

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ANDRESSA MILANEZ

**ESTUDO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EM FÁBRICA DE BLOCOS
CERÂMICOS NA CIDADE DE PRUDENTÓPOLIS-PR COM BASE NA
AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2018

ANDRESSA MILANEZ

**ESTUDO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EM FÁBRICA DE BLOCOS
CERÂMICOS NA CIDADE DE PRUDENTÓPOLIS-PR COM BASE NA
AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para a
conclusão do Curso de Engenharia Civil,
da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná, Campus Pato Branco.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Geocris Rodrigues
dos Santos.

PATO BRANCO

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EM FÁBRICA DE BLOCOS CERÂMICOS NA CIDADE DE PRUDENTÓPOLIS-PR COM BASE NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

ANDRESSA MILANEZ

No dia 18 de junho de 2018, às 10h20min, na SALA DE TREINAMENTO da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº04-TCC/2018.

Orientador: Prof^a. Dr^a. GEOCRIS RODRIGUES DOS SANTOS

Membro 1 da Banca: Prof. Dr. NEY LYZANDRO TABALIPA (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. MURILO CESAR LUCAS (DACOC/UTFPR-PB)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a meus amados pais Marines e Audrey, por todo apoio e amor dedicado a mim. Pela educação concebida a mim e ao meu irmão.

A orientadora Prof^a. Dr^a. Geocris Rodrigues dos Santos que além de sua orientação de forma excepcional, dedicou muitas horas de trabalho para que esse trabalho fosse realizado.

Aos professores do Curso de Engenharia Civil pelo compromisso que têm conosco, na busca de tornar-nos bons profissionais. Orgulho da formação acadêmica recebida nesta Universidade.

Agradeço também ao meu namorado Lucas, amigos e demais pessoas que contribuíram nessa caminhada acadêmica, acompanhando meu sonho tornar-se real.

RESUMO

MILANEZ, Andressa. Estudo dos impactos ambientais em fábrica de blocos cerâmicos na cidade de Prudentópolis – PR com base na Avaliação do Ciclo de Vida. 2018. 77 pg. Trabalho de Conclusão de Curso De Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal Do Paraná – Pato Branco, 2018.

Sendo o mercado da construção civil grande consumidor de recursos naturais, segue a preocupação com os impactos ambientais gerados por esse mercado. Este estudo tem por objetivo avaliar os impactos ambientais causados pela fabricação de blocos cerâmicos em uma cerâmica localizada na região de Prudentópolis, Paraná. Será utilizando o método da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), o qual avalia os impactos ambientais em cada etapa do processo de produção dos blocos cerâmicos. A partir deste objetivo, desenvolveu-se um estudo sobre o processo produtivo dos blocos cerâmicos (do berço ao portão da fábrica) verifica a contribuição de cada um dos processos produtivos nos impactos ambientais escolhidos. Foi aplicado um questionário na fábrica e com os dados coletados foi feito o inventário do ciclo de vida (ICV) da produção. Com a análise do ICV, foi possível realizar a avaliação dos impactos ambientais (AICV) gerados pela fabricação dos blocos por meio dos métodos CML-IA baseline, EDIP 2003, USEtox 2 e IPCC 2013. Os resultados obtidos por esse processo permitiram identificar quais processos e insumos contribuíam para cada impacto, sendo a argila o insumo que mais contribuiu para todas as categorias. Dos fatores da produção que impactam ambientalmente é possível propor medidas que acarretem na diminuição desses impactos, sendo o controle do uso de pallets a medida mais adequada a ser tomada. Esse controle pode ser feito através da reutilização, do uso de *pallets* ecológicos, e da escolha de resinas menos tóxicas para serem aplicadas aos *pallets*.

Palavras-Chave: Avaliação do ciclo de vida (ACV), bloco cerâmico, impactos ambientais.

ABSTRACT

MILANEZ, Andressa. Estudo dos impactos ambientais em fábrica de blocos cerâmicos na cidade de Prudentópolis – PR com base na Avaliação do Ciclo de Vida. 2018. 77 pg. Trabalho de Conclusão de Curso De Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal Do Paraná – Pato Branco, 2018.

As the construction market is a major consumer of natural resources, there is concern about the environmental impacts generated by this market. This study aims to evaluate the environmental impacts caused by the manufacture of ceramic blocks in a ceramic located in the region of Prudentópolis, Paraná. It will be using the Life Cycle Assessment (LCA) method, which evaluates the environmental impacts at each stage of the ceramic blocks production process. From this objective, a study was developed on the production process of the ceramic blocks (from the cradle to the factory gate), verifies the contribution of each of the productive processes to the chosen environmental impacts. A questionnaire was applied at the plant and the collected data was collected on the production life cycle (LCI). With the analysis of the ICV, it was possible to carry out the environmental impact assessment (AICV) generated by the blocks manufacturing using the CML-IA baseline, EDIP 2003, USEtox 2 and IPCC 2013 methods. The results obtained by this process allowed to identify which processes and inputs contributed to each impact, with clay being the input that contributed most to all categories. From the production factors that impact the environment, it is possible to propose measures that reduce these impacts, and the control of the use of pallets is the most appropriate measure to be taken. This control can be done through the reuse, the use of ecological pallets, and the choice of less toxic resins to be applied to the pallets.

Keywords: life cycle assessment (LCA); clay brick; environmental impacts.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Ciclo de vida de um produto ou sistema | 22 |
| Figura 2: Estruturada da ACV | 23 |
| Figura 3: Interação entre o sistema e o ambiente | 25 |
| Figura 4 Definição da fronteira da pesquisa..... | 32 |
| Figura 5 Diagrama das etapas de produção de blocos cerâmicos..... | 33 |
| Figura 6 Fluxograma das possíveis entradas e saídas do sistema de produção | 33 |
| Figura 7 Distância entre a jazida e a cerâmica..... | 42 |
| Figura 8 Armazenamento de matéria prima a céu aberto | 43 |
| Figura 9 Armazenamento feito em local coberto | 43 |
| Figura 10 Processo de desintegração, mistura e extrusão | 44 |
| Figura 11 Processo de moldagem dos blocos cerâmicos | 45 |
| Figura 12 Corte dos blocos cerâmicos | 46 |
| Figura 13 Armazenamento e secagem dos blocos cerâmicos | 47 |
| Figura 14 Forno utilizado para queima dos blocos cerâmicos | 48 |
| Figura 15 Blocos embalados prontos para venda | 49 |
| Figura 16 Fluxograma das entradas e saídas do sistema de produção | 49 |
| Figura 17 Comparação entre os valores de ENTRADA das cerâmicas estudadas... | 57 |
| Figura 18 Comparação entre os valores de SAÍDA das cerâmicas estudadas | 58 |
| Figura 19 Comparativo das categorias de impactos ambientais para as três fábricas | 61 |
| Figura 20 Gráfico da influência de cada entrada na AICV | 62 |
| Figura 21 Gráfico: Resultados AICV para 1 kg de bloco cerâmico– “Fábrica A” | 64 |
| Figura 22 Gráfico: Resultados AICV para 1 kg de bloco cerâmico– “Fábrica B” | 65 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 Métodos e Categorias de impactos da AICV | 39 |
| Tabela 2 Dado das ENTRADAS da produção dos blocos cerâmicos. | 53 |
| Tabela 3 Dado das ENTRADAS da produção dos blocos cerâmicos (continuação). | 54 |
| Tabela 4 Dado das SAÍDAS da produção dos blocos cerâmicos..... | 54 |
| Tabela 5 AICV de 1 kg de bloco cerâmico | 59 |
| Tabela 6 Comparativo das categorias de impactos para as três fábricas | 60 |

LISTA DE SIGLAS

ABCV - Associação Brasileira de Ciclo de Vida
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV - Avaliação do Ciclo de Vida
AICV - Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
Akatu - Consumo Consciente para um Futuro Sustentável
Anicer - Associação Nacional da Indústria Cerâmica
CBCS - Conselho Brasileiro da Construção Sustentável
CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CFC - Clorofluorcarbonetos
CML - Institute of Environmental Sciences
CNI - Confederação Nacional das Indústrias
CONMETRO - Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade
EC-JRC - Joint Research Centre of the European Commission
EDIP - Environmental Design of Industrial Products
EMPA - Instituto Federal Suíço para Pesquisa e Testes de Materiais
EPS - Environmental Priority Strategies
GANA - Grupo de Apoio à Normalização Ambiental
IBICT - Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ICV - Inventário de Ciclo de Vida
ILCD - Handbook International Reference Life Cycle Data System
INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia
IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO - International Organization for Standardization
MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia
MEEuP - Methodology study for Eco-design of Energy-using Products
PBACV - Programa Brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos
SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SICV - Brasil Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 | OBJETIVOS | 15 |
| 2.1 | OBJETIVO GERAL..... | 15 |
| 2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 15 |
| 3 | REFERENCIAL TEÓRICO | 16 |
| 3.1 | DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL..... | 16 |
| 3.2 | A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E A SUSTENTABILIDADE..... | 17 |
| 3.2.1 | Indústria da cerâmica vermelha e sustentabilidade | 17 |
| 3.2.2 | Indústria de cerâmica vermelha e ACV no Brasil | 18 |
| 3.3 | AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA..... | 20 |
| 3.3.1 | Definição de objetivo e escopo: | 23 |
| 3.3.2 | Análise de inventário do ciclo de vida (ICV): | 24 |
| 3.3.3 | Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV):..... | 26 |
| 3.3.4 | Interpretação dos Resultados da ACV: | 27 |
| 3.4 | FERRAMENTAS QUE AUXILIAM A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA | 28 |
| 3.4.1 | Ecoinvent®..... | 29 |
| 3.4.2 | Simapro..... | 30 |
| 4 | METODOLOGIA | 31 |
| 4.1 | LOCAL DE ESTUDO | 31 |
| 4.2 | DETERMINAÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO DIRECIONADOS AO ESTUDO DE CASO | 31 |
| 4.3 | INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ICV)..... | 34 |
| 4.3.1 | Coleta de dados | 34 |
| 4.3.2 | Base de dados e ICV | 35 |
| 4.4 | AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA (AICV) | 36 |
| 4.5 | VISITA À CERÂMICA E APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO | 37 |
| 4.6 | CÁLCULO DAS SAÍDAS DO SISTEMA | 37 |
| 4.6.1 | Escolha dos métodos da AICV..... | 38 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 41 |
| 5.1 | APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO | 41 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.1.1 | Retirada de matéria prima da jazida e transporte | 41 |
| 5.1.2 | Armazenamento de matéria prima | 42 |
| 5.1.3 | Moldagem dos blocos cerâmicos | 44 |
| 5.1.4 | Secagem | 46 |
| 5.1.5 | Queima..... | 47 |
| 5.1.6 | Embalagem e armazenamento | 48 |
| 5.2 | DETERMINAÇÃO DAS ENTRADAS | 50 |
| 5.2.1 | Eletricidade | 50 |
| 5.2.2 | Diesel | 50 |
| 5.2.3 | Argila..... | 50 |
| 5.2.4 | Gás GPL | 51 |
| 5.2.5 | Pó de serra..... | 51 |
| 5.2.6 | Peças de aço | 51 |
| 5.2.7 | Fita plástica | 51 |
| 5.2.8 | <i>Pallet</i> | 51 |
| 5.2.9 | Água..... | 52 |
| 5.2.10 | Transporte de insumos..... | 52 |
| 5.3 | ESTRUTURAÇÃO DO INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA | 52 |
| 5.4 | AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO CICLO DE VIDA (AICV) | 59 |
| 5.4.1 | AICV do processo produtivo de blocos cerâmicos | 59 |
| 6 | CONCLUSÕES | 66 |
| | REFERÊNCIAS | 68 |

1 INTRODUÇÃO

A argila é a matéria prima utilizada na confecção de blocos cerâmicos, que pode apresentar composição química e mineralógica, cor e plasticidades diferentes em função da formação e de fatores de alteração durante sua consolidação (PETRUCCI, 1979). Há mais de dez mil anos ela vem sendo utilizada pelo homem para diversos fins comerciais, sendo um dos materiais mais extraídos da Terra (GOMES, 1986).

Pesquisas realizadas pelo Congresso Brasileiro de Cerâmica junto a Associação Nacional da Indústria Cerâmica (Anicer, 2014), comprovam que o Brasil é o segundo maior produtor de revestimentos cerâmicos e também o segundo maior mercado consumidor do mundo, ficando atrás apenas da China. Os principais produtos cerâmicos produzidos no Brasil são: blocos, tijolos, telhas, elementos vazados, lajes, lajotas, ladrilhos vermelhos, tubos, agregados leves, incluindo também produção de objetos ornamentais e utensílios domésticos (ANUÁRIO ESTATÍSTICO, 2016).

O mercado da construção civil consome recursos naturais em grande escala, uma vez que a maior parte dos materiais utilizados são extraídos da crosta terrestre e transformados em produtos para a construção. Segundo dados das Nações Unidas, o setor de produção civil mundial consome cerca de 40% de toda energia usada pela sociedade, extrai 30% dos materiais do meio natural, gera 25% dos resíduos sólidos e consome cerca de 25% da água (BENITE, 2011). Isso faz com que a preocupação com os impactos gerados por esse mercado seja de interesse de pesquisa.

Cerca de 90% das empresas do setor de produção de materiais cerâmicos são microempresas familiares, ou são empresas de pequeno a médio porte. De acordo com o Anuário Brasileiro de Cerâmica (1996), existem em torno de 8.500 a 11.000 empresas produtoras de cerâmica no Brasil e suas produções mensais são da ordem de 1,7 bilhões de peças. O consumo de argila superior a 5 milhões de toneladas/mês. O número de empregados diretos gira em torno de 400 mil pessoas.

No estado do Paraná, estima-se que mais de 1.000 empresas atuam na área de produtos cerâmicos. A cidade de Prudentópolis/PR, há décadas desenvolve atividades no ramo da fabricação de produtos cerâmicos. A maior concentração de

investimentos é na produção de blocos cerâmicos (tijolos), relacionado à principal matéria prima disponível nessa região, que é o *taguá* ou *argila de barranco*. Esse é o material formado pela alteração residual das formações Rio do Rastro e Teresina. No município de Prudentópolis encontram-se aproximadamente 80 olarias concentradas aos redores da BR 373, que liga as cidades de Ponta Grossa a Relógio (MINEROPAR, 2000).

Com a grande exploração da argila na indústria da cerâmica vermelha, tornam-se necessárias avaliações ambientais para a melhora do processo organizacional e sustentabilidade das empresas e dos seus métodos.

A avaliação dos impactos ambientais, tais como verificação das emissões de poluentes, geração e descarte de resíduos, depleção do ambiente entre outros, permitem diagnosticar os impactos ambientais das atividades produtivas, bem como possibilitar melhorias ambientais adequadas para esses processos.

A ferramenta Análise de Ciclo de Vida (ACV), que é regulamentada pela Norma ABNT ISO 14040 (2009), é uma forma de avaliar sistematicamente fluxos de energia e materiais que pertencem a um processo produtivo ou atividade, que provocam impactos ambientais, e que com essa ferramenta conseguem ser quantificados (RIBEIRO, 2012).

Segundo Durão (2009), a ACV de um produto ou processo, permite a quantificação das etapas de sua vida a serem consideradas, e para cada etapa verificam-se os impactos ambientais causados nesse processo, sendo eles: quantidade de energia consumida, quantidade e tipo de emissões atmosféricas, quantidade de água consumida e liberada contaminada e quantidade de resíduos sólidos gerados.

A alvenaria é definida como o sistema construtivo de parede e muros, ou obras similares, sendo o conjunto de peças justapostas coladas em sua interface, com ou sem argamassa de ligação, tem como principal material os blocos cerâmicos (SILVA, 2003). Como o bloco cerâmico é um dos materiais mais utilizados na alvenaria e principalmente na construção civil do Brasil, torna-se imprescindível para um desenvolvimento sustentável desse mercado a análise do ciclo de vida desse produto e dos demais materiais envolvidos nesse processo. Desta forma com a análise de ciclo de vida torna-se possível avaliar os impactos ambientais causados pela sua fabricação e pela sua aplicação.

Desta forma, com a busca incansável por materiais eco eficiente e com os novos padrões de mercado, o setor de construção civil busca formas de melhorar a qualidade dos produtos, a fim de unir a busca por qualidade e sustentabilidade, agregando valor aos seus projetos e a satisfação do consumidor.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os impactos ambientais causados pela fabricação de blocos cerâmicos em uma cerâmica localizada na região de Prudentópolis, Paraná, utilizando o método da Avaliação do Ciclo de Vida.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever o sistema de produção dos blocos cerâmicos, da extração ao produto final da fábrica selecionada;
- Definir inventário de ciclo de vida de blocos cerâmicos da extração ao produto final da fábrica, adequado ao contexto nacional, utilizando um questionário para levantamento de dados de produção;
- Identificar e calcular os indicadores de impacto ambiental relevantes para o processo de produção dos blocos cerâmicos e os respectivos métodos de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV);
- Avaliar os resultados obtidos pelo software e confrontar com dados já reportados por na literatura por Vinhal (2016).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O desenvolvimento sustentável surgiu para a humanidade por volta da segunda metade do século XX, após o início da crise social e ambiental pela qual o mundo passava. Durante o processo preparatório da Conferência das Nações Unidas – conhecida como “Rio 92” - na comissão Mundial para o Meio Ambiente, também conhecida como Comissão de Brundtland, foi desenvolvido um relatório, conhecido como “Nosso Futuro Comum”, onde relata informações coletadas durante três anos de pesquisa e análise, onde destacavam-se questões sociais, além de fatores de crescimento urbano. Nesse contexto, temos a seguinte definição do conceito: “o desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades”.

