



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CAMPUS MUTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

LOURYNNY HÉLIA DE LIMA COSTA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE BLOCOS ESTRUTURAIS E
CERÂMICOS UTILIZADOS EM ALVENARIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

PAU DOS FERROS

2019

LOURYNNY HÉLIA DE LIMA COSTA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE BLOCOS CERÂMICOS E DE BLOCOS
DE CONCRETO UTILIZADOS EM ALVENARIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Joel Medeiros Bezerra

PAU DOS FERROS

2019

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

CC837 COSTA, LOURYNNY HÉLIA DE LIMA.
c AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE BLOCOS
ESTRUTURAIS E CERÂMICOS UTILIZADOS EM
ALVENARIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL. /
LOURYNNY HÉLIA DE LIMA COSTA.- 2019.
63 f. : il.

Orientadora: Joel Medeiros Bezerra.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso Bacharelado em
Engenharia Civil, 2019.

1. SUSTENTABILIDADE. 2. GESTÃO AMBIENTAL
3. EDIFICAÇÕES. 4. MATERIAIS. I. Bezerra,
Joel Medeiros, orient. II. Título. III. Título.

Bibliotecário-Documentalista
Nome do profissional, Bib. Me. (CRB-15/10.000)

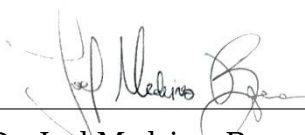
LOURYNNY HÉLIA DE LIMA COSTA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE BLOCOS ESTRUTURAIS E
CERÂMICOS UTILIZADOS EM ALVENARIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

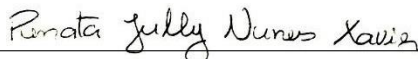
Defendida em: 14 /08 /2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Joel Medeiros Bezerra (UFERSA)

Presidente



Prof. Renata Jully Nunes Xavier (UFERSA)

Examinador



Prof. José Henrique Maciel de Queiroz (UFERSA)

Examinador

*Aos meus queridos pais, meu irmão e meus avós
que sempre me ajudaram em tudo que precisei e
que sempre acreditarão em mim e que são
amores da minha vida, a minha base e a
referência a tudo que sou!*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom que me concedeu para a criação desse projeto e por guiar meus passos e me dar força e fé todos os dias, para persistir na realização de um sonho meu e de meus pais.

Agradeço ao meu Orientador Dr. Joel Medeiros Bezerra, que além de ótimo professore é um grande amigo, só tenho à agradecer por todos os ensinamentos transmitidos, pela enorme paciência, compreensão e boa vontade em conseguir me orientar.

A Professora Renata Jully Nunes Xavier por disponibilizar do seu tempo para pode me ajudar e participar da minha banca.

Ao Professor e também meu grande amigo de faculdade, José Henrique Maciel de Queiroz, que sempre me insentivou e me ajudou diante todo o percuso de estudos nessa Universidade.

A empresa Freitas e Chaves e a Precol Indústria e Comércio de Premoldados, Artefatos de Cimento, pela disponibilidade de material e permissão das visitas.

A meus pais, Louzângela de Lima e Francisco Marcos, pelo apoio e confiança de que poderia fazer mais por mim e por eles. E principalmente pela paciência, palavras de apoio, amor e dedicação que me obtiveram. Além deles o meu irmão Francisco Maycon, por estar sempre acreditando em mim e me tendo como uma inspiração.

As minhas avós e aos meus avôs, Maria de Lourdes, Rita Franklin, João Pereira e Sebastião Oliveira, por todas as palavras de apoio, amor, carinho e o colo que sempre me deram.

Aos meus tios e tias, Ronaldo, João Lucas, Maria Franklin, Aldo Sousa, Francisco das Chagas e Geneide Franklin que sempre me deram suporte no que sempre precisei e me influenciaram bastante para chegar até aqui.

Ao meu namorado e amigo, Djankley Lima, por sempre acreditar em mim, me apoiar e me aconselhar nesses anos de curso.

Agradeço as minhas vizinhas Sebastiana Teles, Anchele e Elcia, por todo apoio, suporte e paciência que tiveram comigo desde o dia que cheguei em Pau dos Ferros/RN.

Aos meus amigos Bruno Saldanha, Rejanne Souto, Tailton Telles e Pollyana Holanda, que estiveram sempre me apoiando e me motivando para nunca desistir dos meus sonhos.

“O senhor é meu pastor e nada me faltará”.

Salmo 23.

RESUMO

O setor da construção civil é apontado como um grande consumidor de recursos naturais e causador de diversos impactos ambientais. Neste sentido, verificam-se, nos últimos anos, iniciativas do setor para melhoria da qualidade e aumento da eficiência de seus processos, entre eles o desenvolvimento de sistemas construtivos mais racionalizados e industrializados. No entanto, o setor ainda carece de formas de avaliar os reais impactos ambientais desses diferentes sistemas, ao longo de seus ciclos de vida. Assim, este trabalho aborda o uso da técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) realizada por meio do *software* SimaPro® 7.3 da produção de blocos cerâmicos e blocos de concreto utilizados na alvenaria. O estudo foi elaborado devido à necessidade de se proporcionar novas perspectivas e um maior conhecimento tanto da ACV quanto da produção e impactos ambientais que geram os diferentes tipos de blocos. Esta pesquisa pretende realizar uma avaliação do ciclo de vida de blocos cerâmicos e blocos de concreto, voltados ao emprego da alvenaria de vedação, produzidos em duas indústrias da região Nordeste uma no estado do Rio Grande do Norte e outra no estado da Paraíba, fazendo a comparação entre os impactos do ciclo de vida entre as duas. Foi utilizado na fase de análise de impacto do ciclo de vida (AICV) etapa importante para interpretação dos resultados da ACV o método de avaliação RECIPE o qual usa etapas de distribuição de pesos que resultam em um número indicador de impacto ambiental do produto ou processo baseado nos dados de uma ACV. Com isso, possível evidenciar alguns pontos críticos, tais como o considerável consumo de energias não renováveis, bem como combustíveis fósseis, a consequente contribuição ao aquecimento global e a toxicidade à saúde humana. E os resultados obtidos pelo método RECIPE demonstraram que o bloco cerâmico se destaca entre os blocos estudados como sendo o mais ambientalmente viável.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Gestão Ambiental; Edificações; Materiais.

ABSTRACT

The construction sector is considered as a major consumer of natural resources and cause of various environmental impacts. In this sense, there have been initiatives in the sector in recent years to improve the quality and increase the efficiency of its processes, including the development of more streamlined and industrialized building systems. However, the sector still lacks ways to assess the real environmental impacts of these different systems over their life cycles. Thus, this work addresses the use of the Life Cycle Assessment (LCA) technique performed using the SimaPro® 7.3 software for the production of ceramic blocks and concrete blocks used in masonry. The study was designed due to the need to provide new perspectives and a better knowledge of both LCA and the production and environmental impacts that generate the different types of blocks. This research intends to perform a life cycle assessment of ceramic blocks and concrete blocks, aimed at the use of sealing masonry, produced in two industries in the Northeast region, one in the state of Rio Grande do Norte and the other in the state of Paraíba. comparison of life cycle impacts between the two. An important step for interpreting LCA results was used in the life cycle impact analysis (LCIA) phase. The RECIPE assessment method uses weight distribution steps that result in an environmental impact indicator number of the product or process. in the data of an LCA. Thus, it is possible to highlight some critical points, such as the considerable consumption of non-renewable energy, as well as fossil fuels, the consequent contribution to global warming and toxicity to human health. And the results obtained by the RECIPE method showed that the ceramic block stands out among the studied blocks as being the most environmentally viable.

Keywords: Sustainability; Environmental Management; Buildings; Materials.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Fluxograma do processo produtivo de blocos de concreto. Pág.21.
- Figura 2 – vibro prensas mecânica, hidráulica, pneumática e manual. Pág.24.
- Figura 3 – Possibilidades de embalagem dos produtos para entrega ao consumidor, registrados entre as empresas participantes do estudo. Pág.25.
- Figura 4 – Fluxograma do processo produtivo, entradas e saídas dos insumos na construção de blocos cerâmicos. Pág.26.
- Figura 5 – Extração da argila. Pág.27.
- Figura 6 – Armazenamento da argila. Pág.28.
- Figura 7 – Preparação da massa cerâmica. Pág.28.
- Figura 8 – Esquema de um laminador. Pág.29.
- Figura 9 – Esquema de uma forma de tijolos. Pág.30.
- Figura 10 – Extrusão e corte do material cerâmico. Pág.30.
- Figura 11 – Secagem natural. Pág.31.
- Figura 12 - Secagem artificial. Pág.31.
- Figura 13 – Forno utilizado para a queima do material cerâmico. Pág.32.
- Figura 14 – Queima de peças cerâmicas. Pág.32.
- Figura 15 – Subcomitês e grupos de trabalho TC 207 da ISO. Pág.39.
- Figura 16 – Modelo da Plataforma do SimaPro. Pág.41.
- Figura 17 – Localização do método Recipe 2016 Endpoint (E). Pág.42.
- Figura 18 – Modelo de bloco cerâmico estudado. Pág.45.
- Figura 19 – Modelo de bloco de concreto estudado. Pág.46.
- Figura 20 – Localização da Zona Urbana de São Francisco do Oeste e da Cerâmica. Pág.47.
- Figura 21 – Localização da Zona Urbana de São Bento e da indústria de blocos de concreto. Pág.49.
- Figura 22 - Estrutura para análises de ciclo de vida. Pág.53.
- Figura 23 – Microscopia Eletrônica de Varredura. Pág.56.
- Figura 24 – Microscopia Eletrônica de Varredura. Pág.57.
- Figura 25: Fluxograma do bloco cerâmico. Pág.59.
- Figura 26: Fluxograma do bloco de concreto. Pág.59.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – FRX dos aditivos. Pág.54.

Gráfico 2 – Participação dos Blocos nas Categorias de impacto analisadas pelo método RECIPE. Pág.62.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Inventário do processo de produção dos blocos de concreto.
Pág.60.

