Fronteiras do subsistema drywall. ....	67
Figura 22. Imagem dos processos modelado no Simapro. ....	69
Figura 23. Planta baixa. ....	73
Figura 24. Fachada norte. ....	73
Figura 25. Fachada sul.....	74
Figura 26. Fachada leste.....	74
Figura 27. Fachada oeste.....	75
Figura 28. Corte longitudinal. ....	75
Figura 29. Corte transversal.....	76
Figura 30. Esquema de troca por convecção, detalhe do piso.....	77
Figura 31. Esquema de troca por convecção, detalhe da parede / teto. ....	77
Figura 32. Esquema de camadas do telhado jardim. ....	80
Figura 33. Resultados normalizados para as categorias de Impacto por contribuição de processo.....	81
Figura 34. Resultados caracterizados da contribuição de processos.....	82
Figura 35. Gráfico dos principais impactos na categoria de aquecimento global.....	83
Figura 36. Gráfico de percentagem na contribuição dos processos.....	83
Figura 37. Gráfico dos principais impactos na categoria de acidificação. ....	84
Figura 39. Gráfico dos principais impactos na categoria de eutrofização. ....	85
Figura 41. Gráfico dos principais impactos na categoria de formação fotoquímica...	86
Figura 42. Gráfico de percentagem na contribuição dos processos.....	86
Figura 43. Gráfico dos principais impactos na categoria de ecotoxicidade. ....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tabela de materiais de telhado verde. Total - 1m <sup>2</sup> de cobertura.....	68
Tabela 2. Inventario do ciclo de vida das paredes de <i>drywall</i> . .....	79
Tabela 3. Tabela de materiais de telhado verde. Total de 1m <sup>2</sup> de cobertura.....	80
Tabela 4. Resultados caracterizados por UF para as categorias de impacto avaliadas. .....	81

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Sistemas de Certificação.....	33
Quadro 2. Níveis de gradação do Selo Casa Azul. ....	37
Quadro 3. Métodos de AICV e sua lista de impactos. ....	47
Quadro 4. Lista de impactos ambientais da ILCD da comunidade europeia, destacando os impactos incorporados nas normas ISO/CD 21930, quanto à EN 15804:2013, voltadas para produtos da construção civil.....	50
Quadro 5. Este quadro se refere à série 1502-W Martins, apresenta um exemplo da utilização de bicos de corte, com os parâmetros de operação.....	64

## LISTA DE SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
BNH	Banco Nacional de Habitação
CEF	Caixa Econômica Federal
CV	Ciclo de Vida
EMAU	Escritório Modelo de Arquitetura e Urbanismo
$F_{ck}$	Resistência Característica do Concreto à Compressão
FeNEA	Federação Nacional dos Estudantes de Arquitetura e Urbanismo
GEE	Gás Efeito Estufa
HC	High Cube
HIS	Habitação de Interesse Social
ICV	Inventario Ciclo de Vida
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
NBR	Norma Brasileira
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Viva
UF	Unidade Funcional

## RESUMO

PERFEITO, Perivaldo. **Avaliação do desempenho ambiental de contêineres marítimos no uso de habitações de interesse social.** Porto Alegre. 2015. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

O esperado crescimento da população mundial e a demanda social por espaços habitacionais de qualidade e a compreensão da necessidade de um meio ambiente ecologicamente equilibrado motivam reflexões sobre uma nova concepção de projetar o espaço construído de modo a mitigar o esgotamento progressivo dos recursos naturais. O déficit habitacional é uma realidade de vários países, inclusive do Brasil, o que provocou, em 2008, uma iniciativa do governo brasileiro de criar um programa para produção de casas de Habitação de Interesse Social. Neste cenário, o uso de contêineres descartados para construção de habitações apresenta-se como uma alternativa sustentável e promissora. Entretanto, há pouca disponibilidade de informações sobre a construção destes espaços habitacionais e os impactos de ciclo de vida decorrentes de sua fabricação. Frente a esta nova forma de habitar apresenta-se a necessidade de desenvolver projetos arquitetônicos utilizando princípios da *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), assim como avaliar o seu desempenho ambiental. Este estudo apresenta, a partir da ferramenta de avaliação de ciclo de vida (ACV), uma avaliação do desempenho ambiental de uma habitação de interesse social para duas pessoas, construída a partir de um contêiner marítimo de 40' HC (pés) descartado e projetada segundo a norma NBR 15.575 e os princípios da LEED.

Palavras-Chave: Avaliação do ciclo de vida, contêiner, habitação de interesse social, sustentabilidade, desempenho ambiental.

## ABSTRACT

PERFEITO, Perivaldo. **Environmental performance evaluation of containers maritime in the use of social housing**. Porto Alegre. 2015. Master. Graduation Program in Materials Engineering and Technology, PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF RIO GRANDE DO SUL.

The expected increase of the world's population and the social demand for quality housing space, added to the understanding on the need of an ecologically balanced environment motivate reflections towards a new concept of designing constructed spaces able to reduce the progressive depletion of natural resources. Housing deficit is a reality in many countries, including Brazil, which led, in 2008, to an initiative of the Brazilian government in creating a program to build social housing. In this scenario, the use of discarded containers for housing construction is presented as a sustainable and promising alternative. However, there is few available information about the construction of this kind of house and the life cycle impacts of its building. Considering this new way of living, the need for developing architectural projects using principles of Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) emerges, as well as of evaluating their environmental performance. Based on life cycle assessment (LCA), this study presents an environmental performance assessment of a social housing for two people, built from a discarded maritime container 40HC (feet) and designed according to brazilian regulations NBR 15575 and the principles of LEED.

Keywords: Life Cycle Assessment, container, social housing, sustainability, environmental performance.

## 1. INTRODUÇÃO

A espécie humana surgiu na face da Terra há pelo menos 1,8 milhões de anos e permaneceu vivendo no ambiente natural, sem modificá-lo significativamente, por um longo período de tempo, que corresponde a mais de 99% de sua existência. (PARK, 2001). Durante grande parte desse período, os seres humanos eram nômades, coletando frutos, sementes e dividindo o tempo entre caçar e se proteger de outros animais. Se a seca era prolongada ou o verão demorava a chegar, partiam em busca de novas terras. Permanecer em um mesmo local e fixar residência, parecia uma ideia tão absurda quanto viver por conta própria. (SAGAN, 1996).

Enquanto o clima estava adequado às condições de subsistência e os alimentos eram abundantes, havia a vontade de continuar no mesmo lugar. Mas, existiam as intempéries da natureza, como as chuvas, o frio, o vento, e a escuridão da noite. Assim, com vistas a se proteger dessas ameaças, o ser humano finalmente percebeu que podia modificar o ambiente à sua volta de acordo com as suas necessidades. E a primeira alteração foi justamente a construção de um abrigo, uma habitação: uma casa nada mais é que uma proteção que seleciona e corrige a relação do ser humano para com o ambiente; é um fragmento do ambiente modificado segundo projetos humanos. (LEMOS, 1996).

A primeira habitação encontrada, segundo Benevolo (1983), data de 300.000 anos atrás. Localizava-se nos arredores da cidade de Nice, na França. Assim como era característico do período, era constituída de uma estrutura simples de madeira, sem divisões internas e apenas acolhia um espaço destinado à fogueira e aos trabalhos domésticos. Os resíduos abandonados pelo homem permitiram que se conhecesse a sua 'primeira' casa: sobras de alimentos, como pequenos ossos, fragmentos de seus utensílios de pedra e pedaços de madeira são os sinais deixados em volta de antigas fogueiras, indicando que ali era uma habitação.

Dessa maneira, em algum ponto longínquo do Paleolítico, quando o homem construiu a sua primeira habitação, iniciou-se uma longa jornada humana de transformações no meio ambiente (BENEVOLO, 1983). Entretanto, as habitações foram apenas o primeiro passo: dos aglomerados destas habitações surgiram as aldeias; do aumento das aldeias, os povoados; do desenvolvimento dos povoados, as cidades; do crescimento das cidades, as metrópoles, e da união das metrópoles, as megalópoles. Atualmente, estima-se que cerca de 3,9 bilhões de pessoas vivam nestes centros urbanos, ou seja, 54% da população mundial (UNITED NATIONS, 2014).

A história do padrão de habitações usado no Brasil pode ter tido suas origens nas habitações e nos modos de construir lusitanos. Porém, muito do que hoje se pode considerar como uma casa brasileira é uma mistura de conhecimentos e influências de diferentes povos. E o que se pode chamar dos primeiros aglomerados urbanos, eram na verdade choças, construídas a partir de palha e folhas de coqueiro amarradas com cipó, em uma rudimentar estrutura de madeira. No entanto, a primeira mudança estabelecida pelos colonizadores foi o abandono do formato circular da oca e a adoção da forma conhecida pelo europeu como uma habitação, o espaço cúbico. (LEMOS, 1996).

Os portugueses que no Brasil chegavam eram provenientes de diversas regiões e traziam consigo o conhecimento de gerações sobre a chamada arquitetura vernácula. Esse conhecimento de técnicas específicas de determinadas regiões, confrontado com os materiais aqui existentes e, principalmente, com o clima tropical, foram gerando diversas novas tipologias habitacionais. Não obstante, estes primeiros habitantes, ao mesmo tempo em que encontravam uma grande quantidade de recursos naturais disponíveis, também se deparavam com escassa mão-de-obra especializada e falta de ferramentas. Talvez esse fato remonte à própria história do desperdício, principalmente na construção civil. Ao vislumbrar a vastidão das novas terras os imigrantes, acostumados ao diminuto espaço, imaginaram serem os recursos inesgotáveis, e assim podiam explorar à vontade. Aliando esse fato à falta de mão-de-obra e ferramentas adequadas, pode-se imaginar a quantidade de árvores que foram cortadas em vão, para que, talvez, um caibro fosse utilizado na tentativa de

se erguer uma casa (LEMOS, 1996). Ainda fruto dessa falta de visibilidade, mas em outra escala, o crescimento natural da população mundial e a conjunta demanda social por ambiente construído sem a preocupação de preservação ambiental acabou agravando duas problemas: políticas públicas de habitação; e impacto ambiental por construções sem foco sustentável.

Em 2008, o Governo Brasileiro criou o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), subsidio ligado ao órgão financiador Caixa Econômica Federal (CEF), que possibilita que famílias com renda mensal de até 3 salários mínimos viabilizem o acesso à moradia. (BRASIL, 2009). Este programa enfoca a construção de Habitações de Interesse Social (HIS), assim como o objeto resultante da edificação contêiner oriundo desta dissertação.

Entretanto, o crescimento da construção civil no Brasil resultou em quantidades expressivas de resíduos de obras e impactos ao meio ambiente. Segundo o Comitê Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2012), 60% do total de resíduos produzidos nas cidades brasileiras têm origem na construção civil. Somente em São Paulo, estima-se a geração de 17 mil toneladas/dia de resíduos, sendo que 30% vêm da construção formal e o restante da informal. E, globalmente, os edifícios são responsáveis por 40% do uso anual de energia e por até 30% do uso de energia relacionado à emissão de gases de efeito estufa. Ainda, o setor da construção é responsável por um terço do consumo de recursos naturais, incluindo 12% de todo o uso de água doce, e pela produção de até 40% de resíduos sólidos (BRASIL, 2014).

Mediante os dados apresentados no parágrafo anterior, questões de sustentabilidade devem ser pensadas com urgência, sendo uma delas o foco deste estudo, qual seja a utilização de contêineres marítimos, após seu ciclo natural de uso, para HIS. O contêiner marítimo surgiu como uma solução para incrementar a eficiência da cadeia logística marítima. Anteriormente, navios cargueiros eram carregados com toneis, caixas ou outros tipos de unitizadores não padronizados, o que consumia capacidade de trabalho, geralmente manual. Chegava-se a levar cerca de uma semana para encher um único navio (LEVINSON, 2010). O modelo atual, modulado e em aço, começou a ser comercializado em 1956 (LEVINSON, 2010) e, tipicamente, após sua vida útil, contêineres eram descartados como resíduo do processo logístico. O desenvolvimento e a difusão de novas técnicas construtivas utilizando-os como

estrutura principal se dá por uma série de fatores, entre eles a economia nos materiais e na execução da obra em si, motivada pelo potencial ecológico desse tipo de construção. Sua estrutura e composição permitem o uso em conjunto com diversos materiais. No entanto, fatores devem ser levados em conta, como isolamento térmico e acústico, corte para portas e janelas e recebimento de revestimentos internos, entre outras questões de projeto. Estabelecer uma forma de projetar HIS com base em princípios ecológicos e no uso de contêineres marítimos depende, portanto, da discussão do impacto ambiental das questões de projeto acima mencionadas.

Neste contexto, é relevante questionar, do ponto de vista da interface entre as ciências da Engenharia de Materiais e da Arquitetura, qual seria o desempenho ambiental associado ao uso de contêineres marítimos, descartados após serem utilizados para o transporte de mercadorias, na fabricação de HIS. Para contribuir com a análise dessa questão norteadora, este estudo apresenta uma avaliação do desempenho ambiental a partir da ferramenta de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) de uma habitação de interesse social, para 2 pessoas, construída a partir de um contêiner marítimo de 40'HC (pés High Cube) descartado e projeto segundo a norma NBR 15575: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho e os princípios da *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

O principal objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho ambiental de uma habitação de interesse social, para 2 pessoas, projetada a partir de um contêiner marítimo de 40'HC (pés High Cube) descartado e projeto segundo a norma NBR 15575: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho e os princípios da *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED).

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Complementarmente ao objetivo principal, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Identificar empresas e seus processos de produção de habitações oriundas de contêiner na região metropolitana de Porto Alegre, assim como quantificar e qualificar os fluxos envolvidos neste processo;
- Construir um inventário de ciclo de vida para o projeto habitacional proposto;
- A partir de ACV, identificar componentes ou materiais usados na fabricação que possuam elevado impacto ambiental.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL: HISTÓRICO E NORMATIZAÇÃO

A expressão HIS estabelece diversas soluções de moradia destinadas a indivíduos ou unidades familiares de baixa renda. Esse termo tem sido predominante nas pesquisas e estudos sobre gestão habitacional e vem sendo adotado por várias entidades, juntamente com expressões similares (ABIKO, 1995):

- Habitação de Baixo Custo: termo utilizado para denominar toda habitação de baixo custo, mas sem que isto represente obrigatoriamente habitação para população de baixa renda;
- Habitação para População de Baixa Renda: derivado do anterior, este termo é utilizado para denominar habitação destinada à população de baixa renda e possui conceito similar ao de HIS. Baseia-se no estabelecimento de uma renda máxima da unidade familiar ou indivíduo que caracterize a faixa populacional de foco;
- Habitação Popular: termo genérico que engloba todas as soluções destinadas ao atendimento de demandas habitacionais.

Neste trabalho, esses termos serão considerados sinônimos, entendendo-se por HIS a habitação destinada à moradia de população de baixa renda, resultante de políticas públicas ou ações não governamentais de interesse social.

A repercussão do problema da habitação de interesse social vai além de sua mera construção. Está ligada a fatores como a estrutura de renda das classes sociais mais pobres, dificuldades de acesso aos financiamentos concedidos pelos programas oficiais e a deficiências na implantação das políticas habitacionais de um país. (BRANDÃO, 1984).

O direito à moradia (artigo 6º, inserto no Título II, do Capítulo II, da Constituição Federal) está inserido no princípio da dignidade humana, vigente no Estado Democrático de Direito adotado pelo Brasil e é considerado condição *sine qua non* para que outros princípios sejam alcançados. A Constituição Federal brasileira, em seu artigo 23, estabelece ainda que é dever do Estado, nas suas três esferas, promover programas de construção de moradias e melhorias nas condições habitacionais e de saneamento básico. O Contrato Social gera, para os cidadãos, a expectativa de que cabe ao Estado propor e gerir ações que diminuam o risco à sociedade como um todo e promova o progresso em diversos setores considerados essenciais, trazendo o bem-estar para essa mesma sociedade (BONDUKI, 2008), no entanto, segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, o principal desafio das políticas públicas é “permitir o acesso a uma moradia adequada para todos, compatível com o tamanho, nível de renda e diferentes necessidades habitacionais das famílias brasileiras”. (FERREIRA, 2012, p.83).

Durante a fase de governos militares ocorrida no Brasil, esforços foram realizados para solucionar a crise habitacional então existente, como a criação do Banco Nacional de Habitação – BNH (Lei n.º 4.380 de 1964). O principal objetivo do governo militar com a criação do BNH era angariar o apoio das massas populares e criar uma política permanente de financiamento “capaz de estruturar em moldes capitalistas o setor da construção civil habitacional”. (BONDUKI, 2008, p.72). Assim, o sistema habitacional montado durante o governo militar foi estruturado a partir do princípio da autossustentação financeira da atividade.

Apesar da relevância do objetivo do BNH, problemas técnicos de execução e planejamento existiam. As edificações eram tipicamente compostas por casas de plantas iguais, sem considerar o ambiente construído, e por prédios com plantas em forma de H, reproduzidos em larga escala, dando origem a conjuntos monofuncionais com função primordial de dormitório. Além disso, o planejamento, tipicamente, não contemplava aspectos relacionados ao comércio e aos serviços que devem estar presentes nos loteamentos. Esse modelo foi amplamente replicado em grandes metrópoles, especialmente nas periferias das grandes cidades. (FERREIRA, 2012).

Por volta de 1990, com o início da redemocratização, novas experiências de políticas habitacionais foram sendo implementadas, por meio de projetos locais, mais voltados às realidades regionais. (FERREIRA, 2012). Essa participação introduziu exemplos de referência para as moradias populares, acrescentando maior qualidade arquitetônica. Alguns exemplos são: Vila do Brás, Área Jardim São Francisco, Vila Mara e Rio das Pedras, todos exemplos situados no estado de São Paulo (FERREIRA, 2012). Ainda no final dos anos de 1990, a Federação Nacional dos Estudantes de Arquitetura e Urbanismo (FeNEA) criou o Escritório Modelo de Arquitetura e Urbanismo (EMAU), iniciativa de atuação acadêmica junto às comunidades de baixa renda, com foco em habitações de interesse social.

### 3.1.1. Programa Minha Casa Minha Vida

Em 2008, para aquecer o mercado da construção civil e levar habitação popular para as classes pobres da população brasileira, o Governo Federal brasileiro criou o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), plano habitacional anunciado com o objetivo de promover a construção de 1 milhão de casas. Uma das faixas do programa contemplava o atendimento às camadas de renda abaixo de três salários mínimos, com volume inédito de subsídios públicos para essa faixa, com mecanismos de facilitação da viabilidade financeira, que envolvem também subsídios públicos. (FERREIRA, 2012).



Figura 1. Unidades habitacionais do Programa Minha Casa, Minha Vida no Residencial Casas do Parque, em Campinas (SP).

Fonte: Ferreira, 2012.

Com a aprovação da Medida Provisória no 459, em março de 2009, o PMCMV surgiu com uma meta ambiciosa, construir 1 milhão de moradias no prazo de dois anos, com recursos orçados em R\$ 34 bilhões (sendo R\$ 25,5 bilhões do Orçamento Geral da União, R\$ 7,5 bilhões do FGTS e R\$ 1 bilhão do BNDES). O programa objetivava enfrentar a crise econômica global de 2008, com a pretensão de aquecer o setor da construção civil. Contemplava, por um lado, o atendimento às camadas de renda abaixo de três salários mínimos, com volume inédito de subsídios públicos para essa faixa e, por outro lado, a construção, pelo mercado, de moradias para as faixas de renda acima de três salários mínimos, com mecanismos de facilitação da viabilidade financeira, que envolvem também alguns subsídios públicos. (BRASIL, 2010).

Ainda que não seja a única forma de produção habitacional para as classes de renda intermediária, o programa acabou englobando, na conjuntura vigente, a quase totalidade da produção desse segmento econômico. Porém, se nas faixas de renda abaixo de três salários mínimos, a produção era bastante regulamentada e envolvia diversos agentes operadores públicos, como prefeituras, companhias de habitação e o próprio órgão financiador, a CEF, no âmbito do segmento econômico de renda intermediária, entretanto, a construção das novas moradias ocorria com muito mais liberalidade.(BRASIL, 2010).

### **3.1.2. Norma de desempenho NBR 15.575**

A norma brasileira NBR 15.575: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho (ABNT, 2013), publicada em 19 de fevereiro de 2013 e válida a partir de 19 de julho de 2013, trata do desempenho das habitações, qualquer que seja seu número de pavimentos. Representa um avanço no setor da construção pois não é uma norma prescritiva, ou seja, não indica como o prédio deve ser construído, mas sim ao que ele deve atender para que tenha o desempenho desejado (mínimo, intermediário ou superior), independentemente de seu sistema construtivo. (BERTINI, 2013).

O objetivo final da NBR 15.575 é atender às necessidades do usuário, as quais, por sua vez, se traduzem nos seguintes aspectos: (a) segurança (segurança

estrutural, contra fogo, no uso e na operação); (b) habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico, acústico e lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade, acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico); e (c) sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental). (BERTINI, 2013). Segundo o Bertini, Martins e Thomas (2013), esse escopo é apresentado em seis partes:

**Parte 1 – Requisitos Gerais:** com caráter de orientação geral, funciona como um índice de referência remetendo, sempre que possível, às partes específicas (estrutura, pisos, vedações verticais, coberturas e sistemas hidrossanitários). Também traz aspectos de natureza geral e critérios que envolvem a norma. Nela são apresentados o conceito de vida útil do projeto, definição de responsabilidades e parâmetros de desempenho mínimo (compulsório), intermediário e superior.

**Parte 2 – Sistemas Estruturais:** trata dos requisitos para os sistemas estruturais de edificações habitacionais. Estabelece quais são os critérios de estabilidade e resistência do imóvel, indicando, inclusive, métodos para medir quais os tipos de impacto que a estrutura deve suportar sem que apresente falhas ou rachaduras.

**Parte 3 – Sistemas de Piso:** normatiza os sistemas de pisos internos e externos. Definição do sistema de pisos como a combinação de diversos elementos, o que inclui o contrapiso, e não somente a camada de revestimento ou acabamento. Define o coeficiente de atrito e resistência ao escorregamento. O escorregamento é um decréscimo intenso e rápido no valor do coeficiente de atrito entre o corpo em movimento e a superfície de apoio. O coeficiente de atrito, por sua vez, é uma propriedade intrínseca da interface dos materiais que estão em contato.

**Parte 4 – Vedações Verticais:** refere-se aos requisitos como estanqueidade ao ar, à água, a rajadas de ventos e ao conforto acústico e térmico, a serem atendidos pelos sistemas de vedação vertical em uma edificação (basicamente o conjunto de paredes e esquadrias - portas, janelas e fachadas). Exige a adequação de critérios relativos ao desempenho estrutural e a inclusão dos critérios relativos à segurança ao fogo. Em relação ao desempenho estrutural, define quais os critérios aplicáveis ao estado limite último de resistência do material.

**Parte 5 – Coberturas:** os requisitos a serem atendidos pelo sistema de cobertura, ou seja, pelo conjunto de componentes dispostos no topo da construção com a função de assegurar estanqueidade às águas pluviais e salubridade, proteger os demais sistemas da edificação da deterioração por agentes naturais, e contribuir para o conforto termo acústico da habitação. Fazem parte dos sistemas de cobertura elementos como lajes, telhados, forros, além de calhas e rufos.

**Parte 6 – Sistemas Hidrossanitários:** estabelece requisitos para os sistemas prediais de água fria e de água quente, de esgoto sanitário e ventilação, além dos sistemas prediais de águas pluviais. O texto explora conceitos como a durabilidade dos sistemas, a previsão e antecipação de critérios para a manutenção da edificação e suas partes, bem como o funcionamento dos sistemas hidrossanitários. O texto também traz considerações sobre a separação física dos sistemas de água fria potável e não potável, em consonância com as tendências atuais de reuso de água.

### 3.2. SUSTENTABILIDADE EM CONSTRUÇÃO CIVIL

O termo sustentabilidade aparece associado ao conceito de desenvolvimento sustentável, apresentado no relatório de Brundtland, em 1987, como sendo o desenvolvimento que supre as necessidades atuais sem comprometer o atendimento das necessidades das futuras gerações. De modo geral, por sustentabilidade se pressupõem três dimensões claramente definidas — ambiental, social e econômica —, as quais devem ser devidamente tratadas nos processos de projeto e na produção de edifícios. (ASBEA, 2012).

Se considerado o contexto da construção civil, as dimensões que compõem o conceito de sustentabilidade precisam ainda ser avaliadas sob o aspecto processual de edificação. A Figura 2 ilustra, de forma esquemática, uma divisão em três macrofases do processo de edificação, bem como aspectos relacionados à subprocessos de sustentabilidade que podem nele estar inseridos.

