

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL

ALINE ISLIA ALMEIDA DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS DE
DOIS PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS POR MEIO DO *SOFTWARE* SIMAPRO**

FORTALEZA

2017

ALINE ISLIA ALMEIDA DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS DE
DOIS PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS POR MEIO DO SOFTWARE SIMAPRO**

Dissertação submetida à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e
Gestão Ambiental do Instituto Federal do
Ceará como requisito para obtenção do título
de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Titular Adeildo Cabral da
Silva

Coorientador: Prof. Dr. João Paulo Sousa
Costa de Miranda Guedes

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S725a Sousa, Aline Islia Almeida de.
Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida dos Materiais de Dois Painéis Pré-moldados Por Meio do Software SimaPro / Aline Islia Almeida de Sousa. - 2017.
99 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental, Campus Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva.
Coorientação: Prof. Dr. João Paulo Sousa Costa de Miranda Guedes .
1. Pré-moldados. 2. DATecs. 3. Habitação Social. 4. Avaliação do Ciclo de Vida. 5. SimaPro. I. Título.
CDD 628
-

ALINE ISLIA ALMEIDA DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS DE DOIS
PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS POR MEIO DO SOFTWARE SIMAPRO**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal do Ceará como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Aprovada em 31/03/2017

BANCA EXAMINADORA



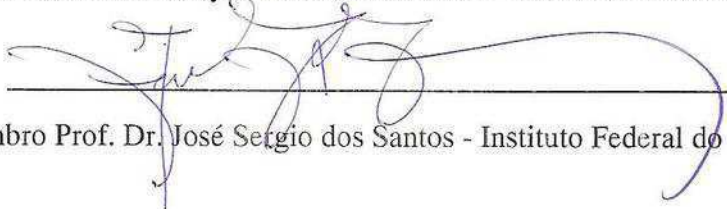
Presidente Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva - Instituto Federal do Ceará



Membro Profa. Dra. Marisete Dantas de Aquino - Universidade Federal do Ceará



Membro Prof. Dr. Perboyre Barbosa Alcântara - Instituto Federal do Ceará



Membro Prof. Dr. José Sérgio dos Santos - Instituto Federal do Ceará

A Deus.

Ao meu pai, mãe, irmã e irmão.

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo, pela proteção e guia nesta caminhada;

Ao meu pai José Xavier, minha mãe Taciana, minha irmã Katiane e irmão Carlos, que graças ao meu bom Deus estão sempre comigo, apoiando-me nas minhas metas e decisões;

A todos os Professores que participaram desta formação acadêmica, mas em especial ao Professor Adeildo Cabral pela orientação, ao Professor João Paulo Miranda Guedes pela coorientação;

Aos meus amigos(as), mas em especial Ana Patrícia, Rebeca de Abreu, Arlene, Bianca, que fizeram parte do meu crescimento, que foi um pilar para o cumprimento desta dissertação. Além disso, foram eles(as) que me tranquilizaram com conversas, escutando-me nos momentos de alegrias, tristezas e incertezas;

Aos companheiros do Laboratório de Energias Renováveis e Conforto Ambiental – LERCA;

As Faculdades: Instituto Federal do Ceará *Campus* Fortaleza; a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Portugal (FEUP); e Universidade de Aveiro Portugal (UA), pelo apoio e acolhimento;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro;

Aos membros da banca examinadora pelas contribuições.

“A humanidade possui ainda a
capacidade de colaborar na construção
da nossa casa comum”.

(Papa Francisco, 2015)

RESUMO

Os painéis pré-moldados 021-A de tijolos cerâmicos e concreto armado e o 003-B de concreto armado, seus detalhes construtivos estão expressos no Documento de Avaliação Técnica (DATec). Esses modelos são de origem brasileira, de produção em grande escala, que assume maior parte da provisão habitacional para pessoas com baixa renda em alguns Estados do Brasil. Os mesmos encontram-se no programa habitacional Minha Casa Minha Vida (MCMV) do Governo Federal para preencher o *déficit* habitacional. Com estes modelos em aproximadamente 2 (dois) dias constrói-se uma habitação unifamiliar, isolada ou germinada, e são padronizadas conforme o projeto da construtora. Partindo desta premissa, sabe-se que o setor da construção civil tem introduzido a sustentabilidade nos seus produtos e/ou processos, devido o grande consumo de materiais e energia, da geração de resíduos, modificação da paisagem, entre outros. Em relação ao fator sustentável, a área da construção civil carece de informações sobre esses novos sistemas construtivos, deste modo, estão cada vez mais em alta a utilização da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para tomada de decisão e *posteriori* melhoramento dos seus produtos. Portanto, o objetivo desse estudo é aplicar a metodologia ACV estabelecida pela ABNT NBR ISO 14040 e 14044 e avaliar os impactos dos materiais de dois painéis pré-moldados com base em seus DATecs utilizando o *software* SimaPro, pelo método de cálculo ReCiPe que aborda as categorias de ponto médio e ponto final. O SimaPro afere o ciclo de vida dos materiais ou produtos no quesito ambiental, social e econômico. A fronteira do sistema foi do “do berço ao portão”, e a unidade funcional foi à quantidade de materiais numa área com 4,87 m². Os resultados evidenciaram que, os materiais contribuem com as categorias de impacto de ponto médio selecionadas neste estudo: mudanças climáticas, toxicidade humana, depleção do ozônio; formação de material particulado, formação de oxidante fotoquímico, acidificação terrestre e eutrofização na água doce. E para as categorias de ponto final: saúde humana, ecossistemas e recursos, o concreto foi o material que mais afetou todas as categorias mencionadas. Todavia, mudanças climáticas e saúde humana foram as mais afetadas.

Palavras-chave: Pré-moldados. DATecs. Habitação Social. Avaliação do Ciclo de Vida. SimaPro.

ABSTRACT

The precast panels 021-A of ceramic bricks and reinforced concrete, and the 003-B of reinforced concrete, their constructive details are expressed in the Technical Assessment Document (DATec). These models are of Brazilian origin, of large scale production, which assumes most of the housing provision for people with low income in some Brazilian states. These are found in the federal government's Minha Casa Minha Vida (MCMV) housing program to fill the housing deficit. With these models in approximately 2 (two) days a single-family house, isolated or germinated is built, and are standardized according to the construction project. Based on this premise, it is known that the construction industry has introduced sustainability in its products and/or processes, due to the large consumption of materials and energy, the generation of waste, modification of the landscape, among others. Regarding the sustainable factor, the construction sector lacks information about these new constructive systems, in this way, the use of the Life Cycle Assessment (LCA) methodology for decision making and subsequent improvement of its products is increasing. Therefore, the objective of this study is to apply the LCA methodology established by ABNT NBR ISO 14040 and 14044 and to evaluate the impacts of the materials of two precast panels based on their DATecs using SimaPro software, by the ReCiPe calculation method that approaches midpoint and endpoint categories. The SimaPro measure the life cycle of materials or products in environmental, social and economic terms. The system boundary was from "the cradle to gate", and the functional unit was the quantity of materials in an area of 4.87 m². The results showed that the materials contribute to the midpoint impact categories selected in this study: climate change, human toxicity, ozone depletion; Particulate matter formation, Photochemical oxidant formation, terrestrial acidification and Freshwater eutrophication. And for the endpoint categories: human health, ecosystems and resources, concrete was the material that most affected all the categories mentioned. However, climate change and human health were the most affected.

Keywords: Precast. DATecs. Social Habitation. Life Cycle Assessment. SimaPro.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Modelo do ciclo de vida do produto.....	19
Figura 2	Fases da avaliação do ciclo de vida.....	21
Figura 3	Entradas e saídas relevantes de um processo.....	23
Figura 4	(A) Pista de produção dos painéis; (B) Detalhes das fôrmas metálicas dos painéis; (C) Içamento dos painéis com caminhão munck; (D) Posicionamento dos painéis sobre argamassa; (E) Detalhes dos preenchimentos do painel.....	36
Figura 5	(A) Montagem das armaduras dos painéis dos espaçadores e eletrodutos; (B) Armazenamento e cura dos painéis; (C) Fôrmas metálicas travadas com gancho; (D) Montagem dos painéis.....	37
Figura 6	Os três pilares do desenvolvimento sustentável.....	43
Figura 7	Detalhe construtivo do painel pré-moldado.....	49
Figura 8	Armação típica do painel.....	50
Figura 9	Corte típico do painel pré-moldado.....	50
Figura 10	Principais fronteiras do sistema para uma ACV do berço ao berço.....	52
Figura 11	Principal fronteira deste estudo do berço ao portão.....	52
Figura 12	Principais fronteiras dos materiais dos painéis.....	53
Figura 13	Modelagem dos materiais para produção do painel pré-moldado do DATec 021-A.....	60
Figura 14	Modelagem dos materiais para produção do painel pré-moldado do DATec 003-B.....	61
Figura 15	Mudanças climáticas.....	63
Figura 16	Toxicidade humana.....	64
Figura 17	Depleção do ozônio.....	65
Figura 18	Formação de material particulado.....	66
Figura 19	Formação de oxidante fotoquímico.....	67
Figura 20	Acidificação terrestre.....	68
Figura 21	Eutrofização na água doce.....	69
Figura 22	Normalização, categorias de ponto final, ReCiPe.....	70
Figura 23	Pontuação única da contribuição dos materiais nas categorias de	

	ponto médio.....	71
Figura 24	Pontuação única da contribuição dos materiais nas categorias de ponto final.....	71
Figura 25	Contribuição dos materiais nas categorias de impacto ponto médio, ReCiPe.....	73
Figura 26	Contribuição dos materiais nas categorias de impacto ponto final, ReCiPe.....	74
Figura 27	Comparativo dos materiais dos DATecs 021-A e 003-B na categoria de ponto final saúde humana.....	74
Figura 28	Comparativo dos materiais dos DATecs 021-A e 003-B na categoria de ponto final ecossistemas.....	75
Figura 29	Comparativo dos materiais dos DATecs 021-A e 003-B na categoria de ponto final recursos.....	76
Figura 30	Comparativo dos dois painéis pré-moldados pelo método ReCiPe, pontuação única para as categorias de ponto final.....	77
Figura 31	Comparativo geral dos impactos dos materiais dos DATecs 021-A e 003-B nas categorias de ponto médio.....	78
Figura 32	Comparativo geral dos dois painéis pré-moldados pelo método ReCiPe pontuação única para as categorias de ponto final.....	79

LISTAS DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1	Documentos do Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores (SiNAT) atualizados no sítio do PBQP-H.....	31
Tabela 2	DATecs disponibilizados no Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do <i>Habitat</i> (PBQP-H).....	32
Tabela 3	Materiais referentes à unidade funcional do painel com área de	
Tabela 4	4,87m ² para os DATecs 021-A e 003-B.....	56
	Modelagem dos materiais no <i>software</i> SimaPro.....	56
Quadro 1	Elementos da avaliação de impactos da ACV.....	23
Quadro 2	Número de trabalhos que envolvem a ACV.....	25
Quadro 3	Número de artigos que citam ACV.....	26
Quadro 4	Categorias de impacto de ponto final do método ReCiPe.....	54
Quadro 5	Categorias de impactos ambientais selecionadas ponto médio.....	54
Quadro 6	Contribuição dos impactos do ciclo de vida dos materiais dos DATecs 021-A e 003-B, na categoria de ponto médio, ReCiPe.....	61
Quadro 7	Avaliação de impacto do ciclo de vida dos materiais dos painéis pré-moldados DATec 021-A e 003-B, ponto final, ReCiPe.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
BJO&PM	<i>Brazilian Journal of Operations & Production Management</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CDB	Convenção sobre Diversidade Biológica
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CFC	Clorofluorcarbono
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CO ₂	Dióxido de Carbono
CQNUMC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima
DALY	<i>Disability Adjusted Life Years</i>
DAP	Declaração Ambiental do Produto
DATec	Documento de Avaliação Técnica
14DCB	Diclorobenzeno
ELCD	<i>European Life Cycle Database</i>
ENEGEP	Encontros Nacionais de Engenharia de Produção
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
HABITARE	Programa de Tecnologia de Habitação
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Intelectual
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITA	Instituição Técnica Avaliadora
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
MCMV	Minha Casa Minha Vida
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto

PBACV	Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do <i>Habitat</i>
PLANHAB	Plano Nacional de Habitação
PM ₁₀	<i>Particulate Matter</i>
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
SCIELO	<i>Scientific Eletronic Library</i>
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SIMAPRO	<i>System for Integrated Environmental Assessment of Products</i>
SINAT	Sistema Nacional de Avaliação Técnica
UFES	Universidade Federal de Espírito Santo
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

Apresentação

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Objetivo geral.....	18
1.2	Objetivos específicos.....	18

Apresentação

2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	Avaliação do ciclo de vida.....	19
2.1.1	<i>Contextualização.....</i>	18
2.1.2	<i>Metodologia ACV.....</i>	20
2.1.3	<i>Uma breve contextualização da ACV no Brasil.....</i>	25
2.1.4	<i>Softwares para ACV.....</i>	28
2.2	Cadeia da construção civil.....	29
2.2.1	<i>Construção e habitação.....</i>	29
2.2.2	<i>Sistema construtivo: DATec 021-A e DATec 003-B.....</i>	35
2.3	Materiais dos painéis pré-moldados em estudo.....	38
2.4	Desenvolvimento sustentável e a construção civil.....	40
2.4.1	<i>Histórico ambiental do desenvolvimento sustentável.....</i>	40
2.4.2	<i>Construção sustentável.....</i>	43

Apresentação

3	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	45
3.1	Levantamento bibliográfico.....	45
3.2	Aplicação da avaliação do ciclo de vida.....	46
3.2.1	<i>Objetivo e escopo.....</i>	46
3.2.2.1	<i>Unidade funcional.....</i>	47
3.2.2.2	<i>Fronteiras do sistema.....</i>	51
3.2.2	<i>Inventário dos materiais do painel pré-moldado.....</i>	53
3.2.3	<i>Categorias de impacto ambiental.....</i>	54

Apresentação

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
4.1	Análise de inventário do ciclo de vida dos materiais.....	59
4.2	Avaliação e interpretação dos impactos dos materiais dos	

	painéis pré-moldados.....	62
5	CONCLUSÕES.....	80
6	RECOMENDAÇÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS	
	FUTUROS.....	81
	REFERÊNCIAS.....	82
	ANEXO A – PRINCIPAIS BANCOS DE DADOS DA ACV NO	
	MUNDO.....	92
	ANEXO B – DETERMINADOS <i>SOFTWARES</i> QUE	
	INTEGRAM A ACV.....	94
	ANEXO C – TELAS ELETROSSOLDADAS VOTORAÇO.....	96
	ANEXO D – TIPOS DE ARMAÇÃO TRELIÇADAS PUMA.....	97
	ANEXO E – TELAS ELETROSSOLDADAS GERDAU.....	98
	ANEXO F – CATEGORIAS DE IMPACTO DE PONTO	
	MÉDIO DO MÉTODO RECIPE.....	99

Apresentação

Esta seção traz a discussão sobre a cadeia produtiva da construção, considerando sua relação com a economia, em parte por meio da construção de habitações por pré-moldados. Aborda os problemas da extração de matéria-prima e consumo de materiais da construção. Apresenta e justifica resumidamente sobre Avaliação do ciclo de vida por causa do fator sustentável.

1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da Construção abrange construção civil, indústria de materiais de construção, indústrias de equipamentos e serviços, representa um peso significativo no crescimento dos países, principalmente naqueles em desenvolvimento, pois a sua atividade relaciona-se de forma direta com a economia, com a geração de emprego e renda (STASIAK-BETLEJEWSKA; POKÁNY, 2015).

Dados da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN) (2017) retrata que entre 2006-2012 a economia brasileira registrou uma taxa de crescimento média anual de 4,3%, e a Construção Civil uma taxa de 5,5%. Em 2016 as atividades da construção foram correspondentes a 61,2%, o equivalente a aproximadamente 5,2% do Produto Interno Bruto (PIB) (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC, 2016).

A indústria de materiais retribuiu em 2011 com 17% do PIB na cadeia produtiva, é considerada a segunda maior na contribuição do PIB da cadeia da construção, sendo que a maior parte destes investimentos é encaminhada a habitações de interesse social¹ pelo programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) (CONDEIXA, 2015; LASSIO, 2013).

A Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) (2015) revelou que em 2014 foram contabilizados no setor habitacional 67 milhões de domicílios particulares permanentes, havendo um aumento de 1,9 milhões em relação ao ano de 2013. Estima-se uma produção de 28 milhões de moradias até 2023 (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL - ABDI, 2009).

¹ São habitações que atinge de forma especial a população de menor poder aquisitivo (SÃO PAULO, 2010).

A cadeia da construção explora 60% das matérias-primas no mundo, boa parte é destinada para atender a demanda habitacional. Agrava a situação o fato da sustentabilidade ainda ser pouco difundida nesse meio construtivo, apesar de que vem sendo pautado desde a década de 60 com o Clube de Roma, em 1987 com a publicação do Relatório Brundtland e na década de 90 com a Agenda 21 que também retrata sobre os impactos das construções (BERGE, 2009; CAMPOS, 2011).

Neste contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) torna-se uma metodologia cada vez mais em uso na construção e serve como tomada de decisão que permite a partir de um inventário com entradas (matérias-primas, energia) e saídas (emissões, resíduos), avaliar os impactos ambientais² de sistemas, produtos, serviços ou habitações. Além disso, a ACV versa na comparação dos impactos ambientais de sistemas distintos, porém com funções semelhantes, oferecendo oportunidades de averiguação para melhorias em seus produtos e/ou sistemas. (CAMPOS, 2011; PASSUELLO *et al.*, 2014; SEO; KULAY, 2006)

A metodologia ACV é padronizada por um conjunto de normas da série *International Organization for Standardization* (ISO) 14000. No Brasil, são seguidas duas principais normas para ACV, chamadas ABNT NBR ISO: 14040/2009: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e enquadramento; e ISO 14044/2009: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Diretrizes (ISO, 2009).

Diante das vantagens teóricas do uso da ACV e em razão de haver carência de informações sobre ACV e os novos modelos construtivos que surgem no Brasil, como pré-moldados ou pré-fabricados, que estão muito em uso para a produção de habitações populares, mesmo esses sendo testados e dotados de um Documento de Avaliação Técnica (DATec) para utilização da população.

Assim, com finalidade de promover o desenvolvimento sustentável e uso da ACV para a tomada de decisão de alternativas de produtos, justifica avaliar os impactos do ciclo de vida dos materiais que compõe um painel de bloco cerâmico e concreto armado (DATec nº 021-A) e um painel pré-moldado de concreto armado (DATec nº 003-B) com função de vedação estrutural.

² Impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humana que, direta ou indiretamente, afetam: I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II – as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V – a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA 01/86).

1.1 Objetivo geral

Aplicar a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida utilizando o *software* SimaPro 8 para comparar os impactos ambientais dos materiais de dois painéis pré-moldados baseados no DATec nº 021-A e DATec 003-B.

1.2 Objetivos específicos

- Usar a metodologia ACV para avaliar os impactos ambientais dos materiais pela fronteira *cradle to gate* (do berço ao portão);
- Utilizar o *software* SimaPro para modelagem da ACV na avaliação de impacto de cada painel;
- Utilizar no método ReCiPe para calcular os impactos dos materiais nas categorias selecionadas;
- Identificar qual material tem maior contribuição para as categoriais de impactos ambientais de ponto médio (mudanças climáticas, toxicidade humana; depleção do ozônio; formação de material particulado; formação de oxidantes fotoquímicos; acidificação terrestre e eutrofização na água doce);
- Comparar qual painel pré-moldado que tem maior impacto ambiental negativo nas categorias de pontos finais (saúde humana, ecossistemas e recursos).

Apresentação

Esta seção tem o intuito de abordar os aspectos da metodologia Avaliação do Ciclo de Vida e aplicação da ACV no Brasil com alguns resultados de empresas, academia de ensino superior que a citam. Apresenta as etapas para aplicar a ACV, com abrangência de informações na construção civil, habitação; materiais da construção, painéis pré-moldados e a seção são encerrados sobre o desenvolvimento sustentável e a construção sustentável.

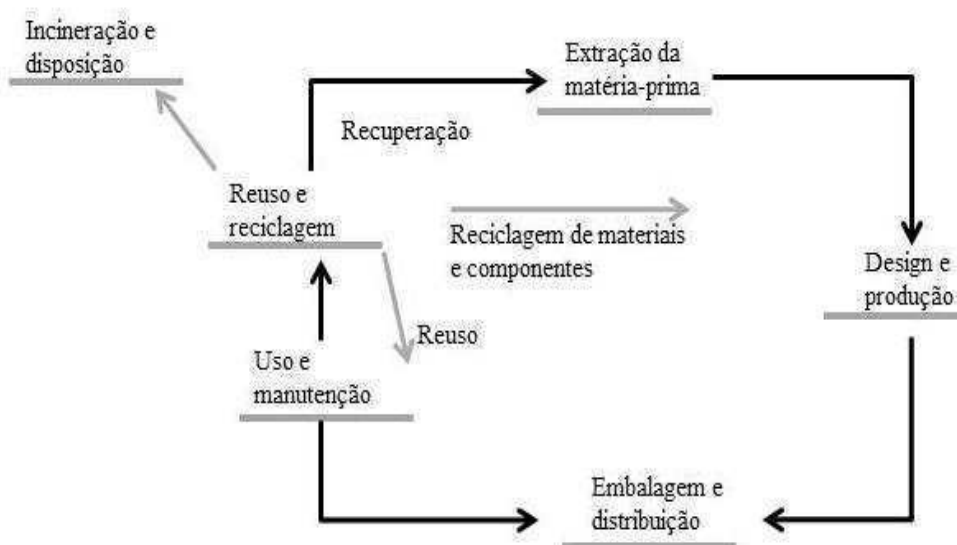
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Avaliação do ciclo de vida

2.1.1 Contextualização

A respeito do ciclo dos materiais, é possível estabelecer um balanço entre consumo de energias e consequências ambientais (ADAM 2001), ou seja, a Avaliação do Ciclo de Vida considera o impacto ao longo do seu ciclo, desde extração da matéria-prima até à disposição final (Figura 1).

Figura 1 – Modelo do Ciclo de vida do produto.



Fonte: Adaptado de Sonnemann (2006).

Visualizar as diferenças nas fases de um produto ou serviço, disponibilizar dados sobre seus componentes, materiais constituintes e processos transformadores é uma forma de detectar os impactos ambientais (COSTA, 2012).

Chehebe (1997, p.3) robustece que a “preocupação com os grandes impactos ambientais gerados pela provisão e bens e serviços à sociedade tem sido indutora do desenvolvimento de novas ferramentas e métodos que visam a auxiliar na compreensão [...]” e a ACV é considerada uma dessas ferramentas.

Bertolini (2010, p. 371) salienta que “um breve exame do ciclo de vida de um material permite observar que o ambiente é reservatório no qual se obtêm os recursos que serão submetidos a sucessivas transformações”.

E de acordo com Passuello *et al.* (2014) a ACV é uma ferramenta que pode ser usada para avaliar sistemas complexos como edificações.

Guinée, Heijungs e Huppes (2011, p. 90) salientam sobre o início desses estudos sobre impactos dos produtos tem uma história que remonta aos anos 1960 e 1970. Especialmente em um contexto comparativo se produto A é melhor do que o produto B.

Em 1991-1993 um grupo estratégico denominado SAGE trabalhou dentro da *International Organization for Standardization* - ISO, procurando identificar os elementos principais para a possível elaboração de normas internacionais sobre meio ambiente (CHEHEBE, 1997).

Não havendo uma metodologia padronizada a ser seguida, a ACV possuía discrepâncias observadas entre os resultados, desta forma, justificando a necessidade urgente de uma padronização (CHEHEBE, 1997).

A primeira entidade que se preocupou com a padronização dos termos da ACV foi a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) (CHEHEBE, 1997). Em cooperação com a SETAC foi a ISO, que tem estado envolvida desde 1994 (GUINÉE; HEIJUNGS; HUPPES, 2011).

2.1.2 Metodologia ACV

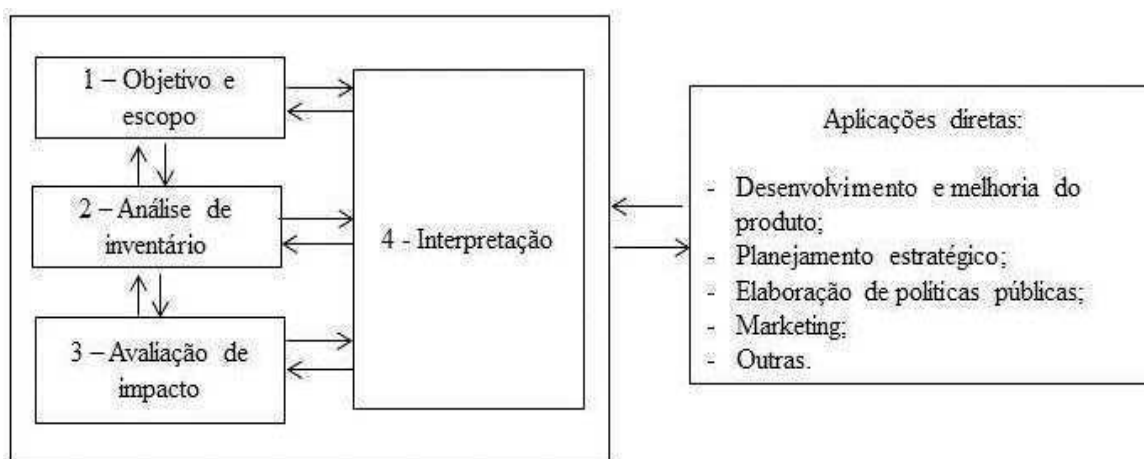
Existem dois padrões internacionais que tratam sobre ACV: ISO 14040 a primeira publicada em 1997, retratando sobre Normas e Princípios Gerais e Procedimentos, a norma ISO 14041 publicada em 1998, aborda sobre inventário (CHEHEBE, 1997).

Porém, em 2006 algumas normas da ISO foram copiladas nessas duas normas internacionais que ficaram ISO 14040/2006, Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e Estrutura e ISO 14044/2006: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Diretrizes. Todavia, em 2009, essas duas normas tiveram uma versão corrigida. No Brasil são apontados como ABNT NBR ISO 14040 (2009a) e ABNT NBR ISO 14044 (2009b).

Segundo os princípios ABNT NBR ISO 14040 (2009a), são definidas quatro fases metodológicas distintas para a ACV: objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação dos resultados (Figura 2).

É por essas etapas que ocorre a “avaliação do ciclo de vida do produto, processo ou atividade, abrangendo a extração e o processamento de matérias-primas; transformação, o transporte e a distribuição, o uso, a reutilização, a manutenção, a reciclagem e a deposição final” (SOARES; MATOS, 2011, p. 151).

Figura 2 – Fases da avaliação do ciclo de vida.



Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO 14040 (2009a).