Tabela 2 – Inventário do processo de produção dos blocos cerâmicos
Pág.62.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Análise do Ciclo de Vida
PAC	Programa de Aceleração ao Crescimento
MPa	Mega Pascal
CIB	
PIB	Produto Interno Bruto
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
AICV	Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida
ICC	Índice da Construção Civil
ICV	Impacto do Ciclo de Vida
ABRAMAT	Associação Brasileira de Materiais de Construção
SINDICERRN	Sindicato da Indústria da Cerâmica Vermelha
SEBRAE	Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SESI	Serviço Social da Indústria
FIEMG	Federação das Indústrias de Minas Gerais
ANICER	Associação Nacional da Indústria de Cerâmica
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
MP	Material Particulado
UV	Ultra Violeta
PH	Potencial Hidrogeniônico
NBR	Norma Brasileira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
FRX	Fluorescência de Raio X
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LP	Limite de Plasticidade
µm	Micrômetro

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	OBJETIVOS	17
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.2	MATERIAIS CONSTITUINTES	20
3.2.1.	<i>Blocos de Concreto</i>	<i>20</i>
3.2.2.	<i>Blocos Cerâmicos</i>	<i>25</i>
3.2.1	<i>Extração de argila</i>	<i>27</i>
3.2.2.	<i>Recebimento da matéria-prima</i>	<i>27</i>
3.2.3.	<i>Preparação da massa cerâmica.....</i>	<i>28</i>
3.2.4.	<i>Laminação</i>	<i>29</i>
3.2.5.	<i>Extrusão e Corte</i>	<i>29</i>
3.2.6.	<i>Secagem</i>	<i>30</i>
3.2.7.	<i>Queima</i>	<i>31</i>
3.2.8.	<i>Inspeção</i>	<i>32</i>
3.2.9.	<i>Estocagem</i>	<i>33</i>
3.2.10.	<i>Expedição.....</i>	<i>33</i>
3.3	ARGILA	33
3.3.1	<i>Tipos de Argila</i>	<i>34</i>
3.4.	TIPOS DE ARGILOMINERAIS	35
3.5	PRINCIPAIS ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS PARA CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA	36
3.5.1.	<i>Microscopia Eletrônica de varredura (MEV)</i>	<i>36</i>
3.5.2.	<i>Fluorescência de Raio-X.....</i>	<i>37</i>
4.1.	BLOCOS CERÂMICOS	45
4.2.	BLOCOS DE CONCRETO	46
4.3.	CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE PESQUISA.....	47
4.4.	REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS	50
4.4.1	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i>	<i>50</i>
4.4.2	<i>Espectrometria de Fluorescência de Raios-X</i>	<i>51</i>
4.5.	EXECUÇÃO DO ESTUDO DE ACV	52
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1.	ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X	54

5.2.	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	56
5.3.	FERRAMENTA ACV	58
5.3.1.	<i>Definição do objetivo e escopo</i>	58
5.3.2.	<i>Inventário</i>	60
5.3.3.	<i>Avaliação do impacto</i>	62
5.3.4.	<i>Interpretação</i>	63
6.	CONCLUSÃO	67
7.	REFERÊNCIAS	68

1. INTRODUÇÃO

A humanidade e a construção civil estão intrinsecamente ligadas, construir é uma atividade inerente a sobrevivência do homem. Desde a pré-história havia a necessidade de abrigo e proteção contra o clima e perigos externos. Recolher-se em abrigos naturais como cavernas ou até mesmo paredes de pedra, com cobertura de materiais vegetais, eram atitudes comuns e consideradas como uma forma morfológica e cronologicamente primária de habitação (LOURENÇO PAULO, 2013; JORGE BRANCO, 2012).

No passar dos anos, a evolução das habitações foram ocorrendo e com elas várias outras construções, como: pontes, barragens, rodovias, dentre outras, as quais são de suma importância para a manutenção e traslado das populações. Consolidando, a construção civil, como uma atividade de extrema importância para sobrevivência humana, assim como para o desenvolvimento econômico de um país.

O setor da construção civil cresceu de forma significativa nos últimos anos, essa expansão foi fortemente influenciada por programas governamentais que visam o acesso a moradia e a erradicação da desigualdade social. Nesse contexto, em 2007 foi lançado o Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, voltado aos investimentos em obras de infraestrutura econômica e social, e em 2009, surgiu o Programa Minha Casa, Minha Vida em parceria com o Governo Federal.

Com o desenvolvimento do país o setor da construção civil passa por um crescimento acelerado e faz com que não se dedique o tempo necessário aos projetos tendo como consequências a utilização de grande quantidade de materiais, retrabalhos, perdas, gerando enormes quantidades de resíduo e consequentemente impactos ao meio ambiente.

Diante desse cenário, O Ministerio do Meio Ambiente (BRASIL, 2019) consta que, a indústria da construção é apontada pelo Conselho Internacional da Construção (CIB) como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais. Há também inúmeros impactos além dos relacionados ao consumo de matéria e energia, como os associados à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Tais aspectos ambientais, somados à qualidade de vida que o ambiente construído proporciona, sintetizam as relações entre construção e meio ambiente.

O crescimento dessa consciência ecológica, bem como a preocupação com a qualidade do meio ambiente, proveniente da legislação ou da própria conscientização,

propícia ao surgimento de novas técnicas para o auxílio às empresas na construção de um modelo de produção ambientalmente correto e economicamente viável, tornando cada vez mais importante a questão do desempenho ambiental no meio industrial (IBICT, 2005).

Uma das técnicas voltadas a promoção do desempenho ambiental é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) que avalia o produto desde a extração da matéria prima até seu descarte ou reuso. A ACV tem como foco os aspectos ambientais e os potenciais impactos ambientais, como por exemplo, o uso de recursos naturais e suas consequentes liberações para o meio ambiente durante todo o ciclo de vida de um produto, ou seja, desde a obtenção das matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem e disposição final, ou seja, do berço ao túmulo (ABNT, 2009).

Com o conhecimento do método de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), uma ferramenta cada vez mais usada na construção civil. A qual é possível avaliar o desempenho de um determinado material, de um sistema produtivo ou mesmo de uma edificação ao longo de toda sua vida útil. Em que, permite a averiguação de oportunidades de melhoria na construção civil, oferecendo, especialmente, informações sobre os impactos ambientais gerados, fornecendo subsídios para a escolha da opção menos agressiva ao meio ambiente.

Ao observar a produção de blocos cerâmicos e blocos de concreto no interior do país, percebe-se que o sistema local é constituído por uma pequena frente de produção, que devido aos impactos da crise e de outros fatores externos à empresa está apresentando reduções na produção, o que de certo modo, ameaça o desenvolvimento da empresa local diminuindo sua possibilidade de sustentabilidade e de produção mais limpa.

Diante de tal realidade, verifica-se a necessidade da implementação de técnicas afim de melhorar o desempenho ambiental nessa empresa e assim promover uma produção mais tecnológica, eficiente e limpa. Neste caso, pode-se afirmar que mediante as análises torna-se possível modificar a formulação adotada, bem como ampliar a eficiência do meio de produção e fazer o controle de qualidade de forma ambiental dos produtos fabricados.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa pretende realizar uma avaliação do ciclo de vida de blocos cerâmicos e blocos de concreto, voltados ao emprego da alvenaria de vedação, produzidos em duas indústrias da região Nordeste uma no estado do Rio Grande do Norte e outra no estado da Paraíba, fazendo a comparação entre os impactos do ciclo de vida entre as duas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o processo de produção utilizado pela empresa selecionada para o estudo de caso;
- Identificar os insumos e matérias-primas necessários para a produção dos blocos;
- Realizar a análise do Ciclo de Vida de alguns blocos através de um programa computacional;
- Comparar os seus processos e impactos;
- Analisar qual produz um maior impacto ao meio ambiente.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CONSTRUÇÃO CIVIL NA REGIÃO NORDESTE

A área de Construção Civil abrange todas as atividades de produção de obras. Estão incluídas nesta área as atividades referentes às funções planejamento e projeto, execução e manutenção e restauração de obras em diferentes segmentos, tais como edifícios, estradas, portos, aeroportos, canais de navegação, túneis, instalações prediais, obras de saneamento, de fundações e de terra em geral, estando excluídas as atividades relacionadas às operações, tais como a operação e o gerenciamento de sistemas de transportes, a operação de estações de tratamento de água, de barragens, etc. (MEC, 2000).

Para os resultados dessas atividades existem alguns processos, e, segundo Blumenschein (2004), em todas as etapas do processo de construção ocorre, de certa forma, um grande prejuízo ao meio ambiente. Dentre as etapas do processo construtivo é possível destacar:

- a) Ocupação de terras;
- b) Extração e transporte da matéria-prima;
- c) Processamento, produção e transporte de seus componentes;
- d) Processo construtivo;
- e) Ao longo de sua vida útil;
- f) Demolição;
- g) Descarte.

Fazendo a análise desse setor, segundo Firjan (2014), a construção civil é um grande responsável pela economia de um país, estando intimamente ligado ao desenvolvimento e produção nacional. De tal modo, nos últimos 40 anos, o crescimento deste setor sofreu mudanças decorrentes do crescimento econômico e momentos de crises financeiras.

De acordo com Amorin (2014), em pesquisa desenvolvida pelo Sindicato da Indústria da Construção de Minas Gerais (SINDUSCON-MG), utilizando dados ligados ao desenvolvimento da Indústria da Construção Civil (ICC) nos últimos 20 anos, verificou que na última década houve uma elevação de 52,10% no setor, ou seja, uma

ascensão média anual de 4,28%; e, nos últimos 20 anos, esse crescimento foi de 2,82%. Ainda segundo o estudo, o desemprego teve uma queda significativa, passando de 8,9%, em 2003, para 2,5%, em 2014.

Segundo a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP, 2017), no período entre 2010 e 2015 o Brasil contou com 131.487 empresas ativas, PIB no valor de R\$ 172,612 bilhões e com um total de 2.439.429 de pessoas empregadas em construtoras. Desta forma, ressalta-se a importância do setor a economia regional, tal como, nacional.