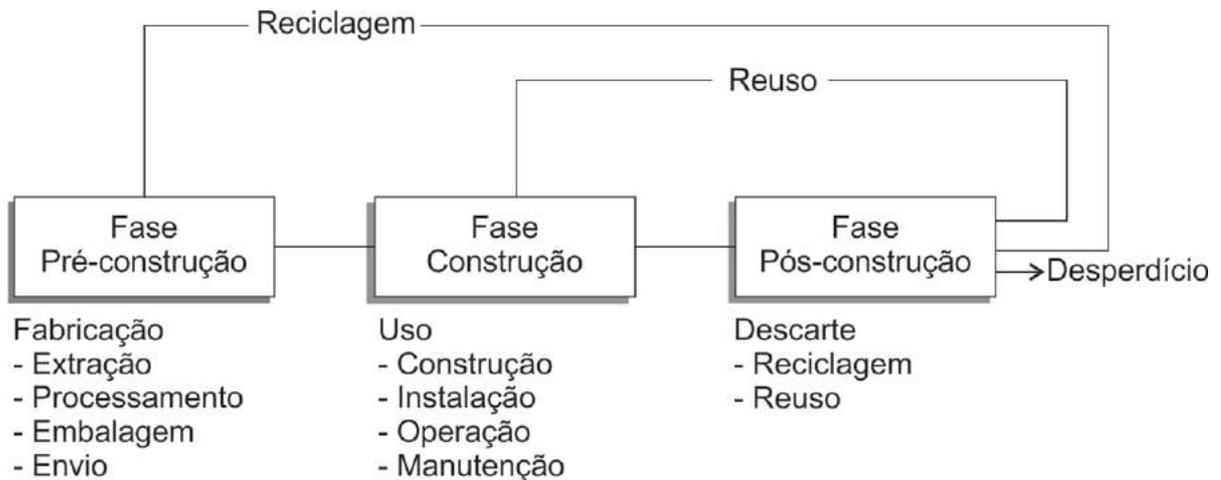


Figura 2. Esquema de reciclagem e reuso.

Fonte: Adaptado de Rashid, 2015.

### 3.2.1. Triple Bottom Line

Em 1994 o sociólogo e consultor britânico John Elkington formulou o conceito *Triple Bottom Line* – o tripé da sustentabilidade – expressão consagrada atualmente e também conhecida como os “Três Ps” (*people, planet and profit*). Segundo esse conceito, para ser sustentável, uma organização ou negócio deve ser financeiramente viável, socialmente justo e ambientalmente responsável. O primeiro “P” (*People*) refere-se ao tratamento do capital humano numa empresa ou sociedade: a empresa precisa pensar no bem-estar e saúde dos funcionários, como se preocupar com a influência da atividade econômica na comunidade. O próximo “P” (*Planet*) é o fator ambiental do tripé: a empresa e a sociedade precisam se responsabilizar em como amenizar os impactos ambientais que, em princípio, toda a atividade econômica produz. Isso tem relação com as formas de repor os recursos naturais utilizados, considerar a legislação ambiental e controlar a quantidade de dióxido de carbono na produção, esses fatores devem fazer parte da preocupação das organizações públicas e privadas. Por fim, o último “P” (*Profit*) tem relação com o lucro, isto é, com o resultado financeiro positivo da organização, que precisa pensar em lucrar sem devastar. (ELKINGTON, 1997).

A integração e o equilíbrio entre os pilares refletem uma visão que se preocupa em satisfazer as necessidades atuais sem comprometer a capacidade de satisfação das necessidades das gerações futuras. Isso remete a mudar o estilo de vida e a

garantir a continuidade dos recursos existentes. Ou seja, é necessário existir uma mudança de atitudes para que exista uma relação sustentável dentro e fora das organizações e, assim, nos projetos que surgem dentro dessas organizações. (ELKINGTON, 1997).

### **3.2.2. Sustentabilidade e Impactos da Construção Civil**

A população mundial tem crescido acentuadamente, gerando, em muitos países, um déficit habitacional crescente. Em função disso, o ambiente construído nem sempre se mostra de qualidade, implicando diretamente no agravamento dos problemas ambientais. Segundo Rashid e Yusoff (2015), a relação entre a indústria da construção civil e da poluição ambiental é constantemente discutida em estreita associação. Embora a indústria da construção seja crucial para o desenvolvimento social e econômico, os impactos ambientais dos processos são significativos.

Estudos recentes identificaram que os edifícios são responsáveis por 30 a 40% do uso de energia e de 40 a 50% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) do mundo. (ASIF, MUNEEER e KELLEY, 2007; BRIBIÁN, USON e SCARPELLINI, 2009). Entre as principais fontes de GEE pode-se citar o concreto armado e a argamassa empregada na construção. Estima-se que 99% das emissões de GEE em residências podem estar relacionadas a estes dois materiais. (SINGH et al., 2011).

Em geral, a indústria da construção civil é composta por vários elos, a partir da mineração, fabricação, construção, utilização e demolição. Dentro de cada fase, uma grande quantidade de energia é utilizada e ao mesmo tempo uma emissão considerável é liberada. A energia, é necessária diretamente durante a construção de edifícios, utilização ou demolição, enquanto indiretamente nas fases de produção de materiais utilizados na construção. (SARTORI e HESTNES, 2007).

De acordo com BRASIL (2014), a construção civil utiliza mais da metade dos recursos naturais extraídos do planeta, o que provoca consideráveis impactos ambientais. Neste contexto, o ciclo de vida dos produtos do setor, ou seja, o consumo de recursos naturais na extração de materiais, é apenas o início de um processo com diversas fontes de impacto. Isto porque, após a extração, as matérias-primas são processadas industrialmente, o que requer energia e conseqüentemente gera

emissões de GEE, entre outras categorias de impactos. O transporte da grande massa de materiais e dos resíduos de construção, manutenção e demolição também gera impactos ambientais não desprezíveis.

Em outro aspecto, a construção civil contribui consideravelmente com a produção de resíduos. Devido ao grande volume de resíduos gerados na construção civil e seu impacto ambiental, esta atividade é regulamentada em diversos países. A gestão de resíduos no Brasil é regulamentada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em acordo e parcerias com órgãos estaduais e municipais. Este conselho criou a Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. De acordo com as determinações desta resolução, os geradores de resíduos são responsáveis pela gestão dos resíduos, certificando-se que sejam quantificados, armazenados, transportados e encaminhados para locais onde possam ser aproveitados ou depositados corretamente.

No Brasil, a expectativa é que o setor da construção civil dobre de tamanho entre 2009 e 2022. (FGV PROJETOS e LCA CONSULTORIA, 2010). Portanto, é importante garantir e otimizar o desempenho ambiental na construção civil, a partir de materiais sustentáveis e projetos arquitetônicos inovadores e que levem em consideração o CV dos materiais empregados. Neste contexto, a metodologia da ACV é amplamente discutida e empregada, sendo considerada de grande importância para o desenvolvimento sustentável na construção civil. (BRASIL, 2014).

### **3.2.3. Arquitetura Sustentável**

Considerado o contexto previamente apresentado, arquitetura sustentável é a busca por soluções projetuais que atendam ao programa, restrições orçamentárias, condições físicas e sociais locais, tecnologias disponíveis, legislação e à antevisão das necessidades durante a vida útil do espaço construído. Essas soluções devem atender a esses quesitos de modo racional, menos impactante aos meios social e ambiental, permitindo às futuras gerações que também usufruam de ambientes construídos de forma mais confortável e saudável, com uso responsável de recursos e menores consumos de energia, água e outros insumos. (ASBEA, 2012).

Considerando uma compreensão evolutiva na direção da construção sustentável, a Figura 3 apresenta uma visão do incremento de complexidade considerado entre uma construção chamada 'clássica', uma construção 'tradicional', uma construção 'eco-eficiente' e uma construção 'sustentável'. A primeira categoria tem foco exclusivo nos elementos de qualidade necessários para a geração da edificação, quais sejam: estabilidade, funcionalidade e aspectos estéticos. A segunda categoria acrescenta aos elementos de qualidade, aspectos processuais da produção da edificação: custo e tempo. A terceira categoria passa a considerar o elemento construtivo em um aspecto mais amplo, agregando preocupações com a degradação de recursos, emissões e biodiversidade. Por fim, uma construção na categoria 'sustentável' deve incluir os elementos das categorias anteriores, ainda agregando preocupações com aspectos culturais, de igualdade social, impedimentos econômicos e qualidade ambiental.

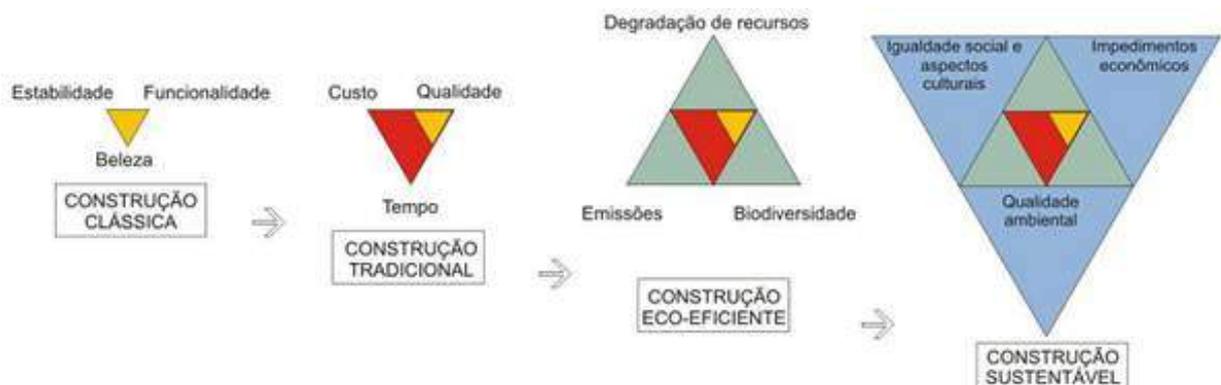


Figura 3. Desenvolvimento do conceito de Sustentabilidade na Construção Civil: (a) construção clássica; (b) construção tradicional; (c) construção eco eficiente e (d) construção sustentável.

Fonte: Kuhn, 2006.

Considerada a perspectiva da Figura 3, dentre as abordagens estabelecidas para promover o desenvolvimento sustentável (e a arquitetura sustentável) no que tange aos materiais, três categorias são reconhecidas: reciclagem, reuso e *upcycling*. A reciclagem busca preservar o valor do produto (materiais e energia investidos) de modo a promover seu uso continuado na mesma função ou em funções similares. O conceito *upcycling* refere-se a transformar produtos que já tenham chegado ao fim do seu ciclo original em novos produtos de qualidade similar e de melhor valor ambiental (promovendo o uso de materiais que permitam ciclos contínuos de transformação). De

modo geral, através destes processos busca-se a redução do uso de novas matérias-primas, resultando em um menor consumo de energia, poluição de recursos naturais (água e ar) e emissões de gases do efeito estufa. (MCDONOUGH e BRAUNGART, 2013). No entanto, para gerar atratividade as partes interessadas do processo de edificação, a implementação dos conceitos de desenvolvimento sustentável requer sua valorização em termos mercadológicos. Uma forma de obtenção dessa valorização é por meio de benefícios em contrapartida de certificações de arquitetura sustentável, tema que será apresentado a seguir.

#### 3.2.3.1. Certificações de Arquitetura Ambiental Sustentável

Os sistemas de certificação criados assumem a função de avaliar e determinar qual o objetivo a atingir. Atualmente, diversos países adotaram um desses instrumentos e seu respectivo método de avaliação ambiental de edifícios, apresentado no Quadro 1.

As Certificações *Green Building* foram desenvolvidas com a finalidade de prover um instrumento de avaliação e mensuração do impacto ambiental causado pela construção civil. A construção civil é uma das atividades humanas que mais afeta o meio ambiente. Assim, com base na avaliação do ciclo de vida de edificações, entendeu-se que seria possível criar uma certificação específica para as edificações. (KATS, 2003).

Quadro 1. Sistemas de Certificação.

<b>Sigla</b>	<b>Resumo</b>
<b>BREEAM</b>	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i> . Reino Unido. Sistema criado pelo BRE em 1990. Considerado o sistema mais antigo e que influenciou grande parte dos sistemas posteriores, inclusive o LEED.
<b>BEPAC</b>	<i>Building Environmental Performance Assessment Criteria</i> . Canadá. Sistema baseado no BREEAM que praticamente não foi usado, mas deu origem ao GBC.
<b>GBC</b>	<i>Green Building Challenge</i> . Consórcio de iniciativas que criou, em 1998, a ferramenta GBTool para avaliar edifícios. Tem como meta abordar as características locais de cada local onde é aplicado
<b>LEED</b>	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i> . Sistema criado pelo USGBC em 2000, fortemente difundido nos EUA e com influência na criação de outros sistemas pelo mundo.
<b>Ecoprofile</b>	Sistema oficial de avaliação da Noruega. Coordenado pela Byggforsk (Instituto Norueguês de Pesquisa de Edifícios).
<b>Miljöstatus</b>	<i>Environmental Status</i> . Sistema sueco de avaliação. Iniciado em 1995, começou a atividade em 1997, sendo que, em 2002, já estava na versão 4 e contava com aproximadamente 2000 edifícios avaliados.
<b>NABERS</b>	<i>National Australian Building Environmental Rating System</i> . Sistema de avaliação australiano, iniciado em 2001, e com versão piloto a ser lançada em 2003. Avaliação de edifícios de escritórios e residências.
<b>HQE</b>	<i>Haute Qualité Environnementale</i> . Sistema oficial francês de avaliação de diversos tipos de edifícios. Em 2002, entrou em teste.
<b>SPeAR</b>	<i>Sustainable Project Appraisal Routine</i> , criado pela empresa de engenharia Arup Group. Sistema privado de acesso e uso restrito à empresa, usado para a avaliação da sustentabilidade de edifícios.
<b>BEES®</b>	<i>Building for Environmental and Economic Sustainability</i> . Software produzido por Barbara Lippiatt no National Institute of Standards and Technology nos EUA. Permite avaliar o desempenho econômico e ambiental na escolha de materiais de construção.
<b>Green Globes</b>	Canadá. Sistema on-line de avaliação que faz parte do BREEAM/Green Leaf. Uma versão para o Reino Unido foi lançada em 2002.
<b>Processo Aqua</b>	Brasil. Sistema baseado no HQE, lançado em 2008.
<b>Selo Azul</b>	O Selo Casa Azul é uma classificação socioambiental dos projetos habitacionais financiados pela Caixa.

Fonte: Hernandes, 2012.

A expressão *Green Building* foi cunhada para englobar todas as iniciativas dedicadas à criação de construções que utilizem recursos de maneira eficiente, com foco em uso de energia; que sejam confortáveis; e que tenham maior longevidade, adaptando-se às mudanças nas necessidades dos usuários e permitindo

desmontagem ao final do ciclo de vida do edifício, para aumentar a vida útil dos componentes através de sua reutilização ou reciclagem. (SILVA, 2003). Como benefícios,

Um edifício com conceito Green Building pode apresentar uma economia de 30% no consumo de energia, 35% de redução de emissão de gás carbônico, 30% a 50% de redução de consumo de água e 50% a 90% em relação ao descarte de resíduos (U.S. Department of Energy, 2005 apud MARTINEZ, 2009, p. 58).

No entanto, a certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) se destaca, sendo majoritariamente mencionada na literatura. (ZUO e ZHAO, 2013). Desenvolvida pelo *U.S. Green Building Council*, a certificação LEED visa ajudar a mensurar os recursos e tecnologias que permitam que uma construção exerça menor impacto no meio ambiente, tornando-se, mediante esse conceito, uma construção sustentável. Reconhecida em vários países, a certificação se baseia em categorias que permitem a avaliação de diversos tipos de edifícios, tais como comerciais, residenciais, escolares e hospitalares, levando em consideração todas as fases de um edifício, desde a sua construção, ou reforma, até a sua manutenção. (USGBC, 2011).

Os conceitos que permeiam a Certificação LEED dizem respeito ao quanto uma construção sustentável colabora com a preservação dos recursos naturais e evita impactos ambientais. O LEED gera uma pontuação de acordo com o atendimento de requisitos pré-estabelecidos. No LEED cada item atendido gera uma determinada pontuação que é somada no final para que seja determinada qual classificação o edifício receberá. (USGBC, 2011).

A Certificação internacional LEED possui 7 dimensões a serem avaliadas nas edificações. Todas possuem pré-requisitos (práticas obrigatórias) e créditos, recomendações que quando atendidas garantem pontos a edificação. O nível da certificação é definido, conforme a quantidade de pontos adquiridos, de 40 a 49 pontos, Selo LEED *Certification*, de 50 a 59 pontos, Selo LEED *Silver*, de 60 a 59 pontos, Selo LEED *Gold* e de 80 a 110 pontos, Selo LEED *Platinum*. (USGBC, 2011). A Figura 4 apresenta os logos dos selos LEED atribuídos pela certificação.



Figura 4. Selos de certificação LEED.

Fonte: USGBC, 2011.

Mais especificamente, os critérios avaliados pelo LEED são (USGBC, 2011):

- **SS – Sustainable sites (Espaço Sustentável)** – Encoraja estratégias que minimizam o impacto no ecossistema durante a implantação da edificação e aborda questões fundamentais de grandes centros urbanos, como redução do uso do carro e das ilhas de calor;
- **WE – Water efficiency (Eficiência do uso da água)** – Promove inovações para o uso racional da água, com foco na redução do consumo de água potável e alternativas de tratamento e reuso dos recursos;
- **EA – Energy & atmosphere (Energia e atmosfera)** – Promove eficiência energética nas edificações por meio de estratégias simples e inovadoras, como por exemplo simulações energéticas, medições, comissionamento de sistemas e utilização de equipamentos e sistemas eficientes;
- **MR – Materials & resources (Materiais e recursos)** – Encoraja o uso de materiais de baixo impacto ambiental (reciclados, regionais, recicláveis, de reuso, etc.) e reduz a geração de resíduos, além de promover o descarte consciente, desviando o volume de resíduos gerados dos aterros sanitários;
- **EQ – Indoor environmental quality (Qualidade ambiental interna)** – Promove a qualidade ambiental interna do ar, essencial para ambientes com alta permanência de pessoas, com foco na escolha de materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis, controlabilidade de sistemas, conforto térmico e priorização de espaços com vista externa e luz natural;
- **IN – Innovation in design or innovation in operations (Inovação e processos)** – Incentiva a busca de conhecimento sobre *Green Buildings*, assim como, a criação de medidas projetuais não descritas nas categorias do LEED. Pontos de desempenho exemplar estão habilitados para esta categoria; e

- **RP – *Regional priority credits* (Créditos de prioridade regional)** – Incentiva os créditos definidos como prioridade regional para cada país, de acordo com as diferenças ambientais, sociais e econômicas existentes em cada local. Quatro pontos estão disponíveis para esta categoria.

Esses critérios e suas especificações são diferenciados para cada categoria de edificação sob análise, em virtude das particularidades dos tipos de edificações. Para exemplificar, o Anexo 1 apresenta uma ficha de avaliação para esta finalidade.

No Brasil, existe um programa do governo federal desde 2010 chamado Selo Casa Azul: Boas Práticas para Habitação Mais Sustentável, que tem como objetivo reconhecer e incentivar projetos que demonstrem suas contribuições à redução de impactos ambientais. Esse instrumento de classificação socioambiental de projetos de empreendimentos habitacionais busca reconhecer os empreendimentos que adotam soluções mais eficientes aplicadas à construção, utilização, ocupação e manutenção das edificações, promovendo o uso racional de recursos naturais e a melhoria da qualidade da habitação e de seu entorno. (CEF, 2010).

Os critérios de avaliação possuem itens obrigatórios e itens livres divididos em 6 categorias principais:

- Qualidade urbana;
- Projeto e conforto;
- Eficiência energética;
- Conservação de recursos e materiais;
- Gestão da água; e
- Práticas sociais.

Estas categorias em conjunto resultam em 53 critérios de avaliação, o que, ao final do processo, resulta na concessão de um selo. O método utilizado pela CEF para a concessão do selo consiste em verificar, durante a análise de viabilidade técnica do empreendimento, o atendimento aos critérios estabelecidos pelo instrumento, que estimula a adoção de práticas voltadas à sustentabilidade dos empreendimentos habitacionais (CEF, 2010).

O Selo Casa Azul é dividido em três classes, ouro, prata e bronze, definidas pelo número de critérios atendidos. Para receber o ouro, o empreendimento deverá atender no mínimo, 31 critérios. Para o selo prata aqueles que atenderem a 25 critérios, e bronze os que apresentam pelo menos, 19 critérios obrigatórios, como observado no Quadro 2 e na Figura 5 (CEF, 2010).

Quadro 2. Níveis de gradação do Selo Casa Azul.

<b>Gradação</b>	<b>Atendimento mínimo</b>
<b>BRONZE</b>	<b>Critérios obrigatórios</b>
<b>PRATA</b>	<b>Critérios obrigatórios e mais 6 critérios de livre escolha</b>
<b>OURO</b>	<b>Critérios obrigatórios e mais 12 critérios de livre escolha</b>

Fonte: CEF, 2010.



Figura 5. Logomarcas do Selo Casa Azul níveis Ouro, Prata e Bronze.

Fonte: CEF, 2010.

### 3.2.3.2. Inovação em materiais e componentes de arquitetura sustentável

Atualmente observa-se uma tendência internacional de aceleração da inovação em materiais e produtos da construção voltados para a sustentabilidade. Esse é um

efeito de uma considerável busca de soluções eco-eficientes para atender ao novo mercado de arquitetura sustentável. De forma geral, as inovações concentram-se em combinações de materiais já existentes, mas também há a tendência da incorporação de funções adicionais àquelas tradicionalmente presentes nas soluções construtivas (BRASIL, 2014).

Dentre as diferentes iniciativas existentes, apresentam-se a seguir duas que foram consideradas no desenvolvimento deste trabalho: *drywall* e telhados verdes.

### 3.2.3.2.1 *Drywall*

A tradução para a tecnologia *Drywall* no Brasil é Gesso Cartonado. Essa inovação surgiu em 1898, nos Estados Unidos, quando Augustine Sackett registrou a patente US624687. Nela, era estabelecido um processo que produzia placas de gesso cartonado, através do pó de gesso, oriundo da rocha gipsita desidratada, que, em contato com a água, solidificava novamente. O produto prestava-se como fechamento para paredes internas de residências, recebendo o nome de "*Sackett Board*", e com o tempo veio a revolucionar a construção civil. (SACKETT, 1898).

Em 1916 a empresa americana Gypsum Company, de posse da referida patente, renomeou a invenção para *Drywall*, retirando o nome "*Sackett Board*". O material então começou a ser vendido em larga escala sob a forma de pequenos ladrilhos à prova de fogo, mas, dentro de poucos anos, passou a ser vendido em folhas de gesso e de papel de multicamadas. Em menos de uma década o produto tomou a forma como se conhece atualmente, constituída por uma única camada de gesso comprimida entre duas folhas de papel pesado. (FISCHBEIN, 1899).

Embora tenha levado poucos anos para a placa evoluir para o material em seu formato atual, mais de 25 anos decorreram antes do *drywall* ser usado em larga escala por construtoras. Parte dessa demora decorreu da hesitação dos construtores em adotar um material tão simples para substituir as pesadas paredes de alvenaria. (FISCHBEIN, 1899).

Foi apenas depois da Segunda Guerra Mundial que os construtores começaram a perceber benefícios no uso do *drywall*. Devido à escassez de materiais e mão de obra, a construção de edificações no modo tradicional tornava-se onerosa

e demorada. A adoção do *drywall* nas divisões internas permitia construir edificações em uma fração menor de tempo e com vantagens em custos. O produto era barato e eficiente. Contextualmente, essa mudança foi percebida pela população como uma ação patriótica, porque permitia aos cidadãos gastarem mais tempo e dinheiro apoiando os esforços da guerra. E, quando a guerra terminou, em 1945, o *drywall* havia se tornado o material de construção dominante nos Estados Unidos. Depois do pós-guerra, empreiteiros sabiam que poderiam construir casas e locais de trabalho em um décimo do tempo, se adotassem o *drywall*. (MATOS, 1998).

Os tipos de placas de *drywall* apresentadas na Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 14.715 (Requisitos) são: Standard (ST) – para áreas secas; Resistente à umidade (RU) – para uso em áreas sujeitas à umidade por tempo limitado e de forma intermitente; e Resistente ao fogo (RF) – para áreas secas nas quais se exija um desempenho superior frente ao fogo. Estas placas devem atender requisitos descritos nas seguintes Normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para *drywall*:

- NBR 14.715 Parte 1: Requisitos.
- NBR 14.715: 2010 Parte 2: Métodos de ensaio.
- NBR 15.758: 2009 Sistemas construtivos em chapa de gesso para *drywall*.
- NBR 15.112: 2004 Gestão de resíduos sólidos na construção civil.

