



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BEATRIZ BETONE DE LIMA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL EM
PRESIDENTE PRUDENTE

JANDAIA DO SUL

2021

BEATRIZ BETONE DE LIMA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO DE
UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL DE ALTO PADRÃO LOCALIZADA EM
PRESIDENTE PRUDENTE.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Produção,
da Universidade Federal do Paraná, Campus
avançado Jandaia do Sul como requisito à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia de
Produção.

Orientador: Prof. Dr. Giancarlo Alfonso Lóvon
Canchumani

JANDAIA DO SUL

2021

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas/UFPR
Biblioteca do Campus Jandaia do Sul
Bibliotecária: Neide Olga S. Paula – CRB 9/1477

L732a Lima, Beatriz Betone de
Avaliação do ciclo de vida da construção civil: estudo de caso de uma edificação residencial de alto padrão localizada em Presidente Prudente / Beatriz Betone de Lima. - Jandaia do Sul, 2021.
88f.

Orientador: Prof. Dr. Giancarlo Alfonso Lóvon Canchumani
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção, Campus Avançado de Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

1. Avaliação do ciclo de vida – construção civil. 2. Impactos ambientais. I. Canchumani, Giancarlo Alfonso Lóvon. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD: 628.4



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº 042 BEATRIZ BETONE DE LIMA/2021/UFPR/R/JA/CCEP
PROCESSO Nº 23075.079917/2019-87
INTERESSADO: BEATRIZ BETONE DE LIMA

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL EM PRESIDENTE PRUDENTE

AUTORA: BEATRIZ BETONE DE LIMA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO DO GRAU NO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, APROVADO PELA SEGUINTE BANCA EXAMINADORA.

Dr. Giancarlo Alfonso Lovón Canchumani (Orientador)

Dr. William Rodrigues dos Santos

Dr. Rafael Germano Dal Molin Filho



Documento assinado eletronicamente por **GIANCARLO ALFONSO LOVON CANCHUMANI, VICE / SUPLENTE COORDENADOR(A) DE CURSO DE GRADUACAO (CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUCAO) - JA**, em 12/04/2021, às 18:04, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **RAFAEL GERMANO DAL MOLIN FILHO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/04/2021, às 18:25, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **WILLIAM RODRIGUES DOS SANTOS, COORDENADOR(A) DE CURSO DE GRADUACAO (CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUCAO) - JA**, em 16/04/2021, às 09:48, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **3436076** e o código CRC **A9C3F5E6**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha família, em especial aos meus pais, Luciani e Valdemir e aos meus irmãos Anna Clara e Murillo, que sempre me incentivaram, apoiaram e deram total suporte.

Meus amigos da minha cidade natal Presidente Prudente e meus amigos da universidade por todo apoio.

As moradoras da minha residência que tiveram total paciência comigo durante toda a jornada.

Todos os professores, e principalmente os orientadores, Prof. Dr. Giancarlo Lovón, Prof. Dr. Eduardo Meurer, e Prof. Dr. André L. Gazoli por compartilharem todos seus conhecimentos.

RESUMO

Diante da importância do setor da construção e dos grandes impactos gerados por ela, há uma grande tendência que visa às construções mais limpas, optando por materiais de construções que geram menor impacto. De acordo com isso, uma estratégia é a utilização da ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para avaliar e quantificar o impacto ambiental de cada produto e até mesmo de uma obra de construção final, sendo possível propor melhorias. Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o ciclo de vida de uma edificação residencial localizada na cidade de Presidente Prudente – SP e propor ações mitigadoras. A modo de atingir este objetivo, foi utilizado a metodologia ISO 14040, junto com diversos documentos coletados, e o método ReCiPe para avaliação de impacto ambiental. Para tratamento de dados e avaliação de impacto foram utilizados o banco de dados Ecoinvent 3 e o Software Simapro 9.0.0.49. Como resultado do trabalho, concluímos que as categorias que a construção mais impacta em relação a saúde humana são aquecimento global e formação de material particulado, em relação ao dano ao ecossistema também é o aquecimento global, e em relação ao consumo de recursos é a escassez de recursos fósseis. Já os insumos que mais impactam são as esquadrias de alumínio utilizadas em portas e janelas, sendo que os maiores impactos são nas categorias de formação de material particulado, uso de terra e escassez de recursos fósseis, em relação a saúde humana, dano ao ecossistema e uso de recursos respectivamente, isso porque há um grande consumo de energia e de recurso para fazer a liga de alumínio e depois as esquadrias. O cimento e o tijolo são outros insumos que possuem grandes impactos ambos com maiores impactos nas categorias de aquecimento global tanto em danos a saúde humana como em danos ao ecossistema e escassez de recursos fósseis. Isso porque são materiais que além de consumir recursos naturais, passam por queimas que emitem gases e há um grande volume de uso do mesmo na construção. E como principal medida mitigadora, foi proposta a separação a reciclagem de resíduos, podendo ser reutilizado, vendido e diminuir o transporte de resíduos.

Palavras Chaves: Avaliação do Ciclo de Vida; Construção Civil; Impactos Ambientais

ABSTRACT

In view of the importance of the construction sector and the great impacts generated by it, there is a great trend towards cleaner buildings, opting for construction materials that generate less impact. Accordingly, a strategy is to use the Life Cycle Assessment (LCA) tool to assess and quantify the environmental impact of each product and even a final construction work, with the possibility of proposing improvements. Therefore, the present work aims to evaluate the life cycle of a residential building located in the city of Presidente Prudente - SP and mitigating actions. In order to achieve this objective, the ISO 14040 methodology was used, along with several documents collected, and the ReCiPe method for environmental impact assessment. For data treatment and impact assessment, the Ecoinvent 3 database and the Simapro 9.0.0.49 software were used. As a result of the work, we conclude that the categories that the construction most impacts in relation to human health are global warming and the formation of particulate matter, in relation to the damage to the ecosystem it is also global warming, and in relation to the consumption of resources is the scarcity fossil resources. The inputs that most impact are the aluminum frames used in doors and windows, with the greatest impacts being in the categories of particulate material formation, land use and scarcity of cesspool resources, in relation to human health, damage to the ecosystem and use of resources respectively, this is because there is a large consumption of energy and resources to make the aluminum alloy and then as frames. Cement and brick are other inputs that have major impacts with greater impacts on the categories of global warming, both in damage to human health and in damage to the ecosystem and scarcity of fossil resources. This is because they are materials that, in addition to consuming natural resources, undergo burns that emit gases and there is a large volume of use of it in construction. And as the main mitigating measure, it was proposed to separate waste for recycling, which can be reused, sold and reduce the transportation of waste.

Key words: Life Cycle Assessment; Construction; Environmental impacts

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	16
FIGURA 2- CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES	21
FIGURA 3- TIPOS DE ACV	24
FIGURA 4- SISTEMA.....	25
FIGURA 5- EVOLUÇÃO DO PIB DO BRASIL E DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO PERÍODO DE 2010 A 2019	29
FIGURA 6- COMPARATIVO PIB DO BRASIL E PIB DE DIVERSOS SETORES EM 2019.....	30
FIGURA 7- RESUMO CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	34
FIGURA 8- ESTRUTURA DA MÉTODOLOGIA ACV	35
FIGURA 9- DELIMITAÇÃO DO SISTEMA	36
FIGURA 10 - PLANTA BAIXA DA RESIDÊNCIA	37
FIGURA 11- FACHADA DA RESIDÊNCIA.....	38
FIGURA 12- ÁREA DE LAZER DA RESIDÊNCIA	38
FIGURA 13 - FLUXO DO SISTEMA.....	46
FIGURA 14- INVENTÁRIO EUROPEU DO TIJOLO	49
FIGURA 15 - INVENTÁRIO BRASILEIRO DO TIJOLO	50
FIGURA 16- PESQUISA PELO TERMO TIJOLO	51
FIGURA 17a - INVENTARIO CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL.....	52

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- NORMAS ISO 14000.....	19
QUADRO 2 - DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DA ACV.....	23
QUADRO 3- MÉTODOS AICV	27
QUADRO 4- SALDO DO EMPREGO FORMAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL EM 2019	30
QUADRO 5a - LEVANTAMENTO TEÓRICO	32
QUADRO 5b - LEVANTAMENTO TEÓRICO	33
QUADRO 6a - ALTERAÇÕES DO INVENTÁRIO	40
QUADRO 6b - ALTERAÇÕES DO INVENTÁRIO	41
QUADRO 6c - ALTERAÇÕES DO INVENTÁRIO	42
QUADRO 7 - CATEGORIAS MIDPOINT E ENDPOINT	43
QUADRO 8a – INVENTÁRIO.....	45
QUADRO 8b - INVENTÁRIO.....	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- INVENTÁRIO DE TRANSPORTE	46
TABELA 2a- CARACTERIZAÇÃO AICV DA CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL EM ESTUDO, MÉTODO RECIPE.	59
TABELA 2b- CARACTERIZAÇÃO AICV DA CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL EM ESTUDO, MÉTODO RECIPE.	60

SUMÁRIO	11
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
2.1 GESTÃO AMBIENTAL	17
2.2 ISO 14000	18
2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)	19
2.3.1 Conceito	20
2.3.2 Histórico da ACV	21
2.4 ESTRUTURA DA ACV	23
2.4.1 Objetivo e escopo	24
2.4.2 Inventário	25
2.4.3 Método de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)	26
2.4.4 Interpretação	27
2.4.5 Softwares de ACV	27
2.5 A CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 70 ANOS	28
2.6 ACV APLICADO AO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL	31
3.1 CLASSIFICAÇÃO DE PESQUISA	34
3.2 COLETA DE DADOS	35
3.3 METODOLOGIA ACV	35
3.3.1 Objetivo e escopo	35
3.3.1.1 Descrição do objeto de estudo	36
3.3.3 Tratamento de dados	39
3.3.4 Método AICV	42
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	44
4.1 FLUXO DO SISTEMA	44
4.2 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA	44
4.3 TRANSPORTE	47
4.4 TRATAMENTO DE DADOS NO SOFTWARE SIMAPRO	48
4.5 AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA – AICV	54
4.5.1 Modelagem do sistema em rede AICV	54
4.5.2 Caracterização	54
4.5.3 Avaliação de danos	61
4.6 COMPARAÇÃO DE MATERIAL	63
4.7 INTERPRETAÇÃO E MEDIDAS MITIGADORAS	74

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
REFERÊNCIAS.....	78

1 INTRODUÇÃO

Após as revoluções industriais, a superprodução e o hábito de consumo desenfreado geraram um impacto e um passivo ambiental relevante. Entretanto, desde o fim da década de 80, a população começou a se conscientizar e mudar seus hábitos e preferências. A partir disso, as indústrias começaram se adequar às novas prioridades dos consumidores, buscando uma postura ambiental menos agressiva (SAADE, 2017; SILVA, 2005). Adotando muitas vezes a prática de sustentabilidade empresarial, conceito que busca promover as práticas sustentáveis da empresa como um diferencial competitivo (XAVIER *et. al.*, 2015).

O setor da construção civil apesar de ser um importante setor econômico e social, pois gera empregos e movimentação a economia é marcado pelo seu impacto ambiental considerável (CUNHA, 2012). Segundo Bribrián *et. al.* (2011) 25% de toda matéria prima extraída é utilizada na construção civil. Além disso, este setor ainda é responsável por cerca de 50% a 70% de todo resíduo sólido urbano (BRASIL, 2005).

Tendo em vista a importância do setor na economia, mas também o fato de consumir muito recursos e gerar muitos resíduos, esse setor também buscou se adaptar a essa nova realidade, pensando sustentável e inovando por meio de novos processos e tecnologias. Uma maneira de realizar isso e reduzir os impactos ambientais, é aplicando a ferramenta de avaliação do ciclo de vida (ACV), que permite avaliar os impactos ambientais gerados por produtos e serviços ao longo do seu ciclo de vida, que são fases que consiste desde o planejamento, até a disposição final ou reciclagem. (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC), 2017;) Segundo Blengini *et. al.* (2013) esta ferramenta é um dos métodos mais promissores para avaliar e classificar os aspectos ambientais de um produto.

A ferramenta de avaliação do ciclo de vida aplicada à construção civil tem sido utilizada, pois é capaz de identificar o dano ambiental que a obra poderá causar futuramente, além de analisar desde os materiais usados até a disposição final dos resíduos, identificando qual o mais impactante para o meio ambiente, tornando possível propor melhorias para a próxima construção (SANTOS *et. al.*, 2016).

Visto que a conscientização ambiental e a sustentabilidade vêm se desenvolvendo, e juntamente a construção civil, o presente trabalho tem como objetivo fornecer informações para projetos futuros e responder a seguinte questão:

- Quais são os impactos ambientais gerados na construção de uma edificação residencial localizada na cidade de Presidente Prudente – SP?

1.1 JUSTIFICATIVA

A sustentabilidade vem se desenvolvendo e ganhando espaço em diversos setores, entre eles a engenharia de produção, que apresenta um ramo, conhecido como engenharia sustentável, que tem por objetivo promover melhorias que resultem em um impacto ambiental menor (OLIVEIRA *et. al.*, 2011). Segundo Trento *et. al.* (2016) os engenheiros de produção necessitam desenvolver novos modelos de produção mais eficientes e menos poluentes, pois os recursos naturais finitos estão se esgotando. Segundo Xavier *et. al.* (2015) a engenharia de produção atrelada à sustentabilidade pode maximizar os lucros das empresas, pela sua capacidade de interagir entre diversos setores e repensar processos.

Segundo Silva (2005, p.2) “De acordo com o *Worldwatch Institute*, em nível mundial, a construção de edifícios consome, anualmente, 40% de matéria-prima, 66% de madeira, 40% de energia e cerca de 16% do volume de água (DIMSON, 1996; LIPPIATT, 1998; IWATA *et. al.*, 2000; LIPPIATT; NORRIS, 2003).”

Além disso, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) em 2017 foram coletadas 123.421 toneladas de resíduos da construção civil por dia no Brasil.

Apesar de a ACV ser uma importante ferramenta, e com bastante utilidade para o setor da construção civil, para Passuello *et. al.* (2014, p.8):

Os impactos relativos ao ciclo de vida de produtos e processos estão altamente relacionados a características locais do estudo. Existe carência de estudos de ACV de materiais de construção no Brasil. Assim sendo, fazem-se necessários estudos que relacionem a prática da ACV ao cenário local, de modo a torná-la um instrumento de gestão aplicável à realidade brasileira (PASSUELLO *et. al.* 2014, p.8).

Outros autores, Medeiros *et. al.* (2018, p.365) também ressalta que os trabalhos de ACV:

Demonstram-se ainda as adaptações necessárias nos inventários dos processos europeus de fabricação para maior adequabilidade à realidade brasileira, visto que os nacionais ainda são incipientes (MEDEIROS *et. al.* 2018, p.365).

Tendo em vista todos os fatores, o desenvolvimento da sustentabilidade na engenharia de produção, a importância do setor da construção civil e o seu grande potencial poluidor, e falta de trabalhos na área, nota-se a importância de realizar este trabalho.

1.2 OBJETIVOS

A secção vigente apresentará o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o ciclo de vida de uma edificação residencial localizada na cidade de Presidente Prudente – SP.

1.2.2 Objetivos específicos

Em função de atingir o objetivo do trabalho, o mesmo é seguido pelos seguintes propósitos:

- Modelar as fases de uma edificação residencial de alto padrão;
- Identificar inventários do ciclo de vida de edificações residenciais;

Avaliar o inventário do ciclo de vida de uma edificação residencial de alto padrão;

- Avaliar os impactos ambientais de uma edificação residencial localizada na cidade de Presidente Prudente – SP;
- Comparar inventários e os impactos ambientais de insumos utilizados na construção de uma residencial de alto padrão;

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi estruturado em cinco capítulos, que estão organizados da seguinte maneira:

O capítulo 1 faz uma breve introdução ao tema, abordando tópicos sobre o setor do estudo e a ferramenta utilizada. Além de justificar os motivos de realização do trabalho e apresentar os objetivos geral e específico do trabalho.

No capítulo 2 é realizada a revisão da literatura onde são colocados em pauta os principais conceitos teóricos relacionados ao trabalho, e levanto trabalhos que aplicaram a mesma ferramenta no mesmo setor.

O capítulo 3 classifica a pesquisa, explica a metodologia aplicada, e apresenta o objeto de estudo utilizado.

O capítulo 4 apresenta os resultados da pesquisa, em forma de gráficos e dados e o capítulo 5 discute sobre estas informações, faz uma breve conclusão do trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

A Figura 1 mostra a estruturação do presente trabalho.

FIGURA 1- ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Introdução	Revisão da Literatura	Metodologia	Resultados	Considerações Finais
<ul style="list-style-type: none"> • Justificativa • Objetivos • Estruturação trabalho 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestão Ambiental • ISO 14000 • ACV • Histórico ACV • Estrutura ACV • Construção Civil no Brasil • ACV na Construção Civil 	<ul style="list-style-type: none"> • Classificação de Pesquisa • Coleta de dados • Metodologia ACV 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelagem do sistema • Inventário • Método AICV 	<ul style="list-style-type: none"> • Conclusões • Recomendações

FONTE: Autora (2021)

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo está dividido em cinco subcapítulos: gestão ambiental, ISO 14000, ACV, construção civil, ACV aplicado à construção civil.

2.1 GESTÃO AMBIENTAL

Após a segunda guerra mundial, houve um crescimento na produção em massa, principalmente em razão das disponibilidades de novas tecnologias, ocasionando o desenvolvimento da economia, mas também problemas sociais e ambientais, pois a busca pelo lucro a qualquer custo fez com que as explorações dos recursos naturais aumentassem, como se os mesmos fossem inesgotáveis, o que provocou a diminuição da qualidade ambiental com a geração de maior quantidade de resíduos, e principalmente disposição final inadequada (ALVES; FREITAS, 2013).

Entretanto, a preocupação pela utilização excessiva dos recursos naturais fez com que se iniciassem os movimentos de proteção à natureza, como foi o caso da “Conferência sobre a Biosfera” que aconteceu em 1968 em Paris, da “Conferência de Estocolmo” em 1972, e a conferência “Rio 92”, que foi uma das conferências mais importante já realizada, estendendo a luta pela consciência ambiental até os dias atuais (BORGES; TACHIABANA, 2005).

Conforme a conscientização sobre o meio ambiente e seus recursos foram se concretizando, órgãos públicos foram criados para administrar o assunto. Atualmente temos o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), o Ministério do Meio Ambiente (MMA) o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA); Esses órgãos são responsáveis por planejar e controlar a política nacional relacionada ao meio ambiente, além de fiscalizar o cumprimento das leis também relacionadas a este.

Além das conferências e dos órgãos públicos responsáveis, citados anteriormente, há também inúmeros profissionais, que buscam o conhecimento específico de cada recurso, com objetivo de otimizar o uso do mesmo. Como por exemplo, engenharia hídrica, engenharia do petróleo, entre outros. Dessa maneira, a gestão ambiental, que é a competência de gerir as atividades ligadas ao meio ambiente, tem se tornado cada vez mais ampla e ramificada.

Pensando nesse contexto, há a gestão ambiental doméstica que pode ser realizada dentro das próprias residências, buscando diminuir o consumo de água e energia elétrica, separando o lixo e promovendo uma disposição final adequada, e reduzindo a emissão de gás estufa por meio da utilização de equipamentos mais apropriados. E também há a gestão ambiental industrial que tem o mesmo propósito da doméstica, mas com uma escala muito maior e podendo envolver produtos mais complexos, como produtos químicos (NASCIMENTO, 2012).

Visto, que a gestão ambiental, tem uma vasta aplicação, a mesma também possui diferentes metodologias, que são utilizadas de acordo com o objetivo específico do projeto. No caso específico, a ferramenta ACV, é utilizada quando o objetivo é identificar o processo ou produto que causa maior impacto ambiental. Além disso, existem inúmeras ferramentas de outra competência que atualmente estão sendo adaptadas para a gestão ambiental, como é o caso da ferramenta '*Total Quality Environmental Management*' (TQEM) que em português significa Gestão da Qualidade Ambiental Total, que foi adaptada do setor de gestão de qualidade.

Além das ferramentas para auxiliar na tomada de decisão ou acessão do objetivo, há também algumas estratégias que estão sendo adotadas por empresas, em busca da redução de impactos. Como por exemplo, o eco design, que tem como objetivo desenvolver um novo design para o produto utilizando materiais que minimizem o impacto ambiental e facilite a reciclagem e/ou logística reversa (ALVES; FREITAS, 2013).

Em conclusão, a gestão ambiental é um conjunto de ações de controle, monitoramento, planejamento e melhorias que buscam preservar o meio ambiente, visto que nos dias de hoje, grande parte da população tem consciência que os recursos naturais são finitos. Assim, para controle desses atos, existe um conjunto de normas de padronização, a ISO 14000.

2.2 ISO 14000

Devido ao aumento da conscientização ambiental e conseqüentemente aumento das atividades relacionadas a esse tema, a *International Organization for Standardization* (ISO), grupo responsável por criar normas, criou em 1996 a norma ISO 14000, como objetivo padronizar os sistemas de gestão ambiental.