No caso da região Nordeste entre o mesmo período do ano, ela contou com 17.660 empresas ativas, PIB no valor de R\$ 28,776 bilhões e com 492.141 pessoas empregadas em construtoras (FIESP, 2017).

Com um levantamento realizado pela Rede de Obras (2014), ferramenta de pesquisa da *e-Construmarket*, verificou-se que a região Nordeste do Brasil contava com 1567 obras em andamento e 726 em fase de projeto e lançamento em 2012. O estudo mostra ainda, um total de 3151 obras na região, sendo que 845 já foram concluídas. Das obras em fase de construção, 327 estão localizadas em Pernambuco, 280 na Bahia, 218 no Ceará, 214 no Rio Grande do Norte, 188 na Paraíba, 108 em Alagoas, 89 no Maranhão, 76 no Piauí e 67 em Sergipe. Dentre as que estão em fase de projeto e lançamento, 149 são no Ceará, 136 no Rio Grande do Norte, 128 em Pernambuco, 117 na Bahia, 47 no Maranhão, 46 em Alagoas, 41 em Sergipe, 35 no Piauí e 27 na Paraíba (CBM engenharia, 2014).

Neste cenário, o Rio Grande do Norte tem 350 obras, sendo 214 em construção e 136 em projeto e lançamento. Na realidade, o setor da Construção Civil está bem, mas poderia estar melhor se houvesse mais investimento do poder público estadual e municipal, afirma Arnaldo Gaspar Junior, presidente do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado do Rio Grande do Norte (SindusCon-RN, 2013).

Com base nisso, há uma preocupação em otimizar as características de uma edificação, as quais depende, dentre outros fatores, de melhorias no desempenho sustentável dos produtos e materiais que a compõem.

Considerando aspectos como cultura, tradição e estágio do desenvolvimento industrial local, a fabricação de produtos e materiais é preocupante, tanto pelo consumo de matérias-primas e energia incorporadas, pela emissão de poluentes, como pela capacidade de reciclabilidade do produto e seus resíduos.

3.2 MATERIAIS CONSTITUINTES

Entre os mais variados recursos e materiais empregados na construção civil, faz-se necessário o uso de blocos para comportar e suportar os esforços das estruturas a serem construídas, desta forma tem-se no mercado a possibilidade do uso de blocos cerâmicos ou de concreto.

3.2.1. Blocos de Concreto

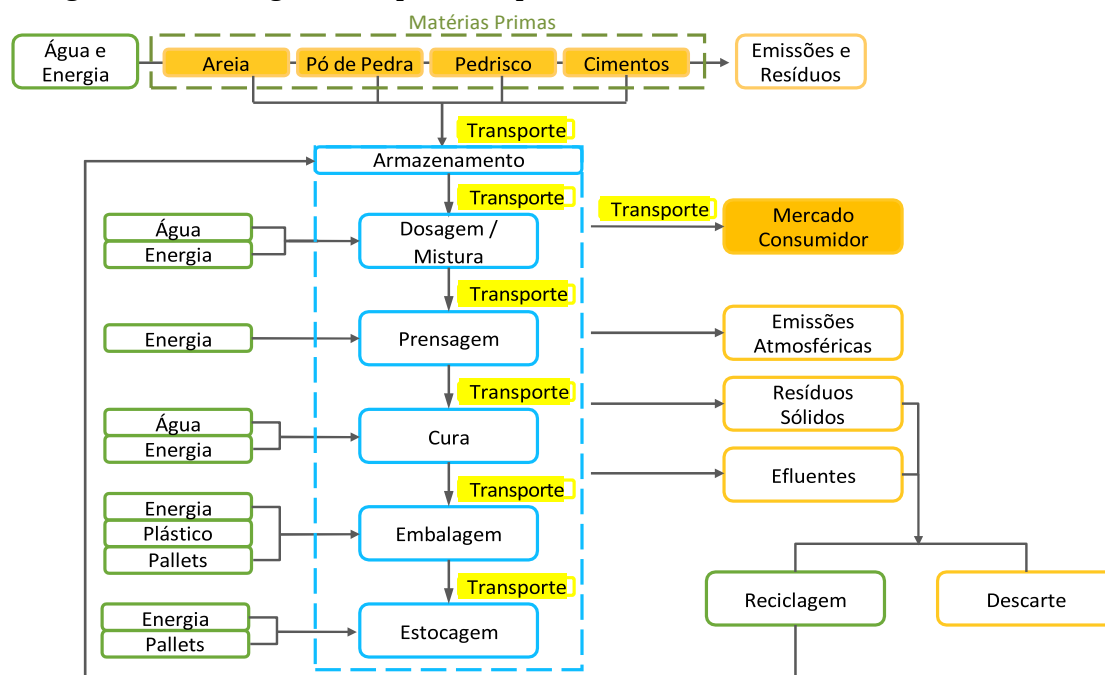
O uso dos blocos de concreto na alvenaria se deu em consequência ao surgimento do cimento Portland, época que ocorreu a produção de grandes e maciças unidades de concreto. Desde então esforços aconteceram para a modernização da fabricação dos blocos e também da sua utilização na alvenaria (SALVADOR FILHO, 2007).

Ainda de acordo com o autor, os blocos de concreto produzidos no Brasil podem compor dois tipos de sistemas construtivos: alvenaria estrutural e de vedação. A classe de blocos faz a diferenciação dos blocos de acordo com seu uso, que pode ser estrutural ou não estrutural, em elementos de alvenaria, acima ou abaixo do nível do solo. E também classificados em 3 tipos de classe: A, B e C, onde o principal diferencial entre elas é a sua resistência a compressão axial, variando de 8 a 3 MPa.

Os materiais utilizados na fabricação de blocos de concreto são basicamente: Cimento Portland (CP), agregados graúdo e miúdo, e água. Dependendo de requisitos específicos, a dosagem do concreto poderá também empregar outros componentes, tais como adições minerais, pigmentos, aditivos etc. Os materiais constituintes do bloco de concreto devem ser especificados e utilizados de acordo com suas propriedades, para que o produto final esteja em conformidade com as metas projetadas. (FILHO, 2007).

A Figura 01 apresenta o fluxograma geral da fabricação de blocos de concreto. As máquinas utilizadas e o nível de automação da fábrica variam de acordo com o porte da empresa, mas as etapas básicas ilustradas são apresentadas por todas. As principais matérias-primas utilizadas são água, cimento e agregados, variando tipo e granulometria, que depende da formulação do concreto e disponibilidade na região onde se encontra a fábrica.

Figura 01 – Fluxograma do processo produtivo de blocos de concreto.



Fonte: JOHN, 2014.

Em termos de comparação, para este estudo o processo de produção foi totalmente automatizado, contendo as seguintes etapas, conforme como pode ser visto na descrição do processo a seguir:

Recebimento dos materiais: No momento da descarga dos agregados, deve-se proceder à correta amostragem e determinar sua curva granulométrica e outras propriedades do material, tais como massa específica, massa unitária no estado solto, massa unitária no estado compactado, etc. Uma amostra padrão deve ser mantida para que se possa compará-la aos materiais que serão recebidos posteriormente. Estas análises dos materiais devem ser feitas a cada lote recebido ou a cada mudança do fornecedor. O cimento deve ser guardado em local seguro e sem umidade, como em silos. Os demais materiais – aditivos, adições, pigmentos, etc. – devem seguir as especificações dos fabricantes para sua armazenagem.

Pesagem e mistura dos materiais: É de extrema importância a quantificação da matéria-prima, visando à manutenção da qualidade e de propriedades físicas necessárias para a produção dos blocos de concreto. A mensuração dos materiais por volume deve ser evitada, devido às variações que podem ocorrer neste tipo de procedimento. Os principais casos de variabilidade são os equívocos durante a determinação da quantidade correta de

água de amassamento, causados por não se considerar a umidade dos agregados; erros causados pelo inchamento da areia, o que gera variações no volume quando a medida de proporcionalidade é tomada por este fator; e erros devidos a variações na quantidade de cimento, especialmente nos casos em que se considera a proporcionalidade em relação ao saco de cimento.

Deve-se sempre definir o traço de acordo com as especificidades projetadas para cada tipo de bloco fabricado, e o mesmo deve ser ajustado de acordo com a umidade dos agregados. Os sistemas de medição e determinação da massa dos materiais podem variar, dependendo da fábrica. Percebe-se, portanto, que a correta determinação das proporções de areia, brita, cimento e água é um procedimento fundamental, que interfere e determina a qualidade do produto final.

Vibroprensagem: O equipamento denominado vibroprensa é a peça central de uma fábrica de blocos. As máquinas moldam os blocos de alvenaria (por meio de moldes e pentes). O concreto fresco é colocado em moldes, nos quais sofre uma determinada vibração e é prensado pelos extratores, verticalmente. O molde é então suspenso; os pentes permanecem imóveis, mantendo os blocos sobre o palete. Logo após, os extratores são elevados e o palete com as peças recém- moldadas é retirado. Outro palete é colocado no local, e o processo se reinicia. A quantidade de blocos fabricados por ciclo depende das dimensões dos equipamentos.

O mecanismo de vibração das vibroprensas tem influência direta sobre as propriedades das peças moldadas, tendo como principais parâmetros de interferência a direção, amplitude, velocidade, aceleração e tempo de adensamento. Na prática, este tempo é determinado em função das propriedades do bloco após a desmoldagem. Ele é o mínimo necessário para que se obtenha total preenchimento e adensamento do concreto nos moldes da prensa, aparência adequada após a desmoldagem, resistência ao manuseio logo após a desmoldagem, e produtividade das operações dentro dos critérios estabelecidos.

Uma vez aprovados segundo os critérios mencionados, os blocos são transportados por uma esteira rolante até o finger, equipamento composto por plataformas elevatórias para transporte dos paletes até a câmara de cura, e, após a cura, para a esteira de paletização.