Da definição das Etapas:

1 – Objetivo e escopo, nela são dispostos os objetivos, o público alvo da avaliação, a relevância do objetivo. Sendo uma etapa fundamental para o sucesso e relevância da pesquisa (BORTOLIN, 2009). Isto envolve a unidade funcional e fronteiras do sistema, sendo de grande relevância no estudo da ACV (MATEUS, 2009).

a) A unidade funcional

É uma referência em relação à qual os dados de entrada e saída estão relacionados. Esta referência é necessária para assegurar a comparabilidade dos resultados, onde deve ser claramente definida e mensurável e depende do objetivo do estudo (BERTOLIN, 2009), ou seja, ela deve ser definida com base na função com que o produto propõe a cumprir (SILVA, 2012).

b) Fronteiras do sistema

É a definição dos processos unitários que serão incluídos no sistema a modelar, isto é, essa etapa pode considerar extração de matérias-primas, transporte, fabricação, uso e descarte.

As fronteiras de um estudo da ACV podem ser do tipo:

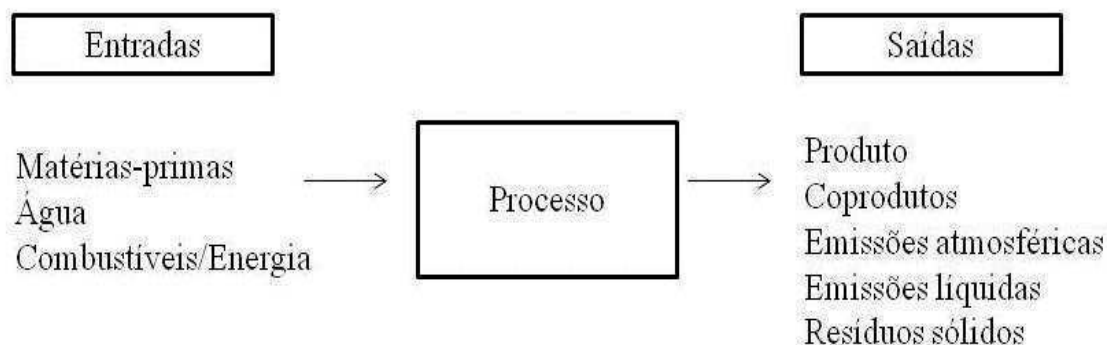
- Do berço ao berço mais conhecido por (*cradle to cradle*): que avalia todas as etapas do ciclo de vida do produto, inclusive seu retorno ao ciclo. Para Braungart e McDonough (2013) é uma lei da devolução;
- Do berço ao túmulo (*cradle to grave*): que considera as etapas do ciclo de vida da extração da matéria-prima até o fim de vida (SILVA, 2015);
- Do berço ao portão da fábrica (*cradle to gate*): considera a extração e beneficiamento dos recursos naturais, fabricação dos produtos intermediários e principais, ou seja, avalia as etapas de obtenção das matérias-primas e do processo produtivo (SILVA, 2015);
- Do portão ao portão (*gate to gate*): atende apenas as etapas referentes ao processo dentro da unidade produtora (fábrica) (SILVA, 2015);
- Do portão da fábrica ao túmulo (*gate to grave*): analisa a distribuição, uso e o descarte final do produto (CAMPOS, 2011).

2 – Análise de inventário “[...] consiste em coletar e trabalhar uma quantidade elevada de dados através de procedimento de cálculo como balanço de massa e energia” (CAMPOLINA; SIGRIST; MORIS, 2015, p. 736).

Nessa etapa são quantificadas as entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) (Figura 7). As entradas são, por exemplo, os materiais e a energia utilizados, e as saídas, as

emissões atmosféricas, emissões para a água e resíduos sólidos (BORTOLIN, 2009; SILVA, 2015).

Figura 3 – Entradas e saídas relevantes de um processo.



Fonte: Adaptado de Ferreira (2004).

De acordo com Bueno (2014, p. 48), outro fator é que a modelagem do inventário do ciclo de vida pode ser:

[...] atribucional ou consequential, e a multifuncionalidade pode ser solucionada por alocação ou expansão/substituição do sistema. Essas escolhas trazem implicações para diversas escolhas futuras, incluindo a forma como os dados de inventário deverão ser coletados e obtidos.

Ainda de acordo com a autora “O modelo atribucional de ciclo de vida retrata sua cadeia de fornecimento real ou prevista, específica ou média, bem como a utilização e fim de vida da sua cadeia de valor. O sistema existente ou previsto é incorporado em uma tecnosfera estática” (BUENO, 2014, p. 49), sendo essa abordagem mais utilizada (ACV BRASIL, 2014).

Quanto à modelagem consequential segundo Bueno (2014, p. 49):

[...] retrata uma cadeia de fornecimento como esta é teoricamente esperada em consequência da decisão analisada. O sistema interage com os mercados, e essas mudanças são retratadas de forma que uma demanda adicional para o sistema analisado deve ter uma tecnosfera dinâmica que está reagindo com essa demanda adicional.

3 – Avaliação de impacto afere a contribuição do produto com as categorias de impactos ambientais selecionadas, como, aquecimento global, acidificação entre outros.

Para isso, existem alguns métodos de avaliação de impacto, como, CML, Eco-Indicador, BEES etc. A escolha depende do objetivo do estudo (MATEUS, 2009).

Chehebe (1997, p. 66) propõe que o processo de avaliação de impacto seja composto no mínimo por alguns elementos:

- Seleção e definição das categorias: onde são identificados os grandes focos de preocupação ambiental;
- Os indicadores que o estudo utilizará;
- Classificação: correlação dos resultados do inventário do ciclo de vida a diferentes categorias, tais como aquecimento global, acidificação, saúde humana etc.;
- Caracterização: cálculo dos resultados dos indicadores para cada categoria de impacto, ou seja, a caracterização é modelada de forma que os resultados possam ser expressos na forma de um indicador numérico para aquela categoria. (CHEHEBE, 1997; SILVA, 2015).

De acordo com a ABNT NBR ISO 14044 (2009b) tornam-se opcional a normalização, agregação e ponderação, citadas a seguir:

Assim sendo, a normalização confere o nível de impacto em cada categoria para um impacto de referência (BRE, 2008; TOLLE, 1997) que podem ser entradas e saídas totais para uma determinada área (global, regional, local) (SILVA, 2015). Devido às categorias de impacto estar em unidades diferentes, é difícil ver quais categorias que estão causando o maior impacto, é por isso que a normalização é frequentemente realizada (BRE, 2008).

Além do exposto, a norma permite a ponderação dos resultados de indicadores (SILVA, 2015), isto é, a ponderação é feita por notas numéricas baseadas em escolha de indivíduos, organizações de acordo com os interessados.

BRE (2008, p. 51) salienta:

Como as pessoas têm diferentes pontos de vista e diferentes níveis de compreensão das questões ambientais, um procedimento padronizado para atribuir importância relativa a diferentes impactos ambientais é necessário se o que há para ser uma base consistente para a tomada de decisão.

Por fim, a agregação é a atribuição das categorias de impactos a um ou mais conjuntos, como pré-definido na definição do objetivo e escopo (SILVA, 2014).

De uma forma mais ilustrativa essas informações no Quadro 1.

Quadro 1 - Elementos da avaliação de impactos da ACV.

Elementos Obrigatórios	Elementos Opcionais
Seleção das categorias	Normalização
Indicadores que o estudo utilizará	Ponderação
Classificação	Agregação
Caracterização	

Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO 14040 (2009a).

4 – Interpretação avalia os processos e materiais que mais contribuem com impacto (MATEUS, 2009), ou uma avaliação dos resultados alcançados e dos critérios adotados durante sua realização (CHEHEBE, 1997).

Portanto, a ACV aborda um conjunto de categorias definido de acordo com a metodologia (SILVA, 2015). Neste caso, a ACV ajusta basicamente na avaliação de aspectos quantitativos, que incluem os fluxos de materiais e de energia e tem-se tornado numa base científica (BRAGANÇA; MATEUS, 2011).

Ainda sim, conforme Assis (2006, p. 30) a ACV colabora:

[...] para a implementação de um Sistema de Gestão Ambiental - SGA, sendo utilizada como ferramenta de apoio à decisão no que se refere a equipamentos, técnicas e recursos a adotar. As informações recolhidas na ACV, os resultados da sua análise e interpretações podem ser úteis para tomadas de decisão, as quais são importantes no planejamento estratégico das atividades das organizações.

2.1.3 Uma breve contextualização da ACV no Brasil

Ao passo que muitos países desenvolvidos possuem iniciativas em que a metodologia ACV é utilizada. A maioria dos inventários sobre materiais, extração, fabricação e desenvolvimento de *softwares* vêm da União Europeia. Os bancos de dados estão consolidados em países como da Suíça e Japão (LIMA, 2007). No ANEXO A são colocados outros países.

Porém, no Brasil está cada vez mais comum a prática de ACV, devido à questão sustentável e inserção dessa metodologia nos meios industriais, como um processo de gesto ambiental.

Desde 1994 a ACV tem alcançado importância com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que criou um grupo de Apoio a Normalização Ambiental (GANA) que tinha um Comitê sobre ACV (LIMA, 2007).

Em 2010 foi aprovado o Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV)³ pela Resolução nº 03 de 22 de abril de 2010 do Conselho Nacional de Normatização e Qualidade Industrial (CONMETRO) (CONDEIXA, 2013).

Todavia, o processo de ACV é complexo, e para sua implantação no país necessita de investimentos esforços de todos os envolvidos: governo, empresas, academia e sociedade civil (CONDEIXA, 2013).

Lima em 2007 na sua Dissertação realizou um levantamento em alguns sítios de instituições de grande relevância no meio acadêmico e empresarial, como, Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT); Bancos de teses da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes); Plataforma Lattes, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Relatório de Sustentabilidade Empresarial, publicado pelo Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS); e sítios institucionais de grandes empresas de diversos segmentos produtivos. As informações com as quantidades segue no Quadro 2.

Quadro 2 – Números de trabalhos que envolvem a ACV.

Segmento	Quantidades
Dissertações	47
Teses	17
Empresas	7

Fonte: Lima (2007).

No Quadro 2 estão exposto as contagens de trabalhos que envolvem a ACV, em que a busca foi no período de junho de 2006. Porém, as quantidades englobam diversas Universidades e Empresas em que totalizaram 71 estudos.

Todavia, têm-se teses e dissertações atuais de 2015 a 2016 utilizadas neste estudo nas bibliotecas online da Universidade de São Paulo (USP) 2015, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Em 2009 na dissertação de Bortolin ele trabalhou com 120 artigos cadastrados, avaliando o que os autores citavam sobre ACV como, quais os métodos, as

³ É um programa que se propõe estabelecer as diretrizes para ACV no Brasil, utilizando dados brasileiros, através de inventários setoriais (CONDEIXA, 2013).

categorias de impacto, a cadeia de impacto (midpoint ou endpoint), as ferramentas utilizadas e o banco de dados.

Outro trabalho publicado em 2013 pelos autores Willers, Rodrigues e Silva, realizaram um levantamento sobre ACV, que consideraram os principais bancos de dados das principais conferências e periódicos oficiais da Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO), ou seja, foram destacados os anais dos Encontros Nacionais de Engenharia de Produção (ENEGEP) entre os anos de 1996–2010; a Revista Produção Online de 2008-2011; *Brazilian Journal of Operations & Production Management* (BJO&PM) no período 2004-2011; e a Revista de Produção, que pertence a base de dados da *Scientific Eletronic Library Online* (SciELO) entre os anos de 1991-2011. Segue as quantidade dos artigos no Quadro 3.

Quadro 3 – Números de artigos que citam ACV.

Segmento	Quantidades
ENEGEP	63
SciELO	12
Revista de Produção Online	5
BJO&PM	0
Total	80

Fonte: Willers, Rodrigues e Silva (2013).

Com o exposto no Quadro 3, foram totalizados 80 artigos que mencionam ACV. Observa-se que as quantidades de trabalhos em relação ao ano de 2007 houve um aumento.

Numa pesquisa mais recente em março de 2017 no Portal Periódicos da CAPES por título “Avaliação do Ciclo de Vida na Construção” nos últimos 10 anos, exibiu somente 1 (um) trabalho publicado em 2011. Já no sítio SciELO pelo mesmo título não obteve nenhum resultado. No *Science Direct* também com mesmo título em Português não apresentou resultado.

Entretanto, no mês de Abril de 2017, numa busca específica sobre ACV na construção brasileira, surgiu a Revista Ambiente e Sociedade com 1 (um) artigo de 2013. Além disso, existem algumas publicações de dados brasileiros em Revistas Internacionais como *Construction and Building Materials*, com 1 (um) manuscrito publicado em 2015.

O Programa de Tecnologia de Habitação (HABITARE) tem dois estudos relacionados à Avaliação do Ciclo de Vida

As informações levantadas evidencia que possui mais pesquisas na academia em diversas áreas do que nas empresas, todavia, há necessidade informações sobre ACV na construção, apesar da mesma ser muito complexa. Para Barbosa Júnior *et al.* (2007, p. 5) “O Brasil enfrenta sérios problemas quanto ao desenvolvimento de uma metodologia adaptada a nossa região, devido a ACV ser altamente dependente das circunstâncias regionais [...]”. Mas a cada ano a Avaliação do Ciclo de Vida se torna muito fundamental, se desenvolvendo em todas as áreas desde a agricultura, indústrias, academias (universidades), como também, do social ao econômico.

Visto que, uma reportagem extraída no Diário do Nordeste⁴, no dia 18 de janeiro de 2017, aborda sobre a ACV e versa:

A nova versão LEED que é baseada no Conceito do Ciclo de Vida e requer a Declaração Ambiental do Produto (DAP) das edificações. Mas exigente, agora, o selo internacional exige informações sobre a cadeia produtiva de toda a edificação passando a ser necessária a realização de uma Declaração Ambiental dos Produtos (DAP) que integram a construção.

2.1.4 Softwares para ACV

Para facilitar a aplicação da metodologia ACV dos produtos e/ou sistemas, há no mercado alguns softwares que auxiliam esse processo.

Esses programas possuem banco de dados que são constituídos a partir de Inventários do Ciclo de Vida (ICV) com elementos comuns, como, materiais, energia, transporte, entre outros (CAMPOLINA; SIGRIST; MORIS, 2015, p. 736).

Ainda os autores reforçam que “esses bancos de dados estão inseridos nos *softwares* que auxiliam a ACV, sendo constituídos por elementos comuns a vários ciclos de vida como materiais (metálicos, cerâmicos, vidros provenientes de fontes renovável ou não renovável)” (CAMPOLINA; SIGRIST; MORIS, 2015, p. 741). A base de dado mais utilizada é o EcoInvent, e está presente nas principais ferramentas de ACV, como também no *ecodesign* para construção ou produtos, gestão de resíduos e etc., (CONDEIXA, 2013).

⁴ Link da notícia: <http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/negocios/coluna/gestao-ambiental-1.211/gestao-ambiental-certificacao-exigente-1.1688681>.

Porquanto, alguns dos programas mais utilizados: EcoScan, GaBi, LCA-it, BEES, Team, Umberto e SimaPro, outros no ANEXO B. Todos eles têm bancos de dados próprios, que são adequados à realidade geográfica na qual se inserem (CAMPOS, 2011). Todavia, os programas expandido no Brasil são BEES, GaBi, e SimaPro (CONDEIXA, 2013). Os dois últimos podem ser adaptados para o setor da construção.

O *System for Integrated Environmental Assessment of Products* (SimaPro) foi desenvolvido pela PRé Consultants e está voltado para o desempenho ambiental.

Segundo Campos (2011, p. 60) o SimaPro:

[...] permite analisar e monitorar a performance ambiental dos produtos e serviços. O usuário pode modelar e analisar ciclos de vida complexos, de forma sistemática e perceptível de acordo com as recomendações ISO 14040. Suas bases de dados possuem variados processos e os principais métodos de avaliação de impacto.

Pelos resultados da ACV é possível avaliar os impactos ou a inserção de melhorias ou alternativas para produtos, processos ou serviços (CONDEIXA, 2013). Estas análises estão mais acessíveis nos últimos anos com um grande número de ferramentas para avaliar a ACV, sendo utilizada até por não especialistas, em diversos meios, como na construção civil (LASVAUX, 2010).

2.2 Cadeia da construção civil

2.2.1 Construção e habitação

O ambiente construído é um dos mais importantes bens que uma sociedade pode produzir. Sem ele, não há possibilidade de se estabelecer sistemas de saúde, energia, água, esgoto, e nem de se suprir a demanda por residência (BLUMENSCHNEIN; SPOSTO, 2009).

Não obstante essa cadeia contribui com desenvolvimento econômico do país, como, geração de renda e emprego, acessibilidade, mercado residencial e outros (BLUMENSCHNEIN; SPOSTO, 2009).

Entretanto a “habitação tem um significado maior, pois trata-se de um conjunto de fatores arquitetônicos, culturais, econômicos, sociodemográficos, psicológicos e políticos que sofrem alterações durante o curso do tempo” (SILVA, 2012, p. 23).

A respeito disso, a Declaração Universal do Homem dispõe sobre moradias dignas, além disso, a Constituição Federal Brasileira inclui moradias como direito social (MORAIS, 2002).

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, em seu objetivo 11 trata sobre tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, e no seu sub tópicos 11.1 trata que “Até 2030, garantir o acesso de todos à habitação segura, adequada e a preço acessível, e aos serviços básicos e urbanizar as favelas” (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL – ONU BR, 2015, p. 30)

Tendo em conta os benefícios que a indústria da construção civil engloba, ainda sim impacta o ambiente, isso ocorre em todos os estágios e atividades, como:

[...] na ocupação de terras; na extração de matéria prima e no seu processamento e produção de elementos e componentes; no transporte dessa matéria-prima e de seus componentes; no processo construtivo e no produto final per si, ao longo de sua vida útil, até sua demolição e descarte. (BLUMENSCHNEIDER; SPOSTO, 2009, p. 775).

Lucas e Amado (2011, p. 285) articulam que “o setor da construção civil é um dos grandes responsáveis pelo impacto ambiental negativo que seu processo exerce sobre o planeta nas suas fases de construção, utilização e desconstrução”. Entre os impactos é consumo de energia, emissões de CO₂, produção de resíduos, e o consumo não controlado de recursos naturais não renováveis (LUCAS; AMADO, 2011). Em relação às emissões de CO₂ contribui com 8% das emissões efeito estufa no Brasil (CAMPOS, 2011).

Esse fator é preocupante, um dos motivos é o crescimento por habitações, visto que, é um dilema da humanidade onde deve se instalar para poder continuar crescendo (ROMERO, 2009). Isto torna-se um agravante, devido o fluxo populacional ser mais intenso nas áreas urbanas, onde o aglomerado populacional geralmente de classe pobre na busca de melhores condições de vida, se insere em um espaço de forma irregular e sem a infraestrutura habitacional adequada.

Rubin e Bolfe (2014, p. 202) destacam que “o problema habitacional e as inadequadas condições de moradia da população de baixa renda⁵ também são problemas gerados pela acelerada urbanização”. Assim, as cidades serão encarregadas por todo

⁵ São famílias com renda familiar mensal per capita de até meio salário mínimo; ou a que possua renda familiar mensal de até três salários mínimos (BRASIL, 2010), e que são inscritas no Cadastro Único (CadÚnico) para Programas Sociais do Governo Federal, dentre eles, bolsa família, Minha Casa Minha Vida e Tarifa Social de Energia (PORTAL BRASIL, 2015).

crescimento populacional porvindouro (MIKE DAVIS, 2004). E quanto maiores às densidades populacionais, mais recursos a serem explorados e alargamento das áreas comprometidas (ROMERO, 2009).

Partindo destes contextos, a produção de moradia é fundamental para o conjunto do sistema econômico. Desta forma, a política habitacional no Brasil que iniciou no Governo de Getúlio Vargas em 1930 (BOTEGA, 2008) incentivou a produção de moradias, e no decorrer desse tempo novos modelos construtivos foram criados, tendo em vista uma posição mercadológica diferenciada e eficiente dos seus processos. (BLUMENSCHIEIN; SPOSTO, 2009).

Desta maneira, com o intuito de solucionar o problema do déficit habitacional e movimentar a economia pela indústria da construção, o Governo brasileiro introduziu o Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) pela Lei nº 11.977, de 7 de julho de 2009 alterada para Lei nº 12.424, de 16 de junho de 2011, que dispõe sobre o programa Minha Casa, Minha Vida - MCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas e dá outras providências (BRASIL, 2011).

O MCMV constitui a mais importante iniciativa para redução do *déficit* (SOARES *et al.*, 2013) e consequentemente o crescimento do PIB. Com esse programa em ação, várias habitações foram construídas de forma tradicional e outras estão sendo construídos por modelos construtivos inovadores. São considerados inovadores no Brasil, o sistema ou subsistema construtivo que não sejam objeto de norma brasileira prescritiva e não tenha tradição de uso no território nacional (BRASIL, 2016; LACERDA, 2014). Compreende ainda que os processos construtivos inovadores de alguma forma, se constituem inovações em relação ao processo convencional da construção civil no Brasil (MINISTÉRIO DAS CIDADES – Perguntas frequentes, 2016).

No âmbito dos impactos, as construtoras estão investindo no mercado de sistemas construtivos inovadores. Alguns sistemas construtivos iniciaram-se para minimizar os impactos ao ambiente diante da elevada quantidade de recursos consumidos e resíduos gerados, assim, buscam sistemas construtivos que levem em consideração os três aspectos do desenvolvimento sustentável – econômico, social e ambiental de forma equilibrada (GOMES; LACERDA, 2014).

Sombrio (2015, p. 48) relata que:

No Brasil, o sistema de construção tradicional de alvenaria que utiliza tijolos cerâmicos ainda é muito difundido. A alvenaria pode ser autoportante ou

combinada com estrutura de concreto armado, e coberta com telhado, que pode ser de barro, concreto, cimento, etc.

O autor ainda refere que:

[...] o crescimento da indústria da construção, da habitação coletiva e dos conjuntos habitacionais as os sistemas construtivos inovadores, como os painéis pré-fabricados de cerâmica, que prometem padronização da qualidade, minimização da necessidade de mão de obra e rapidez na construção ganharam espaço no mercado.

Antes mesmo das habitações com pré-moldados ou pré-fabricados no Brasil, é utilizado alvenaria estrutural “introduzido na década de 60 e consolidou-se nos anos procedentes com a evolução técnica e o desenvolvimento de normas brasileiras” (BRUMATTI, 2008, p. 8). A alvenaria é milenar, comum na maioria das habitações, no entanto, seus materiais e modo de construir vêm mudando ao longo do tempo. Os materiais mais utilizados na construção são: tijolo cerâmico, cimento etc. (LACERDA, 2014).

Logo, para esse setor crescer, tem que investir e apostar em novos sistemas construtivos, e ter projetos e modelos que possam aplicar em escala industrial é sinal de crescimento para suprir as necessidades básicas das pessoas. Exemplo disso é os pré-moldados e/ou pré-fabricados, que podem ser industrializados, produzido em uma fábrica ou na obra. Salientando que esses modelos construtivos são com propósito de qualidade dos projetos, rapidez na produtividade na fase de construção (MATEUS, 2009).

Os pré-fabricados são produzidos fora do canteiro de obra, ou seja, numa fábrica especializada. Neste caso utiliza-se transporte para deslocamento do material para a obra. Já os pré-moldados são produzidos no próprio canteiro, portanto, não tem uso de transportes a grandes distâncias (BRUMATTI, 2008).

Os novos modelos construtivos devem atender as exigências do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de produtos inovadores (SINAT) no âmbito do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), caso não exista publicada uma Diretriz aplicável ao produto, a Instituição Técnica Avaliadora (ITA) elabora uma minuta de Diretriz e a submete a apreciação com a função de propor Diretrizes, realizar avaliações técnicas e elaborar Documento de Avaliação Técnica - DATec's que incorpora o sistema construtivo inovador (MITIDIERI, 2008).

Na presente data (março de 2017), na página da internet do PBQP-H, existem 11 diretrizes do SiNAT (Tabela 1) e 31 DATecs. Porém, dos 31 (trinta e um) somente 13 (treze) estão ativos, sendo 1 (um) relacionada com argamassas e outro com telhas (Tabela 2).

Tabela 1 – Documentos do Sistema Nacional de Avaliação Técnica de produtos inovadores (SiNAT) atualizados no sítio do PBQP-H.

Quantidades	Título das Diretrizes SINAT
1	Diretriz SiNAT nº 001 – Revisão 02 – Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos em paredes de concreto armado moldados no local.
2	Diretriz SiNAT nº 002 – Revisão 02 – Sistemas de paredes integrados por painéis pré-moldados de concreto ou mistos para emprego em edifícios habitacionais.
3	Diretriz SiNAT nº 003 – Revisão 02 – Diretriz para Avaliação Técnica de Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Steel Framing”
4	Diretriz SiNAT nº 004 – Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos formados por paredes estruturais constituídas de painéis de PVC preenchidos com concreto (Sistemas de paredes com formas de PVC incorporadas).
5	Diretriz SiNAT nº 005 – Revisão 01 – Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Wood Framing”
6	Diretriz SiNAT nº 006 – revisão 01 – Argamassa inorgânica decorativa para revestimentos monocamadas.
7	Diretriz SiNAT nº 007 – Revisão 01 – Diretriz para Avaliação Técnica de telhas plásticas para telhados.
8	Diretriz SiNAT nº 008 – Revisão 01 – Vedações verticais internas em alvenaria não estrutural de blocos de gesso.
9	Diretriz SiNAT nº 009 – Revisão 01 – Sistema de vedação vertical externa, sem função estrutural, multicamadas, formação por perfis leves de aço zincado e fechamento em chapas delgadas com revestimento de argamassa (Fachada leve em steel (frame)
10	Diretriz SiNAT nº 010 – Diretriz para Avaliação Técnica de Sistemas Construtivos Formados por Painéis Pré-fabricados de Chapas Delgadas Vinculadas por Núcleo de Isolante Térmico Rígido.
11	Diretriz SiNAT nº 011 – Diretriz para Avaliação Técnica de Paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa, micro concreto ou concreto.

Fonte: PBQP-H (2017).

Tabela 2 – DATecs disponibilizados no Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H).

Quantidades	Títulos dos DATecs
1	DATec nº 003-B – Painéis maciços pré-moldados de concreto armado para paredes da VIVER.
2	DATec nº 012-A – Painéis pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos sem função estrutural – PRECON.
3	DATec nº 014-A – Sistemas Construtivos a seco SAINT-GOBAIN – Light Steel Frame.
4	DATec nº 019-A – Argamassa decorativa “Weber-pra Classic SE” para revestimentos monocamada.
5	DATec nº 020-A – Sistema de vedação vertical leve em madeira.
6	DATec nº 021-A – Sistema construtivo “Casas Olé – Painéis Pré-moldados em Alvenaria com Blocos Cerâmicos e Concreto Armado”.
7	DATec nº 023 – Painéis estruturais pré-moldados Casa Express, misto de concreto armado e lajotas cerâmicas – Tipo A.
8	DATec nº 024-A – Sistema de paredes DPB de painéis nervurados pré-fabricados de concreto armado.
9	DATec nº 025 – Telhas de PVC PreconVC Modelo Plan Cerâmica
10	DATec nº 028 – Painéis pré-moldados de blocos cerâmicos e nervuras de concreto armado para paredes da PREMIERE.
11	DATec nº 029 – Painéis pré-moldados maciços de concreto armado para paredes.
12	DATec nº 030 – Sistema construtivo LP Brasil OSB em Light Steel Frame e fechamento em chapas de OSB revestidas com placa cimentícia.
13	DATec nº 031 – Painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos sem função estrutural.