O relatório Brundtland considera que o desenvolvimento de uma cidade deve atender as necessidades básicas de todos e oferecer sempre oportunidades para melhoria da qualidade de vida para a população.

Com o conceito de Desenvolvimento Sustentável, é necessário definir sustentabilidade. Segundo Cavalcanti (p.99, 2003), sustentabilidade “significa a possibilidade de se obterem continuamente condições iguais ou superiores de vida para um grupo de pessoas e seus sucessores em dado ecossistema” (CAVALCANTI, 2003).

A sustentabilidade trata de princípios aplicáveis a sistemas, além disso, é retratada como o resultado esperado após longo prazo, contemplando aspectos qualitativos do sistema e que são monitorados pela operacionalização de indicadores e índices. A utilização desses indicadores e índices torna possível simplificar e quantificar os fenômenos, contemplando as tendências em destaques, sendo desenvolvidos para propostas específicas, representando a sustentabilidade adequada (SARTORI et al, 2014).

3.2 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E A SUSTENTABILIDADE

O homem vem impactando sobre o meio ambiente, variando historicamente de acordo com o modo de produzir, a estrutura de classe, os avanços tecnológicos e a bagagem cultural estabelecida de cada sociedade no decorrer do tempo (LAGO & PÁDUA, 1992).

Uma das formas de maior impacto são as cadeias de produção da construção civil. Esse setor é considerado o que mais consome matéria prima estimando que 50% das matérias primas extraídas da crosta terrestre são transformados em produtos para a construção civil. Estas matérias primas, por sua vez, contribuem com cerca de 50% da geração de resíduos nesse setor (KORONEOS, 2007).

O processo de reduzir os impactos ambientais envolve a seleção dos materiais de construção adequadamente. A seleção dos materiais ambientalmente sustentáveis facilita a incorporação dos princípios de sustentabilidade aos projetos e posteriormente as edificações e obras em geral (KIM e RIGDON, 1998).

3.2.1 Indústria da cerâmica vermelha e sustentabilidade

Para a fabricação de blocos cerâmicos é necessário uma grande quantidade de recursos que causam grandes impactos negativos ao meio ambiente. Sua fabricação também contribui para uma grande utilização de combustíveis, tornando-se um dos ramos com maior gasto energético (KORONEOS, 2007). De acordo com o Prado e Bressiani (p.10, 2013), esse setor representa 3,3% de toda energia consumida no Brasil e 7,73% de todo o consumo energético do setor industrial.

Com o intuito de melhorar a organização do processo e sustentabilidade das empresas, torna-se necessário o uso de ferramentas que possibilitem o diagnóstico dos impactos ambientais gerados pelos processos produtivos, bem como a análise de implantação de processos tecnológicos que auxiliem nas melhorias ambientais necessárias (RIBEIRO, 2012).

Dentre as alternativas para diagnosticar e possibilitar melhorias ambientais tem-se a Análise de Ciclo de Vida (ACV), que é regulamentada pela Norma ABNT ISO 14.040. Essa ferramenta permite uma avaliação de um processo ou atividade sistemática, a qual quantifica os fluxos de energia e de matérias (que compreende

as matérias primas, resíduos, entre outros) durante o ciclo de vida do produto ou resíduo. (RIBEIRO, 2012).

A indústria da cerâmica vermelha, por ser um dos principais fornecedores do setor de construção civil, pode ser um dos primeiros e principais passos para a inserção da sustentabilidade nesse segmento, sendo que o seu início começa na própria fabricação, e assim dando sequencia nos demais passos desse setor. O melhoramento no processo produtivo substancia a pratica de atividades produtivas e de foco em ações responsáveis do ponto de vista ambiental, que refletem na qualidade do produto final e na redução de efeitos prejudiciais ao meio ambiente (VAN GEMERT, 2013).

Os principais impactos ambientais provocados pela indústria da cerâmica vermelha incluem: a degradação das áreas de extração da argila, que pode levar a destruição do habitat da fauna e flora; alto consumo de energia e água; geração de resíduos sólidos gerados por perdas na qualidade do produto; emissão de poluentes e liberação de gases (CO₂), principalmente na etapa de queima dos produtos. Também no final de vida dos produtos considera-se o impacto gerado pelo descarte decorrente de demolições, reformas, entre outros (VALICHESKI, 2004).

3.2.2 Indústria de cerâmica vermelha e ACV no Brasil

Percebendo a grande importância da ACV, o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental da Associação Brasileira de Normas Técnicas/ CB38 traduziu em 2000 a série de Normas NBR ISO 14.040. Além disso, outra iniciativa foi apoiar a criação da Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV).

Atualmente diversas instituições desenvolvem trabalhos nessa área, buscando o aprimoramento da base conceitual.

No Brasil, vários estudiosos vêm trabalhando com a Análise de Ciclo de Vida na produção de cerâmica vermelha, alguns deles:

- Grigoletti (2001): realizou a caracterização dos principais impactos envolvidos na produção de tijolos, blocos e telhas cerâmicas no estado do Rio Grande do Sul, visando apontar iniciativas adotadas e melhorias a serem incorporadas. Para estudo selecionou um grupo de 8 indústrias de pequeno, médio e grande porte para fazer parte do estudo de caso. Analisou os impactos que dizem respeito à: matéria-prima, fontes energéticas, geração de resíduos, emissão de CO₂,

ambiente de trabalho e produto acabado. Os resultados obtidos mostram que as indústrias possuem iniciativas de baixo impacto ambiental, como o uso de fontes renováveis de energia e resíduos de outras indústrias incorporados a sua matéria-prima. O impacto mais significativo é a degradação da área de retirada de matéria prima, pois as empresas não tem a preocupação no uso correto de técnicas de extração e recomposição da área. No quesito emissão de CO₂, os principais responsáveis são o transporte de matéria prima e a queima de combustível, no forno e no secador.

- Mastella (2002): identificou o impacto de produção, o trabalho comparou a produção de blocos cerâmicos e de blocos de concreto, para alvenaria estrutural, no Estado de Santa Catarina.
- Manfredini (2003): este trabalho analisou dados de 40 indústrias de cerâmica vermelha, de variadas escalas (com produção de 20.000 a 1.500.000 peças/mês) do Rio Grande do Sul, utilizando a Análise de Ciclo de Vida para avaliar cada fase do processo produtivo a fim de obter resultados relativos a recursos naturais, fontes energéticas, geração de resíduos sólidos e emissões gasosas. Os resultados obtidos revelam que a produção de telhas, consome mais energia que a produção de tijolos e blocos cerâmicos. Além disso, foi possível concluir que a maior parte da energia consumida nas indústrias de cerâmica vermelha está relacionada às fases de queima, e em algumas empresas, a secagem artificial, mostrando que o consumo de energia elétrica e óleo diesel são muito inferiores aos da biomassa utilizada na queima.
- Kuasoski (2016): objetivou identificar e analisar as práticas de sustentabilidade adotadas no processo de extração e transporte da argila pelas indústrias de cerâmica vermelha, localizadas no município de Prudentópolis-PR. Para tal, utilizou procedimentos metodológicos descritivos, bibliográficos e o levantamento de dados, abordou utilizando os métodos quantitativos e qualitativos. Os resultados obtidos apontam que os impactos ambientais são inerentes à atividade de extração e transporte da argila, visto que as empresas participantes da pesquisa não tomam nenhum tipo medidas para recuperação da área de exploração.
- Vinhal (2016): realizou um estudo do processo de fabricação de blocos cerâmicos estruturais (do berço ao portão da fábrica) com a finalidade de

averiguar seus principais impactos ambientais e os processos que mais contribuem para esses impactos. Desta forma o estudo foi realizado utilizando a ferramenta ACV, em duas fábricas localizadas no Estado de São Paulo. Com os resultados da AICV, foi possível identificar que a eletricidade é uma das categorias com maior impacto ambiental. O combustível utilizado na queima dos blocos (biomassa), não apresentou impactos ambientais significativos. Desta forma, conclui-se a grande importância da elaboração de um ICV com as características locais, visto que as adaptações realizadas no ICV das fábricas influenciaram diretamente nos resultados da AICV.

Analisando as pesquisas que serviram como embasamento para este trabalho de conclusão de curso, é possível ver a relevância das pesquisas que quantificam e qualificam os impactos ambientais pela produção de cerâmica vermelha. Os resultados mostram que os principais causadores de impactos são a exploração de matéria prima, ou seja, a extração inadequada torna insustentável o processo, outro ponto é a incorporação de energia nos processo.

Dessa forma, torna-se relevante o estudo desses indicadores no polo cerâmico de Prudentópolis, considerando que são fornecedores da grande maioria da região sudeste do Paraná. Os trabalhos citados serviram como comparativos para os resultados obtidos nesse trabalho.

3.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Por volta de 1960, o tema de ACV relacionado a estudos de ordens ambientais começou a ser inserido e utilizado, com fins de analisar energia e recursos aplicados no processo produtivo para avaliar impactos ambientais (GUINÉE et al, 2011).

As regulamentações NBR ISO 14.040 e ISO 14.044 (2009) tratam da Análise de Ciclo de Vida ou Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) como uma compilação e avaliação das entradas e saídas, bem como os impactos ambientais potenciais de um sistema de produção ao longo do seu ciclo de vida. Esse ciclo pode ser considerado desde a matéria prima (berço) até a sua disposição final (túmulo), e

além disso, estabelecem os princípios, a estrutura, os requisitos e orientações para estudos de ACV.

No Brasil, em meados de 1993, a ACV começou a ser discutida dentro de um subcomitê do Grupo de Apoio à Normalização Ambiental – GANA, ligado ao Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT (CHEHEBE, 1998). Em 1999 foi originada a versão brasileira da ABNT NBR ISO 14.040:2009.

De acordo com o IBICT (2015) – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – observou-se que no Brasil houve um aumento da utilização da ACV por parte de acadêmicos, e também por parte das empresas com interesse em promoção da sustentabilidade. Em 2012 foi criada a Rede Brasileira de Avaliação do Ciclo de Vida, que atualmente é coordenada pelo Conselho Empresarial Brasileiro, e tem como objetivo divulgar, estabelecer ações comuns e discutir a ACV para sua melhor utilização no mercado brasileiro (INSTITUTO AKATU; CEBDS; 2016).

No ano 2014, foi criada pelo IBICT em parceria com a Confederação Nacional da Indústria – CNI, a “Cartilha Desenvolvimento Sustentável e Avaliação do Ciclo de Vida”. Este guia contempla a metodologia da ACV baseado em estudos de casos, apontando assim a importância da ACV como ferramenta para a sustentabilidade do ponto de vista econômico, direcionando essas informações para empresários e técnicos dos setores públicos e privados (IBICT, 2014; CNI,2014).

O IBICT em parceria com o Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV), academias, indústrias e parceiros, está desenvolvendo o Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida – SICV Brasil (IBICT, 2014). O SICV conta com poucos inventários, pois está em sua fase inicial de desenvolvimento, e isso gera grande incentivo governamental nas pesquisas para crescimento do inventário de pesquisa.

A NBR ISO 14.040 (ABNT, 2009a), estabelece que a ACV é a “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida”. Considera-se então, a ACV como ferramenta para análise do impacto ambiental gerado por um produto ou processo, compreendendo todas as partes do processo.

De acordo com essa ISO, além das análises ambientais de produtos em diversos pontos de seu ciclo de vida, a ACV auxilia organizações e as indústrias na

tomada de decisões e elaborações de políticas públicas, assim como a definição de prioridade e escolha de indicadores de desempenho.

A ACV compreende a avaliação das etapas produtivas de um produto ou processo, com o intuito de analisar o impacto ambiental envolvido, considerando todas as etapas, como extração de matéria-prima, manufatura, transporte, distribuição, uso, reuso, manutenção, reciclagem e disposição final, como pode ser observado na Figura 1. Com todos esses fatores analisados, é possível quantificar do ponto de vista econômico e ambiental, os impactos ambientais causados por esses processos (CHEHEBE et al, 1998).

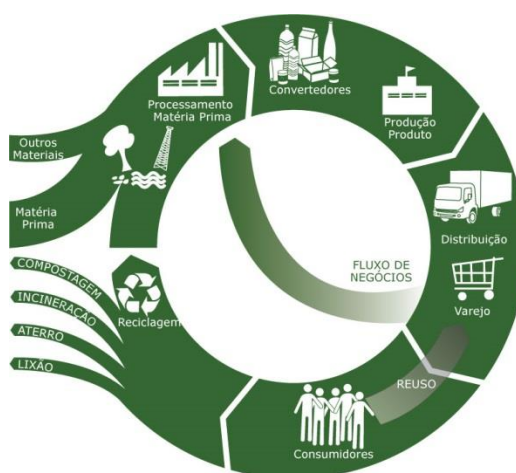


Figura 1 - Ciclo de vida de um produto ou sistema
Fonte: Quantim, 2010.

Do ponto de vista normativo, tem-se a série de normas ISO 14.000 que abrangem além da ACV outros temas. Abaixo estão listadas as principais normas da série relacionadas a ACV:

- NBR ISO 14.040:2009 – Gestão Ambiental – Análise do Ciclo de Vida: Princípios e Estrutura. Esta norma especifica formas para conduzir e relatar estudos de análise do ciclo de vida, não incluindo as técnicas para avaliação da ACV em detalhes.

- NBR ISO 14.044:2009 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida: Requisitos e Orientações. Esta norma detalha as orientações gerais da NBR ISO 14.040.

- NBR ISO 14.045:2014 – Gestão Ambiental – Avaliação da eco eficiência de sistemas de produto: Princípios, requisitos e orientações. Essa forma de avaliação

permite quantificar do ponto de vista de gestão, verificando os impactos ambientais do ciclo de vida de um sistema de produto em conjunto com seu valor. Seu resultado pode ser expresso em termos monetários ou com base em outros aspectos.

- ISO/TR 14.049:2014 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida. Compreende exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT NBR ISO 14.044.

Baseados nas normas ISO 14.040 e 14.044 foram criados manuais para orientar o desenvolvimento de dados e estudos de ACV. Esses manuais são nominados como Manuais do Sistema ILCD – Sistema Internacional de Referência de Dados do Ciclo de Vida de Produtos e Processos (ILCD Handbook – International Reference Life Cycle Data System) fornecem outras orientações necessárias para garantir a coerência das avaliações e sua qualidade, como orientações mais específicas do que as da série ISO, e também contem alguns exemplos e formas mais simples para facilitar a elaboração de estudos de ACV.

De acordo com a norma, a ACV é dividida em quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário do ciclo de vida – ICV, avaliação de impacto de vida – AICV e interpretação dos resultados do ciclo de vida. Todas essas fases estão correlacionadas, enfatizando que cada fase individual depende do resultado das outras fases, na Figura 2 é possível identificar essa correlação.

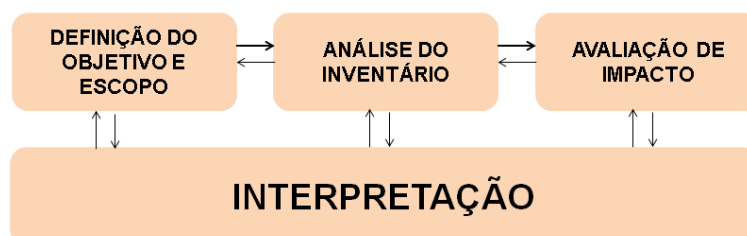


Figura 2: Estrutura da ACV
 Fonte: Adaptado de NBR ISO 14.040 (ABNT, 2009a).

A seguir é apresentado o que cada fase aborda, NBR ISO 14.040, de forma a facilitar o estudo e entendimento.

3.3.1 Definição de objetivo e escopo:

De acordo com o objetivo e escopo escolhido se determina o nível de detalhamento da ACV, esse objetivo deve definir a aplicação requerida, quais motivações para com o estudo e qual o público alvo. O escopo deve ser bem definido, para adequar o nível de detalhamento da ACV que seja compatível com o

objetivo determinado, além disso, deve conter as categorias de impactos escolhidas, bem como deve expor as limitações encontradas, os pressupostos adotados e os procedimentos de alocação quando houver. É nessa fase que se determina o que está sendo estudado, ou seja, onde se toma uma unidade de referencia de um sistema de produto. Além disso, é a fase em que se determina a fronteira do sistema, com o conjunto de critérios que especificam quais processos vão ser analisados.

Os fluxos elementares são materiais ou energia extraídos do meio ambiente e que entram no sistema sem passar por modificação prévia por intervenção humana, ou são liberados para o meio ambiente sem sofrer alteração.

A ferramenta ACV pode ser aplicada em estudos em diferentes etapas do ciclo de vida, podendo a fronteira incluir uma ou mais etapas. Os estudos apenas serão considerados ACV se a fronteira cobrir todo o ciclo de vida do projeto, ou seja, desde o berço até o túmulo, caso seja feita apenas a análise do inventário serão denominados de Estudos de ICV (ABNT, 2009b).

Quando o estudo em questão não cobrir todo o ciclo de vida do produto, adota-se uma unidade declarada, ou seja, seria a unidade específica de um produto, e não da visão geral do processo em que o produto está incluso (SILVA et al, 2016).

3.3.2 Análise de inventário do ciclo de vida (ICV):

Definidos o objetivo e escopo do estudo de ACV, é possível alimentar todas as fases subsequentes do estudo, pois essas informações proporcionam parâmetros mais concretos para ajustes destas.

A fase de inventário do ciclo de vida – ICV abrange a coleta de dados e modelagem do sistema a ser analisado, de acordo com o objetivo e escopo determinados, geralmente essa é a fase que requer mais estudos e recursos (IBICT, 2014).