Cura: A cura em ambiente saturado é fundamental para que se obtenha boas propriedades dos blocos de concreto, evitando-se, deste modo, a perda de água durante as primeiras fases do endurecimento. A cura úmida deve ser feita em local livre de sol direto e de ventos, para evitar que os blocos sequem, se molhem e voltem a secar. O local ideal deve, ainda, possuir um rígido controle de temperatura e umidade.

O aumento de temperatura com a inserção de vapor em câmara térmica e à pressão atmosférica é o procedimento mais comum de cura térmica. As temperaturas e duração do ciclo térmico podem variar, dependendo do ciclo de produção de cada fábrica. Em alguns países é comum acelerar o processo de carbonatação durante a cura para reduzir a retração dos componentes de alvenaria (Concrete Masonry Association of Australia – CMAA, 2003).

Transporte e estocagem: Após os dois processos descritos anteriormente – a saber, moldagem e cura –, os blocos permanecem sobre paletes. Nesta etapa, eles são transferidos manualmente ou automaticamente para um paleta maior, de madeira, em um processo denominado cubagem. Os equipamentos utilizados especificamente para esta etapa utilizam apenas um operador, ao passo que, nos processos manuais, são necessárias duas ou mais pessoas.

De forma resumida, os agregados costumam ser armazenados em baias (com ou sem cobertura) e o cimento em silos próprios. Os insumos são transportados até misturadores, geralmente através de correias, onde é realizada a dosagem do concreto. Durante a mistura é realizado o acréscimo da água necessária para se alcançar a umidade ótima, de modo a atingir a trabalhabilidade adequada para a moldagem. Alguns produtos utilizam pigmentos em sua composição, assim como algum tipo de aditivo para melhorar a consistência do concreto ou facilitar a desmoldagem.

A massa pronta é encaminhada até a vibro prensa, sendo sua tecnologia importante para a qualidade do produto. A resistência adquirida pelo concreto será proporcional ao grau de compactação que a vibro prensa pode conferir à peça e à distribuição granulométrica dos agregados, sendo menor a porosidade da peça quanto melhor for o grau de empacotamento dos grãos.

Existem no mercado quatro tipos de vibro prensas: mecânica, hidráulica, pneumática e manual (Figura 2). A mecânica apresenta alta produtividade e, pelo grau de compactação que proporciona à peça, permite baixo consumo de cimento. A hidráulica possibilita a fabricação de produtos bem compactos, o que também permite economia no

consumo de cimento, mas com tempo de ciclo maior que a mecânica. Já a pneumática, oferece menor energia de compactação, exigindo maior consumo de cimento para produzir peças análogas às moldadas pela hidráulica. Por fim, a manual pode ser encontrada em fábricas pequenas que praticamente produzem de modo artesanal, que demanda grande consumo de cimento por causa da sua baixa energia de compactação, o que não viabiliza a fabricação de blocos estruturais (ABCP, 2008; FERNANDES, 2013). A distribuição granulométrica e a forma dos grãos podem ser trabalhadas para compensar as deficiências do tipo de máquina utilizado na fábrica, melhorando o empacotamento dos grãos e, assim, reduzindo a porosidade.

Figura 2 – vibro prensas mecânica, hidráulica, pneumática e manual.



(a) Mecânica



(b) Hidráulica



(c) Pneumática



(d) Manual

Fonte: Oliveira, 2015.

Em geral, as formas podem ser modificadas de acordo com o tipo de produto, a depender da fábrica. A desforma ocorre imediatamente após a moldagem das peças, sendo logo em seguida conduzidas a áreas próprias na fábrica para a realização da cura do concreto. Durante a retirada da forma podem ocorrer quebras. Como o concreto ainda está no estado fresco, a massa geralmente retorna ao misturador para ser novamente moldada.

A cura dos blocos normalmente é realizada através de câmaras úmidas. Ela

também poder ser executada por vapor de água à pressão atmosférica, com controle de temperatura do ambiente. Esse procedimento é adotado para acelerar as reações de hidratação do cimento e, assim, o bloco alcançar a resistência característica nas idades iniciais (FERNANDES, 2013; PERES, 2006).

Os produtos que não alcançam sua resistência característica podem ser reclassificados para uma categoria inferior ou descartados. Existem empresas que trituram os blocos rejeitados, por defeitos ou quebras, e utilizam o material resultante como agregado na fabricação de outros produtos. (OLIVEIRA, 2015)

O modo como o produto é preparado para envio ao consumidor é muito variável, sendo realizado com pallets e plástico (Figura 3a), existindo caso em que a empresa otimiza seu processo apenas envolvendo os produtos em plástico (Figura 3b). Por fim, os blocos são encaminhados ao local destinado para estoque. O transporte interno do produto pronto normalmente acontece por meio de empilhadeiras.

Figura 3 – Possibilidades de embalagem dos produtos para entrega ao consumidor, registrados entre as empresas participantes do estudo: (a) uso de plástico e *pallets*; (b) uso de plástico apenas



a)



b)

Fonte: Oliveira, 2015.

3.2.2. Blocos Cerâmicos

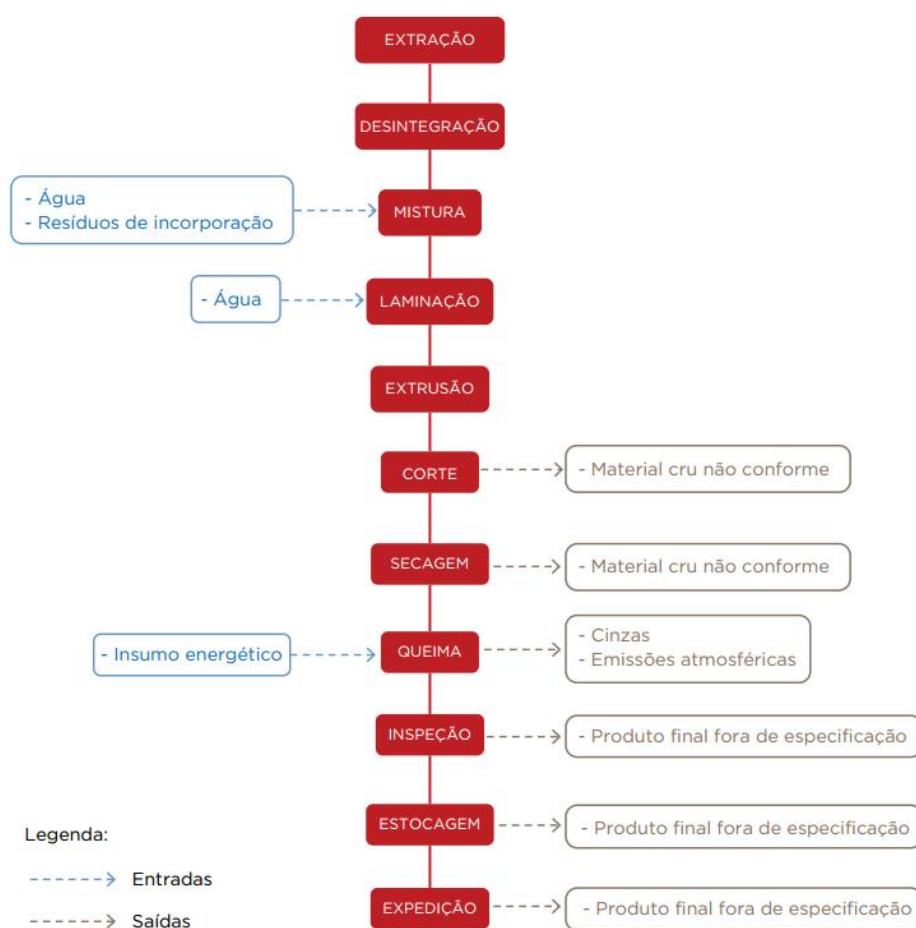
A produção da cerâmica vermelha se caracteriza como sendo um processo relativamente simples, no entanto, é constituído por uma série de etapas essenciais para o

sucesso e qualidade final dos produtos. Nesse sentido, a Figura 4 mostra o fluxograma do processo produtivo, englobando os elementos de entrada e saída em algumas etapas.

Um dos materiais constituintes das unidades cerâmicas é a argila. A argila é composta de sílica, silicato de alumínio e variadas quantidades de óxidos ferrosos. A argila pode ser calcária, nesse caso, quando cozida, produz um bloco de cor amarelada. As argilas não calcárias contêm de 2 a 10 % de óxido de ferro e feldspato e produz uma unidade de variados tons vermelhos dependendo da quantidade de óxido de ferro. (RIZZATTI, 2011).

Nesse sentido, a Figura 4 apresenta o fluxograma do processo produtivo, englobando os elementos de entrada e saída em algumas etapas.

Figura 4 – Fluxograma do processo produtivo, entradas e saídas dos insumos na construção de blocos cerâmicos.



Fonte: FIEMG, 2013.

3.2.1 Extração de argila

A argila é retirada do solo a céu aberto, de preferência em meses de menor precipitação podendo ser realizada manualmente ou mecanizada, com auxílio de escavadeiras, pás carregadeiras, trator de esteira com lâmina, entre outros equipamentos (COSTA, 2016).

Sendo que a sua retirada ocorre de forma conjunta com a areia. Isso porque para realizar a extração de areia é necessário retirar a camada superior do terreno constituída de argila (COSTA, 2016).

Figura 5 – Extração da argila



Fonte: FIEMG, 2013.

3.2.2. Recebimento da matéria-prima

De acordo com (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013) o receber a argila, o responsável deve coletar pequenas amostras para ensaio de resíduo, sendo recomendada esta operação na primeira e na última carga, para verificar se houve alguma mudança significativa na extração. A realização desses ensaios se justifica pelo fato de que é mais fácil identificar um problema em campo do que após a secagem ou queima. No recebimento a argila deve ser armazenada em pequenos lotes cobertos com uma lona plástica para acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica e sais solúveis.

A matéria-prima deve ser armazenada em camadas para facilitar a mistura no momento de sua retirada das pilhas de estocagem. É importante que a argila passe por um período de descanso para melhorar os resultados na conformação do produto acabado (COSTA, 2016).

Figura 6 – Armazenamento da argila



Fonte: FIEMG, 2013.