Atualmente, a norma ISO 14000, é composta por diversas outras normas, cada qual específica para um objetivo. Como por exemplo, a ISO 14040 é a norma utilizada para estruturação da ACV. Dessa maneira, além de padronizar, as normas servem como guia para empresas implementarem ou desenvolver seus sistemas de gestão ambiental.

Visto a vasta abrangência da gestão ambiental, suas diversas normas e várias ferramentas. O tópico a seguir detalha a ferramenta específica que será utilizada no presente trabalho. Segue no Quadro 1 o conjunto de normas referentes a série ISO 14000.

QUADRO 1- NORMAS ISO 14000

Norma	Objetivo
14001	Principais requisitos para empresa controlar seus aspectos ambientais
14004	Diretrizes para implementação de um sistema de gestão ambiental
14005	Guia de implementação do sistema de gestão ambiental para pequenas e médias empresas
14020	Normas referentes a certificação ambiental (selo)
14031	Guia para avaliação do desempenho ambiental
14040	Avaliação do ciclo de vida (ACV) - Princípios e estrutura
14044	Avaliação do ciclo de vida (ACV) — Requisitos e orientações
14045	Normas da eco eficiência
14051	Normas para maximizar a utilização de recursos
14063	Comunicação ambiental para empresas
14064	Guia para redução da emissão de gases de efeito estufa
14067	Norma para pegada de carbono em produtos
14069	Guia para calcula da pegada de carbono

FONTE: Adaptado de MARCOVITCH (2012, p.13)

2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

Neste subcapítulo serão abordados diversos assuntos, como conceito, histórico e estrutura. Esses assuntos têm por objetivo explicar o que é a ferramenta, pra que serve, como surgiu, como evoluiu e como ela é aplicada.

2.3.1 Conceito

Para entender o que é a ferramenta ACV, primeiro é necessário entender o termo “Ciclo de Vida” (CV). Todo produto tem uma “vida”, que consiste desde o seu planejamento, até sua disposição final. Composto pela extração de recursos, manufatura, distribuição, uso, eliminação ou reciclagem, muitos autores descrevem estas fases como “do berço ao túmulo” (EKVALL, 2000).

Sendo assim, a avaliação do ciclo de vida (ACV) analisa cada fase do ciclo de vida de um produto ou serviço, a fim de identificar o impacto ambiental gerado por este (CANCHUMANI *et. al.*, 2015).

O que vale ressaltar é que todas as fases na vida de um produto, gera um impacto ambiental, ocasionado pelo consumo de recurso, seja ele matéria prima e/ou energia e emissão de poluentes, seja ele efluentes, gases, resíduos sólidos, entre outros (EKVALL, 2000).

Dessa maneira, uma ACV pode analisar o ciclo de vida completo do produto, ou somente uma de suas fases, sendo chamado de ACV simplificado. A descrição desse tipo de avaliação é realizada de acordo com a fronteira de análise, por exemplo, a análise realizada somente da fase de manufatura, pode ser descrita como “ACV de portão a portão”, pois tem início no portão da fábrica e termina no mesmo.

Segundo a ISO 14040, a ACV é definida como a “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” (ABNT, 2009a, p.2). Ou seja, é a seleção e avaliação das entradas e saídas do ciclo de vida de um produto ou serviço. De encontro a isso, outros autores definem ACV resumidamente da mesma maneira, para Finnveden *et. al.* (2009) e Guinée *et. al.* (2011), a avaliação do ciclo de vida (ACV) é a avaliação dos fluxos de material e de energia.

De acordo com Den Boer *et. al.* (2007) ACV é uma metodologia que determina integradamente os impactos ambientais, ou seja, várias fases do ciclo de vida podem ser incluídas na análise e também diversos aspectos ambientais de diferentes categorias.

Rebitzer *et. al.* (2005) aponta impactos ambientais específicos como, mudanças climáticas, redução da camada de ozônio, eutrofização, acidificação, toxicidade humana entre outros. Mas vale ressaltar, que existem inúmeras categorias de impacto ambiental a ser analisado na ACV, isso varia de acordo com o objetivo do projeto. Na Figura 2 é apresentado o ciclo de vida das edificações.

FIGURA 2- CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES



FONTE: TAVARES (2006, p.19)

2.3.2 Histórico da ACV

A ferramenta de avaliação do ciclo de vida surgiu por volta de 1960, mas somente 10 anos depois foi que aconteceu o primeiro marco histórico, nos Estados Unidos o *Midwest Research Institute* (MRI) realizou uma ACV para a empresa Coca-Cola, com objetivo de identificar qual embalagem teria o menor perfil poluidor (GUINÉE *et. al.*, 2002 *apud* CANCHUMANI, 2013).

Segundo Canchumani (2013) a partir de 1990 ocorreu uma significativa expansão do tema, segundo Lima *et. al.* (2014) uma pesquisa realizada no ‘*Web of Science*’ pelo termo ‘*life cycle assessment*’ que corresponde a ACV em inglês, resultou em 10.490 artigos nos anos de 1990 a 2013. Uma pesquisa realizada pela autora, pelo mesmo termo, no mesmo portal, resultou em 146.063 periódicos de 2014 a 2020.

Com o aumento dos trabalhos, notou-se a desigualdade dos resultados ocasionada pelas diferentes metodologias adotadas. Assim, conclui-se necessário a padronização da metodologia, então entre 1990 e 1993, a Instituição ‘*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*’ (SETAC) reuniu pesquisadores do tema

em diversas conferências, e publicou o primeiro código de prática da ferramenta (COLTRO, 2007).

Alguns anos depois, em 1997, foi publicada pela “*International Organization for Standardization*” (ISO) a norma “*ISO 14040 – Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and framework (1997)*”, que em Português significa princípios e estruturas da ACV. No Brasil, essa norma foi traduzida e publicada em 2001 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

De acordo com Lima (2007) outro marco histórico na história da ACV no Brasil foi em 1998 com a publicação do primeiro livro sobre o assunto: “Análise de Ciclo de Vida de Produtos – Ferramenta Gerencial da ISO 14000” do autor José Ribamar Chehebe, onde o mesmo explica e comenta sobre as normas. Este livro serviu como base e apoio para os primeiros estudos sobre ACV no Brasil.

Com o número crescente de periódicos, em 2004 foi criada a Associação Brasileira do Ciclo de Vida (ABCV) que tem por objetivo promover o ensino, pesquisa e desenvolvimento da ACV por meio de conferências, simpósios, cursos e congressos (ABCV, 2020).

Mesmo com a difusão do tema no âmbito nacional, as maiorias dos bancos de dados existentes são estrangeiros, o que gera dificuldade para produção de trabalhos nacionais. Em 2006, foi proposta a criação um banco de dados brasileiro, que foi publicado pela primeira vez em 2009, nomeado de Sistema Brasileiro de Inventários do Ciclo de Vida (SICV Brasil), este banco de dados tem por função armazenar inventários brasileiros em um único local a fim de contribuir para demais trabalhos (CANCHUMANI, 2015; LIMA, 2007).

Após esses principais marcos, eventos, conferências e fóruns seguem sendo realizados e a ACV evoluindo como mostra. O Quadro 2 mostra o desenvolvimento histórico da ACV.

QUADRO 2 - DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DA ACV

Ano	Descrição
1963	Início dos estudos de ACV
1990	Expansão do tema
1993	Primeiro Código de Prática
1997	Publicação da ISO 14040
1999	Primeiro livro de ACV no Brasil
2001	Primeiro resultado de trabalho brasileiro utilizando metodologia ACV
2002	O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) lança a iniciativa para o Ciclo de Vida
2004	Criação da Associação Brasileira do Ciclo de Vida (ABCV)
2009	Primeiro banco de dados Brasileiro (SICV)
2010	Resolução do Conmetro lança o Programa Brasileiro de ACV (PBACV)
2014	Tradução do Manual do Sistema Internacional de Dados
2015	Realização do 1º fórum Brasileiro de ACV no RJ
2018	1ª Conferência de Inovação do Ciclo de Vida realizado na Alemanha

FONTE: Adaptado de CANCHUMANI (2013, p.49)

Após descrever o que é a ferramenta e como ela surgiu, o tópico a seguir tem por finalidade explicar a estrutura da ferramenta.

2.4 ESTRUTURA DA ACV

Segundo Guinée *et. al.* (2010) anteriormente a norma não existia uma estrutura padrão utilizada o que fazia com que os resultados divergissem no resultado. De acordo com a norma padrão implementada, ISO 14040 que também é utilizada mundialmente para realização dos trabalhos de ACV, há uma estrutura padrão para aplicação da ferramenta, composta por quatro etapas:

- (1) definição de objetivo e escopo;
- (2) análise de inventário;
- (3) avaliação de impactos;
- (4) interpretação de resultados.

2.4.1 Objetivo e escopo

Segundo ISO 14040 (ABNT, 2009a) o objetivo é composto pela descrição de forma clara, sem ambiguidade da aplicação do estudo. Ademais, também deve ser descrito o motivo do estudo e o público a ser atingido pelo mesmo.

Já o escopo é a descrição da abrangência do estudo. Observado pelos autores, Sherwani *et. al.* (2010) e Zhou *et. al.* (2011), deve ser demonstrado nitidamente no escopo o sistema de produto a ser estudado, as fronteiras do sistema, a unidade funcional.

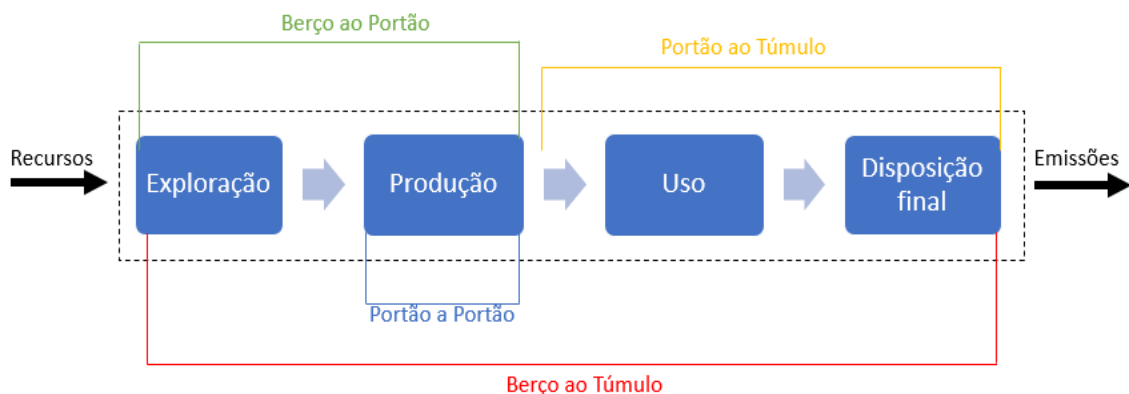
De encontro a isso, a ISO 14044 (ABNT, 2009b) cita que no escopo deve ser considerado, e descreve os seguintes itens:

- Sistema do Produto: conjunto de processos com entradas e saídas.
- Fronteira do Sistema: delimita quais processos serão analisados.
- Unidade Funcional: unidade que será usada de referência para normalização dos dados de entrada e saída.

A ACV não precisa ser do ciclo de vida completo do produto ou serviço, sendo possível realizar um ACV simplificado de apenas uma ou algumas fases do ciclo, é principalmente neste caso que a fronteira do sistema é tão necessária e esclarecedora (KLOPFER, 2014).

O ACV simplificado pode ser aplicado por justificativa a falta de dados, reduzindo complexidade ou para redução de custos (LANA; PEREIRA, 2020). A Figura 3 a seguir mostra os tipos de ACV.

FIGURA 3- TIPOS DE ACV



FONTE: Adaptado de BLENGINI e CARLO (2010)

2.4.2 Inventário

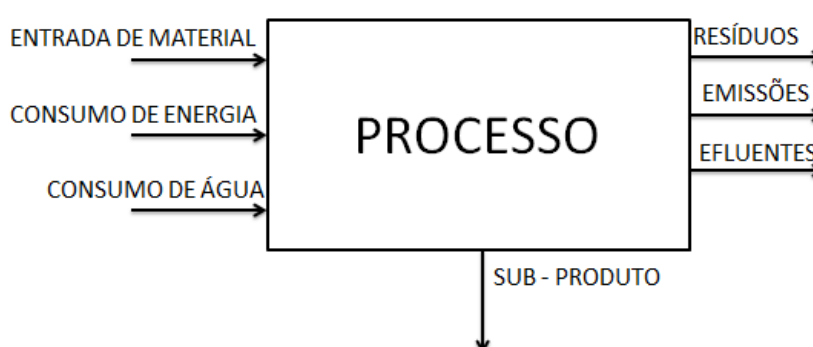
Nesta etapa, o primeiro passo é coletar todas as informações possíveis sobre os recursos utilizados para a produção de um produto ou processo, seja ele, recurso direto ou indireto. Em seguida, padronizam-se esses dados para unidade funcional, para finalmente início da utilização do auxílio do software.

Segundo Kiperstok *et. al.* (2002) o inventário é a fase onde se faz o levantamento de todos os dados necessários para a ACV, materiais, energias, subprodutos, resíduos.

Segundo Ribeiro (2009) esta fase consiste em coletar as entradas e saídas do sistema, seja elas, matéria prima, energia, produto auxiliar, coproduto, resíduos, emissões atmosféricas, efluentes, etc. Além disso, há também a realização do cálculo para normatizar de acordo com a unidade funcional.

A Figura 4 a seguir mostra de maneira genérica um sistema.

FIGURA 4- SISTEMA



FONTE: Adaptado de NIGRI *et. al.* (2021)

Segundo Ribeiro (2009) esta fase consiste em coletar as entradas e saídas do sistema, e também realização do cálculo para normatizar de acordo com a unidade funcional.

Canchumani (2013) e Kiperstok *et. al.* (2002) concordam que esta é a fase mais crítica do trabalho pois é necessário fazer o levantamento dos dados de forma cautelosa, com fontes seguras. Um dado divergente pode resultar em resultados completamente diferentes. Ribeiro (2009) completa que esta é a fase que mais demanda tempo e investimento financeiro.

Para Kiperstok *et. al.* (2002) é necessário ficar atento a características regionais, pois, como já citado anteriormente, a maioria dos bancos de dados são americanos ou europeus, podendo causar divergência no resultado final. Por exemplo, a energia elétrica cadastrada no banco de dados Europeu não possui as mesmas características que a energia elétrica brasileira.

2.4.3 Método de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)

Após levantar todos os dados, começamos a ter informações. Esta fase resulta em valores quantitativos que expressam o impacto ambiental provocado pelo produto ou processo, e também gera resultados qualitativos que expressam a categoria de impacto, seja ele a saúde humana, ao meio ambiente, etc. (SEO; KULAY, 2016; KIPERSTOK, 2002).

Segundo Bianchini (2007) esta etapa classifica, caracteriza e analisa quantitativa e qualitativamente os impactos gerados por meio da análise do inventário de metodologias pré-selecionadas.

Segundo a ISO 14040 (ABNT, 2009) o nível de detalhe, os impactos avaliados, e a metodologia adotada, vão dependerem das fases anteriores, o objetivo e escopo e o inventário. Além disso, a norma também recomenda que no momento da escolha da metodologia sejam levadas em consideração as seguintes etapas:

- **Seleção e Definição de Categorias:** Identificam-se os grandes focos de preocupação ambiental, as categorias e os indicadores que o estudo abordará, focando no objetivo e no escopo (aquecimento global, acidificação, saúde humana, etc.). O ideal é que a definição das categorias seja realizada por meio do conhecimento científico sobre o processo e a relação ambiental.
- **Classificação:** Os dados do inventário são classificados nas categorias definidas anteriormente. A alocação adequada é fundamental para a validação do ciclo de vida.
- **Caracterização:** Manipulação dos dados para conversão em indicadores numéricos da categoria.

O Quadro 3 a seguir mostra os métodos de AICV.

QUADRO 3- MÉTODOS AICV

Métodos AICV
CML
ECO-INDICATOR 99
ECOLOGICAL SCARCITY
EDIP
EPS 2000
IMPACT 2002+
LIME
LUCAS
MEEuP
ReCiPe
TRACI
USEtox
IMPACT World+

FONTE: Adaptado de MENDES *et. al.* (2015)

2.4.4 Interpretação

Como o próprio nome sugere, esta fase tem por finalidade, examinar os dados adquiridos nas etapas anteriores, além de resumir e discutir os mesmos.

Para Chehebe (1998) os objetivos dessa fase são, interpretar resultados obtidos nas fases anteriores, tirar conclusões relacionadas com o objetivo do trabalho, explicar possíveis limitações do trabalho, identificar possíveis melhorias.

De acordo com a ISO 14040 (ABNT, 2009), existem três fatores importantes que devem ser levados em consideração nessa fase:

- Identificação de fatores relevantes (principais impactadores ambientais);
- Avaliação do estudo, como objetivo de verificar integridade, sensibilidade e consistência. Que consiste em, por exemplo, verificar se todos os dados relevantes estão disponíveis;
- Conclusões, recomendações e limitações.

2.4.5 Softwares de ACV

Após compreender todas as etapas para realização de uma ACV é possível notar que o auxílio de meios computacionais é necessário pelo fato de ser uma metodologia complexa, e que demanda cálculos e recursos, sendo assim, os

softwares trazem resultados mais rápidos e confiáveis (RIBEIRO, 2009).

Segundo Campolina *et. al.* (2015) e Ribeiro (2009) existem uma vasta variedade de softwares que auxiliam na aplicação da ACV, cada qual com seus aspectos positivos e negativos.

Os softwares possuem bancos de dados acoplados que poupam consideravelmente o tempo para coleta de dados, reduzem fases manuais, como por exemplo, ao definir a metodologia de avaliação de impacto toda classificação já é feita automaticamente. Ainda, calcula e gera resultados em segundos, acompanhado de gráficos e tabelas, que facilitam a interpretação dos resultados.

Segundo Ribeiro (2009) atualmente existem 35 softwares no mercado, sendo 29 europeus, o que mostra o avanço do continente na aplicação da ferramenta. Ainda, segundo Rodrigues (2008) os softwares mais utilizados são, GaBi, Umberto, SimaPro, Team e LCA, todos também de origem europeia.

Após apresentar os conceitos, história e a estrutura da ACV, na seção seguinte é apresentado o setor de estudo do presente trabalho.

2.5 A CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 70 ANOS

Na década de 50, após a eleição do presidente Juscelino Kubitschek e elaboração do Plano de Metas, o setor da construção civil tornou-se muito importante, tanto para economia como para sociedade (CUNHA, 2012).

Já na década de 60, a alta inflação desacelerou o crescimento do setor, mas algumas ferramentas financeiras adotadas pelo Banco Nacional de Habitação (BNH) fizeram com que o setor voltasse a crescer, até que na década de 80 ocorresse a estagnação do referido setor (CUNHA, 2012).

Em 1997, ocorreu um marco importante no setor imobiliário, que foi publicação da Lei n° 9.514 também conhecidas como Lei de Alienação Fiduciária, que buscou proteger o produtor de imóveis, por meio da retomada do imóvel ao produtor, caso haja inadimplência superior a três meses (BRASIL, 1997).

Já em 2004, outro marco foi a publicação da Lei n° 10.931 conhecida com Patrimônio de Afetação, onde resumidamente o governo dispõe de créditos para promover o incentivo ao mercado imobiliário (BRASIL, 2004).

A crise financeira de 2008, novamente desacelerou tanto o mercado imobiliário que necessita de crédito disponível, como todos os outros setores do Brasil, desde o agronegócio, até as maiores indústrias. Contudo, em 2009, o

Governo Federal, deu início ao programa “Minha Casa Minha Vida”, que tem como objetivo construir habitações para população de baixa renda, tal projeto impulsionou muito o setor da construção civil.

De 2014 a 2018 decorrentes de uma crise financeira Brasileira, o setor da construção civil sofreu um declínio, que resultou no Produto Interno Bruto (PIB) negativo do setor. Entretanto, em 2019 o setor começou se recuperar, apresentando PIB positivo (CBIC, 2020), como é possível ver a seguir na Figura 5.