Inclui também a etapa da ACV em que se quantificam as entradas e saídas de um sistema de produto, sendo assim, são compilados todos os dados coletados, envolvendo os cálculos de todas as variáveis do estudo como entradas de matérias-primas, entradas de energia, transporte, saídas das emissões de gases para a atmosfera, descarga de resíduos sólidos, entre outros insumos do sistema de produto.

Na Figura 3 pode se observar as diferentes entradas e saídas que podem ocorrer em um determinado sistema. Estas variáveis devem ser padronizadas para poder se feita a comparação de sistemas diferentes (FERRÃO, 1998).

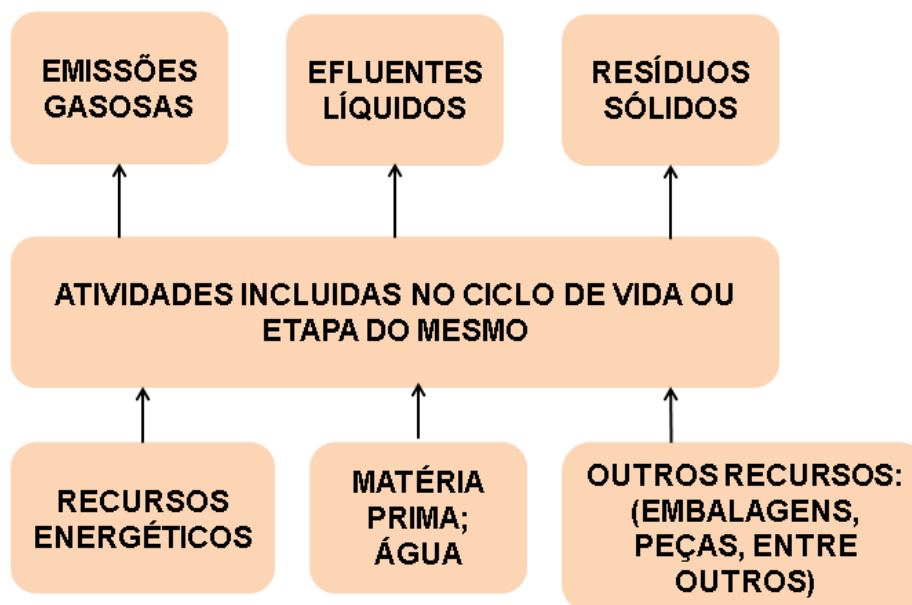


Figura 3: Interação entre o sistema e o ambiente
Fonte: Adaptado de FERRÃO (1998).

O inventário do ciclo de vida tem como objetivo estabelecer uma base de informações do sistema capaz de identificar pontos do processo, para que seja possível identificar oportunidades de redução na demanda de custos e na geração de emissões, ajudando a identificar necessidades para análise do impacto ambiental no ciclo de vida (IBICT, 2009).

Esse estágio é onde serão coletados os dados e compilados, de forma a quantificar as entradas e saídas do sistema como um todo. A coleta de dados relacionando as entradas e saídas do processo envolvem: consumo de matéria-prima, água e energia, uso de recursos, emissão de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, uso do solo, fluxo de produtos, como bens e serviços.

A norma NBR ISO 14.044 (ABNT, 2009b) especifica as fases do ICV quanto a preparação para coleta, validação, correlação aos processos elementares e a unidade funcional, agregação e refinamento dos dados.

3.3.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV):

Essa fase permite com que sejam calculados os indicadores de impacto ambiental associado a estes resultados, por meio de métodos de Avaliação de Impacto de Vida. Dessa forma, torna-se possível a avaliação da significância de impactos ambientais potenciais. Para cada categoria de impacto é escolhido um indicador, e o conjunto dos resultados desses indicadores corresponde aos resultados da AICV.

Cada categoria de impacto relaciona um conjunto de impactos ambientais que reflitam em uma comum ameaça ambiental. Para cada categoria relaciona-se um indicador, que define os parâmetros adotados para cada unidade comum, e refletem uma categoria específica de impacto.

As metodologias de AICV são divididas em métodos “midpoint”, que consideram a composição das substancias para estimativa do seu potencial de impacto ambiental e considera os com maior confiabilidade dos resultados, e “endpoint” que determinam a nocividade das substancias emitidas (EC-JRC, 2010b).

3.3.3.1 Indicadores de avaliação de impacto do ciclo de vida

De acordo com o manual *Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment – background document (EC-JRC, 2010)* para realizar a avaliação de impacto na ACV o processo é dividido em quatro fases. As fases são obrigatórias e seguem a Norma NBR ISO 14.040 (ABNT, 2009a).

De acordo com a Norma NBR ISO 14.040, a primeira fase trata-se da classificação, que correlaciona os resultados do ICV com as categorias de impacto selecionadas, além disso, deve ser feita a caracterização, que se refere aos cálculos dos resultados dos indicadores de categorias. As outras etapas também seguem a Norma, porem não são obrigatórias.

A segunda fase é a normalização, que trata dos cálculos das magnitudes dos resultados e dos indicadores de categorias que relacionam as informações de referência. A fase seguinte é o agrupamento, que relaciona a agregação e possível hierarquização das categorias de impactos. A quarta fase é a ponderação, é nessa fase que se agrega aos resultados dos indicadores as diferentes categorias de impactos, fatores numéricos baseados em escolhas de valores. (ABNT, 2009b)

Desta forma, a AICV inicia-se com a seleção e definição das categorias de impacto, detectando as preocupações ambientais, as categorias e os indicadores que o estudo utilizará.

A NBR ISO 14.025 (ABNT, 2015) divide os dados relevantes da ACV em três categorias. A primeira categoria baseia-se nos dados da análise da ICV, que corresponde aos consumos de recursos, como água, energia e recursos renováveis (entradas) bem como as emissões para água, ar e solo (saídas). A segunda categoria demonstra os resultados do indicador de AICV que apontam os impactos ambientais gerados, que são: alterações climáticas, depleção da camada de ozônio, acidificação do solo e nascentes de água, eutrofização, formação de oxidantes fotoquímicos, depleção de recursos de energia fóssil, recursos minerais entre outros (ABNT,2015).

Com a definição e seleção das categorias de impactos, é feita a classificação dos dados do inventário, ou seja, o agrupamento de dados nas categorias selecionadas, conforme a relação de cada fluxo com sua categoria de impacto associada. Deve-se também fazer a caracterização, que aplica os índices de conversão, fazendo a transposição dos aspectos ambientais em seus impactos correspondentes. Estes índices são definidos a partir dos diversos métodos de AICV disponíveis (ABNT, 2009a).

3.3.4 Interpretação dos Resultados da ACV:

Esse processo consiste em identificar e analisar os resultados obtidos, avaliando se o objetivo inicial foi atendido, assim chegando a conclusões e recomendações.

A interpretação dos resultados determina-se pela análise dos resultados obtidos nas etapas de inventário e avaliação de impactos da ACV. Essa fase que consiste na interpretação de uma ACV deve seguir os seguintes passos: identificar com base nos resultados da análise do inventaria, as questões ambientais mais significativas, outro passo é fazer a avaliação dos dados, relacionando a consistência dos dados sobre as questões ambientais (SEO et al, 2006, ABNT, 2009).

Segundo Bueno (2014) essa fase é composta por três etapas:

- Identificação das questões significativas, como processos, parâmetros e fluxos;

- Avaliação da sensibilidade ou influência nos resultados do estudo da ACV das questões listadas acima;
- Utilização da avaliação feita para formular as conclusões e recomendações a partir do estudo da ACV;

3.4 FERRAMENTAS QUE AUXILIAM A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Com o intuito de desenvolver a ACV, são necessárias informações com finalidade de identificar o potencial de impacto, no decorrer do seu ciclo de vida, ou em parte dele. Com o grande número de informações requeridas para essas análises, são necessárias ferramentas que auxiliem esse processo.

Para o auxílio da elaboração de estudos de ACV, são utilizadas ferramentas, chamadas bancos de dados de inventários. Levando em consideração que é praticamente impossível coletar os dados primários de todos os fluxos abrangentes do sistema (VINHAL, 2016).

Atualmente existem mais de 50 métodos ou ferramentas de AICV disponíveis na Europa. Esses métodos são referentes aos impactos ambientais das avaliações dessas regiões, ou seja, são adaptadas as características desses lugares (EPLCA, 2010). Nota-se a importância de ampliar o escopo de aplicação desses instrumentos, levando em consideração as diferenças espaciais regionais dos demais ambientes mundiais.

Entretanto, existem alguns bancos de dados que possuem cobertura internacional, como o de origem suíça Ecoinvent®, a base de origem alemã Gabi®, entre outras.

Juntamente com os bancos de dados, existem alguns softwares que auxiliam a ACV, unindo os inventários com a aplicação dos métodos de AICV para calcular os impactos ambientais e seus indicadores. Dentre os softwares, contam: Eco-Quantum, Equer, Gabi, Umberto, SimaPro, Matlab dentre outros (TORGAL e JALIALI, 2010).

Avaliando as características disponíveis para os estudos de ACV, o usuário determina qual banco de dados utilizar baseado nos atributos de cada ferramenta aliada aos dados dos processos, observando também as limitações de cada sistema

(CAMPOLINA et al, 2015). Desta forma, esse trabalho adotou a base de dados Ecoinvent® com o auxílio do programa SimaPro para o processo de cálculo, e o mesmos serão apresentados a seguir.

3.4.1 Ecoinvent®

O Ecoinvent® é um banco de dados composto por inventários de ciclo de vida de todos os tipos de produtos e processos. Assim esse banco de dados é utilizado para a declaração dos itens que correspondem cada inventário e respectivamente as quantidades declaradas para cada sistema de produto, descrevendo entradas e saídas de materiais, substâncias e energia. Com esse banco de dados é possível obter o ciclo de vida de vários processos ou produtos (VINHAL, 2016).

O Encoinvent® foi desenvolvido pelo Instituto Federal Suíço para Pesquisa e Testes de Materiais (EMPA) com o apoio de diversos institutos governamentais suíços. Essa ferramenta já conta com sua terceira versão, a atual possui aproximadamente 10 mil inventários.

Para cobrir a grande quantidade de informações, a base de dados do Encoinvent® cobre vários setores (FRISCHKNECHT et al. 2007):

- Material: materiais de construção, plásticos, metais, papel e papelão.
- Energia: energia hidroelétrica, energia proveniente de madeira, energia eólica, energia nuclear, fotovoltaica, aquecimento solar, óleo, gás natural, mix de eletricidade, biocombustíveis, sistema de cogeração em pequena escala.
- Transporte: serviço de transporte.
- Materiais renováveis: madeira, fibras renováveis.
- Químicos: solventes, petroquímicos, detergentes, químicos em geral.
- Gerenciamento de resíduos: tratamento de resíduos.
- Agricultura: produtos e processos agrícolas.
- Engenharia Mecânica: processamento de metais e ar comprimido.

De acordo com Goedkoop et al. (2010) e Frischknecht et al. (2007), o Ecoinvent tem como principais qualidades: abrangência de uma ampla gama de dados; possui disponibilidade em processos unitários e de sistema; aplicação coerente e adequada das fronteiras do sistema e alocação; rotina de cálculo; é bem

documentado; possui informações de bens de capital que são importantes para sistemas de energia e transporte; é atualizado regularmente pelo Centroecoinvet; apresenta um editor (EcoEditor) associado ao MS-Excel que possibilita a modificação e ampliação dos bancos de dados e manifesta um alcance internacional.

Ainda pelo estudo de Frischknecht et al. (2005), a metodologia apresentada pelo Ecoinvent apresenta grande transparência na forma de divulgação das informações que permite uma melhor avaliação dos dados.

3.4.2 Simapro

O software Simapro foi desenvolvido pela empresa PRé Sustainability e é o mais utilizado para Avaliação do Ciclo de Vida (VINHAL, 2016). É uma ferramenta utilizada para coletar dados e analisar dentro dos processos de produção (serviços) e produtos, os desempenhos ambientais juntamente com seus impactos.

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). Com essa ferramenta é possível modelar e analisar diversos ciclos de vida e ainda comparar com outros ciclos já estudados, tudo isso é feito utilizando as recomendações da norma ISO 14.040 (SIMAPRO, 2017).

4 METODOLOGIA

4.1 LOCAL DE ESTUDO

Com a finalidade de escolher o local mais adequado para o estudo de caso, foram levados em consideração alguns fatores como: localização, produção anual, qualidade dos produtos comercializados e viabilidade de estudo.

A cidade para aplicação do estudo foi Prudentópolis, Paraná, que está situada no Segundo Planalto do território paranaense. Sua formação geológica é predominantemente representada por sedimentos e rochas vulcânicas da Bacia do Paraná (MINEROPAR, 2001).

Em Prudentópolis, especificamente nas áreas utilizadas para retirada de matéria argilosa encontram-se as Formações Teresina e Rio do Rastro. A formação Teresina apresenta predominância de camadas intercaladas de calcários e algumas coquinóides (camadas ricas em conchas), e a formação Rio do Rastro apresenta sedimentos arenosos. Com essa formação geológica, o município é formado por um manto com espessura mínima de 10 metros de depósitos de argilas residuais, isso permite a grande retirada de matéria prima para as olarias presentes na região (MINEROPAR, 2001).

Aproximadamente 80 cerâmicas estão em funcionamento nessa área, dentre elas várias com produtos de excelente qualidade. A indústria escolhida para participar da pesquisa foi a Cerâmica Erechim Ltda ME, que apresenta produtos com alta qualidade, controle de produção e de emissão de poluentes.

4.2 DETERMINAÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO DIRECIONADOS AO ESTUDO DE CASO

Para poder entender o ciclo de vida dos blocos cerâmicos produzidos por essa empresa, foi necessário compreender o processo produtivo desses produtos, bem como definir a fronteira de produção que será analisada para atender o objetivo desejado.

A escolha de trabalhar apenas com o processo produtivo dos blocos cerâmicos deve-se ao fato de que o ciclo de vida inteiro do bloco cerâmico é muito extenso, levando em consideração não apenas sua aplicação em uma obra, como também sua segunda vida, que leva em consideração ao processo de reuso desses blocos em outras obras fazendo, por exemplo, a função de agregados.

Para a delimitação da fronteira de produção, foi considerado todo o processo produtivo dos blocos cerâmicos, analisando desde a retirada da argila da jazida até o produto pronto para a comercialização, ou seja, do “berço” até o “portão” da fábrica (*cradle to gate*), como mostrado na Figura 4.

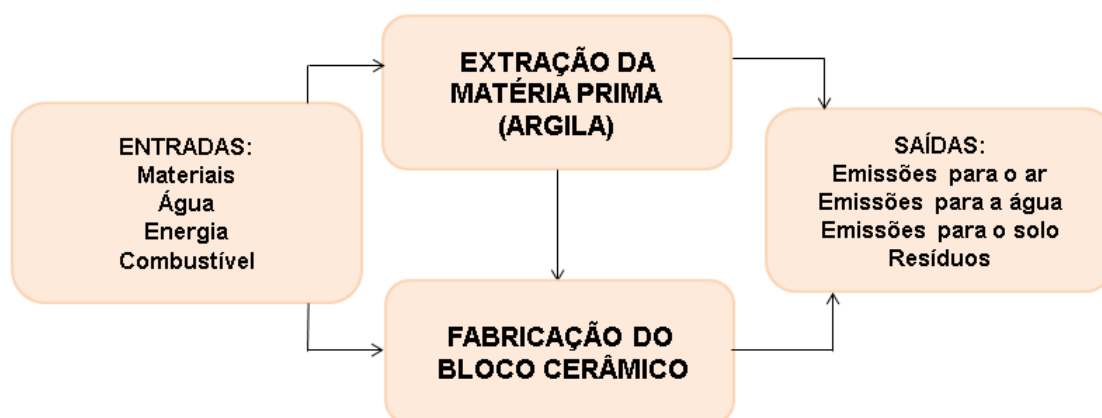


Figura 4 Definição da fronteira da pesquisa
Fonte: Autoria própria (2018).

O ciclo analisado não cobre todo o ciclo de vida do produto, portanto foi feita uma análise do inventário do processo de produção do bloco cerâmico. Desta forma para este projeto, foi analisada cada etapa do processo produtivo com as possíveis entradas e saídas de energia, emissões de poluentes, água e resíduos.

O caminho que a argila faz dentro da fábrica deve ser verificado, para que todas as etapas de produção sejam consideradas. Observando o diagrama a seguir, verifica-se o diagrama que contém o processo de produção usual dos blocos cerâmicos em olarias. Com base na Figura 5 devem ser averiguado quais etapas do processo produtivo demonstrado são utilizadas na empresa.