3.2.3. Preparação da massa cerâmica

Segundo (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013). A preparação da massa consiste na mistura da argila com a água. Mas, para produção de uma boa massa cerâmica é essencial à obtenção de um produto de alta qualidade, redução de perdas e consequentemente melhoria do desempenho ambiental do processo, para isso é necessário:

- Boa homogeneização da argila com a água. A adição de água na mistura deve ser centralizada e nunca nas laterais, de modo a facilitar a mistura. A utilização de água quente na mistura acelera o processo de absorção de água pelo centro do grão argiloso, podendo ser reutilizada da bomba de vácuo, ou outros processos viáveis disponíveis na empresa.
- Redução dos grãos;
- Descanso da massa cerâmica por um período de 24 a 48 horas.

Figura 7 – Preparação da massa cerâmica



Fonte: Autor, 2019.

3.2.4. Laminação

O laminador é o equipamento responsável por esta etapa, que consiste no direcionamento de partículas das argilas, sendo fundamental sua regulagem periódica. É recomendado um distanciamento de 2 a 3 mm para o último laminador. Lembrando que quanto mais fechado estiver o laminador melhor será o direcionamento das partículas. A qualidade da laminação determina a qualidade do acabamento dos produtos, evita perdas e pode levar a uma redução no consumo de energia na queima, visto que a granulometria do material diminui. (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).

Figura 8 – Esquema de um laminador



Fonte: Costa, 2016.

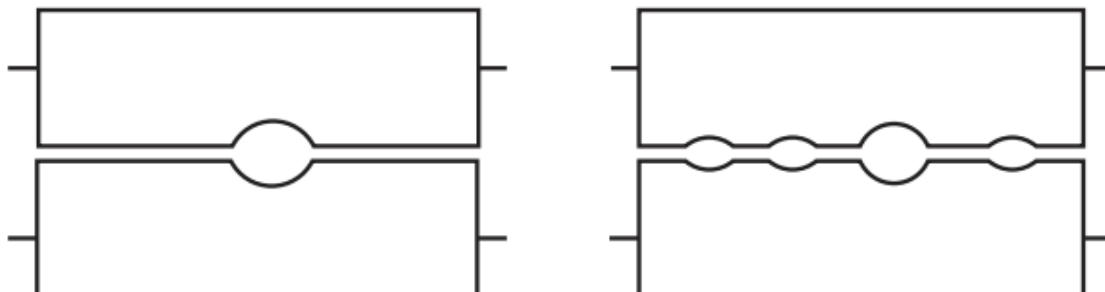
3.2.5. Extrusão e Corte

Consiste em forçar, por pressão, a massa a passar através de um bocal apropriado ao tipo de peça a ser produzida. A extrusora, também conhecida como maromba, recebe a massa preparada para ser compactada e forçada por meio de um pistão ou eixo helicoidal através de bocal. Como resultado obtém-se uma coluna extrusada para confecção de blocos ou em tarugos para fabricação de telhas. (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).

Já o corte, pode ser realizado com cortadores manuais ou automáticos, sendo usado para dar a dimensão desejada ao produto. As peças cortadas podem ser retiradas manualmente ou automaticamente. Depois de cortadas, por inspeção visual, as peças são

selecionadas e encaminhadas para o setor de secagem. Já as peças defeituosas são reintroduzidas na etapa de preparação de massa. (COSTA, 2016)

Figura 9 – Esquema de uma forma de tijolos



Fonte: FIEMG, 2013.

Figura 10 – Extrusão e corte do material cerâmico



Fonte: Costa, 2016.

3.2.6. Secagem

Existem dois tipos de secagens adotadas ao longo do processo produtivo da cerâmica vermelha:

- Natural – É o processo mais comum nas indústrias de tijolos, blocos e telhas cerâmicas, porém é demorado e exige grandes áreas protegidas do sol e com ventilação natural controlada. (Nunes, 2012).

- Artificial – É executada em câmaras de alvenaria comum. Nesse processo as peças são colocadas sobre prateleiras ou empilhadas, de modo a oferecer uma face sempre em contato com o ar. (Nunes, 2012).

Figura 11 – Secagem natural



Fonte: Costa, 2016.

Figura 12 - Secagem artificial



Fonte: FIEMG, 2013.

3.2.7. Queima

Aqui as peças adquirem suas propriedades finais. Esse tratamento térmico é responsável por uma série de transformações físico-químicas das peças como: perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, formação de fase vítrea (é a transição reversível entre materiais moles para materiais duros) e a soldagem (também conhecida

por sinterização, que é a operação de aquecimento da peça) dos grãos. (CARVALHO, 2008).

Os produtos são submetidos a temperaturas elevadas, em fornos contínuos ou intermitentes que operam em três fases: aquecimento da temperatura ambiente até a temperatura desejada, com cerca de 1200°C , patamar durante certo tempo na máxima temperatura da curva de queima e resfriamento até temperaturas inferiores a 200°C . (COSTA, 2016).

Figura 13 – Forno utilizado para a queima do material cerâmico



Fonte: Costa, 2016.

Figura 14 – Queima de peças cerâmicas



Fonte: FIEMG, 2013.

3.2.8. Inspeção

Análise das peças produzidas, descartando as peças fraturadas ou com trincas para à etapa de recebimento da matéria prima.

3.2.9. Estocagem

As peças são estocadas em regiões da empresa para espera da expedição. Ressalta-se ainda que alguns cuidados básicos devem ser considerados ao longo dessa etapa, visto que os lotes novos não devem ser misturados com os lotes velhos, evitando com isso inúmeros problemas, principalmente com telhas de encaixe. Todo lote deve receber identificação. (COSTA, 2016).

3.2.10. Expedição

O produto queimado ao sair do forno deve ser transportado com cuidado, evitando batidas desnecessárias. O controle de qualidade deve ser realizado em lotes pequenos de aproximadamente 100 peças, separadas aleatoriamente. Os testes a serem realizados compreendem: absorção de água; torção; desvio padrão em relação ao esquadro; bitolas (dimensões); permeabilidade (telhas); sonoridade (blocos e telhas) e empenamento (telhas). (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).

3.3 ARGILA

Com o passar dos anos e com o avanço da tecnologia foi utilizado além do barro como matéria prima para as artes cerâmicas outros materiais extraídos através de minerais existentes na terra, como metais, argila, areia e etc.

No decorrer desses anos, necessitou-se de cerâmicas de altas tecnologias, que suportam temperaturas elevadas e que possuem grande resistência, então resolveram utilizar a argila após perceber que a mesma continha uma maior plasticidade, coesão e um bom cozimento quando adicionadas a outros elementos, como por exemplo, a água.

De acordo com (Isaia, 2007, p.564), “a argila é um material natural, terroso, de baixa granulometria, mas com elevado teor de argila com diâmetro inferior a 2 μ m, que apresenta plasticidade quando misturado com quantidades adequadas de água.”. Mas, de acordo com a 6502/95 denomina-se argila as frações do solo com tamanhos dos grãos

abaixo de 0,002 mm, apresentando coesão e plasticidade. Além de definir o conceito tecnicamente o conceito de argila, essa NBR define ainda os tipos de argilas e argilominerais.

Com base na NBR 6502/95, argilominerais são silicatos hidráulicos de alumínio, podendo conter quantidades variáveis de ferro, magnésio, potássio, sódio, lítio, etc. São geralmente formados por lamelas constituídas por estratos ou lâminas de tetraedros de SiO_4 e octaedros de $\text{Al}(\text{OH})_6$, possuindo cristalinidade variável. Os argilominerais se formam por alteração de minerais primários das rochas ígneas e metamórficas, como feldspatos, piroxênios e anfibólios, ou são constituintes de rochas sedimentares. Possuem a propriedade de absorver às superfícies de suas partículas quantidades variáveis de água e íons. Os principais grupos de argilominerais são: caulinita, micas hidratadas e esmectitas.

3.3.1 Tipos de Argila

• **Argila dispersiva:** Fundamentado na NBR 6502/95, define-se argila dispersiva, a argila com preponderância de cátions monovalentes de sódio dissolvidos na água intersticial, enquanto que a argila não dispersiva tem preponderância de cátions divalentes de cálcio e magnésio. É uma argila facilmente erodível pela água, em um processo de dispersão ou defloculação, quando as forças elétricas repulsivas atuantes entre as partículas argilosas são maiores que as forças de atração (Van Der Waals). Esta argila não pode ser identificada pelos ensaios de caracterização comuns, mas por ensaios químicos ou por ensaios geotécnicos, assim como o ensaio de dispersão rápido, o ensaio sedimentométrico comparativo SCS e o ensaio de furo de agulha.

• **Argila Sensível:** A NBR 6502/95 define esse tipo de argila como sendo a argila cuja resistência no estado natural é maior que no estado amolgado.

• **Bentonita:** Argila com alto teor de mineral montmorilonita, caracterizada por sua alta expansibilidade, quando umedecida. Frente a isso, Meira (2001) afirma que trata-se de uma argila residual proveniente de alterações de cinzas vulcânicas ácidas. Possui uma granulometria muito fina, podendo aumentar substancialmente o volume em meio aquoso e apresentar cores variadas.

• **Caulin:** Ainda com base em Meira (2001), o caulino é uma argila constituída essencialmente por caulinite. Trata-se de um material muito refratário, que se forma a partir de transformações de rochas ricas em feldspatos e micas.

• **Argila Refratária:** São argilas sedimentares de refratariedade superior a 1500° C e que queimam com cor castanho claro. O termo refere-se não só à resistência pirosópica ou refratariedade, mas também ao modo de jazida. Estas argilas ocorrem sob ou intercaladas entre camadas de carvão sendo, por vezes, denominadas de *underclay*. São constituídas essencialmente por caulinite associada a quantidades variáveis de quartzo, mica, diquite, ilite, montmorilonite, interestratificados ilite-montmorilonite e matéria orgânica.

• **Argilas de Bolas:** São argilas muito plásticas, com granulometria muito fina (onde dominam as partículas com diâmetro esférico equivalente inferior a 1 micron), com apreciável poder ligante, com refratariedade inferior à do caulino e que evidenciam cor marfim ou creme claro após cozedura.