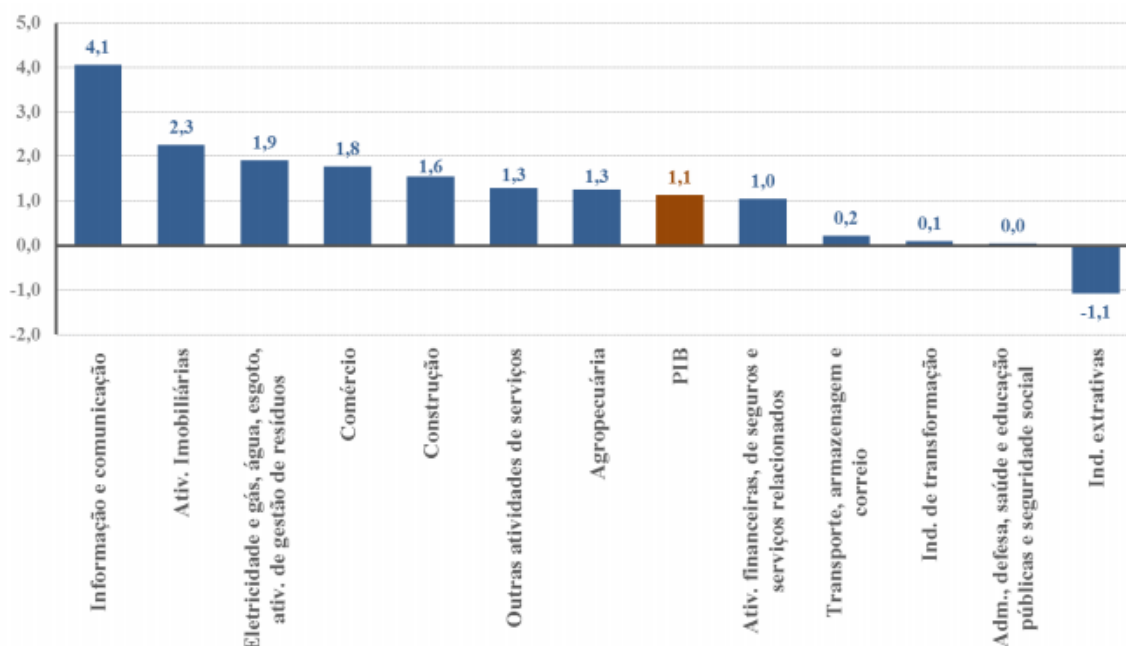
FIGURA 5- EVOLUÇÃO DO PIB DO BRASIL E DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO PERÍODO DE 2010 A 2019



FONTE: SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS (SINDUSCON-MG) (2019)

A Figura 6 a seguir mostra que o PIB da construção civil é quinto maior PIB em relação aos PIBs brasileiros, é por este motivo que o mesmo tem grande influência no PIB nacional, ou seja, uma relação direta, quando o setor da construção civil se desenvolve, o PIB nacional cresce. Sendo assim, um setor muito importante para a economia (CBIC, 2020).

FIGURA 6- COMPARATIVO PIB DO BRASIL E PIB DE DIVERSOS SETORES EM 2019.



FONTE: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2020)

Além da importância relacionada ao PIB, o setor da construção civil é um grande gerador de empregos, fator de grande relevância econômica. Segundo dados do CBIC (2020) só em 2019, o setor gerou 71 mil novas vagas de empregos formais (Quadro 4).

Segundo França (2020), presidente da Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias (ABRAINC), diz que o setor da construção civil gerou mais de 71.115 empregos em 2019, que é equivalente a 11% dos empregos gerados no Brasil.

QUADRO 4- SALDO DO EMPREGO FORMAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL EM 2019

Mês	Saldo
Janeiro	15.991
Fevereiro	11.855
Março	-6.811
Abril	15.362
Mai	9.652
Junho	14.049
Julho	20.677
Agosto	18.622
Setembro	18.448
Outubro	7.410
Novembro	-7.254
Dezembro	-46.886

FONTE: Adaptado de banco de dados CBIC (2020)

Depois de expor a importância e uma breve descrição do setor da construção civil, a seção seguinte apresenta trabalhos que aplicam a ferramenta de ACV neste setor.

2.6 ACV APLICADO AO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL

O setor da construção civil é considerado grande impactante ambiental pelo grande consumo de recursos naturais. Segundo Tavares (2006) esse setor consome entre 14% e 50% de toda a matéria-prima extraída da natureza, 16% de recursos hídricos e 40% de toda fonte de energia.

Além de utilizar muitos recursos, este setor ainda gera muito resíduos, Blengini (2009) defende que, além da reciclagem de resíduos de construção ser economicamente viável e lucrativo, também é um processo positivo do ponto de vista ambiental, onde o potencial energético da reciclagem é de 29% da energia total.

Entretanto, autores como Mercante *et. al.* (2011) e John (2017) ressaltam que nem sempre a reciclagem dos resíduos da construção civil é benéfica, isso se dá pois o processo de reciclagem, de madeira por exemplo, causa mais impacto ambiental do que se comparado com o impacto positivo de não usar um material virgem.

De acordo com São Paulo (2018) muitas vezes o material reciclado não é benéfico em razão da sua durabilidade. Além disso, o autor relata que é preciso conhecer o ciclo produtivo inteiro para afirmar que um produto é sustentável. Isso porque, a matéria prima é sustentável, mas não se sabe sobre outros fatores do processo, por isso a importância do ACV.

Além do uso de recursos naturais e resíduos, alguns estudos falam sobre as fases do ciclo de vida, ou material de construção que mais impactam. Segundo Blengini (2009) o projeto da construção civil é muito importante e, faz total diferença para o impacto ambiental durante sua vida, pelo fato que a escolhas dos materiais podem poupar muito o gasto energético, facilitando o aquecimento ou resfriamento imóvel por exemplo.

Ainda, de encontro a isso, de acordo com Evangelista *et. al.* (2019) a fase da construção da residência é a que mais gera impacto ambientais e em termos de materiais de construção, o concreto, as telhas cerâmicas e aço são os maiores impactantes.

Todavia, segundo Cuéllar-Franca e Azapagic (2012) a maioria dos estudos de ACV são realizados na fase de uso, pois esta fase é responsável por 90% do impacto ambiental causado na construção civil.

Os Quadros 5a e 5b a seguir, mostram outros trabalhos de ACV relacionados a construção civil.

QUADRO 5a - LEVANTAMENTO TEÓRICO

AUTOR	ANO	DOC.	OBJETIVO	MET.	SOFTWARE	RESULTADOS
Jönsson	1998	Artigo	ACV concreto e estruturas metálicas	-	-	Os parâmetros que mais pesaram na avaliação de impacto foram o uso de combustíveis fósseis, CO ₂ , eletricidade, SO, NO, materiais de liga e resíduos, dependendo do método utilizado.
Silva	2005	Dissertação	ACV tijolos	ISO 14040	SimaPro	Entre o tijolo cerâmico maciço, tijolo prensado de solo-cimento e tijolo prensado de escória de alto-forno, o último apresenta melhor desempenho ambiental.
Hansen	2010	Artigo	ACV materiais cerâmicos	ISO 14040	SimaPro	O maior impacto é gerado pelo uso de gás natural e transporte de matéria prima
Bribán	2010	Artigo	ACV comparando materiais de construção tradicionais e ecológicos	ISO 14040	SimaPro	O impacto dos materiais pode ser reduzido significativamente se utilizado técnicas de eco inovação
Saade	2011	Artigo	ACV simplificado do aço e suas escórias	ISO 14040	SimaPro	Para produção de 1 ton. de aço o maior contribuinte para o impacto é o ferro gusa, seguido do gás natural.
Paulsen	2012	Artigo	ACV minha casa minha vida	-	-	O maior gasto energético está relacionado à construção das paredes

FONTE: Autora (2020)

QUADRO 6b - LEVANTAMENTO TEÓRICO

AUTOR	ANO	DOC.	OBJETIVO	MET.	SOFTWARE	RESULTADOS
Bueno	2014	Tese	Comparativo entre ACV para análise da sensibilidade	ISO 14040	GaBi	A fonte de dados e as diferentes metodologias de avaliação de impacto são pontos de grande sensibilidade, podendo gerar dados enganosos.
Vilches	2016	Artigo	Avaliar os ACV de reformas	ISO 14040	SimaPro	Emissão de carbono e gasto energético são as categorias mais avaliadas deste setor
Häfliger	2017	Artigo	ACV materiais de construção	-	-	Um edifício que usou madeira e concreto apresentam os maiores impactos.
Saade	2017	Tese	ACV cimentos e concretos	ISO 14040	SimaPro	A argila calcinada apresentou o pior desempenho em todas as categorias de impacto

FONTE: Autora (2020)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo apresenta a classificação da pesquisa, esclarece como foi realizada a coleta de dados, e demonstra a metodologia ACV relacionada ao objeto de estudo.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DE PESQUISA

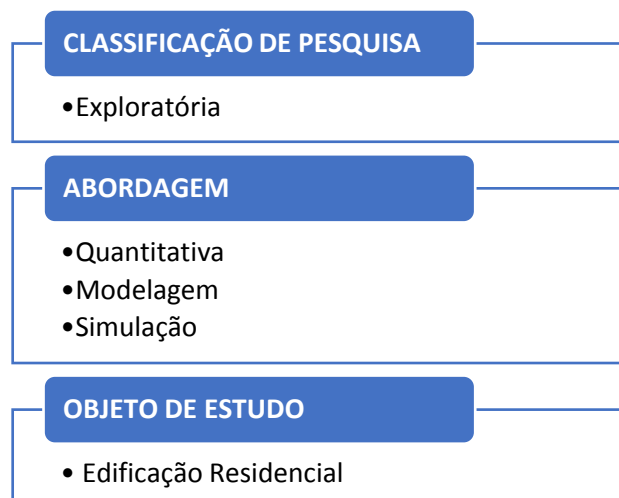
O presente trabalho segue a linha de pesquisa exploratória, que segundo Gil (2008) tem como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, por meio da formulação de problemas mais precisos e com objetivo de proporcionar visão geral. Já segundo Malhotra (2006) a pesquisa exploratória tem como objetivo dissertar sobre problema apresentado.

Ainda segundo Gil (2008) esta metodologia de pesquisa geralmente é composta por levantamento bibliográfico, entrevista não padronizada e estudo de caso.

O estudo relatado tem uma abordagem quantitativa em relação aos dados coletados e em relação ao impacto gerado. Ainda, também assume características de modelagem do sistema e simulação, pois conta com a utilização de softwares para auxiliar nas tomadas de decisões.

Em relação ao procedimento, o estudo utilizou como base, um estudo de caso. A Figura 7 a seguir mostra um resumo de como está classificado a pesquisa.

FIGURA 7- RESUMO CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA



FONTE: Autora (2020)

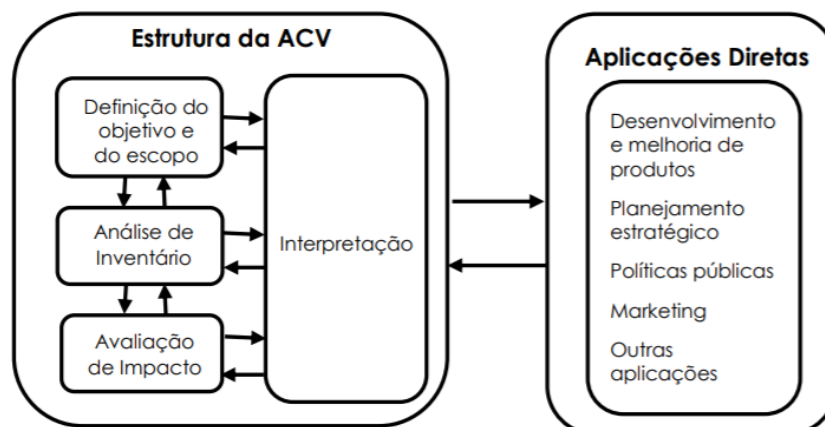
3.2 COLETA DE DADOS

Visando atingir os objetivos propostos nesta pesquisa, a coleta de dados foi desenvolvida por meio de pesquisa documental, entrevista presencial e questionários realizados entre os períodos de junho de 2020 e julho de 2020. Os arquivos referidos se encontram nos Apêndices 1,2,3 e 4 deste trabalho.

3.3 METODOLOGIA ACV

A metodologia aplicada no presente trabalho está de acordo com a norma ISO 14040, responsável por determinar as diretrizes e aplicação da metodologia de ACV, conforme a estrutura apresentada na Figura 8 a seguir.

FIGURA 8- ESTRUTURA DA MÉTODODOLOGIA ACV



FONTE: ABNT/NBR ISO 14040 (2009)

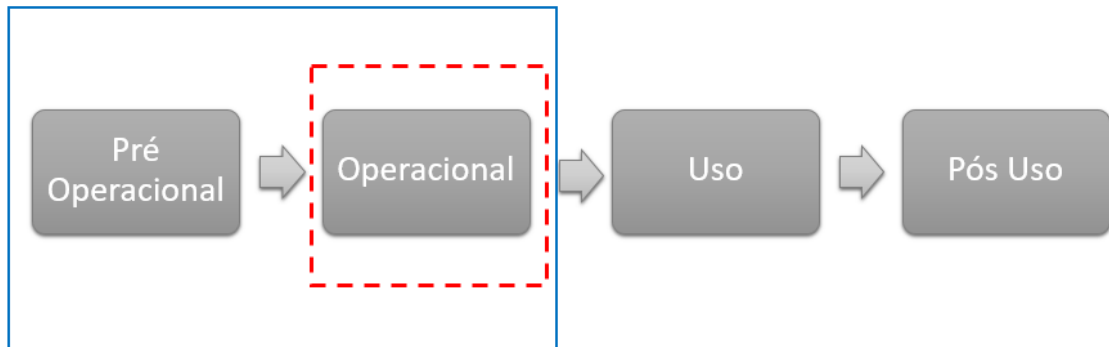
3.3.1 Objetivo e escopo

O objetivo do ACV é avaliar o ciclo de vida da construção de uma casa residencial de médio-alto padrão, dimensionar os potenciais impactos ambientais causados, assim como identificar os materiais que mais contribuem para estes impactos.

No presente trabalho, a ACV foi realizada do “Berço ao Portão” onde as informações da fase pré-operacional (berço ao portão - extração de matéria prima, fabricação de material de construção) foram utilizadas fontes secundárias, ou seja, um banco de dados já existente, e na fase operacional (portão a portão - transporte da loja até o canteiro de obra, operação no canteiro de obra e transporte do resíduo)

foram utilizados dados primários, ou seja, dados coletados da obra. A Figura 9 a seguir, mostra a delimitação do sistema.

FIGURA 9- DELIMITAÇÃO DO SISTEMA



FONTE: Autora (2020)

3.3.1.1 Descrição do objeto de estudo

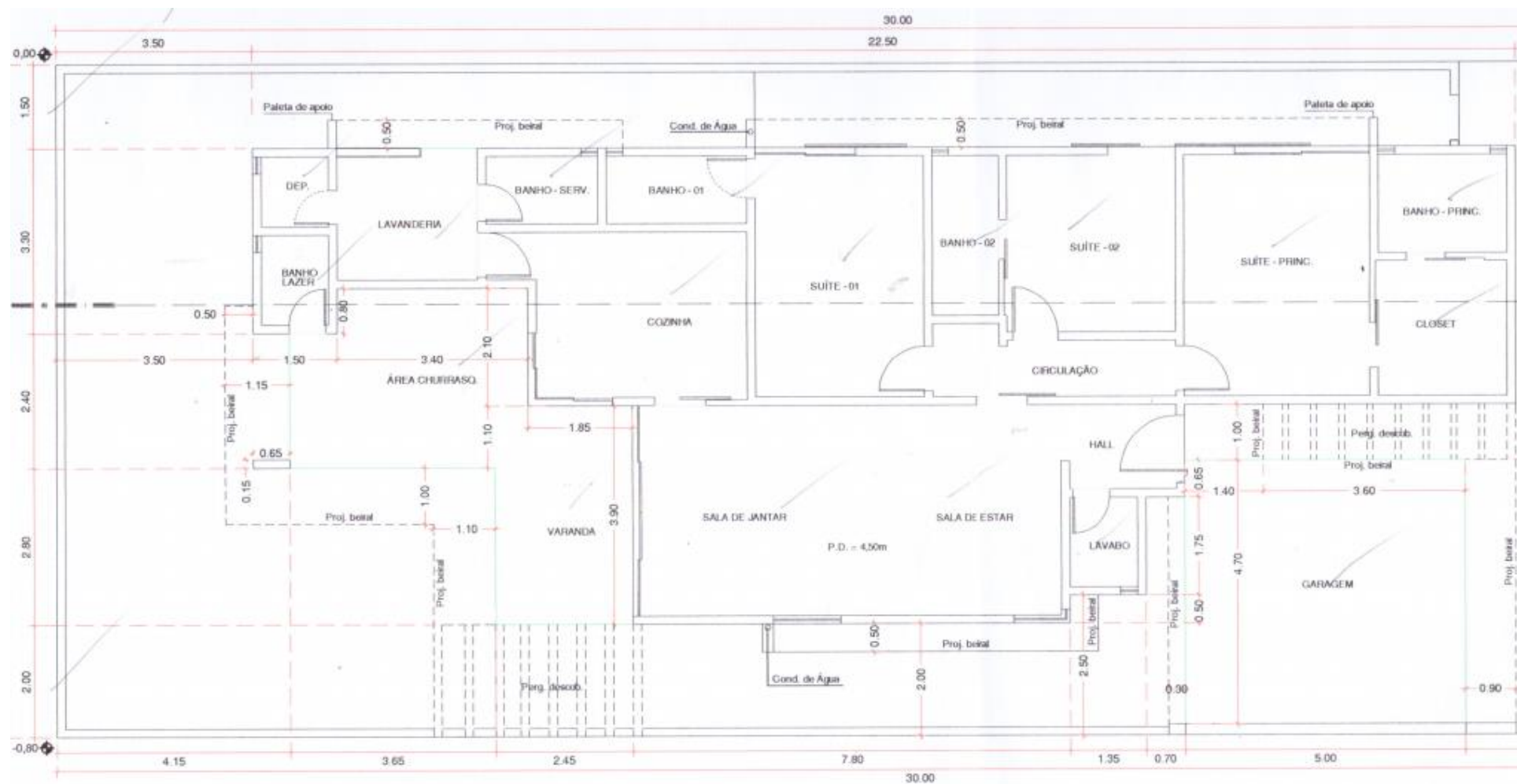
O objeto de estudo foi realizado em uma obra residencial localizada no condomínio residencial Damha III na cidade de Presidente Prudente – SP, que teve início em setembro de 2019 e terminou em maio de 2020.

A cidade de Presidente Prudente está localizada no interior do estado de São Paulo, com aproximadamente 230.371 habitantes (IBGE, 2020).

Seguindo as classificações da norma NBR 12.721 (ABNT, 2006) a residencial é qualificada como médio-alto padrão.

Com um terreno de 360 m² e área de construção de 176,89m² (49,14% do terreno), a residência térrea é composta por 3 suítes, sala de jantar, cozinha, área de serviço e de lazer. Como mostra a planta baixa a seguir na Figura 10 com escala 1:100, a Figura 11 mostra a fachada da casa e a Figura 12 mostra a área de lazer da casa.

FIGURA 10 - PLANTA BAIXA DA RESIDÊNCIA



FONTE: AUTORA (2020)

FIGURA 11- FACHADA DA RESIDÊNCIA



FONTE: Autora (2021)

FIGURA 12- ÁREA DE LAZER DA RESIDÊNCIA



FONTE: Autora (2021)

3.3.2 Inventário

A fase do inventário é a fase do levantamento do fluxo de massa e energia, conforme a unidade funcional definida no estudo.

Sendo assim, o levantamento do inventário foi realizado por meio da pesquisa documental: faturas do empreendimento, notas fiscais, contratos, além da entrevista presencial e questionário – conforme apresentados nos apêndices 1, 2 e 3 do trabalho - foi possível levantar as principais entradas e saídas do sistema, sendo as entradas basicamente materiais de construção, como cimento, cal, tijolo, areia, entre outros e recursos como água e energia. E as saídas são resíduos sólidos e emissões.

Em relação às saídas do sistema, para cálculo das emissões, foi considerado o transporte dos insumos até o canteiro de obras, e o transporte dos resíduos sólidos até o aterro sanitário adequado. Neste último caso, foi considerado a distância dobrada, do caminhão até o canteiro de obras e depois do caminhão até o aterro sanitário, sendo desprezadas emissões geradas durante a execução da obra. Para isso, foi preparado um questionário para o proprietário da obra (Apêndice 4) com objetivo de identificar os fornecedores e suas localidades.

Os resíduos sólidos, também foram informados pelo proprietário da obra, que quantificou estes pelo número de caçambas utilizadas.

3.3.3 Tratamento de dados

Após a realização do inventário com levantamento de entradas, saídas do sistema e adequação para unidade funcional. Foi realizado o tratamento de dados no software Simapro versão 9.0.0.49 com a base de dados Ecoinvent 3.

A maioria dos dados cadastrados nos bancos de dados possuem dados regionais de origem Europeia, Chinesa, entre outros, o que pode diferir bastante no resultado, é por isso que se faz necessário o tratamento de dados, no caso específico do presente trabalho, antes de utilizar o software para gerar os cálculos e comparações, foram realizadas adequações para a realidade geográfica do Brasil.

Segundo Kiperstok (2002), Passuello *et. al.* (2014) e Medeiros *et. al.* (2018) é necessário ficar atento as características regionais dos produtos, pois a maneira que geramos energia elétrica no Brasil é diferente do que de outro país por exemplo, e isso pode interferir significativamente no resultado e em sua análise.

Nesse sentido, foram feitas adaptações aos inventários existentes no software SimaPro para a caracterização em inventários que representem a realidade brasileira. A seguir nos Quadros 6a, 6b e 6c são apresentadas as adaptações dos inventários, do seu nome no software no Simapro e o que foi alterado.