Fonte: PBQP-H (2017).

As tipificações dos painéis (Tabela 1) são basicamente com os mesmos materiais: de alvenaria com blocos assentados com argamassa convencional; mistos, com alvenaria e nervuras de concreto armado com armaduras em barra e treliças; de alvenaria com composto de concreto armado com tela eletrossoldada; configurando-se como blocos cerâmicos.

Para determinação deste estudo, apresenta-se o estado da arte do painel pré-moldado em alvenaria de bloco cerâmico e concreto armado e do painel pré-moldado em concreto armado, os quais são detentores do DATec empregados para edificações de moradas de baixa renda.

2.2.2 Sistema construtivo: DATec 021-A e DATec 003-B

As políticas públicas habitacionais brasileiras têm gerado um atrativo para produção de habitações para sujeitos com baixa renda. Em consonância, os objetos de estudo insere-se no Plano Nacional de Habitação (PlanHab), que objetiva garantir moradias de interesse social (CBIC, 2008; LACERDA, 2014).

Os modelos construtivos em estudo apresentam uma alternativa técnica e economicamente viável para auxiliar na solução de um grande entrave da construção civil brasileira, é a baixa produtividade apresentada pelo sistema construtivo tradicional. Desta forma, a utilização de painéis de alvenaria (tijolo e cimento) torna-se um avanço pela rapidez na entrega da casa completa aos indivíduos (CBIC, 2008).

O sistema construtivo DATec nº 021-A é desenvolvido pela construtora e incorporadora Morefácil, localizada na cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil.

Os painéis são produzidos no canteiro da obra em lugar específico sobre uma pista de concreto (Figura 4 - A), e moldados em fôrmas metálicas na horizontal (Figura 4 - B). Os mesmos são içados por caminhões tipo munck para o local definido (Figura 4 - C) para instalação das moradias (Figura 4 - D). Assim, o painel é composto por uma camada de concreto, armadura de aço, blocos cerâmicos e argamassa (Figura 4 - E). As instalações hidráulicas e sanitárias são protegidas por meio de tubos.

Este sistema construtivo é patenteado e encontra-se na base do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) com o código PI0701328-0, e segue as normas da ABNT NBR 15.575/2013 parte 1-6, que dispõe sobre edifícios habitacionais e desempenhos.

O emprego deste sistema construtivo são para unidades habitacionais térreas, unifamiliares, geminadas e isoladas. Não podem ser ampliadas verticalmente e as ampliações podem ser feitas, porém sem rasgos, ou aberturas nas paredes (DATEC, nº 021-A).

Figura 4 – Detalhes do painel DATec 021-A: (A) Pista de produção dos painéis; (B) Detalhes das fôrmas metálicas dos painéis; (C) Içamento dos painéis com caminhão munck; (D) Posicionamento dos painéis sobre argamassa; (E) Detalhes dos preenchimentos do painel.

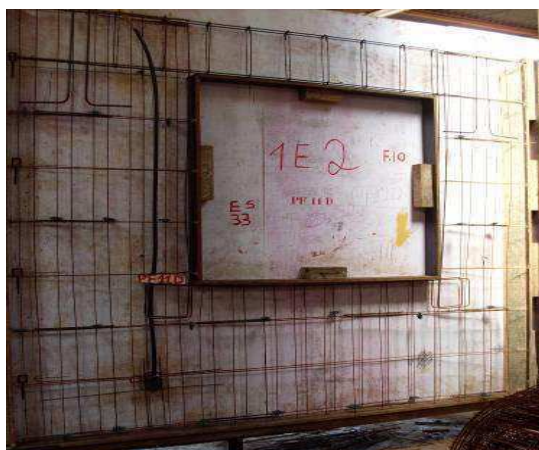


Fonte: DATec nº 021-A (2017).

O proponente do sistema construtivo do DATec nº 003-B é Viver Incorporadora e Construtora S.A., localizada em São Paulo/SP, Brasil.

O DATec 003-B destina-se a à construção de paredes de edifícios habitacionais de até quatro pavimentos. A fabricação pode ser em canteiro de obra ou em unidade fabril. A moldagem dos painéis é feita vertical em baterias de fôrmas de aço, em que, primeiro realiza a montagem das fôrmas, em seguida conferem-se espaçadores e cobrimento (Figura 5 – A, B e C), faz-se o travamento das fôrmas e lança-se o concreto auto adensável, posterior montagem dos painéis (Figura 5 - D).

Figura 5 – Detalhes do painel DATec 003-B: (A) Montagem das armaduras dos painéis dos espaçadores e eletrodutos; (B) Armazenamento e cura dos painéis; (C) Fôrmas metálicas travadas com gancho; (D) Montagem dos painéis.



(A)



(B)



(C)



(D)

Fonte: DATec 003-B (2017).

2.3 Materiais dos painéis pré-moldados em estudo

Em relação ao aludido, as técnicas construtivas evoluem para atender à demanda do homem, só que “o surgimento da indústria levou à sociedade industrial a o uso extravagante crescente de materiais” (NAVARRO, 2001, p. 34). Visto que, é no solo que resulta na remoção de grandes quantidades de materiais (DERISIO, 2012).

Para Navarro (2001, p. 35):

O crescimento da importância dos materiais na vida do ser humano ao longo de toda a sua existência aconteceu sem nenhuma base científica. A maioria dos tipos de materiais em uso até fins da década de 80 foi descoberta séculos antes da existência de qualquer ciência.

O autor ainda relata que, “[...] os materiais não são usualmente muito visíveis para o público leigo-consumidor, o qual está mais preocupado, de forma evidente, com os produtos prontos e se estes irão desempenhar o papel a que prestam” (NAVARRO, 2001, p. 42). Pois o consumo está diretamente relacionado com as necessidades ao nível do conforto e da qualidade de vida da sociedade moderna (LUCAS; AMADO, 2011).

Há a pouco tempo que o corpo industrial vem se preocupando com as questões ambientais, uma vez que, não havia nenhuma preocupação quanto ao esgotamento dos recursos e, muito menos, com os custos e prejuízos causados pelo desperdício de materiais e seu destino (LIMA, 2009).

O setor tem o desafio de conciliar uma atividade produtiva com as condições que conduzam a um desenvolvimento sustentável (LIMA, 2009).

Deste modo “a escolha adequada dos materiais de construção, pode assim contribuir de forma decisiva para a redução da quantidade de energia necessária à construção de edifícios” (TORGAL; JALALI, 2010, p. 76) e conciliar a sustentabilidade.

Lucas e Amado (2011, p. 286) salientam sobre:

A opção pela utilização de materiais mais sustentáveis, com baixo valor de energia incorporada (energia que é utilizada desde a extração da matéria-prima até ao produto final do material, pronto a ser utilizado), reutilizáveis e/ou recicláveis é o caminho a seguir através do aumento da sua incorporação no processo.

Conhecer o comportamento ambiental dos materiais desempenha um papel importante (ALMEIDA *et al.*, 2011).

Em analogia aos materiais desta pesquisa, o concreto armado, o tijolo cerâmico, argamassa é o sistema construtivo predominante e dito convencional⁶ no Brasil (CONDEIXA, 2013).

Em específico, o concreto “[...] é produzido a partir de cimento, agregados, água, além de aditivos ocasionais. Ele é lançado no local em cofragem ou pré-fabricadas como blocos ou unidades maiores.” (BERGE, 2009, p. 194, tradução nossa).

Torgal e Jalali (2010, p. 267) reforçam que “O concreto é um material frágil que se caracteriza por possuir uma elevada resistência á compressão e uma baixa resistência à tração. Já o material compósito á base de concreto reforçado com armaduras de aço, possui uma boa resistência tanto à compressão como à tração [...]”.

Já a argamassa “É um material de construção constituído por uma mistura homogênea de um ou mais aglomerantes (cimento ou cal), agregado miúdo (areia) e água, ainda podem ser adicionados alguns produtos especiais (aditivos ou adições) [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2003, p. 12).

O aço é constituído por 85-98% de ferro e são utilizados na construção para estruturas, pisos, paredes e telhados; reforço em concreto; coberturas; revestimento de paredes; caleiras; porta e janela móveis; pregos e parafusos (BERGE, 2009).

A principal materia prima do tijolo é a argila. “O produto final é obtido aquecendo-se os tijolos crus em uma fornalha. A cor pode ser controlada por meio do processo de aquecimento e adicionando pigmentos, tais como óxido de manganês ou cal (rocha calcária)” (HENDRIKS; NIJKERK; VAN KOPPEN, 2007, p. 128). No Brasil ainda utiliza-se muito da queima para a produção desse material (CONDEIXA, 2013).

Destacar algumas características desses materiais é entender que existe um ciclo por trás do produto, definido, extração da matéria-prima, transporte, industrialização/produção/transformação, consumo, reciclagem e final de vida útil (ADAM, 2001).

⁶ São denominados de materiais convencionais ou industrializados, o cimento Portland, aço, cerâmica, concreto, alumínio de uso comum. Já o termo não-convencional tem-se o a terra crua (BARBOSA, 2003).

2.4 Desenvolvimento sustentável e a construção sustentável

2.4.1 Histórico ambiental do desenvolvimento sustentável

No século XXI há um grande debate acerca de desenvolver, proteger a natureza para essa e as futuras gerações, ou seja, crescer sem aderir à sustentabilidade não seria viável nos dias atuais, como ressaltam os autores Pagliarin e Tolentino (2015, p. 11-12) que:

[...] o tema Desenvolvimento sustentável na perspectiva do princípio da responsabilidade em Hans Jonas⁷, faz-se uma reflexão acerca da necessidade da adoção de uma ética que fundamente o agir do homem, uma vez que as trilhas seguidas pela humanidade na sistemática econômica, visando alcançar seus intentos. Não são levando em consideração as consequências de suas ações no meio ambiente, notadamente quando se observa que problemas ambientais já foram constatados.

O crescimento econômico e tecnológico nos últimos duzentos anos nunca foi tão extraordinário em termos de velocidade de inovações, descobertas de novas tecnologias e produtos (FREITAS; PORTO, 2006). No entanto, é importante salientar que nem sempre tais descobertas extraordinárias são benéficas para a sociedade.

Para Freitas e Porto (2006) tantos avanços científicos, econômicos e materiais não ocorrem sem gerar problemas, parece que a outra face de nossa época de intensa criação e produção é a própria destruição e que o modelo de desenvolvimento adotado impõe uma crise ambiental sem precedentes. A crise ambiental reconhecida principalmente a partir da década de 1970 (FREITAS; PORTO, 2006).

Nesse cenário, Polli e Souza (2013, p. 185) destacam que:

[...] a produção de diversos produtos industrializados ao longo dos últimos séculos trouxe graves consequências ao meio ambiente. Os resíduos sólidos, decorrentes do consumo e descarte dos produtos industrializados, nos leva a refletir sobre a responsabilização de seus produtores no que tange ao recolhimento de tais resíduos com o intuito de preservar o meio ambiente e a sociedade.

Logo, a ideologia do desenvolvimento sob a égide do capitalismo vem sendo questionada desde meados do século XX.

Na década de 1960, vários movimentos eclodiram no mundo para criticar a sociedade capitalista e seus impactos socioambientais.

Na década de 1970, temos a difusão de numerosos eventos e documentos que analisaram os rumos do desenvolvimento capitalista e seus reais impactos, como, o

⁷ Hans Jonas nasceu em 1903, em Mönchengladback, na Alemanha. Foi um filósofo, conhecido por sua obra *O Princípio da Responsabilidade* (SOUZA, 2010).

lançamento do estudo do Clube de Roma em 1972, intitulado “Limites do Crescimento” e a Conferência de Estocolmo, realizada pela Organização das Nações Unidas. Nos dois casos, há uma avaliação comum, o planeta não sustenta o atual modelo de desenvolvimento, muitas vezes usado como sinônimo de crescimento econômico (SEIFFERT, 2009).

As análises foram potencializadas pela crise do modo de produção capitalista, que estourou no ano de 1973, com destaque para a crise do petróleo, principal fonte de energia e matéria da nossa sociedade fossilista (PORTO-GONÇALVES, 2006).

Na década de 1980, o lançamento do Relatório *Brundtland* (1987), também conhecido como “Nosso Futuro Comum”, com seus apontamentos sobre os limites do crescimento e a necessidade de pensar outro modelo de desenvolvimento, colocam em questão os rumos da hegemonia econômica nos projetos e políticas públicas de intervenção territorial.

O conceito de desenvolvimento sustentável ganhou força, ressaltando que para planejar e intervir no território, não basta calcular os ganhos puramente monetários ou avaliar os indicadores de crescimento do Produto Interno Bruto. Como nova matriz, para pensar o território, emergiu uma abordagem holística que entende o desenvolvimento em todas as suas perspectivas – econômica – social – cultural – tecnológica – ambiental (SACHS, 2007).

Já na década de 1990, temos como destaque a realização da RIO 92 no Brasil, sendo considerado um marco no fervor de um paradigma de desenvolvimento com bases sustentáveis.

A Rio-92 pautou ainda as negociações sobre Desenvolvimento Sustentável e meio ambiente nas duas décadas seguintes graças à aprovação de um conjunto de tratados e declarações sob a chancela da Organização das Nações Unidas (ONU), os documentos foram: Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Agenda 21, Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (CQNUMC); Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) e a Convenção sobre Combate à Desertificação (VIEIRA, 2012).

Com um legado da RIO-92, houve a Conferência das Nações Unidas sobre desenvolvimento sustentável a RIO+20, um evento grandioso e ambicioso, contou com a participação de 193 Estados-Membros (GANEM, 2012). De acordo com Resolução

adotada pela *General Assembly of the United Nations* (Assembleia Geral das Nações Unidas) 64/236, seção 20 (a) (2010 p. 5-6, tradução nossa):

O objetivo da Conferência será garantir um compromisso renovado em nome do desenvolvimento sustentável, avaliando o progresso obtido até o presente e as lacunas remanescentes na implantação dos resultados das maiores cúpulas de desenvolvimento sustentável, abordando desafios novos e emergentes. O foco da Conferência incluirá os seguintes temas a serem discutidos e aperfeiçoados durante o processo preparatório: economia verde no contexto do desenvolvimento sustentável e erradicação da pobreza, e o arcabouço institucional para o desenvolvimento sustentável.

Independente das discussões acerca dessa Conferência a Rio+20 foi um reavivamento do cenário político para com as questões ambientais e aplicação da agenda global, como acentua Guimarães e Fontoura (2012), “a convocação da Rio+20 reacendeu as esperanças de avançar na transição à uma sociedade global sustentável”. Outro impacto positivo para esse reavivamento do cuidado do ambiente é a Encíclica Papal *Laudato Si'* publicada em 2015, tratando a cerca do cuidado da casa comum (ambiente).

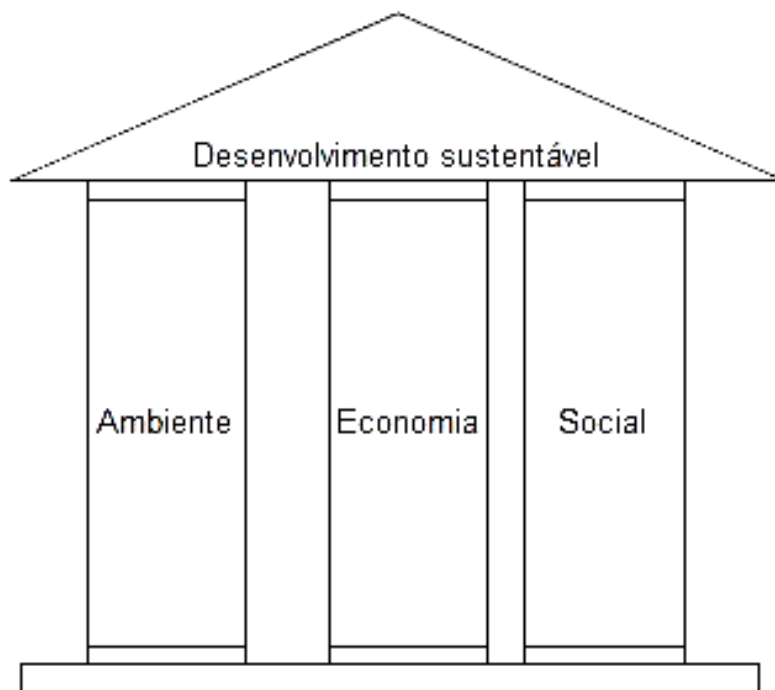
Neste contexto, a questão ambiental vem sendo abordada desde a década de 60, 70, visto como uma preocupação mundial, no qual “o modelo de desenvolvimento da sociedade, proporcionou um aumento não controlado do consumo dos recursos naturais” (LUCAS; AMADO, 2011, p. 285).

Para Bertolini (2010, p. 371) “o território, ou seja, o ambiente natural é utilizado: a) como suporte das atividades agrícolas, produtivas, habitacionais, de transferência e de relação; b) como fornecedor dos recursos, das matérias-primas, dos recursos hídricos, dos recursos energéticos [...]”, por isso a preocupação com as problemáticas ambientais, pois o ambiente ao que parece reporta uma carga cada vez maior com passar dos anos, devido, o crescimento imposto transmitido para países ainda em desenvolvimento.

Conforme Arroja, Quintero e Dias (2011, p. 99) “[...] a Organização das Nações Unidas, a população mundial em outubro de 2011 é de cerca de 7 bilhões e 2050 será de cerca de 9,3 bilhões. Esta população tem necessidades de energia enorme e leva a um uso não sustentável dos recursos naturais.”. Ainda nas premissas dos autores “o desenvolvimento sustentável considera três componentes principais: ambiente, economia e sociedade”.

Os pilares (Figura 6) “[...] devem ser igualmente desenvolvidas, a fim de alcançar um desenvolvimento sustentável [...]”. (ARROJA, DIAS; QUINTERO, 2011, p. 99).

Figura 6 – Os três pilares do desenvolvimento sustentável.



Fonte: Adaptado de Arroja, Quintero e Dias (2011).

Esses pilares também conhecido como tripé da sustentabilidade, cada um tem uma ligação uns com os outros, como uma forma de “[...] reduzir a exploração e utilização dos recursos naturais, o consumo de energia e combustíveis e reduzir as emissões dessas espécies, a manutenção da competitividade econômica e à coesão sócia [...]”. (ARROJA, DIAS; QUINTERO, 2011, p. 99).

2.4.2 Construção sustentável

A presente discussão sobre o desenvolvimento sustentável é justamente para contribuir na diminuição dos impactos negativos ao ambiente (FARIAS; AMADO, 2011). Visto que, a cadeia da construção civil é interligada as três dimensões do desenvolvimento sustentável (Figura 8), por representar fluxos no PIB, envolvimento de serviços, emprego, como também parcela de impacto ambiental (LACERDA, 2014), como citam Farias e Amado (2011) que o setor da construção é responsável por um

elevado consumo de energia e de recursos em todas as fases do seu processo produtivo, e essa uma prática cada vez mais crescente no mercado (CORRÊA, 2009).

Entretanto, qualquer empreendimento deve atender basicamente: adequação ambiental; viabilidade econômica; justiça social e aceitação cultural (CORRÊA, 2009).

Dessa forma, a construção sustentável surge como uma resposta para adaptar o setor da construção ao processo de desenvolvimento da sociedade (LUCAS; AMADO, 2011).

Existem alguns sistemas de avaliação para que suceda a sustentabilidade na construção, eles são: BEPAC (*Building Environmental Performance Assessment Criteria*); BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*); CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*); GBC (*Green Building Challenge*); HQE (*Haute Qualité Environnemental des Bâtiments*); LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*); LIDERA (Sistema Voluntário para Avaliação da Construção Sustentável) e NABERS (*National Australian Buildings Environmental Rating System*) (LUCAS; AMADO, 2011); AQUA (Alta Qualidade Ambiental); Selo Casa Azul da Caixa; Procel Edifica.

Neste contexto, aplicar a ACV na construção civil é uma prática eficiente para tomada de decisão na escolha de sistemas ou materiais com menor impacto socioambiental e econômico, promovendo a sustentabilidade.

Apresentação

Esta seção descreve a construção deste estudo para obtenção dos resultados. Apresenta o conjunto de informações sobre o levantamento de literatura, inventário dos materiais, cálculos para modelagem da ACV no *software* SimaPro.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa tem um cunho exploratório ao trabalhar com avaliação do ciclo de vida de painéis pré-moldados do DATec nº 021-A e 003-B para habitações sociais, em que não há tantas informações sobre ACV com pré-moldados. Porém, o estudo tem um enfoque mais simples por não se tratar de medições *in situ*, ou seja, não tem dados primários. Faz-se uso de inventários de ACV Internacionais similares ao Brasil, caracterizando dados secundários (ROMEY, 2013).

3.1 Levantamento bibliográfico

Na primeira etapa realizou-se a revisão de literatura, esta foi importante por ter proporcionado relacionar os grandes eixos temáticos, nos quais são: ACV, construção civil, pré-moldados (DATec), materiais e desenvolvimento sustentável.

Esta fase teve como objetivo levantar estudos e documentos institucionais sobre a temática, com destaque para o debate sobre avaliação do ciclo de vida na construção, utilização de painéis pré-moldados, habitações sociais, materiais e desenvolvimento sustentável.

As fontes foram pesquisadas nas bibliotecas, instituições públicas, banco de dados internacionais e nacionais como, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) Portugal, Universidade de Aveiro (Portugal). Também foram realizadas pesquisas em sítios, como periódicos CAPES/MEC⁸, biblioteca digital da Universidade de São Paulo, da Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade de Brasília e periódicos indexados na base de dados do SciELO⁹, *Science Direct*¹⁰.

⁸ Periódicos CAPES/MEC. <http://www-periodicos-capes-gov-br.ez138.periodicos.capes.gov.br/>

⁹ SciELO. <http://www.scielo.org/php/index.php>

¹⁰ Science Direct. <http://www.sciencedirect.com/>

3.2 Aplicação da avaliação do ciclo de vida

A segunda etapa, envolveu a realização da investigação dos principais materiais com as respectivas quantidades necessárias ao preenchimento do painel, com imersão em dados secundários de grande relevância acadêmica e empresarial para aplicar a metodologia ACV e modelagem dos elementos no SimaPro.

Esta etapa descreve as 4 (quatro) fases que são utilizadas na metodologia ACV: objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação de impacto e interpretação, que são fundamentadas na ABNT NBR ISO 14040 (2009a) e ABNT NBR ISO 14044 (2009b) modeladas no programa SimaPro.

E apresentam os detalhes dos dois painéis pré-moldados empregados em paredes estruturais internas e externas com suas limitações com, unidade funcional e fronteiras do sistema.

3.2.1 Objetivo e escopo

Para este estudo foi utilizado a metodologia ACV com dados modelados no SimaPro versão 8.0.3.14, em que, é avaliado os impactos do ciclo de vida dos materiais de dois painéis pré-moldados com base no DATec nº 021-A e o DATec 003-B, ambos com validade até 2018.

Foi utilizado o método ReCiPe de origem Holandesa que é o sucessor dos métodos Eco-indicador 99 e CML (PRÉ-CONSULTANTS, 2014). Ainda sim, foi utilizada a biblioteca do EcoInvent3, por ser um banco de dados renomado, como também, o *European Life Cycle Database* (ELCD) por ter algumas informações referentes ao aço, um material do painel pré-moldado.

Utilizou-se o modelo atribucional que representa as atividades já ocorridas do sistema do produto, pois contempla sobre a multifuncionalidade pela divisão dos valores das entradas e saídas individuais (BUENO, 2014; SILVA, 2015).

Porquanto, no SimaPro já contém informações de entradas e saídas, limites do sistema, informações regionais e globais. Assim, foram avaliados os impactos dos materiais que compõe os painéis pré-moldados em alvenaria com blocos cerâmicos e concreto armado e comparou-se com um painel de concreto armado.

O público alvo são indústrias da construção e academia (Instituições de Ensino Superior).

3.2.1.1 Unidade funcional

As dimensões para ambos os painéis foram 2,60mx2,52mx0,12m (Figuras 7 e 8), com área total de 6,55m², com exceção da abertura da porta, resulta na área de 4,87m².

Deste modo, a função dos painéis pré-moldados é vedação estrutural, e a unidade funcional é a quantidade de materiais consumidos nos painéis com área de 4,87m².

O quantitativo dos materiais referente ao DATec nº 021-A:

Bloco cerâmico

Considerou-se uma estimativa de 28 blocos por m², com dimensões 0,07mx0,19mx0,19m (Figura 9).

$$Tijolos/m^2 = 1/(0,19 \times 0,19) = 28 \text{ tijolos}/m^2$$

Número total aproximado de tijolos: 135 blocos

Quantidade de aço

A armadura é tela eletrossoldada tipo Q61, com malha de 150mmx150mm e fios 3,4mm. A treliça TR06644 com diâmetro de 8,0mm ou 10,0mm. Para a referência de peso desses materiais, no caso da tela eletrossoldada foi utilizado informações do fabricante Votoraco¹¹ (ANEXO C). Para a treliça a referência foi do fabricante Puma¹² (ANEXO D), porém, a treliça só é usada no painel que tem a abertura da porta, objeto deste estudo.

a) Tela eletrossoldada

$$\text{Peso (kg/m}^2\text{)} \times \text{área do painel}$$

$$0,97 \times 4,87 = 4,70 \text{ kg}$$

¹¹ Informações referentes à Tela eletrossoldada.

<http://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/votoraco/telas.pdf> (acesso: 15 mar. 2017).

¹² Informações referentes à Treliça.

<http://www.treliart.com.br/downloads/Manual%20de%20Fabricacao.pdf> (acesso: 15 mar. 2017).

b) Trelça

Peso (kg/m²) x área do painel

$$2,76 \times 4,87 = 13,44 \text{kg}$$

$$\text{Peso total: } 4,70 + 13,44 = 18,14 \text{kg}$$

Concreto

O concreto empregado na produção dos dois painéis é de classe C25 (Resistência Característica a Compressão (Fck)) de 25Mpa, com massa específica na ordem de 2365kg/m³, na proporção: 1 de cimento; 2,44 areia natural; 2,56 brita em massa.

Aplicou-se o concreto no painel com área de 4,87m² e espessura de 0,03m, consumindo um volume total.

$$\text{Área da parede} \times 1 \text{face} \times 0,03$$

$$\text{Volume total de concreto: } 0,15 \text{m}^3$$

$$\text{Em quilograma: } 0,15 \times 2365 = 354,75 \text{kg}$$

Argamassa

a) Rejunte

Considerou-se a argamassa para rejunte por tijolo de 0,013m, que corresponde a 0,00041m³/tijolo, no traço 1:2:8 (cimento: cal: areia)¹³ em massa.