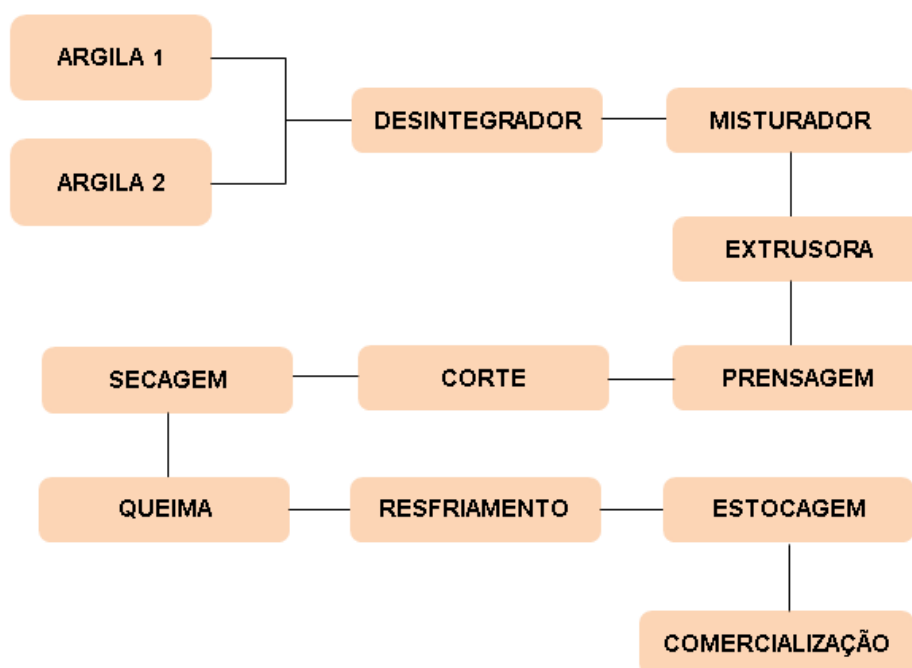


Figura 5 Diagrama das etapas de produção de blocos cerâmicos

Fonte: Adaptado de ABC (2002).

Baseado no diagrama apresentado na Figura 5 pode ser questionado os possíveis fluxos de entrada e saída que estão presentes no processo produtivo dos blocos. Com a fronteira determinada é necessário determinar toda a movimentação dos fluxos para a posterior análise. A Figura 6 demonstra os possíveis fluxos do processo de produção a serem analisados.

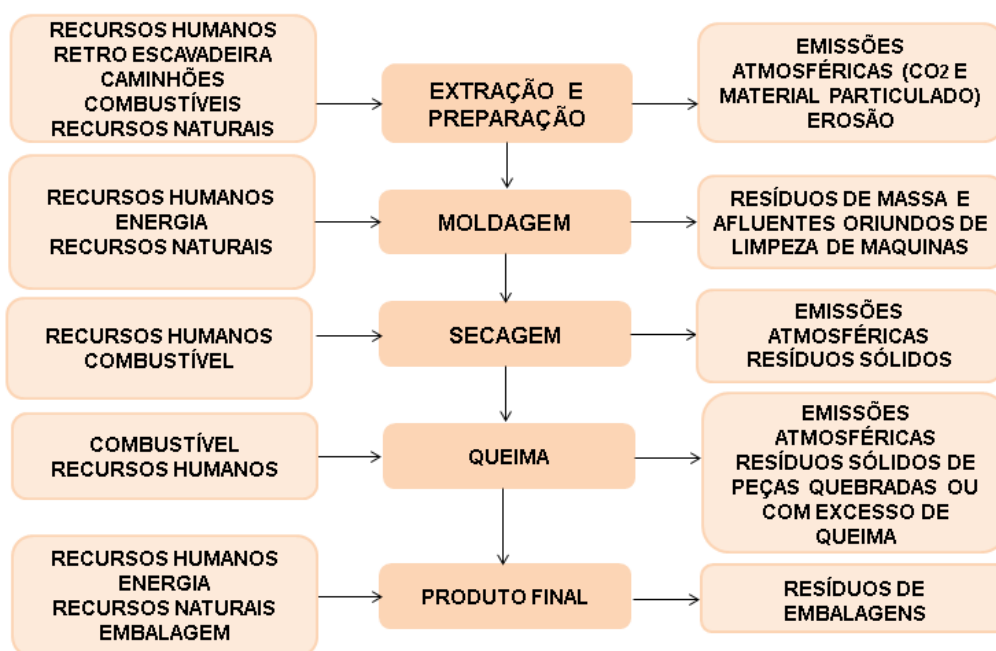


Figura 6 Fluxograma das possíveis entradas e saídas do sistema de produção

Fonte: Adaptado NUNES, M. B. (2012).

A análise dos indicadores ambientais relacionados à fabricação dos blocos cerâmicos foi feita adotando a unidade funcional de “1kg de bloco cerâmico queimado para uso em alvenaria”. A escolha dessa unidade foi feita baseada na comparação com os trabalhos citados no item 2.2.2 e levando em consideração a facilidade de associação das unidades de entrada e saída do sistema.

4.3 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ICV)

A partir da definição da unidade funcional e estudo sobre a fabricação dos blocos cerâmicos, iniciou-se a pesquisa e consultas em inventários para a elaboração do ICV.

4.3.1 Coleta de dados

Com as possíveis etapas do processo produtivo estudado e analisando os possíveis fluxos de entrada e saída dos sistemas, nota-se a necessidade da criação de um questionário a ser seguido para coleta de dados em fábrica.

Esse questionário deve abranger todos os possíveis fluxos e suas quantidades ou medidas, para posteriormente relacionar cada um com a unidade funcional escolhida.

O questionário apresentado no ANEXO A, foi feito adequando o questionário padrão de coleta de dados do IPT, levando em consideração que cada fábrica possui suas particularidades, o questionário foi adequado para abranger as especificidades de cada empresa.

Outro ponto importante na edição do questionário foi levar em consideração o questionário desenvolvido por Vinhal (2016), uma vez que essa pesquisa comparou os resultados obtidos, e para que a comparação seja coerente com os parâmetros utilizados.

Os dados coletados na visita foram referentes a valores médios mensais relacionados a produção de blocos cerâmicos de vedação, com as seguintes dimensões: 11,5 x 14 x 24 cm.

Aplicando esse questionário é possível identificar todas as fases e dados importantes para aplicação da ACV e posteriormente aplica-los no banco de dados do Ecoinvent®.

Na elaboração do inventário, foram considerados os insumos que compõe o processo de fabricação do bloco (argila, água, diesel, gás, pó de serra, *pallet*, filme *stretch*, fita adesiva). Entretanto, foi adotado um critério de corte que desconsidera desse processo os recursos humanos pelo fato de serem inviáveis de serem contabilizados; a porcentagem de perda de blocos na queima, por representarem menos de 3% de toda queima; a utilização de efluentes para limpeza das máquinas, pois a empresa não contabiliza esse processo em seu dia a dia; os insumos utilizados para manutenção do maquinário como óleo lubrificante e graxa, uma vez que a empresa não tem controle dessas manutenções; os blocos refratários utilizado como estrutura dos fornos, pois os fornos são antigos e caso tenha qualquer defeito eles utilizam os próprios blocos produzidos na fábrica para reposição.

Somando esses insumos e fatores que são desconsiderados das entradas finais, tem-se todos os insumos podem ser contabilizados de forma adequada e coerente, não deixando margem para estimativas exageradas.

4.3.2 Base de dados e ICV

Analisando o relatório *Life Cycle Inventories of Building Products – Ecoinvent report* nº 7 (Kellenberger et al., 2007) do Ecoinvent®, percebeu-se a similaridade das etapas do processo de fabricação de blocos cerâmicos da Europa com a do Brasil, isso permitiu escolher um inventário que se aproxime do sistema estudado em questão, que foi o “brick {RoW}/ production/ Alloc Rec, U”. A escolha desse inventário foi feita para que seja feita a comparação com o trabalho de Vinhal (2016).

Para os demais inventários a serem utilizados foi necessário estudar quais informações relativas ao Brasil já estavam disponíveis na base de dados, pois algumas partes do processo ou insumos podem ser diferentes dos encontrados no Brasil.

Como principal exemplo tem-se a matriz energética, é inviável utilizar as matrizes internacionais com relação à energia, uma vez que na Europa por exemplo é utilizada em grande escala a energia nuclear, e no Brasil a mais utilizada é a

energia elétrica proveniente de hidroelétricas. Essa diferença de tipo de energia utilizada pode aumentar ou diminuir os impactos ambientais aqui pesquisados.

Com isso, optou-se por utilizar apenas o ICV nacional para a matriz energética, para os demais foram mantidos as informações dos ICVs de referência, manipulando apenas os dados das quantidades de entradas de insumos, aos quais foram coletadas na fábrica em estudo.

Devem ser apontadas todas as substâncias consideradas tóxicas ou que resultem em impactos ambientais significativos, para isso é necessário considerar a significância ambiental.

4.4 AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA (AICV)

Conforme apresentado, a indústria da construção civil influencia e impacta ambientalmente, e por isso devem ser estudadas formas de prevenir, controlar e preservar o meio ambiente.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que auxilia na gestão ambiental associando produtos ou processo produtivo a potenciais impactos ambientais, de forma a analisar todas as etapas desses processos, ou até mesmo analisando apenas a etapa de produção de um produto (BARBOSA et al, 2012)

Determinando e estudando as entradas e saídas de um processo, pode ser avaliados seus impactos ambientais, a biodiversidade, a saúde humana e outros aspectos, e com esses aspectos quantificados, pode ser tomadas medidas que minimizem seus impactos.

De acordo com os estudos de Torgal e Jalali (2010), as principais categorias de impactos ambientais que são considerados na ACV são: potencial de aquecimento global; consumo de recursos não renováveis e água; eutrofização e acidificação; toxicidade humana e ecológica; redução da camada de ozônio; produção de resíduos; poluição do ar e alteração de habitats.

Para o cálculo do impacto ambiental causado pelo ciclo de vida de um produto, nesse caso pelo ciclo da produção de blocos cerâmicos, devem ser utilizados os indicadores observados em fábrica, para assim associar todas as entradas e saídas de energia e resíduos com as categorias de impactos.

4.5 VISITA À CERÂMICA E APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

No dia 19 de Novembro de 2017 foi realizada a visita à cerâmica Erechim. Nesse dia foi possível acompanhar todo o processo de fabricação dos blocos cerâmicos, coletar amostra do material argiloso que compõe a matéria prima dos blocos, durante o processo de moagem, e aplicar o questionário elaborado (ANEXO A).

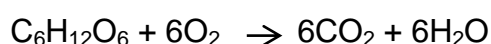
4.6 CÁLCULO DAS SAÍDAS DO SISTEMA

A água consumida durante o processo de fabricação dos blocos cerâmicos foi considerada evaporada durante o processo de secagem e queima dos blocos. Além disso, o processo de combustão durante a queima do pó de serra também libera água.

Para aproximar o valor de evaporação da água dos blocos, foi necessário conhecer a massa dos blocos antes da queima (prontos para secarem, PV) e a massa após a queima (PQ). Considera-se que toda a água que presente na argila evaporou-se durante o processo de secagem e queima, dessa forma:

$$\text{Água presente no bloco} = PV - PQ$$

Para o cálculo da água liberada pela queima da madeira (pó de serra) na queima dos blocos, admitiram-se os seguintes casos: que a madeira seja constituída totalmente por celulose ($C_6H_{12}O_6$) e que a celulose apresenta combustão completa, a porcentagem de hidrogênio encontrada na madeira é cerca de 7% e a massa molar da água (18), como pode-se observar na equação 2:



Realizando o balanço de massa através do consumo de madeira queimada, é possível calcular a emissão de CO_2 . Para isso, considera-se que dos 100% de celulose e que cada para kg de carbono, são emitidos 3,6 kg de CO_2 . Além disso, da massa do combustível (óleo diesel) é liberado 50% de carbono.

Por se tratar de combustão de biomassa, considera-se essa emissão como “carbono biogênico”, ou seja, não é contabilizado nos gases geradores de efeito

estufa levando em consideração que o que é emitido foi absorvido pela árvore durante sua vida.

A emissão de carbono biogênico foi à única emissão ao ar possível de ser computada, pois as emissões de material particulado não são monitoradas pelo fabricante, impossibilitando sua contabilização nas emissões totais. Ainda, a escolha de calcular principalmente a emissão de CO₂ deve-se que segundo o IPCC (2007), é a substância que mais contribui para o aquecimento global.

Todas essas especificações foram adotadas e estudadas baseadas no ICV de referência e no trabalho de Vinhal (2016).

4.6.1 Escolha dos métodos da AICV

Para o cálculo dos indicadores de impactos ambientais potenciais será utilizado os dados apresentados no inventário, e cada indicador se relaciona com uma categoria de impacto. Buscando selecionar os principais aspectos ambientais analisados, foram seguidas as recomendações da NBR ISO 14025 (ABNT, 2015).

Com essas recomendações foram escolhidos os seguintes aspectos ambientais: consumo de água; consumo de recursos naturais; consumo de energia; geração de resíduos sólidos; emissões gasosas; aquecimento global; destruição da camada de ozônio; acidificação; eutrofização; oxidação fotoquímica; consumo de água/retirada de água; depleção de recursos abióticos; depleção de recursos fóssil; geração de resíduos; ecotoxicidade e toxicidade humana (ANICER, 2014; NUNES, 2012; SEBRAE, 2008; ABNT, 2015; BOVEA et al. 2007; BRIBIÁN et al. 2011; ALMEIDA et al. 2010; IBANÉZ-FORÉS et al. 2013; BARBOSA et al. 2012; QUANTIS, 2012; BUENO, 2014).

Conferindo os métodos adotados no Ecoinvent®, nota-se que para o Brasil e outros países da América do Sul, não são encontrados métodos específicos de AICV.

Considerando que para as especificações brasileiras não foram encontrados os métodos foi escolhido adotar nesse trabalho os métodos com abrangência global, dessa forma os métodos selecionados foram: CML-IA *baseline*, EDIP 2003, USEtox 2 e IPCC 2013. Os três primeiros métodos indicados foram indicados por Mendes et al (2016) para serem utilizados para o cenário Brasileiro.

O EDIP 2003 foi escolhido, pois é relacionado a produtos industriais e é uma versão atual do método EDIP 97 para o banco de dados atual do Ecoinvent® e a versão do SimaPro®.

Para a categoria de aquecimento global o método escolhido foi o IPCC 2013, que é um dos métodos com atualização mais recente e que possui a estimativa de dados de projeção para 100 anos. Já o USEtox 2 foi adotado pois caracteriza de forma distinta para cada regiões o método, quando a relação à toxicidade.

Com relação à retirada dos recursos do ambiente que implica na disponibilidade do estoque total de recursos naturais, como exemplo a argila, a categoria de depleção de recursos se encaixa. Dessa categoria têm-se algumas vertentes que podem ser classificadas como recursos renováveis (bióticos) e não renováveis (abióticos), como exemplo os combustíveis fósseis.

A depleção da camada de ozônio também é outro ponto escolhido para ser levado em consideração, entendendo que sua existência é vital para a vida na terra.

Para os impactos referentes à adição de substâncias que podem alterar os sistemas terrestres naturais, será abordada a categoria de eutrofização. Já os impactos causados pela emissão de ácidos químicos no ar e que aumentam a acidez dos sistemas de água e solo, são representados pela categoria de acidificação.

Com relação às emissões de produtos químicos no ambiente e suas consequências, se encaixa as categorias de ecotoxicidade. Para investigar os efeitos da exposição humana a produtos químicos têm-se os índices toxicológicos

Com a escolha das categorias de impactos e os métodos de AICV adotados, tem-se a relação entre eles e suas devidas unidades de referência como mostrado na Tabela 4:

Tabela 1 Métodos e Categorias de impactos da AICV

| MÉTODOS DE AICV | CATEGORIAS DE IMPACTOS | UNIDADE |
|-------------------|---|--------------------------|
| CML - IA baseline | Depleção de recursos abióticos (combustíveis fósseis) | MJ |
| | Depleção de abióticos | kg Sb eq |
| | Depleção da camada de ozônio | kg CFC-11 eq |
| | Eutrofização | kg PO ₄ ---eq |

| | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| EDIP 2003 | Acidificação | m ² |
| | Oxidação fotoquímica | m ² .ppm.h |
| | Resíduos em massa | kg |
| | Resíduos perigosos | kg |
| | Resíduos radioativos | kg |
| | Recursos (todos) | PR-2004 |
| USEtox 2 | Ecotoxicidade (água) | cases |
| | Toxicidade humana (não cancerígeno) | cases |
| | Toxicidade humana (cancerígeno) | PAF.m ³ .day |
| IPCC 2013 - 100 anos | Aquecimento global | kg CO ₂ eq |

Fonte: Autora (2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

5.1.1 Retirada de matéria prima da jazida e transporte

A matéria prima é retirada de uma jazida localizada a 6 km de distância da cerâmica, localizada na BR 373 km 276, com aproximadamente 50 mil m² de área a ser explorada e 25 metros de profundidade, estima-se que essa jazida possa suportar a exploração por 65 anos, e até o presente momento foram extraídas matéria-prima por 3 anos. Para a retirada da argila é utilizado um caminhão basculante.

O processo de retirada é feito aproveitando todas as camadas de argila, para que não seja preciso adicionar outro material que entra no misturador. Dessa forma são extraídas camadas de argila, cada uma com aproximadamente 3 metros de profundidade que compõe a mistura para o processo de fabricação.

Após a retirada da matéria prima da jazida, a argila é colocada em um caminhão com capacidade de 7 m³. A retirada do material é feita de acordo com a demanda de produção, ou seja, nos meses quentes (Outubro a Março) a produção é maior, resultando em aproximadamente 15 viagens desse caminhão até a cerâmica, repetidas 4 vezes por mês. Porém em meses frios a demanda diminui, fazendo que o processo de retirada e transporte até a fabrica seja realizado apenas 2 vezes no mês.

Na Figura 7, pode-se notar o trajeto que o caminhão deve percorrer da jazida até a cerâmica.



Figura 7 Distância entre a jazida e a cerâmica
Fonte: Acervo do Autor (2017)

Pode se observar nesse processo as entradas e saídas de recursos. Como entrada tem-se: combustível para os caminhões, trocas de óleo e manutenção para os mesmos. Já na parte das saídas tem-se: emissão de gases produzidos pelos caminhões e o impacto ambiental causada pela retirada do material do solo.