QUADRO 7a - ALTERAÇÕES DO INVENTÁRIO

PRODUTO	NOME ANTIGO SIMAPRO	MUDANÇAS REALIZADAS
Cimento	Cement, Portland {BR} market for cement, Portland APOS, U	Cimento Portland {BR} Sem mudanças
Cal Hidratado	Lime, hydrated, packed {CH} production APOS, U	Cal {BR} Produção de cal hidratado Embalagem para o cal Aquecimento de baixa escala diferente de gás natural
Produção de Cal Hidratado	Lime, hydrated, loose weight {CH} production	Lime, hydrated, loose weight {BR} production Água Eletricidade de alta voltagem proveniente de hidrelétrica Eletricidade de média voltagem (Sudeste) Aquecimento de baixa escala diferente de gás natural Emissões em águas brasileiras
Embalagem do cal	Packing, lime product {CH} processing	Packing, lime product {BR} processing Eletricidade alta voltagem proveniente de hidrelétrica Eletricidade média voltagem Resíduo de madeira não tratado Resíduo de papel gráfico Resíduo de polietileno
Areia Lavada	Sand {BR} sand quarry operation, open pit mine	Areia Lavada {BR} Sem mudanças
Pedra Brita	Gravel, crushed {BR} market for gravel, crushed	Cascalho {BR} Sem mudanças
Tijolo	Clay brick {RoW} production	Tijolo {BR} Água Óleo combustível pesado Óleo combustível leve Areia Ferro Lascas de madeira seca Eletricidade média voltagem (Sudeste) Emissões em águas brasileiras
Ferro	Steel, low-alloyed, hot rolled {RER} production	Ferro {BR} Processo de laminação a quente Aço de baixa liga
Processo de Laminação a quente	Hot rolling, steel {RER} processing	Hot rolling, steel {BR} processing Água resfriada naturalmente Água Cal Hidratada Petróleo Eletricidade média voltagem (Sudeste)

FONTE: Autora (2020)

QUADRO 8b - ALTERAÇÕES DO INVENTÁRIO

PRODUTO	NOME ANTIGO SIMAPRO	MUDANÇAS REALIZADAS
Produção de Aço de Baixa Liga	Steel, low-alloyed {RER} steel production, electric, low-alloyed	Steel, low-alloyed {BR} steel production, electric, low-alloyed Água resfriada naturalmente Eletricidade média voltagem (Sudeste) Emissões para águas Brasileiras
Madeira compensada	Plywood, for indoor use {RER} production	Madeira compensada {BR} Água resfriada naturalmente Eletricidade média voltagem (Sudeste) Aquecimento de baixa escala diferente de gás natural
Lajes Pré-moldadas	Pre-molded slab {BR}	Laje Pre-Moldada {BR} Tijolo Ferro
Concreto Usinado	Concrete, normal {BR} market for concrete, normal	Concreto {BR} Sem mudanças
Embalagem do cal	Packing, lime product {CH} processing	Packing, lime product {BR} processing APOS, U Eletricidade alta voltagem proveniente de hidrelétrica Eletricidade média voltagem Resíduo de madeira não tratado Resíduo de papel gráfico Resíduo de polietileno
Areia Lavada	Sand {BR} sand quarry operation, open pit mine	Areia Lavada {BR} Sem mudanças
Pedra Brita	Gravel, crushed {BR} market for gravel, crushed	Cascalho {BR} Sem mudanças
Tijolo	Clay brick {RoW} production	Tijolo {BR} Água Óleo combustível pesado Óleo combustível leve Areia Ferro Lascas de madeira seca Eletricidade média voltagem (Sudeste) Emissões em águas brasileiras
Ferro	Steel, low-alloyed, hot rolled {RER} production	Ferro {BR} Processo de laminação a quente Aço de baixa liga
Processo de Laminação a quente	Hot rolling, steel {RER} processing	Hot rolling, steel {BR} processing Água resfriada naturalmente Água Cal Hidratada Petróleo Eletricidade média voltagem (Sudeste)
Produção de Aço de Baixa Liga	Steel, low-alloyed {RER} steel production, electric, low-alloyed	Steel, low-alloyed {BR} steel production, electric, low-alloyed Água resfriada naturalmente Eletricidade média voltagem (Sudeste) Emissões para águas Brasileiras

FONTE: Autora (2020)

QUADRO 9c - ALTERAÇÕES DO INVENTÁRIO

PRODUTO	NOME ANTIGO SIMAPRO	MUDANÇAS REALIZADAS
Madeira compensada	Plywood, for indoor use {RER} production	Madeira compensada {BR} Água resfriada naturalmente Eletricidade média voltagem (Sudeste) Aquecimento de baixa escala diferente de gás natural
Lajes Pré-moldadas	Pre-molded slab {BR}	Laje Pre-Moldada {BR} Tijolo Ferro
Concreto Usinado	Concrete, normal {BR} market for concrete, normal	Concreto {BR} Sem mudanças
Porta	Door, inner, wood {RoW} production	Porta {BR} Ferro Madeira seca Eletricidade média voltagem (Sudeste) Resíduo plástico Resíduo polietileno
Telha de Fibro Cimento	Fibre cement corrugated slab {CH} production	Telha de Fibro-Cimento {BR} Água Eletricidade média voltagem (Sudeste) Aquecimento de baixa escala diferente de gás natural Aquecimento industrial diferente de gás natural Emissões em águas Brasileiras
Argamassa	Adhesive Mortar [CH] production	Argamassa {BR} Cimento Portland Água Eletricidade média voltagem (Sudeste) Emissões em águas Brasileiras
Janelas e Portas de Alumínio	Window frame, aluminium, U=1.6 W/m2K {RoW} production	Alumínio {BR} Eletricidade média voltagem (Sudeste) Resíduo plástico
Vidro temperado	Tempering, flat glass {RoW} processing	Vidro Temperado {BR} Sem mudanças
Manta Asfáltica	Mastic asphalt {CH} production	Manta Asfáltica {BR} Areia Eletricidade média voltagem (Sudeste) Aquecimento industrial diferente de gás natural
Transporte	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO1 {ZA} transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO1	Transporte {BR} Diesel Diesel baixo teor de enxofre
Resíduo Sólido	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO1 {ZA} transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO1	Resíduo Solido {BR} Transporte Solido Inerte

FONTE: Autora (2020)

3.3.4 Método AICV

O método de avaliação de impacto de ciclo de vida escolhido para ser utilizado neste trabalho foi método ReCiPe.

O Quadro 7 mostra as categorias *midpoint* e *endpoint* do método ReCiPe.

QUADRO 7- CATEGORIAS MIDPOINT E ENDPOINT

Categorias de Danos	Categorias de Impacto	Unidade
Saúde Humana	Aquecimento Global (saúde humana)	DALY ¹
	Destruição do ozônio estratosférico	DALY
	Radiação Ionizante	DALY
	Formação de Ozônio (saúde humana)	DALY
	Formação de material particulado fino	DALY
	Toxicidade humana cancerígena	DALY
	Toxicidade humana não cancerígena	DALY
	Consumo de água (saúde humana)	DALY
Ecossistema	Aquecimento Global (ecossistema terrestre)	espécies ano ²
	Aquecimento Global (ecossistema aquático)	espécies.ano
	Formação de Ozônico (ecossistema terrestre)	espécies.ano
	Acidificação Terrestre	espécies.ano
	Eutrofização da água doce	espécies.ano
	Eutrofização da água marinha	espécies.ano
	Ecotoxicidade terrestre	espécies.ano
	Ecotoxicidade água doce	espécies.ano
	Ecotoxicidade água marinha	espécies.ano
	Uso de terra	espécies.ano
	Consumo de água (ecossistema terrestre)	espécies.ano
Recursos Naturais	Depleção Mineral	\$ (USD) ³
	Depleção de Combustíveis Fósseis	\$ (USD)

FONTE: Adaptado de SIMAPRO (2021)

¹DALY - *Disability Adjusted Life Years* - Anos de vida perdidos ajustados por incapacidade

² Espécies.ano – Mortalidade espécies anos

³USD – Valor da unidade de recursos

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Na seguinte secção é apresentado o fluxo do sistema, o inventário do ciclo de vida, a modelagem da rede AICV, além da análise do impacto ambiental do ciclo de vida da obra residencial e dos insumos utilizados na mesma, por meio da interpretação dos gráficos de caracterização e avaliação de impacto.

4.1 FLUXO DO SISTEMA

Na entrevista com o gestor da obra, foi possível identificar o fluxo da obra e levantar as entradas e saídas, sendo possível realizar o fluxo da obra, como pode ser visualizado na Figura 13.

4.2 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

Como resultado da coleta de dados, temos o seguinte inventário construção da residência de alto padrão. Representado nos Quadros 8a e 8b, o inventário é composto primeiro pela unidade usual. Posteriormente foi realizado a conversão para unidade funcional em kg, e calculado a porcentagem de representatividade. Por último temos, se houve ou não alteração no banco de dados e em que fase da obra o mesmo é utilizado.

QUADRO 8a - INVENTÁRIO

Material	Qtd.	Unid.	Qtd.	Und	%	Origem	Fase
Entradas:							
Cimento	589	Sacos	29450	Kg	5,9%	Ecoinvent 3	Fundação, Estrutura, Alvenaria e Revestimento
Cal	332	Sacos	16600	Kg	3,4%	Ecoinvent 3 c/ adaptações	Fundação, Estrutura, Alvenaria e Revestimento
Areia lavada	71	M3	106500	Kg	21,7%	Ecoinvent 3	Fundação, estrutura, alvenaria e revestimento
Pedra brita	35	M3	50750	Kg	10,3%	Ecoinvent 3	Fundação, estrutura, alvenaria
Areia fina	33	M3	46200	Kg	9,4%	Ecoinvent 3	Fundação, estrutura, alvenaria e revestimento

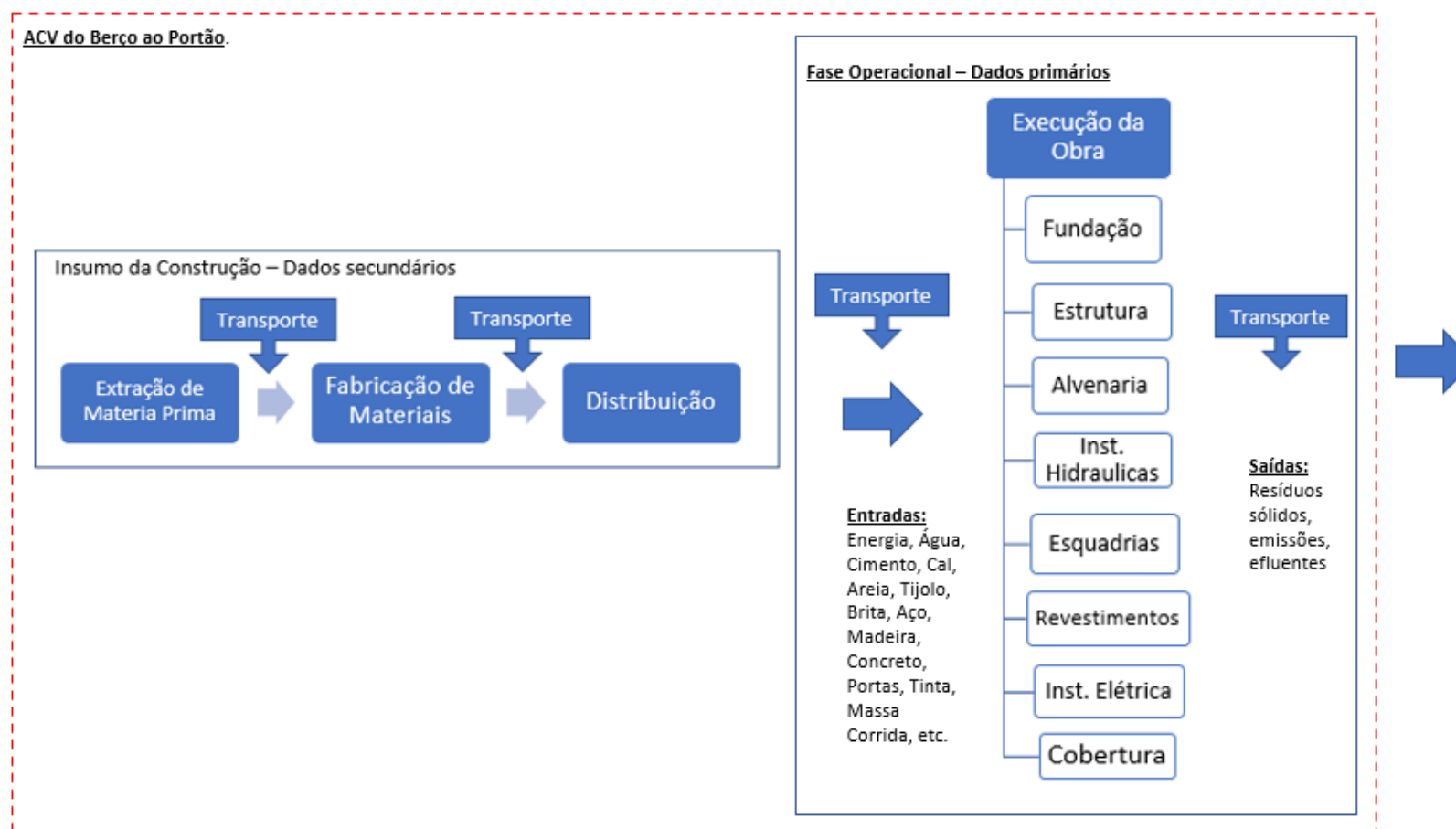
FONTE: Autora (2021)

QUADRO 810b – INVENTÁRIO

Material	Qtd.	Unid.	Qtd.	Und	%	Origem	Fase
Entradas:							
Tijolos	17,34	Milhars	60690	Kg	12,3%	Ecoinvent 3 c/ adaptações	Estrutura e Alvenaria
Ferros	3038	Kg	3038	Kg	0,6%	Ecoinvent 3 c/ adaptações	Fundação, Estrutura, Alvenaria
Telhas de Fibrocimento	177	M2	2000	Kg	0,4%	Ecoinvent 3 c/ adaptações	Cobertura
Madeiras para cobertura	990	Metros	10797	Kg	2,2%	Ecoinvent 3 c/ adaptações	Cobertura
Lajes Pré-moldadas	200	M2	20000	Kg	4,1%	Criação	Estrutura e Alvenaria
Concreto usinado	32	M3	76800	Kg	15,6%	Ecoinvent 3	Fundação, estrutura, alvenaria
Manta asfáltica	27	M2	16	Kg	0,0%	Ecoinvent 3 c/ adaptações	Fundação
Argamassa	116	Sacos	2320	Kg	0,5%	Ecoinvent 3 c/ adaptações	Revestimento
Portas de Madeira	9	Unid	234	Kg	0,0%	Ecoinvent 3 c/ adaptações	Esquadrias
Vidro temperado	83	M2	1690	Kg	0,3%	Ecoinvent 3	Esquadrias
Portas e Janela de alumínio	39	M2	420	Kg	0,1%	Ecoinvent c/ adaptações	Esquadrias
Recurso energético:							
Energia elétrica	1051	Kwh	-	-		Ecoinvent 3	Todas as fases
Recurso da natureza:							
Água e Esgoto	150	M3	-	-		Ecoinvent 3	Todas as Fases
Saídas:							
Resíduos sólidos	40	M3	52000	Kg	10,6%	Criação	Todas as fases

FONTE: Autora (2021)

FIGURA 13 - FLUXO DO SISTEMA



FONTE: AUTORA (2021)

4.3 TRANSPORTE

Foi realizado a coleta de dados com o gestor da obra sobre os fornecedores de materiais e suas localizações (modelo no Apêndice 4). Com estes dados e auxílio de um software de rotas (Google Maps), foi possível calcular a distância entre a loja do material de construção até o canteiro de obra, resultando assim na Tabela 1. Esta tabela serviu como base para cálculo de consumo de diesel e emissões de dióxido de carbono. A distância do resíduo sólido é multiplicada por dois porque representa a trajetória do caminhão do aterro até a obra e da obra até o aterro. Depois a mesma é multiplicada por oito, porque representa oito viagens, pois foram utilizadas oito caçambas de resíduo de 5m³.

TABELA 1- INVENTÁRIO DE TRANSPORTE

Material	Distância
Cimento	5,3 km
Cal	5,3 km
Areia Lavada	7,8 km
Pedra Brita	7,8 km
Areia Fina	7,8 km
Tijolos	4,5 km
Ferros	3 km
Arames	3 km
Pregos	3 km
Telhas de Fibro-Cimento	5,6km
Madeiras	5,9km
Lajes Pré-moldadas	10,6km
Concreto Usinado	4,7 km
Piso e Revestimento	6,9 km
Argamassa	6,9 km
Rejunte	6,9 km
Caçamba de Limpeza	10,2km *2 = 20,4km*8 = 163,2km

FONTE: Autora (2021)

4.4 TRATAMENTO DE DADOS NO SOFTWARE SIMAPRO

No software SimaPro, primeiro foi realizado as mudanças necessárias para adequar um inventário de outras regiões do mundo para inventários brasileiros de acordo com a importância citada na literatura e como foi demonstrado no Quadro 6 cada mudança. Nas Figura 14 temos o inventário europeu do tijolo, na Figura 15 o inventário brasileiro do tijolo com algumas mudanças e na Figura 16 os dois inventários próximos quando se pesquisa pelo termo “*clay brick*” que significa tijolo de barro. Isso ocorre porque no SimaPro todos os inventários estão em inglês por ser uma linguagem mundial.

Depois de criar um inventário brasileiro por meio de adaptações para todos insumos da obra, salvo poucos que já existiam em versão brasileira, foi realizado um inventário da obra total, representada pelos Quadros 8a e 8b, já levando em consideração as emissões provenientes do transporte também, representado pela Tabela 1, sendo assim o inventário no SimaPro é representado pelas Figuras 17a, 17b e 17c.

FIGURA 14- INVENTÁRIO EUROPEU DO TIJOLO

C:\Users\Public\Documents\SimaPro\Database\FullUpdate911; TCC Beatriz - [Copiar material processo Clay brick (RER)] production | APOS, U]

Eicheiro Editar Calcular Ferramentas Janela Ajuda

Documentação **Entrada/saída** Parâmetros Descrição do sistema

Entradas conhecidas da natureza (recursos)	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*SD	Min
Water, well, RER	in water	7,36E-5	m3	Sessão normal	1,5639	
(Insira linha aqui)						
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)		Quantidade	Unidade			
Clay (CH) market for clay APOS, U		1,35	kg			
Clay pit infrastructure (GLO) market for APOS, U		2,0E-10	p			
EUR-flat pallet (GLO) market for APOS, U		1,61E-5	p			
Heavy fuel oil (RER) market group for APOS, U		0,000381	kg			
Light fuel oil (RER) market group for APOS, U		0,00541	kg			
Lime, packed (CH) market for lime, packed APOS, U		0,0005933866767	kg			
Lime, packed (Europe without Switzerland) market for lime, packed APOS, U		0,0233066133232	kg			
Limestone, crushed, for mill (CH) market for limestone, crushed, for mill APOS, U		0,000396	kg			
Lubricating oil (RER) market for lubricating oil APOS, U		1,32E-5	kg			
Natural gas, high pressure (CH) market for APOS, U		0,0002039691936	m3			
Natural gas, high pressure (Europe without Switzerland) market group for APOS, U		0,0315909026011	m3			
Packaging film, low density polyethylene (GLO) market for APOS, U		0,000542	kg			
Polyethylene, high density, granulate (GLO) market for APOS, U		8,58E-7	kg			
Polystyrene, expandable (GLO) market for APOS, U		0,000352	kg			
Pulverised lignite (GLO) market for APOS, U		0,0245	MJ			
Sand (CH) market for sand APOS, U		0,0147	kg			
Sheet rolling, chromium steel (RER) processing APOS, U		1,57E-7	kg			
Sheet rolling, steel (RER) processing APOS, U		1,57E-5	kg			
Steel, low-alloyed, hot rolled (GLO) market for APOS, U		3,06E-5	kg			
Tap water (RER) market group for APOS, U		0,0272	kg			
Transport, passenger car (RER) market for APOS, U		0,0166	km			
Wood chips, dry, measured as dry mass (RER) market for APOS, U		0,00480825	kg			

UFPR 01 9.0.0.49 PhD

FONTE: SIMAPRO (2021)

FIGURA 15 - INVENTÁRIO BRASILEIRO DO TIJOLO

C:\Users\Public\Documents\SimaPro\Database\FullUpdate911; TCC Beatriz - [Editar material processo Clay brick (BR) production | APOS, U]