Cálculo abaixo:

$$0,115 \times (0,09 + 0,19) \times 0,013 = 0,00041 \text{m}^3/\text{tijolo}$$

Assim, temos:

$$0,00041 \text{ m}^3 \times n^\circ \text{ de tijolos}$$

$$0,00041 \times 135 = 0,055 \text{m}^3$$

b) Emboço

A argamassa empregada na produção do painel possui consistência plástica e é composta por cimento e areia, na proporção: 1:2:9 (cimento: cal: areia)¹⁴ em massa.

¹³ Baseado no manual de Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos – TCPO (2010)

¹⁴ Baseado no manual de Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos – TCPO (2010)

Aplicou-se no painel com área de $4,87\text{m}^2$ e com espessura de $0,015\text{m}$, consome um volume total de argamassa de emboço.

$$\text{Área da parede} \times 1\text{face} \times 0,015$$

$$\text{Volume total do emboço: } 0,073\text{m}^3$$

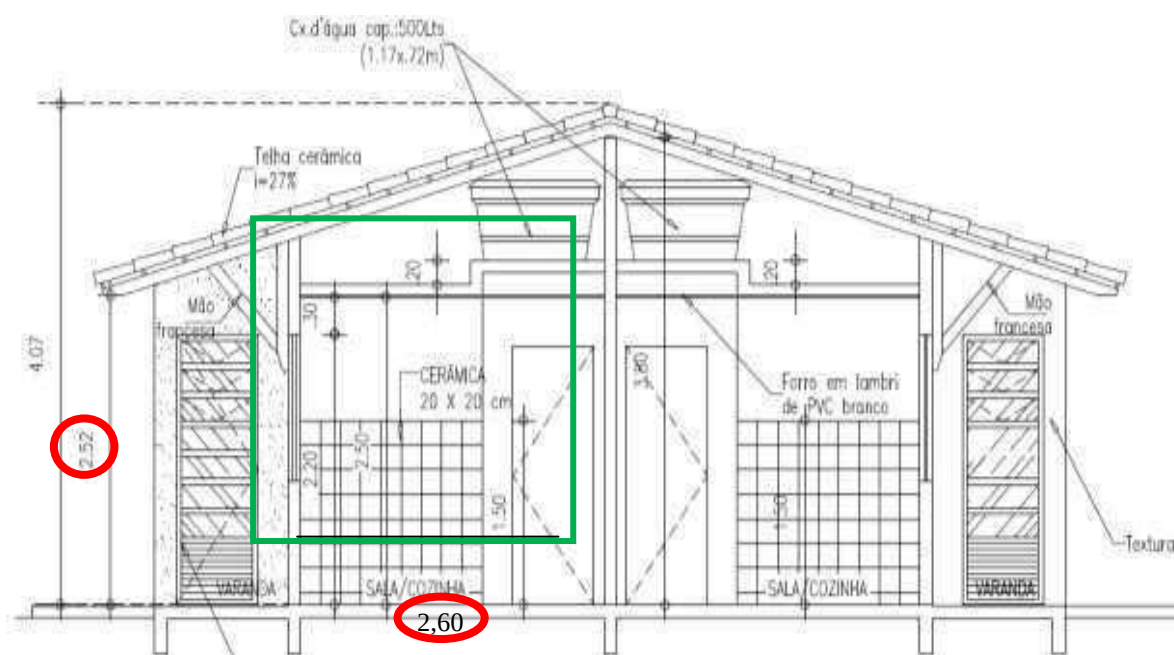
Assim:

$$\text{Volume total da argamassa} = \text{Rejunte} + \text{Emboço} = 0,13\text{m}^3$$

$$\text{Em quilograma: } 0,13 \times 2000 = 260\text{kg}$$

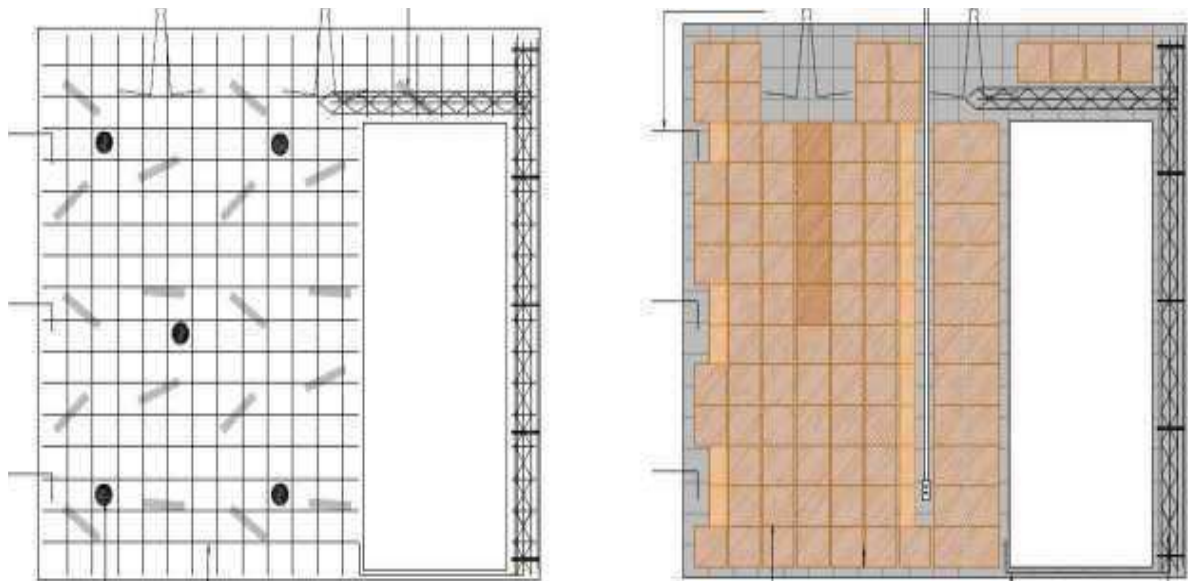
Não foram considerados abertura de tubulações elétrica ou hidráulica. Os valores dos materiais foram convertidos para quilograma (kg). Os detalhes do painel em estudo estão detalhados nas Figuras 7, 8 e 9.

Figura 7 – Detalhe construtivo do painel pré-moldado DATec 021-A.



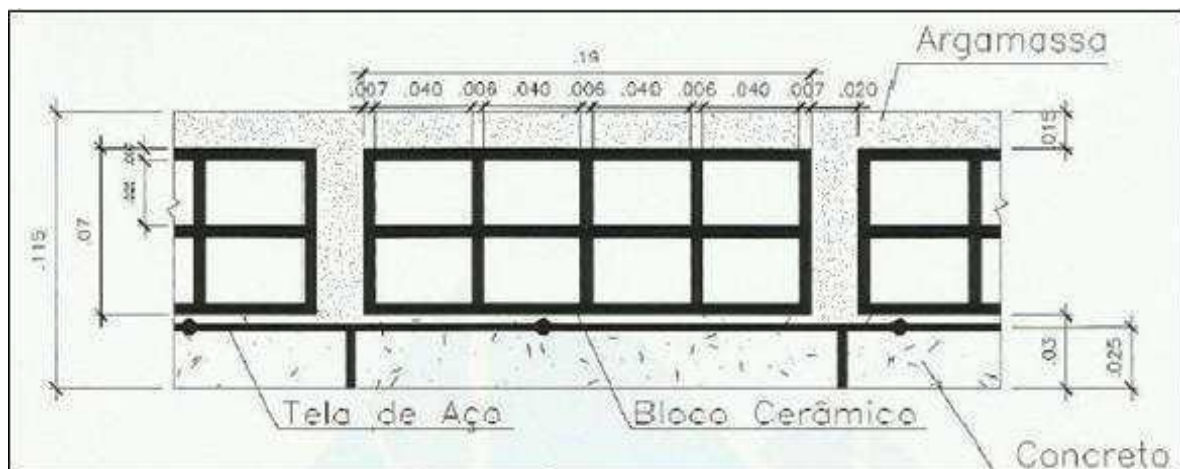
Fonte: DATec nº 021-A (2017).

Figura 8 – Armação típica do painel.



Fonte: DATec nº 021-A (2017).

Figura 9 – Corte típico do painel pré-moldado e posicionamento do tijolo cerâmico.



Fonte: DATec nº 021-A (2017).

O quantitativo dos materiais referentes ao DATec 003-B

Concreto

Inseriu-se no painel com área de $4,87\text{m}^2$ e com espessura de $0,10\text{m}$, consome um volume total de $0,49$ de concreto.

Volume total de concreto: $0,49\text{m}^3$

Em quilograma: $0,49 \times 2365 = 1152,23\text{kg}$

Armadura de aço

A armadura do painel de vedação é constituída de uma única tela soldada também com malha de $300\text{mm} \times 150\text{mm}$ e fios de $4,2\text{mm}$ de diâmetro (tela T92), posicionada no centro da peça. Para a referência do peso desse material, foram utilizadas informações do fabricante Comercial Gerdau¹⁵ (ANEXO E).

a) Tela eletrossoldada

Peso (kg/m^2) x área do painel (m^2)

$$1,12 \times 4,87 = 5,45\text{kg}$$

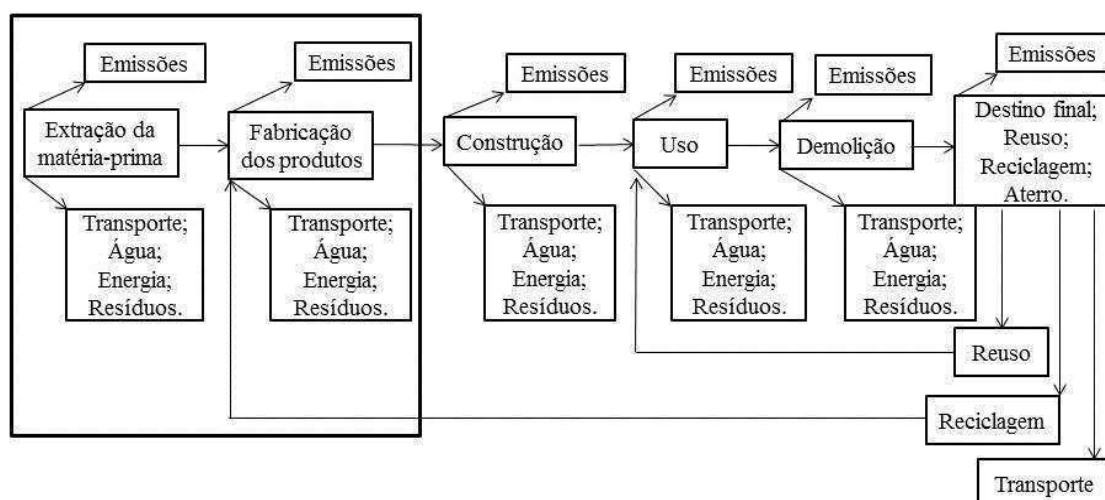
Todavia, informações sobre tela eletrossoldada e treliça para os dois painéis não estão disponíveis na biblioteca do EcoInvent3, assim, optou-se por selecionar o banco de dados ELCD que tem informações sobre vergalhão de aço para painéis.

3.2.1.2 Fronteiras do sistema

As fronteiras do sistema apresentado na Figura 10 engloba *cradle to cradle* (do berço ao berço) que envolve desde a fase de extração ao retorno do material transformado e/ou reutilizado ao ciclo.

¹⁵ <https://www.comercialgerdau.com.br/pt/produtos/tela-soldada-nervurada-gerdau#ad-image-0> (acesso em: 15 fev. 2017).

Figura 10 – Principais fronteiras do sistema para uma ACV do berço ao berço.

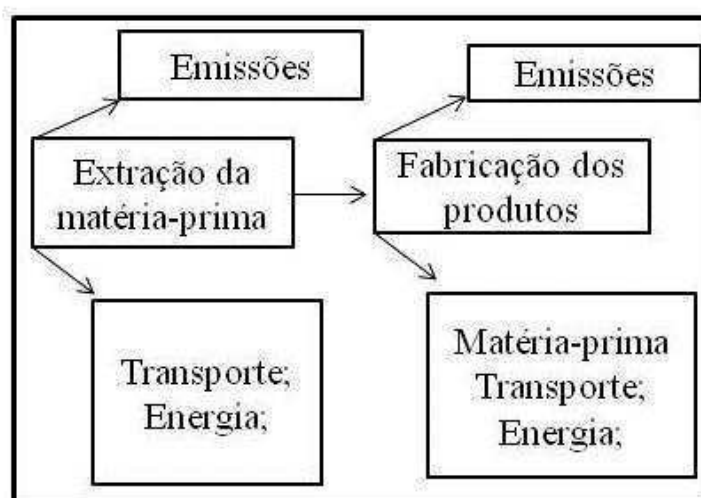


Fonte: Adaptado de Costa (2012) e Curran (1996).

A fronteira do sistema considerada para este estudo é o *cradle to gate* (do berço ao portão), que envolve a extração de matérias-primas, fabricação dos produtos para produção dos painéis. Tais limitações são comuns entre os pesquisadores (FIGUEIREDO; GOMES; CARVALHO, 2016). Neste caso, as referências de extração e fabricação do produto encontram-se nas bibliotecas selecionadas: EcoInvent e ELCD.

Na Figura 11, especifica-se os limites deste estudo, pelos simples fato de simplificação, como também, o DATec não conter informações sobre todas as etapas construtivas.

Figura 11 – Principal fronteira deste estudo do berço ao portão.



Fonte: Adaptado de Costa (2012) e Curran (1996).

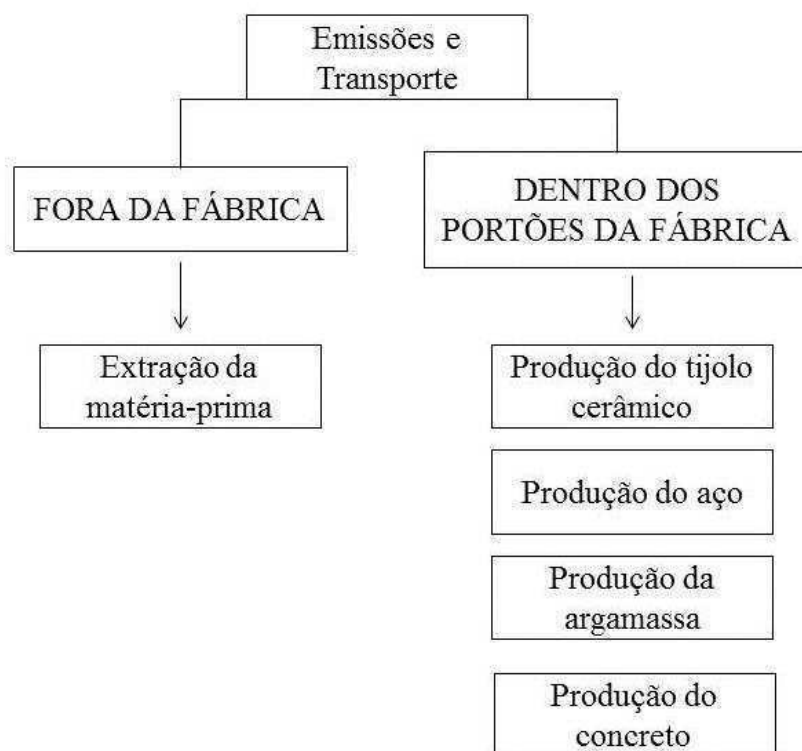
3.2.2 Inventário do ciclo de vida dos materiais dos painéis pré-moldados

Cerca de 80% dos dados que são necessários para aplicar a metodologia ACV já se encontra disponível (inventários), pelo qual não é necessário proceder à coleta de todas as informações. (BRAGANÇA; MATEUS, 2011).

A base de dado EcoInvent, é uma das mais aceitas por especialistas em ACV, sendo reconhecida mundialmente. Já a seleção da biblioteca ELCD foi por conter um material semelhante com estudo (BRAGANÇA; MATEUS, 2011).

Conforme a fronteira principal escolhida para esta dissertação (Figura 11) foi elaborada as fronteiras para os materiais selecionados que compõe o painel pré-moldado (Figuras 12) envolvendo extração e produção, uso de transporte e emissões para os materiais: tijolo cerâmico, concreto, aço (treliça e tela eletrossoldada) e argamassa cimentícia.

Figura 12 – Principais fronteiras dos materiais dos painéis.



Fonte: Autora (2017).

Assim, os detalhes descritivos desta fronteira (Figura 12) para os materiais referidos gerados automaticamente com base nos dados do EcoInvent3:

O tijolo cerâmico

O seu processo é composto por preparação da massa, moldes na peça, secagem e queima. O principal insumo é a argila vermelha que é retirada das jazidas com uso de retroescavadeira e transportada por caminhão, que são movidos a diesel, supostamente liberam Gases de Efeito Estufa (GEE).

Concreto

Inclui todos os processos de fabricação para produzir concreto pré-misturado, processos internos (transporte, etc.).

Vergalhão de aço

Dados recolhidos no local por peritos da indústria siderúrgica de acordo com normas ISO 14040, e verificação de consistência por especialistas mundiais LCA.

A extração e processamento de matéria prima como, carvão, minério de ferro, etc., e reciclagem de sucata de aço, fabricação de coque, alto-forno, forno básico de oxigênio, moinho de tiras a quente.

Os insumos incluídos no Inventário referem-se a todos os insumos de matérias-primas, incluindo sucata de aço, energia, e transporte.

Argamassa cimentícia

As matérias-primas são misturadas numa certa proporção e transportadas. As atividades incluídas é todo o processo de fabricação para produzir argamassa de cimento (provisão de matéria-prima, mistura de matérias-primas, embalagem e armazenamento) e transporte.

3.2.3 Categorias de impacto ambiental

De acordo com Bragança e Mateus (2011) a categoria de impacto ambiental consiste na avaliação sistemática dos impactos, determina a contribuição potencial tais como Aquecimento Global, Acidificação, entre outras.

O método utilizado para avaliação dos impactos foi o ReCiPe 2014, que contém o conjunto de normalização/ponderação referentes aos valores Europeus e ao redor do mundo (ACV BRASIL, 2014). Esse método foi criado pelo RIVM, CML, *Pré-Consultants*, *Radboud Universiteit Nijmegen* e *CE Delft*, onde pode optar por usar

indicadores de ponto médio (midpoint) ou indicadores de ponto final (endpoint), ou seja, considera os efeitos possíveis para a obtenção dos resultados (PRÉ-CONSULTANTS, 2014).

Segundo Mendes (2013) *midpoint* são indicadores que utilizam localizados ao longo do mecanismo ambiental antes de chegar ao ponto final. E ainda de acordo com o autor, o *endpoint* avalia todo o mecanismo ambiental¹⁶ até seu ponto final refere-se a um dano em particular pertinente com a área mais ampla de proteção¹⁷ que pode ser saúde humana, ecossistemas e recursos.

No método ReCiPe existem 18 (dezoito) categorias de impactos de ponto médio (ANEXO F), estas categorias interferem causando danos em três conjuntos de ponto final (Quadro 4), posterior gerando uma pontuação única.

Quadro 4 – Categorias de impacto de ponto final do método ReCiPe.

Categorias de impacto (Ponto final)	Indicador	Unidade
Saúde Humana	Anos de vida perdidos ajustados por incapacidade	DALY por ano
Ecossistemas	Perda de espécies durante um ano	Espécies por ano
Recursos	Aumento do custo	\$

Fonte: Adaptado Pré-consultants (2014).

A ACV comumente avalia o dano para Saúde Humana usando o método *Disability-Adjusted Life Years* – DALY, tradução livre “Anos de vida perdidos ajustados por incapacidade” que modela a cadeia causa-efeito procurando medir o impacto da mortalidade e dos problemas de saúde como, vários tipos de câncer, doenças transmitidas por vetores e doenças não transmissíveis ao aferir os anos de vida perdidos como deficientes, em que, DALY é a soma de anos perdidos e anos de vida com deficiência (PRÉ-CONSULTANTS, 2014; TOURINHO, 2014).

O indicador para Ecossistema é expresso pela extinção completa, desaparecimento reversível ou irrevessível ou estresse de espécies sobre uma determinada área, durante certo tempo, isto é, verifica a qualidade do ecossistema por espécies, sendo bastante complexo de monitorar, pois requer informações sobre

¹⁶ “Mecanismo ambiental é o sistema de processos físicos, químicos e biológicos para uma categoria de impacto, vinculando os resultados da análise do inventário do ciclo de vida aos indicadores de categoria e aos pontos finais [...]” (ABNT, 2009 *apud* MENDES, 2013).

¹⁷ Área de proteção é um conjunto de pontos finais da categoria de valor reconhecido pela sociedade como, saúde humana, recursos, ecossistemas (MENDES, 2013).

localização espécies ameaçadas e a localização do impacto (PRÉ-CONSULTANTS, 2014; TOURINHO, 2014).

Em relação aos Recursos, são expressos como os custos excedentários da produção de recursos futuros em um período infinito (assumindo produção anual constante), ou melhor, baseia-se na extração e produção (kg) de um recurso e sua disponibilidade para gerações atuais e futuras (PRÉ-CONSULTANTS, 2014; TOURINHO, 2014).

No presente estudo, selecionou-se dentre as 18 (dezoito) categorias, apenas 7 (sete): mudanças climáticas; depleção do ozônio; acidificação; eutrofização; formação de oxidantes fotoquímicos; formação de material particulado e toxicidade humana (Quadro 5), pois estas relacionam-se com aquecimento global, dano à saúde humana e qualidade do ecossistema (LASSIO, 2013).

Quadro 5 – Categorias de impactos ambientais selecionadas ponto médio.

Indicadores	Categorias de impacto (Ponto médio)	Fator de caracterização	Unidade
Concentração de ozônio estratosférico	Depleção do ozônio	Potencial depleção da camada de ozônio.	kg (CFC-11 eq.)*
Dose de risco ponderado	Toxicidade humana	Potencial de toxidade humana	kg (14DCB)**
Concentração de ozônio fotoquímico	Formação de oxidantes Fotoquímicos	Potencial de formação de oxidantes fotoquímicos	kg (COV)***
Inalação de PM ₁₀	Formação de material particulado	Potencial de formação de material particulado	kg (PM ₁₀ eq.)****
Saturação de base	Acidificação terrestre	Potencial de acidificação terrestre	kg (SO ₂ eq.)*****
Forçamento radiativo infravermelho	Mudanças climáticas	Potencial de aquecimento global	kg (CO ₂ eq.)
Concentração de fósforo	Eutrofização na água doce	Potencial de eutrofização na água doce	kg (P eq.)

*CFC Clorofluorcarbonos; **14 DCB: 1,4-diclorobenzeno; ***Compostos orgânicos voláteis; ****Material particulado; *****Dióxido de enxofre;

Fonte: Adaptado de PRé-Consultants (2014).

As categorias supracitadas são geralmente as avaliadas e apresentadas na Declaração Ambiental de Produtos (DAP)¹⁸ (BRAGANÇA; MATEUS, 2011; MATEUS, 2009), e na norma ISO 21929-1 de 2011, que aborda sobre a sustentabilidade na construção.

Para modelar as categorias mencionadas, utilizou-se o *software* SimaPro que relaciona os impactos ambientais incorporado nos materiais a categorias de impacto ambiental. Assim, para utilizar a ACV foram caracterizados e quantificados alguns materiais dos painéis pré-moldados (Tabela 3) em massa.

Para Lassio (2013) um projeto bem detalhado permite um cálculo eficiente dos insumos utilizados nos elementos construtivos. É importante ressaltar que alguns destes serviços não possuem um critério bem definido de quantificação, levando-nos a adoção de estimativas mais gerais, por isso foram utilizados outros dados secundários para compor o trabalho.

Tabela 3 – Materiais referentes à unidade funcional do painel com área de 4,87m² para os DATecs 021-A e 003-B.

DATec 021-A	
Materiais	Massa (kg)
Tijolo cerâmico	337
Concreto	354,75
Tela Eletrossoldada e Treliça	18,14
Argamassa	260
DATec 003-B	
Concreto	1.152,23
Armadura de aço	18,14

Fonte: Autora (2017).

A Tabela 3 expressa os 4 (quatro) materiais que foram calculados no SimaPro para unidade funcional 4,87m², e para averiguar sua contribuições nas categorias de impactos.

Depois de obtidas as respectivas quantidades dos materiais baseadas na unidade funcional e fronteiras do sistema, foram identificados processos similares no SimaPro como está especificado na Tabela 4 para modelagem.

¹⁸ A Declaração Ambiental do Produto - DAP é um documento verificado que relata dados ambientais dos produtos com base na ACV e outras informações relevantes, e em conformidade com a ISO 14025/2015. (SILVA, 2014).

Tabela 4 – Modelagem dos materiais no *software* SimaPro.

Materiais	Identificação no SimaPro	Biblioteca
Tijolos Cerâmicos	Brick {RoW} production Alloc Def, S	EcoInvent 3
Concreto normal	Concrete, normal {RoW} production Alloc Def, S	EcoInvent 3
Argamassa cimentícia	Cement mortar {RoW} production Alloc Def, S	EcoInvent 3
Vergalhão de aço	Steel rebar, blast furnace and electric arc furnace route, production mix, at plant GLO S	ELCD

Fonte: Autora (2017).

Na biblioteca do EcoInvent3 não estão disponíveis informações relativas a armadura de aço, assim, optou-se por um processo com características similares, para tanto, escolheu os o vergalhão de aço da biblioteca ELCD.

Os materiais foram fundamentados em elementos com médias globais (GLO) e ao redor do mundo (RoW), com padrão de alocação (Alloc Def) que é a divisão do processo, neste caso por proporção em massa, conglomerando entradas e saídas (Sistema - S), ou seja, os insumos e emissões.

Apresentação

Esta seção apresenta os resultados alcançados e discussões com apoio da literatura. Aborda o inventário dos materiais e respectivas quantidades, categorias de impactos e interpretação das informações baseadas na metodologia ACV modeladas no SimaPro, apresentando os resultados comparativos para tomada de decisão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise de inventário do ciclo de vida dos materiais

Para uma análise inicial, nas Figuras 13 e 14 exibe-se o fluxograma do estudo da arte de como está comportado o processo de avaliação do ciclo de vida dos materiais referentes aos modelos construtivos DATec 021-A e 003-B.