O *drywall* atende a outros usos, além da vedação vertical, tais como: forro de teto e mobiliário. A execução do trabalho é feita por mão-de-obra especializada e o tempo de execução é aproximadamente quatro vezes menor do que no sistema de alvenaria. (FERREIRA, 2009). Além disso, o uso do gesso acartonado possui vantagens em relação às feitas em alvenaria revestidas com argamassa:

- A execução é muito mais rápida e muito mais “limpa”, pois a montagem é feita por acoplamento mecânico, a seco, sem necessidade de argamassa e água (o que se chama de “construção seca”); além disso, a perda de material e a produção de entulho é muito menor do que nas paredes em alvenaria e revestimentos em argamassas convencionais. Como consequência, o canteiro fica mais limpo e organizado, e a obra pode ser feita em menor prazo;

- As paredes de gesso cartonado são mais leves do que as de alvenaria, diminuindo as cargas (peso) dos edifícios, gerando economia na estrutura e nas fundações;
- As espessuras das paredes são menores, levando a um maior aproveitamento dos espaços internos dos ambientes;
- Os revestimentos e acabamentos ficam mais fáceis e baratos, pois a superfície das placas é lisa e plana, não havendo necessidade de regularizações, como o reboco na alvenaria;
- Não há necessidade de cortes e quebras de paredes para embutir as instalações, pois as tubulações são instaladas no interior das paredes, junto com a montagem das placas;
- Deficiências relativas à menor resistência a esforços, à umidade e menor isolamento acústico podem ser resolvidas com soluções de projeto, previstas na própria tecnologia. Além disso, o gesso cartonado é recomendado para uso apenas em paredes internas; e
- O custo final, nos locais onde há empresas e mão de obra especializada, já é competitivo em relação às paredes de alvenaria revestidas, e tende a ser ainda mais, com o aumento da utilização da tecnologia.

Todas essas vantagens e características mostram uma outra forma de construir, diferente da tradicional. Na forma tradicional, com alvenaria e concreto, tudo é feito na obra através de técnicas construtivas artesanais, com profissionais de ocupações tradicionais, como pedreiro, servente e mestre de obras. As paredes de gesso cartonado, por sua vez, são feitas com placas pré-fabricadas em indústrias e na obra são apenas montadas, exigindo um profissional diferente, um montador. (TANIGUTI, 1999). A tendência na construção civil é usar cada vez mais este tipo de tecnologia, fazendo com que os canteiros de obra do futuro se tornem “fábricas montadoras de edifícios”, como já ocorre nos Estados Unidos e Canadá. (TAE, 2011, p.3).

Entretanto, essa tecnologia exige maior planejamento e precisão do que as técnicas convencionais. Não há como improvisar soluções na obra, tudo deve ser previsto e projetado antecipadamente à instalação. O montador precisa aprender a tecnologia e ser treinado para bem aplicá-la. Não é viável aprender com a prática,

como se faz comumente nas obras civis tradicionais. As empresas que trabalham com esses profissionais exigem ensino fundamental e dão preferência para os que têm ensino secundário completo. A remuneração em geral é maior do que nas ocupações tradicionais. Essas características definem o que se chama de “tecnologias industrializadas de construção”. (ZEFERINO, 2013, p. 25), ou seja, tecnologias que são mais eficientes em rapidez e qualidade exigem mais organização e planejamento, e também mão de obra com maior qualificação. (ZEFERINO, 2013).

#### 3.2.3.2.2 Telhado verde

Segundo Saadatian et al. (2013), o aquecimento global, o esgotamento dos recursos naturais, as chuvas ácidas, a poluição do ar e da água e o esgotamento do ozônio são algumas das consequências ambientais que são consideradas resultado da atividade humana no planeta Terra. Neste contexto, práticas sustentáveis surgem como uma maneira de tentar conter estas questões. O uso do telhado verde é uma dessas práticas que, além de melhorar o conforto térmico da habitação e reduzir o consumo energético das mesmas, transforma a paisagem construída em algo mais agradável e com uma maior integração o meio ambiente.

Uma definição genérica de telhado verde seria a de qualquer tipo de telhado no qual uma tecnologia sustentável (verde) é incorporada. Essa tecnologia verde pode ser: coberturas vegetadas (MCDONOUGH, 2005); telhados frios (XU et al., 2012); ou painéis solares (TABARES-VELASCO e SREBRIC, 2011). A estratégia associada ao uso de telhado verde envolve o desenvolvimento de um projeto sustentável de telhado que diminua o escoamento de águas pluviais, produza mais oxigênio e sequestre dióxido de carbono. Um telhado verde também diminui a carga de instalações de tratamento de água, aumentando a qualidade do escoamento da água, e economiza energia para fins de refrigeração e aquecimento, devido aos seus efeitos de isolamento (SAADADATIAN et al., 2013).

Segundo Van Mechelen et al. (2015), os telhados verdes podem ser definidos em três tipos:

- **Extensivo:** tem configuração de um jardim, com plantas rasteiras de pequeno porte. A altura da estrutura, descontada a vegetação, vai de 6 cm a 20 cm. O peso do conjunto fica entre 60 kg/m<sup>2</sup> e 150 kg/m<sup>2</sup>;
- **Intensivo:** comporta plantas de nível médio a grande em uma estrutura de 15 cm a 40 cm. A carga prevista varia entre 180 kg/m<sup>2</sup> e 500 kg/m<sup>2</sup>; e
- **Semi-intensivo:** Esse tipo intermediário tem vegetação de porte médio plantadas num sistema de 12 cm a 25 cm. Pode exercer uma carga de 120 kg/m<sup>2</sup> a 200 kg/m<sup>2</sup>.

Os componentes de um sistema de cobertura verde podem ser aplicados diretamente sobre a cobertura da edificação, aplicando as seguintes camadas, nesta ordem: (1) camada impermeabilizante: normalmente feita com mantas sintéticas, ela protege a laje contra infiltrações; (2) camada drenante: serve para drenar a água e também como filtro. Pode ser feita de brita, seixos, argila expandida ou com mantas drenantes de poliestireno; (3) camada filtrante: serve para reter partículas e pode ser feita com um geotêxtil; (4) membrana de proteção contra raízes: serve para controlar o crescimento de raízes da vegetação; (5) solo e vegetação. Existem sistemas modulares pré-fabricados e incluindo a vegetação e, ainda, sistemas que empregam pisos elevados que armazenam a água das chuvas para posterior irrigação da vegetação. Um esquema deste produto é apresentado na Figura 5.

Apresentados os conceitos socioeconômicos (HIS, PMCMV) e conceitos técnicos associados à arquitetura sustentável, na seção seguinte, apresentam-se conceitos sobre a metodologia ACV.

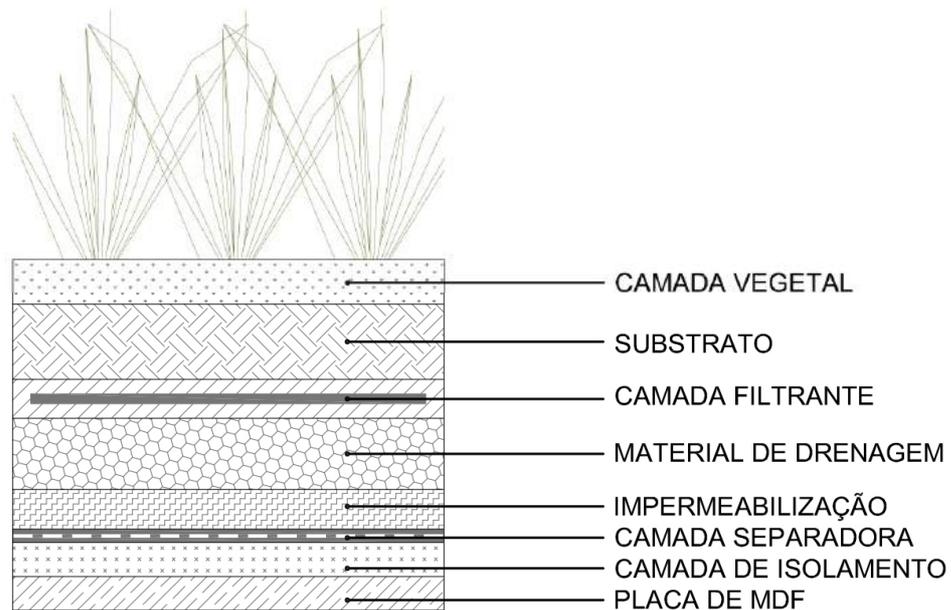


Figura 6. Camadas de um telhado verde.

Fonte: Saadatian et al., 2013.

### 3.3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV, ou *Life Cycle Assessment* – LCA) é um método utilizado para avaliar o impacto ambiental de bens e serviços. A avaliação do ciclo de vida de um produto, processo ou atividade é uma avaliação sistemática que quantifica os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do produto. A *Environmental Protection Agency* (EPA), dos Estados Unidos, define a ACV como uma ferramenta para avaliar, de forma holística, um produto ou uma atividade durante todo seu ciclo de vida. (VIGON e HARRISON, 1993).

A ACV é a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. A metodologia é reconhecida internacionalmente e possui uma sólida base científica, sendo padronizada pelas normas NBR 14040:2009 e NBR 14044:2009, (ABNT, 2009a; ABNT, 2009b).

Conforme ilustrado na Figura 7, um estudo de ACV é composto por quatro etapas interligadas:

- 1) **Definição de objetivo e escopo:** fase inicial do planejamento para aplicação da ACV e definição clara do objetivo do estudo.
- 2) **Análise do inventário:** período de coleta de dados e de cálculos para análise do inventário do ciclo de vida (ICV) do estudo. Dados de um ICV são informações que descrevem os fluxos de entrada e saída de um determinado modelo de um sistema técnico que sejam ambientalmente relevantes.
- 3) **Avaliação dos impactos ambientais:** nesta etapa, verificam-se os resultados obtidos do ICV de um sistema de produto, avaliando a intensidade e o significado das alterações potenciais sobre o meio ambiente associado aos recursos naturais, energia e emissões relacionadas ao produto estudado.
- 4) **Interpretação:** fase em que se levantam os resultados da análise de inventário e da avaliação de impacto, relacionando o objetivo e escopo para chegar às conclusões e recomendações.

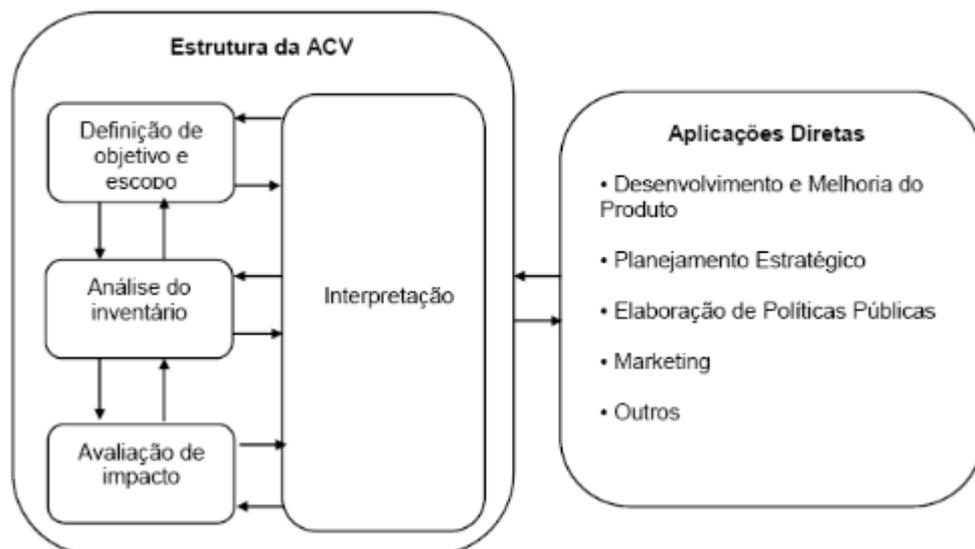


Figura 7. Fases de uma ACV.

Fonte: NBR ISO 14.040, 2001.

Assim como em outros centros de estudos, vem sendo adotada pelo Grupo de Desenvolvimento de Materiais e Tecnologias Limpas da PUCRS/CNPq em seus estudos.

O termo “ciclo de vida” refere-se à maioria das atividades no curso da vida do produto desde sua fabricação, utilização, manutenção e deposição final; incluindo

aquisição de matéria-prima necessária para a fabricação do produto. A Figura 8 ilustra os possíveis estágios de ciclo de vida que podem ser considerados numa ACV e as típicas entradas/saídas medidas. (USEPA, 2001).

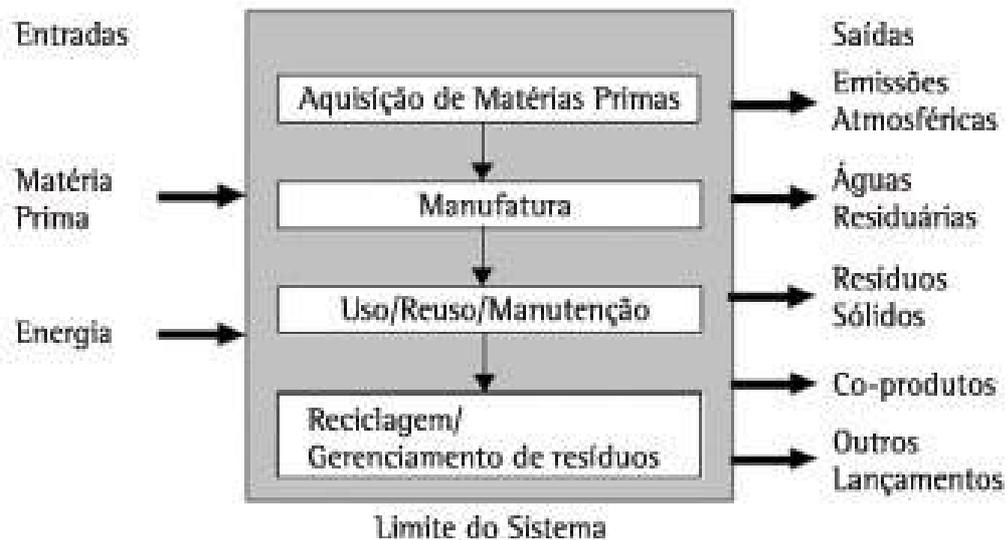


Figura 8. Estágios do ciclo de vida do produto.

Fonte: NBR ISO 14040, 2001.

As etapas de ACV serão detalhadas a seguir.

### 3.3.1. Definição dos Objetivos e do Escopo

A definição do objetivo e do escopo é a primeira fase de uma ACV. Nela deve ser claramente justificada a motivação, o objetivo, os limites do sistema, a unidade funcional (UF) e considerações particulares ao estudo. (ABNT, 2009a; Roy et al., 2008).

### 3.3.2. Análise do Inventário

Nesta etapa são apresentados todos os fluxos materiais e energéticos e suas devidas emissões para os diferentes compartimentos (ar, água e solo). (VILLANUEVA, 2012; CHEHEBE, 2002; MENTEN et al., 2013), constituindo-se um Inventário de Ciclo de Vida (ICV). Os procedimentos necessários para a construção do ICV são ilustrados na Figura 9.

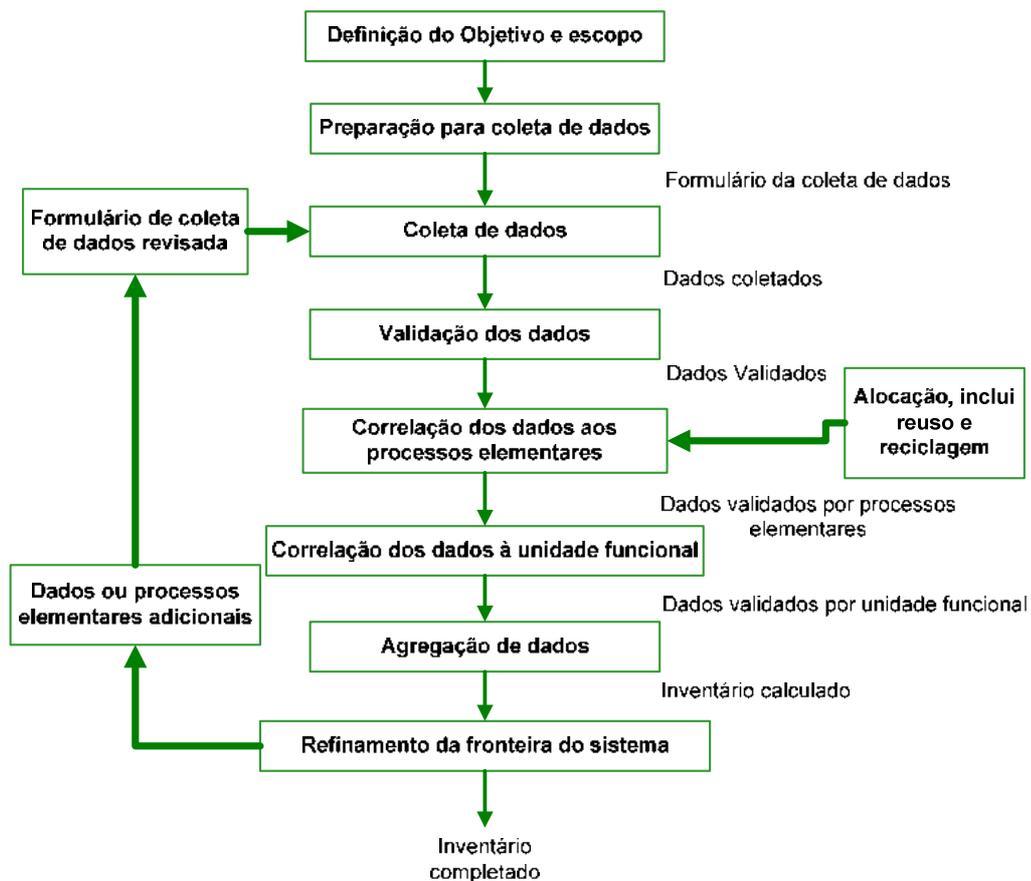


Figura 9. Procedimentos simplificados para análise de inventário.

Fonte: Adaptado de ABNT, 2009b.

Por fim, a coleta dos dados para construção do inventário é uma das etapas mais importantes na análise de inventário. De acordo com Brujin et al. (2004), os dados podem ser divididos em dois grupos: (a) dados primários: construídos a partir de questionários, mensurados ou calculados; e (b) dados secundários: dados de literatura, tabelados ou de base de dados. Atenção deve ser dada à validação dos dados, seguindo-se procedimentos adequados para assegurar sua correção e representatividade no CV sob análise. Verificar a norma BRE sobre a questão de dados primários e secundários para EPDs de edificações.

### 3.3.3. Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

Nesta etapa os dados de inventário são convertidos em categorias de impacto ambiental a partir de métodos de caracterização. Existem muitos métodos de caracterização, eles diferem numericamente em suas equivalências e ou nas

substâncias abordadas em uma determinada categoria de impacto. (MENTEN et al., 2013). O Quadro 3 resume alguns destes métodos.

Quadro 3. Métodos de AICV e sua lista de impactos. IMPORTANTE: por que selecionou esses métodos? explicar "categorias de impacto" e "impactos".

<b>Métodos AICV</b>	<b>CML 2001</b>	<b>Eco Indicator</b>	<b>Ecopoint</b>	<b>IPCC</b>
<b>Desenvolvedor</b>	<i>Centre of Environmental Studies (CML), University of Leiden, The Netherlands</i>	<i>Pré Consultants, Amersfoort, The Netherlands</i>	<i>Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Bern, Switzerland</i>	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
<b>Categorias de Impactos</b>	Aquecimento global (PAG)	Mudança climática	CO <sub>2</sub> , SO <sub>x</sub>	Aquecimento Global (PAG)
	Eutrofização (PE)	Acidificação	Energia	#
	Acidificação (PA)	Eutrofização	Poeira	
	Depleção abiótica (PDA)	Combustíveis Fósseis, minerais, e uso do solo	DQO, N, NH <sub>3</sub> , P	
	Depleção da camada de ozônio (PDO)	Camada de Ozônio	Radiação (alta, baixa/média)	
	Oxidação Fotoquímica (POF)	Carcinogênicos	Metais (solo)	
	Toxicidade humana (PTH)	Radiação	Nitrato (solo)	
	Ecotoxicidade Terrestre (PTT)	Eco toxicidade	Pesticida (solo)	
<b>Impactos</b>	Ecotoxicidade água (potável) (PTA)	Inorgânicos respiratórios	Ecotoxicidade do solo	#
	Eco toxicidade Marinha (PTM)	Orgânicos respiratórios	Resíduos (perigoso, radioativo) Escórias/cinzas	
	Uso do Solo (PUS)			

Fonte: Maciel, 2014.

### 3.3.4. Interpretação de Resultados

Os resultados são analisados de acordo com as definições do objetivo e escopo do estudo. Conseqüentemente, esta fase permite tomar medidas remediadoras e decisões estratégicas (MENTEN et al., 2013; VILLANUEVA, 2012), reduzindo os impactos ambientais do projeto.

Apresentadas as etapas que constituem o processo da ACV, a próxima seção aprofunda como esse conceito tem sido aproximado do contexto da Construção Civil.

### 3.3.5. Avaliação do Ciclo de Vida na Construção Civil

Devido à crescente conscientização sobre as questões e pressões de vários órgãos governamentais e ativistas ambientais, muitos estudos têm sido realizados para reduzir o consumo de energia e impactos ambientais produzidos pelas novas edificações (RASHID, 2015).

Neste cenário, a metodologia da ACV é um dos instrumentos de medição que podem avaliar o impacto ambiental. A implementação da ACV pode ajudar o projetista, arquiteto ou engenheiro a tomar de decisões, fornecendo avaliação analítica do ambiente. Sem a ACV, a maioria das decisões provavelmente medirá apenas o custo inicial sem considerar os benefícios ambientais globais (HAN e SREBRIC, 2011). Sua aplicação na indústria da construção civil é relativamente recente, todavia, devido à credibilidade e reconhecimento científico obtidos, a ACV passou a ser também explorada pela construção civil (FAVA, BAER e COOPER, 2009; ORTIZ, CASTELLS e SONNEMANN, 2009).

Segundo Singh et al. (2011), nos últimos 15 anos surgiu um crescente interesse na incorporação de ACV em construções e tomadas de decisão, dentro dos Estados Unidos e, mais ainda, na Europa e Ásia. Porém, de acordo com BRASIL (2014), um exemplo pioneiro da aplicação da família de normas ISO 14.000 sobre materiais de construção é o da França: o *Plan National Santé Environnement* (PNSE), publicado em 2004, incluiu a divulgação de dados quantitativos dos impactos ambientais e sanitários dos produtos de construção. Apesar da base de dados ter sido estabelecida em 2004, hoje ela reúne dados ambientais e sanitários quantitativos de uma parcela significativa dos produtos da construção. Estes dados, apesar de ainda genéricos, são amplamente empregados em declarações ambientais de produto emitidas por empresas.

Declarações baseadas em ACV na construção civil têm sido um esforço normativo que detalha e simplifica a sua aplicação. Para tanto, dois comitês trabalham

em conjunto neste esforço, no âmbito da comunidade europeia: o ISO/TC 59/SC 17, *Sustainability in buildings and civil engineering works*, e o CEN/TC 350, *Sustainability of construction works*. Uma norma importante em elaboração é a ISO CD 21.930, *Sustainability in buildings and civil engineering works – Core rules for environmental declaration of construction products and services used in any type of construction works*, que estabelece uma metodologia para a criação de “Regras de Categoria de produtos” (*Product Category Rules*), que são essenciais para garantir que as declarações ambientais de produtos tipo III baseada na ISO 14025 sejam compatíveis e comparáveis (BRASIL, 2014).

De acordo com BRASIL (2014) atualmente há uma estratégia do mercado internacional para simplificar o uso da ACV na construção civil. Normas como a ISO CD 21.930 e a EN 15.804:2013 reduzem a lista de impactos ambientais a serem considerados na construção em comparação com o adotado na ILCD e nas ACVs completas em geral. Assim, minimiza-se os problemas práticos enfrentados que atrasam a implantação dessa ferramenta por empresas individuais. As categorias de impacto empregadas da construção civil, segundo a comunidade europeia, são apresentadas no Quadro 4.

A escolha destas categorias de impacto assemelha-se aos resultados apresentados por Islam, Jollands e Setunge (2015). De acordo com estes autores, grande parte dos estudos de ACV para construção civil, disponíveis na literatura e investigadas pelo autor, contemplam as categorias citadas no Quadro 4. No entanto, os estudos por eles investigados são predominantemente da Austrália, Europa e América do Norte, o que pode estar relacionado com o emprego das normas ISO CD 21.930 e EN 15.804:2013.