5.1.2 Armazenamento de matéria prima

Após a retirada da matéria prima da jazida e do transporte até a cerâmica, o material deve ser armazenado para posterior uso. O armazenamento é feito em dois espaços, o primeiro em espaço aberto (Figura 8), e o segundo em local coberto (Figura 9), dessa forma os materiais vão sendo misturados para obter uma homogeneidade e um teor de humidade adequado para a conformação dos blocos. Essas verificações das propriedades da argila são feitas pelos colaboradores da empresa, sem usar qualquer método laboratorial



Figura 8 Armazenamento de matéria prima a céu aberto
Fonte: Acervo do Autor (2017)

Observa-se que a matéria prima possui colorações diferentes, isso deve-se ao fato de que na retirada é priorizada a retirada em camadas para obter uma matéria homogênea e proporcional, dessa forma não é necessária a mistura de argilas retiradas de outras jazidas. Observa-se que nessa fase não se encontram incorporações de entrada nem de saída.



Figura 9 Armazenamento feito em local coberto
Fonte: Acervo do Autor (2017)

5.1.3 Moldagem dos blocos cerâmicos

As porções de argila trazida da jazida encontram-se compactadas, e devem ser destorroados e desintegrados, para que se obtenha uma mistura adequada de todo o material. Como pode observar na Figura 10, todo esse processo destorroamento e homogeneização são feitos com o auxílio do moinho de mandíbula, que funciona através de energia elétrica e não emite nenhum poluente.

Para o funcionamento dessa máquina é necessário uma reserva de água para resfriar o motor. A água utilizada nesse processo é proveniente de coleta da chuva por meio das calhas localizadas na cobertura da indústria. A água coletada fica armazenada em uma caixa d'água com capacidade de 750 litros, localizada ao lado da máquina, portanto a água utilizada vem de forma limpa (sem passar pela agência coletora e distribuidora de água da região) e sem custo adicional ao processo. Além disso, a máquina necessita de troca de óleo, que deve ser realizada uma vez ao ano.



Figura 10 Processo de desintegração, mistura e extrusão
Fonte: Acervo do Autor (2017)

Após esse processo a argila é transportada através de esteiras que as leva a extrusão e moldagem dos blocos. Inicialmente a moldagem é feita pela boquilha acoplada na saída da extrusora, formando blocos contínuos como mostrado na Figura 11. As boquilhas são trocadas a cada 6 meses, de acordo com a recomendação do fabricante. Para cada tamanho são compradas 2 boquilhas, para que as peças não tenham distorções de dimensões e nem causem defeitos de fabricação nos blocos moldados.

No decorrer desse processo não é adicionado água, ou seja, a matéria prima utilizada para a fabricação dos blocos cerâmicos é apenas a argila retirada da jazida. Uma amostra de material retirada da extrusora mostrou que essa matéria possui uma umidade média de 13,5%, essa água em excesso é evaporada no processo de secagem.



Figura 11 Processo de moldagem dos blocos cerâmicos
Fonte: Acervo do Autor (2017)

Com a moldagem contínua dos blocos e seguindo a esteira, é feito o corte dos blocos no tamanho programado na máquina, cada tamanho relacionado ao tipo de bloco produzido, como apresentado na Figura 12.



Figura 12 Corte dos blocos cerâmicos
Fonte: Acervo do Autor (2017)

Esse processo é feito da mesma forma para todas as formas e tamanhos dos produtos cerâmicos da fábrica. Após o corte, os blocos são levados em prateleiras para a secagem com auxílio de uma empilhadeira. Caso algum dos blocos esteja deformado ou apresente alguma característica indesejada, o bloco é colocado novamente no compartimento de extrusão para que não se tenha perda de material e para que possa ser reutilizado.

Analisando todos esses processos é possível verificar as entradas nesse sistema como: energia elétrica para o funcionamento da máquina, água para resfriar o motor, troca de óleo anual da máquina e o gás que é combustível para a empilhadeira.

No processo de saídas tem-se: os resíduos das moldagens e a emissão de poluentes relacionados à utilização da empilhadeira.

5.1.4 Secagem

O processo de secagem dos blocos cerâmicos é feito ao ar, ou seja, os blocos são dispostos em prateleiras até que a queima seja realizada, como observado na Figura 13.



Figura 13 Armazenamento e secagem dos blocos cerâmicos
Fonte: Acervo do Autor (2017)

Nessa fase do processo não são encontradas entradas nem saídas que interfiram no ciclo de vida do produto final.

5.1.5 Queima

Com os blocos secos ao ar, o próximo passo é a queima. A queima é feita em fornos (Figura 14) na temperatura aproximada de 800°C, com capacidade de aproximadamente 2.400 blocos, estimando a queima de aproximadamente 400 mil blocos cerâmicos por mês, realizando a queima cerca de 5 vezes por semana.

O combustível utilizado para a queima é o pó de serra (serragem). Esse material é encontrado como resíduo da fabricação de moveis nas cidades onde são entregues os blocos. Um exemplo é o caso da cidade de Coronel Vivida onde o mesmo veículo que transporta e entrega os produtos nos locais de venda na cidade é utilizado para trazer o combustível de queima para os fornos no retorno à fabrica. São utilizados em média cerca de 1500m³ de serragem por queima.

Nesse processo têm-se entradas de: combustível através do pó de serra, do combustível utilizado no transporte do pó de serra e a troca de óleo do caminhão utilizado nesse processo. Para saídas tem-se: a emissão de poluentes dos fornos e dos caminhões e os resíduos sólidos da queima.



Figura 14 Forno utilizado para queima dos blocos cerâmicos
Fonte: Acervo do Autor (2017)

Entretanto, como a empresa tem o cuidado de fazer anualmente ensaios ambientais relacionados a emissões de poluentes da queima das peças cerâmicas nos fornos, todas as emissões verificadas encontram-se dentre dos valores de referencia mínimos, que seria o valor de emissão de monóxido de carbono com limite de 3000 mg/Nm³ e respeitando o valor limite de Oxigênio que é de 17% da totalidade de emissão da amostra coletada.

Estima-se que a produção possui uma perda menor que 0,5% da sua produção total, proveniente de defeitos nos blocos, tanto na etapa de secagem quanto de queima.

5.1.6 Embalagem e armazenamento

Após a queima, os blocos resfriam ao ar e são embalados utilizando *pallets*, filme *stretch* e fita colante (Figura 15). Cada *pallet* suporta 760 blocos que são embalados pelo filme e vedados pela fita, evitando perdas no processo de transporte. Esse processo também facilita o carregamento e descarregamento dos blocos.

Dessa forma, pode-se considerar como entradas nessa parte do sistema os materiais para embalagem e transporte dos mesmos até a cerâmica e para a saída as emissões causadas por esse transporte e os resíduos dessas embalagens.



Figura 15 Blocos embalados prontos para venda
Fonte: Acervo do Autor (2017)

Analisando todo esse processo produtivo é possível relacioná-lo ao fluxograma das entradas e saídas do sistema (Figura 16), tendo assim os dados necessários para escolher qual módulo do banco de dados do Ecoinvent® mais se adequa a produção estudada.

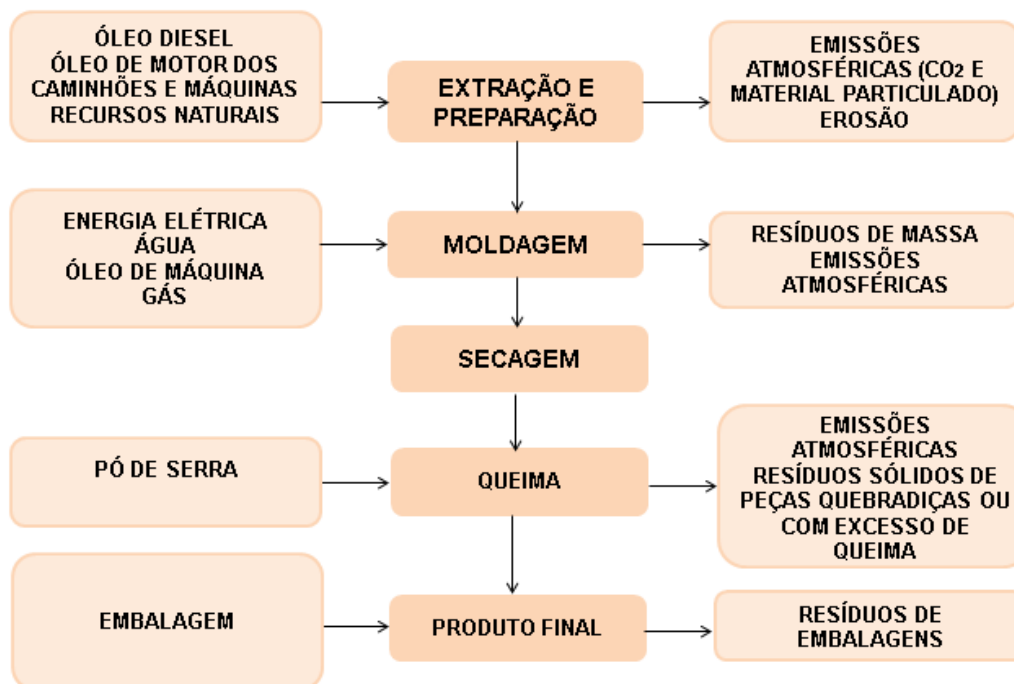


Figura 16 Fluxograma das entradas e saídas do sistema de produção
Fonte: Acervo do autor (2018).

5.2 DETERMINAÇÃO DAS ENTRADAS

Analisando todo o processo produtivo apresentado no item 4.1, tem-se que as entradas no processo produtivo são: eletricidade, diesel, argila, gás GPL, madeira (pó de serra), peças de aço para manutenção, fita plástica (embalagem), *pallets*, molde de aço, água e transporte dos insumos.

5.2.1 Eletricidade

O quantitativo de consumo de eletricidade foi feito a partir das contas de energia elétrica disponibilizadas pelo fabricante, nessa conta consta o consumo total (equipamentos elétricos e infraestrutura da fábrica) de energia elétrica em kWh.

No processo de produção e fornecimento de energia elétrica, foi utilizado os dados de inventário de energia brasileiro “*Electricity, medium voltage {BR} | market for | Cut-off, U*” encontrados no Ecoinvent®.

5.2.2 Diesel

Para determinar o consumo de diesel utilizado na fábrica, foi necessário contabilizar o consumo de todos os equipamentos, esses dados são do consumo médio mensal de todos os processos que utilizam diesel na fábrica.

Adotou-se uma combustão padrão para o cálculo das emissões associadas. Como será utilizado os padrões do inventário de referência, o módulo utilizado foi o “*Diesel, burned in building machine {GLO} | market for | Cut-off, U*”. Outra medida adotada foi o poder calorífico do diesel de 35,5 MJ/L, que auxiliou na transformação da unidade informada pelo fabricante (litros) para a unidade do Ecoinvent® (MJ).

5.2.3 Argila

A quantidade de argila consumida foi informada pelo fabricante baseada nas anotações e relatórios de consumo, também foi assumido um consumo médio mensal para essas medidas.

O módulo que representa a produção argila foi o “*Clay {RoW} | clay pit operation | Cut-off, U*” e já constava no inventário de referencia do Ecoinvent® e assume a ocupação e transformação do solo necessária para a extração de 1 kg de

argila, além da recuperação da área explorada e do diesel utilizado nessas operações.

5.2.4 Gás GPL

O gás liquefeito de petróleo (GLP), utilizado para locomoção da empilhadeira foi calculado levando em consideração a quantidade média mensal de gás utilizado, informado pelo fabricante.

5.2.5 Pó de serra

O módulo utilizado para representar a produção de lascas de madeira e pó de serra foi o “*Wood chips, wet, measured as dry mass {RoW} | wood chips production, softwood, at sawmill | Cut-off, U*”. Esse módulo contabiliza a operação para produzir 1 kg de lascas de madeira e inclui lubrificantes, máquina para picar a madeira e eletricidade.

5.2.6 Peças de aço

Segundo os dados fornecidos pelo fabricante, apenas se tinha o controle dos moldes utilizados na extrusora, entretanto o consumo de peças para manutenção não era controlados. Dessa forma, seguindo o inventário de referência o módulo utilizado foi “*Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} | market for | Cut-off*”.

5.2.7 Fita plástica

Para as fitas plásticas na embalagem, utiliza-se o módulo “*Polyethylene, high density, granulate {RoW} | production | Cut-off, U*”, e corresponde fabricação de 1 kg deste material.

5.2.8 Pallet

Os *pallets* utilizados são feitos de madeira, por isso foi quantificado o consumo e transporte desses até a fábrica, segundo o fabricante apenas 30% dos *pallets* é reutilizado, pois geralmente as empresas que compram os blocos acabam não devolvendo, por isso o valor do *pallet* já está incluso no valor final dos produtos.

Baseado no inventário de referencia, o módulo utilizado para representar a produção dos *pallets* foi “*EUR-flatpallet {RoW} | production | Cut-off, U*”.

5.2.9 Água

Á água utilizada na fábrica é proveniente de coleta de água da chuva, como apresentado no item 4.1.3, o módulo utilizado referente a esse consumo de água foi o “*Water, well, inground, BR*”, como entrada direta da natureza.

5.2.10 Transporte de insumos

Para o transporte dos pallets, fita plástica e pó de serra, foi utilizado o módulo “*Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {RoW}| transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 | Cut-off, U*”.

Esse módulo europeu escolhido corresponde a realidade brasileira no quesito emissões atmosféricas.

Todas as escolhas de entradas foram feitas adequadas ao inventário de referencia e as escolhas feitas por Vinhal (2016), para a comparação adequada dos resultados.

5.3 ESTRUTURAÇÃO DO INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA

Com o objetivo de verificar a colaboração de cada uma das categorias de impacto ambiental, todos os insumos de entrada apresentados no item 4.2 foram contabilizados no sistema de estudo para a unidade funcional de “1 kg de bloco cerâmico queimado para uso em alvenaria”.

Todos os dados apresentados a seguir são referentes à produção média mensal da fábrica e associados a todas as entradas apresentadas anteriormente, adequando cada dado de entrada com os módulos coerentes do Ecoinvent®, bem como o método de cálculo adotado para cada item.

Na Tabela 1 encontram-se os dados de entrada de inventário referente à produção de blocos cerâmicos e na Tabela 2 encontram-se os dados relacionados às saídas (emissões) do sistema.

Tabela 2 Dado das ENTRADAS da produção dos blocos cerâmicos.

| DADOS DE ENTRADA DO INVENTÁRIO DA PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS | | | | | |
|--|------------------------|------------|---------|--|---|
| ENTRADA | | QUANTIDADE | UNIDADE | MÓDULO DO ECOINVENT | MÉTODOS DE CÁLCULO |
| 1 | Eletricidade | 5,94E-03 | kWh | Electricity, medium voltage {BR} market for Cut-off, U | Média entre a quantidade de kWh gasto médio mensal pela produção média mensal de blocos. |
| 2 | Diesel | 3,88E-02 | MJ | Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, U | Soma de consumo de diesel em todo o maquinário dividido pela quantidade de blocos produzidos. Poder calorífico do diesel brasileiro = 35,5 MJ/L. |
| 3 | Argila | 1,20E+00 | kg | Clay {RoW} clay pit operation Cut-off, U | Peso dos blocos verdes (antes da queima) menos o peso queimado, obtém-se a quantidade média de argila em cada bloco. |
| 4 | Pó de serra | 1,96E-01 | kg | Wood chips, wet, measured as dry mass {RoW} wood chips production, softwood, at sawmill Cut-off, U | O consumo de pó de serra foi contabilizado por meio da soma de consumo dos meses coletados (kg) dividido pela soma da produção dos mesmos meses (kg). |
| 5 | Transporte pó de serra | 4,76E-02 | tkm | Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 3 {ROW} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 3 Cut-off, U | Distância média entre as empresas que fornecem o pó de serra e a cerâmica, considerando que o caminhão vai cheio e volta vazio. |
| 6 | Gás GLP | 5,05E-03 | MJ | | Consumo médio de Gás pela quantidade média de blocos produzidos. Poder calorífico do gás brasileiro = 48,12 MJ/kg. |
| 7 | Peças de aço | 1,49E-05 | kg | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for Cut-off, U | Adotado o valor original do Ecoinvent®. |
| 8 | Fita plástica | 3,83E-04 | kg | Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, U | Consumo médio mensal (kg) dividido pela produção média mensal de blocos (kg). |

| | | | | | |
|---|--------------------------|----------|-----|---|--|
| 9 | Transporte fita plástica | 4,60E-05 | tkm | Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 3 {ROW} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 3 Cut-off, U | Distância média percorrida pelo transporte até a fábrica, considerando que o caminhão vai cheio e volta vazio. |
|---|--------------------------|----------|-----|---|--|

Tabela 3 Dado das ENTRADAS da produção dos blocos cerâmicos (continuação).

| DADOS DE ENTRADA DO INVENTÁRIO DA PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS | | | | | |
|--|-------------------|------------|----------------|---|--|
| ENTRADA | | QUANTIDADE | UNIDADE | MÓDULO DO ECOINVENT | MÉTODOS DE CÁLCULO |
| 10 | Pallet | 5,25E-04 | Un. | EUR-flat pallet {ROW} production Cut-off, U | O consumo de pallets foi calculado através da soma do consumo médio mensal (un.) dividido pela produção média de blocos (kg) |
| 11 | Transporte pallet | 1,57E-03 | tkm | Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 3 {ROW} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 3 Cut-off, U | Distância média percorrida pelo transporte até a fabrica, considerando que o caminhão vai cheio e volta vazio. |
| 12 | Água | 6,56E-07 | m ³ | Water, well, in ground, BR | Consumo médio mensal dividido pela produção média mensal de blocos. |

Fonte: Autora (2018).