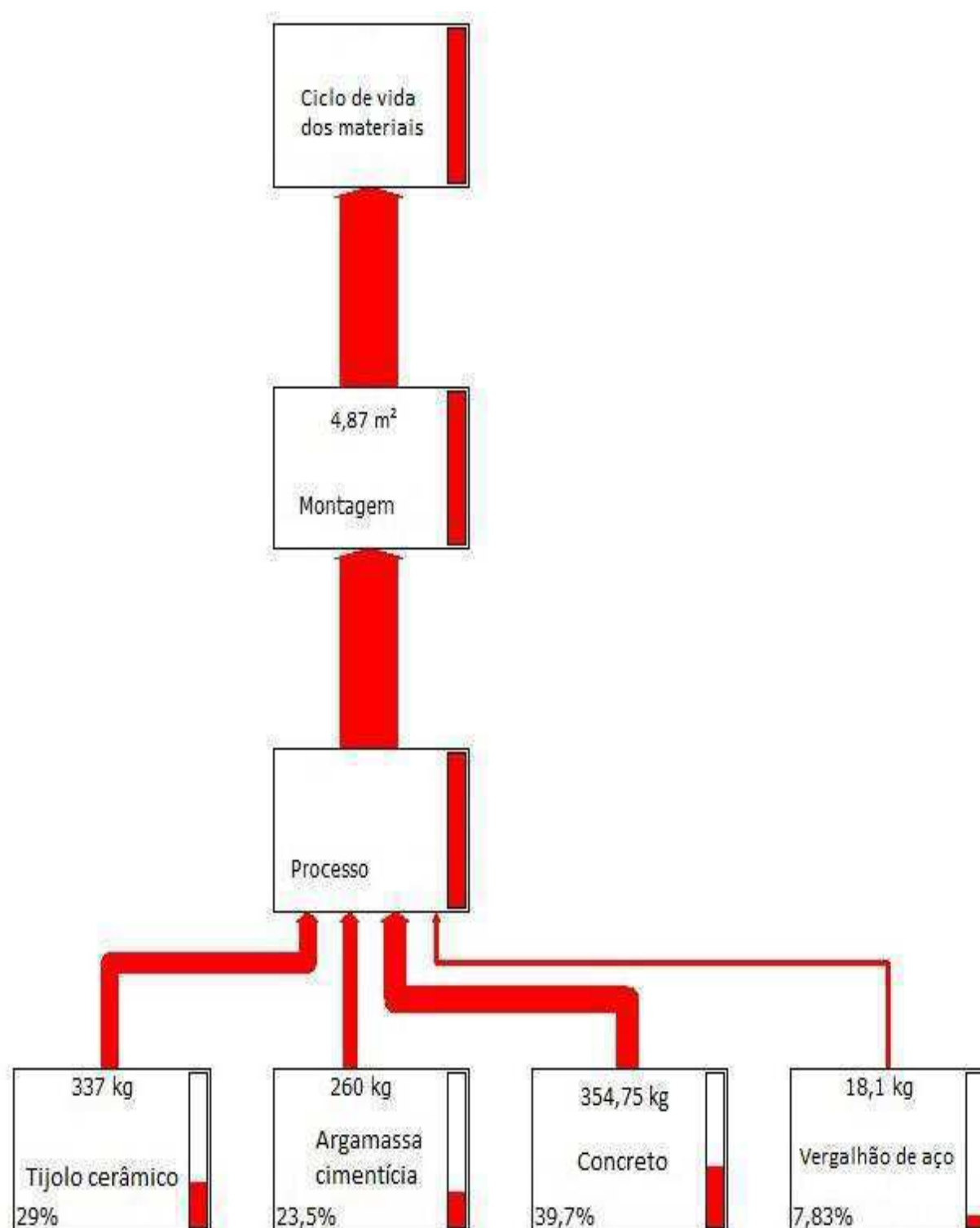
Deste modo, a partir dos dados obtidos dos elementos do painel referente ao DATec nº 021-A, obteve-se o fluxograma (Figura 13) gerado pelo SimaPro. É possível visualizar o ciclo de vida dos materiais, representando 100% do processo para montagem do painel com área de 4,87m², distribuídos para cada elemento. As porcentagens são em relação a massa do painel.

O material mais abundante no painel é o concreto com 39,7%, em segundo o tijolo cerâmico com 29%, em terceiro a argamassa cimentícia 23,5%, e por último o vergalhão de aço com 7,83% da massa total. Observar-se que o elemento com maior impacto foi o concreto e o de menor o vergalhão de aço.

No fluxograma para o DATec nº 003-B (Figura 14), o material com maior quantidade de massa no painel com área de 4,87m² é o concreto com 94,3%, e depois o vergalhão de aço com 5,66%.

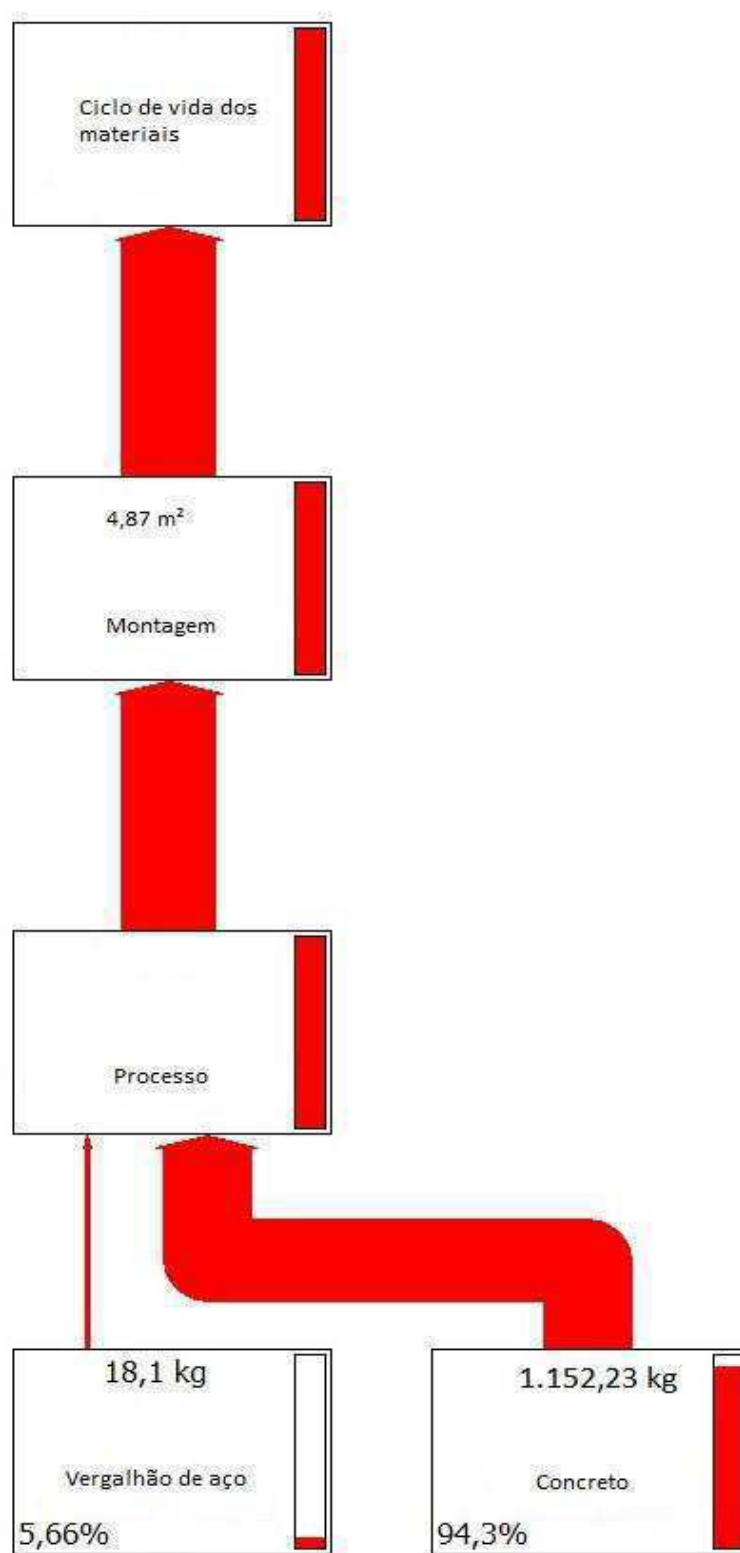
Em ambos os sistemas usa-se de dois materiais similares, o concreto e o vergalhão de aço. Desta maneira, constatou-se que o concreto é o elemento em termos de massa que mais está presente em ambos os sistemas em estudo. Também, por meio destes fluxogramas pode-se observar em ordem qual material teria maior impacto em todo o processo de estudo. Em ocorrência, o componente que mais se destaca no impacto ambiental negativo é o concreto em ambos os sistemas.

Figura 13 – Modelagem dos materiais para produção do painel pré-moldado DATec 021-A.



Fonte: Autora (2017).

Figura 14 – Modelagem dos materiais para produção do painel pré-moldado DATec 003-B.



Fonte: Autora (2017).

4.2 Avaliação e interpretação dos impactos dos materiais dos painéis pré-moldados

Nessa seção, foi realizada a Caracterização/Classificação das categorias de impacto dos materiais, no qual se traduz a extração e produção identificada no inventário, ou melhor, estão originados os resultados.

Dessa forma, foi possível avaliar por meio da metodologia ReCiPe 2014 e apresentar as contribuições de impacto dos materiais para as seguintes categorias: mudanças climáticas, depleção do ozônio, toxicidade humana, formação de oxidantes fotoquímicos, formação de material particulado e eutrofização na água doce, estas relaciona-se com a unidade saúde humana e espécies.

O Quadro 6 apresenta os valores totais da contribuição dos materiais nas categorias de impacto de ponto médio na extração e produção, incluindo transporte internos (fábrica).

Quadro 6 – Contribuição dos impactos do ciclo de vida dos materiais dos DATecs 021-A e 003-B, na categoria de ponto médio, ReCiPe.

Categorias de impactos	Unidade	DATec 021-A	DATec 003-B
Mudanças climáticas	Saúde Humana	4,49E-04	6,61E-04
Depleção do ozônio	Saúde Humana	1,46E-08	2,14E-08
Toxicidade humana	Saúde Humana	1,07E-05	1,41E-05
Formação de oxidante fotoquímico	Saúde Humana	3,77E-08	5,60E-08
Formação de material particulado	Saúde Humana	1,07E-04	1,56E-04
Acidificação terrestre	Espécies	6,27E-09	8,85E-09
Eutrofização na água doce	Espécies	2,38E-10	3,49E-10
Total		5,66E-04	8,31E-04

Fonte: Autora (2017).

De acordo com os dados obtidos, as categorias mais afetadas em ordem decrescente para ambos os painéis: mudanças climáticas, acidificação terrestre, formação de oxidante fotoquímico, eutrofização na água doce, depleção do ozônio, formação de material particulado e toxicidade humana. Os cálculos para esses valores foram baseados em DALY e Espécies.

Em primeira análise, o DATec 003-B teve maior impacto nas categorias de ponto médio. Já na categoria de impacto Mudanças climáticas foram as mais impactadas

pelos dois sistemas, com dano à Saúde humana, posterior a Acidificação terrestre tem relação a Espécies, em consonância ao método ReCiPe.

Os resultados para cada categoria de impacto selecionada para este estudo são apresentados a seguir:

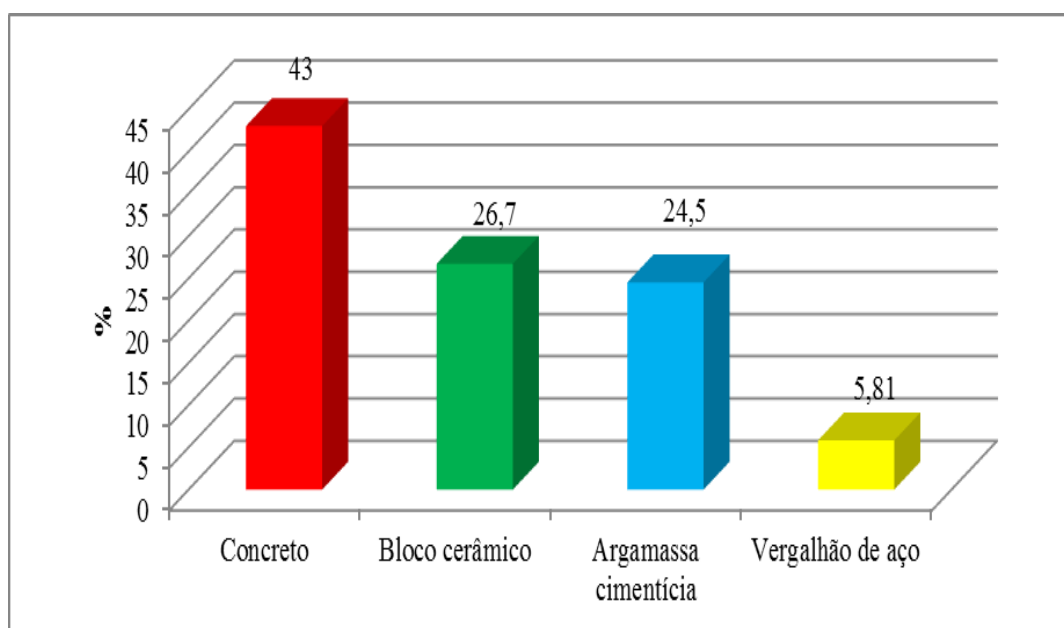
A primeira categoria selecionada foi Mudanças climáticas (Figura 15), no qual, seu fator de caracterização é o potencial de aquecimento global (efeito estufa). O indicador que interfere nesta categoria são os gases liberados na atmosfera como, Dióxido de Carbono (CO_2), e a unidade avaliada como potencial impacto na saúde humana. Esse gás é o que mais contribui com o aquecimento global (MANAHAN, 2013). Conforme o autor, o fator que eleva o CO_2 é o consumo de combustíveis fósseis à base de carbono.

Nota-se em ordem decrescente que o concreto teve maior contribuição na categoria com 43%, o bloco cerâmico com 26,7%, a argamassa cimentícia com 24,5% e vergalhão de aço com 5,81%.

Na pesquisa de Silva (2015), a categoria que teve maior destaque foi Mudanças climáticas devido à contribuição do cimento. Isto se deve a quantidade de massa do concreto ser diferente dos outros materiais.

No estudo de Campos (2012), as emissões de CO_2 na etapa de fabricação do cimento representaram 90% e a do aço 7% do impacto na preparação do painel.

Figura 15 – Mudanças climáticas.

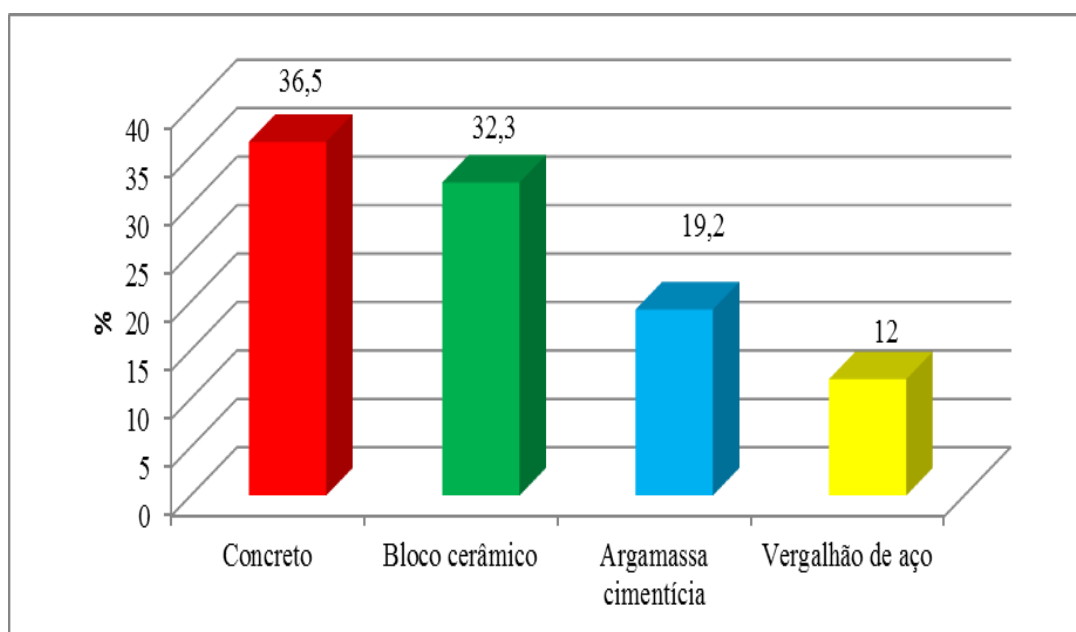


Fonte: Autora (2017).

Os dados encontrados corroboram com o estudo de Sombrio (2015), pois seus resultados demonstrarem em ordem do maior para o menor impacto, o concreto, bloco cerâmico e vergalhão de aço.

A segunda categoria de impacto selecionada, Toxicidade humana (Figura 16), seu fator de caracterização é o potencial de toxicidade humana, sendo o efeito de uma substância química que afeta a saúde humana. No caso o diclorobenzeno (14DCB), geralmente encontrados em fontes de água.

Figura 16 – Toxicidade humana.



Fonte: Autora (2017).

Na Figura 16, observa-se que o concreto teve maior contribuição nessa categoria com 36,5%, o bloco cerâmico com 32,3%, a argamassa cimentícia com 19,2%, e vergalhão de aço com 12%. No estudo de Lassio (2013), o concreto representou maior impacto por ser composto de cimento.

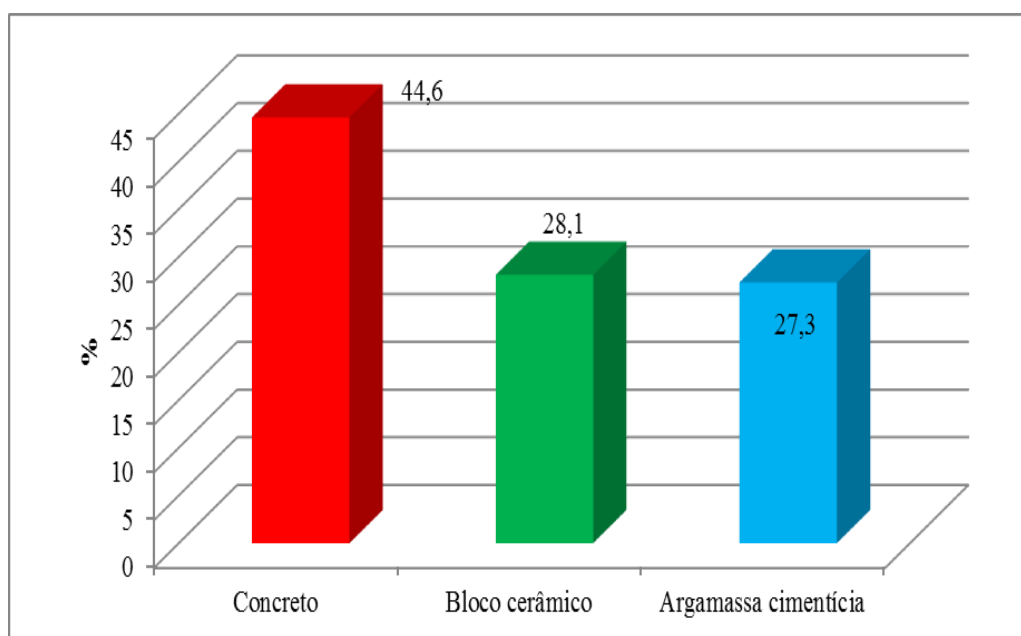
A terceira categoria seleta é a Depleção do ozônio (Figura 17), o seu fator de caracterização é o Potencial de depleção da camada de ozônio, o indicador é a concentração de ozônio estratosférico, sendo medido o clorofluorcarbono (CFC), que acelera a destruição da camada de ozônio da estratosfera e também contribui com o aquecimento global (MANAHAN, 2013).

A preocupação que se dá a essa categoria é pelo motivo da camada de ozônio proteger a superfície terrestre da incidência direta de raios solares ultravioletas,

que são agressivos à saúde humana, como também animais, e por a mesma gerar equilíbrio aos ecossistemas terrestres, aquáticos e ciclos bioquímicos (BRAGANÇA; MATEUS, 2011; SOMBRIO, 2015).

Os valores para esta categoria são: 44,6% para o concreto, 28,1% para o bloco cerâmico e 27,3% para a argamassa cimentícia. O componente aço não representou nesta categoria.

Figura 17 – Depleção do Ozônio.

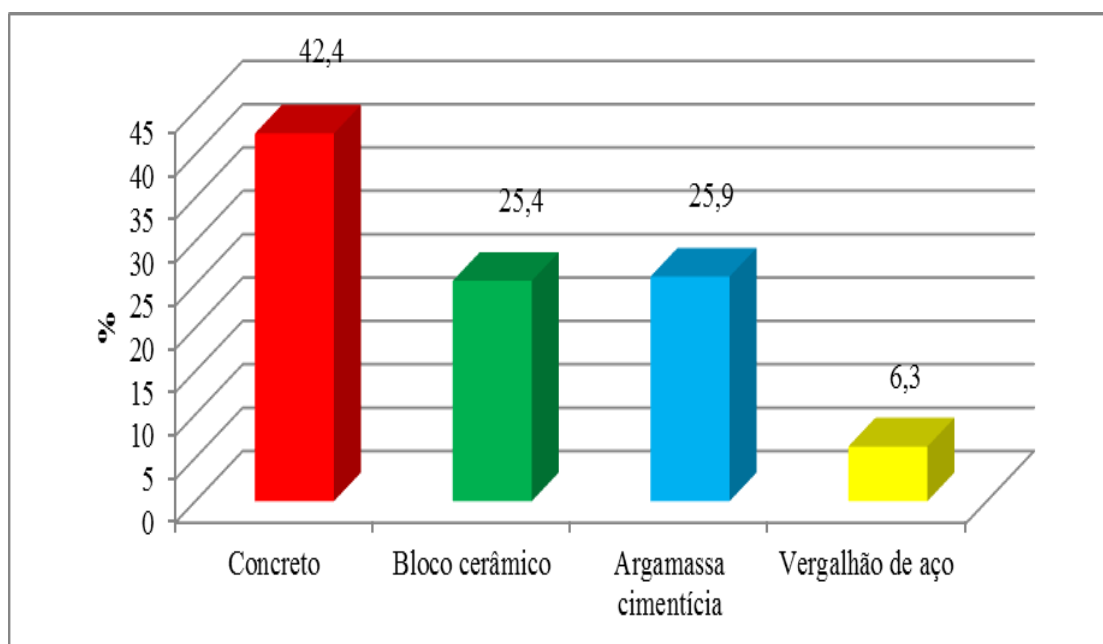


Fonte: Autora (2017).

Conforme o estudo de Sombrio (2015), o vergalhão também não contribuiu com esta etapa (Figura 17).

Para a quarta categoria, formação de material particulado, cabe destacar que o fator de caracterização dessa categoria é o Potencial de formação de material particulado, com indicador de ingestão de Material Particulado (*Particulate Matter* - PM_{10}), que são partículas inaláveis com diâmetro de 10 micrometros ou menores. O material particulado ou partícula de poluição segundo a EPA (2016) quando inalados podem afetar o coração e os pulmões causando sérios danos à saúde humana.

Figura 18 – Formação de material particulado.



Fonte: Autora (2017).

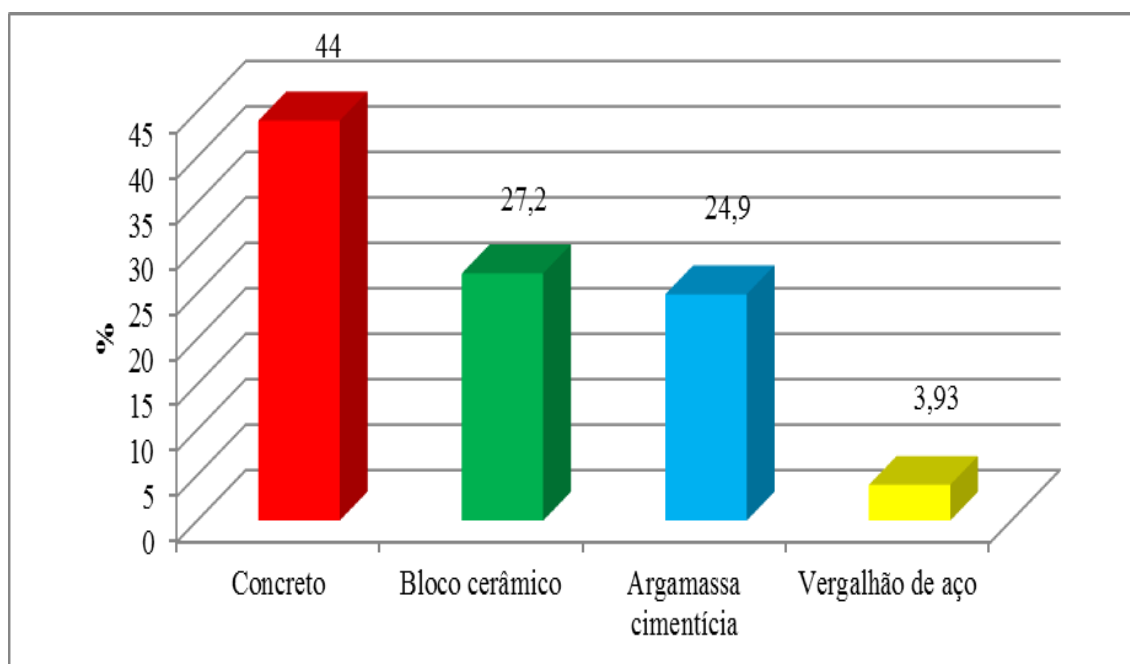
A contribuição dos materiais nesta categoria de impacto é 42,4% para o concreto, 25,9% para argamassa cimentícia, 25,4% o bloco cerâmico, e 6,3% para vergalhão de aço (Figura 18).

O segundo elemento a impactar nesta categoria, diferente das anteriores que ficava em terceiro lugar, foi à argamassa cimentícia pelo fato enquadrar o cimento em sua composição, pois a extração e tratamento da matéria-prima são responsáveis pela emissão de grandes quantidades de partículas na atmosfera (BARBOSA *et al.*, 2012; COELHO, 2016).

Todavia, o Material Particulado pode surgir de vários processos, e a queima de combustível é uma delas. Este pode gerar grandes problemas no coração e problemas respiratórios (GIRARD, 2013).

Na quinta categoria, a Formação de oxidantes fotoquímicos, seu fator de caracterização é o Potencial de Formação de Oxidante Fotoquímico, com indicador de concentração de ozônio fotoquímico referente à unidade de Compostos Orgânicos Voláteis (COV). Isso significa que poluentes secundários, como o ozônio é formados na troposfera por meio de reações fotoquímicas entre poluentes primários (DALLAROSA, 2005).

Figura 19 – Formação de oxidantes fotoquímicos.



Fonte: Autora (2017).

Os valores para esta categoria são: concreto 44%; bloco cerâmico 27,2%, argamassa cimentícia com 24,9%, e vergalhão de aço com 3,93% (Figura 19).

Na dissertação de Sombrio (2015) o concreto também foi o que mais contribui para esta categoria.