Quadro 4. Lista de impactos ambientais da ILCD da comunidade europeia, destacando os impactos incorporados nas normas ISO/CD 21930, quanto à EN 15804:2013, voltadas para produtos da construção civil.

Impactos padrões do ILCD / Comunidade Europeia		Normas de construção
1	Mudanças climáticas	X
2	Depleção de Ozônio (estratosférica)	X
3	Toxicidade humana	
4	Substâncias inorgânicas respiratórias	
5	Radiações ionizantes	
6	Formação fotoquímica de ozônio (nível do solo)	X
7	Acidificação das águas e do solo	X
8	Eutrofização das águas e do solo	X
9	Ecotoxicidade	X
10	Uso da terra	
11	Uso de recursos naturais	X

Fonte: União Europeia, 2014.

Ainda que sua aplicação prática ainda dependa de iniciativas como a de simplificação anteriormente apresentada, o emprego de ACV tradicionais para avaliar projetos da construção civil é amplamente descrito na literatura. De acordo com Singh et al. (2011) há quatro categorias de estudos em ACV disponíveis na literatura:

- a) Estudos destinados a aplicações da ACV para a seleção produtos de construção;
- b) Estudos destinados a aplicações ACV para sistemas de construção e avaliação do processo;
- c) Estudos de ferramentas de ACV e bases de dados relacionados com a indústria da construção; e
- d) Estudos de desenvolvimento metodológicos de ACV relacionados com a indústria da construção.

A partir da revisão da literatura é possível afirmar que estudos de ACV na construção civil apresentam particularidades quanto às etapas que a constituem (Definição dos objetivos e escopo, Análise do Inventário e Avaliação do Impacto, Interpretação). Neste contexto, Rashid e Yusoff (2015) afirmam que a ACV na

construção civil se divide nas mesmas etapas, porém há a inclusão de itens adicionais dentro destas etapas, que são de suma importância para o desenvolvimento de um estudo de ACV na construção civil. Entre estes itens, pode-se destacar a vida útil da edificação (em Definição dos objetivos e escopo), dados de manutenção e dados do fim da vida dos materiais de construção (Análise do Inventário). A Figura 10 apresenta as etapas do ciclo de vida para construção civil e seus itens.

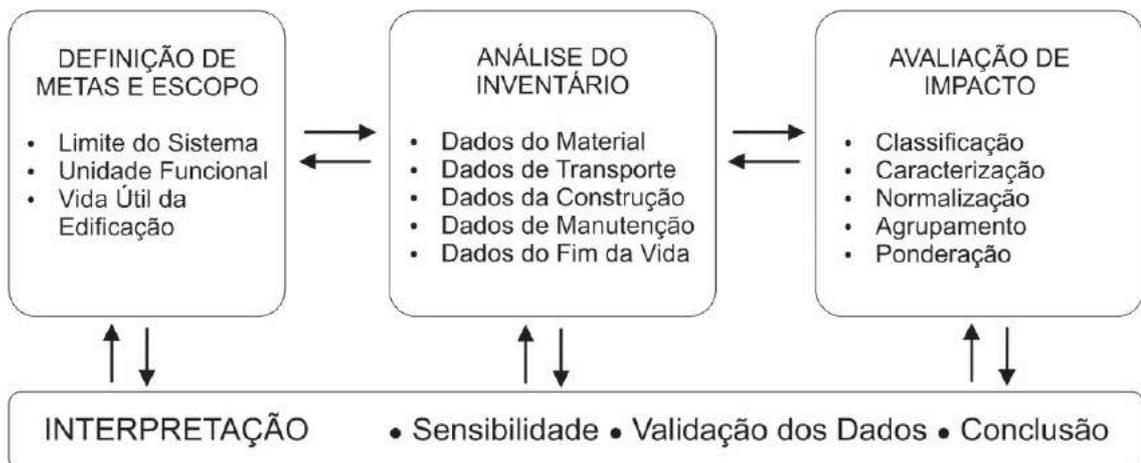


Figura 10. Framework da ACV na construção civil.

Fonte: Adaptado de Rashid e Yusoff, 2015.

**IMPORTANTE:** como inserir o conceito de vida útil na UF? desempenho?

Apresentados os conceitos relativos à HIS, sustentabilidade e sua avaliação em construção civil, a próxima seção descreve em maiores detalhes o componente alvo de uso projetual nesta dissertação: o contêiner marítimo.

### 3.4. CONTÊINERES MARÍTIMOS

De acordo com a definição oficial da ISO 6346, o contêiner é uma caixa de metal com tamanho padrão projetado para o transporte de carga a granel por estrada, via fluvial ou ferroviário. São construídos com perfis de aço laminado e seus fechamentos laterais são de chapas onduladas soldadas, suficientemente fortes para resistir à corrosão, às piores condições climáticas e ao uso constante. A cobertura é de chapa de aço estampada e as dobradiças das portas e as fechaduras são forjadas. O piso é composto de madeira compensada espessura: 28 mm. Os contêineres são identificados com marcas do proprietário e local do registro, números, tipos e

tamanhos. As unidades de medidas utilizadas para a padronização das dimensões dos contêineres são pés (´) e polegadas (´´), onde 1 pé é igual a 30,48 cm, e 1 polegada é equivalente a 2,54 cm. (MAGROU, 2011).

Todo tipo de contêiner é padronizado externamente, facilitando assim o transporte. Utilizando para o transporte sua vida útil gira em torno de dez anos. Passado este tempo a manutenção se torna economicamente inviável e acabam largados em portos. (MAGROU, 2011). Segundo a *Green Container International Aid* (2012), existem aproximadamente 20 milhões de contêineres em circulação, porém, mais de 1 milhão está abandonado nos portos, principalmente dos EUA, norte Europeu e China, criando grandes depósitos, muitas vezes com contêineres em bom estado. No Brasil, segundo levantamento apresentado pelo Centro Nacional de Navegação Transatlântica, existe cerca de cinco mil contêineres abandonados nos portos. (CARBONARI, 2013).

O primeiro contêiner foi desenvolvido por Malcolm Maclean, um empresário americano que, nos anos 1930, projetou o primeiro recipiente que permitia o transporte intermodal. Assim, carregou 600 contêineres no primeiro navio porta-contentores, o Clifford J. Rogers, que ligava Vancouver a Skagway. O primeiro guindaste de contêineres é projetado em 1959, coincidindo com a normatização, esta que definia um comprimento de 20´ e 40´ (6.058m e 12.192m, respectivamente), altura de 8´6” (2,591m) e largura de 8´0” (2.438m). Em 1963, o primeiro contêiner foi descarregado no porto de Roterdã, que na época era o mais ativo do mundo. (LEVINSON, 2006).

Com o uso cada vez maior de contêineres pelo mundo, iniciou um processo chamado contentorização, que consiste no uso de contentores para o transporte de mercadorias, principalmente no transporte marítimo. Mais tarde, na década de 1980, esse sistema já estava completamente globalizado. (MAGROU, 2011). Esse processo levou à produção de grandes volumes de contêineres, o que, por sua vez, apresentou o problema de o que poderia ser feito com esse produto depois que seu ciclo natural de transporte chegasse ao fim. Com o avanço das ideias de sustentabilidade e a descoberta de novos materiais tecnológicos para uso na habitação, descobriu-se um

uso satisfatório para os mesmos: a aplicação na habitação. (FOSSOUX; CHEVRIOT, 2012). Segundo Levinson (2006, p.14),

Certamente não a coisa em si, uma caixa de alumínio ou aço sem alma feita em conjunto com soldas e rebites, com piso de madeira e duas enormes portas em uma extremidade: o contêiner padrão tem todo o romance de uma lata. O valor deste objeto utilitário não está no que ele é, mas como ele é usado.

Além do afirmado por esse autor, a opção pelo uso de um contêiner marítimo para a criação do projeto se deu em função da crescente produção e o crescente descarte do mesmo, que ao invés de ter um fim que possa causar poluição possa ser reutilizado em uma edificação.

#### 3.4.1. Descrição de um contêiner de 20 pés

Nas figuras 11, 12 e 13 apresentam, respectivamente, uma vista externa em perspectiva, uma vista explodida, evidenciando os componentes de fechamento e a composição estrutural de um contêiner marítimo de 20 pés.

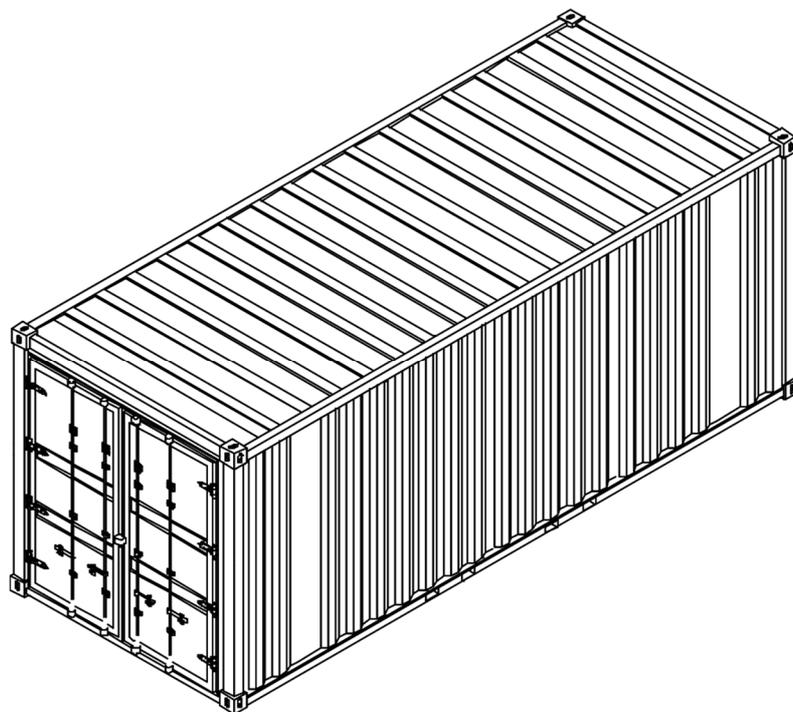


Figura 11. Desenho de um contêiner de 20 HC.

Fonte: ISO 6346, 1972.

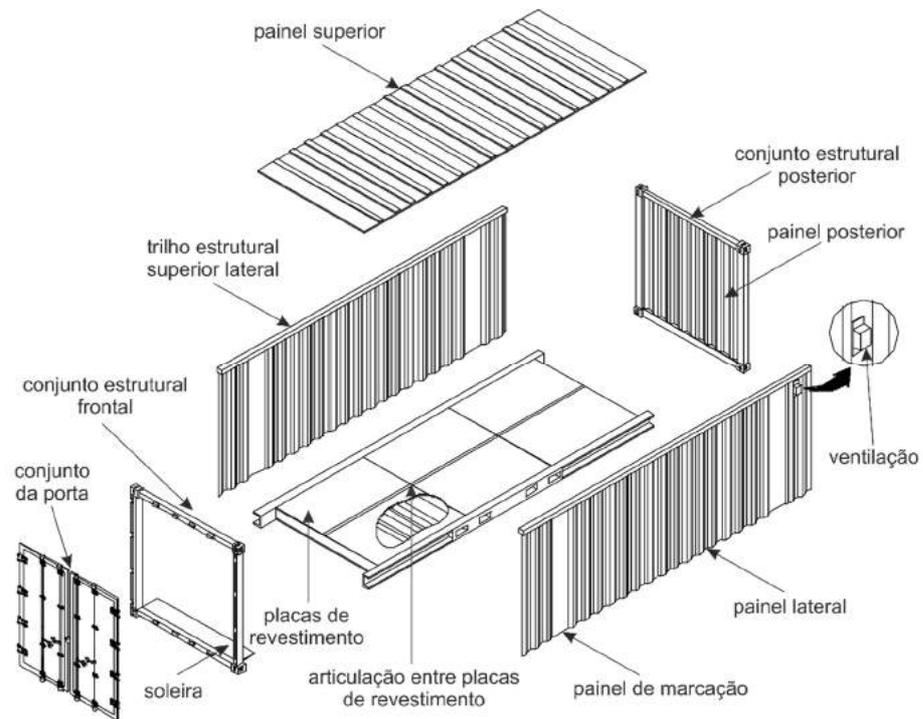


Figura 12. Composição de fechamento de um contêiner de 20 pés.

Fonte: ISO 6346, 1972.

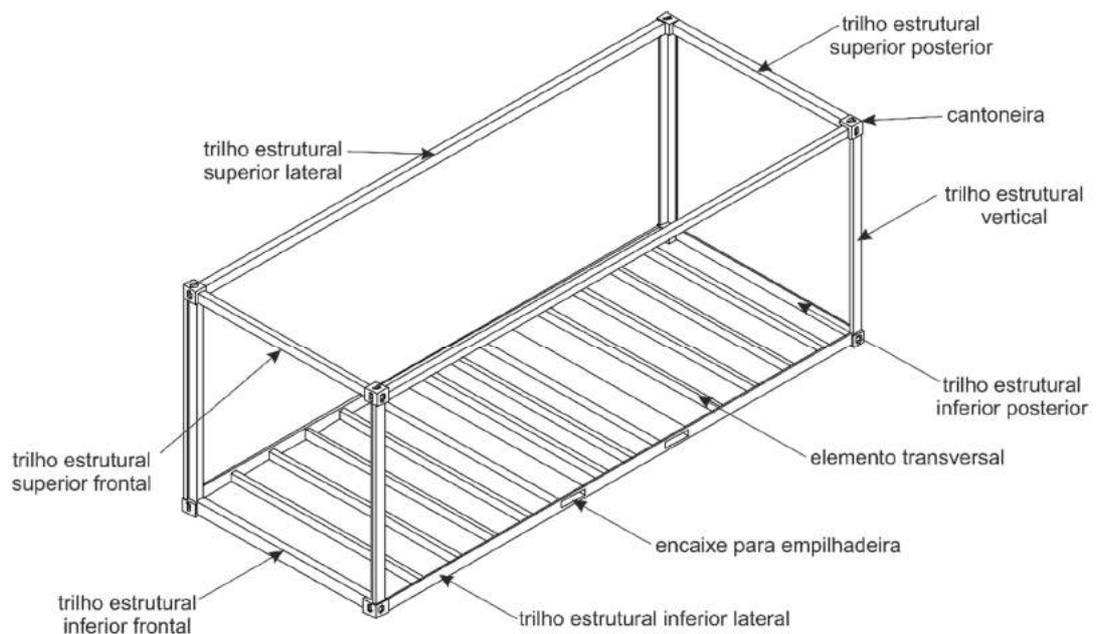


Figura 13. Composição estrutural de um contêiner de 20 pés.

Fonte: ISO 6346, 1972.

### 3.4.2. Contêiner habitacional

Existem aproximadamente 20 milhões de contêineres circulando o mundo e, após cumprirem sua função de transporte e condicionamento de mercadores, estes contêineres estão sendo reciclados como sucata (ABRASHEVA et al., 2012). No entanto, atualmente, outra possibilidade é explorada e ganha espaço no cenário mundial: o reuso para fabricação de espaços habitáveis. A vida de um contêiner é de 12 anos em média e cerca de 1,5 milhão de contêineres são considerados fora de uso a cada ano (ABRASHEVA et al., 2012). Neste contexto, é possível afirmar que a disponibilidade de contêineres para uso na construção civil é assim assegurada.

O crescente interesse em contêineres pode ser explicado pelo fato de que eles são relativamente baratos, existem em grandes quantidades e são bastante resistentes. Um contêiner com tempo de vida de 12 anos tem um valor aproximado de R\$ 7.400,00, e um novo, ou que tenha viajado apenas uma vez, pode custar até R\$ 17.300,00. (COMUNICAÇÃO PESSOAL). No Brasil não foram identificadas fábricas de contêineres.

A utilização de contêineres pode ser vista como uma estratégia de proteção do meio ambiente e também como um redesenho da paisagem urbana. (ABRASHEVA et al., 2012). As casas oriundas de contêineres refletem uma mudança de comportamento da sociedade, pois assumem um papel prático na vida dos indivíduos, seja por causa da mobilidade, do preço ou das questões de sustentabilidade. Esse tipo de arquitetura abandona a tradicional forma de se estabelecer em família ou em comunidade e se transforma numa das mais liberais, modernas e práticas opções do estilo de vida na sociedade moderna. (BORGES, 2012). Portanto, o negócio de construção com contêineres tem um grande potencial no que se refere à sustentabilidade. Porém, há poucos estudos sobre o desempenho ambiental relacionado ao tema.

Com esse tema, encerra-se o referencial que sustenta esta pesquisa. O próximo capítulo descreve os materiais e métodos utilizados para atingir os objetivos propostos e previamente apresentados.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. OBJETOS E ESCOPO

O principal objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho ambiental do uso de contêineres marítimos, descartados após serem utilizados para a sua função primária, o transporte de mercadorias, na fabricação de HIS. Propõe-se à avaliação do desempenho ambiental, a partir da metodologia da ACV, do uso de contêineres marítimos descartados, para fabricação de habitações de interesse social.

Função: habitabilidade de uma família de 2 pessoas.

Unidade funcional (UF): Uma habitação fabricada a partir de um contêiner.

Este é um estudo classificado como aplicado e exploratório. Exploratório pela escassez de artigos versando sobre o uso de contêineres para uso em HIS. O enfoque é analítico, dado que os objetivos se relacionam a identificar e avaliar os impactos ambientais do uso desse material no contexto de HIS, ainda que um projeto prescritivo tenha sido usado como meio para essa análise. Justifica-se o presente trabalho em função de um estudo mais aprofundado das edificações produzidas através deste material, visto o crescimento acentuado na produção do mesmo e a disponibilidade de contêineres descartados.

### 4.2. CONSIDERAÇÕES GERAIS DE ESTUDO

A ACV foi conduzida conforme a NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044. Os dados coletados foram realizados no período de 12 meses, de agosto de 2014 a agosto de 2015. O software para modelagem empregado neste estudo foi o SimaPro 7.2, que contempla a base de dados Ecoinvent v2.2, disponibilizado no Laboratório de Química Industrial da PUCRS.

O método de cálculo utilizado para a caracterização e normalização dos impactos de ciclo de vida foi o CML 2001. A metodologia de cálculo se baseou no estudo dos componentes que formam uma residência habitacional oriunda de um contêiner marítimo. A UF empregada no estudo é uma habitação construída a partir de um contêiner tipo Dry/High Cube 40'HC descartado (contêiner de alto volume, que

possui uma altura de 2,89m e um comprimento de 12,192m). Justifica-se o emprego desta UF, por se aproximar do tamanho de uma casa modelo de um dormitório do PMCMV, com área construída de 31,60m<sup>2</sup> e área útil de 26,52m<sup>2</sup>, um dormitório, circulação, sala e cozinha. A planta baixa desse modelo pode ser visualizada na Figura 14.

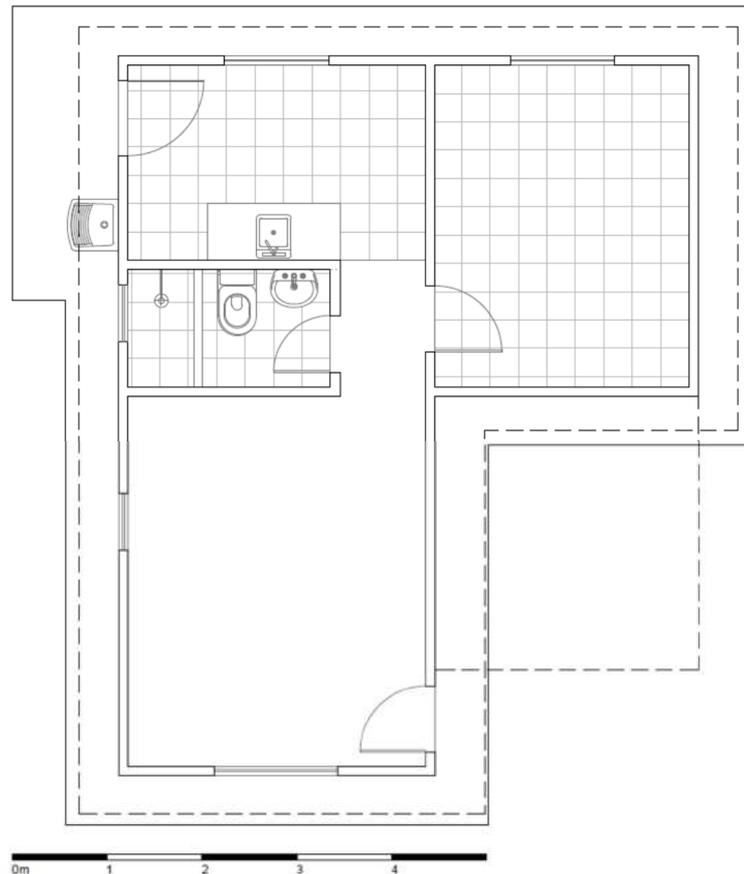


Figura 14. Planta baixa de uma Unidade Habitacional padrão Caixa com dormitório.

Fonte: Brasil, 2009.

Quanto ao processo de execução, inicialmente foram definidas as fronteiras do estudo e unidade funcional do sistema. Em seguida, foram definidos os procedimentos para coletas de dados em cinco empresas fabricantes de contêineres habitacionais na região metropolitana de Porto Alegre/RS, onde o estudo foi realizado. Paralelamente, um projeto arquitetônico de um contêiner habitacional foi elaborado, levando-se em consideração aspectos legais para construção de habitações de interesse social e princípios da construção sustentável. Na sequência, o ICV foi construído levando-se em consideração dados do projeto arquitetônico, do processo

de fabricação de contêineres habitacionais (obtidos a partir da coleta de dados) e dados da literatura. Em seguida, o processo foi modelado e os impactos gerados no software SimaPro 7.2. Finalmente, os dados foram interpretados e avaliados, de modo a produzir resultados compilados neste documento.

#### **4.2.1. Fronteiras do sistema**

As fronteiras definidas para o sistema são ilustradas na Figura 15. Nessa figura apresentam-se, além do contêiner marítimo descartado, interfaces com materiais como concreto armado, insumos para realização de corte e solda, materiais para revestimento térmico e acústico, químicos para coberturas e materiais para os telhados verdes selecionados. A figura também apresenta os fluxos temporais, de materiais e energia e de emissões do processo produtivo.

Quanto ao contêiner marítimo descartado, somente o transporte até o local de construção foi considerado, entendendo-se que outros materiais, insumos e emissões estariam associados a seu CV e não ao CV objeto deste estudo. Essa definição se deu de modo a simplificar o escopo de análise e poder focar na obtenção de dados associada ao objetivo deste projeto. Da mesma forma, emissões relacionadas à infraestrutura dos processos não foram contempladas neste estudo, assim como as louças do banheiro, sistema elétrico e hidráulico.