São compostas basicamente por caulinite, associada a hidromica e quartzo finamente divididos, clorite, montmorilonite, interestratificados ilite-montmorilonite e matéria orgânica. São sempre argilas sedimentares com características específicas para cada depósito e dentro dos quais são vulgares as variações de qualidade.

• **Argilas fibrosas:** As argilas fibrosas são constituídas, basicamente, por minerais argilosos fibrosos do grupo da paligorskite e sepiolite, ricas em paligorskite, sepiolite.

Estas argilas são caracterizadas por desenvolver alta viscosidade nas suspensões ou dispersões aquosas em que participam. Devido ao hábito muito alongado das partículas dos minerais fibrosos, elas não floculam facilmente.

3.4. TIPOS DE ARGILOMINERAIS

• **Caulinita:** De acordo com Machado (2012), a caulinita é constituída por Silicato de alumínio hidratado, com 39,5% Al_2O_3 - 46,5% SiO_2 - 14,0% H_2O . É matéria primária da indústria cerâmica, para a fabricação da porcelana, louça sanitária etc., em mistura com outros produtos minerais; é também empregada na preparação de pigmentos à base de anilina, veículo inerte para inseticidas, abrasivos suaves, endurecedor na indústria têxtil, carga na fabricação de papel, carga e revestimento de linóleos e oleados,

em sabões e pós dentifrícios, carga para gesso para parede, constituinte do cimento Portland branco, em tintas, e outros.

• **Micas hidratadas:** De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2009), são minerais constituído por silicatos hidratados de alumínio, potássio, sódio, ferro, magnésio e, por vezes, lítio, cristalizado no sistema monoclinico, com diferentes composições químicas e propriedades físicas. Dentre outras, podem ser citadas: clivagem fácil, que permite a separação em lâminas muito finas; flexibilidade; baixa condutividade térmica e elétrica; resistência a mudanças abruptas de temperaturas. Tais características conferem a esse mineral múltiplas aplicações industriais, como a produção cimento, tintas e dispositivos eletrônicos.

• **Esmectites:** Sampaio (2006) afirma que esse grupo de argilominerais se caracteriza como uma variação da caulinita, pertencente à classe dos filossilicatos e pertencente ao grupo da montmorilonita. Possui uma coloração esverdeada e tem um alto índice de absorção de água, o que faz com que a mesma possua uma alta capacidade de trocar cátions com o meio. Suas principais aplicações estão associadas a criação de nanocompósitos.

3.5 PRINCIPAIS ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS PARA CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA

3.5.1. Microscopia Eletrônica de varredura (MEV)

De acordo com Dedavid, Gomes e Machado (2007), a microscopia eletrônica de varredura (MEV) consiste em utilizar um feixe de elétrons de pequeno diâmetro para explorar a superfície da amostra, ponto a ponto, por linhas sucessivas e transmitir o sinal do detector a uma tela catódica cuja varredura está perfeitamente sincronizada com aquela do feixe incidente. Por um sistema de bobinas de deflexão, o feixe pode ser guiado de modo a varrer a superfície da amostra segundo uma malha retangular. O sinal de imagem resulta da interação do feixe incidente com a superfície da amostra. O sinal recolhido pelo detector é utilizado para modular o brilho do monitor, permitindo a observação.

Para serem detectadas, as partículas e/ou os raios eletromagnéticos resultantes da interação do feixe eletrônico com a amostra devem retornar à superfície da amostra e daí atingirem o detector. A profundidade máxima de detecção, portanto, a resolução espacial,

depende da energia com que estas partículas ou raios atingem o detector, ou são capturadas pelo mesmo. A imagem formada a partir do sinal captado na varredura eletrônica de uma superfície pode apresentar diferentes características, uma vez que a imagem resulta da amplificação de um sinal obtido de uma interação entre o feixe eletrônico e o material da amostra.

3.5.2. Fluorescência de Raio-X

A espectrometria de fluorescência de raio X é definida por Carvalho e Dias (2014) como um método analítico para determinação da composição química em todos os tipos de materiais. Os materiais podem ser analisados no estado sólido, líquido, em pó ou outras formas. Esta técnica também pode, por vezes, ser usada para determinar a espessura e composição de camadas e revestimentos.

Trata-se de um método rápido, exato e não destrutivo e geralmente apenas requer o mínimo de preparação de amostras. Muitas amostras podem ser analisadas com pouco ou nenhum pré-tratamento. As aplicações são vastas e incluem-se em vários campos da ciência, pesquisa e controle de qualidade. Entre eles, podem destacar-se os metais, cimentos, óleos, polímeros, indústria alimentícia, exploração mineira, dentre outros.

3.6 IMPACTOS AMBIENTAIS DO PROCESSO PRODUTIVO DOS BLOCOS

A indústria da construção civil consome intensamente recursos naturais para a fabricação de materiais e componentes, como o aço e o cimento, para elementos estruturais, materiais sintéticos, para impermeabilizações, e blocos cerâmicos e de concreto, para alvenarias. E devido ao uso em larga escala, tem contribuído para a devastação dos recursos não-renováveis (CIB, 1999).

Conforme Bertoldo (2012) o número de resíduos produzidos pela construção civil há muito tempo vem causando sérios problemas urbanos, sociais e econômicos. Quanto maior for o número de resíduos produzido, mais difícil será o gerenciamento.

Segundo John (2000), estima-se que a cadeia de ações da construção civil consuma de 20 a 50% de todos os recursos naturais disponíveis no planeta e a estimativa é um consumo de 9,4 ton/hab.ano de materiais de construção.

No Brasil, são produzidos aproximadamente 35 milhões de toneladas de cimento Portland por ano, sendo este misturado com agregado em um traço 1:6, em massa, pode-se estimar um consumo de 210 milhões de toneladas de agregado por ano. Isso, somente para produção de cimento e argamassas, ainda a este valor falta somar os agregados utilizados para pavimentação e as perdas (JOHN, 2000).

Segundo Gaede (2008) a qualidade do ar, solo e recursos hídricos vem sofrendo alterações devido ao aumento populacional, criação de novas indústrias e crescimento do poder aquisitivo, onde as indústrias fazem uso de recursos naturais com mais frequência, havendo mais poluição, grande consumo de energia e geração de novos resíduos.

Os resíduos gerados na construção civil caracterizam-se por diferentes tipos, sendo formados por argamassa, areia, cerâmicas, concretos, madeira, metais, papéis, plásticos, pedras, tijolos, tintas, gases e etc.

De acordo com Mastella (2002), no Brasil a industrialização se deu com tecnologia ultrapassada, altamente consumidora de recursos naturais, de energia e degradadora do meio ambiente, desencadeando diversos impactos, tais como:

- **Consumo energético:** Em vista das incertezas, custos e riscos associados à energia obtida do petróleo, gás, carvão e materiais nucleares, é essencial o aumento da eficiência energética, da conservação e do desenvolvimento de uma variedade de fontes renováveis (CORSON, 1996);

Dentro do setor cerâmico, temos que a fonte energética mais utilizada nos processos dentro do segmento é a lenha, com 52% de participação no consumo energético, seguida do gás natural com 28% de participação e eletricidade com 7% de participação (MME - Ministério de Minas e Energia, 2017).

No consumo energético da cerâmica vermelha, temos que a lenha ainda predomina como fonte energética com uma participação de 48% do consumo energético no processo de fabricação, enquanto outros resíduos da madeira apresentam 39% de participação, outros combustíveis com 4% e eletricidade 3% (MME - Ministério de Minas e Energia, 2017).

- **Consumo mineralógico:** Sociedades industrializadas modernas não poderiam existir sem suprimentos adequados de uma grande variedade de materiais minerais. A formulação de decisões adequadas nas áreas sociais, econômicas, políticas e ambientais requer um conhecimento da dependência da sociedade pelos minerais, da distribuição desigual dos depósitos minerais mundiais, e da natureza finita de cada depósito (CORSON, 1996);

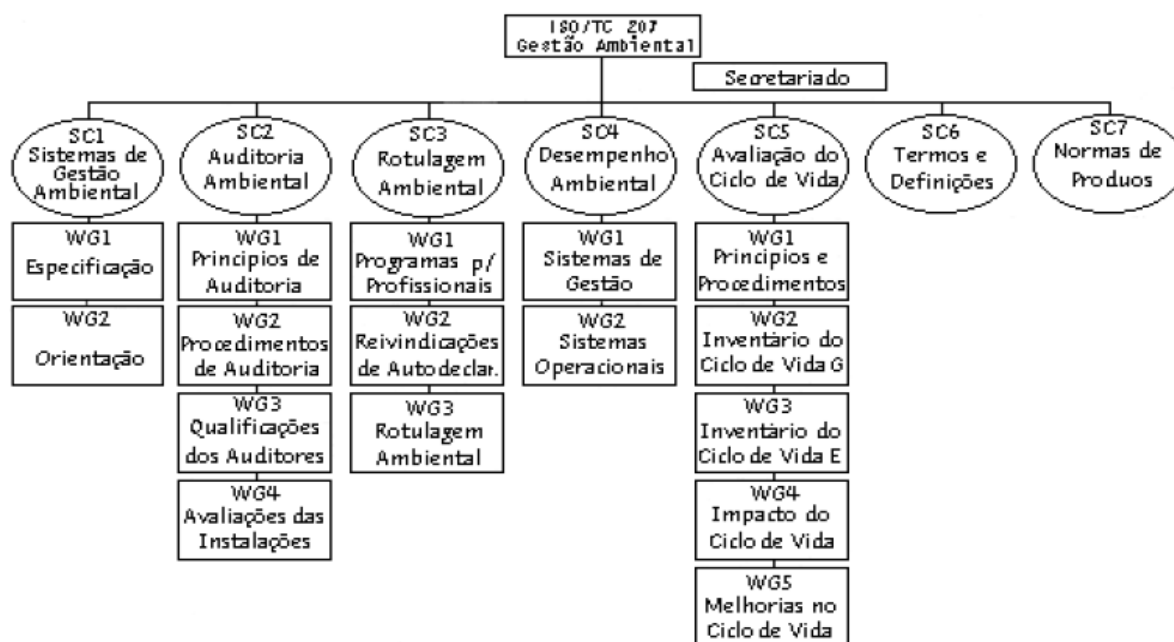
- **Geração de resíduo sólido, líquido e gasoso:** Conforme John (2000), a grande problemática de geração de resíduos estão presentes no: canteiro de obra, durante a fase de manutenção, modernização e demolição, sendo que a manutenção pode estar tanto na correção de falhas na execução quanto na substituição do material que tenha atingido sua vida útil.