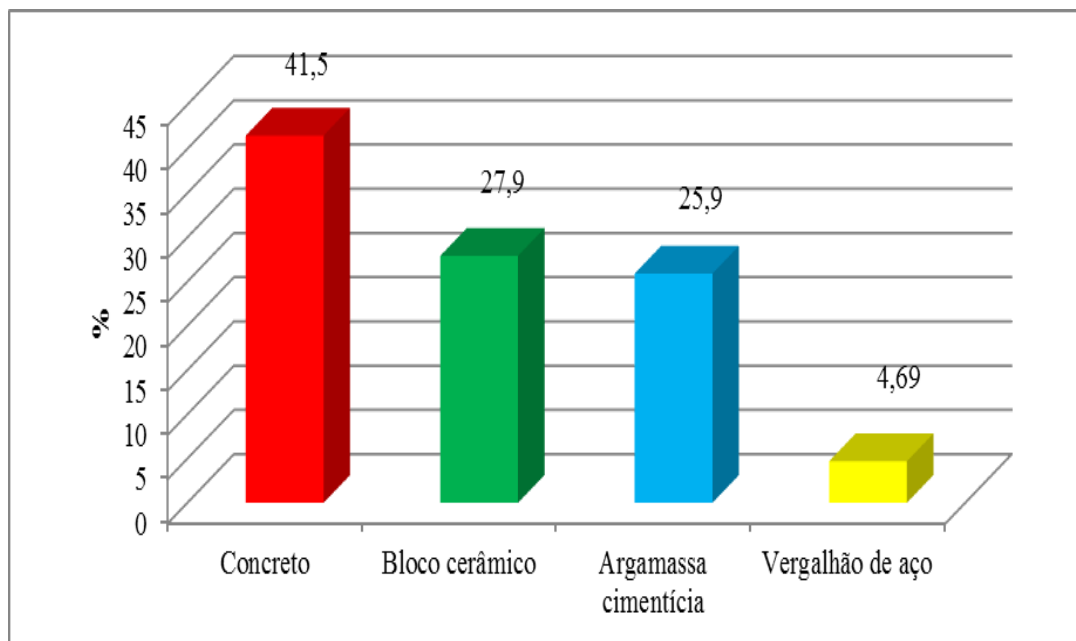
Segundo Girard (2013), a emissão de COV está associada a queima de combustíveis fósseis por fontes fixas (indústrias) e transportes. O autor ainda salienta que 90% da poluição dos Estados Unidos são causados por poluentes atmosféricos primários, ocasionando danos respiratórios graves e outros problemas de saúde.

Para a sexta categoria, a Acidificação terrestre (Figura 20), seu fator de caracterização é o Potencial de acidificação terrestre ligado ao indicador saturação base para a unidade Dióxido de enxofre ligado a espécies. Isso porque a emissão de SO₂ na atmosfera é a principal causa da chuva ácida impactando certas espécies, em outras palavras, tem maior impacto no ecossistema devido as mudanças na acidez da água e do solo, afetando a fauna e a flora (BARBOSA, 2012; GIRARD, 2013).

As atividades antropogênicas são a principal entrada para esse poluente, por a queima dos combustíveis fósseis como, por exemplo, o carvão, que contém quantidades elevadas de enxofre, produzido por várias atividades industriais (BRAGANÇA; MATEUS, 2011; GIRARD, 2013; MANAHAN, 2013).

De acordo com Sombrio (2015), a contribuição para este impacto em sua maioria é para o ar com 99,17%, e uma pequena porcentagem para a água com 0,83%.

Figura 20 – Acidificação terrestre.



Fonte: Autora (2017).

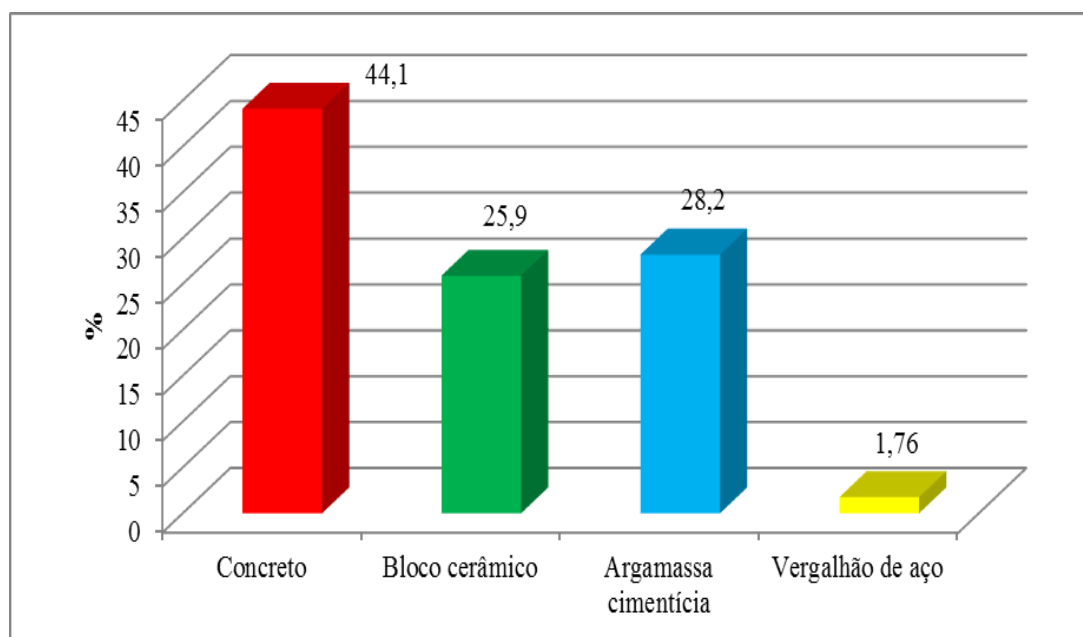
De acordo com a Figura 20, os valores dos materiais para Acidificação terrestre são: 41,5% concreto, bloco cerâmico 27,9%, argamassa cimentícia com 25,9% e vergalhão de aço com 4,69%. Conforme Lassio (2013), o processo do bloco cerâmico requer um destaque nesta categoria devido a queima.

A categoria de impacto Eutrofização na água doce (Figura 21), seu fator de caracterização é o Potencial de eutrofização na água doce, com indicador concentração de fósforo (P), em relação ao aumento de algas, que está ligado a extinção ou desaparecimento de espécies.

Mesmo que a eutrofização seja algumas vezes um processo natural, a atividade humana acelera esse processo. Este nutriente é um fertilizante e encontra-se em esgotos, mas o excesso de fósforo na água doce gera eutrofização, prejudicando as espécies (MANAHAN, 2013).

Em conformidade com Sombrio (2015) a principal contribuição para o Potencial de Eutrofização é de emissões para o ar, com 92,9%.

Figura 21 – Eutrofização na água doce.



Fonte: Autora (2017).

A contribuição dos materiais nesta categoria foi: concreto com 44,1%, argamassa cimentícia com 28,2%, o bloco cerâmico contribuiu com 25,9%, e o vergalhão de aço com 1,76%. Os processos para os materiais: concreto e argamassa tiveram maior contribuição, para Sombrio (2015) isso pode ser justificado pelo fato da produção do cimento ocorrer em ambos os materiais.

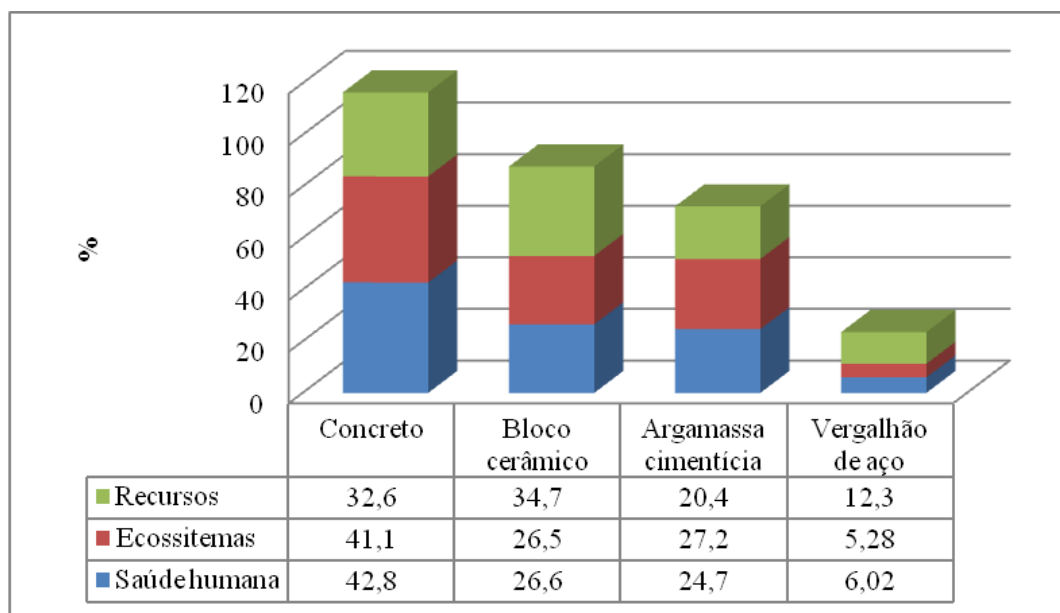
Em todas as sete categorias, o concreto foi o material que mais impactou, sua maior contribuição em ordem decrescente ocorreu na depleção do ozônio, eutrofização na água doce, formação de oxidantes fotoquímicos, mudanças climáticas, formação de material particulado, acidificação terrestre e toxicidade humana.

As três categorias de impacto de ponto final também foram analisadas pela normalização do método ReCiPe (Figura 22), para que os resultados pudessem ser comparados em um gráfico único e determinar qual o material mais contribuiu com impacto ambiental.

Assim, observou-se que o concreto teve o maior impacto na categoria de ponto final na Saúde humana com 42,8% e menor nos Recursos com 32,6%. O bloco cerâmico teve maior interferência do que o concreto em Recursos com 34,7% e menor no Ecossistemas. A argamassa cimentícia influenciou mais no Ecossistema com 27,2%

e menor em Recursos. Já o vergalhão de aço teve seu maior aporte nos Recursos com 12,3% e menor em Ecossistemas com 5,28.

Figura 22 – Normalização, categorias de ponto final, ReCiPe.



Fonte: Autora (2017).

As informações supracitadas sobre a contribuição dos materiais nas categorias de Ponto final normalizadas, propicia ao SimaPro gerar um gráfico chamado Pontuação única (Figura 23), que facilita a interpretação dos resultados normalizados.

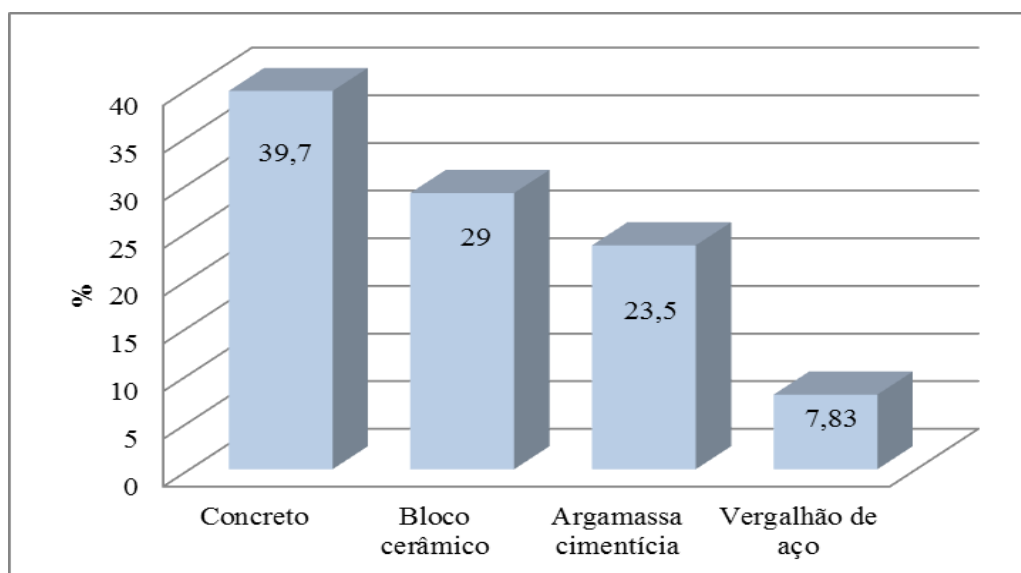
A Pontuação única é uma média das categorias de impactos de ponto médio e/ou ponto final, em que, pontua de maneira rápida qual material e/ou processo gera maior impacto ambiental.

Deste modo, notou-se na Figura 23, na pontuação única para as categorias de ponto médio, comprovando os resultados mencionados até o momento que o concreto teve no processo uma média de impacto na categoria ponto médio de 39,7%, seguido do bloco cerâmico com 29%, depois a argamassa cimentícia com 23,5%, e o vergalhão de aço com 7,83%.

Na Figura 24, para Pontuação única de ponto final, constatou-se que o processo dos materiais que interferiram nas categorias de ponto médio cooperou em maior parte na categoria de dano Saúde humana com 65%, nos Recursos com 30% e Ecossistemas com 5%, ou seja, há interferência no ambiente prejudicando a saúde humana como, mortes ou doenças respiratórias, câncer etc. Nas espécies com desaparecimento ou extinção por causa da influência dos danos dos processos desses

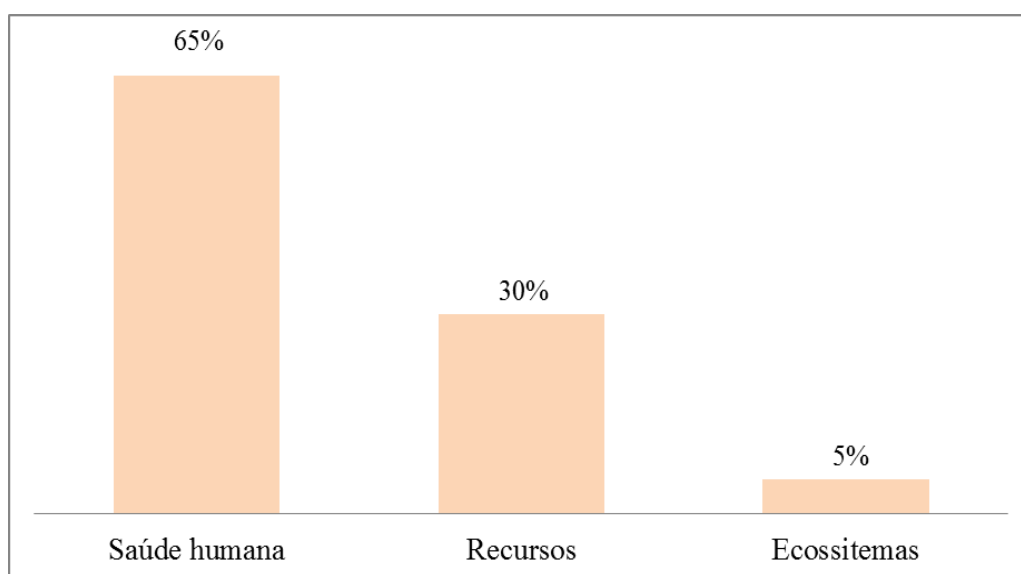
materiais. E recursos tem relação com a área degradada e o consumo exacerbado, prejudicando o acesso do recurso (matéria-prima) para essa e futuras gerações, permanecendo em desacordo com o Relatório de Brundtland.

Figura 23 – Pontuação única da contribuição dos materiais nas categorias de ponto médio.



Fonte: Autora (2017).

Figura 24 – Pontuação única da contribuição dos materiais nas categorias de ponto final.



Fonte: Autora (2017).

No alicerce dos dados dos dois modelos construtivos DATecs 021-A e 003-B, o SimaPro gera informações de Ponto final para Saúde humana, Ecossistemas e Recursos (Figura 24).

Destarte, no Quadro 7 apresenta os valores totais da contribuição dos materiais nas categorias de ponto final para os dois DATecs em estudo, como também foi evidenciado para as categorias de ponto médio.

Em conformidade com a pontuação única da Figura 24 para o DATec 021-A a Saúde humana é a mais afetada. Todavia, o DATec que mais comprometeu as categorias de ponto final consiste no DATec 003-B, exceto no dano Recursos, em que, o painel 021-A foi o que mais contribuiu (Quadro 7).

Quadro 7 – Avaliação de impacto do ciclo de vida dos materiais de um painel pré-moldado DATec 021-A e 003-B, ponto final ReCiPe.

Avaliação de Danos	DATec 021-A	DATec 003-B
Saúde humana	5,68E-04	8,31E-04
Ecossistemas	2,81E-06	3,94E-06
Recursos	9,16E-05	1,10E-05

Fonte: Autora (2017).

Numa visão geral do Quadro 7, a categoria que recebeu maior impacto foi Saúde Humana, em segundo Recursos na pontuação única do DATec 021-A, e em terceiro o Ecossistema (Quadro 7).

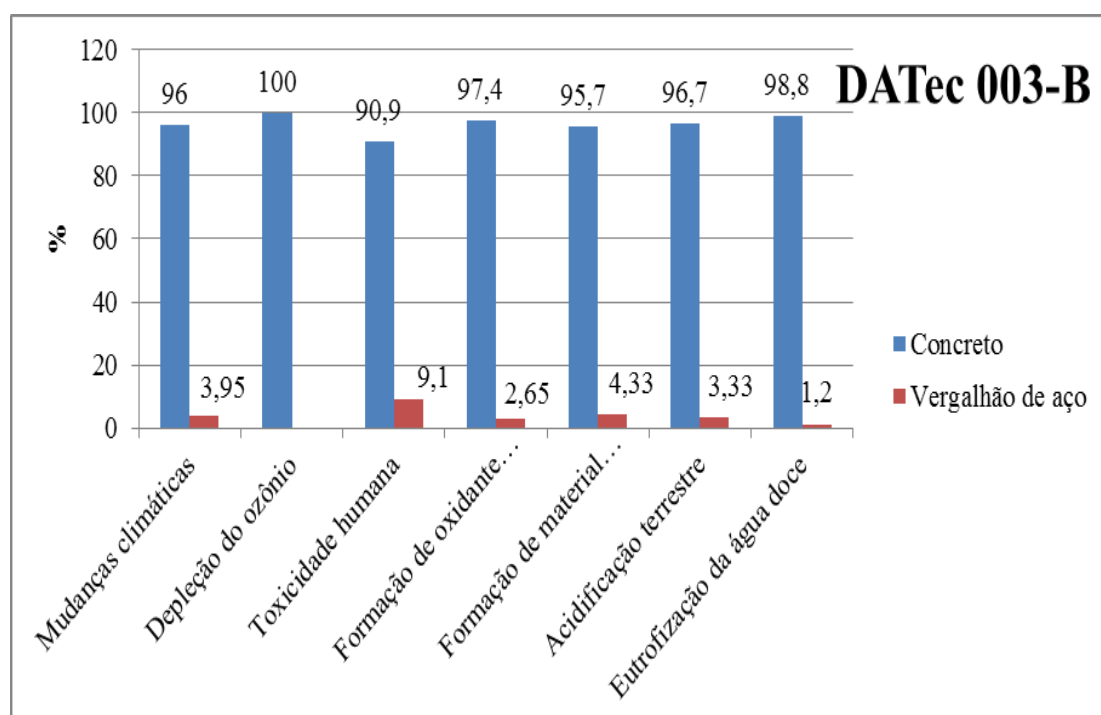
O painel do DATec 003-B apresenta dois principais materiais em sua composição, o concreto e o aço, como pode ser visualizado na Figura 25.

Na Figura 25, verifica-se nitidamente que o concreto foi o que mais representou em todas as categorias de impacto. Isto se deve ao fato que em termos de massa, há mais deste elemento na composição do painel. Assim, na ordem do maior para o menor, o concreto contribui com 100% na categoria de impacto depleção do ozônio, seguido com 98,8% na Eutrofização da água doce, 97,4% na categoria de formação de oxidante fotoquímico, 96,7% na acidificação terrestre, 96% nas mudanças climáticas, 95,7% na formação de material particulado, e 90,9 na toxicidade humana.

Diferente do resultado do DATec 021-A, em que a categoria depleção do ozônio foi o segundo a ser contribuído pelo elemento concreto nesta categoria de impacto.

Em relação ao elemento vergalhão de aço, percebeu-se que impactou na categoria 9,1% na toxicidade humana, 4,33% na formação de material particulado, 3,95% em mudanças climáticas, 3,33% na acidificação terrestre, 2,65% na formação de oxidante fotoquímico, e 1,2% na eutrofização de água doce. Na categoria depleção do ozônio o material não contribuiu, semelhante ao resultado do DATec 021-A (Figura 25).

Figura 25 – Contribuição dos materiais nas categorias de impacto ponto médio.

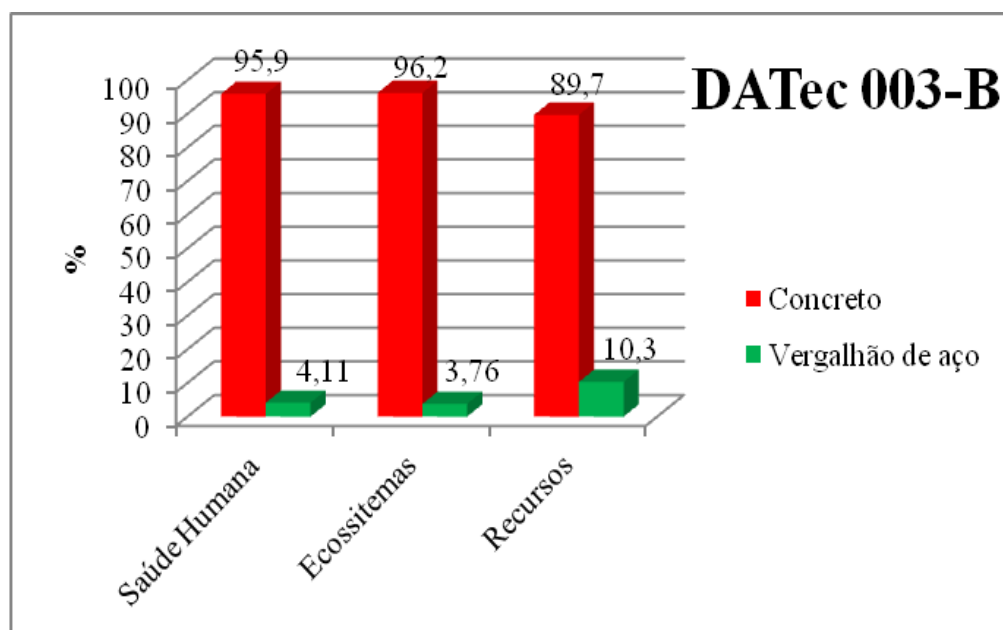


Fonte: Autora (2017).

A avaliação da contribuição dos materiais nas categorias de ponto final é exposta na Figura 26. Observa-se que o concreto contribui com 96,2% no Ecosistema, 95,9% na Saúde humana, e 89,7% nos Recursos. O Vergalhão de aço cooperou em primeiro lugar com 10,3% nos Recursos, semelhante no processo do DATec 021-A, depois com 4,11% na Saúde humana, e 3,73% no Ecosistema.

No entanto, na Figura 26, o concreto sobressaiu em relação ao vergalhão de aço, semelhante ao DATec 021-A. Porém, nas categorias de ponto final o Ecosistema teve o valor maior do que saúde humana, diferente do resultado do painel 021-A.

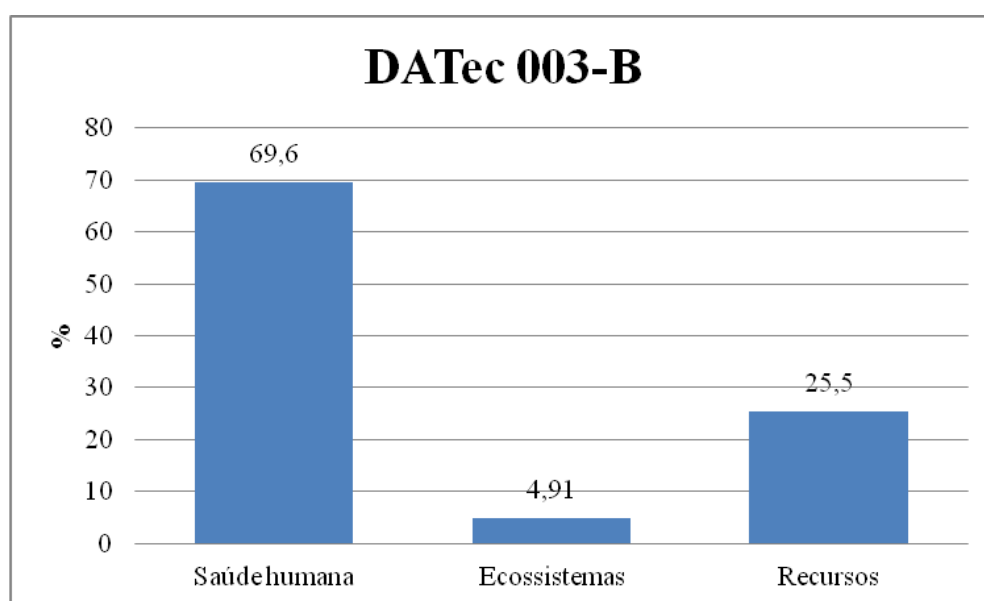
Figura 26 – Contribuição dos materiais nas categorias de impacto ponto final.



Fonte: Autora (2017).

Na Figura 27, conforme pontos dados por especialistas, expressa que o risco maior desses materiais principalmente do concreto, se deu na categoria Saúde Humana com 69,6%, em segundo em Recursos com 25,5 %, e Ecossistemas com 4,91%.

Figura 27 - Pontuação única da contribuição dos materiais nas categorias de ponto final.



Fonte: Autora (2017).

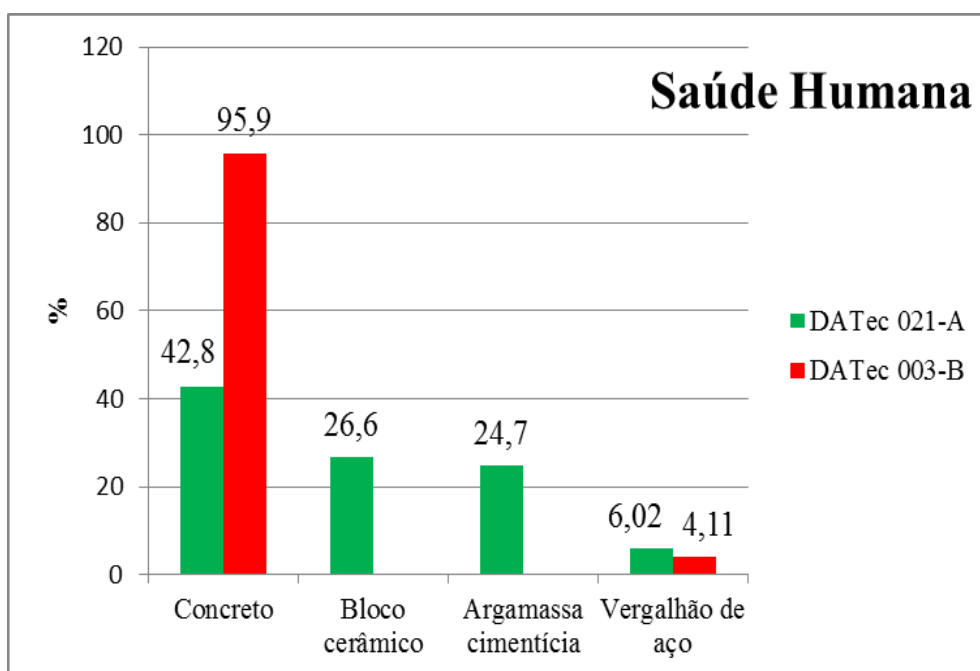
Comparativo dos DATecs

Conforme os resultados até o momento, a categoria de ponto médio mais afetado foi Mudanças climáticas, sendo o concreto o material que mais representou nas categorias de impacto.