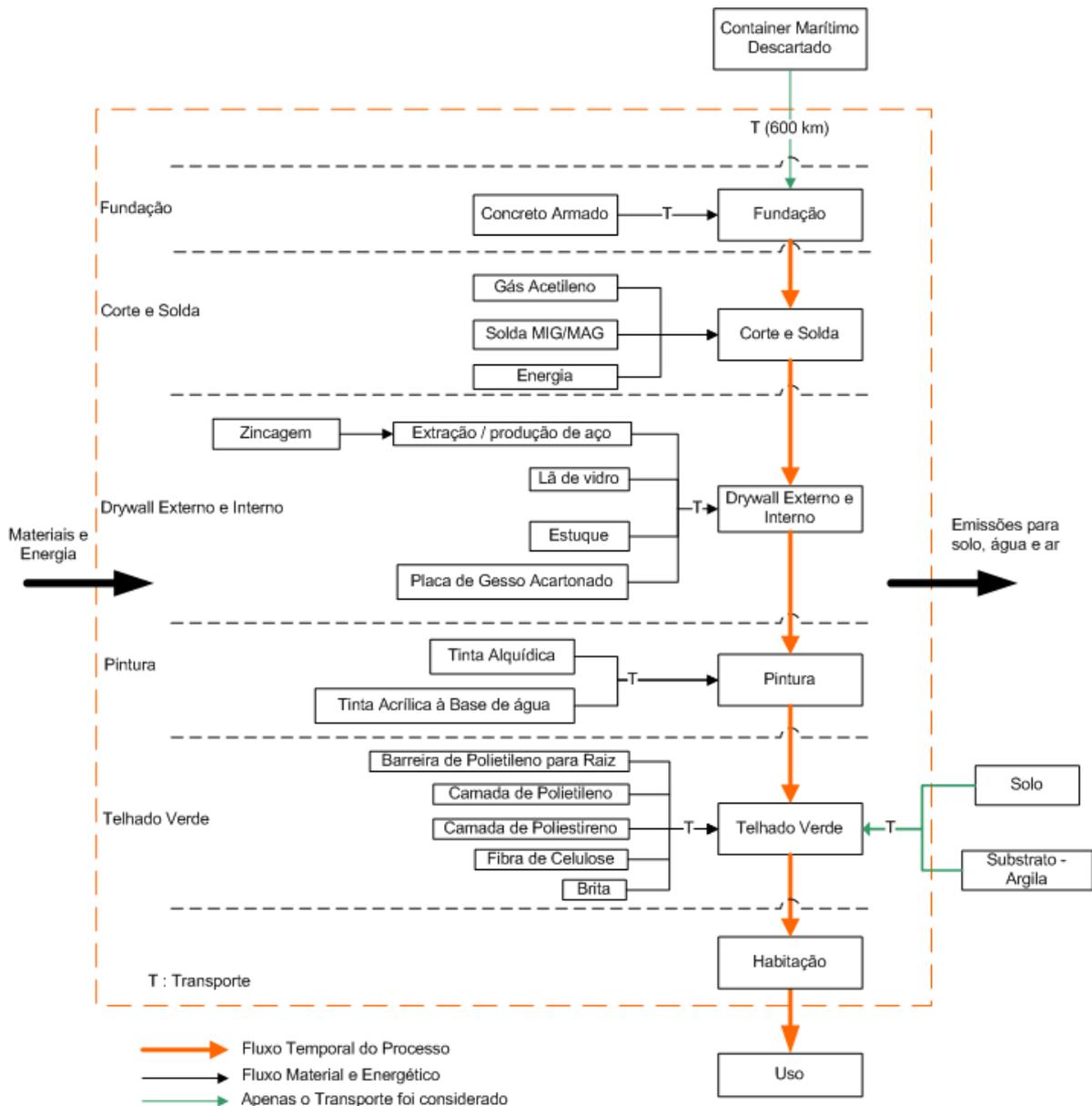


Figura 15. Fronteiras do Sistema em estudo.

Fonte: Autor, 2016.

#### 4.2.2. Matriz energética

Para efeitos de ACV, o *grid* energético brasileiro (BRASIL, 2015) foi considerado para os processos que utilizam energia elétrica. Uma ilustração de sua composição em termos de fontes energéticas é apresentada na Figura 16. Considerou-se como média tensão a energia utilizada no processo de fabricação da habitação.

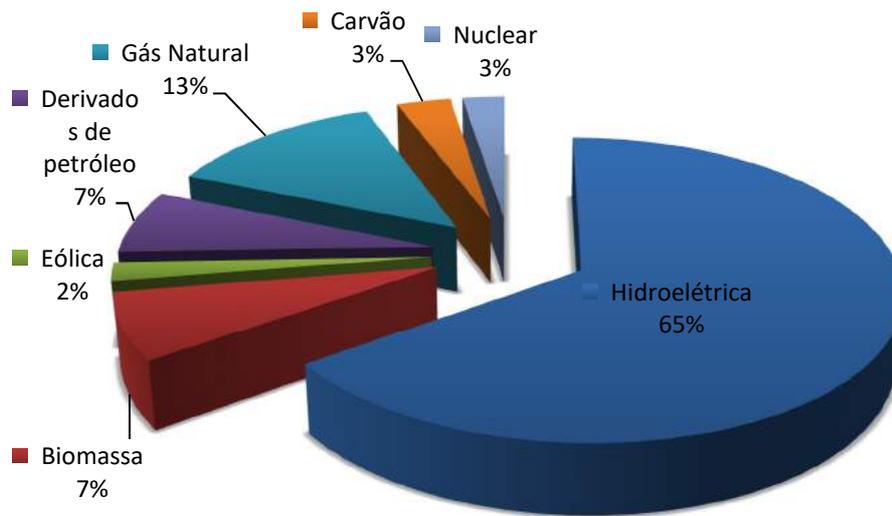


Figura 16. Grid elétrico brasileiro 2015, ano base 2014.

Fonte: Brasil, 2015.

#### 4.2.3. Transporte

Para o transporte dos contêineres descartados até a sede da fábrica foi considerado deslocamento de 600km, referentes ao transporte de Itajaí/SC até Porto Alegre/RS. A estimativa de distância foi baseada na ferramenta *Google Maps*. Foi assumido que o deslocamento é realizado com um caminhão de transporte com capacidade de 16 a 32 toneladas e motor tipo EURO III.

#### 4.3. PROJETO ARQUITETÔNICO: DESIGN DA HABITAÇÃO

A edificação foi idealizada com o propósito de ser funcional e ambientalmente sustentável, levando em consideração a norma técnica vigente no Brasil, NBR 15.575. Foi utilizado um contêiner Dry/High Cube 40'HC, segundo o padrão ISO 668:2013, com dimensões externas de 12,192m de comprimento, 2,438m de largura e 2,896m de altura, compondo, portanto, uma área total de 29,724m<sup>2</sup>.

Com objetivos definidos, pensou-se na melhor forma de transformar um contêiner marítimo em uma habitação com condições razoáveis de habitabilidade. Para tanto, levou-se em consideração uma família de duas pessoas e a morfologia da

casa de um quarto em uma extremidade, um banheiro na área central, uma sala de estar e, logo em seguida, a cozinha. Após a cozinha foi projetada uma área de serviço, estrategicamente localizada na outra extremidade do contêiner para ter acesso por dentro e por fora, reaproveitando as portas originais do contêiner. Para a elaboração do projeto foi utilizado o programa Autodesk AutoCAD 2015 (Release 19.2) 2015 e Google Sketchup 15.3.331 (64 bits).

O conjunto foi pensado de forma a ter 100% do contêiner utilizado. O recorte das janelas produziu peças que foram reutilizadas no fechamento das mesmas, assim como a porta principal. E em função de possuir uma estrutura rígida, apenas 4 apoios são necessários para a sua fundação, diferente de uma construção convencional, para a qual o apoio se dá em todo o perímetro da edificação.

#### 4.4. COLETA DE DADOS

Com objetivo de quantificar e qualificar entradas e emissões relacionados ao processo de fabricação de contêiner habitacionais realizaram-se visitas a cinco empresas do ramo com atividade na região metropolitana de Porto Alegre. As visitas foram realizadas durante o mês de janeiro de 2015. A coleta foi realizada diretamente nas sedes das empresas. Nessas ocasiões também foi possível realizar vistas técnicas em suas dependências, buscando-se identificar as etapas do processo de produção de contêineres habitacionais, conforme preconiza a norma ISO 14.044. Os dados foram coletados a partir de questionários previamente elaborados e utilizando-se linguagem técnica. Foi solicitado e obtido o consentimento das empresas para mencionar seus nomes nesta pesquisa.

#### 4.5. CONSTRUÇÃO DO INVENTÁRIO

Os fluxos foram estimados a partir do projeto habitacional apresentado neste estudo e os dados de fluxos materiais e energéticos comuns relacionados ao processo de fabricação de contêineres habitacionais foram coletados a partir de visita a empresas, entrevistas a profissionais das áreas e consulta à literatura. A Figura 17 apresenta um resumo esquemático da estruturação dos dados compilados para a construção do ICV.



Figura 17. Modelo da construção do Inventário do Ciclo de Vida.

Fonte: Autor, 2016.

Assim, a partir dos dados coletados e resultados do projeto arquitetônico foi possível nortear a construção do inventário de ciclo de vida e a necessidade de construção de inventários específicos de alguns itens que compõem o projeto:

- Fundação (2,16 m<sup>3</sup>);
- Processo de corte e soldagem das aberturas;
- Montagem e pintura;
- Paredes *drywall*; e
- Telhado verde.

Esses inventários específicos são detalhados nas próximas subseções.

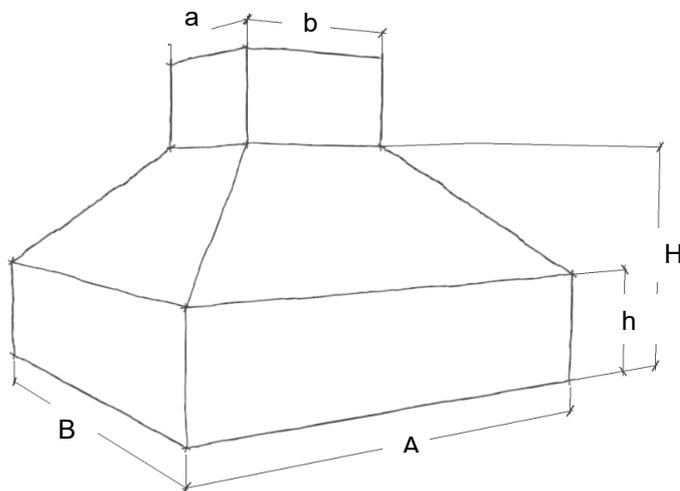
#### 4.5.1. Fundação

Dada a definição do projeto arquitetônico, a necessidade de 4 sapatas de concreto foi estimada. Foram, então, realizados cálculos para a execução da mesma. O dimensionamento da sapata rígida foi estimado para sustentar um pilar de seção (20x30 cm). A Figura 18 apresenta uma representação esquemática da sapata

projetada. A tensão admissível do solo foi estimada em 30 tf/m<sup>2</sup> e o  $F_{ck}$  adotado para o concreto de 25 Mpa.

O volume de concreto de uma sapata é calculado a partir da soma do volume do tronco de pirâmide (parte superior da sapata) com o volume da base da sapata. A expressão para o volume de concreto de uma sapata isolada é dada pela equação (1).

$$V_s = \frac{(H-h)}{3} \cdot (A \cdot B + a \cdot b + \sqrt{A \cdot B \cdot a \cdot b}) + (A \cdot B \cdot h) \quad (1)$$



Comprimento do pilar (a)

Largura do pilar (b)

Comprimento da sapata (A)

Largura da sapata (B)

Altura da sapata (H)

Altura da base da sapata (h)

Figura 18. Esquema da volumetria de uma das sapatas de concreto.

Fonte: Autor, 2016.

#### 4.5.2. Corte

A partir dos dados da necessidade de corte e posterior soldagem das aberturas, obtidas no projeto arquitetônico, e considerando os dados coletados junto a empresas do setor, foi calculado o fluxo de corte e posterior soldagem das peças. Considerando uma espessura 15,9 mm e gás acetileno para o corte, os fluxos relacionados foram estimados a partir de Modenesi (2001), conforme apresentado no Quadro 5. Para esta espessura se observou que a velocidade do corte é de 46 cm/min e, levando-se em consideração a necessidade de 20,6 m de corte, o consumo de gás oxigênio e acetileno foi estimado.

Quadro 5. Este quadro se refere à série 1502-W Martins, apresenta um exemplo da utilização de bicos de corte, com os parâmetros de operação.

Espessura do corte (mm)	Velocidade linear do corte (cm/min) C-205	Consumo de gases (m <sup>3</sup> /h)	
		Oxigênio	Acetileno
3,2	92,0	0,95	0,25
9,5	64,0	1,70	0,30
15,9	46,0	2,32	0,36
50,8	28,1	5,50	0,56
300,0	8,0	24,00	1,40

Fonte: Modenesi, 2001.

Para o cálculo das emissões do uso de gás acetileno no processo de corte, um fator baseado na estequiometria de queima do acetileno foi calculado, considerando a reação da combustão completa. Para tal, foram usadas as equações (2), representando a combustão do acetileno, e (3), para o cálculo do fator de emissões de  $CO_2$ :



$$Emissões(CO_2) = 2 \frac{MM_{CO_2}}{MM_{Acetileno}} \quad (3)$$

Onde,  $MM_{CO_2}$  é a massa molar do dióxido de carbono, considerada como 44 g/mol, e  $MM_{Acetileno}$  é a massa molar do gás acetileno, considerada como 26,03 g/mol.

#### 4.5.3. Soldagem

A partir da coleta de dados e das necessidades do projeto arquitetônico, foi possível estipular a quantidade necessária de solda. Para a soldagem foi utilizada a solda por arco elétrico com gás de proteção MIG/MAG, conforme resultado qualitativo obtido na coleta de dados.

A quantificação dos fluxos relacionados à soldagem foi estimada a partir de Modenesi (2001). Para calcular a massa de solda necessário por UF, utilizou-se o esquema representado nas figuras 19 e 20. Foi considerada a densidade de 7,8 g/cm<sup>3</sup> referente à liga de aço carbono utilizada para solda conforme descrito pelo mesmo autor. O comprimento linear do cordão foi estimado em 19,4 m.

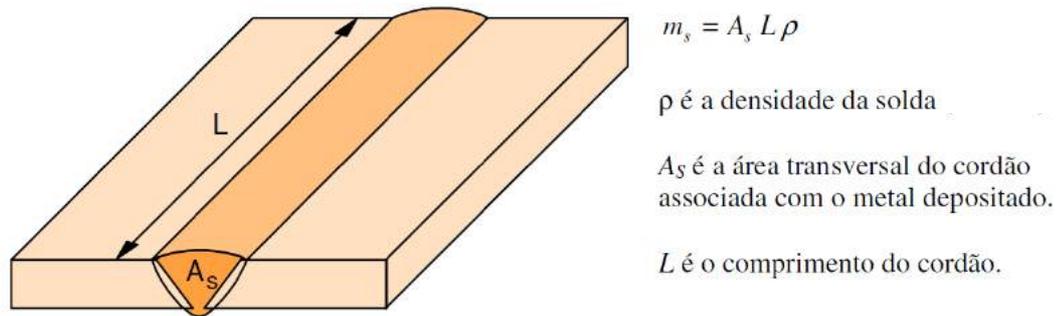


Figura 19. Cálculo da mesa do material depositado

Fonte: Modenesi, 2001.

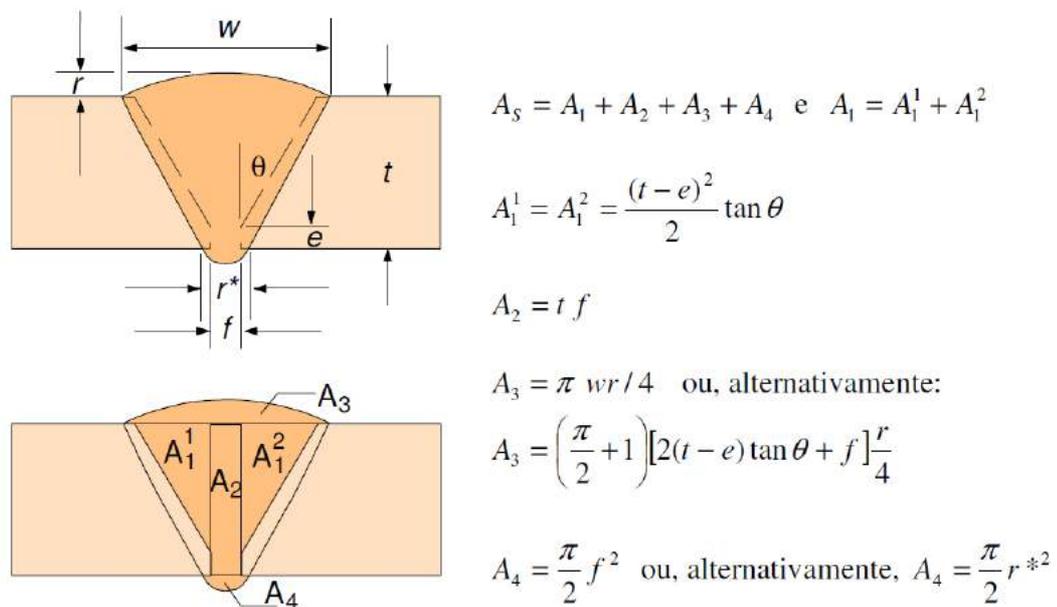


Figura 20. Exemplo de cálculo para soldagem.

Fonte: Modenesi, 2001.

Por fim, o uso de energia e as emissões relacionadas à etapa de soldagem foram estimadas a partir de dados disponíveis na base de dados da Ecoinvent v2.2, considerando a mesma tecnologia, as mesmas condições de operação e a necessidade de soldagem linear. Devido à pouca disponibilidade de dados da etapa

de uso da solda, as emissões desta fase foram desconsideradas, diferentemente das emissões oriundas de todos os demais processos relacionados.

#### 4.5.4. Pintura

A partir da coleta de dados e das necessidades do projeto arquitetônico, foi estipulada a quantidade necessária de tinta e os tipos de pintura a serem utilizados. Observou-se a necessidade de utilizar duas tintas distintas, uma para a superfície do contêiner, e outra para as paredes de *drywall*.

Na pintura externa foi utilizada tinta alquídica disponível na base de dados Ecoinvent 2.2. E para referência da massa foi considerada uma densidade de 1,4 kg/L, considerando rendimento de 0,051 L/m<sup>2</sup>, segundo a base Ecoinvent 3.0. Não foi considerada a energia para aplicação, dado que essa envolve atividade manual de pequeno impacto para o projeto.

Para o processo de pintura interna, por sua vez, foi considerada uma tinta acrílica à base d'água disponível na base de dados Ecoinvent 2.2. E para referência da densidade 1,76 kg/L, considerando rendimento de 0,051 L/m<sup>2</sup>, segundo a base Ecoinvent 3.0. Novamente, não foi considerada a energia para aplicação, pelas mesmas razões.

Para ambos os processos (pintura interna e externa), os voláteis presentes na formulação foram considerados como 100% emitidos para o ar. No entanto, possíveis perdas de material ou desperdícios foram desconsideradas.

#### 4.5.5. Drywall

A partir de projeto arquitetônico foi estimada a necessidade de 17,511 m<sup>2</sup> de *drywall* para cobertura da parede externa, a parede do contêiner, e 18,319 m<sup>2</sup> para área interna, as paredes que fazem as divisões dos ambientes. O *drywall* externo, empregado para o revestimento das paredes, diferencia-se do *drywall* interno, empregado como parede interna para divisão de ambientes: no primeiro caso não há necessidade de duas placas de gesso cartonado, uma vez que, que o *drywall* é fixado

diretamente ao contêiner; já no segundo caso, tratando-se de uma típica parede, há necessidade de duas placas de gesso cartonado.

Devido à pouca disponibilidade de informações e à inexistência deste tipo de material nas bases de dados do software Simapro, foi necessário construir um ICV para quantificar os fluxos mássicos e energéticos envolvidos na produção de *drywall*. Para tanto, as fronteiras do subsistema investigado são apresentadas na Figura 21.

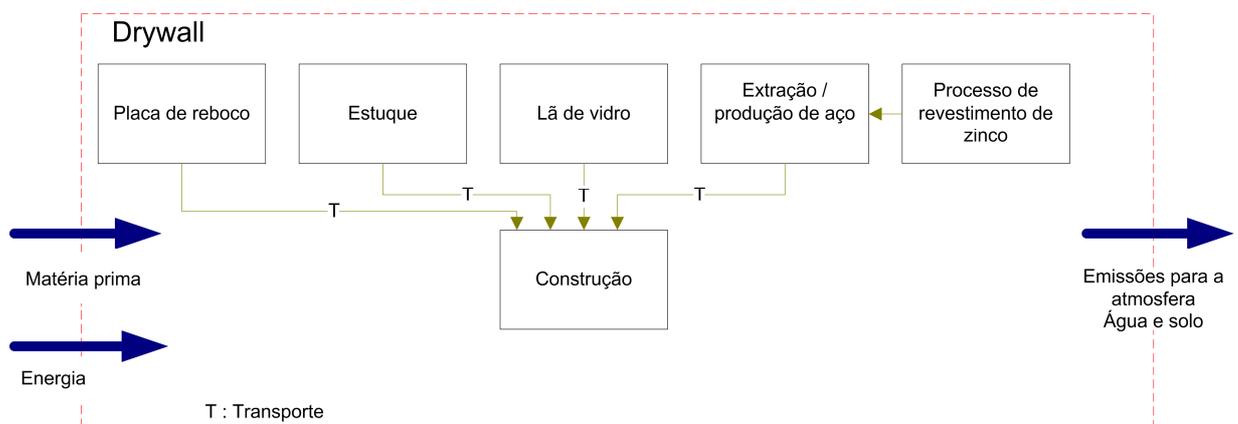


Figura 21. Fronteiras do subsistema *drywall*.

Fonte: Autor, 2016.

Para as paredes foram consideradas placas de gesso de 12,5 mm de espessura; estuque, 4,3 m de perfis de aço galvanizado com 70 x 30 x 3.000 mm; 27 parafusos galvanizados com 1,45 g, 3,5 mm de diâmetro e 25 mm de comprimento; e lã de vidro com 75 mm de espessura. A massa das placas de gesso foi calculada a partir do volume (0,0125 m x 1 m x 1 m) necessária por UF e densidade de 1,1 kg/m<sup>3</sup>, valor padrão conforme a base de dados Ecoinvent v2.2. A massa de estuque foi considerada 0,94 kg/UF e a massa de aço foi calculada considerando-se um valor de 0,572 kg por metro de perfis e 1,45 g por parafuso. (HADDAD, 2013).

Para o revestimento de zinco (galvanização) dos perfis de aço e parafusos foi necessário estimar a área de superfície dos materiais. As áreas de superfície de parafusos foram calculadas considerando formato de parafuso como um cilindro. A massa de lã de vidro foi calculada a partir do volume (0,075 m x 1 m x 1 m) necessária por UF e densidade de 20 kg / m<sup>3</sup>, valor padrão conforme base de dados Ecoinvent v 2.2. Emissões de perda de material, desperdício e energia do processo de montagem foram desconsideradas.

#### 4.5.6. Telhado verde

Para quantificação dos fluxos relacionados com o telhado verde proposto neste trabalho, o ICV disponível em Chenani, Lehvävirta e Häkkinen (2015) foi considerado. Os dados são apresentados na Tabela 1, já considerando a UF deste estudo. Uma adaptação foi realizada em um dos tipos de camada: no estudo original utilizava-se sobra de tijolo triturada e neste estudo considerou-se utilizar brita 1, com diâmetro entre 9,5 mm a 19,0 mm. (JARDIM, 2013).

<i>Material</i>	<i>Massa</i>	<i>Unidade</i>
<i>Barreira de raiz de Polietileno (LDPE)</i>	0,8	kg
<i>Camada de proteção de polietileno</i>	0,3	kg
<i>Camada de Drenagem de poliestireno</i>	1,3	kg
<i>Fibra de celulose</i>	1,2	kg
<i>Camada de filtro de polipropileno</i>	0,15	kg
<i>Substrato - argila</i>	10	kg
<i>Tijolo quebrado</i>	80	kg
<i>Solo orgânico</i>	10	kg

Tabela 1. Tabela de materiais de telhado verde. Total - 1m<sup>2</sup> de cobertura.

Fonte: Adaptado de Chenani et al., 2015.

De posse dos dados levantados nas seções anteriores, foi possível analisar o impacto ambiental do projeto proposto, como será apresentado na seção seguinte.

#### 4.6. AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL

Após análise do inventário, a avaliação de impactos ambientais foi conduzida. Para tanto, o método de cálculo CML, e o software para modelagem SimaPro foram utilizados. Uma imagem da modelagem realizada no software SimaPro é apresentada na Figura 22.