Tabela 4 Dado das SAÍDAS da produção dos blocos cerâmicos.

| DADOS DE SAÍDA DO INVENTÁRIO DA PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS | | | | | |
|--|----------------|------------|----------------|-------------------------|--|
| SAÍDA | | QUANTIDADE | UNIDADE | MÓDULO DO ECOINVENT | MÉTODOS DE CÁLCULO |
| 1 | Água evaporada | 0,000169 | m ³ | Water/m3 | Considerou-se que toda a água presente no bloco evaporou, assim com a diferença entre o peso verde e seco do bloco pode-se estimar a quantidade de água por kg de bloco. |
| 2 | Água evaporada | 0,000247 | m ³ | Water/m3 | Água gerada pela queima do pó de serra, considerando 7% de hidrogênio presente na madeira, massa mola da água (18) apresentados na equação 2. |
| 3 | Dióxido de | 3,59E-01 | kg | Carbon dioxide,biogenic | Considerando que a madeira é constituída 100% de celulose, e que |

| | | | | | |
|---|----------------|---|----|---------------------------------------|--|
| | carbono | | | | para cada kg de C (ou de combustível) são emitidos 3,6 kg de CO ₂ , e 50% de C na massa de combustível e desta combustão serão emitidos CO ₂ . |
| 4 | Bloco cerâmico | 1 | kg | Brick {BR} production Alloc Rec, U | Fabricação de 1 kg de bloco cerâmico. |

Fonte: Autora (2018).

Nas tabelas apresentadas, pode-se observar todos os fluxos que causam impactos na produção de blocos cerâmicos, observando que mesmo sendo valores pequenos, todos tem grande significância e influenciam no impacto final gerado por essa produção.

Para o dado de entrada do Gás GLP utilizado na empilhadeira, não foi possível encontrar um módulo no Ecoinvent® apropriado, pois mesmo tendo muitos módulos no banco de dados relacionados a essa utilização, pois não houve tempo suficiente para estudar o *dataset* e adequá-lo ao cenário brasileiro.

Comparando os dados de entrada e saída correspondentes à cerâmica estudada com os valores obtidos das duas cerâmicas estudadas por Vinhal (2016), que são apresentadas com a nomenclatura de Máximo e Mínimo, pode-se perceber que nem todas entradas são as mesmas nos dois trabalhos. Como por exemplo: na cerâmica Erechim é utilizado Gás GLP para o funcionamento da empilhadeira, entretanto nas duas cerâmicas estudadas pela pesquisadora essa entrada não é encontrada.

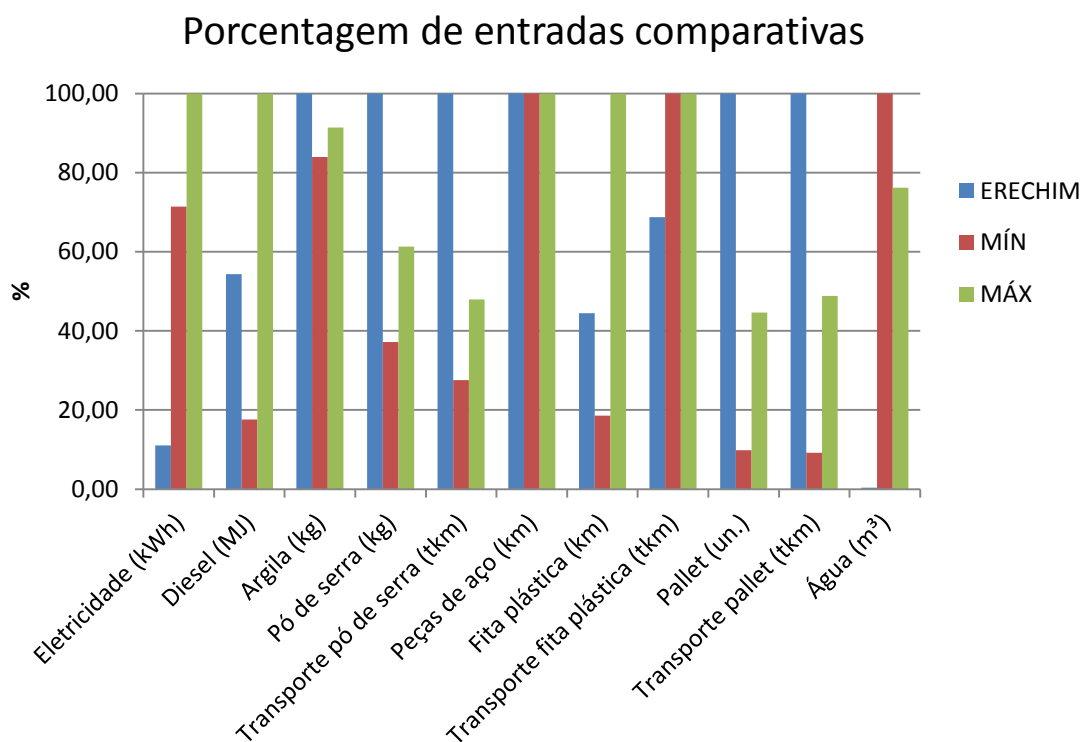
Outro exemplo é que a pesquisadora considera os blocos refratários que compõem os fornos para queima dos blocos, já no caso da cerâmica Erechim foi desconsiderada essa entrada, pelos motivos já comentados no item 3.4.1.

Na Figura 17 pode-se observar o comparativo entre as entradas comuns entre as 3 cerâmicas abordadas.

Além das entradas que diferem nos processos apresentados, outro elemento que não foi de comum acordo entre as empresas foi o cálculo do óleo lubrificante, óleo hidráulico e graxa utilizados na manutenção das máquinas da empresa. Na empresa Erechim não é feito esse controle, portanto foi escolhido não computar essas entradas, por esse motivo não é feita a comparação com as fábricas abordadas pela pesquisadora.

Observando os dados apresentados na Figura 17 é possível identificar a diferença entre os valores obtidos mesmo sendo produções com parâmetros iguais.

Figura 17 Comparação entre os valores de ENTRADA das cerâmicas estudadas



Fonte: Autora (2018).

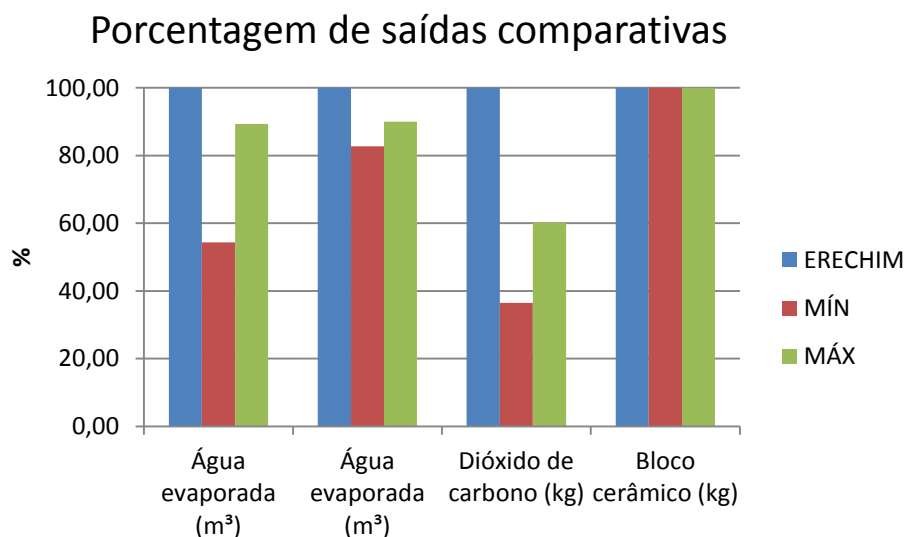
Analisando os parâmetros com maior disparidade nos valores pode-se observar a Eletricidade, levando em consideração que as duas fábricas que apresentam maiores valores são as estudadas por Vinhal (2016) e que estão localizadas em estados diferentes da cerâmica Erechim, dessa forma a prestadora de serviço relacionada à energia podem calcular de formas diferentes a quantidade equivalente de kWh para indústrias.

Já os valores relacionados ao consumo de Óleo Diesel pode-se alterar levando em consideração a distância entre as jazidas e as fábricas, o que acarreta em maior ou menor gasto de Óleo Diesel.

O dado com maior diferença de valores é água, isso se explica devido ao fato de que na cerâmica Erechim não é adicionado água a massa de argila para fabricação dos blocos, enquanto as outras cerâmicas comparadas fazem essa adição de água e por isso apresentam maior adição de água para cada kg de bloco.

Na Figura 18 é possível verificar o comparativo entre as saídas do processo produtivo dos blocos cerâmicos nas três cerâmicas

Figura 18 Comparação entre os valores de SAÍDA das cerâmicas estudadas



Fonte: Autora (2018).

Como é possível observar, os valores obtidos são semelhantes e que mesmo com a não adição de água na massa de argila da produção da cerâmica Erechim, os valores são similares, dessa forma é possível afirmar que a umidade presente na argila da cerâmica Erechim é suficiente para a conformação dos blocos.

As emissões de dióxido de carbono (CO₂) apresentam proporções maiores na cerâmica Erechim, pode-se concluir que esse fato ocorre por apresentar maior utilização de pó de serra no processo de queima, e que realmente essa queima libera mais CO₂ que o uso de óleo diesel no maquinário da empresa.

Comparando os dois trabalhos, convém observar que a maioria dos produtores cerâmicos brasileiros não faz controle de emissão de poluentes e de material particulado. A empresa Erechim faz controle anual de emissão de poluentes como embora esse controle seja feito superficialmente é uma boa iniciativa para todas as empresas da área.

Observando a divergência de dados e das entradas, é evidente que para um melhor resultado e com uma abrangência melhor, deve-se cada vez mais pesquisar sobre a produção brasileira para inclusão nos bancos de dados do Ecoinvent®.

5.4 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO CICLO DE VIDA (AICV)

Conforme indicado na Figura 2, a avaliação dos impactos ambientais é o último passo no processo de avaliação do ciclo de vida de um produto ou processo. Dessa forma, utilizando todos os dados de entradas e saídas apresentados no item 4.4, é possível calcular os impactos gerados pelo processo analisado.

5.4.1 AICV do processo produtivo de blocos cerâmicos

Com a escolha dos métodos e impactos para análise do ICV coletado sobre a produção de 1 kg de bloco cerâmico da empresa Erechim Ltda. ME, localizada na cidade de Prudentópolis, Paraná, e com o auxílio do software SimaPro® foram obtidos valores que representam essa produção, como pode-se observar na Tabela 5:

Tabela 5 AICV de 1 kg de bloco cerâmico

| MÉTODOS DE AICV | CATEGORIAS DE IMPACTOS | QUANTIDADE | UNIDADE |
|--------------------------|---|------------|--------------------------------------|
| CML - IA <i>baseline</i> | Depleção de recursos abióticos (combustíveis fósseis) | 4,67E-01 | MJ |
| | Depleção de abióticos | 2,96E-07 | kg Sb eq |
| | Depleção da camada de ozônio | 4,13E-09 | kg CFC-11 eq |
| | Eutrofização | 6,41E-05 | kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq |
| EDIP 2003 | Acidificação | 3,43E-03 | m ² |
| | Oxidação fotoquímica | 4,21E-01 | m ² .ppm.h |
| | Resíduos em massa | 1,19E-02 | kg |
| | Resíduos perigosos | 8,35E-07 | kg |
| | Resíduos radioativos | 2,36E-06 | kg |
| | Recursos (todos) | 1,42E-05 | PR-2004 |
| USEtox 2 | Ecotoxicidade (água) | 1,35E-03 | cases |
| | Toxicidade humana (não cancerígeno) | 2,78E-11 | cases |
| | Toxicidade humana (cancerígeno) | 9,15E-12 | PAF.m ³ .day |
| IPCC 2013 - 100 anos | Aquecimento global | 3,46E-02 | kg CO ₂ eq |

Fonte: Autora (2018).

Observando os resultados apresentados na Tabela 5 pode-se concluir que para a produção de 1kg de bloco cerâmicos os valores menos significantes são relacionados à Toxicidade humana (cancerígeno e não cancerígeno), com isso

percebe-se que essa produção não tem impacto relevante quanto à intoxicação humana quanto à emissão de produtos químicos.

Outra categoria que apresentou valor significativamente baixo foi a Depleção da camada de Ozônio, uma vez que durante o processo de fabricação dos blocos é feita a queima, além disso, todo o processo de transporte acontece por utilização de combustíveis fósseis. O fato de não conseguir considerar a utilização do Gás GLP, pode ter causado distorção nesse valor, entretanto aponta-se que o processo produtivo num contexto geral não influencia significativamente na destruição da camada de Ozônio.

Comparando os dados obtidos pela fabricação de 1 kg de bloco da Cerâmica Erechim com o trabalho apresentado por Vinhal (2016) é possível visualizar através da Tabela 6 a diferença dos dados de impactos comparando o processo produtivo semelhante em fábricas diferentes:

Tabela 6 Comparativo das categorias de impactos para as três fábricas

| MÉTODOS DE AICV | CATEGORIAS DE IMPACTOS | QUANTIDADE | | | UNIDADE |
|--------------------------|---|------------|-----------|-----------|--------------------------|
| | | ERECHIM | FÁBRICA A | FÁBRICA B | |
| CML - IA <i>baseline</i> | Depleção de recursos abióticos (combustíveis fósseis) | 4,67E-01 | 3,36E-01 | 3,83E-01 | MJ |
| | Depleção de abióticos | 2,96E-07 | 3,32E-08 | 2,11E-08 | kg Sb eq |
| | Depleção da camada de ozônio | 4,13E-09 | 3,06E-09 | 3,31E-09 | kg CFC-11 eq |
| | Eutrofização | 6,41E-05 | 3,78E-05 | 3,71E-05 | kg PO ₄ ---eq |
| EDIP 2003 | Acidificação | 3,43E-03 | 1,45E-01 | 1,69E-01 | m ² |
| | Oxidação fotoquímica | 4,21E-01 | 1,57E-02 | 1,70E-02 | m ² .ppm.h |
| | Resíduos em massa | 1,19E-02 | 5,10E-03 | 3,25E-03 | kg |
| | Resíduos perigosos | 8,35E-07 | 4,44E-07 | 3,19E-07 | kg |
| | Resíduos radioativos | 2,36E-06 | 1,75E-06 | 1,85E-06 | kg |
| | Recursos (todos) | 1,42E-05 | 3,04E-06 | 2,40E-06 | PR-2004 |
| USEtox 2 | Ecotoxicidade (água) | 1,35E-03 | 1,23E-03 | 4,59E-04 | cases |
| | Toxicidade humana (não cancerígeno) | 2,78E-11 | 5,98E-12 | 4,25E-12 | cases |
| | Toxicidade humana (cancerígeno) | 9,15E-12 | 6,77E-12 | 3,55E-12 | PAF.m3.day |
| IPCC 2013 - 100 anos | Aquecimento global | 3,46E-02 | 2,63E-02 | 2,62E-02 | kg CO ₂ eq |

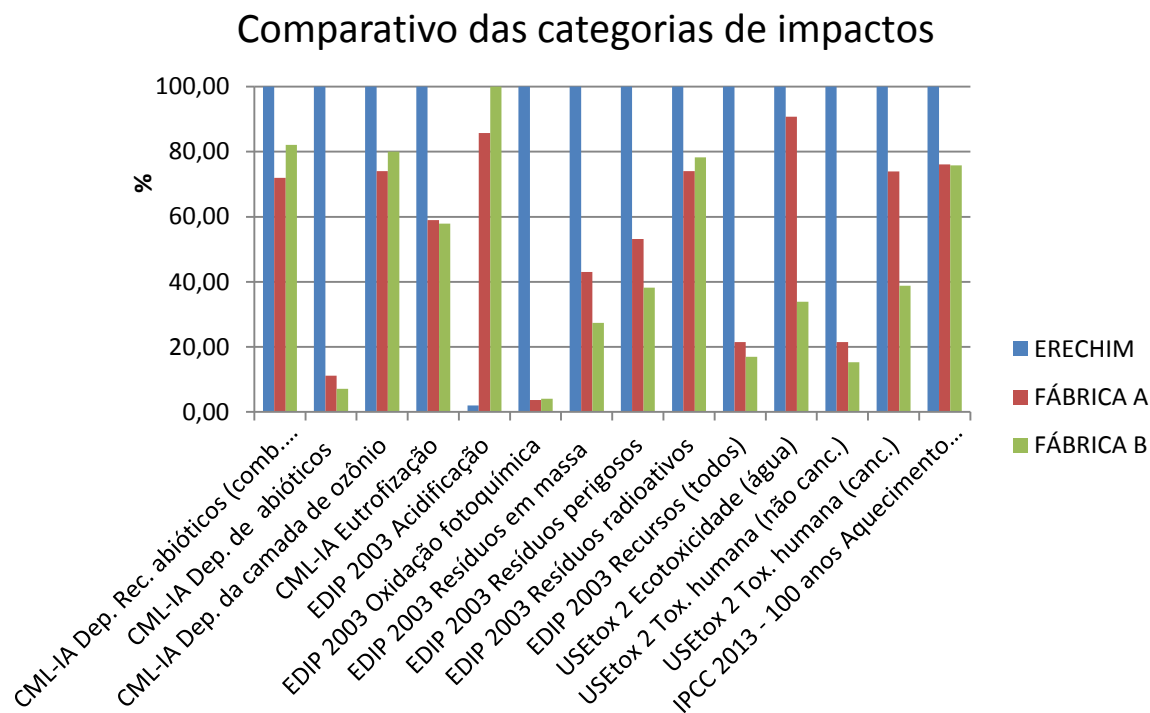
Fonte: Autora (2018).