Echivo Editar Calcular Ferramentas Janela Ajuda

Documentação	Entrada/saída	Parâmetros	Descrição do sistema						
Entradas conhecidas da natureza (recursos)	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*SD	Min	Máx	Comentário	
Water, well, BR	in water	7,36E-5	m3	Sessão normal	1,5639			(5,5,5,5,1,na) Proxy. Swiss module considered as pro company's ground.	
(Insira linha aqui)									
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)				Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*SD	Min	Máx
Clay (RoW) market for clay APOS, U				1,35	kg	Sessão normal	1,5639		
Clay pit infrastructure (GLO) market for APOS, U				2,0E-10	p	Sessão normal	3,2649		
EUR-flat pallet (GLO) market for APOS, U				1,61E-5	p	Sessão normal	1,5639		
Heavy fuel oil (BR) market for heavy fuel oil APOS, U				1,8670647178066	kg	Sessão normal	1,5639		
Light fuel oil (BR) market for light fuel oil APOS, U				0,0002270846960	kg	Sessão normal	1,5639		
Lime, packed (RoW) market for lime, packed APOS, U				0,0239	kg	Sessão normal	1,5639		
Limestone, crushed, for mill (IN) market for limestone, crushed, for mill APOS, U				1,5813786742569	kg	Sessão normal	1,5639		
Limestone, crushed, for mill (RoW) market for limestone, crushed, for mill APOS, U				0,0003944186213	kg	Sessão normal	1,5639		
Lubricating oil (RoW) market for lubricating oil APOS, U				1,32E-5	kg	Sessão normal	1,5639		
Natural gas, high pressure (CA) market group for APOS, U				0,0014467826809	m3	Sessão normal	1,5639		
Natural gas, high pressure (DZ) market for natural gas, high pressure APOS, U				0,0006305554531	m3	Sessão normal	1,5639		
Natural gas, high pressure (JP) market for APOS, U				0,0010496965152	m3	Sessão normal	1,5639		
Natural gas, high pressure (RoW) market for APOS, U				0,0200972288230	m3	Sessão normal	1,5639		
Natural gas, high pressure (US) market for APOS, U				0,0085706083225	m3	Sessão normal	1,5639		
Packaging film, low density polyethylene (GLO) market for APOS, U				0,000542	kg	Sessão normal	1,5639		
Polyethylene, high density, granulate (GLO) market for APOS, U				8,58E-7	kg	Sessão normal	1,5639		
Polystyrene, expandable (GLO) market for APOS, U				0,000352	kg	Sessão normal	1,5639		
Pulverised lignite (GLO) market for APOS, U				0,0245	MJ	Sessão normal	1,5639		
Sand (BR) market for sand APOS, U				0,0002224541350	kg	Sessão normal	1,5639		
Sheet rolling, steel (GLO) market for APOS, U				1,57E-5	kg	Sessão normal	1,5639		
Ferro. (BR)				3,06E-5	kg	Sessão normal	1,5639		

UFPR 01 9.0.0.49 PhD

FONTE: SIMAPRO (2021)

FIGURA 16- PESQUISA PELO TERMO TIJOLO

C:\Users\Public\Documents\SimaPro\Database\FullUpdate911; TCC Beatriz - [Explorador LCA]

Ficheiro Editar Calcular Ferramentas Janela Ajuda

Assistentes

Assistentes

Objectivo e âmbito

Descrição

Bibliotecas

Inventário

Processos

Fases do produto

Descrições do sistema

Tipos de desperdício

Parâmetros

Avaliação de impacto

Métodos

Configurações do cálculo

Interpretação

Interpretação

Ligações a Documentos

Dados gerais

Referências bibliográficas

Substâncias

Unidades

Quantidades

Imagens

Material

- Agricultural
 - Animal feed
 - Avian feed
 - Bovine feed
 - Market
 - Porcine feeds
 - Transformation
 - Animal production
 - Food
 - Intermediate Products
 - Oilseed meals
 - Plant oils
 - Plant production
 - Plant seeds
 - Start material production
- Appliances
- Chemicals
- Construction
 - Binders
 - Market
 - Infrastructure
 - Transformation
 - Infrastructure
 - Bitumen
 - Bricks
 - Market
 - Infrastructure
 - Transformation
 - Infrastructure
 - Capital goods

Nome	Unidade
Light clay brick (DE) production APOS, U	kg
Light clay brick (DE) production APOS, S	kg
Laje pré moldada (BR)	m2
Clay brick (RoW) production Cut-off, U	kg
Clay brick (RoW) production Cut-off, S	kg
Clay brick (RoW) production Conseq, U	kg
Clay brick (RoW) production Conseq, S	kg
Clay brick (RoW) production APOS, U	kg
Clay brick (RoW) production APOS, S	kg
Clay brick (RER) production Cut-off, U	kg
Clay brick (RER) production Cut-off, S	kg
Clay brick (RER) production Conseq, U	kg
Clay brick (RER) production Conseq, S	kg
Clay brick (RER) production APOS, U	kg
Clay brick (RER) production APOS, S	kg
Clay brick (BR) production APOS, U	kg

Novo

Editar

Ver

Copiar

Eliminar

Utilizado por

Mostrar como lista

https://db3.ecoinvent.org/images/5f75aae1-2b50-4bb5-a700-883b436616cc

This dataset represents the production of 1 kg of brick. Data was obtained from literature values (average data from 12 Swiss brick plants) that were corrected and updated for some flows. Note that no hard coal coke is used within these 12 plants. Includes first grinding process, wet process (includes second grinding, mixing and plastifying), storage, forming (extruding molding method) and cutting, drying, firing, loading, packing and storage

Clay brick. Image source: <http://nbss.co.za/wp-content/uploads/2015/06/clay-stock-bricks.jpg>, accessed 20151211

not included: charge of the wastewater and solid waste, it's assumed that the waste heat is totally reused for drying, no hard coal coke is used within these 12 plants

Production volume: 1315555555.5556 kg

Filtro ligado e ou Limpar 87

146499 itens

1 item seleccionado(s)

UFPR 01

9.0.0.49 PhD

FONTE: SIMAPRO (2021)

FIGURA 17a - INVENTARIO CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL

Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos e co-produtos		Quantidade	Unidade	Grandeza	Alocação %	Categoria
Construção Casa Residencial Alto Padrão (BR)		176,89	m2	Area	100 %	Land tra... \1
Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos evitados		Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*SD	Min
Entradas						
Entradas conhecidas da natureza (recursos)		Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*SD Min
Occupation, urban, continuously built		land	360	m2a	Sessão normal	1,4918
Transformation, to urban, continuously built		land	176,89	m2	Sessão normal	1,9993
Water, unspecified natural origin, BR		in water	150	m3	Indefinido	
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)				Quantidade	Unidade	
Cimento Portland (BR)				29450	kg	
Cal Hidratada (BR)				16600	kg	
Areia Lavada (BR)				106500	kg	
Cascalho (BR)				50750	kg	
Areia (BR)				46200	kg	
Tijolo (BR)				60690	kg	
Ferro. (BR)				3038	kg	
Telha de Fibro-Cimento (BR)				2000	kg	
Madeira para revestimento (BR)				2,5	m3	

FONTE: SIMAPRO (2021)

FIGURA 17b – ENTRADAS INVENTÁRIO CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL

Laje pré moldada {BR}	200	m2
Concrete, normal {BR} concrete, all types to generic market for concrete, normal strength APOS, U	32	m3
Manta asfatica {BR}	16	kg
Argamassa {BR}	2320	kg
Porta de madeira {BR}	15,5	m2
Vidro Temperado {BR}	1690	kg
Aluminio {BR}	39	m2
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (electricidade/calor)		
	Quantidade	Unidade
Electricity, low voltage {BR-Southern grid} market for electricity, low voltage APOS, U	1051	kWh
Transporte {BR}	156,085	tkm
Transporte {BR}	830,7	tkm
Transporte {BR}	87,98	tkm
Transporte {BR}	395,85	tkm
Transporte {BR}	360,36	tkm
Transporte {BR}	273,105	tkm
Transporte {BR}	11,2	tkm
Transporte {BR}	9,114	tkm
Transporte {BR}	112	tkm
Transporte {BR}	360,96	tkm
Transporte {BR}	63,72	tkm
Transporte {BR}	8486,4	tkm
Transporte {BR}	16,008	tkm

FONTE: SIMAPRO (2021)

FIGURA 17c – SAÍDAS INVENTÁRIO CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL

Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Resíduos e emissões para tratamento	Quantidade	Unidade	Distribuição
Solid Waste from Construction {BR}	40	m3	Indefinido

FONTE: SIMAPRO (2021)

4.5 AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA – AICV

O método de avaliação de impacto utilizada foi ReCiPe Endpoint 2016 V1.04, por meio do software SimaPro versão 9.0.0.49 PhD. É possível fazer várias análises de acordo com o método AICV escolhido, variando entre diferentes gráficos e tabelas.

4.5.1 Modelagem do sistema em rede AICV

Esse método de análise funciona como um gráfico de fluxo, onde as linhas vermelhas são os fluxos e as caixas os produtos, representadas por diferentes cores dependendo da sua classificação (material, transporte, resíduo, energia).

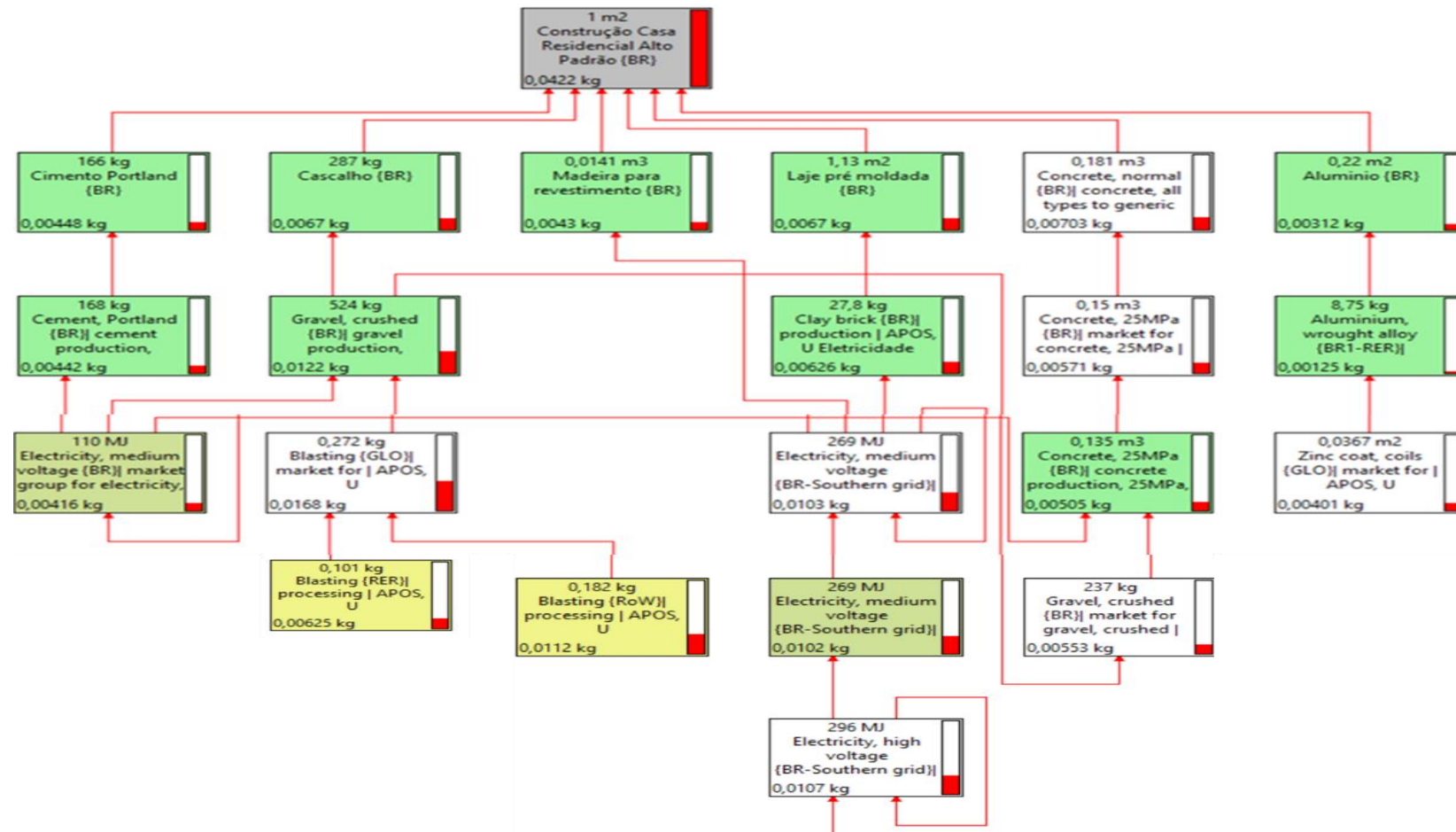
Conforme pode ser visto na Figura 18, os insumos que aparecem na primeira linha são os que mais geram impacto no processo, em seguida temos os que mais impactam no ciclo de vida destes, sendo como o próprio nome sugere um gráfico de rede.

Para compreensão, as estruturas de alumínio utilizadas para portas e janelas, é um dos insumos que mais impactam no ACV da construção, já no seu ciclo de vida é a própria liga de alumínio forjada, matéria prima principal, que mais impacta e em sequência o que mais impacta nesta matéria prima é o revestimento de zinco.

4.5.2 Caracterização

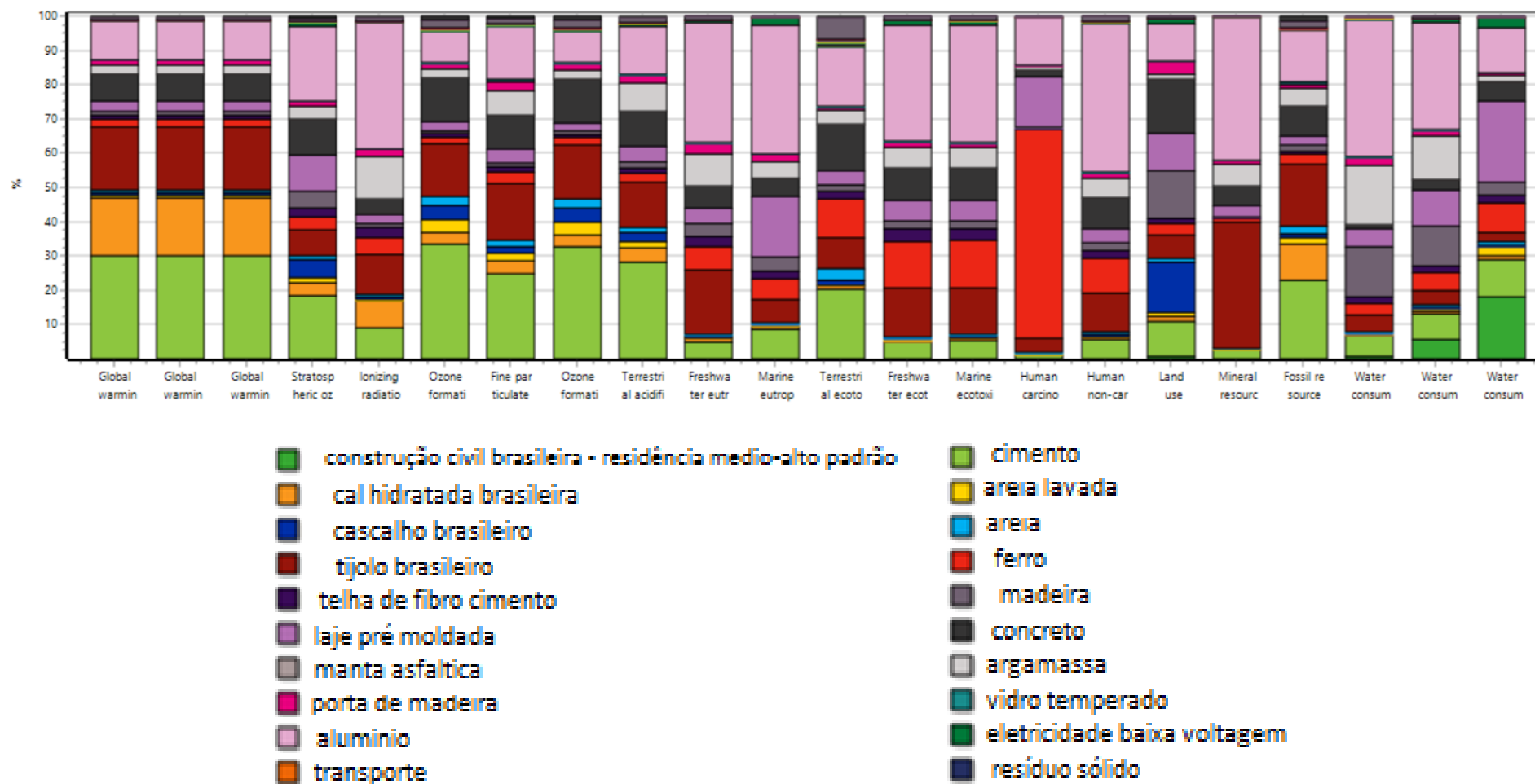
A caracterização é a representação do impacto completo do ACV. A Figura 19 apresenta a caracterização do ACV da obra residencial em estudo.

FIGURA 18 – REDE AICV



FONTE: SIMAPRO (2021)

FIGURA 19 - CARACTERIZAÇÃO AICV DA CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL EM ESTUDO, MÉTODO RECIPE.



FONTE: Autora (2021)

A Figura 19 apresentou o impacto de cada material. No eixo horizontal temos as categorias de impacto do método, que são, por exemplo, aquecimento global, uso da terra, consumo de água, uso de recursos minerais, entre outros, e no eixo vertical percentual de impacto.

Todas as categorias de impactos *midpoint* representado pelas colunas do gráfico estão relativizadas a 100%, e cada cor representa uma entrada, sendo assim, essas cores apresentam a porcentagem de acordo com sua participação no impacto da categoria em relação aos outros produtos.

A cor roxo claro (lilás) representado pela estrutura de alumínio para portas e janelas, para cada categoria *endpoint*, temos uma categoria, onde o produto apresenta uma maior taxa de colaboração para o impacto se comparado a outros produtos. Sendo para dano à saúde humana a categoria de maior participação é a toxicidade humana não cancerígena, com 43,3%, visto que nesta categoria os demais produtos possuem uma participação menos relevante. Para dano aos ecossistemas a categoria com maior participação é a categoria de eutrofização das águas marinhas com 37,3%, onde novamente os outros insumos apresentam uma participação menor. Para danos aos recursos naturais, a de maior participação é a categoria de escassez de recursos minerais com 41,9% de representatividade.

Em relação à cor vermelho escuro (bordô) representado pelo tijolo, na categoria dano à saúde humana a categoria onde tem-se maior representatividade é na categoria de aquecimento global com 18,4%. Em relação de dano ao ecossistema a categoria com maior representatividade é a eutrofização das águas doces com 18,8% de participação, o que pode resultar em dano a diversas espécies aquáticas. Na categoria de danos aos recursos naturais a categoria *midpoint* de maior participação é a escassez de recursos mineiras com 36,9% de representatividade.

O cimento, representado pela cor verde clara na categoria de dano à saúde humana tem como a categoria de maior representatividade, a categoria formação de ozônio com 33,5% de representatividade. A mesma categoria também é a mais impactante em relação ao dano ao ecossistema com 32,8% de representatividade. E para ao dano aos recursos minerais a mais impactante é a categoria escassez de recursos fosseis com 23% de representatividade.

Vale ressaltar que tem produtos que não possuem uma taxa de representatividade tão alta quanto os outros, como é o caso do concreto se comparado com o alumínio e o cimento, mas é um material que aparece com uma porcentagem razoável em todas as categorias. E também há produtos que não aparecem em todas as categorias, mas aparece em alguma com a porcentagem de representatividade muito alta, como é o caso do ferro, na categoria toxicidade humana cancerígena que o mesmo representa 60,7% de representatividade.

Após analisado os índices de representatividade de cada produto em cada categoria em relação aos outros, é possível complementar esta análise por meio de uma tabela que dá os valores quantitativos do impacto em cada categoria. Além de apresentar o valor de cada entrada individualmente, esta tabela também apresenta o valor do produto final. Nesta tabela os valores estão apresentados na unidade de medida “DALY (Disability Adjusted Life Years)” que significa anos de vida saudáveis perdido em relação aos danos à saúde humana. Na unidade “espécies.ano” que significa a quantidade de espécies que foram mortas por ano. E a unidade USD que significa valor do recurso em dólar. Esta caracterização está representada nas Tabelas 2a e 2b.

A Figura 19 mostra a representatividade do impacto ambiental de cada produto em relação a todos produtos e em cada categoria. Já as Tabelas 2a e 2b tem exatamente o valor quantitativo do impacto ambiental gerado por aquele produto, seja ele os insumos (entradas) ou o produto final, que é a construção de uma casa residencial de alto padrão na unidade padrão de acordo com a categoria, como já citado anteriormente.

O alumínio, por exemplo, na Figura 19 em relação aos danos a saúde humana, tem uma porcentagem de participação maior na categoria de toxicidade não cancerígena humana, isso acontece porque os outros insumos possuem um impacto menor ainda nesta categoria, resultando em uma baixa participação. Mas a categoria que o alumínio realmente mais impacta quantitativamente em relação aos danos à saúde humana é a categoria de formação de materiais particulado, como podemos ver nas Tabelas 2a e 2b, sendo que na Figura 20 o alumínio não apresenta uma porcentagem tão significativa nesta categoria porque há outros insumos como o cimento e o tijolo que possuem o impacto maior ainda nesta categoria.

TABELA 2a- CARACTERIZAÇÃO AICV DA CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL EM ESTUDO, MÉTODO RECIPE.