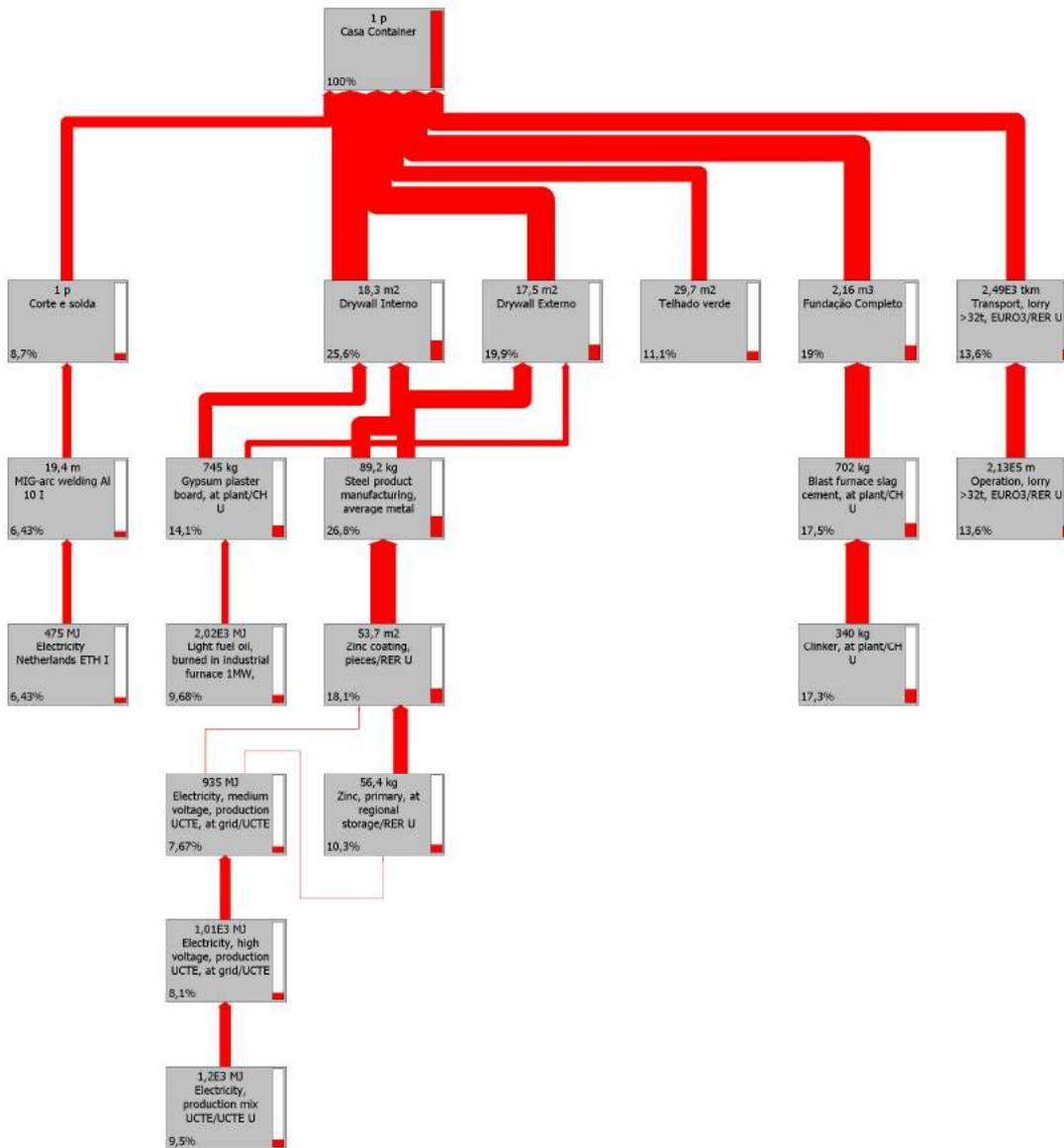


Figura 22. Imagem dos processos modelado no Simapro.

Fonte: Autor, 2016.

Na Figura 22, observa-se através do esquema de processos desenvolvido no programa Simapro, a contribuição de todos os processos envolvidos nos fluxos mássicos e finalizada a apresentação dos materiais e métodos utilizados, o próximo capítulo traz os resultados oriundos dos procedimentos anteriormente descritos.

## 5. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados da construção dos inventários de ciclo de vida, incluindo o projeto arquitetônico e a avaliação do ciclo de vida. Após a descrição dos resultados.

### 5.1. CONSTRUÇÃO DO INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA

#### 5.1.1. Resultados da coleta de dados de campo

Como parte da fase de análise do inventário, a coleta de dados apresentou-se como uma etapa fundamental e definitiva para construção do ICV. Foram identificadas cinco empresas na região metropolitana de Porto Alegre que trabalham na fabricação de contêineres para uso em habitações, abaixo nominadas com seu consentimento, conforme informado no capítulo de método:

- Damazio Containers - Rua Boqueirão, nº 3850, Pavilhão 01, bairro Estância Velha, Canoas (RS);
- LC Locações de Containers Ltda. - Rua São Jorge, 381, bairro Navegantes, Porto Alegre (RS);
- Grupo Colmeia – Avenida Lindolfo Collor, 100, bairro Parque Primavera, Esteio (RS);
- Box Container – Avenida Senador Salgado Filho, n. 4318, bairro Scharlau, São Leopoldo (RS); e
- HL Containers - Rodovia Victorino José Goulart nº 1200, bairro São Tomé, Viamão (RS).

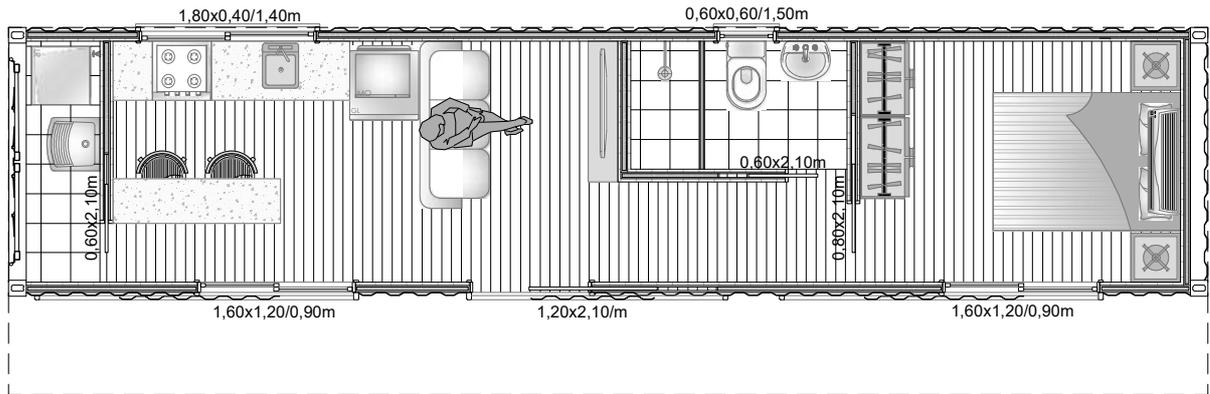
A partir das visitas e contato com essas empresas, constatou-se que elas não utilizam contêineres marítimos descartados, ou seja, as empresas fabricam o contêiner nas proporções iguais aos marítimos, mas os materiais são diferentes dos originais, o que inviabiliza uma coleta de dados fidedigna. Ainda assim, a partir da coleta de dados foi possível identificar e qualificar os processos realizados pelas empresas que produzem habitações de contêineres. Entretanto, o escopo deste estudo tem como objetivo avaliar o desempenho ambiental de um contêiner

habitacional a partir de um projeto arquitetônico próprio. Portanto, os dados coletados foram aceitos como satisfatórios, visto que, havia a necessidade de informações sobre o processo de fabricação dos contêineres habitacionais. Desta forma, foi possível identificar os processos envolvidos e materiais utilizados no processo de fabricação e montagem dos contêineres habitacionais, assim como as peculiaridades envolvidas durante essa fase.

Entre os fluxos identificados, foi possível qualificar os seguintes materiais utilizados: tintas, solda, aço, isolantes térmicos e acústicos e coberturas (telhado), entre outros materiais. Os processos de corte e montagem estão diretamente relacionados ao projeto arquitetônico apresentado neste estudo. Assim, os dados referentes à soldagem foram coletados segundo a necessidade de cobertura linear para servir como padrão neste estudo. Por outro lado, não foi possível quantificar os fluxos materiais e energéticos devido ao desconhecimento e falta de evidências do consumo dos insumos por esses fabricantes.

### **5.1.2. Projeto arquitetônico: design da habitação**

Como informado no capítulo anterior, a partir da metodologia utilizada, o projeto de um contêiner habitacional foi realizado. A planta baixa foi criada de maneira a aproveitar ao máximo o ambiente, não só internamente, mas também externamente, como pode ser visto na Figura 23. Um contêiner de 40'HC foi o escolhido. O mesmo apresenta um comprimento de 12 m por uma largura de 2,40 m. A proposta apresenta os seguintes cômodos: área de serviço, cozinha, sala, banheiro e um quarto, os dimensionamentos foram feitos com base na norma ABNT, NBR 15.575.



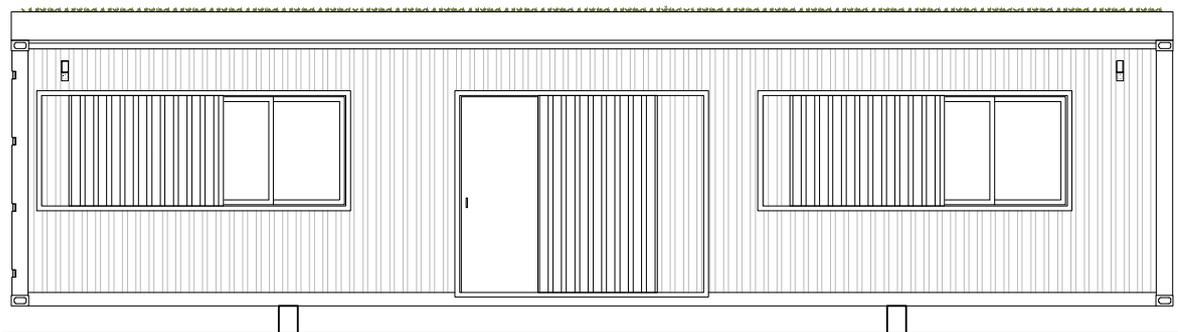
PLANTA BAIXA



Figura 23. Planta baixa.

Fonte: Autor, 2016.

Na proposta, posicionou-se a fachada para o norte, de modo a otimizar os efeitos da posição solar sobre a edificação. Pela mesma razão, as maiores aberturas foram direcionadas para este ponto, conforme ilustra a Figura 24. Coerentemente, na fachada sul, onde a incidência solar é quase nula em todas as estações, fez-se apenas duas aberturas menores, como ilustra a Figura 25.



VISTA FRONTAL



Figura 24. Fachada norte.

Fonte: Autor, 2016.

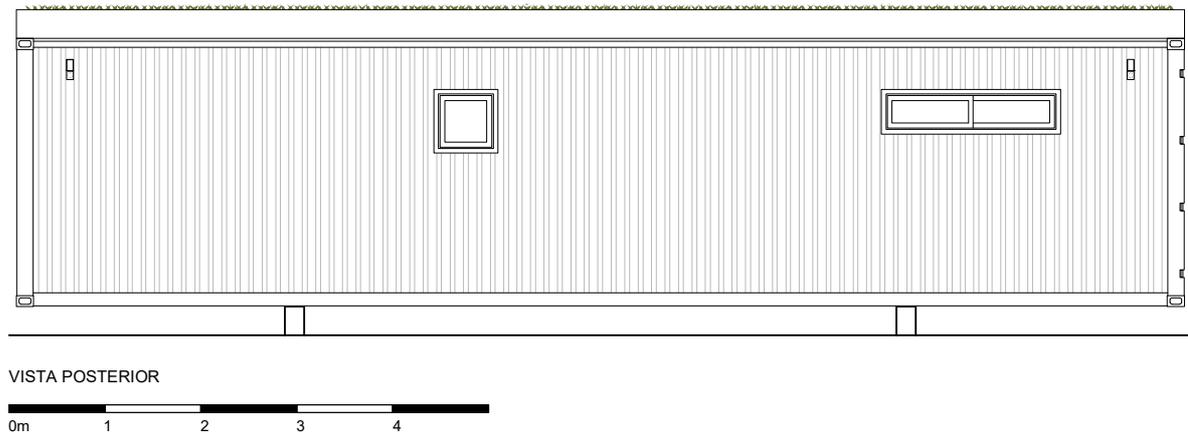


Figura 25. Fachada sul.

Fonte: Autor, 2016.

Na fachada leste fica a abertura original do contêiner, que pode também ser utilizada para a abertura da casa, dando acesso a área de serviço e facilitando a ventilação cruzada. Essa decisão projetual foi tomada porque na cidade de Porto Alegre o vento predominante é leste. A fachada oeste permaneceu sem alterações, como mostram as figuras 26 e 27, respectivamente.

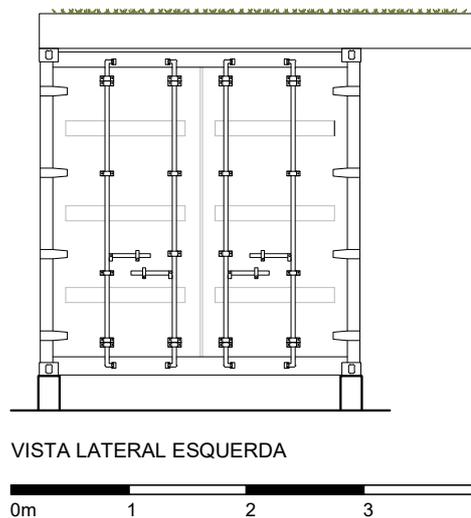


Figura 26. Fachada leste.

Fonte: Autor, 2016.

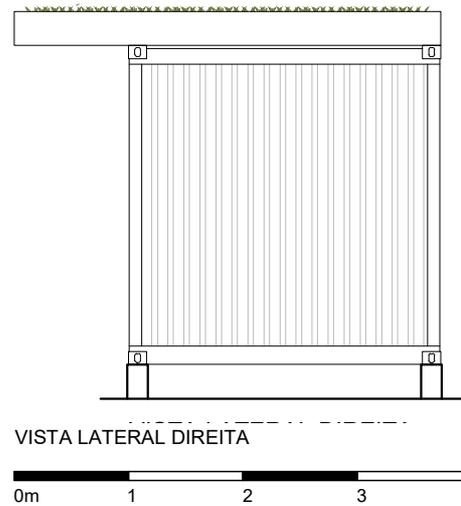


Figura 27. Fachada oeste.

Fonte: Autor, 2016

Todas as tubulações foram posicionadas em uma única parede, com o intuito não só de reduzir custos, mas também de racionalizar o projeto. A opção de telhado verde como cobertura, além de trazer conforto térmico à edificação, produz um conforto acústico em função de cobrir a estrutura de aço, como pode se perceber nos cortes longitudinal e transversal apresentados nas figuras 28 e 29, respectivamente.

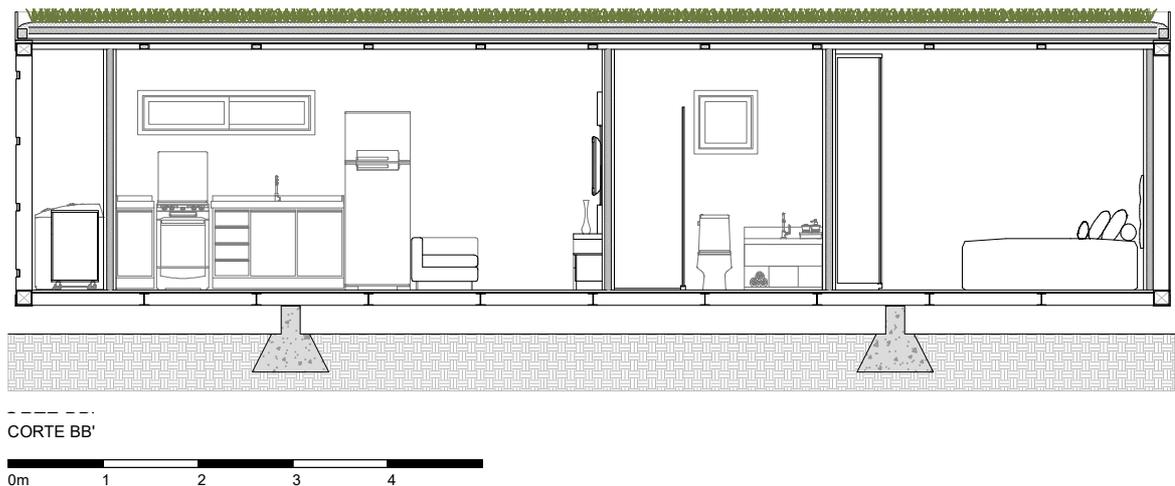


Figura 28. Corte longitudinal.

Fonte: Autor, 2016.

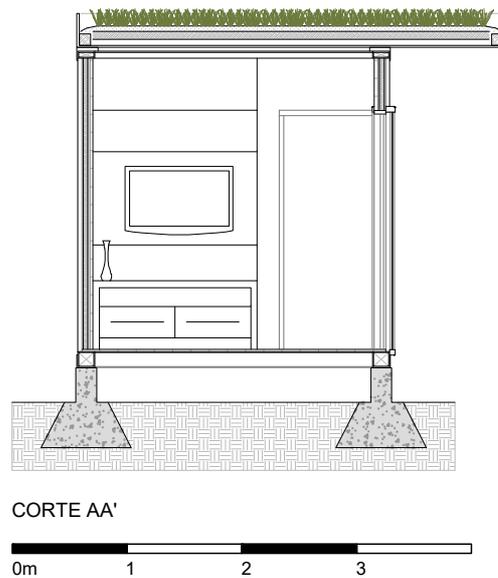


Figura 29. Corte transversal.

Fonte: Autor, 2016.

Ao se analisarem as necessidades higrotérmicas do homem, e mais precisamente a ventilação, se otimizou o processo através de trocas por convecção. No interior da edificação, na parte do piso foram realizadas aberturas para a entrada de ar, como pode se observar na Figura 30 e sinalizado pela flecha azul. O ar frio entra e por se aquecer em função do calor das pessoas, maquinas e do próprio sol nas fachadas, tende a subir em direção ao teto, então aberturas nas laterais criam uma saída de ar como demonstrado pela flecha vermelha na Figura 31. Isso cria um fluxo natural condicionador de ar, podendo ser regulado conforme a necessidade de manter uma temperatura mais agradável na edificação.

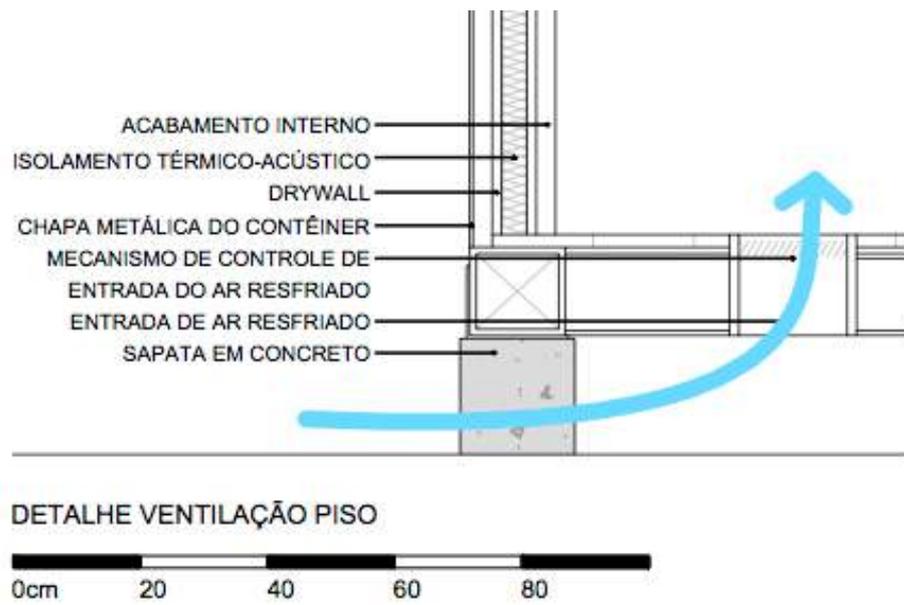


Figura 30. Esquema de troca por convecção, detalhe do piso.

Fonte: Autor, 2016.

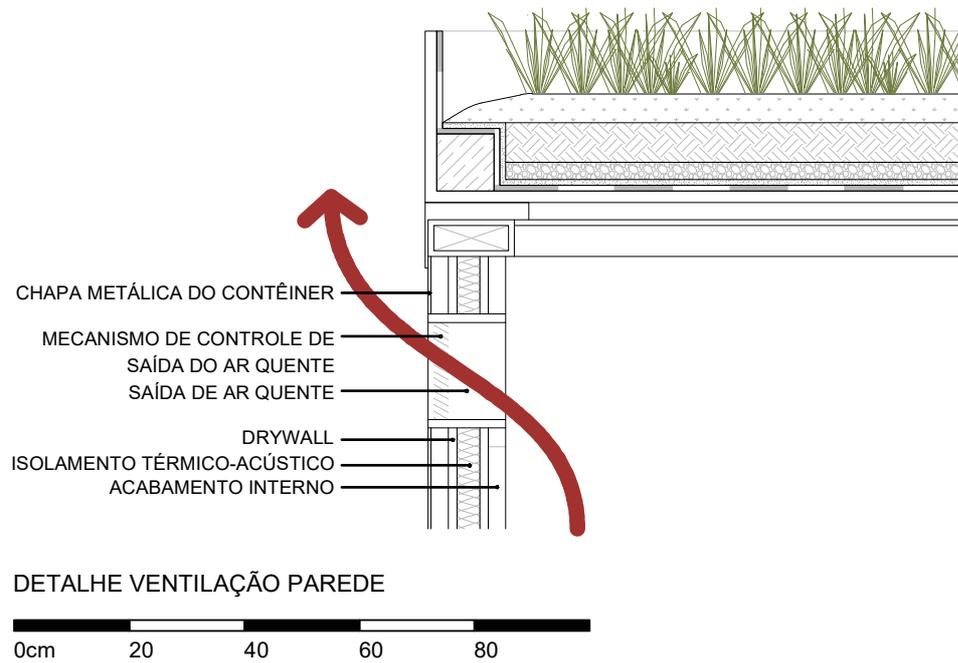


Figura 31. Esquema de troca por convecção, detalhe da parede / teto.

Fonte: Autor, 2016.

### 5.1.3. Fundação

Como informado anteriormente, a partir da metodologia adotada verificou-se que são necessários 4 apoios para suportar o contêiner e fixá-lo ao terreno. Logo, foi estimada a necessidade de 2,16 m<sup>3</sup> de concreto armado, valor consideravelmente inferior aos 11,06 m<sup>3</sup> necessários, para estas dimensões, em uma edificação tradicional (BRASIL, 2009).

### 5.1.4. Corte

Com base na metodologia adotada, os fluxos relacionados à etapa de corte por gás acetileno do contêiner para instalação das aberturas (portas e janelas) foram estimados, resultando em uma necessidade de 0,31437 kg de gás acetileno e 1,97575 kg de gás oxigênio liquefeito. As emissões desta etapa foram calculadas em 1,06258 kg de CO<sub>2</sub> /UF.

### 5.1.5. Soldagem

Também foram estimados os fluxos relacionados à etapa de soldagem das aberturas (portas e janelas), resultando em uma necessidade de 40,985 kg/UF de solda tipo MIG/MAG. A energia necessária para este processo foi estimada em 475,455 MJ/UF.

### 5.1.6. Pintura

Para a pintura externa (superfície do contêiner) foi estimada a necessidade de 8,17 kg/UF de tinta alquídica. Para o processo de pintura interna foi estimada a necessidade de 8,41 kg/UF de tinta acrílica à base d'água. As emissões foram estimadas a partir dos fluxos presentes nos inventários das bases de dados utilizadas e considerando a emissões de 100% dos solventes orgânicos.

### 5.1.7. Drywall

A estimação dos fluxos relacionados aos materiais para construção de paredes de *drywall* resultou na Tabela 2. Nela encontram-se os cálculos estimados para as superfícies de *drywall* interna e externa, necessários para a UF em estudo.

<b>Material</b>	<b>Massa</b>	<b>Unidade</b>
<b><i>Drywall</i> interno</b>	<b>18,3192</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
Placa de gesso	503,778	kg
Massa de gesso	17,220048	kg
Aço	45,614808	kg
Zincagem	11,0281584	m <sup>2</sup>
Fibra de Vidro	27,4788	kg
Transporte	16,4506416	tkm
<b><i>Drywall</i> externo</b>	<b>17,511</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
Placa de gesso	240,77625	kg
Massa de gesso	16,46034	kg
Aço	43,60239	kg
Zincagem	10,541622	m <sup>2</sup>
Fibra de Vidro	26,2665	kg
Transporte	15,724878	tkm

Tabela 2. Inventário do ciclo de vida das paredes de *drywall*.

Fonte: Autor, 2016.

### 5.1.8. Telhado verde

Como decisão de projeto optou-se pelo telhado verde para obter melhor qualidade termo acústica, assim como adequação às normas técnicas que beneficiam a qualidade da edificação como área habitável. O resultado foi de 31,81 m<sup>2</sup> de telhado verde, com as camadas definidas conforme ilustra a Figura 32. Os fluxos relacionados a este processo foram estimados conforme apresentado na Tabela 3.