Na categoria de ponto final, observou-se que o processo do concreto foi o elemento que mais comprometeu para a categoria de dano Saúde humana.

Na Figura 28 percebe-se o concreto do DATec 021-A tem maior contribuição na saúde humana com 42,8% e 95,9% para o DATec 003-B. O bloco cerâmico com 26,6% e argamassa cimentícia com 24,7 somente para o DATec 021-A, pois o DATec 003 não contém esse materiais. O vergalhão de aço para o DATec 021-A com 6,02% e 4,11% para o DATec 003-B.

Figura 28 – Comparativo dos materiais dos DATecs 021-A e 003-B na categoria de ponto final saúde humana.

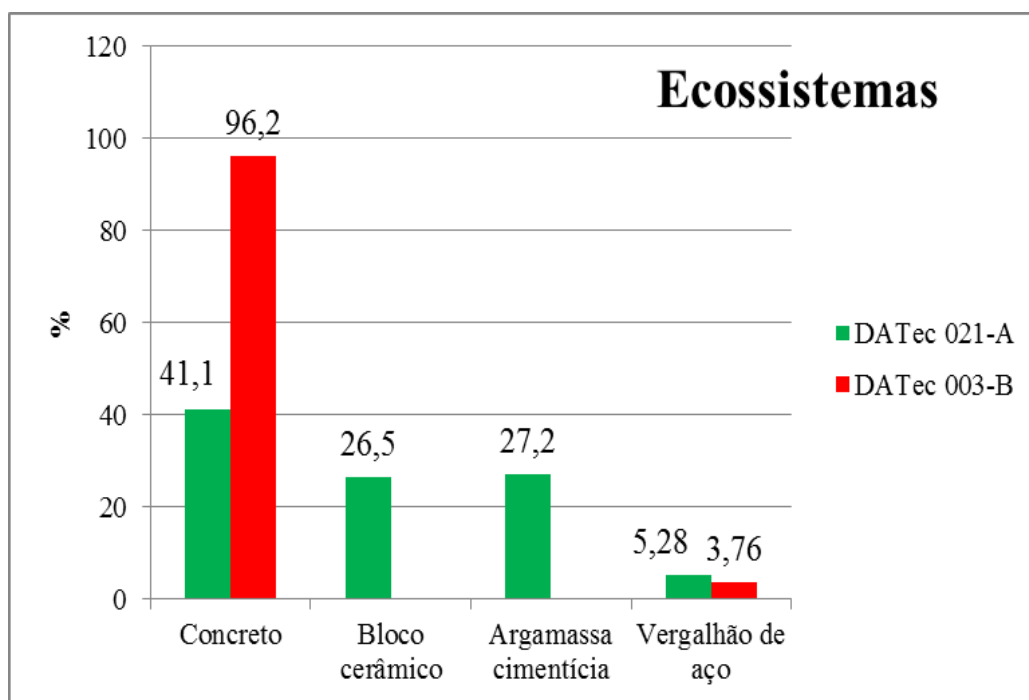


Fonte: Autora (2017).

Na Figura 29, averigua-se que o concreto do DATec 003-B teve maior impacto na categoria de Ponto final Ecossistemas com 96,2% e apenas 4,11% DATec 021-A. A argamassa cimentícia com 27,2% e o bloco cerâmico com 26,5% para o

DATEc 021-A, essa mudança de valores no ecossistema deve ser pelo fator cimento. O vergalhão de aço com 5,28% para o DATEc 021-A e com menor percentual 3,76% para o DATEc 003-B.

Figura 29 – Comparativo dos materiais dos DATEcs 021-A e 003-B na categoria de ponto final ecossistemas.



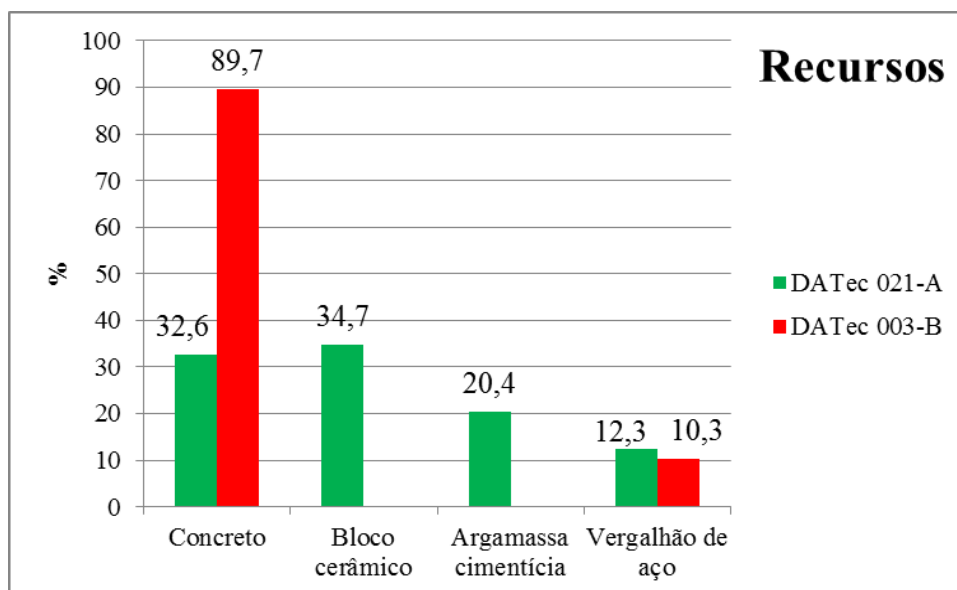
Fonte: Autora (2017).

Na Figura 30, notou-se que o concreto foi o elemento que mais contribuiu com a categoria de Recursos com 89,7% do DATEc 021-A e o 32,6% do DATEc 003-B. O bloco cerâmico contribuiu com 34,7% e a argamassa cimentícia com 20,4% do DATEc 021-A. O vergalhão de aço do DATEc 021-A contribuiu com 12,3%, e do DATEc 003-B colaborou com 10,3% dos impactos. Sabe-se que para a fabricação do concreto existe uma cadeia muito maior com alocação de materiais, custos (financeiro), por isso o maior impacto desse material nessa categoria.

Antemão, diferente dos resultados de pontuação única, a categoria Ecossistema teve maior influência dos materiais, depois saúde humana e recursos.

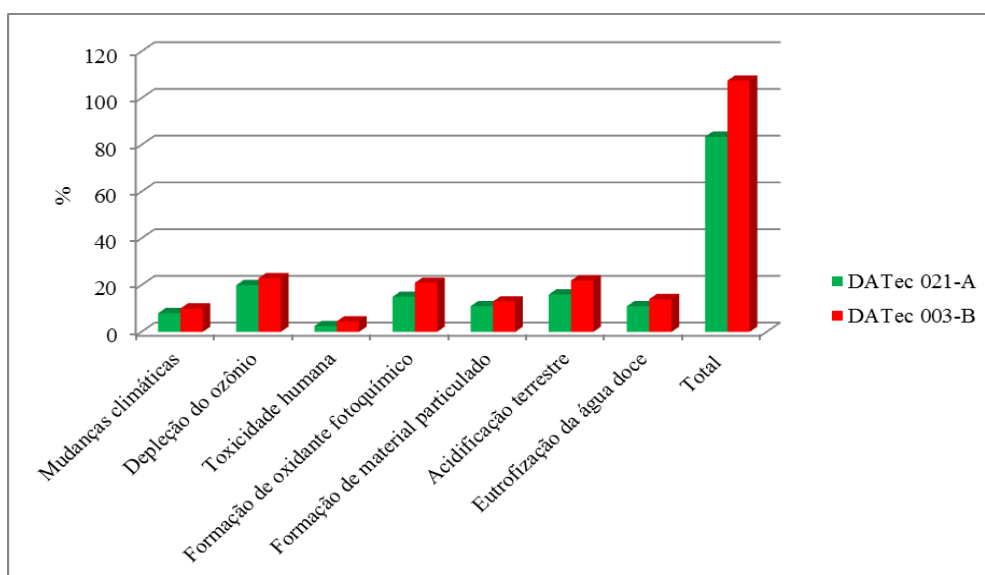
Na Figura 31, o DATEc 003-B teve maior contribuição também nas categorias de ponto médio (Figura 31).

Figura 30 – Comparativo dos materiais dos DATecs 021-A e 003-B nas categorias de ponto final recursos.



Fonte: Autora (2017).

Figura 31 – Comparativo geral dos impactos dos materiais dos DATecs 021-A e 003-B nas categorias de ponto médio.



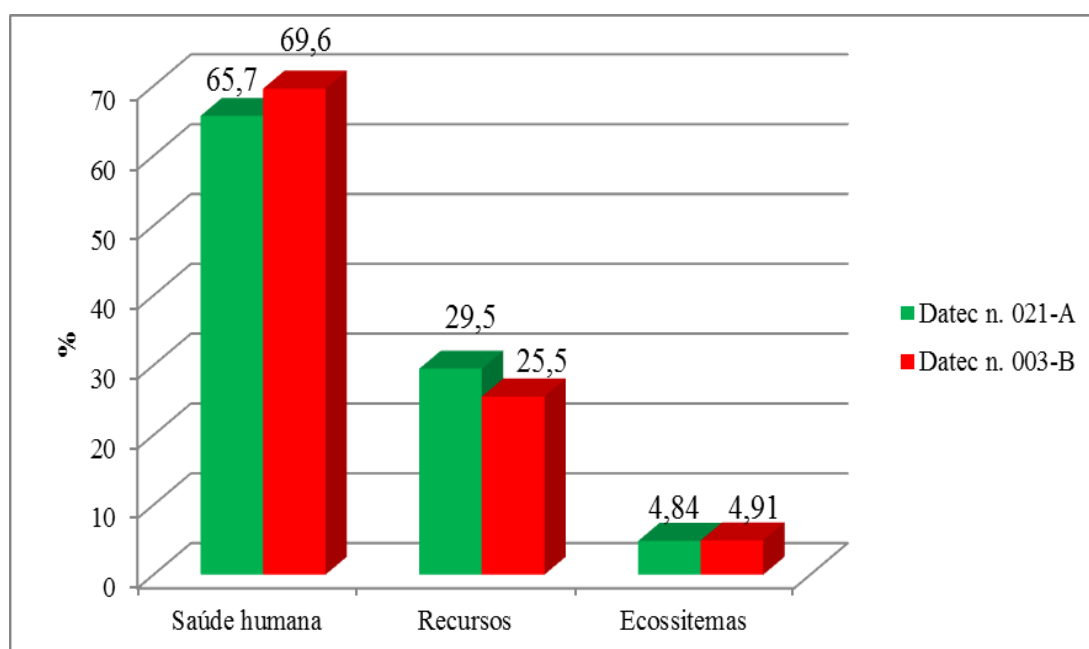
Fonte: Autora (2017).

A Figura 31, expressa valores comparativos, em que, a média das substâncias dos materiais do berço ao portão teve maior impacto nas mudanças

climáticas. Os valores mais nítidos na Figura 31, foi para mudanças climáticas para o DATec 021-A com 65,5%, e para o DATec 003-B foi 41%. A outra categoria foi Formação do Material Particulado, para o DATec 021-A com 13%, e para DATec 003-B com 9%.

Observa-se na Figura 32, que o DATec 003-B foi o que mais impactou na categoria de ponto final saúde humana com 69,6% e Ecossistemas com 4,91. Já na categoria Recursos o DATec 021-A representou 29,5% de impacto.

Figura 32 – Comparativo geral dos dois painéis pré-moldados pelo método ReCiPe pontuação única para as categorias de ponto final.



Fonte: Autora (2017).

Constata-se na Figura 32, que os dois DATecs tiveram influência na categoria Mudanças Climáticas, porém, o DATec 003-B obteve um impacto duas vezes maior do que o DATec 021-A. A categoria acidificação terrestre foi à segunda categoria notória a receber influência dos impactos dos materiais, em que, o DATec 003-B foi o que mais interferiu na categoria, posterior, observa-se um pouco embaciado a categoria toxicidade humana, todavia essas informações encontram-se no Quadro 6.

Notou-se que esses valores (Figura 31) foram baixos nas categorias de ponto médio, por se tratar de pequenas quantidades de materiais. Entretanto, nesta análise comparativa o DATec 003-B sobressaiu em todas as categorias de ponto médio e ponto

final, este fator deve-se ao processo e beneficiamento do concreto também averiguado em outras bibliografias. O vergalhão de aço em sua maioria deu menor impacto em relação ao concreto, porque em seu processo encontrado no banco de dados EcoInvent do SimaPro, há uso de resíduos de aço como matéria-prima, esse acontecimento foi averiguado em outras bibliografias.

No âmbito, a questão não é quantos materiais utiliza-se para compor o painel, mas sim, quanto de cada material contribui para compô-lo. No caso do DATec 021-A são utilizados 4 (quatro) materiais principais com porcentagens diferentes para sua montagem como, bloco cerâmico, concreto, argamassa e aço. Em termo de massa, o concreto foi o primeiro, em segundo o tijolo cerâmico, em terceiro a argamassa e por último o aço.

Para o DATec 003-B são utilizados 2 (dois) elementos principais com maior porcentagem de massa para o concreto armado, e aço.

Para Mota e Mateus (2011) os materiais que mais contribuem para os impactos ambientais são o concreto, o tijolo e a armadura de aço.

Em termos de energia incorporada dos materiais em estudo, Reddy e Jagadish (2003) concluíram que o cimento, tijolos e aço são os três principais contribuintes para o custo.

Algumas bibliografias ressaltam que o impacto principal nas categorias de impacto de ponto médio se dá na extração da matéria-prima, danificando o ecossistema e emissões de gases pelos transportes, e na produção devido às poeiras liberas, como também pela combustão fóssil.

Mesmo todos os materiais serem de alto valor de impacto, seria menos aconselhado investir em um painel que se utiliza em grandes proporções de um único material, logo, o mesmo sendo o concreto, que é um compósito que leva uma parcela considerada de cimento. Sendo a fabricação do cimento, em função da produção do clínquer Portland para geração do painel, emitir em torno de 90% de CO₂. A emissão de CO₂ para a fabricação de cimento foi quase 3 vezes maior do que a produção de um painel de alvenaria estrutural.

Além da problemática emissão de poluentes, existe o dano no ecossistema com perda de espécies, perda de solo devido à extração e perda de recursos, deixando alguns materiais mais escassos. Isto se fosse o caso de escolher um DATec que utiliza-se unicamente de um material, principalmente quando esse elemento já conhecido de forte impacto ambiental negativo.

5 CONCLUSÕES

Apoiado na unidade funcional e fronteira do berço ao portão modelados no SimaPro pelo método ReCiPe:

A contribuição individual dos materiais para os impactos ambientais, o concreto foi o elemento com maior influência nas categorias de impacto de ponto médio escolhidas: mudanças climáticas; toxicidade humana; formação de material particulado; depleção do ozônio; formação de oxidantes fotoquímicos; acidificação terrestre e eutrofização na água. Em seguida o bloco cerâmico, posterior à argamassa cimentícia e por último a vergalhão de aço, isto para o DATec 021-A.

Para os materiais do DATec 003-B o concreto foi o primeiro, em seguida o vergalhão de aço a impactar em todas as categorias de ponto médio.

A categoria que teve maior contribuição de impacto ambiental do processo do concreto referente ao painel 021-A foi depleção do ozônio com 44,6% e menor impacto em toxicidade humana com 36,5%.

Para o painel 003-B a contribuição maior do concreto foi na depleção do ozônio com 100%, e menor em toxicidade humana com 90,9%.

O motivo pelo qual o concreto contribuiu em porcentagem maior com as categorias selecionadas de impacto global foi por causa do cimento em sua composição, isso vale para a argamassa cimentícia, que também contém cimento, significando emissões de CO₂ na atmosfera.

No comparativo da categoria de ponto final (saúde humana, ecossistemas e recursos) pela pontuação única, os materiais do painel 003-B tiveram maiores influências na Saúde Humana com 69,6%, e o 021-A com 65,7%. O menor impacto foi nos Ecossistemas, para o painel 003-B 4,91%, e para o painel 021-A 4,84%.

Na saúde humana geram danos respiratórios, irritação nos pulmões etc. Para recursos é sua disponibilidade para gerações futuras e ecossistemas são relacionados à extinção das espécies.

O painel 021-A possui 4 produtos principais: concreto armado, tijolo cerâmico, argamassa e armadura de aço. O painel 003-B há dois materiais fundamentais: concreto armado e armadura de aço, sendo este último com maior impacto ambiental nas categorias de ponto médio e ponto final.

Neste contexto, fica comprovado que o concreto foi o principal causador do impacto ambiental negativo nas categorias de ponto médio e ponto final.

6 RECOMENDAÇÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomendação

Nesta situação de qual painel escolher no contexto analisado de menor impacto ambiental pelo comparativo dos DATecs, seria o 021-A.

Com o intuito de proposta para diminuir os impactos ambientais associados aos materiais dos painéis pré-moldados em estudo, o alvo da substituição seria o concreto por concreto que conjuga materiais reciclados, pois uma escolha adequada dos materiais de construção pode significar uma redução de impacto ambiental. E tendo em vista o conhecimento dos impactos desses materiais é possível tomar decisões sustentáveis.

Sugestões

Esta dissertação focou na dimensão ambiental, que poderá evoluir nas dimensões de impacto do ciclo de vida econômica e social;

Pelo fato das informações obtidas serem de dados secundários (DATecs), seria viável a obtenção de dados primários referente aos painéis em estudo.

REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR ISO 14044:** Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Relatório Prospectivo Setorial:** 2009. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009.

ACV BRASIL. **Treinamento:** Avaliação do ciclo de vida com SimaPro®. Fortaleza, jun. 2014.

ADAM, Roberto Sabatella. **Princípios do ecoedifício:** interação entre ecologia, consciência e edifício. São Paulo: Aquariana, 2001. 128p.

ALMEIDA, Marisa *et al.* Environmental product declaration: implementation in ceramic construction materials. *In:* BRAGANÇA, Luís *et al.* **Sustentabilidade na reabilitação urbana:** o novo paradigma do mercado da construção. Proceedings da primeira Conferência Nacional iiSBE Portugal: Lisboa, 2011, 313p.

ANDRADE, Joana Bonifácio. **Avaliação da sustentabilidade do edifício solar XX utilizando a metodologia SBTool^{PT}.** 2009. 211 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2009.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA - ANICER. **Análise comparativa do ciclo de vida das telhas cerâmicas versus telhas de concreto.** (Relatório final), Quantis Canadá, 2011.

ARROJA, Luís; QUINTEIRO, Paula; DIAS, Ana Cláudia. The past, present and future of cycle assessment: the life cycle sustainability assessment. *In:* BRAGANÇA, Luís *et al.* **Sustentabilidade na reabilitação urbana:** o novo paradigma do mercado da construção. Proceedings da primeira Conferência Nacional iiSBE, Portugal: Lisboa, 2011, 313p.

ASSIS, Bruno Bastos de. **Avaliação do ciclo de vida do produto como ferramenta para o desenvolvimento sustentável.** 2009. 53 p. Monografia (Graduação em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Manual de revestimentos de argamassa.** 2003. Disponível em: <
<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2016.

BARBOSA, Priscila Pasti *et al.* Análise dos impactos ambientais da produção de blocos cerâmicos. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA. 3, 2012, Maringá. **Anais...** Maringá, 2012. p. 1-10.

BARBOSA JÚNIOR, Afonso Frazão *et al.* Conceitos e aplicações de ACV no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ENEGEP, 2007. p. 1-9.

BARBOSA, Normando Perazzo. Transferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes. In: FORMOSO, Carlos Torres; INO Akemi. **Inovação, Gestão da Qualidade e Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional.** Porto Alegre: ANTAC, v. 2, p. 12-39, 2003.

BERGE, Bjorn. **The ecology of buildings materials.** Second edition. 2009.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção:** patologia, reabilitação, prevenção. São Paulo: Oficinas de textos, 2010. 414p.

BORTOLIN, Anderson Ricardo. **Avaliação do ciclo de vida: principais métodos e estudo comparativo entre o cesto de plástico e de inox de uma lavadora de roupa.** 2009, 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos. São Carlos, 2009.

BOTEGA, Leonardo da Rocha. A política habitacional no Brasil (1930-1990). **REVELA - Periódico de Divulgação Científica da FALS.** São Paulo, v. 1, n. 02, p. 1-14, 2008.

BUENO, Cristiane. **Avaliação do ciclo de vida na construção civil:** Análise de sensibilidade. 2014. 266 p. Tese (Doutorado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves; SPOSTO, Rosa Maria. Sustentabilidade, qualidade e racionalização na indústria da construção. In: ROMERO, Marta Adriana Busto. **Reabilitação ambiental sustentável arquitetônica e urbanística.** Brasília: FAU/UnB, 2009. 803p.

BRASIL. Lei nº 12.424, de 16 de junho de 2011. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 de junho de 2011; 190º da Independência e 123º da República.

_____. Ministério das cidades. Portaria nº 158, de 6 de maio de 2016. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, Seção 1. p. 107.

_____. Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 189º da Independência e 122º da República.

BRAGANÇA, Luís; MATEUS, Ricardo. **Avaliação do ciclo de vida dos edifícios:** impacte ambiental de soluções construtivas. 1. ed., set. 2011.

BRE. **Methodology for environmental profiles the construction products**: Product Category Rules for Type III environmental product declaration of construction products. DRAFT – UK, august 2008.

BRUMATTI, DIONO O. **Uso de pré-moldados** – estudo e viabilidade. 2008. 54p. Monografia (Especialista na Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Vitória, 2008.

CAMPOS, Felipe Henrique Azevedo. **Análise do ciclo de vida na construção civil**: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto. 2011. 123 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CAMPOLINA, Juliana Mendes; SIGRIST, Carolina São Leandro; MORIS, Virgínia Aparecida. Uma revisão de literatura sobre softwares utilizados em estudos de avaliação do ciclo de vida. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 735-750, 2015.

CÂMARA BRASILEIRA DA INSÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC. **Sondagem indústria da construção**. v. 7, n. 9, 2016. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/Sond-Set16.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

_____. Casas Olé - Fabricação e montagem de habitações, através de painéis pré-moldados de alvenaria com tijolo cerâmico e argamassa vibrada. In: CONCURSO FALCÃO BAUER DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA PARA HABITAÇÃO E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. 15. Fortaleza, (**Relatório**). Fortaleza, 2008.

COELHO, Felipe Zanellato. **Avaliação do ciclo de vida cradle-to-gate de traços de concretos autoadensáveis com incorporações de resíduos e subprodutos industriais**. 2016. 174 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum (Relatório Brundtland)**. Rio de Janeiro: Editora Fundação Getúlio Vargas, 1988.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução 01**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para avaliação de impacto ambiental., 1986.

CONDEIXA, Karina de Macedo Soares Pires. **Comparação entre materiais da construção civil através da avaliação do ciclo de vida: sistema drywall e alvenaria de vedação**. 2013. 210 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2013.

CORRÊA, Lásaro Roberto. **Sustentabilidade na construção civil**. 2009, 70 p. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

COSTA, Kelly Alonso. **A utilização da avaliação do ciclo de vida no processo de tomada de decisão em sustentabilidade na indústria da construção no subsetor de edificações**. 2012. 217 p. Tese (Doutorado em Tecnologia da Construção) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.

CURRAN, Mary Ann. **Environmental life-cycle assessment**. New York: Publisher McGraw-Hill, 1996. 432p.

CHEHEBE, José Ribamar Brasil. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark ed., CNI, 1997. 120p.

DAVIS, Mike. **Planeta de Favelas**. Publicado no Jornal New Left Review, 2004. 28p.

DATEC. **Documento de Avaliação Técnica nº 021-A** (2016-2018). Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em: 15 fev. 2016.

DATEC. **Documento de Avaliação Técnica nº 003-B** (2016-2018). Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em: 15 fev. 2017.

DERISIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 4. ed. São Paulo: Oficinas de textos, 2012. 223p.

DALLAROSA, Juliana Braga. **Estudo de formação e dispersão de ozônio troposférico em áreas de atividade de processamento em carvão aplicando modelos numéricos**. 2005. 139 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

Environmental Protection Agency – EPA. **Particulate Matter (PM) Pollution**. 2016. Disponível em: <<https://www.epa.gov/pm-pollution>>. Acesso em: 26 mar. 2017.

FARIAS, Pedro Miguel; AMADO, Miguel. Construção Sustentável: processo de alteração de uso em edifícios. In: BRAGANÇA, Luís *et al.* **Sustentabilidade na reabilitação urbana: o novo paradigma do mercado da construção**. Proceedings da primeira Conferência Nacional iiSBE Portugal: Lisboa, 2011, 313p.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (FIRJAN). Construção Civil: Desafios 2020. 2017. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=4028808B4E3FB673014E3FF18D3D20D8>>. Acesso em: 22 jan. 2017.

FERREIRA, José Vicente Rodrigues. **Análise do ciclo de vida dos produtos**. Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

FIGUEIREDO, Camilla Furtado de; GOMES, Kelly Cristiane; CARVALHO, Monica. Materiais de Construção Sustentáveis: Avaliação do Ciclo de Vida de Concretos a Base de Cimento Portland e de Materiais Alcalinidades Ativados. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 2., 2016, Paraíba. **Anais...** Paraíba, 2016. p. 1-11.

FRANCISCO. Carta Encíclica **Laudato Si'**. 2015, p. 192. Disponível em: <http://w2.vatican.va/content/francesco/pt/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html>. Acesso em: 07 maio 2016.

FREITAS, Carlos Machado; PORTO, Marcelo Firpo. **Saúde, ambiente e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ. v.5, 2006, 124 p

GAMA, André Gonçalo Correia de Oliveira. **Análise ambiental e econômica da produção de tijolos**. Caso de Estudo: Fábrica cerâmica de Pegões, SA. 2010. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

GANEM, Roseli Senna. **De Estocolmo à Rio+20: avanço ou retrocesso?**. Cadernos Aslegis, n.45, p. 31-62, jan/abr. 2012.

GENERAL ASSEMBLY OF THE UNITED NATIONS. **Resolution adopted by the General Assembly 64/236, Sixty-fourth session Agenda item 53 (a)**. 68th plenary meeting 24 December 2010. Disponível em: <http://www.rio20.gov.br/documentos/resolucao-da-assembleia-geral-das-nacoes-unidas-no64-236/at_download/resolucao-da-assembleia-geral-nu.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2016.