CATEGORIA DE IMPACTO (ENDPOINT)	CATEGORIA DE IMPACTO (MIDPOINT)	Impacto ACV completo		Impacto por Insumo			
		Unidade	Total	Aluminio	Tijolo	Cimento	Outros
Dano à saúde humana	Aquecimento Global (saúde humana)	DALY ³	0,000447	4,93828E-05	8,22661E-05	0,000134964	0,000181
	Destruição do ozônio estratosférico	DALY	9,94E-08	2,14458E-08	7,39506E-09	1,84812E-08	5,2E-08
	Radiação Ionizante	DALY	9,45E-08	3,46128E-08	1,10144E-08	8,40933E-09	4,05E-08
	Formação de Ozônio (saúde humana)	DALY	1,21E-06	1,08819E-07	1,82489E-07	4,03769E-07	5,12E-07
	Formação de material particulado fino	DALY	0,00034	5,28403E-05	5,65503E-05	8,47546E-05	0,000146
	Toxicidade humana cancerígena	DALY	0,000193	2,6593E-05	8,5251E-06	1,92253E-06	0,000156
	Toxicidade humana não cancerígena	DALY	7,83E-05	3,39901E-05	8,77371E-06	4,43404E-06	3,11E-05
Consumo de água (saúde humana)	DALY	3,59E-06	1,42737E-06	1,74504E-07	2,10655E-07	1,75E-06	
Dano ao Ecossistema	Aquecimento Global (ecossistema terrestre)	espécies.ano ³	1,35E-06	1,4902E-07	2,4824E-07	4,07212E-07	5,45E-07
	Aquecimento Global (ecossistema aquático)	espécies.ano	3,69E-11	4,07022E-12	6,78119E-12	1,11253E-11	1,49E-11
	Formação de Ozônio (ecossistema terrestre)	espécies.ano	1,76E-07	1,633E-08	2,74532E-08	5,77152E-08	7,46E-08
	Acidificação Terrestre	espécies.ano	2,81E-07	3,92866E-08	3,72214E-08	7,88422E-08	1,26E-07
	Eutrofização da água doce	espécies.ano	3,87E-08	1,35941E-08	7,26399E-09	1,84224E-09	1,6E-08
	Eutrofização da água marinha	espécies.ano	2,41E-11	8,97427E-12	1,63892E-12	2,1214E-12	1,13E-11
	Ecotoxicidade terrestre	espécies.ano	1,74E-08	3,03974E-09	1,54873E-09	3,56426E-09	9,25E-09
Ecotoxicidade água doce	espécies.ano	1,11E-08	3,78579E-09	1,55586E-09	5,26572E-10	5,24E-09	

FONTE: Autora (2021)

³ DALY - *Disability Adjusted Life Years* - Anos de vida perdidos ajustados por incapacidade³ Espécies.ano – Mortalidade espécies anos⁴ USD – Valor da unidade de recursos

TABELA 3b- CARACTERIZAÇÃO AICV DA CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL EM ESTUDO, MÉTODO RECIPE.

Dano ao Ecosistema	Ecotoxicidade água marinha	espécies.ano	2,26E-09	7,71959E-10	3,0587E-10	1,1957E-10	1,07E-09
	Uso de terra	espécies.ano	1,73E-06	1,87086E-07	1,11966E-07	1,74881E-07	1,24E-06
	Aquecimento Global (ecossistema terrestre)	espécies.ano ³	1,35E-06	1,4902E-07	2,4824E-07	4,07212E-07	5,45E-07
	Consumo de água (ecossistema aquático)	espécies.ano	1,12E-11	1,47769E-12	2,68013E-13	1,24842E-12	6,22E-12
Dano aos recursos naturais	Escasses de recurso mineral	(\$ USD ⁴)	3,261981	1,367924002	1,202674561	0,08842336	0,602959
	Escasses de recurso fóssil	(\$ USD)	29,92071	4,475820877	5,42744012	6,871663072	13,14579

FONTE: Adaptado de SIMAPRO (2021)

Em relação ao impacto total, na categoria de dano à saúde humana, temos que as categorias que mais sofrem impacto são o aquecimento global, o que faz todo sentido visto que a maioria dos materiais geram maior impacto nesta categoria, o desequilíbrio desta categoria pode causar diversos danos como problemas respiratórios, doenças de pele como câncer, expansão de doenças tropicais como dengue e febre amarela e até doenças cardíacas (SANTOS *et. al.*, 2007). E a categoria de formação de material particulado, que contribui muito para o aquecimento global, além de ser também prejudicial para a saúde humana (BRITO *et. al.*, 2018). Segundo Resende (2007) o material particulado no canteiro de obra, pode ser formado pela queima de combustíveis de veículos pesado à diesel e equipamentos movido à gasolina, além de poeira de perfuração, serragem, produção de concreto e argamassas. De acordo com Greater London Authority (2010) uma medida de controle seria planejar o canteiro de obras de maneira a otimizar os transportes e estoque de insumos. Outra saída de acordo com o mesmo autor, seria evitar o uso de geradores a diesel ou gasolina usando a rede elétrica ou equipamento alimentado por bateria ou painéis fotoelétricos, sempre que possível.

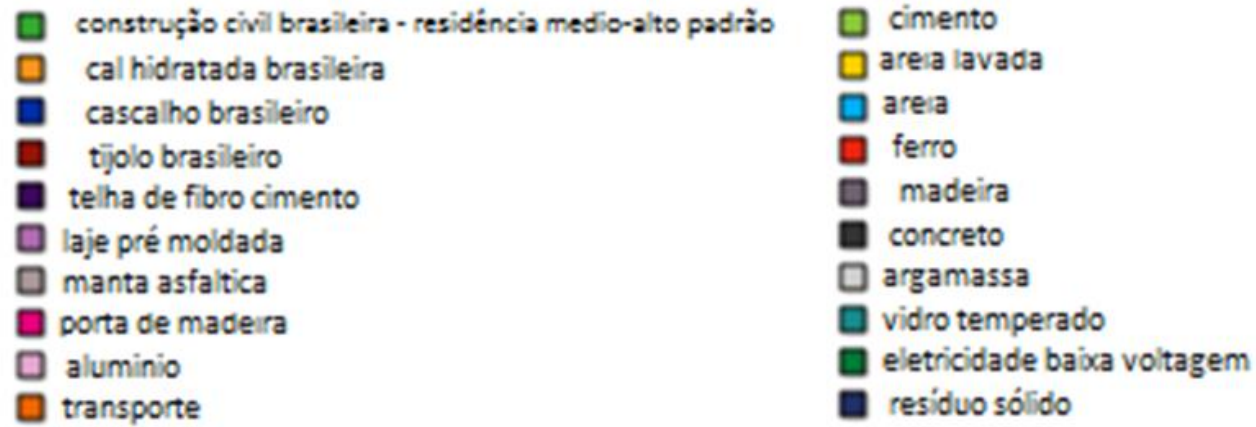
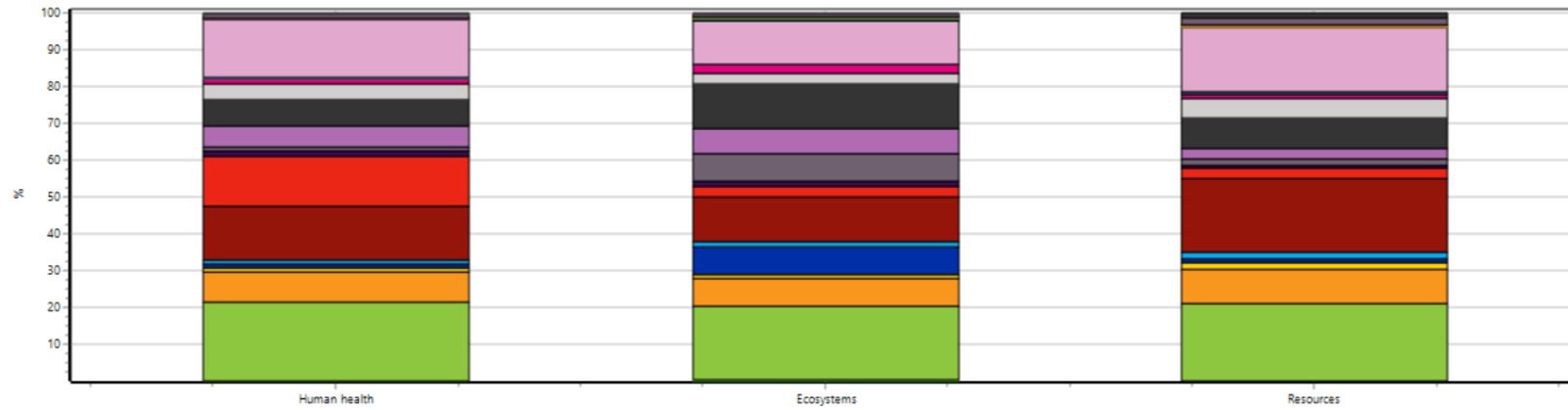
Na categoria de dano ao ecossistema as categorias que mais sofrem impacto são aquecimento global em ecossistema terrestre e uso de terra e na categoria de uso de recursos naturais, a categoria de recursos minerais é a de maior impacto.

Para aprofundar essa análise, podemos analisar também os insumos considerados mais impactantes. Estão são, o alumínio, o tijolo e o cimento, todos eles possuem o maior impacto na categoria depleção de combustíveis fósseis.

Esta categoria tem alto impacto pelo diesel utilizado e geração de energia.

4.5.3 Avaliação de danos

FIGURA 20 - AVALIAÇÃO DE DANOS



FONTE: Autora (2021)

A Figura 20 de avaliação dos danos do impacto ambiental de cada entrada em relação às categorias *endpoint* de todo o ciclo de vida da construção avaliada desde o berço até o portão. Podemos observar que o cimento (verde) com impacto de 21,3%, 20% e 21% nas categorias de dano a saúde, dano ao ecossistema, dano aos recursos naturais, respectivamente que contribui mais para a geração de danos.

O tijolo (vermelho escuro – bordô) é o segundo, com impacto de 14,7% na categoria de dano à saúde humana, 12% na categoria de dano ao ecossistema e o maior impacto na categoria de dano aos recursos naturais, com 20%.

O alumínio (roxo claro) vem em seguida, com valores próximos ao do tijolo, com 15,5% na categoria de dano à saúde humana, 11,6% dano ao ecossistema e com maior impacto na categoria de dano aos recursos naturais, com 17,6%

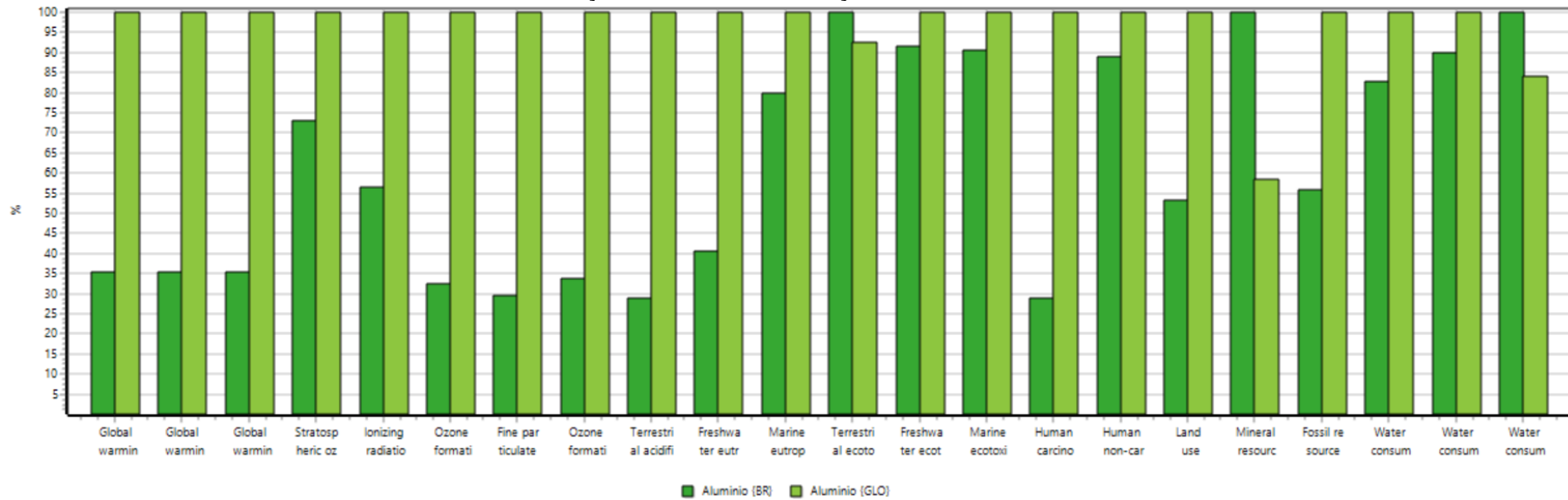
O ferro (vermelho) tem uma representação significativa na categoria de dano à saúde humana por consequência da categoria *midpoint* toxicidade humana cancerígena. O concreto (cinza escuro) possui uma participação relevante com 8% no dano à saúde e aos recursos e 12% em relação ao dano ao ecossistema. A cal (laranja) também é um produto que vale ser comentado apresentando média de impacto de 8% em cada uma das categorias.

4.6 COMPARAÇÃO DE MATERIAL

Nesta parte do trabalho, foi realizado um comparativo entre os principais materiais que causam grande impacto, realizando um comparativo entre o inventário brasileiro e o inventário de outras regiões, como global ou chinês, de origem do banco de dados Ecoinvent.

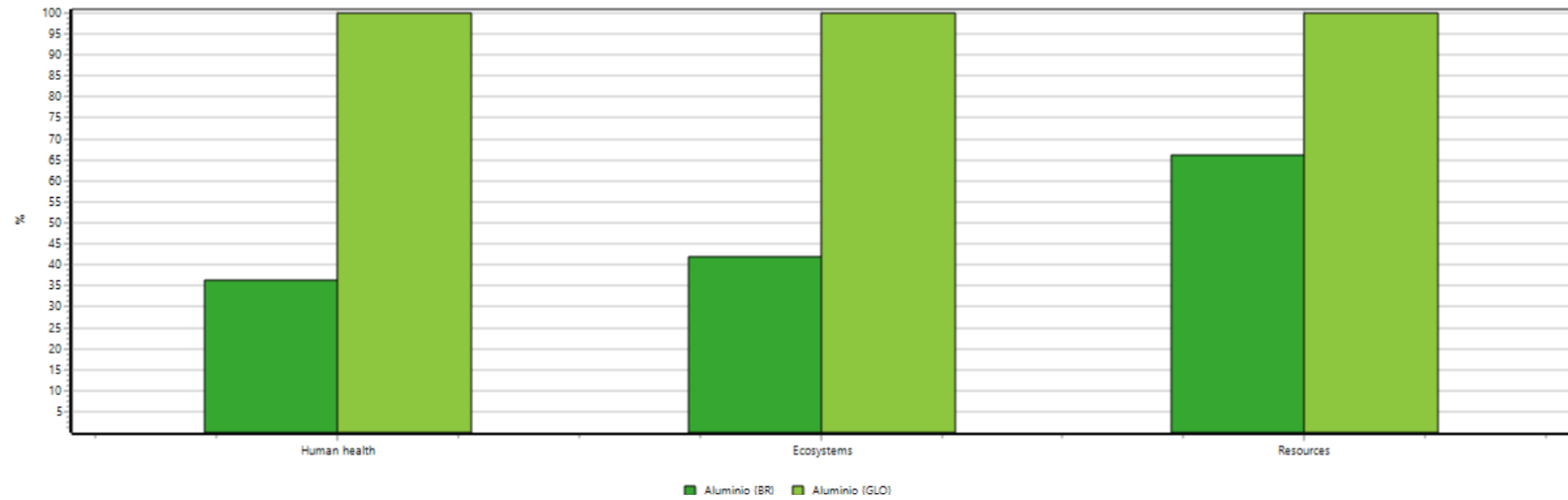
Na Figura 21 temos o gráfico de caracterização de comparação entre o alumínio.

FIGURA 21 - COMPARAÇÃO DE CARACTERIZAÇÃO ALUMÍNIO BRASILEIRO E ALUMÍNIO GLOBAL



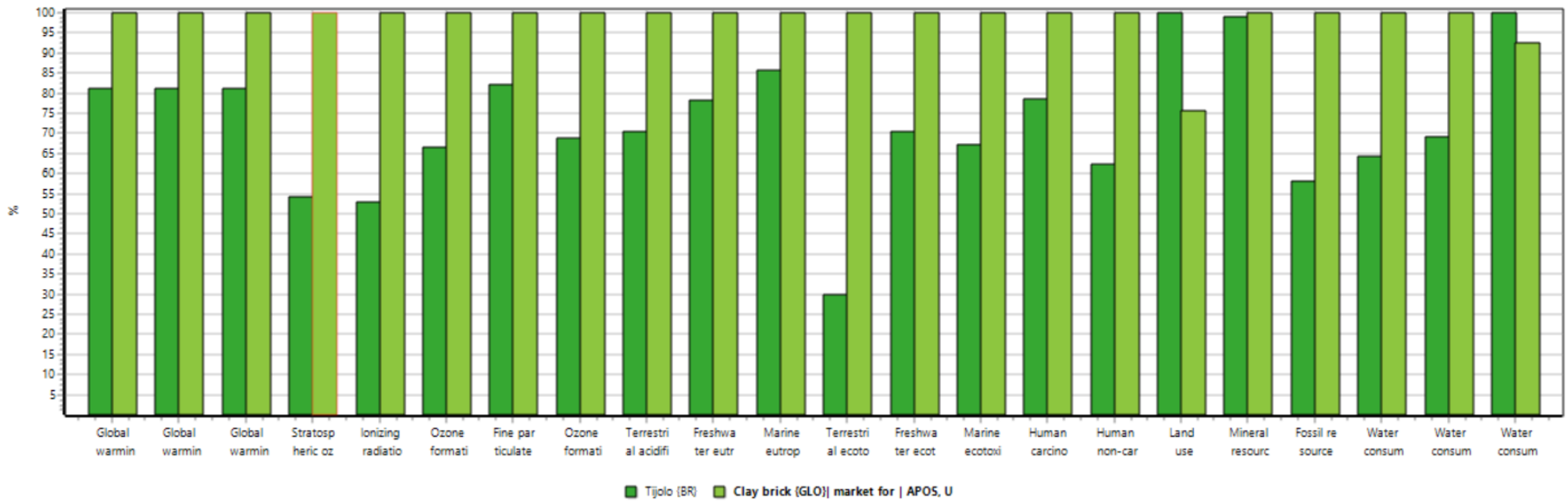
FONTE: Autora (2021)

FIGURA 22- COMPARAÇÃO AVALIAÇÃO DE DANOS ALUMÍNIO BRASILEIRO E ALUMÍNIO GLOBAL



FONTE: Autora (2021)

FIGURA 23- COMPARAÇÃO CARACTERIZAÇÃO DE DANOS TIJOLO BRASILEIRO COM TIJOLO GLOBAL



FONTE: Autora (2021)

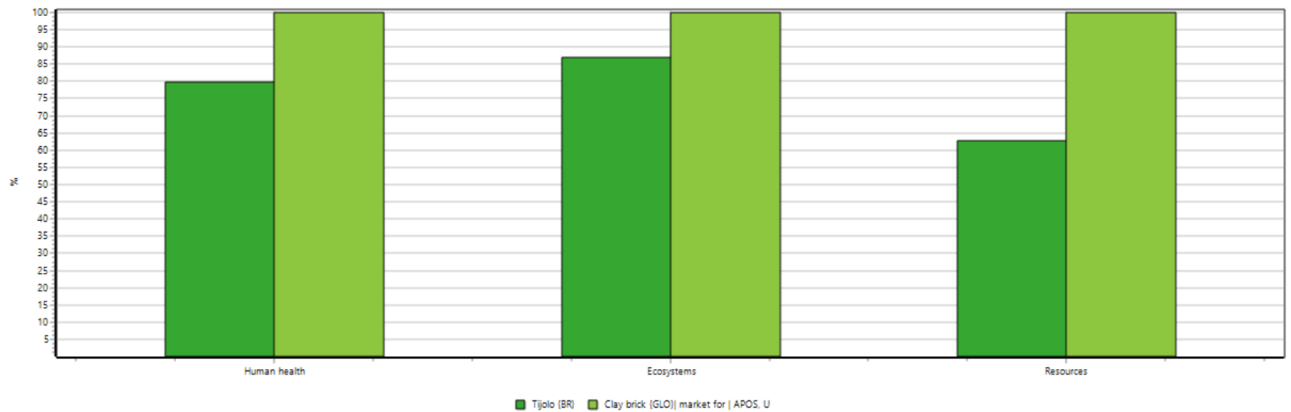
A Figura 21 está relativizada a 100% para a comparação, podemos observar que o alumínio global representado pela cor verde claro gera mais impactos em quase todas as categorias se comparado com o alumínio brasileiro (verde escuro). Sendo, somente em três categorias onde o impacto do alumínio brasileiro é maior que o global, especificamente nas categorias de depleção mineral, o mesmo impacta 41,7% a mais que o global, categoria consumo de água em ecossistema aquático onde o impacto é 15,8 % maior que o inventário global e a categoria ecotoxicidade terrestre onde o impacto é 7,5% maior que o impacto global.