Observando os valores obtidos de impactos nas fábricas pode-se perceber que a maior discrepância é apresentada nos seguintes itens: Depleção de abióticos, Acidificação e Oxidação fotoquímica.

A justificativa para essa variação de valores deve-se a vários fatores, como por exemplo: o diferente local de estudo, a não inclusão de algumas entradas na empresa Erechim que são apresentadas nas outras empresas. Esse último caso influencia em algumas categorias, porém como um dos objetivos desse trabalho é comparar as pesquisas num âmbito geral e analisar se mesmo trabalhando com regiões diferentes os dados permanecem coerentes, dessa forma o estudo continua com seu propósito e valida os dados encontrados.

Para facilitar a visualização da diferença desses valores de AICV, foram relacionados os maiores valores como referência, de acordo com cada categoria de impacto analisado e gerado um gráfico que é apresentado na Figura 19.

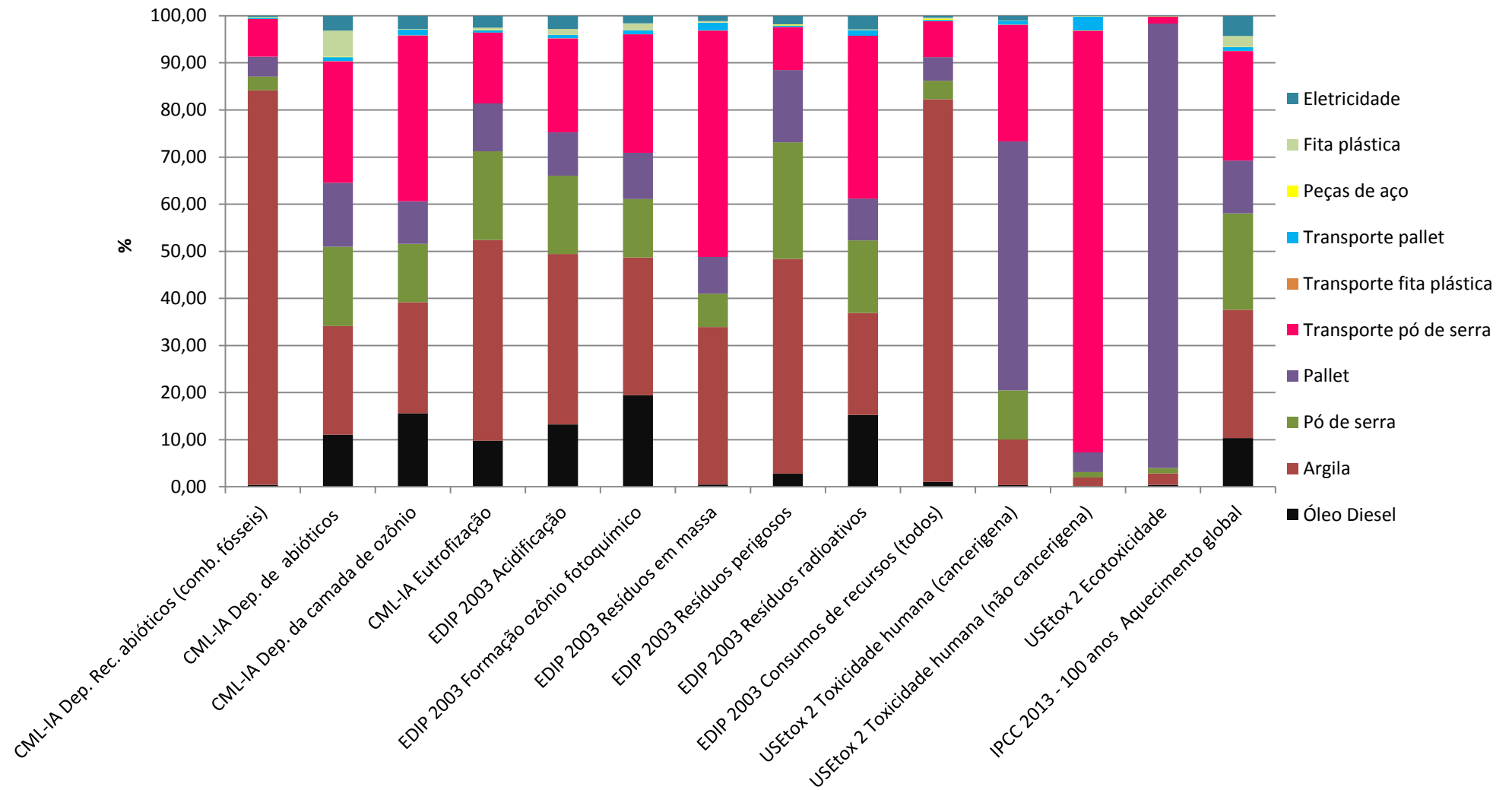
Figura 19 Comparativo das categorias de impactos ambientais para as três fábricas



Fonte: Autora (2018).

A Figura 20 apresenta o gráfico com a porcentagem de cada insumo de entrada no sistema, ou seja, a influência de cada entrada para geração de impacto, dessa forma facilitando o estudo de qual a influência e significância de cada entrada no sistema geral.

Figura 20 Gráfico da influência de cada entrada na AICV



Fonte: Autora (2018).

Observando a Figura 20 é possível verificar qual entrada tem maior influência em cada categoria de impacto. De acordo com a figura, a entrada que tem maior impacto na categoria Resíduos de massa é o transporte do pó de serra com 48% seguido da argila com 33%. Já para os Resíduos perigosos tem-se a Argila 45% e o Pó de serra 25%. Dos Resíduos radioativos o que mais se destaca é o Transporte do pó de serra 35%.

Pode-se perceber também que o impacto de Ecotoxicidade apresentou a maior diferença entre os insumos, pois o pallet foi responsável por 94% do total, essa contribuição pode ser explicada devido ao fato de que é utilizada resina fenólica na fabricação dos mesmos.

Como observado a Argila é causadora de maior impacto nas categorias de Depleção de recursos abióticos (combustíveis fósseis) 84%, Eutrofização 43%, Acidificação 36%, Consumo de recursos 81%, Depleção da camada de Ozônio 24%.

Já nas categorias de Toxicidade humana, as que mais colaboraram para a cancerígena é o *pallet* 53% e para a não cancerígena é o transporte do pó de serra 90%. Na categoria de Depleção de abióticos nota-se que a distribuição dos causadores desse impacto é distribuída entre Transporte do pó de serra 26%, Argila 23%, Pó de serra 17% e *Pallet* 14%. Para a Formação de Ozônio fotoquímico os dois grandes causadores são a Argila 29% e o Transporte do pó de serra 25%.

O impacto do Aquecimento global, que leva em conta uma estimativa para cerca de 100 anos, apontou que seus maiores causadores são: Argila 27% que pode ser justificada pela sua retirada do ambiente, causando desmatamento e exploração da superfície terrestre; o Transporte do pó de serra 23%, devido ao fato da distância percorrida pelo transporte e emissões de poluentes da utilização do óleo diesel como combustível e o Pó de serra 20%.

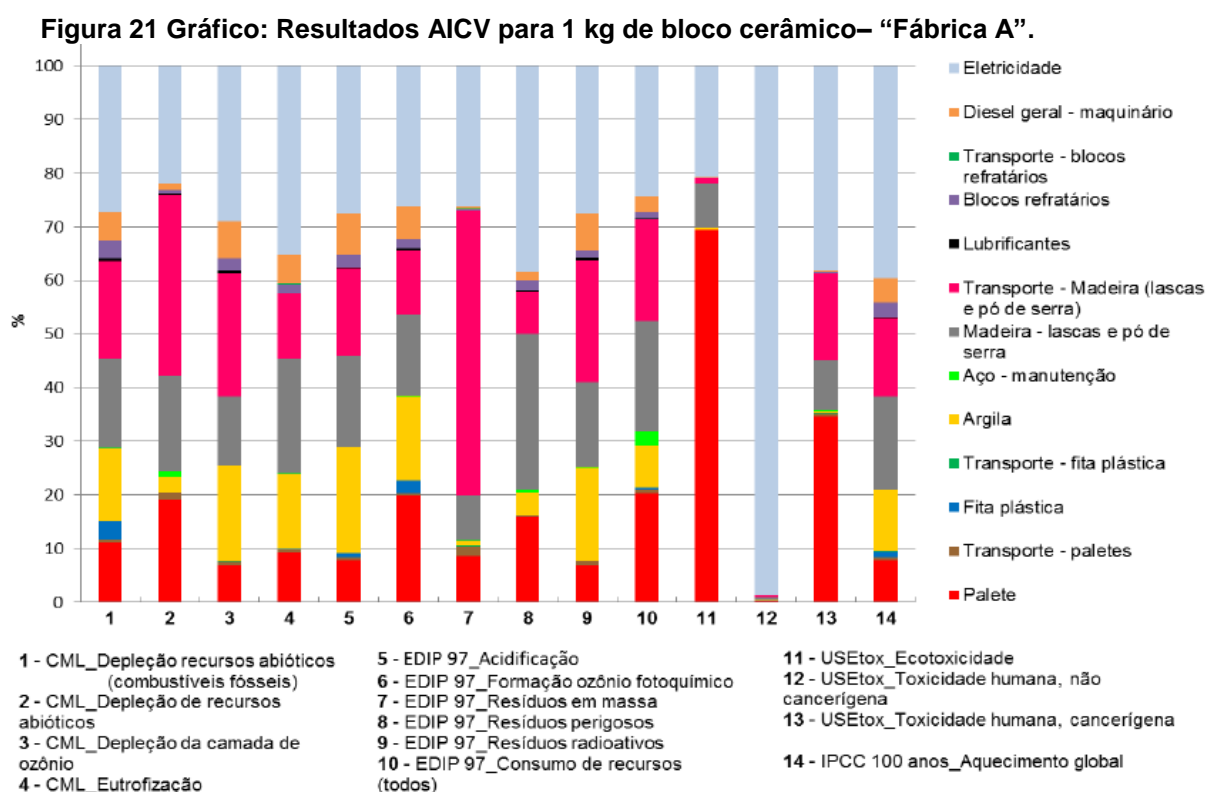
Pode-se perceber que o Transporte do pó de serra foi fator de grande impacto em algumas categorias, porém no caso da fábrica Erechim, o transporte é feito na volta das entregas dos blocos, ou seja, o caminhão vai cheio de blocos cerâmicos para a Cidade de Coronel Vivida e volta carregado de Pó de serra, dessa forma o caminhão vai cheio e volta cheio, entretanto como o estudo contempla apenas o processo produtivo e não o transporte dos blocos, tornando inviável fazer essa contabilização, justificando assim a escolha do módulo do transporte como indo vazio e voltando cheio.

Das entradas apresentadas, nota-se que as peças de aço são as que apresentam menor contribuição de impactos, sua maior contribuição é na categoria de Consumo de recursos com 0,23%, isso implica que sua não contabilização no processo não faria diferença em nenhum dos impactos estudados.

O transporte da fita plástica e do *pallet* também não influenciam significativamente em nenhuma categoria de impacto, visto que suas contribuições não passam de 3%.

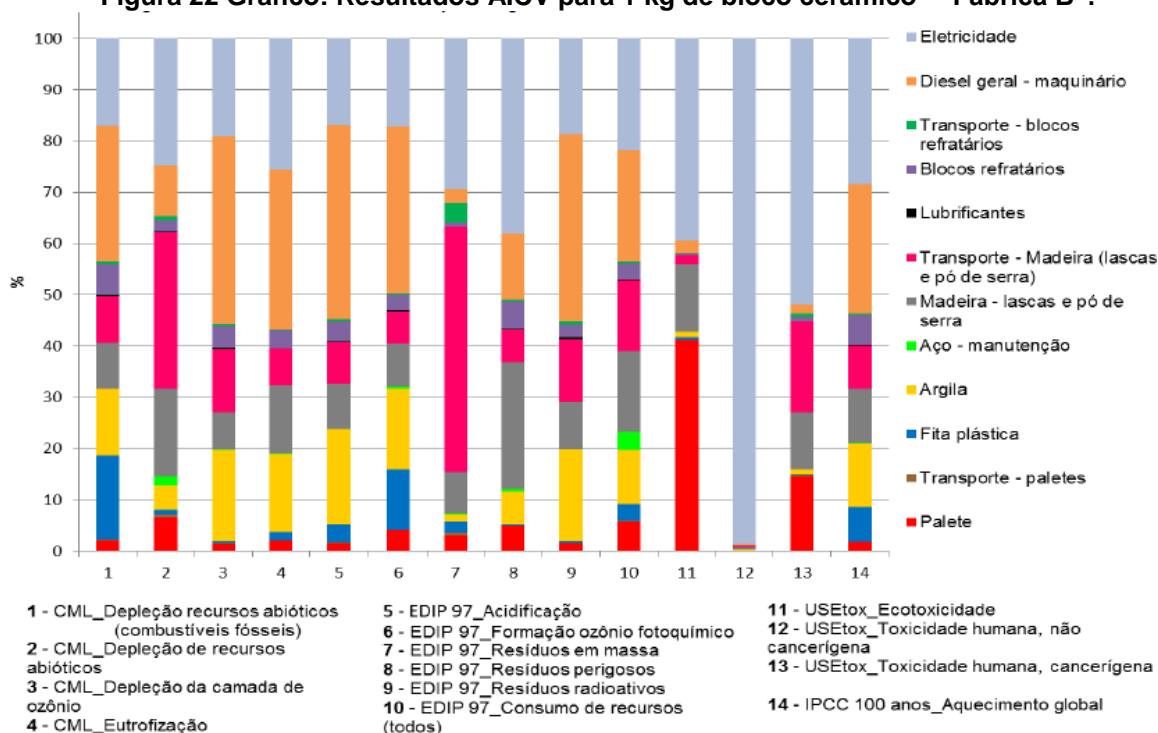
De todas as contribuições apresentadas em cada impacto, percebe-se que a solução mais pertinente para redução de redução dos impactos seria o maior controle na utilização dos pallets, visto que podem ser feitos projetos e controles para sua reutilização ou quando não puder mais ser reutilizado ser utilizado como combustível para a queima dos blocos cerâmicos.

Comparando os dados obtidos nos impactos referentes a cada entrada, pode ser feita a comparação com o trabalho de Vinhal (2016), na Figura 21 são apresentados os dados obtidos para a Fábrica A e na Fi,,3,gura 22 para a Fábrica B.



Fonte: Vinhal (2016).

Figura 22 Gráfico: Resultados AICV para 1 kg de bloco cerâmico– “Fábrica B”.



Fonte: Vinhal (2016).

Observando os gráficos das Fábricas A e B e comparando com o gráfico da cerâmica Erechim, na categoria de impacto de Ecotoxicidade a entrada mais representativa da cerâmica Erechim é o pallet o que acontece também nas outras duas fábricas. Entretanto na categoria de Toxicidade humana (não cancerígena) das duas fábricas a entrada mais representativa é a Eletricidade, já na cerâmica Erechim é o transporte do pó de serra.

Comparando todos os dados apresentados nos três gráficos fica visível a diferença entre alguns impactos e suas entradas. De forma geral é possível afirmar que utilizando os mesmo parâmetros foi possível estudar casos parecidos, em estados diferentes, cada um com suas particularidades, além disso, os resultados obtidos são todos satisfatórios e coerentes.

6 CONCLUSÕES

No Brasil o método de construção mais utilizado é a alvenaria feita com blocos cerâmicos, com sua grande utilização é necessária quantificar seu impacto ambiental no presente momento. Visto que a vida útil de um bloco cerâmico não acaba após a demolição de uma obra, pois pode ser reutilizado como agregado em outras obras, e sua ampla utilização em vários tipos de obras, torna-se inviável avaliar todo ciclo de vida. Entretanto, o estudo dos impactos ambientais causados pela sua fabricação proporciona meios de analisar quais melhorias podem ser tomadas pelos fabricantes para que se diminua esses impactos, que são agregados ao ciclo de vida do bloco cerâmico.

Visto isso, este trabalho teve como objetivo analisar todo o processo produtivo do bloco cerâmico na Cerâmica Erechim Ltda ME, localizada na cidade de Prudentópolis, Paraná, coletar dados de sua produção para identificação dos insumos de entrada e saída do sistema, produzir um inventário desse ciclo de produção e dessa forma assimilar todo esse processo com os impactos ambientais pertinentes a serem estudados.

Uma questão de real importância é com relação à complexidade de estudar a Avaliação do Ciclo de Vida de produtos e processo, levando em consideração que a maioria dos dados de bancos de dados são internacionais e que os dados que necessitam ser coletados nem sempre são possíveis de serem conseguidos, dessa forma dificultando a comparação desses processos com os já feitos em outros países.

Com os resultados da AICV desse estudo, é notável a importância da elaboração de um ICV considerando as características singulares de cada local de estudo, pois mesmo comparando estudos semelhantes cada produção tem sua especificidade.

Esse estudo permitiu verificar o quanto cada entrada no sistema implicou nos impactos avaliados, mostrando que o processo de produção de blocos cerâmicos apresenta em sua maior parte, que os indicadores de impactos ambientais são causados por entradas adjacentes a fabricação.

Com esse estudo foi possível também verificar quais medidas o fabricante poderia tomar para que esse impacto fosse diminuído. Com os dados da AICV

verificou-se que diminuindo a utilização de *pallets*, ou fazendo controle de reutilização haveria uma modificação nesses impactos, visto que dos insumos de combustível de queima, do maquinário e da utilização de energia são inviáveis de serem modificados na produção.