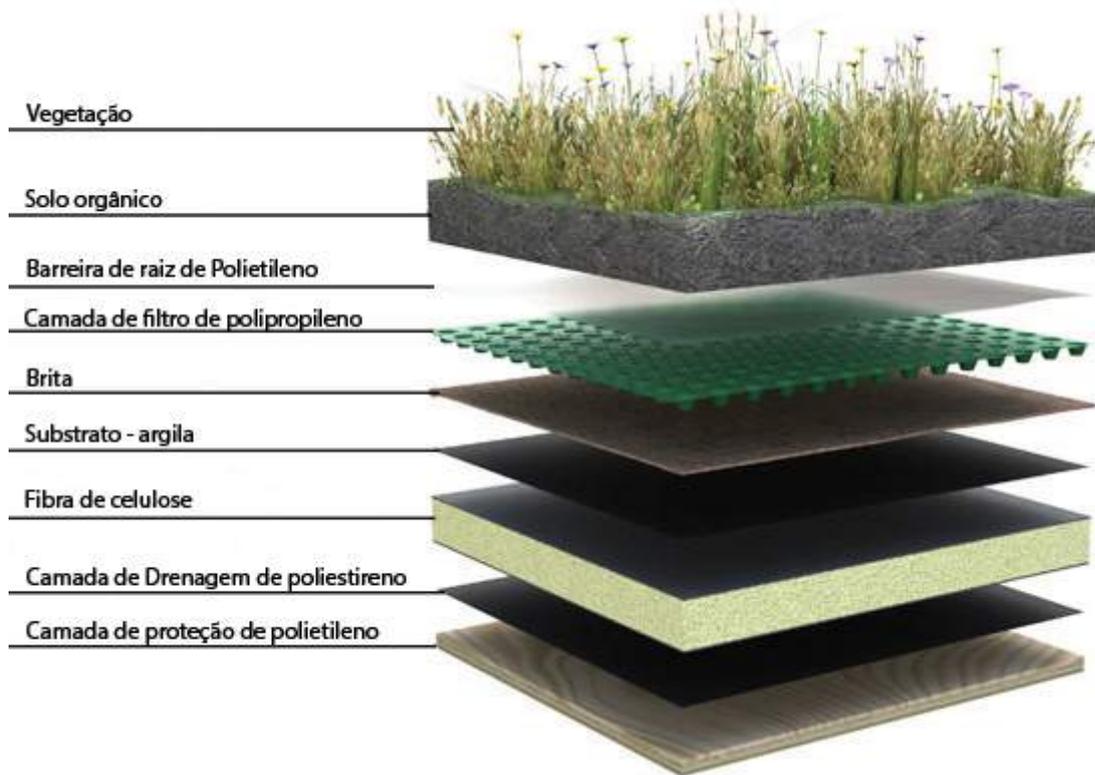


Figura 32. Esquema de camadas do telhado jardim.

Fonte: Adaptado de Saadatian, 2013.

MATERIAL	MASSA	UNIDADE
BARREIRA DE RAIZ DE POLIETILENO (LDPE)	0,80	Kg
CAMADA DE PROTEÇÃO DE POLIETILENO	0,30	Kg
CAMADA DE DRENAGEM DE POLIESTIRENO	1,30	Kg
FIBRA DE CELULOSE	1,20	Kg
CAMADA DE FILTRO DE POLIPROPILENO	0,15	Kg
SUBSTRATO - ARGILA	10,00	Kg
BRITA	80,00	Kg
SOLO ORGÂNICO	10,00	Kg

Tabela 3. Tabela de materiais de telhado verde. Total de 1m<sup>2</sup> de cobertura.

Fonte: Adaptado de Chenani, Lehvavirta e Häkkinen, 2015.

## 5.2. AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

A partir da metodologia empregada os resultados normalizados deste estudo são apresentados na Figura 33, onde se pode observar que as categorias de

mudanças climáticas apresentaram os valores mais elevados. Por outro lado, a categoria oxidação fotoquímica apresentou os menores valores. Além disso, observe a considerável contribuição do uso das paredes de *drywall*. Os resultados caracterizados absolutos do estudo são apresentados na Tabela 4.

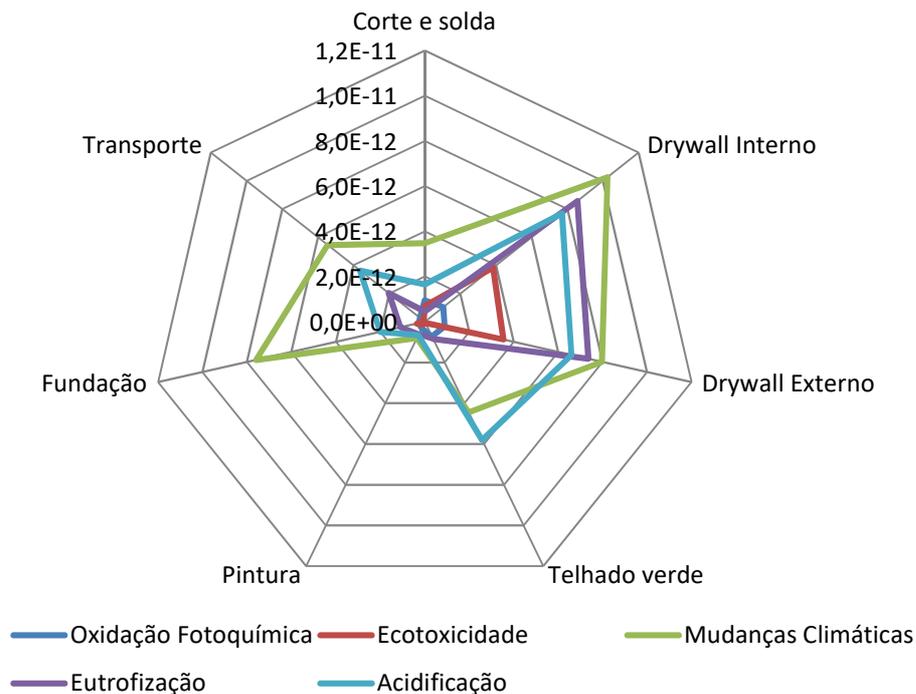


Figura 33. Resultados normalizados para as categorias de Impacto por contribuição de processo.

Fonte: Autor, 2016.

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Total</b>	<b>Unidade</b>
<b>Oxidação Fotoquímica</b>	0,4641	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
<b>Ecotoxicidade</b>	1,287	kg 1,4-DB eq
<b>Mudanças Climáticas</b>	1761,592	kg CO <sub>2</sub> eq
<b>Eutrofização</b>	2,784	kg PO <sub>4</sub> eq
<b>Acidificação</b>	9,078	kg SO <sub>2</sub> eq

Tabela 4. Resultados caracterizados por UF para as categorias de impacto avaliadas.

Fonte: Autor, 2016.

Ainda referente aos dados apresentados na Figura 33 e na Tabela 4, as mudanças climáticas apresentaram um valor de 1.761 kg de CO<sub>2</sub> / UF, equivalendo a 62,22 kg de CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup>. Condeixa (2013), em seu estudo de casa de alvenaria com

paredes internas de *drywall*, estimou o valor de 19,98 kg de CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup>. Por outro lado, Gervásio et al. (2014) apresentaram um valor de 3.052 kg de CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup>, referente aos impactos da produção e transporte para a construção habitacional familiar feita em *steel frame*.

Ainda, na Figura 34 são apresentados os resultados caracterizados relativos e a contribuição dos processos avaliados. O *drywall* apresenta a maior contribuição em todas as categorias de impactos avaliadas. As paredes de *drywall* juntas apresentaram em média uma contribuição de 60% nas categorias de impacto avaliadas. A maior contribuição deste material foi apresentada na categoria de impacto ecotoxicidade 84%, por outro lado, os menores valores foram observados na categoria de impacto acidificação e mudanças climáticas com escore de 43% e 45%, respectivamente.

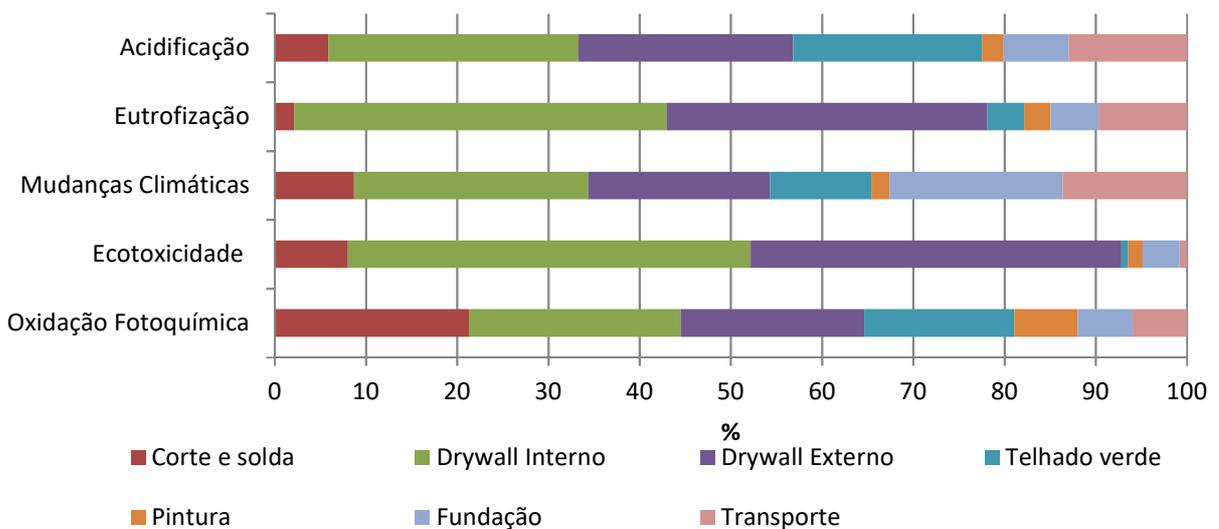


Figura 34. Resultados caracterizados da contribuição de processos.

Fonte: Autor, 2016.

As contribuições apresentadas para cada categoria de impacto anteriormente mencionada são detalhadas nas próximas subseções.

### 5.2.1. Mudanças Climáticas (Aquecimento Global)

Como é possível observar na Figura 35, o processo de clínquer representa 16,2% das emissões para a categoria de impacto Mudanças Climáticas. Por outro

lado, o consumo de combustível para o transporte do contêiner contribui com 11,67% das emissões desta categoria.

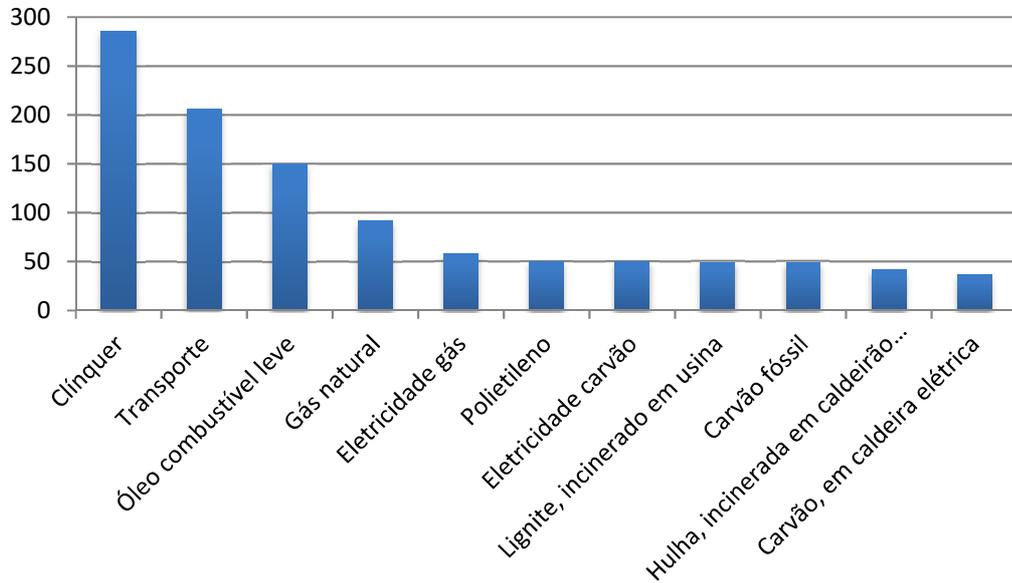


Figura 35. Gráfico dos principais impactos na categoria de aquecimento global.

Fonte: Autor, 2016.

Na Figura 36, pode-se observar que 95% das emissões relacionadas ao clínquer são decorrentes da construção da fundação.

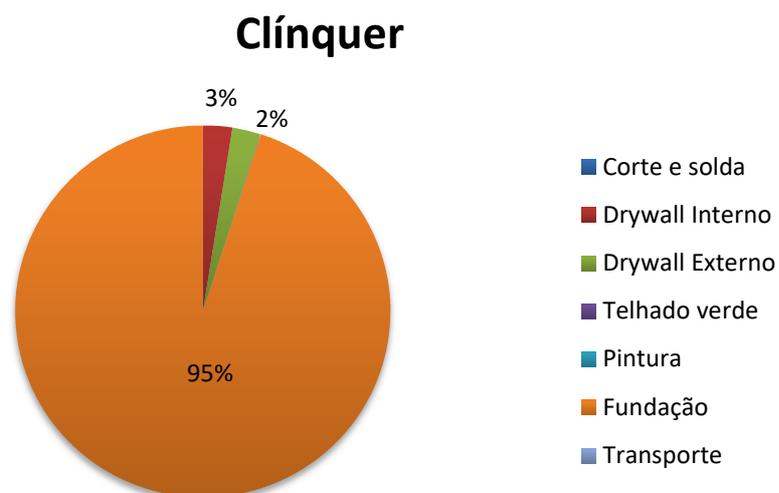


Figura 36. Gráfico de porcentagem na contribuição dos processos.

Fonte: Autor, 2016.

### 5.2.2. Acidificação

Nesta categoria, como é possível observar na Figura 37, o processo de zincagem apresentou considerável contribuição (13%), seguido pelo transporte (9%). Por outro lado, observa-se que há uma grande contribuição de outros processos minoritários para a Acidificação.

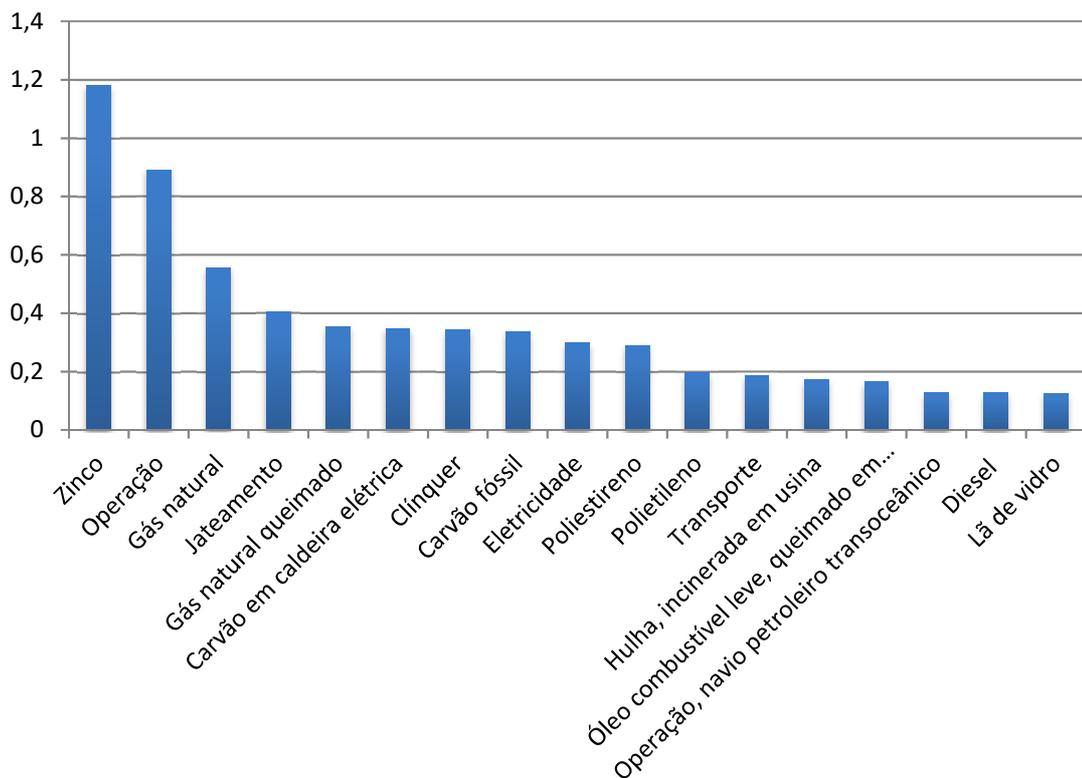


Figura 37. Gráfico dos principais impactos na categoria de acidificação.

Fonte: Autor, 2016.

Além disso, é possível afirmar que o processo de zincagem está relacionado integralmente ao uso das paredes de *drywall*. O processo de zincagem está relacionado ao tratamento realizado nas superfícies dos parafusos e montagens que constituem o *drywall*. Portanto, uma estratégia de mitigação pode ser adotada a partir de uso de parafusos e montagens com outro tipo de tratamento da superfície deste tipo de material.

### 5.2.3. Eutrofização

Nesta categoria, como é possível observar na Figura 39, o processo de descarte de rejeitos de sulfato apresentou considerável contribuição 29%, seguido pelo descarte de rejeitos de mineração lignito 25%. Além disso, observa-se que nesta categoria de impacto há uma grande contribuição de outros processos minoritários.

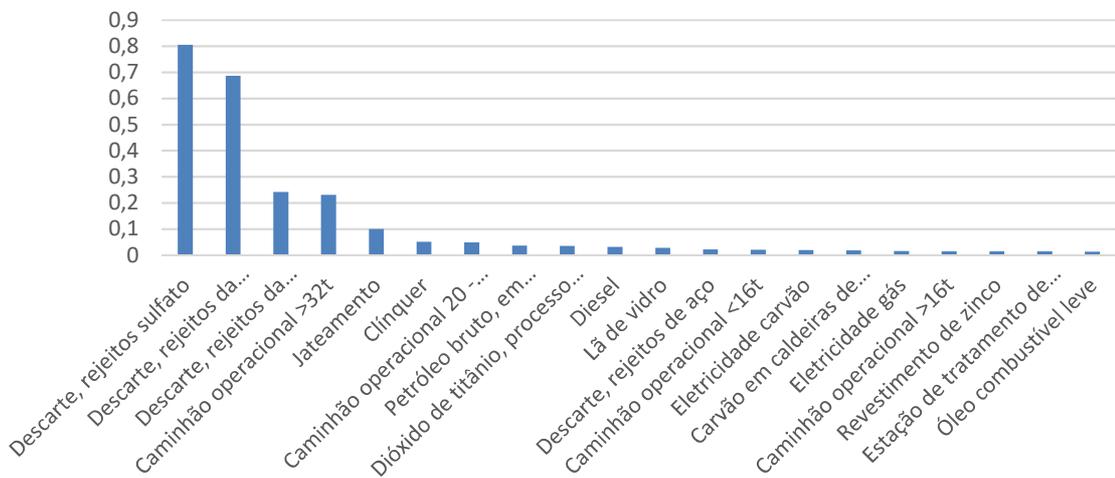


Figura 38. Gráfico dos principais impactos na categoria de eutrofização.

Fonte: Autor, 2016.

Ainda é possível observar que o processo de descarte de rejeitos de sulfato está relacionado integralmente ao uso das paredes de *drywall*.

### 5.2.4. Formação fotoquímica de ozônio (nível do solo)

Nesta categoria, como é possível observar na Figura 41, o uso de energia é o maior responsável pelo impacto associado ao sistema, apresentando uma contribuição de 18%, o que pode ser explicado pela significativa presença do processo de produção da cana de açúcar na matriz energética brasileira.

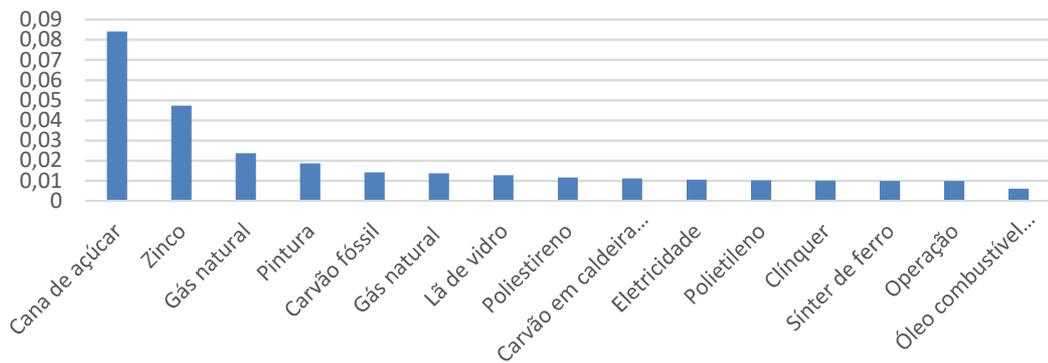


Figura 39. Gráfico dos principais impactos na categoria de formação fotoquímica.

Fonte: Autor, 2016.

A partir da Figura 42, é possível observar que a etapa de corte e solda é a principal e está relacionada a esta categoria de impacto, isto ocorre devido a energia necessária para a soldagem.

### Uso de energia (Cana de açúcar)

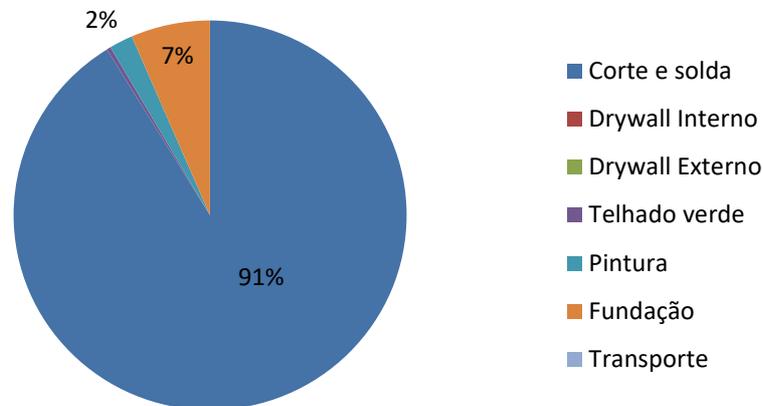


Figura 40. Gráfico de porcentagem na contribuição dos processos.

Fonte: Autor, 2016.

#### 5.2.5. Ecotoxicidade

Nesta categoria, como é possível observar na Figura 43, o processo de zincagem apresentou considerável contribuição 64%. Este impacto está correlacionado as paredes *Drywall*.

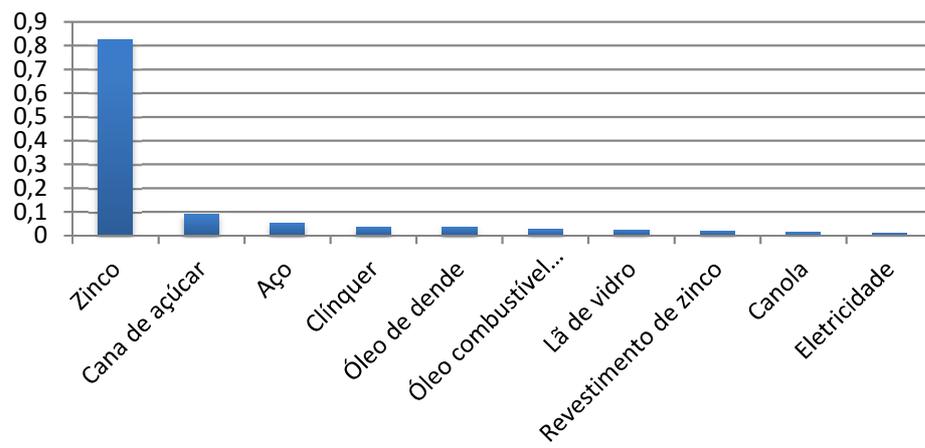


Figura 41. Gráfico dos principais impactos na categoria de ecotoxicidade.

Fonte: Autor, 2016.

## 6. CONCLUSÃO

O tema das HIS, por si só, já deveria atrair atenção por seus aspectos socioeconômicos e de inclusão social. Adicionar o tema Sustentabilidade à HIS representa lidar com elementos de maior complexidade, envolvendo compreender não apenas o produto do projeto da HIS, mas seu processo de fabricação, incluindo circularidades dos fluxos de material, fluxos energéticos e de insumos, e ações projetuais que possam mitigar os efeitos indesejados da ação humana sobre o ambiente. Ao considerar um contêiner marítimo descartado como a peça central de um projeto de HIS seguindo as orientações do PMCMV, buscou-se integrar esses temas, visando a estabelecer uma alternativa construtiva viável para a redução do déficit habitacional no Brasil.