Em uma análise mais sucinta a Figura 22 mostra o gráfico de avaliação de danos. Disposto nesta figura temos o agrupamento e classificação de todas as categorias em somente três categorias *endpoint*, como a maioria das categorias do alumínio global apresentam impacto relativo de 100% aqui também acontece isso, sendo que o alumínio brasileiro impacta 63,6%, 58% e 33,7% a menos nas categorias dano à saúde humana, dano ao ecossistema e uso de recursos humanos, respectivamente.

Realizando a mesma comparação para o tijolo temos a Figura 23, que está relativizada ao 100% para a comparação. Podemos observar que o tijolo global representado pela cor verde claro gera mais impactos em quase todas as categorias se comparado com o inventário do tijolo brasileiro (verde escuro). Sendo, somente em duas categorias onde o impacto do tijolo brasileiro é maior que o global, especificamente nas categorias de uso da terra, onde o mesmo impacta 24,2% mais que o global e a categoria consumo de água para ecossistema aquático, onde a diferença de impacto é de 7,4%.

Em uma análise mais sucinta a Figura 24 a seguir mostra o gráfico de avaliação de danos.

FIGURA 24- COMPARAÇÃO AVALIAÇÃO DE DANOS TIJOLO BRASILEIRO E TIJOLO GLOBAL

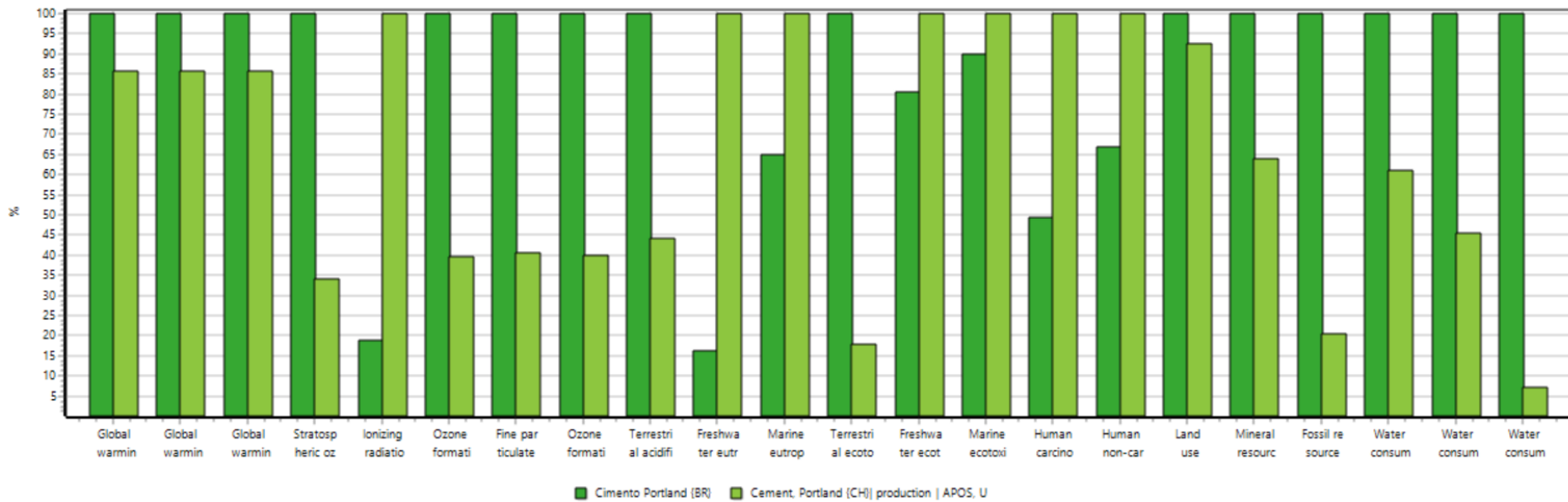


FONTE: Autora (2021)

Na Figura 24 temos o agrupamento e classificação de todas as categorias em somente três categorias *endpoint*, como a maioria das categorias do tijolo global apresentam impacto relativo de 100% aqui também acontece isso, sendo que há uma diferença de impacto de 20%, 13% e 37,3% em relação as categorias de dano à saúde, dano ao ecossistema, e uso de recursos naturais, respectivamente.

Na Figura 25 foi realizada a mesma análise para a comparação entre o inventário brasileiro do cimento e o inventário chinês do cimento, não mais o global como nas análises anteriores.

FIGURA 25 - COMPARAÇÃO CARACTERIZAÇÃO CIMENTO BRASILEIRO E CIMENTO CHINÊS

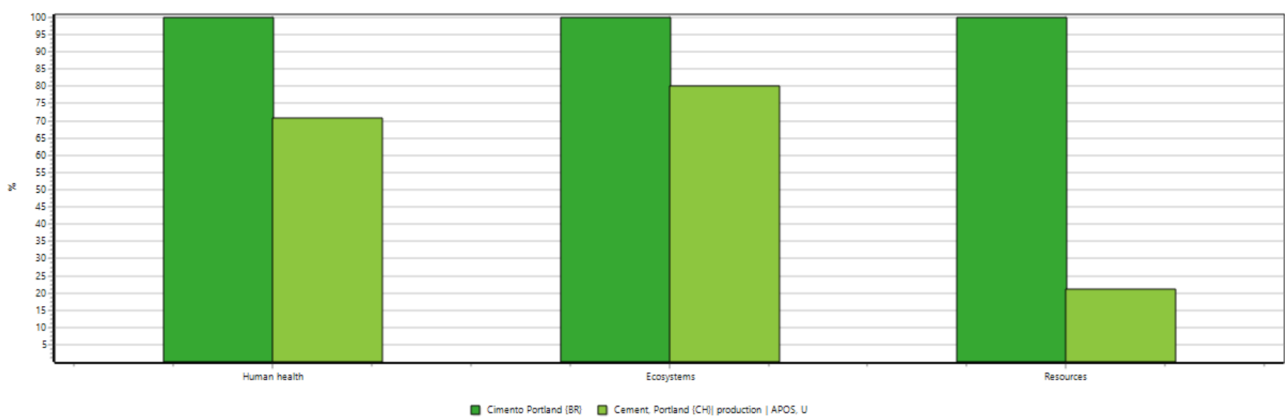


FONTE: Autora (2021)

A Figura 25 está relativizada a 100% para a comparação, podemos observar que o cimento brasileiro representado pela cor verde escuro gera mais impactos em quase todas as categorias se comparado com o inventário chinês, salvo nas categorias de, radiação ionizante onde o cimento chinês impacta mais, com 81% de diferença, eutrofização da água doce e marinha onde o cimento chinês impacta mais com 83,7% e 35,2% de diferença respectivamente, ecotoxicidade água doce e marinha onde o cimento chinês impacta mais com 19,5% e 10% respectivamente e toxicidade humana cancerígena e não cancerígena onde o cimento chinês impacta mais com diferença de 50,6% e 33,2% respectivamente

Analisando somente as três principais categorias de impactos, conhecidas como categorias *endpoint*, temos a Figura 26 que mostra o gráfico de avaliação dos danos:

FIGURA 26- COMPARAÇÃO AVALIAÇÃO DE DANOS CIMENTO BRASILEIRO E CIMENTO GLOBAL



FONTE: Autora (2021)

Na Figura 26 temos o agrupamento de todas as categorias em suas respectivas categorias *endpoint*, o cimento brasileiro (verde escuro) também apresenta maior impacto aqui, sendo que o cimento chinês (verde claro) apresenta uma diferença de 29,1% de impacto em relação a categoria dano à saúde humana, 19,9% menos impacto em relação a categoria dano ao ecossistema e 79% menos impacto em relação ao uso de recursos naturais.

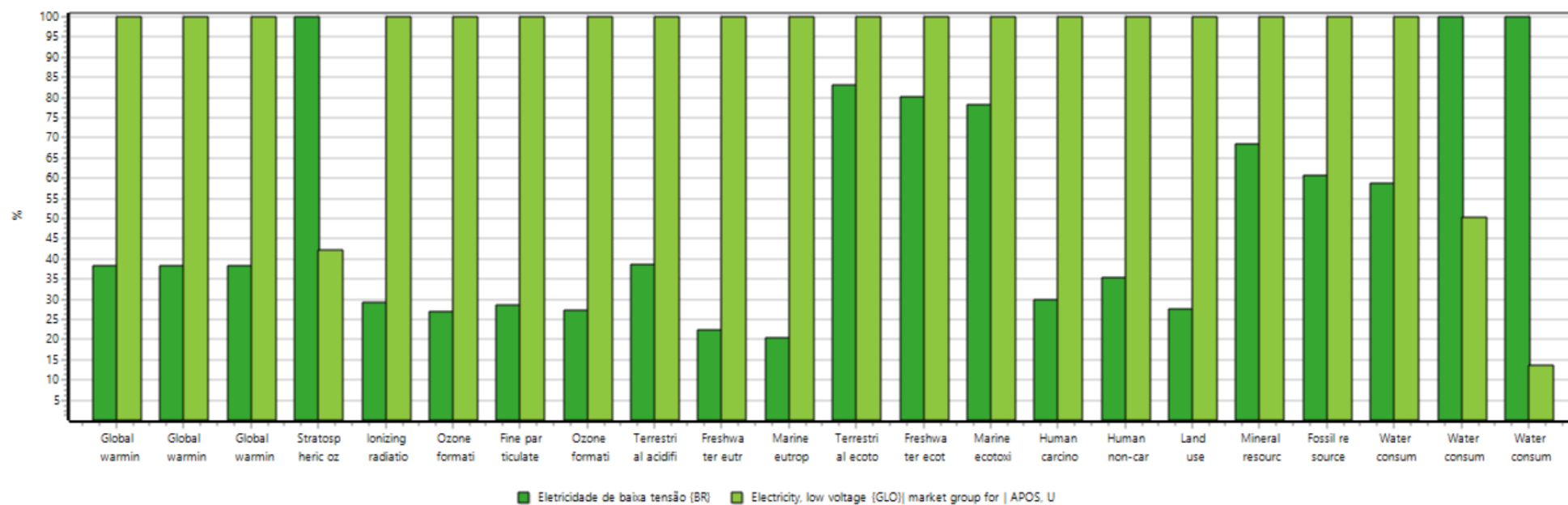
Já analisado os três insumos que mais causam impacto na construção da residência, foi analisado a diferença entre a energia brasileira de baixa voltagem e a

energia global de baixa voltagem, porque como já citado na literatura anteriormente as características regionais fazem diferença no inventário, dentre elas a energia, pois no Brasil por usarmos majoritariamente a energia hidroelétrica, é considerado muitas vezes uma energia mais limpa que dos outros países.

A Figura 27 mostra essa análise e está relativizada aos 100% para a comparação. Podemos observar que a energia global de baixa voltagem representada pela cor verde clara gera mais impactos em quase todas as categorias se comparado com a energia brasileira de baixa voltagem (verde escuro). As únicas categorias que a energia brasileira possui maior impacto são na depleção de ozônio onde a mesma impacta em 57,6% mais que a energia global, e no consumo de água tanto no ecossistema terrestre com diferença de 49,6%, como no ecossistema aquático com diferença de 86,5% mais impacto que a energia global.

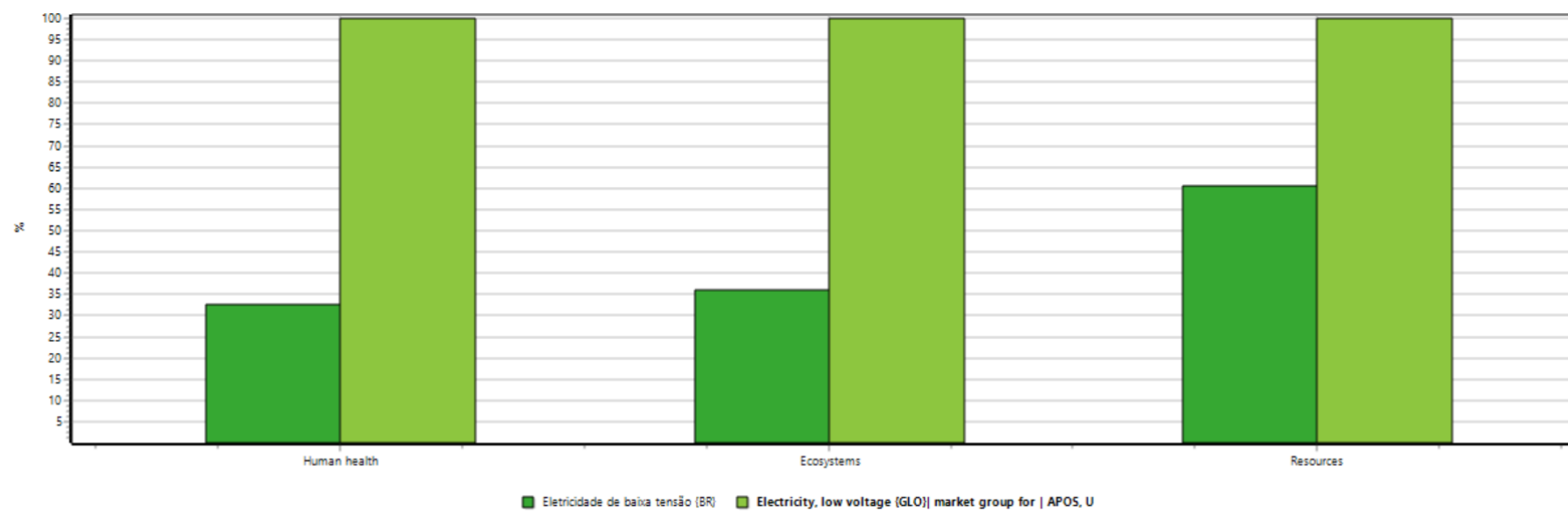
A Figura 28 faz uma análise sucinta, não mais de todas as categorias, mas somente das categorias *endpoint*. Nestas categorias, a energia global continua impactando mais com diferenças de 67,4% na categoria de dano à saúde humana, com 63,9% na categoria de dano ao ecossistema e 39,3% na categoria uso de recursos naturais.

FIGURA 27 - COMPARAÇÃO CARACTERIZAÇÃO ENERGIA DE BAIXA VOLTAGEM BRASILEIRA E ENERGIA DE BAIXA VOLTAGEM GLOBAL



FONTE: Autora (2021)

FIGURA 28 - COMPARAÇÃO DE AVALIAÇÃO DE DANOS ENERGIA DE BAIXA VOLTAGEM BRASILEIRA E GLOBAL



FONTE: Autora (2021)

4.7 INTERPRETAÇÃO E MEDIDAS MITIGADORAS

Uma boa alternativa de melhoria para a obra seria a classificação dos resíduos, assim seria possível além de reciclar alguns materiais e reduzir custos, quantificar melhor, com mais exatidão a perda específica de cada material. Visto que nesta construção residencial não houve a segregação dos resíduos, sendo possível saber apenas que resultou em 8 caçambas de 5m³ de resíduos e não a porcentagem de cada material. Além disso, o gestor da obra não reutiliza, não revende, nem recicla nenhum insumo atualmente, o que poderia reduzir os custos de produção. O gestor poderia ter um conhecimento melhor da obra e das suas perdas caso o material fosse segregado, assim poderia ter plano de ações mais eficaz, e usar ferramentas para atingir a causa raiz.

Segundo Evangelista *et. al.* (2010) a reciclagem de resíduo da construção civil começou depois da segunda guerra mundial, na Alemanha, entretanto no Brasil essa prática é mais recente e não tão frequente, dessa maneira a mesma faz um estudo em cima disso, afirmando que a reciclagem de resíduos sólidos poderia diminuir o uso de recursos naturais e gastos com transporte até os aterros sanitários, comprovando a viabilidade do processo desde que ocorra a correta segregação que pode ser feita por processos.

Ainda segundo Santos (2015) existem diversas técnicas para tratamento do resíduo sólido que podem ser implementados em várias fases do ciclo de vida, mas é importante que haja uma coleta seletiva dos materiais para que eles não se misturem e um contamine o outro.

Ademais, existem diversas outras práticas sustentáveis como, usar energia solar, captar água da chuva, eco design, que devem fazer parte do projeto de uma residência sustentável e que apresentará muitos resultados positivos na fase de uso.

De acordo com Leite (2011 *apud* Santos, 2015) um projeto que visa ser sustentável, para ser bem elaborado, deve ser levado em consideração aspecto econômico, social e ambiental, que são os três pilares da sustentabilidade. Sendo assim, fatores como energia solar, aproveitamento de água, melhor aproveitamento de luz e ventilação natural são técnicas importantes. Fatores estes que não foram levados como prioridade no projeto desta residência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve por objetivo geral, avaliar o ciclo de vida de uma construção residencial de alto padrão localizada na cidade de Presidente Prudente – SP.

Em relação ao primeiro objetivo específico modelagem do sistema, foi um objetivo atingido, visto que esta modelagem foi realizada tanto na fase pré-operacional, como na obra em si. Foi levantado entradas e saídas e dessa maneira foi possível realizar uma modelagem que caracteriza uma residência de alto padrão de acordo a unidade funcional.

O segundo objetivo propõe identificar inventários de ciclo de vida de edificações residenciais. O estudo identificou que a maioria dos dados cadastrados nos bancos de dados possuem dados regionais de origem Europeia, Chinesa, entre outros, o que pode diferir bastante no resultados. Nesse sentido, foram feitas adaptações aos inventários existentes para a caracterização de um inventário que represente a realidade brasileira. Entretanto, o estudo encontrou limitações, pois como já foi citado no referencial teórico, a maioria dos trabalhos são relacionados à fase de uso, ou são agrupados pela fase da construção como fundição, alvenaria, acabamento, e não por insumos, como foi realizado no presente estudo.

O terceiro objetivo específico, relacionado com a criação de um inventário do ciclo de vida de uma residência de alto padrão, também foi concluído, utilizando inventários de insumos prontos ou adaptados.

Em relação ao quarto objetivo específico, os resultados mostraram que a avaliação dos impactos ambientais que tiveram maior impacto em relação à construção da obra residencial de alto padrão, na categoria de danos à saúde humana foram, aquecimento global e formação de material particulado. Duas categorias que estão conectadas, visto que a formação de material particulado indo de encontro à teoria citada anteriormente de Brito et al. (2018), pode influenciar direta ou indiretamente na variação de temperatura. Em relação aos danos ao ecossistema, a categoria que mais impactou, foram dano ao ecossistema terrestre e o uso de terra. Em relação ao uso de recursos minerais, a categoria de maior impacto é a de recursos fósseis.

Fazendo essa avaliação de impacto foi possível identificar os três insumos, que mais impactaram nesta obra também, que neste caso foi, o alumínio, o cimento e o tijolo.

Por ser uma obra atual e de médio alto padrão usou-se bastante alumínio na fase de acabamento, e este é um material que além de usar muita energia para sua transformação, também usa bastante recursos minerais, gerando um impacto ambiental relevante.

O cimento e o tijolo também são insumos que possuem grande impacto ambiental, além do seu grande volume utilizado na obra, o tijolo também passar por um processo de queima que emite gases poluentes e possui um grande consumo de água para sua fabricação. (MOTTA, et al., 2014) O mesmo acontece com o cimento, que é um grande emissor de gases de efeitos estufa e materiais particulados que traz danos ao meio ambiente e a saúde humana. (MAURY e BLUMENSCHNEIN, 2012)

Visto que este são os insumos mais impactantes, e como já foi descrito, que pode haver divergência entre uma região e outra. Foi determinado um objetivo específico que visa além de mostrar o impacto do insumo em si, comparar com o impacto dele entre uma região e outra. Sendo assim, foi possível ver as categorias de impacto que tiveram maior impacto e, além disso, ver melhor sobre essa diferença entre regiões.

Foi realizado também um comparativo entre a energia brasileira e a energia global possibilitando a análise do impacto ambiental de ambas energias. O estudo pode verificar que a matriz energética brasileira é mais limpa, e com isso tem um impacto menor no meio ambiente. Sendo assim, quando foram feitas as adaptações de produtos de outros lugares como globais, europeus, chineses, para produtos brasileiros temos conseqüentemente um produto de menor impacto também.

Concluimos que, o presente trabalho apresentou um inventário a ser utilizado para trabalhos futuros de ACV da construção civil.