GIRARD, James. **Princípios de química ambiental**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

GOMES, Jefferson de Oliveira; LACERDA, Juliana Ferreira Santos Bastos. Uma visão mais sustentável dos sistemas construtivos no Brasil: Análise do estudo da arte. **E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial**, Florianópolis, v. 7, n. 2, p. 167-186, 2014.

GUIMARÃES, Leandro. **O programa minha casa minha vida: um estudo da política habitacional no Distrito Federal**. 2012. 144 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Política) - Centro Universitário (Unieuro), Brasília, 2012.

GUINÉE, Jeroen B.; HEIJUNGS Reinout; HUPPES, Gjalt. Life Cycle Assessment: Past, Present and Future. **Environmental Science & Technology**, Iowa, v. 45, n. 1, p. 90-96, jan. 2011.

HENDRIKS, Christian Frederik; NIJKERK, Alfred Arnold; VAN KOPPEN, A. E. **O ciclo da construção**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2007. 250 p. Tradução por: Cláudia Naves David Amorim e Rosana Stockler Campos Clímaco.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 14040 – Environmental Management: Life Cycle Assessment: Principles and Framework**. Geneva: ISO, 2006.

_____. **ISO 14044 – Environmental Management: Life Cycle Assessment: Requirements And Guidelines**. Geneva: ISO, 2006.

_____. **ISO 21929 – 1:2011: Sustainability in building construction – sustainability indicators – Part 1: Framework for the development of indicators and a core set of indicators for buildings.** Geneva: ISO, 2011.

LACERDA, Juliana Ferreira Santos Bastos de. **Avaliação da sustentabilidade na construção civil dos sistemas construtivos convencionais e industrializado no Brasil.** 2014, 135 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Produção) – Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 2014.

LASSIO, João Gabriel Gonçalves de. **Aplicação do programa SimaPro na avaliação do ciclo de vida dos materiais da construção civil:** estudo de caso para um conjunto habitacional. 2013, 96 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

LASVAUX, S. **Étude d'un modèle simplifié pour l'analyse de cycle de vie des bâtiments.** 2010. 435p. Thèse (Docteur Énergétique) - Institut des Sciences et Technologies, Paris Institute de Technologie, Paris, 2010.

LIMA, Ângela Maria Ferreira. **Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil:** inserção e perspectivas. 2007, 116 p. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

LIMA, Patricia Helen. **Projeto Sustentável:** exigência para o século XXI. Percepção do projeto sustentável na produção imobiliária atual. 2009. 241 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

LUCAS, Vanessa; AMADO, Miguel P. **Avaliação da construção sustentável.** In: BRAGANÇA, Luís *et al.* **Sustentabilidade na reabilitação urbana:** o novo paradigma do mercado da construção. Proceedings da primeira Conferência Nacional iiSBE Portugal: Lisboa, 2011. 313p.

MANAHAN, Stanley. **Química ambiental.** 9. ed. Porto Alegre: Brookman, 2013.

MATEUS, Ricardo Filipe Mesquita da Silva. **Avaliação da Sustentabilidade da Construção:** Propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis. 2009. 427p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Minho, 2009.

MENDES, Natalia Crespo. **Métodos e modelos de caracterização para a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida:** análise e subsídios para a aplicação no Brasil. 2013. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MCDONOUGH, William; BRAUNGART, Michael. **Cradle to cradle: criar e reciclar ilimitadamente.** 1. ed. São Paulo: Editora G. Gili, 2013. 192p. Tradução de: Cradle to cradle: remaking the way we make things.

MITIDIERI FILHO, Cláudio Vicente; CLETO, Fabiana da Rocha; WEBER, Maria Salette. **Implantação e consolidação do sistema nacional de avaliação técnicas de produtos inovadores (SINAT)**. 2008. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2008/artigos/A1559.pdf>>. Acesso em: 09 fev. 2017.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Programa brasileiro da qualidade e produtividade do habitat**. (Perguntas frequentes). 2016. Disponível em: <<http://pbqp-h.cidades.gov.br/faq.php#s>>. Acesso em: 09 fev. 2017.

MORAIS, Maria da Piedade. Breve diagnóstico sobre o quadro atual da habitação no Brasil. *In*: Políticas Sociais: Acompanhamento e análise. Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA). **Desenvolvimento Social: Periódicos**, n. 4, 2002.

MOTA, Luciana; MATEUS, Ricardo. Contributo da fase de manutenção para impactes de ciclo de vida de edifícios de habitação. *In*: BRAGANÇA, Luís *et al.* **Sustentabilidade na reabilitação urbana**: o novo paradigma do mercado da construção. Proceedings da primeira Conferência Nacional iiSBE, Portugal: Lisboa, 2011, 313p.

NAVARRO, Rômulo Feitosa. **Materiais e ambiente**. João Pessoa: Editora universitária UFPB, 2001. 180p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>>. Acesso: 10 jan. 2017.

PAGLIARIN, Alexandre Coutinho; TOLENTINO, Zelma Tomaz. Desenvolvimento sustentável na perspectiva do princípio da responsabilidade em Hans Jonas. **Meritum**, Belo Horizonte, v. 10, n. 1, p. 11-33, 2015.

PASSUELLO, Ana Carolina Badalotti *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, 2014.

PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS – PNAD. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios**: síntese de indicadores 2014. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 102 p.

PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT - PBQP-H. **Projetos**. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em: 30 ago. 2017.

POLLI, Fernando Gabbi; SOUZA, Alfeu de Arruda. Relação de consumo e meio ambiente: proposta de responsabilização efetiva das fabricantes e comerciantes de bens e serviços pelo recolhimento dos resíduos sólidos dos produtos comercializados. *In*: **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, Santa Maria, v. 8, ed. especial: Congresso Internacional de Direito Ambiental e Ecologia Política, 1., 2013.

PORTO-GONÇALVES, Carlos Walter. **A globalização da natureza e a natureza da globalização**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006.

PORTAL BRASIL. **Atualização do Cadastro Único garante benefícios sociais**. 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/cidadania-e-justica/2015/09/atualizacao-do-cadastro-unico-garante-beneficios-sociais>>. Acesso em: 14 mar. 2017.

PUMA. **Treliças**. Disponível em: <<http://www.treliart.com.br/downloads/Manual%20de%20Fabricacao.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2016.

PRECON. **Argamassa assentamento e revestimento**. (Ficha técnica). Disponível em: <http://www.precon.com.br/preconmaterialdeconstrucao/img/basicas/anex_f0002180618062013.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2016.

PRÉ-CONSULTANTS. **SimaPro Database manual**: methods library. 2014.

PRÉ-CONSULTANTS. **SimaPro 8**. LCA software version 8. 2014.

REDDY, Venkatarama; JAGADISH, Kori. **Embodied energy of common and alternative building materials and technologies**. Energy and Buildings, Vol.35, p.129-137, 2003.

ROMERO, Marta Adriana Busto; FERNANDES, Julia Teixeira (Org.). **Reabilitação ambiental sustentável arquitetônica e urbanística**. Brasília: FAU/Unb, 2009.

ROMEY, Clarissa Capelas. **Aplicação da avaliação do ciclo de vida**: um estudo de caso para sabonetes cosméticos. 2013. 141 p. Dissertação (Mestrado Ciência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

RUBIN, Graziela Rossatto; BOLFE, Sandra Ana. O desenvolvimento da habitação social no Brasil. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 36 n. 2, p. 201–213, 2014.

SACHS, Ignacy. **Rumo à ecossocioeconomia**: teoria e prática do desenvolvimento. São Paulo: Cortez, 2007.

SÃO PAULO (Estado). Sustentabilidade e inovação na habitação popular: o desafio de propor modelos eficientes de moradia. São Paulo: **Governo do Estado de São Paulo. Secretária de Estado de Habitação**, 2010.

SEIFFERT, Mari Elizabete Bernardini. **Gestão Ambiental**: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SEO, Emilia Satoshi Miyamaru; KULAY, Luiz Alexandre. Avaliação do Ciclo de Vida: Ferramenta Gerencial para Tomada de Decisão. **InterfaceHS**, v. 1, n. 1, p. 1-23, 2006.

SILVA, Andrea Raquel de Almeida. **Análise comparativa de estudos de Avaliação do Ciclo de Vida da madeira**. 2014. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2014.

SILVA, Diogo Aparecido Lopes. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. 2012. 207 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Caracterização e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

SILVA, Livia Corrêa. **Avaliação do ciclo de vida de concreto com substituição parcial de cimento por cinzas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz**. 2015. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - O Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

SILVA, Luciano Pires da. **Análise do ciclo de vida de habitações de interesse social**. 2012. 185 p. Dissertação (Mestrado em Construção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SOARES, Isabelle Oliveira *et al.* Interesses especulativos, atuação do Estado e direito à cidade: o caso do programa “Minha Casa Minha Vida” em Uberaba (MG). **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, n. 1, p. 119-131, 2013.

SOARES, Lucas; MATOS, Manuel. Diferentes abordagens para desenvolver um LCA. *In: BRAGANÇA, Luís et al. Sustentabilidade na reabilitação urbana: o novo paradigma do mercado da construção*. Proceedings da primeira Conferência Nacional iiSBE Portugal: Lisboa, 2011, p. 313.

SOMBRIIO, Catarina Moraes de Oliveira. **ACV de painéis de bloco cerâmico e concreto armado: um exercício de aplicação do manual do ILCD**. 2015. 138 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SONNEMANN, Guido. (Project Office). **Background Report for a UNEP Guide to Life Cycle Management – a bridge to sustainable products**. 2006. Disponível em: <http://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2013/09/UNEP_Background_document_LCM_2006_Febr.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2017.

SOUZA, Waldir. O princípio da responsabilidade em Hans Jonas. Um desafio para a bioética numa contínua transcendência. **Revista do Dpto. de Teologia da PUC-Rio – Atualidade Teológica**, Ano 14, n. 35, p. 172-194, 2010.

STASIAK-BETLEJEWSKA, Renata; POTKÁNY, Marek. Construction Costs Analysis And Its Importance To The Economy. **Procedia Economics and Finance**, Elsevier, v. 34, p. 35-42, 2015.

TOLLE, Duane. Regional scaling normalization in LCA: development and application of methods. **International of Life Cycle Assessment**, v. 2, n.4, p. 197-208, 1997.

TORGAL, Fernando Pacheco; JALALI, Said. **A sustentabilidade dos materiais de construção**. Editora TecMinho, 2. ed. 2010. 460 p.

TOURINHO, Tiago Chagas de Oliveira. **Avaliação comparativa do ciclo de vida de processos de tratamento de efluentes domésticos**. 2014. 182 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

VIEIRA, Ricardo Stanziola. RIO+20 – Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento: contexto, principais temas e expectativas em relação ao novo “direito da sustentabilidade”. **Revista NEJ – Eletrônica**, v. 17, n. 1, p. 48-69, 2012.

VOTARAÇO. **Telas eletrosoldadas**. Disponível em:
<<http://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/votoraco/telas.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2016.

WILLERS, Camila Daniele; RODRIGUES, Luciano Brito; SILVA, Cristiano Alves da. Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. **Produção**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 436-447, 2013.

ANEXO A – PRINCIPAIS BANCOS DE DADOS DA ACV NO MUNDO.

	SUIÇA	JAPÃO	SUÉCIA	ALEMANHA	DINAMARCA	EUA
Órgãos Fomentadores	Vários órgãos federais Suíços participam do Centro Suíço de Inventário do Ciclo de Vida	Parcerias entre governo, indústria instituições de pesquisa e academia	Indústria em parceria com Academia	Academia, institutos de pesquisa, indústria e governo	É parcialmente financiado pela Agência de Proteção Ambiental Dinamarquesa.	Parcerias entre governo, indústria instituições de pesquisa e academia
Projeto	EcoInvent 2000	Projeto Nacional de Análise do Ciclo de Vida	SPINE@CPM	German Network on Life Cycle Inventory Data	EDIP	US LCI Database Project
Como e porque se iniciou ACV	Necessidade de compatibilizar os bancos de dados dos diversos institutos nacionais	Como estratégia do Fórum Japonês de ACV, que foi estabelecido dentro da JEMAI, com apoio do MITI e NEDO.	Estudo sobre materiais de embalagens desenvolvido pela Universidade de Tecnologia de Chalmer	Foi uma iniciativa do Centro de Pesquisa Karlsruhe (FZKarlsruhe) e com o apoio do Ministério Federal Alemão de Educação e Pesquisa	-	-
Dados	Energia, transporte, materiais de construção, químicos, papel e polpa, tratamento de resíduos, agricultura	Energia, materiais (ferro e aço, alumínio, papel, borracha) produto, uso e reciclagem (automóvel, maquinário	-	Dados a serem levantados de energia, metais, materiais de construção e transporte.	-	-

Continua

		industrial, equipamentos eletrônicos etc.)				
Ano	Situação de 2000	1998-2003 (1ªfase) 2003-2005 (2ªfase) A partir de 2006 (3ª fase)	-	Iniciou em 2002	-	Iniciou em 2001
Cobertura geográfica	Europa	Japão	Global	Alemanha	Dinamarca	Estados Unidos
Características	Cada Instituto ficou responsável por determinado conteúdo do banco de dados	Dentro do JEMAI, formaram-se Comitês de Estudo de Inventário; de Estudo de Banco de Dados e de Avaliação de Impacto, com especialistas da indústria, governo, e academia.	-	Formaram-se grupos de trabalho de energia, metais, materiais de construção e transporte.	-	Formou-se um grupo de 45 representantes da indústria, governo, ONG e especialistas em ACV, para criar o guia de desenvolvimento de banco de dados.
Idioma	Inglês Alemão Japonês	Japonês	Inglês	Alemão Inglês	Dinamarquês Inglês Alemão	Inglês
Acesso	Taxa de licença	Taxa de licença	Taxa	Em andamento	Taxa de licença	Grátis
Número de conjunto de dados	> 2700	> 600	> 100	-	> 100	> 70

Fonte: Adaptado de Curran (2006); Finkbeiner (2000); German Network on Life Cycle Inventory Data (2006); Hirschier (2005); LCA-Center (2006); Narita (2004); NREL (2006); Pálsson (2004); Sagisaka (2005); Zakaria (1999) *apud* Lima (2007).

ANEXO B – DETERMINADOS SOFTWARES QUE INTEGRAM A ACV.

NOME	DETALHES
BEES	(<i>Building for Environmental and Economic Sustainability</i>): Foi desenvolvido pelo “National Institute for Standards and Technology (NIST) Building and Fire Research Laboratory”.
ECO-it	Desenvolvido por Pré Consultants. Esse <i>software</i> possui informações ambientais para metais, plásticos, papel e vidro e dados referentes à produção desses materiais, atividades de transporte, energia e tratamento de resíduos.
GaBi	Software System and Databases: Desenvolvido pelo PE Europe GmbH e IKP University of Stuttgart. É um software utilizado para realizar avaliação de aspectos ambientais, sociais, econômicos, processos e tecnologias associados ao ciclo de vida de um produto, sistema ou serviço.
REET	Desenvolvido pela “The U.S Department of Energy’s Office of Transportation Technologies fuel-cycle model called REET (Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation)”. Permite avaliar diferentes combinações de motores e combustíveis.
IDEMAT	Elaborado pela Delft University of Technology. Utilizado para a seleção de materiais no processo de design, fornece um banco de dados com informações técnicas sobre materiais, processos e componentes, permitindo, assim, a comparação de informações.
KCL-ECO	Desenvolvido pelo KCL. Utilizado para aplicar a ACV em estudos que possuem sistemas com muitos fluxos de processos incluindo recursos gráficos, procedimentos de alocação e avaliação de impacto (caracterização, normalização e ponderação).
LCAPIX	Desenvolvido por KM limited. É um <i>software</i> que combina a ACV e atividade baseada no custo permitindo, desta forma, que empresas consigam garantir a conformidade ambiental e a rentabilidade sustentada.
REGIS	Elaborado por Sinum. Utilizado na melhoria do desempenho ambiental das empresas de acordo com a ISO14031 - Gestão ambiental - Avaliação de desempenho ambiental - Diretrizes.
SimaPro	Desenvolvido por Pré Consultants. Possui vários métodos de avaliação de impacto (CML 1992, Eco Indicator 99, EPS2000, entre outros) e banco de dados (BUWAL 250, EcoInvent, IVAM LCA Data, entre outros) que podem ser editados e ampliados sem limitação.
EcoScan	Turtle Bay para TNO - Institute of Industrial Technology. Valores quantitativos representados em Milipoints (unidade do Eco-Indicador). Apresentam impactos gerais e impactos relativos de diferentes etapas do ciclo de vida.
Team	Ecobilan S.A. (PriceWaterhouse Coopers) Tabelas de inventário, resultados AICV com apoio gráfico.
LCAiT	Tem sido utilizado para a avaliação do impacto ambiental dos

Continua

	produtos e processos. Ele inclui um banco de dados de avaliação de impacto, incluindo os fatores de caracterização e fatores de ponderação.
Umberto	É um <i>software</i> de modelação de fluxos de materiais e energia, que visa à otimização de sistemas de produção fabril ou processos de produção de materiais. Seu objetivo principal é identificar e tratar os pontos críticos de processos de produção, reduzindo assim recursos e energia necessários, e, conseqüentemente, propiciando ambiente para mudanças de comportamento produtivo, combatendo excessos em custos ou danos ambientais.
openLCA	Um software livre de código aberto, para modelagem e avaliação de Life Cycle Assessment, com várias opções de importação e exportação.

Fonte: Adaptado de Curran (2006); USEPA (2014) *apud* Campolina, Sigrist e Moris (2015); Campos (2011); Autora (2017).

ANEXO C – TELAS ELETROSSOLDADAS VOTORAÇÃO.

Tela	Especificações					
	Composição		Dimensão (m)		Peso	
	Malha(cm)	Fios(mm)	Rolos	Painéis	(kg/m²)	(kg/peça)
Q45	20x20	3,4x3,4		2,0x3,0	0,710	4,26
Q47	15x15	3,0x3,0	2,45x120			
Q47	15x15	3,0x3,0		2,0x3,0	0,758	4,55
Q61	15x15	3,4x3,4	2,45x120		0,966	284,00
Q61	15x15	3,4x3,4	2,45x60		0,966	142,00
Q61	15x15	3,4x3,4		2,0x3,0	0,970	5,82
Q75	15x15	3,8x3,8	2,45x120		1,211	355,70
Q75	15x15	3,8x3,8	2,45x60		1,211	177,85
Q75	15x15	3,8x3,8		2,45x6,0	1,211	17,80
Q92	15x15	4,2x4,2	2,45x60		1,483	217,60
Q92	15x15	4,2x4,2		2,0x3,0	1,490	8,94
Q92	15x15	4,2x4,2		2,45x60	1,483	21,80
Q92	15x15	4,2x4,2	2,45x120		1,483	435,20
Q113	10x10	3,8x3,8	2,45x60		1,798	264,60
Q113	10x10	3,8x3,8	2,45x120		1,798	529,20
Q113	10x10	3,8x3,8		2,45x6,0	1,798	26,43
Q138	10x10	4,2x4,2	2,45x60		2,202	323,40
Q138	10x10	4,2x4,2		2,0x3,0	2,180	13,08
Q138	10x10	4,2x4,2		2,45x6,0	2,202	32,30
Q159	10x10	4,5x4,5		2,45x6,0	2,526	37,00
Q196	10x10	5,0x5,0		2,45x6,0	3,111	45,70
Q246	10x10	5,6x5,6		2,45x6,0	3,899	57,32
Q283	10x10	6,0x6,0		2,45x6,0	4,485	65,90
Q335	10x10	8,0x8,0		2,45x6,0	5,374	78,90
Q396	10x10	7,1x7,1		2,45x6,0	6,283	92,30
Q503	10x10	8,0x8,0		2,45x6,0	7,981	117,20
Q636	10x10	9,0x9,0		2,45x6,0	10,082	148,30

Fonte: Adaptado de Votoraço (2017).

ANEXO D – TIPOS DE ARMAÇÃO TRELIÇADAS PUMA.

Tipo de armação Altura (mm)		Diâmetro dos vergalhões (mm)			Seção de aço inferior (cm ²)	Peso da Treliza (kg/m)
		Superior	Sinusóide	Inferior		
TR 06644	60	6,0	4,2	4,2	0,276	0,711
TR 08644	80	6,0	4,2	4,2	0,276	0,735
TR 08645	80	6,0	4,2	5,0	0,392	0,822
TR 08646	80	6,0	4,2	6,0	0,566	0,961
TR 08844	80	8,0	4,2	4,2	0,276	0,907
TR 10644	100	6,0	4,2	4,2	0,276	0,762
TR 10646	100	6,0	4,2	6,0	0,566	0,989
TR 12645	120	6,0	4,2	5,0	0,392	0,890
TR 12646	120	6,0	4,2	6,0	0,566	1,017
TR 16745	160	7,0	4,2	5,0	0,392	1,032
TR 16747	160	7,0	4,2	7,0	0,770	1,328
TR 16856	160	8,0	5,0	6,0	0,566	1,436
TR 20745	200	7,0	4,2	5,0	0,392	1,106
TR 20746	200	7,0	4,2	6,0	0,566	1,260
TR 20756	200	7,0	5,0	6,0	0,566	1,500
TR 25855	250	8,0	5,0	5,0	0,392	1,644
TR 25856	250	8,0	5,0	6,0	0,566	1,700
TR 30856	300	8,0	5,0	6,0	0,566	1,830
TR 30857	300	8,0	5,0	7,0	0,770	1,983
TR 30858	300	8,0	5,0	8,0	1,005	2,168

Fonte: Adaptado de Puma (2017).

ANEXO E – TELAS ELETROSSOLDADAS GERDAU.

Aço CA-60	Espaçamento entre fios (cm)		Diâmetro (mm)		Seções (cm²/m)		Apresentação	Dimensão		Peso	
Designação	Long.	Transv.	Long.	Transv.	Long.	Transv.	Rolo/Painel	Largura	Compr.	Kg/m²	Kg/peça
Q 61	15	15	3,4	3,4	0,61	0,61	PAINEL	2,45	6	0,97	14,25
Q 75	15	15	3,8	3,8	0,75	0,75	PAINEL	2,45	6	1,21	17,81
Q 92	15	15	4,2	4,2	0,92	0,92	PAINEL	2,45	6	1,48	21,76
Q 113	10	10	3,8	3,8	1,13	1,13	PAINEL	2,45	6	1,80	26,46
Q 138	10	10	4,2	4,2	1,38	1,38	PAINEL	2,45	6	2,20	32,34
Q 159	10	10	4,5	4,5	1,59	1,59	PAINEL	2,45	6	2,52	37,04
Q 196	10	10	5	5	1,96	1,96	PAINEL	2,45	6	3,11	45,72
Q 246	10	10	5,6	5,6	2,46	2,46	PAINEL	2,45	6	3,91	57,48
Q 283	10	10	6	6	2,83	2,83	PAINEL	2,45	6	4,48	65,86
Q 335	15	15	8	8	3,35	3,35	PAINEL	2,45	6	5,37	78,94
Q 396	10	10	7,1	7,1	3,96	3,96	PAINEL	2,45	6	6,28	92,32
Q 503	10	10	8	8	5,03	5,03	PAINEL	2,45	6	7,97	117,16
Q 636	10	10	9	9	6,36	6,36	PAINEL	2,45	6	10,09	148,32
Q 785	10	10	10	10	7,85	7,85	PAINEL	2,45	6	12,46	183,16
T 92	30	15	4,2	4,2	0,46	0,92	PAINEL	2,45	6	1,12	16,53
T 113	30	10	3,8	3,8	0,38	1,13	PAINEL	2,45	6	1,22	17,89
T 159	30	10	4,5	4,5	0,53	1,59	PAINEL	2,45	6	1,71	25,09
T 196	30	10	5	5	0,65	1,96	PAINEL	2,45	6	2,11	31,02
T 246	30	10	5,6	5,6	0,82	2,46	PAINEL	2,45	6	2,64	38,81
T 283	30	10	6	6	0,94	2,83	PAINEL	2,45	6	3,03	44,54
T 335	30	15	6	6	0,94	3,35	PAINEL	2,45	6	3,45	50,72
T 396	30	10	6	6	0,94	3,96	PAINEL	2,45	6	3,92	57,67
T 503	30	10	6	6	0,94	5,03	PAINEL	2,45	6	4,76	69,97

Fonte: Adaptado de Gerdau (2017).

**ANEXO F – CATEGORIAS DE IMPACTO DE PONTO MÉDIO DO MÉTODO
RECIPE.**

Indicadores	Categorias de impacto (Ponto Médio)	Fator de Caracterização	Unidade
Concentração de ozônio estratosférico	Depleção do ozônio	Potencial depleção da camada de ozônio.	kg (CFC-11 eq.)
Dose de risco ponderado	Toxicidade humana	Potencial de toxicidade humana	kg (14DCB)*
Dose absorvida	Radiação ionizante	Potencial de radiação ionizante	kg (U ²³⁵)
Concentração de ozônio fotoquímico	Formação de oxidantes Fotoquímicos	Potencial de formação de oxidantes fotoquímicos	kg (NMVOC)
Inalação de PM ₁₀	Formação de material particulado	Potencial de formação de material particulado	kg (PM ₁₀ eq.)
Saturação de base	Acidificação terrestre	Potencial de acidificação terrestre	kg (SO ₂ eq.)
Forçamento radiativo infravermelho	Mudanças climáticas	Potencial de aquecimento global	kg (CO ₂ eq.)
Concentração de risco ponderado	Ecotoxicidade terrestre	Potencial de ecotoxicidade terrestre	kg (14DCB)
Ocupação	A ocupação de terra agrícola	Potencial de ocupação de terra agrícola	m ² x ano (terra agrícola)
Ocupação	A ocupação do solo urbano	Potencial de ocupação de solo urbano	m ² x ano (solo urbano)
Transformação	Transformação da área natural	A quantidade de terra natural transformada e ocupada por um certo tempo.	m ² (área natural)
Concentração de risco ponderado	Ecotoxicidade marinha	Potencial de ecotoxicidade marinha	kg (14DCB)
Concentração de nitrogênio	Eutrofização marinha	Potencial de eutrofização marinha	kg (N eq.)
Concentração de fósforo	Eutrofização na água doce	Potencial de eutrofização na água doce	kg (P eq.)
Concentração de risco ponderado	Ecotoxicidade da água doce	Potencial de ecotoxicidade da água doce	kg (14DCB)
Poder calorífico inferior	Esgotamento dos combustíveis fósseis	Potencial de depleção de combustíveis fósseis	kg (óleo)**
Diminuição de minério	Esgotamento dos minerais	Potencial de depleção de recursos minerais	kg (Fe)
Quantidade de água	Esgotamento hídrico	Potencial de depleção hídrica	m ³

*14 DCB: 1,4-diclorobenzeno

** A extração de referência precisa é “oil, crude feedstock, 42 MJ per kg, in ground” (petróleo bruto, matéria-prima, 42 MJ por kg, no solo (tradução autor))

Fonte: Adaptado de PRé-Consultants (2014).