Ainda que não seja novidade o uso de contêineres marítimos para a construção de moradias, seu uso ao fim de sua vida útil como unitizador e no contexto de HIS apresenta características diferenciadas das identificadas no entorno geográfico onde esta pesquisa foi realizada. Das cinco empresas identificadas na região metropolitana de Porto Alegre que trabalham na fabricação de contêineres para uso em habitações, observou-se que não há uso desse material descartado, mas sim, construção desse unitizador a partir de materiais diferentes e nas mesmas dimensões do contêiner 40' HC. Ao invés, o projeto proposto busca mitigar os impactos ambientais do descarte desses unitizadores como sucata, estimado em 700.000 apenas nos Estados Unidos. (MARAD, 2016)

Quanto ao objetivo projetual desta dissertação, a proposta de edificação modelo para HIS, utilizando um contêiner marítimo de 40' HC descartado, uma habitação unifamiliar de 28m<sup>2</sup> e seguindo a NBR 15575 nos padrões do PMCMV, aliada ao suporte analítico dado pela ACV realizada, indicou perspectivas positivas em função do menor impacto ambiental causado pela edificação. No projeto, conseguiu-se, com uso de soluções de arquitetura e engenharia, uma racionalidade de construção que pode ser multiplicada dando origem a um loteamento, visto que as fachadas sul e oeste não possuem aberturas, podendo ser rebatidas e originando uma planta H, modelo típico nas edificações multifamiliares do PMCMV. Partindo da premissa da construção de uma edificação fundamentada nos princípios da arquitetura sustentável

o projeto proposto prevê a instalação de telhado verde e paredes de *drywall* proporcionam melhor acústica e conforto térmico. E, a partir do projeto arquitetônico elaborado com os princípios e técnicas da arquitetura sustentável, o inventário de ciclo de vida foi construído para a unidade funcional escolhida.

Quanto à possibilidade de quantificar e qualificar os fluxos envolvidos nos processos de produção de habitações oriundas de contêiner por empresas da região metropolitana de Porto Alegre, o fato de não haver comparação exata entre os propósitos desta dissertação e as informações coletadas traz limitações à análise. Ainda assim, a coleta de informações de diferentes atividades nesses processos reais permitiu realizar a análise pretendida por essa dissertação.

Quanto ao objetivo de utilizar os resultados da ACV para identificar gargalos na fabricação e sugerir alternativas mitigadoras de impactos ambientais, as paredes de *drywall* mostraram-se o item mais impactante ao meio ambiente, seguido das fundações. Porém essas últimas puderam ter seus efeitos indesejados mitigados em função do uso diminuto de concreto na edificação, servindo apenas de base para a mesma. O *drywall* poderia ser substituído por madeira para gerar isolamento, esse, no entanto, sendo uma variante do estudo com implicações sobre os resultados da ACV. Apesar de impactante no processo, o *drywall* se faz necessário pois foi usado como elemento que serve não só para a proteção térmica da edificação mas também para isolamento acústico. Mais especificamente, o processo de zincagem dos parafusos e montantes do *drywall* pode ser apontado como a principal fonte de impacto neste projeto. Portanto, buscar soluções que garantam a estabilidade oxidativa destas estruturas com menor impacto pode ser uma solução para reduzir os impactos do CV neste projeto.

A tendência de usar contêineres em habitações se torna a cada dia que passa uma realidade possível e funcional. Projetos que utilizam contêineres como componentes principais ou parciais de suas estruturas aparecem cada vez mais e evidencia, aparecendo em sites na internet, revistas e livros.

## 7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Como propostas de continuidade deste estudo, sugere-se:

- ACV comparativa entre uma edificação feita de alvenaria e uma produzida de um contêiner marítimo reciclado;
- Avaliar o Ciclo de Vida de um contêiner onde seja contemplada a sua fase de uso;
- Estimar a eficiência energética de uma habitação de contêiner em relação a uma edificação feita em alvenaria;
- Estimar a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> para uma estrutura habitacional feita de um contêiner;
- Comparar os custos reais de uma edificação produzida de um contêiner e uma edificação tradicional com mesmas características e necessidades;
- Estimar a vida útil de uma edificação de contêiner;
- Comparar habitações oriundas de contêineres, madeira e alvenaria, com seus respectivos impactos; e
- Analisar comparativamente edificações feitas de contêineres reciclados e caixas de metal feitas com as mesmas dimensões e formato.

## REFERÊNCIAS

ABIKO, A. K. **Introdução à gestão habitacional**. São Paulo, EPUSP, 1995.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009). **NBR ISO 14040. Gestão ambiental. Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estrutura**. Brasil: ABNT. Agosto. 21p.

\_\_\_\_\_. (2013) **NBR 15575: Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais**.

\_\_\_\_\_. (2013) **NBR 15575: Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas de estruturais**.

\_\_\_\_\_. (2013) **NBR 15575: Edifícios Habitacionais – Desempenho Parte 3: Requisitos para os Sistemas de Piso**.

\_\_\_\_\_. (2013) **NBR 15575: Edifícios Habitacionais – Desempenho Parte 4: Requisitos para os Sistemas de Vedação Verticais Internas e Externas – SVVIE**.

\_\_\_\_\_. (2013) **NBR 15575: Edifícios Habitacionais – Desempenho Parte 5: Requisitos para os Sistemas de Coberturas**.

ASBEA, **Guia Sustentabilidade na Arquitetura: diretrizes de escopo para projetistas e contratantes** / Grupo de Trabalho de Sustentabilidade AsBEA. São Paulo: Prata Design, 2012.

ASIF, M.; MUNEER, T.; KELLEY, R. **Life cycle assessment: a case study of a dwelling home in Scotland**. *Building and Environment*, v. 42, n. 3, p. 1391-1394, 2007.

BENEVOLO, L. **História da cidade**. Tradução Sílvia Mazza. São Paulo: Perspectiva, 1983.

BERTINI, A. A.; MARTINS, J. C.; THOMAZ, E.. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. 2013.

BONDUKI, N. Política habitacional e inclusão social no Brasil: revisão histórica e novas perspectivas no governo Lula. **Revista eletrônica de Arquitetura e Urbanismo**, v. 1, p. 70-104, 2008.

BRIBIÁN, I. Z.; USON, A. A.; SCARPELLINI, S. **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.

BRANDÃO. A.; **Notas para uma Teoria e Metodologia na Questão da Habitação**. *Revista Ciência e Cultura*, São Paulo, 1984.

BRASIL. Lei n.11.977, de 7 de julho de 2009. **Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas**.

BRASIL, Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Habitação. **Avanços e Desafios: Política Nacional de Habitação**, Brasília, 2010a. 96p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Resenha Energética Brasileira: Exercício 2014**. Rio de Janeiro. 2015. 32p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Articulação Institucional e Cidadania Ambiental. **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Instrumento de Responsabilidade Socioambiental na Administração Pública**. Brasília. 2014. 64p.

BRUJIN, H. **Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards**. Volume 7. New York: Kluwer Academic Publishers. 2004. 675p. ISBN 0-306-48055-7.

CARBONARI, L. T.; KÄFER, T.; BARTH, F. **Reutilização de contêineres marítimos em habitações em Florianópolis**. ENTECA 2013 - IX Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura. 2013

CHANG, Ya-Ju et al. **Environmental and social life cycle assessment of welding technologies**. Procedia CIRP, v. 26, p. 293-298, 2015.

CHENANI, S. B.; LEHVÄVIRTA, S.; HÄKKINEN, T. **Life cycle assessment of layers of green roofs**. Journal of Cleaner Production, v. 90, p. 153-162, 2015.

CHEVRIOT, S.; FOSSOUX, E. **Construire sa maison container**. Eyrolles, 2012.

COMUNICAÇÃO PESSOAL. **Valor Contêiner 40HC** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por perivaldo.perfeito@acad.pucrs.br em 12 maio 2016.

CONDEIXA, K. M. S. P. **Comparação entre materiais da construção civil através da avaliação do ciclo de vida: sistema drywall e alvenaria de vedação**. Rio de Janeiro, Niterói, Dissertação, Universidade Federal Fluminense, 2013.

CBCS, CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). Site institucional do CBCS. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br>>. Acesso em 01 mar 2015

ELKINGTON, J. Cannibals with forks. **The triple bottom line of 21st century**, 1997.

FAVA, J.; BAER, S.; COOPER, J. Increasing demands for life cycle assessments in North America. **Journal of Industrial Ecology**, v. 13, n. 4, p. 491-494, 2009.

FGV PROJETOS; LCA CONSULTORIA. **Construbusiness 2010** – Brasil 2022: planejar, construir, crescer. São Paulo: FIESP, 2010. Disponível em: <[www.fiesp.com.br/construbusiness](http://www.fiesp.com.br/construbusiness)>. Acesso em: 02/04/2015.

FISCHBEIN, ALF et al. Drywall construction and asbestos exposure. **The American Industrial Hygiene Association Journal**, v. 40, n. 5, p. 402-407, 1979.

CEF, Caixa Econômica Federal . **Selo Casa Azul: Boas práticas para habitação mais sustentável**. São Paulo: Páginas e Letras–Editora e Gráfica, 2010.

FERREIRA, J. S. W. Produzir casas ou construir cidades. **Desafios para um novo Brasil Urbano. Parâmetros de qualidade para a implementação de projetos habitacionais e urbanos**. Editora FUPAM. 1ª edição: São Paulo, 2012.

FERREIRA, S. R. L. **O pensamento do ciclo de vida como suporte à gestão dos resíduos sólidos da construção e demolição**: exemplo no Distrito Federal e estudos de casos de sucessos no Brasil e no exterior. 2009. 172p., il. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável), Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

GERVÁSIO, Helena et al. A macro-component approach for the assessment of building sustainability in early stages of design. **Building and Environment**, v. 73, p. 256-270, 2014.

HADDAD, A. N. **Comparação entre materiais da construção civil através da avaliação do ciclo de vida: sistema drywall e alvenaria de vedação**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal Fluminense.

HAN, G.; SREBRIC, J. Life-cycle assessment tools for building analysis. **Research Brief**, p. RB0511, 2011.

HERNANDES, T. Z. **LEED-NEC como sistema de avaliação de sustentabilidade: uma perspectiva nacional?** São Paulo. 2011. 134p. il. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

IPEA, **Políticas sociais: acompanhamento e análise**, v. 1 - (jun. 2000 -). – Brasília: Ipea, 2014.

ISLAM, H.; JOLLANDS, M.; SETUNGE, S. Life cycle assessment and life cycle cost implication of residential buildings—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 129-140, 2015.

JARDIM, U. M.; DE HIDRÁULICA, Drenante no laboratório. **Desenvolvimento da sustentabilidade na USP**. São Paulo. 2013. 14p.

KATS, G.. **Green building costs and financial benefits**. Boston, MA: Massachusetts Technology Collaborative, 2003.

KUHN, E. A. **Avaliação da Sustentabilidade Ambiental do Protótipo de Habitação de Interesse Social Alvorada**. Outubro de 2006. 177p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

LEMOS, C. A. C. **História da casa brasileira**. 2. ed. São Paulo: Editora Contexto, 1996.

LEVINSON, M. **The box: how the shipping container made the world smaller and the world economy bigger**. Princeton University Press, 2010.

MACIEL, V.G. **Avaliação do desempenho ambiental da fase agrícola no sistema de produto biodiesel de soja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. 2014. 136p. il. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais), Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Brasil.

MAGROU, R. **Habiter un container?: Un mod(ul)e au service de l'architecture**. Hardcover, 2011.

MARAD. United States Maritime Administration. Open Data Portal | Maritime Data & Statistics. < <https://www.marad.dot.gov/resources/data-statistics/container-maritime>>. Acesso em: Maio 2016.

MARTINEZ, M. F. B. **Avaliação Energética visando Certificação de Prédio Verde**. 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MATOS, G.; WAGNER, L. Consumption Of Materials In The United States, 1900-1995  
1. **Annual Review of Energy and the Environment**, v. 23, n. 1, p. 107-122, 1998.

MCDONOUGH, W. **Green roofs: ecological design and construction**. Schiffer Pub., 2005.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **The Upcycle: Beyond Sustainability--designing for Abundance**. Macmillan, 2013.

MCDONOUGH, William; BRAUNGART, Michael. **Cradle to cradle: Remaking the way we make things**. MacMillan, 2010.

MRD CONTAINERS Disponível em: < <http://www.mrdcontainers.com.br/site2/40-hc/> >. Acesso em: 12 de maio de 2016.

MENTEN, F.; Cheze, B.; Patouillard, L.; Bouvart, F.; **A review of LCA greenhouse gas emissions results for advanced biofuels: The use of meta-regression analysis**. Renewable and Sustainable Energy Review. 19 de Junho de 2013. (ISSN 108-134)

MODENESI, P. J. **Estimativa de Custos em Soldagem**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2001. 7p.

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

PARK M. A. **Biological Anthropology**. 2 ed. California: Mayfield Publishing Company, 1999.

RASHID, A. F. A.; YUSOFF, S. **A review of life cycle assessment method for building industry**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 45, p. 244-248, 2015.

SAADATIAN, Omidreza et al. **A review of energy aspects of green roofs**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 23, p. 155-168, 2013.

SACKETT, A. **Augustine Sackett**. U.S. Patent n. 624,687, 9 maio 1899.

SAGAN, C. **Pálido ponto azul**. Uma visão do futuro da humanidade no espaço. Tradução Rosaura Eichenberg. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

SILVA, V. G. **Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: Diretrizes e Base Metodológica**. Tese, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2003.

SARTORI, I.; HESTNES, A. G. **Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article**. Energy and buildings, v. 39, n. 3, p. 249-257, 2007.

SINGH, A.; BERGHORN, G., JOSHI, S., and SYAL, M. **Review of Life-Cycle Assessment Applications in Building Construction**. Journal of Architectural Engineering, v.17, p. 15–23, 2011.

TAE, S. et al. **Life cycle environmental loads and economic efficiencies of apartment buildings built with plaster board drywall**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, n. 8, p. 4145-4155, out. 2011.

TANIGUTI, E. K. **Método construtivo de vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado**. 1999. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

TABARES-VELASCO, P. C.,; SREBRIC, J. **Experimental quantification of heat and mass transfer process through vegetated roof samples in a new laboratory setup**. International journal of heat and mass transfer, v. 54, n. 25, p. 5149-5162, 2011.

UNIÃO EUROPEIA. **Manual do Sistema ILCD: Sistema internacional de referência de dados do ciclo de produtos e processos**: Guia geral para avaliações do ciclo de vida : orientações detalhadas. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia -Ibict: Brasília, 2014.

UNITED NATIONS. DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. POPULATION DIVISION. **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision**. UN, 2014.

USEPA. U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation. LCAccess - LCA 101. 2001. Disponível em: < <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca101.htm> >. Acesso em: 22 de maio de 2016.

USGBC, LEED. for New Construction and Major Renovations. **USGBC–United States Green Building Council, Washington, DC (2011) (updated November 2011)**, 2009.

VAN MECHELEN, Carmen et al. **Functional diversity as a framework for novel ecosystem design**: The example of extensive green roofs. *Landscape and Urban Planning*, v. 136, p. 165-173, 2015.

VILLANUEVA, J.L.C. **Análisis de la Confiabilidad de las Metodologías EICV**. Oviedo. 2012. 144p. (Mestrado em gestão de projetos). Universidade de Oviedo. Espanha.

VIGON, B. W.; HARRISON, C. L. **Life-cycle assessment: Inventory guidelines and principles**. 1993.

XU, Tengfang; SATHAYE, Jayant; AKBARI, Hashem; GARC, Vishal; TETALI, Surekha. **Quantifying the direct benefits of cool roofs in an urban setting: Reduced cooling energy use and lowered greenhouse gas emissions**. *Building and Environment*, v. 48, p. 1-6, 2012.

ZEFERINO, Z. T.. Mercado do drywall no Brasil. **Equipe de Obra**, n. 66, p. 20-31, maio 2013.

ZUO, J.; ZHAO, Z. **Green building research—current status and future agenda: A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 30, p. 271-281, 2014.

ANEXO 1



LEED para Novas Construções 2009  
Registro Projeto Checklist



Nome do Projeto:  
Endereço do Projeto:

Yes ? No **Espaço Sustentável** **26 Pontos**

<input checked="" type="checkbox"/>	Pré-requisito 1	<b>Prevenção da poluição na atividade da Construção</b>	Requisito
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 1	<b>Seleção do Terreno</b>	1
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 2	<b>Densidade Urbana e Conexão com a Comunidade</b>	5
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 3	<b>Remediação de áreas contaminadas</b>	1
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 4.1	<b>Transporte Alternativo, Acesso ao Transporte público</b>	6
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 4.2	<b>Transporte Alternativo, Bicletário e Vestiário para os ocupantes</b>	1
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 4.3	<b>Transporte Alternativo, Uso de Veículos de Baixa emissão</b>	3
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 4.4	<b>Transporte Alternativo, Área de estacionamento</b>	2
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 5.1	<b>Desenvolvimento do espaço, Proteção e restauração do Habitat</b>	1
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 5.2	<b>Desenvolvimento do espaço, Maximizar espaços abertos</b>	1
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 6.1	<b>Projeto para águas Pluviais, Controle da quantidade</b>	1
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 6.2	<b>Projeto para águas pluviais, Controle da qualidade</b>	1
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 7.1	<b>Redução da ilha de calor, Áreas Descobertas</b>	1
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 7.2	<b>Redução da ilha de calor, Áreas Cobertas</b>	1
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 8	<b>Redução da Poluição Luminosa</b>	1

Yes ? No **Uso Racional da Água** **10 Pontos**

<input checked="" type="checkbox"/>	Pré-requisito 1	<b>Redução no Uso da Água</b>	Requisito
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 1	<b>Uso eficiente de água no paisagismo</b>	2 a 4
<input checked="" type="checkbox"/>		Redução de 50%	2
<input checked="" type="checkbox"/>		Uso de água não potável ou sem irrigação	4
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 2	<b>Tecnologias Inovadoras para águas servidas</b>	2
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 3	<b>Redução do consumo de água</b>	2 a 4
<input checked="" type="checkbox"/>		Redução de 30%	2
<input checked="" type="checkbox"/>		Redução de 35%	3
<input checked="" type="checkbox"/>		Redução de 40%	4

Yes ? No **Energia e Atmosfera** **35 Pontos**

<input checked="" type="checkbox"/>	Pré-requisito 1	<b>Comissionamento dos sistemas de energia</b>	Requisito
<input checked="" type="checkbox"/>	Pré-requisito 2	<b>Performance Mínima de Energia</b>	Requisito
<input checked="" type="checkbox"/>	Pré-requisito 3	<b>Gestão Fundamental de Gases Refrigerantes, Não uso de CFC's</b>	Requisito
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 1	<b>Otimização da performance energética</b>	1 a 19
<input checked="" type="checkbox"/>		12% Prédios novos ou 8% Prédios reformados	1
<input checked="" type="checkbox"/>		14% Prédios novos ou 10% Prédios reformados	2
<input checked="" type="checkbox"/>		16% Prédios novos ou 12% Prédios reformados	3
<input checked="" type="checkbox"/>		18% Prédios novos ou 14% Prédios reformados	4
<input checked="" type="checkbox"/>		20% Prédios novos ou 16% Prédios reformados	5
<input checked="" type="checkbox"/>		22% Prédios novos ou 18% Prédios reformados	6
<input checked="" type="checkbox"/>		24% Prédios novos ou 20% Prédios reformados	7
<input checked="" type="checkbox"/>		26% Prédios novos ou 22% Prédios reformados	8
<input checked="" type="checkbox"/>		28% Prédios novos ou 24% Prédios reformados	9
<input checked="" type="checkbox"/>		30% Prédios novos ou 26% Prédios reformados	10
<input checked="" type="checkbox"/>		32% Prédios novos ou 28% Prédios reformados	11
<input checked="" type="checkbox"/>		34% Prédios novos ou 30% Prédios reformados	12
<input checked="" type="checkbox"/>		36% Prédios novos ou 32% Prédios reformados	13
<input checked="" type="checkbox"/>		38% Prédios novos ou 34% Prédios reformados	14
<input checked="" type="checkbox"/>		40% Prédios novos ou 36% Prédios reformados	15
<input checked="" type="checkbox"/>		42% Prédios novos ou 38% Prédios reformados	16
<input checked="" type="checkbox"/>		44% Prédios novos ou 40% Prédios reformados	17
<input checked="" type="checkbox"/>		46% Prédios novos ou 42% Prédios reformados	18
<input checked="" type="checkbox"/>		48% Prédios novos ou 44% Prédios reformados	19
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 2	<b>Geração local de energia renovável</b>	1 a 7
<input checked="" type="checkbox"/>		1% Energia Renovável	1
<input checked="" type="checkbox"/>		3% Energia Renovável	2
<input checked="" type="checkbox"/>		5% Energia Renovável	3
<input checked="" type="checkbox"/>		7% Energia Renovável	4
<input checked="" type="checkbox"/>		9% Energia Renovável	5
<input checked="" type="checkbox"/>		11% Energia Renovável	6
<input checked="" type="checkbox"/>		13% Energia Renovável	7
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 3	<b>Melhoria no comissionamento</b>	2
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 4	<b>Melhoria na gestão de gases refrigerantes</b>	2
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 5	<b>Medições e Verificações</b>	3
<input checked="" type="checkbox"/>	Crédito 6	<b>Energia Verde</b>	2

Yes	?	No	Materiais e Recursos		14 Pontos
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pré-requisito 1	<b>Depósito e Coleta de materiais recicláveis</b>	Requisito
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 1.1	<b>Reuso do edifício</b> , Manter Paredes, Pisos e Coberturas Existentes	1 a 3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Reuso de 55%	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Reuso de 75%	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Reuso de 95%	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 1.2	<b>Reuso do Edifício</b> , Manter Elementos Internos não estruturais	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 2	<b>Gestão de Resíduos da Construção</b>	1 a 2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Destinar 50% para o reuso	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Destinar 75% para o reuso	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 3	<b>Reuso de Materiais</b>	1 a 2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Reuso de 5%	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Reuso de 10%	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 4	<b>Conteúdo Reciclado</b>	1 a 2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> 10% do Conteúdo	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> 20% do Conteúdo	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 5	<b>Materiais Regionais</b>	1 a 2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> 10% dos Materiais Extraído, Processado e Manufaturado Regionalmente	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> 20% dos Materiais Extraído, Processado e Manufaturado Regionalmente	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 6	<b>Materiais de Rápida Renovação</b>	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 7	<b>Madeira Certificada</b>	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Yes ? No	<b>Qualidade Ambiental Interna</b>	
					15 Pontos
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pré-requisito 1	<b>Desempenho Mínimo da Qualidade do Ar Interno</b>	Requisito
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pré-requisito 2	<b>Controle da fumaça do cigarro</b>	Requisito
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 1	<b>Monitoração do Ar Externo</b>	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 2	<b>Aumento da Ventilação</b>	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 3.1	<b>Plano de Gestão de Qualidade do Ar</b> , Durante a Construção	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 3.2	<b>Plano de Gestão de Qualidade do Ar</b> , Antes da ocupação	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 4.1	<b>Materiais de Baixa Emissão</b> , Adesivos e Selantes	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 4.2	<b>Materiais de Baixa Emissão</b> , Tintas e Vernizes	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 4.3	<b>Materiais de Baixa Emissão</b> , Carpetes e sistemas de piso	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 4.4	<b>Materiais de Baixa Emissão</b> , Madeiras Compostas e Produtos de Agrofibras	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 5	<b>Controle interno de poluentes e produtos químicos</b>	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 6.1	<b>Controle de Sistemas</b> , Iluminação	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 6.2	<b>Controle de Sistemas</b> , Conforto Térmico	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 7.1	<b>Conforto Térmico</b> , Projeto	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 7.2	<b>Conforto Térmico</b> , Verificação	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 8.1	<b>Iluminação Natural e Paisagem</b> , Luz do dia	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 8.2	<b>Iluminação Natural e Paisagem</b> , Vistas	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Yes ? No	<b>Inovação e Processo do Projeto</b>	
					6 Pontos
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 1	<b>Inovação no Projeto</b> : Insira o título	1 a 5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Inovação ou Performance Exemplar	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Inovação ou Performance Exemplar	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Inovação ou Performance Exemplar	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Inovação	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Inovação	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 2	<b>Profissional Acreditado LEED®</b>	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Yes ? No	<b>Créditos Regionais</b>	
					4 Pontos
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 1	<b>Prioridades Regionais</b>	1 a 4
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Prioridades Ambientais Específicas da Região	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Prioridades Ambientais Específicas da Região	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Prioridades Ambientais Específicas da Região	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Prioridades Ambientais Específicas da Região	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Yes ? No	<b>Total de Pontuação do Projeto (Estimativa de Certificação)</b>	
					110 Pontos

Certificado: 40-49 pontos Prata: 50-59 pontos Ouro: 60-79 pontos Platinum: 80 pontos ou mais



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Pró-Reitoria Acadêmica  
Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 1 - 3º. andar  
Porto Alegre - RS - Brasil  
Fone: (51) 3320-3500 - Fax: (51) 3339-1564  
E-mail: [proacad@pucrs.br](mailto:proacad@pucrs.br)  
Site: [www.pucrs.br/proacad](http://www.pucrs.br/proacad)