3.7 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

Conforme relata Chehebe (1998), os primeiros estudos relacionados ao que se chamam hoje de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tiveram início durante a primeira crise do petróleo. Essa crise gerou uma busca por fontes alternativas de energia e chamou a atenção da população mundial para a necessidade de melhor utilização dos recursos naturais. Naquela época, vários estudos foram realizados com o intuito de avaliar os processos produtivos e racionalizar o consumo das fontes de energia não-renováveis. Apesar de esses estudos terem como foco a questão energética, alguns deles chegaram a considerar aspectos ligados à questão ambiental, na medida em que estimavam as emissões geradas a partir do consumo de cada tipo de fonte de energia.

A série ISO 14000, na organização do seu comitê técnico TC - 207 - Gestão Ambiental, encarregado da elaboração das normas e guias internacionais para o Sistema de Gerenciamento Ambiental (SGA), criou o subcomitê SC - 5 para a Avaliação do Ciclo de Vida que encontra-se sediado na França (TAVARES, 1997). A Figura 15 ilustra tal organização, em que vários dos subcomitês são ainda subdivididos em grupos de trabalho, dependendo do número de normas planejadas no escopo de trabalho de cada subcomitê.

Figura 15: Subcomitês e grupos de trabalho TC 207 da ISO 14000.



Fonte: Tibor e Feldman, 1996.

A ACV é uma das metodologias de gestão ambiental utilizadas – no que tange aos parâmetros qualitativos e quantitativos, para avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo as etapas mencionadas anteriormente, que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo (berço) até a disposição do produto final (túmulo) (CHEHEBE, 1998).

Para o seu estudo, a ISO 14000 apresenta a seguinte série de normas:

- ISO 14040 - Análise do Ciclo de Vida: Princípios e Práticas Gerais;
- ISO 14041 - Análise do Ciclo de Vida: Análise do Inventário;
- ISO 14042 - Análise do Ciclo de Vida: Avaliação dos Impactos;
- ISO 14043 - Análise do Ciclo de Vida: Interpretação dos Resultados.
- ISO 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações (ABNT, 2009c);
- ISO14045: Gestão Ambiental – Avaliação da Ecoeficiência de Sistemas de Produto - Princípios, Requisitos, e Orientações (ABNT, 2014a);
- ISO14064: Gases de Efeito Estufa (ABNT, 2007);
- ISO/TS 14067: Gases de Efeito Estufa – Pegada de Carbono de Produtos – Requisitos e Orientações sobre quantificação e comunicação (ABNT, 2015a).

Ela tem sido apontada como uma das metodologias de avaliação de impactos ambientais mais aceitas internacionalmente, podendo ser aplicada à qualquer atividade,

processo ou produto, inclusive aqueles no âmbito da construção civil (CABEZA, 2014 e CHAU, 2015).

Segundo Luz (2011), um estudo de ACV necessita e gera uma imensa quantidade de dados, algumas ferramentas foram desenvolvidas para auxiliar a realização da Avaliação do Ciclo de Vida.

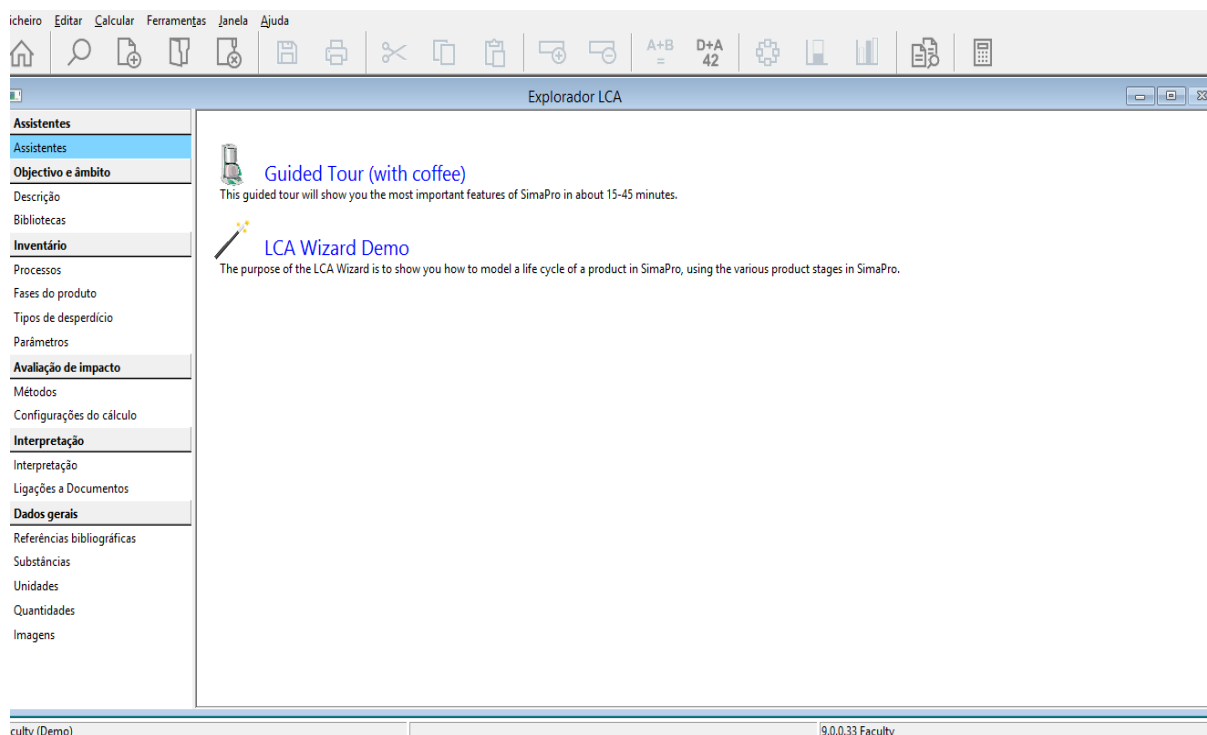
O objetivo de um estudo de ACV deve indicar inequivocamente a aplicação pretendida as razões para conduzir o estudo e o público-alvo, isto é, para quem se pretende comunicar os resultados do estudo. Já o escopo deve ser suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e o grau de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender o objetivo estabelecido. Na definição de um escopo de um estudo da ACV, devem ser considerados e claramente descritos os seguintes itens:

Devido ao grande número de ferramentas disponíveis para estes estudos, cada *software* desenvolvido para a ACV possui uma característica diferente que de acordo com Luz (2011), um ponto relevante para a escolha segundo o Environmental Protection Agency (EPA, 2016) é a verificação do cumprimento do objetivo instituído visando atender ao nível de análise estabelecido.

Uma dessas ferramentas de uso na ACV é a SimaPro que foi desenvolvido por uma empresa holandesa (*PréConsultants*) para analisar, identificar e comparar impactos ambientais de produtos diferentes, sendo apresentado por uma base de inventário e uma de avaliação, e que são organizadas em categorias (materiais, energia, transportes, processos, utilizações, condicionamento e processamento de resíduos).

O SimaPro é um software desenvolvido por uma empresa holandesa Pré-Consultans, tendo a sua primeira versão lançada em 1990. É considerado este o melhor software de ACV do mundo, apresentando grande confiabilidade e flexibilidade, utilizado por universidades, consultorias e indústrias (DIAS, 2008). Veja na Figura 16 o modelo de sua plataforma na versão faculty.

Figura 16: Modelo da Plataforma do SimaPro.



Fonte: Autor, 2019.

O SimaPro é um software que permite ao usuário modelar e analisar ciclos de vida complexos seguindo as recomendações da série ISO 14040, tem a necessidade da construção do ciclo de vida pelo usuário, o qual irá colocar os detalhes do produto e cada estágio do ciclo de vida do produto, como material, processo, transporte, reciclagem, reutilização e eliminação; e, com isto em seguida, os resultados do ciclo de vida do produto e impacto ecológico são apresentados. O usuário pode introduzir em cada estágio a quantidade de material, os processos e os dados disponíveis nas bases de dado do pacote, podendo também acrescentar um novo material ou processo no banco de dados quando necessário (DIAS, 2008).

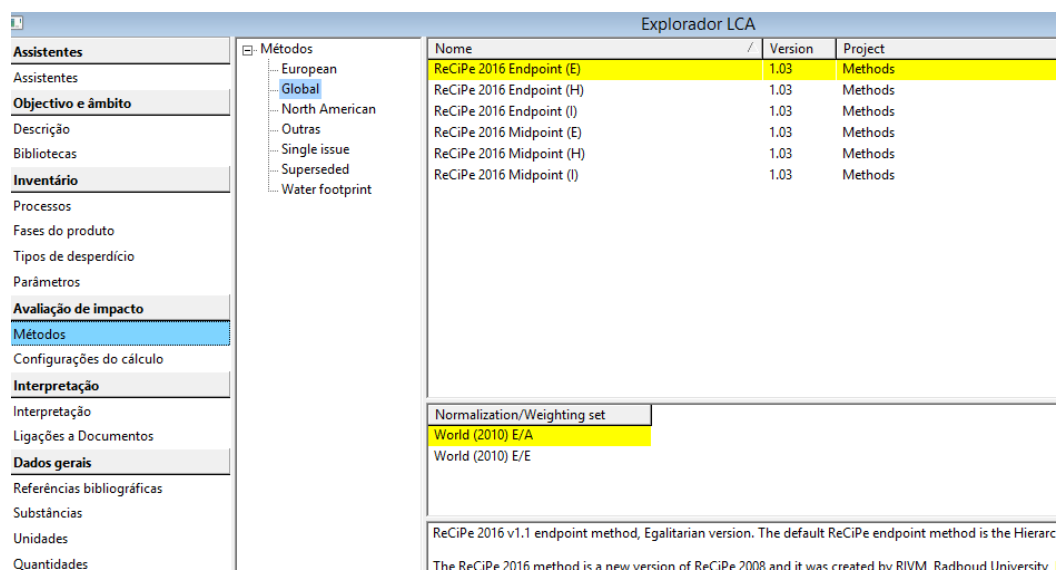
Neste estudo escolheu-se utilizar o método de avaliação de impactos o Recipe 2016 Endpoint (E), explicado este logo a seguir.