Além disso, fazendo a análise comparativa dos dados do ICV e AICV com os da autora Vinhal (2016), é possível notar que os processos de produção de blocos cerâmicos são muito similares produzindo variação apenas nos fatores energéticos e hídricos. Porém, os resultados da AICV não podem ser completamente comparados devido a atualização frequente do banco de dados Ecoivent®.

REFERÊNCIAS

_____. ISO/TR 14049: **Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida — Exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT NBR ISO 14044 à definição de objetivo e escopo e à análise de inventário**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **Metodologia Padrão para Elaboração de Inventários de Ciclo de Vida da Indústria Brasileira** – Documento Consolidado. Projeto “SICV Brasil – Sistema de Inventários do Ciclo de Vida Brasil”. 228 p. Brasília, 2009.

_____. NBR ISO 14025: **Rótulos e declarações ambientais – Declarações ambientais de Tipo III - Princípios e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR ISO 14040: **Análise do Ciclo de Vida: Princípios e Estrutura**. Rio de Janeiro, 2009a.

_____. NBR ISO 14044: **Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro, 2009b.

_____. Resolução nº 01/2012: **Plano de Ação Quadrienal 2012-2015 do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV)**. 2p. Brasília, 2012.

ABC. **Informações técnicas: processo de fabricação – fluxogramas – fluxograma 1 – processo de fabricação de cerâmica vermelha**. São Paulo, 2002.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14001: **Sistema de Gestão Ambiental – Requisitos com orientação para uso**. Rio de Janeiro, 2015.

ALMEIDA, M. I.; DIAS, A. C.; ARROJA, L. M.; DIAS, B. **Life cycle assessment (cradle to gate) of a Portuguese brick**. Em: Portugal SB10: Sustainable Building Affordable to all – SB10, 2010, Vilamoura, Portugal, p. 17-19, Anais. SB10, 2010.

Anicer - Associação Nacional da Indústria Cerâmica; SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresa. **Cartilha Ambiental – Cerâmica Vermelha**. Brasil, 2014.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE CERÂMICA. São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica

ANUÁRIO ESTATÍSTICO: Setor Transformação Não Metálicos/ Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. 2006 – Brasília: SGM, 2016 – 27,3 cm.

BARBOSA, P. P.; SILVA, T. L.; GALASSI, C.; LUZ, S.; DE ANGELIS NETO, G. **Análise dos impactos ambientais da produção de blocos.** Em: III SIMPÓSIO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA – SIMPEGEU, 2012, Maringá, Anais... SIMPEGEU, 2012.

BENITE, Anderson. **Emissões de carbono e a construção civil.** São Paulo: CTE (Centro de Tecnologia de Edificações), 2011. Disponível em: <http://www.cte.com.br/imprensa/2011-02-27-emissoes-de-carbono-e-a-construcao-civ/>>. Acesso em: Jan. de 2018.

BOVEA, María-Dolores; SAURA, U., FERRERO, J. L., GINER, J. **Cradle-to-gate study of red clay for use in the ceramic industry.** The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 12, n. 6, p. 439-447, 2007.

BRIBIÁN, I. Z.; CAPILLA, A. V.; USÓN, A. A. **Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential.** Building and Environment: Local, v. 46, p. 1133– 140, 2011.

BUENO, C. **Avaliação de Ciclo de Vida na Construção Civil: Análise de Sensibilidade,** 2014. Tese (Doutorado em Ciências da Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo.

CAMPOLINA, J. M.; SIGRIST, C. S. L.; MORIS, V. A. S. **Uma revisão de literatura sobre softwares utilizados em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 735-750, mai-ago. 2015.

CAVALCANTI, Clóvis. (org.). **Desenvolvimento e Natureza: estudos para uma sociedade sustentável.** São Paulo: Cortez, 2003.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise de Ciclo de Vida de Produtos – ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro, Quality Mark Ed. 1998.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). **Projeto de avaliação de ciclo de vida modular de blocos e pisos de concreto**. 2014. 93p.124

CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (CONMETRO). Resolução nº 04/2010: **Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV)**. 6p. Brasília, 2010.

COZZA, E. **Golpe da Mesmice: Construtoras Podem Driblar as Adversidades se Apostarem na Re-valorização da Atividade e na Busca por Mercados Inexplorados**. São Paulo: UNIEMP, 2006. p. 9-16. (Inovação em Construção Civil).

DURÃO, V. L. **Análise comparativa de sistemas centralizados e descentralizados de valorização de chorumes de suinoculturas, utilizando o software Umberto**. 2009. 105f. Dissertação apresentada na Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Lisboa, Portugal, 2009.

JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION - EC-JRC. **Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment - background document**. ILCD Handbook - International Reference Life Cycle Data System, European Union. 2010b.

E. S. M.; KULAY, L. A. **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: FERRAMENTA GERENCIAL PARA TOMADA DE DECISÃO**, 2006.

FERRÃO, P.C. **Introdução à gestão ambiental: a avaliação do ciclo de vida dos produtos**. Lisboa: IST Press, 1998. 219p.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. **Apostila**. Disponível em: <<http://www.ia.ufrj.br/ppgea/conteudo/conteudo-2012-1/1SF/Sandra/apostilaMetodologia.pdf>>. Acesso em Mar. de 2018.

FRISCHKNECHT, R., JUNGBLUTH, N. & ALTHAUS H.-J., DOKA G., DONES R., HISCHIER R., HELLWEG S., NEMECEK T., REBITZER G. and SPIELMANN M., 2007. **Overview and Methodology. Final report ecoinvent data v2.0**, No. 1., Dübendorf, CH: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

FRISCHKNECHT, R.; JUNGBLUTH, N.; ALTHAUS, H. J; DOKA, G.; DONES, R.; HECK, T.; HELLWEG, S.; HISCHIER, R.; NEMECEK, T.; REBITZER, G.; SPIELMANN, M. The ecoinvent Database: Overview and Methodological Framework. *International Journal Life Cycle Assessment*, v. 10, n° 1, p. 3 – 9, 2005.

FRISCHKNECHT, R.; JUNGBLUTH, N.; ALTHAUS, H.J.; DOKA, G.; HECK, T.; HELLWEG, S.; HISCHIER, R.; REBITZER, G. SPIELMANN, M.; WERNET, G. **Overview and Methodology. Ecoinvent report, N.1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories**, 2007.

GIL, Antonio C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 1994.

GOEDKOOOP, M.; SCHRYVER, A. D.; OELE, M.; DURKSZ, S.; ROEST, D. **Introduction to LCA with SimaPro 7. USA, PRé Consultants**, 2010. p.88.

GOMES, C. F. **Argilas: O que são e para que servem**. 1.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1986.

GRIGOLETTI, G. C. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha no Estado do Rio Grande do Sul**, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GUINÉE, J. B.; HEIJUNGS R.; HUPPES, G. **Life Cycle Assessment: Past, Present and Future. Environmental Science & Technology**, v 45, n.1, pp. 90-96, Iowa, janeiro de 2011.

IBÁÑEZ-FORÉS, V.; BOVEA, M. D.; AZAPAGIC, A. **Assessing the sustainability of Best Available Techniques (BAT): methodology and application in the ceramic tiles industry**. *Journal of Cleaner Production*, v. 51, p. 162-176, 2013.

INSTITUTO AKATU. Disponível em: <[http://www.akatu.org.br/Temas/Cadeias - Produtivas/Posts/Nova-rede-de-empresas-pretende-popularizar-pratica-de-analise-deciclo-de-vida-de-produtos-no-Brasil](http://www.akatu.org.br/Temas/Cadeias-Produtivas/Posts/Nova-rede-de-empresas-pretende-popularizar-pratica-de-analise-deciclo-de-vida-de-produtos-no-Brasil)>. Acesso em Out. de 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IBICT). **Diálogos setoriais Brasil e União Europeia: Desafios e soluções para o fortalecimento da ACV no Brasil**. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. Brasília, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IBICT) /CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Desenvolvimento Sustentável e Avaliação do Ciclo de vida**. 33p. Brasília, 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: Synthe Report**. 104p. Genève, 2007.

KIM, J.J.; RIGDON, B. Qualities, Use and Examples of Sustainable Building Materials. In: UNIVERSITY OF MICHIGAN. **Sustainable Architecture**. Ann Arbor: **National Pollution Prevention Center for Higher Education/University of Michigan**, 1998.

KORONEOS, Christopher; DOMPROS, Aris. **Environmental assessment of brick production in Greece**. **Building and Environment**, v. 42, n. 5, p. 2114-2123, 2007.

KUASOSKI, M. **Adoção de práticas de sustentabilidade nas indústrias de cerâmica vermelha do município de Prudentópolis-Pr**, 2016. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Comunitário) Universidade Estadual do Centro-Oeste.

LAGO, A.; PÁDUA, J.A. **O que é ecologia?** 11ed. São Paulo: Brasiliense, 1992. 108p. (Coleção Primeiros Passos, 116).

MANFREDINI, C. **Impactos ambientais causados pelas indústrias de Cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul**, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MASTELLA, D. V. **Comparação entre os processos de produção de blocos cerâmicos e de concreto para alvenaria estrutural, através da análise do ciclo de vida**. 2002. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. **Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos**. 2016. Production, 26(1), 160-175, jan./mar. 2016.

MINEROPAR. **PROJETO RIQUEZAS MINERAIS**, 2000.

NUNES, M. B. **Impactos ambientais na Indústria da Cerâmica Vermelha**, 2012.

PETRUCCI, E.G.R. **Materiais de construção**. 4ª Edição. Porto Alegre: Editora Globo, 1979.

PRADO, U. S., BRESSIANI, J. C. **Panorama da Indústria Cerâmica Brasileira na Última Década**, 2013.

QUANTIS Sustainability counts. **Análise comparativa do ciclo de vida de paredes construídas com blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto armado moldado in loco**. Relatório final preparado para Anicer, 2012.

QUARTIM, E. ACV – **Análise do Ciclo de Vida**. Disponível em <<http://embalagensustentavel.com.br/2010/05/07/acv-analise-do-ciclo-de-vida/>> Acesso em Nov. de 2017.

RIBEIRO, C. M.; Gianneti, B. F.; Almeida, C. M. **Avaliação de Ciclo de Vida (ACV): Uma ferramenta importante da Ecologia Industrial**. Disponível em: <<http://www.hottopos.com/regeq12/art4.htm>> Acesso em: Out. de 2017.

SARTORI, S. et al. **Sustainability and sustainable development: A taxonomy in the field of literature**. Ambiente & Sociedade, v. XVII, n. 1, p. 1-20, 2014.

SEBRAE - **Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresa. Cerâmica vermelha: estudo de mercado SEBRAE/ESPM 2008 - Relatório completo**. [S.I.], 2008. Disponível em: <

<http://www.sebraemercados.com.br/wpcontent/uploads/2015/09/ESTUDO-CERAMICA-VERMELHA.pdf>>. Acesso em: Out. de 2017.

SILVA, F.; ARDUIN ; R.; SOUZA, C.; VINHAL, L.; TEIXEIRA, C.; OLIVEIRA, L. **Aspectos metodológicos para a realização de estudos de avaliação de ciclo de vida (ACV) para produtos de construção**. In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC, 2016. São Paulo, 2016.

SILVA, Maria Angélica Covelo e SOUZA, **Gestão do processo de edificações**. São Paulo: O Nome da Rosa,- 2003.

THOMAZ, E. **Alvenaria para pequenas construções: alguns dados para projeto e execução (1a parte)**. In: Tecnologia de edificações. Projeto de divulgação tecnológica Lix da Cunha. São Paulo: PINI, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Divisão de Edificações, 1988. p. 215-218

TORGAL, F. P.; JALALI S. **A sustentabilidade dos materiais de construção**. TecMinho, 2010.

VALICHESKI, R. R. **Avaliação técnica e econômica de cenários de uso da terra em áreas degradadas por atividade de extração de argila em Campos dos Goytacazes, RJ**. 2004. 138f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2004. 138p.

VAN GEMERT, F.; CHAVANNES, N. N.; LUZIGE, B. K. S.; EGGERMONT, C. J. C.; VAN DER MOLEN, T. **Impact of chronic respiratory symptoms in a rural area of sub-Saharan Africa: an in-depth qualitative study in the Masindi district of Uganda**. Primary Care Respiratory Journal, v.22, n.3, p. 300-305, 2013.

VINHAL, L. D. **Estudo de indicadores ambientais de blocos cerâmicos com base em avaliação do ciclo de vida, considerando o contexto brasileiro**, 2016. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) Universidade Federal de São Carlos.

ANEXO A

QUESTIONÁRIO PARA INCLUSÃO NO INVENTÁRIO:

| QUESTIONÁRIO UTILIZADO PARA COLETA DE DADOS | |
|---|--|
| Fabricante: | |
| Endereço: | |
| Contato: | |
| Data da Visita: | |
| Pesquisadores: | |

| INVENTÁRIO GERAL | | | | |
|-------------------------------------|----------|-------|-------|-------------|
| ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO FABRICADO | PRODUÇÃO | | | OBSERVAÇÕES |
| | MENSAL | ANUAL | MÉDIA | |
| Produção total de blocos /UNIDADE | | | | |
| Produção total de blocos/ TONELADA | | | | |
| A produção informada inclui perdas? | | | | |

| RETIRA MATERIAL DA JAZIDA | |
|---|--|
| Quantos km de distancia da fabrica? | |
| Quanto de argila retirada por vez? | |
| Máquina usada para retirada de argila? Combustível? | |
| Máquina usada para transporte do material até a fábrica? Combustível? | |

| DADOS GERAIS DE CONSUMO (MENSAL) | | | |
|----------------------------------|-----|----------------|-------------|
| Itens de consumo | Mês | Unidade | Observações |
| FONTES DE ENERGIA | | | |
| Energia elétrica | | kWh | |
| Gás Natural | | m ³ | |
| GLP | | kg | |
| Diesel | | L | |
| Pó de serra | | t | |
| (OUTRA) | | | |
| FONTES DE ÁGUA | | | |
| Rede de abastecimento | | m ³ | |
| Poço | | m ³ | |
| Captação superficial | | m ³ | |
| Chuva | | m ³ | |
| Caminhão pipa | | m ³ | |
| Reuso | | m ³ | |
| (OUTRA) | | m ³ | |

| TRANSPORTES DOS ITENS DE CONSUMO | | | | |
|----------------------------------|-----------------------|--------------------|------------------|------------|
| FONTES DE ENERGIA | | | | |
| Especificação | Distância até fabrica | Tipo de transporte | Carga por viagem | Observação |
| GLP | | | | |
| Diesel | | | | |
| Pó de serra | | | | |
| (OUTRA) | | | | |
| ÁGUA | | | | |

| LEVANTAMENTO DE MATÉRIAS- PRIMAS E MATERIAIS AUXILIARES | | | | | |
|---|---------|-------------------|-----------------|------------------|------|
| MATÉRIAS- PRIMAS | | | | | |
| Especificação | % bloco | Dist. Até fabrica | Tipo transporte | Carga por viagem | Obs. |
| Argila | | | | | |
| Água | | | | | |
| (OUTRO) | | | | | |

| MATÉRIAS- AUXILIARES | | | | | |
|----------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|---------------------|------|
| Especificação | Consumo p/ bloco | Dist. Até fabrica | Tipo transporte | Carga por viagem | Obs. |
| Pallet madeira | Qtq. vezes reutiliza? | | | | |
| Filme stretch | Comp. Do filme por pallet? | | | | |
| Fita | Comp. De fita por pallet? | | | | |
| OUTRO | | | | | |

| MATERIAIS DE MANUTENÇÃO (óleos lubrificantes, peças de reposição..) | | | | | | |
|---|------------------------------------|-----------------------|--------------------|------------|---------------------|------|
| Tipo de material de manutenção | Quant. Aplicada/ unidade | Conteúdo da embal. | Origem (cidade) | Transporte | Carga por viagem | Obs. |
| Troca de óleo veículos | Consumo de óleo por mês? | | | | | |
| Troca dos moldes de extrusão | Frequência de troca dos moldes? | | | | | |
| Engraxamento das máquinas | Consumo de graxa por mês? | | | | | |
| OUTRO | | | | | | |

| RESÍDUOS | | | | | | |
|-------------------------------|----------|--------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|------|
| Destinação | Resíduos | Quant. Retirada/tempo | Destino (cidade) | Tipo Transporte | Carga por viagem | Obs. |
| Aterro sanitário | | | | | | |
| Aterro de resíduos inertes | | | | | | |
| Incineração | | | | | | |
| Reciclagem | | | | | | |

| | | | | | | |
|--------|--|--|--|--|--|--|
| OUTROS | | | | | | |
|--------|--|--|--|--|--|--|

| EMISSÕES PARA O AR | |
|--|--|
| Há algum tipo de emissão direta para o ar decorrente do processo de produção? | |
| Há algum tipo de filtro/controle de poluentes implantado na fábrica? | |
| EMISSÃO PARA A ÁGUA | |
| Há algum tipo de emissão direta para a água decorrente do processo de produção? | |
| Há algum tipo de filtro / controle de efluentes implantado na fábrica? | |
| OUTRAS QUESTÕES | |
| Qual a quantidade de blocos por pallet? | |
| É feita caracterização das argilas? Que periodicidade? | |
| Há algum tipo de tratamento feito na madeira utilizada na queima (se for o combustível)? | |
| Qual a vida útil das cavas de argilas? Quanto tempo faz que a jazida é explorada? | |
| Qual a espessura da camada de solo com vegetação retirada para exploração de argila? | |
| Qual a área superficial das jazidas de argila? | |