Cabe destacar que a ACV avalia todo o ciclo de vida de uma edificação, logo se os insumos que mais impactaram na construção de uma residencial de alto padrão foram o alumínio, o cimento e o tijolo, sendo assim, é necessário olhar para trás, para o ciclo de vida desses produtos, o que mais impactam neles? Qual o tipo

de energia utilizada? Qual a quantidade de recurso natural utilizado? Esses são aprofundamentos de trabalhos de ACV de edificações residenciais que ficam como sugestão para trabalhos futuros, inclusive o próprio gestor possa entender como estudar saídas para planejar uma residência mais sustentável.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12.721:** Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040:** Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ALVES, I. J. B. R.; FREITAS, L. S. Análise comparativa das ferramentas de gestão ambiental: produção mais limpa x ecodesign. In: LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A., orgs. **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa [online]**. Campina Grande: EDUEPB, 2013. p. 193-212. ISBN 9788578792824. Disponível em SciELO Books: <http://books.scielo.org/id/bxj5n/pdf/lira-9788578792824-08.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CICLO DE VIDA (ABCV). Disponível em: http://www.abcvbrasil.org.br/?p=texto.php&c=quem_somos. Acesso em 20 abril 2020.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). **Panorama de resíduos sólidos no Brasil. 2017**. Edição especial 15 anos. 74f. Disponível em: https://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf. Acesso em: 15 jul. 2020.

BIANCHINI, U. L. **Análise do Ciclo de Vida do Álcool Hidratado produzido na usina São Luiz localizada no município de Ourinhos - SP**. 2007. 54f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Curso De Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/124375>. Acesso em: 20 jun. 2020.

BLENGINI, G. A. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: a case study in Turin, Italy. **Building And Environment**, [S.l.], v. 44, n. 2, p. 319-330, fev. 2009. Disponível em: https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/558288/mod_folder/content/0/Group%204_C_D%20waste_paper%20.pdf?forcedownload=1. Acesso em: 13 jul. 2020.

BLENGINI, G.A., *et al.* Life Cycle Assessment Guidelines for the Sustainable Production and Recycling of Aggregates: The Sustainable Aggregates Resource Management Project (SARMa). **Journal of Cleaner Production**, v. 27, 177-181. 2013.

BLENGINI, G. A., & Di Carlo, T. (2010). The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings. **Energy and Buildings**, 42(6), 869–880. doi:10.1016/j.enbuild.2009.12.009.

BORGES, F. H.; TACHIBANA, W. K. A evolução da preocupação ambiental e seus reflexos no ambiente dos negócios: uma abordagem histórica. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 25., 2005, Porto Alegre. **Anais**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2005. p. 1-8. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2005_Enegep1005_1433.pdf. Acesso em 13 jun. 2020.

BRASIL. **Lei nº 10.931, de 2 de agosto de 2004**. Dispõe sobre o patrimônio de afetação de incorporações imobiliárias, Letra de Crédito Imobiliário, Cédula de Crédito Imobiliário, Cédula de Crédito Bancário, altera o Decreto-Lei nº 911, de 1º de outubro de 1969, as Leis nº 4.591, de 16 de dezembro de 1964, nº 4.728, de 14 de julho de 1965, e nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002, e dá outras providências. Casa Civil, Brasília, 2 de agosto de 2004; 183º da Independência e 116º da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2004/lei/110.931.htm. Acesso em: 17 jul. 2020.

BRASIL. **Lei nº 9.514, de 20 de novembro de 1997**. Dispõe sobre o Sistema de Financiamento Imobiliário, institui a alienação fiduciária de coisa imóvel e dá outras providências. Casa civil, Brasília, 20 de novembro de 1997; 176º da Independência e 109º da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9514.htm. Acesso em: 17 de jul. 2020.

BRASIL. Ministério das Cidades. Ministério do Meio Ambiente. Área de manejo de resíduos da construção e resíduos volumosos: **Orientação para o seu licenciamento e aplicação da Resolução Conama 307/2002**. 2005. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/ascom_boletins/arquivos/manual_licenciamento_rcd.pdf. Acesso em: 12 jul. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução Conama no 358, de 29 de abril de 2005**. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 4 maio 2005.

BRIBIÁN, I. Z. *et al.* Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. **Building and Environment**. Zaragoza, Spain, v. 46 p. 1133-1140. maio 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132310003549> Acesso em: 10 jul. 2020.

BRITO, G. F. S. *et al.* O Impacto do Material Particulado na Qualidade do Ar. **Revista Virtual de Química**. v. 10, n. 5, p. 1-20, 30 out. 2018. Disponível em: <https://www.ufjf.br/baccan/files/2019/04/Brito-Gabriel-RVQ-NoPrelo.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2021.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). Banco de Dados. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/emprego/emprego-formal->

caged-secretaria-especial-de-previdencia-e-trabalho-serie-antiga-dados-ate-dez2019. Acesso em: 10 jul. 2020.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). Banco de Dados. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>. Acesso em: 3 jul. 2020.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). Construção Sustentável: A mudança em curso. Disponível em: <https://www.cbic.org.br/sustentabilidade/wp-content/uploads/sites/22/2017/10/Caderno-Setorial-CBIC-CNI-Sustentabilidade.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2020.

CAMPOLINA, J. M. *et al.* Uma revisão de literatura sobre softwares utilizados em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, UFMS, Santa Maria. v. 19, n. 2, mai-ago. 2015, p. 735-750.

CANCHUMANI, L. G. A. *et al.* **Avaliação do ciclo de vida na mineração**: estudos da produção de minério de ferro. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2015. Série Estudos e Documentos, 89. 80p. (ISBN – 978-85-8261-045-9). Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1923/1/sed-89.pdf>. Acesso em: 15 maio 2020.

CANCHUMANI, L. G. A. **Óleos lubrificantes usados: um estudo de caso de avaliação de ciclo de vida do sistema de rerrefino no Brasil**. 2013. 157 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético.) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CANCHUMANI, L. G. A.; LIMA, F.M.R.S. Estudo da avaliação do ciclo de vida - ACV da produção de pelotas de minério de ferro. In: Jornada Do Programa De Capacitação Interna Do CETEM. Rio de Janeiro. **Anais...** CETEM/MCTI, 2015.

CARDOSO, A. C. F. *et al.* Estimativa de Geração de Resíduos da Construção Civil e Estudo de Viabilidade de Usina de Triagem e Reciclagem. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, [S.l.], v. 31, p. 1-10, mar. 2014. Disponível em: http://abes-dn.org.br/publicacoes/rbciamb/PDFs/31-03_Materia_1_artigos386.pdf Acesso em: 16 jul. 2020.

CASTELO BRANCO, D. A. **Avaliação do real potencial de redução das emissões de CO2 equivalente com uso da captura em uma UTE a carvão**. Tese (Doutorado em Programa de Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.2012.

COLTRO, L. (org.) **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão**. Campinas: CETEA/ITAL, 2007. (ISBN 978-85-7029-083-0). Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/42837176/ACVComo-to-de>. Acesso em: 08 de maio 2020.

CUNHA, C. G.; **A importância do setor de construção civil para o desenvolvimento da economia Brasileira e as alternativas complementares**

para o *funding* do crédito imobiliário no Brasil. 2012. 81f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/1799/1/GCCunha.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2020.

DEN BOER J. et al. LCA-IWM: a decision support tool for sustainability assessment of waste management systems. **Waste Management**, New York, v. 27, p. 1032–1045, abr. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.022>.

EKVALL, T. A market-based approach to allocation at open-loop recycling. **Resources Conservation and Recycling**, v. 29, p. 91-109, mai. 2000. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(99\)00057-9](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(99)00057-9).

EVANGELISTA, P. P. A. et al. Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 23-40, set. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212010000300002>.

EVANGELISTA, P. P. A. et al. **DESEMPENHO AMBIENTAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PARÂMETROS PARA APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS BRASILEIRAS**. 2017. 255 f. Tese (Doutorado) - Curso de Energia e Ambiente, Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017. Disponível em: <http://www.cienam.ufba.br/sites/default/files/TESE%20FINAL%20-%20PATRICIA%20EVANGELISTA.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2021.

EVANGELISTA, P. P. A. et al. (2019). *Environmental performance analysis of residential buildings in Brazil using life cycle assessment (LCA)*. *Construction and Building Materials*, 169, 748–761. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.02.045.

FINNVEDEN, G. et al. Recent Developments in Life Cycle Assessment, **Journal of Environmental Management**, vol. 91, n. 1, p. 1-21, set. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008. 220p. v. 1. ISBN 978-85-224-5124-5. Disponível em: <https://ayanrafael.files.wordpress.com/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2020.

GIROTTI, T. F. B. S. **Avaliação de modelos de caracterização de AICV para a categoria smog fotoquímico considerando contexto Brasileiro**. 2018. 128f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Lages, 2018.

GOEDKOOP M.; HEIJUNGS R.; DE SCHRYVER A.; STRUIJS J.; VAN ZELM R. ReCiPe 2008/Report I: Characterization. Holanda. Ministerie Van VROM, Den Haag, 2009. Disponível em:

https://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/recipe_characterisation.pdf. Acesso em 25 nov. 2020.

GUINÉE, J.B. *et al.* **Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards**. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Dordrecht, Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002. 692p. v.7 (ISBN 1-4020-0228-9).

GUINÉE, J.B. *et al.* Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. **Environmental Science and Technology**, v. 45, n. 1, p. 90-96, set. 2011. <https://doi.org/10.1021/es101316v>.

GREATER LONDON AUTHORITY – GLA. The control of dust emissions from construction and demolition. Versão Draft London Best Practice Guide. London: Greater London authority e Association of London government, Gilbratar, 2010. 21p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/presidente-prudente/panorama>. Acesso em: 07 out. 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Contas Nacionais Trimestrais**. Indicadores de Volume e Valores Correntes. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2121/cnt_2019_4tri.pdf. Acesso em 29 jun. 2020.

Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM). Disponível em: <https://ipam.org.br/glossario/co2-equivalente-co2e/>. Acesso em: 23 jul. 2020.

SANTOS, D. T. *et al.* **AQUECIMENTO GLOBAL: RISCOS E CONSEQUÊNCIAS À SAÚDE HUMANA. XI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, Vale do Paraíba**. 2007. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2007/trabalhos/biologicas/inic/INICG00290_02O.pdf. Acesso em: 28 mar. 2021.

SANTOS, I. R.. **Medidas para a Redução de Impactos Ambientais Gerados pela Construção Civil**. 2015. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Ufrj, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014319.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2021.

JOHN M. V. **Materiais de Construção e Meio Ambiente**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. *Versão editada de capítulo a ser publicado no livro: V. M. John Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais G Isaia, editor. IBRACON 2017.*

KIPERSTOK, A. *et al.* **Prevenção da Poluição**. Brasília: SENAI/DN, 2002. 290 p. (ISBN 85-7519-071-7). Disponível em:

http://www.fieb.org.br/Adm/Conteudo/uploads/livro_poluicao_id_26__x68db620f30d24e6d89b0c0234bf0f82d_662013115615_.pdf. Acesso em: 07 jun. 2020.

KLÖPFFER, W. **Background and Future Prospects in Life Cycle Assessment. LCA Compendium** – The Complete World of Life Cycle Assessment. 2014. doi:10.1007/978-94-017-8697-3.

LANA, T. A. C.; PEREIRA, A. F. ACV SIMPLIFICADA E ANÁLISE DE EMISSÕES DE CO₂ EM SISTEMAS DE VEDAÇÃO ARQUITETÔNICA. **Mix Sustentável**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 145-162, 23 mar. 2020. **Mix Sustentável**. <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.mix2020.v6.n1.145-162>.

LIMA, A. M. F. **Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil: inserção e perspectivas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) -Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007. Disponível em: <https://document.onl/documents/avaliacao-do-ciclo-de-vida-no-brasil-ngela-maria-ferreira-lima-avaliacao.html>. Acesso em 5 abr. 2020.

LIMA, A. M. F. *et al.* MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DE PATENTES E ARTIGOS COM O TEMA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA. **Cadernos de Prospecção**, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 409-415, 30 set. 2014. Universidade Federal da Bahia. <http://dx.doi.org/10.9771/s.cprosp.2014.007.041>.

MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing**: Uma orientação aplicada. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 720p. (ISBN: 85-363-0650-5). Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4069118/mod_resource/content/1/Malhotra_20_AnaliseDeAgrupamentos.pdf. Acesso em 3 jun. 2020.

MARCAL, M. L. *et al.* Fundamentos Da Análise Do Ciclo De Vida. In: XXXIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção. Salvador. **Anais...** ENEGEP, 2013.

MARCOVITCH, J. (Org.). **Certificação e sustentabilidade ambiental: uma análise crítica**. São Paulo, 2012. 148p. Disponível em: <http://mudarfuturo.fea.usp.br/temas/artigos/2012-certificacao-e-sustentabilidade/>. Acesso em 02 abr. 2020.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHNEIN, R. N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 75-96, jun/2012. Semestral

MEDEIROS, L. M.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I, J. A. Contribuição para a avaliação de ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 365-385, abr./jun. 2018. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000200259>.

MENDES, N. C. *et al.* Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 160-175, nov. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.153213>.

MENDES, Natalia Crespo *et al.* Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 160-175, 24 nov. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.153213>.

MERCANTE, I. T. *et al.* Life cycle assessment of construction and demolition waste management systems: a Spanish case study. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, [S.l.], v. 17, n. 2, p. 232-241, dez. 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-011-0350-2>.

MORAGA, Gustavo Longaray. **Avaliação do Ciclo de Vida e simulação termoenergética em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida**. 2017. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MOTTA, J. C. S. S. *et al.* TIJOLO DE SOLO-CIMENTO: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **E-Xacta**, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 1-14, 31 maio 2014. Revista Exacta. <http://dx.doi.org/10.18674/exacta.v7i1.1038>.

NASCIMENTO, L. F. **Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. Departamento de Ciências da Administração: UFSC, Florianópolis; CAPES: UAB, Brasília. 2012. 148p. ISBN: 978-85-7988-169-5. Disponível em: <https://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/15365410042013GestaoAmbientalSustentabilidadeAula1.pdf>. Acesso em 10 abr. 2020.

NIGRI, E. M.; ROMEIRO FILHO; ROCHA, S. D. F. Cimento tipo Portland: uma aplicação da análise do ciclo de vida simplificada. In: **XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Anais, Salvador, 2009.

OLIVEIRA, L. R. *et al.* Sustentabilidade: da evolução dos conceitos à implementação como estratégia nas organizações. **Production**, [S.l.], v. 22, n. 1, p. 70-82, 10 nov. 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132011005000062>.

OLIVEIRA; F. V.; OLIVEIRA, Q. A. A. **O papel da indústria da construção civil na organização do espaço e do desenvolvimento regional**. The 4th International Congress on University-Industry Cooperation – Taubate, SP – Brazil – December 5th through 7th, 2012. ISBN 978-85-62326-96-7.

PASSUELLO, A. C. B., *et al.* Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 7-20, out./dez. 2014. ISSN 1678-8621. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ac/v14n4/a02v14n4.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2020.

REBITZER, G. **Enhancing the Application Efficiency of Life Cycle Assessment for Industrial Uses**. 2005. DSc. Thesis - La Faculté Environnement Naturel, Architectural Et Construit, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Switzerland, 2005.

REVISTA VEJA: <https://veja.abril.com.br/economia/com-juro-menor-pib-da-construcao-maior-nivel-desde-2013/#:~:text=%E2%80%9CO%20setor%20da%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil,dos%20empregos%20criados%20no%20pa%C3%ADs>.

RESENDE, F. **Poluição atmosférica por emissão de material particulado: avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios**. 2007. 210p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 2007

RIBEIRO, P. H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados**. 2009. 341 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

RODRIGUES, C. R. B *et al.* Sistemas Computacionais de apoio à ferramenta, Análise de Ciclo de Vida do Produto (ACV). In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008.

SAADE, M. R. M. **Modelagem de multifuncionalidade aplicada a ACV de cimentos e concretos**. 2017. 202f. Tese (doutorado em engenharia civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/322769>. Acesso em: 20 jul. 2020.

SANTOS A. *et al.* **O ciclo de vida das edificações**. 5º Seminário Internacional de Construções Sustentáveis e 2º Fórum Desempenho das Edificações – NEPES, IMED. 27 e 28 Out. 2016. Disponível em: https://www.imed.edu.br/Uploads/5_SICS_paper_44_version_1.pdf. Acesso em: 20 jul. 2020.

SÃO PAULO (estado). Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT); Secretária de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação – **Avaliação do Ciclo de Vida na Indústria de Construção Civil**. 15 jun. 2018.

SHERWANI, A. F. *et al.* Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n.1, p. 540–544, jan. 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032109001907>. Acesso em 19 mai. 2020.

SILVA, J. G. **Análise do ciclo de vida de tijolos prensados de escória de alto-forno**. 2005. 436f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. 2005. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp128460.pdf>. Acesso em 21 mai. 2020.

SILVA, M. G.; SILVA, V. G.. Reciclagem das escórias siderúrgicas na construção civil: discussão e proposição de uma metodologia. **Revista Engenharia, Ciência e Tecnologia**, 1998, n. 7, p. 6.

Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais (SINDUSCON-MG). 2019. Disponível em: <http://portalclubedeengenharia.org.br/wp-content/uploads/2020/03/Balan%C3%A7o-2019-e-Expectativas-2020-Constru%C3%A7%C3%A3o-Civil-Sinduscon-MG.pdf>. Acesso em 05 jul. 2020.

TAVARES, F. S. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais Brasileiras**. 2006. 225f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TRENTO, W. B., et al. Desenvolvimento sustentável: o papel do engenheiro de produção no setor de abate de bovinos. In: VII Congresso Científico da Região Centro-Ocidental do Paraná. Campo Mourão. **Anais**, CONCCEPAR, 2016.

VIEIRA, B. A.; NOGUEIRA, L. “Construção civil: crescimento versus custos de produção civil”, **Revista Sistemas & Gestão**, V. 13, N. 3, p. 366-377, 2018. Disponível em: <http://www.revistasq.uff.br/index.php/sq/article/view/1419>. Acesso em: 15 jul. 2020.

XAVIER, R. V. I., et al. A contribuição da engenharia de produção na gestão sustentável empresarial. In: XXXV Encontro Nacional De Engenharia De Produção. Fortaleza. **Anais**, Rio de Janeiro: ABEPRO, 2015.

Yin, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2.ed. - Porto Alegre : Bookman, 2001. (ISBN 85-7307-852-9). Disponível em: <https://saudeglobaldotorg1.files.wordpress.com/2014/02/yin-metodologia-da-pesquisa-estudo-de-caso-yin.pdf>. Acesso em 07 out. 2020.

ZHOU, J. et al. Environmental life cycle assessment of reverse osmosis desalination: The influence of different life cycle impact assessment methods on the characterization results. **Desalination**, v. 283, n.1, p. 227–236, 2011.

QUESTINÁRIOS DE LEVANTAMENTO DE DADOS

Apêndice 1 - Principais características do Estudo de Caso

Características da Construção	Qtd.	Unid.
Formato		
Dimensão da Base		
Altura Total		
Altura por andar		
Dimensão das paredes		
Numero de andares		
Volumem total da construção		
Numero de elevadores		
Numero de escadas		
Área bruta por andar		

Apêndice 2 - Tabela auxiliar para Coleta de Dados

Processo:	Qtd.	Unid.
Entradas		
Entradas de matéria prima		
Entrada fonte energética		
Outras entradas:		
Saídas		
Produtos/ Subprodutos		
Resíduos Sólidos		
Efluentes		
Emissões		
Outros		

Apêndice 3 - Levantamento dos insumos da obra

Questionário Levantamento Dados		
Questões	Qtd.	Unid.
Qual a quantidade de TIJOLOS utilizado durante a obra?		
Qual a quantidade CIMENTO utilizado durante a obra?		
Qual a quantidade de CAL utilizado durante a obra?		
Qual a quantidade de AREIA utilizado durante a obra?		
Qual a quantidade de PEDRA BRITA utilizado durante a obra?		
Qual a quantidade de FERRO utilizado durante a obra?		
Qual a quantidade de ARAME utilizado durante a obra?		
Qual a quantidade de MADEIRA utilizado durante a obra?		
Qual a quantidade de LAJE PRE MOLDADA utilizado durante a obra?		
Qual a quantidade de CONCRETO USINADO utilizado durante a obra?		
Qual a quantidade de TELHAS DE FIBRO-CIMENTO utilizado durante a obra?		
Qual a quantidade de PISO utilizado durante a obra?		
Qual a quantidade de ARGAMASSA utilizado durante a obra?		
Qual a quantidade de REJUNTE utilizado durante a obra?		
Qual a quantidade de ENERGIA ELÉTRICA utilizado durante a obra?		
Qual a quantidade de ÁGUA utilizado durante a obra?		
Qual a quantidade de RESÍDUO gerado durante a obra?		

Apêndice 4 - Levantamento da distância de onde foi adquirido cada material.

Questionário Levantamento Dados	
Questões	Nome da Loja
Onde foi comprado os TIJOLOS ?	
Onde foi comprado os CIMENTOS ?	
Onde foi comprado os CAL ?	
Onde foi comprado a AREIA?	
Onde foi comprado as PEDRAS BRITA ?	
Onde foi comprado os FERROS ?	
Onde foi comprado os ARAMES ?	
Onde foi comprado as MADEIRAS ?	
Onde foi comprado as LAJE PRE MOLDADA ?	
Onde foi comprado os CONCRETOS USINADO ?	
Onde foi comprado as TELHAS DE FIBRO-CIMENTO ?	
Onde foi comprado os PISOS ?	
Onde foi comprado as ARGAMASSAS?	
Onde foi comprado os REJUNTES?	
Para onde foi levado os RESÍDUOS gerados ?	