3.7.1 Recipe

Em 2000 uma sessão especial focou-se na compreensão dos pontos fortes e fracos dos métodos midpoint e endpoint organizada em Brighton, e logo em seguida a SETAC, e 50 especialistas em ACV chegaram à conclusão que seria vantajoso uma estrutura comum, na qual ambos os indicadores poderiam ser usados, tratando-se isto a base do

método Recipe. O Recipe é uma continuação dos métodos Eco – Indicador 99 e CML 2002 buscando este integra e harmoniza em uma estrutura consistente a abordagem direcionada ao problema do CML, com a abordagem direcionada a danos do Ecoindicador 99 (BARBOSA, 2012). Veja onde se encontra na plataforma o método Recipe na Figura 17.

Figura 17 - Localização do método Recipe 2016 Endpoint (E).



Fonte: Autor, 2019.

3.8 ACV NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo a *Energy Conservation in Buildings and Community Systems*, o método da ACV pode ser diretamente aplicada no setor de construção – produtos do setor, edificações individuais e conjuntos de edificações. No entanto, as edificações são sistemas excepcionais e possuem muitas características que tornam a aplicação padrão da metodologia de ACV complexa.

Os motivos pelos quais o setor se torna de difícil avaliação também são mencionados pelo grupo, e estão listadas a seguir:

a) expectativa de vida de um edifício é longo e desconhecido, isso se torna um fator de imprecisão nas considerações a serem feitas. Por exemplo, as fontes de energia ou a eficiência energética de um edifício pode se alterar, comprometendo as previsões de impactos ambientais;

b) As construções estão em locais específicos, e, por isso, muitos dos impactos são locais, algo que normalmente não é considerado em uma ACV;

c) As construções e seus componentes e/ou produtos são heterogêneos em sua composição. Dessa forma, uma quantidade maior de dados é necessária e os processos de fabricação podem variar consideravelmente de um lugar para o outro;

d) O ciclo de vida de edificações inclui fases específicas, construção, uso e demolição, com consequências variáveis sobre o meio ambiente. Por exemplo, na fase de utilização, o comportamento dos usuários e operadores de serviços tem uma influência significativa no consumo de energia;

e) Uma edificação é altamente multifuncional, o que torna difícil a definição de uma unidade funcional adequada;

f) Uma edificação cria um ambiente de vida interna, que pode ser analisada em termos de saúde e conforto. Para manter um ambiente interno de boa qualidade a construção necessita de energia (aquecimento, ventilação, iluminação, etc.) e materiais. Há, portanto, fortes ligações entre os impactos ambientais e a qualidade do conforto, do ar interno, da saúde e produtividade;

g) Como as edificações estão intimamente integradas com outros elementos construídos no meio ambiente, como infraestruturas urbanas, estradas, instalações sanitárias entre outros, pode ser altamente enganoso realizar uma ACV de uma edificação isolada.

Estes fatores apenas apoiam e reforçam a ideia apresentada por Khasreen (2009), a qual indica que, embora a ACV seja amplamente utilizada no setor da construção civil desde 1990, e seja uma ferramenta importante na análise de edificações, ela é menos desenvolvida do que em outras indústrias. Entretanto, segundo Soares (2006), apesar das questões explicitadas, a aplicação da ACV na avaliação ambiental de sistemas e elementos construtivos possibilita uma análise mais detalhada e crítica da etapa de especificação de materiais e a promoção de melhorias ambientais, e muitas vezes econômicas, nas diversas etapas do ciclo de vida do sistema considerado. A ACV de uma edificação necessita, inicialmente, um número significativo de dados (fluxos ou indicadores) para modelar corretamente um estudo de caso. Estas análises têm sido facilitadas nos últimos anos para os não-especialistas, com um grande número de ferramentas de ACV específicas para as construções (LASVAUX, 2010).

4. METODOLOGIA

O presente estudo remete ao desenvolvimento por início de uma pesquisa bibliográfica, onde serão utilizados artigos, livros, teses e dissertações, literatura técnico-científica, para obter as informações necessárias, que por meio desta pesquisa será compreendido a história da construção civil e caracterizando os materiais de estudo, que são os blocos de concreto e blocos cerâmicos utilizados na alvenaria de vedação, apresentando seu processo de fabricação, podendo assim, caracterizar o restante do estudo como uma pesquisa qualitativa, a serem realizadas coletas de material desses blocos de uma indústria de Pré moldados localizada no interior do Estado da Paraíba e em um industria de Cerâmica Vermelha localizada na região do Oeste potiguar.

Mediante tal contexto, a presente pesquisa é definida por Gil (2008) como uma pesquisa de cunho experimental, tendo em vista que o objeto de pesquisa uma entidade física, que não apresenta grandes limitações quanto a possibilidade de experimentação. Ressalta-se ainda que neste tipo de pesquisa, comumente é definido o objeto de estudo, seleciona-se as variáveis e define-se as formas de controle.

A metodologia para se alcançar tais resultados iniciou-se com os ensaios de Fluorescência de raios-x e MEV para caracterização da argila, material-prima dos blocos cerâmicos, em que se fez necessário, pois há uma vasta abundância de argila, se fazendo necessário esses ensaios, para o conhecimento da composição dessa material-prima, uma vez que a empresa estudada não contém de tal conhecimento, possibilitando assim, identificar a qualidade para o produto e os materiais que a compõe para análise do impactos relacionado ao ciclo de vida do produto final (blocos cerâmicos)

Em seguida foi realizada as redes de fluxo baseadas na ACV, e nos processos construtivos de cada uma das soluções analisadas, e a elaboração dos ICVs compatíveis com o contexto específico do problema aqui considerado. Estas duas etapas alimentam o balanço de massa, possibilitando a quantificação dos possíveis impactos ambientais e sua consequente comparação, para determinar qual processo produtivo é o menos danoso ao ambiente.

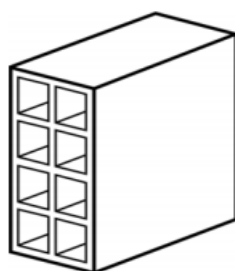
Para tanto, o objeto de estudo são:

4.1. BLOCOS CERÂMICOS

Também chamado de tijolo baiano, apresentando furos prismáticos, retangulares, cilíndricos ou outros, perpendiculares às faces que às contém. (ABNT NBR15270-1, 2005).

Os blocos em estudo são usados na construção das paredes de vedação e no assentamento, esses contém oito furos e são geralmente dispostos verticalmente. Eles tem as seguintes dimensões de 9cmX19cmX19cm (Figura 18).

Figura 18 - Modelo de bloco cerâmico estudado.

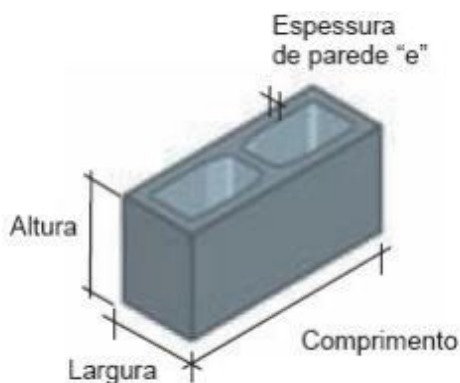


Fonte: ABNT NBR15270-1:2005.

4.2. BLOCOS DE CONCRETO

O bloco a ser utilizado será o de classe D, também considerado como classe C, com dois furos, que segundo a ABNT NBR3136 (2016), aplica-se à alvenarias externas sem revestimento devendo o bloco possuir resistência característica à compressão maior ou igual à 2 MPa, além de sua capacidade de vedação. Em estudo eles tem uma resistência de aproximadamente 2,5 MPa, Segundo informação do proprietário da empresa estudada, contém 2 furos e dimensões de 14cmX19cmX39cm (Figura 19).

Figura 19 - Modelo de bloco de concreto estudado.



Fonte: ABNT NBR 6136:2016.

4.3. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE PESQUISA

A presente pesquisa foi conduzida na Cidade de São Francisco do Oeste/RN, situada na Microrregião de Pau dos Ferros, no Alto Oeste. De acordo com o IBGE (2010), a cidade possui uma área de aproximadamente 76 km² e apresenta uma população de 3874 habitantes. Ao analisar os aspectos sociais locais, percebe-se que a prestação de serviços se apresenta como a principal fonte de renda local, no entanto, outras atividades também contribuem para o desenvolvimento econômico, onde pode-se citar a agropecuária e a indústria. Nesse sentido, a cidade possui dentre seus segmentos a produção cerâmica, que mesmo em pequenas proporções, contribui para a geração de emprego e renda. A Figura 20 mostra as localizações da zona urbana da cidade, bem como a localização da cerâmica.

Figura 20 – Localização da Zona Urbana de São Francisco do Oeste e da Cerâmica



Fonte: Google Earth, 2019. Adaptada

A empresa está situada a 655 metros da zona urbana da cidade. Ao analisar as atividades desenvolvidas na Cerâmica Freitas e Chaves, verifica-se que a empresa, além da produção de artefatos cerâmicos, também trabalha com locação de veículos de grande porte (Caçamba, Trator, Rolo compressor, Patrol) e construção de pequenos edifícios residenciais e industriais. Essa possui como legislação ambiental apenas a licença de

operação devendo conter uma licença para extração da argila, que de acordo com a DN 74/04, o item A-03-02 Extração de argila para fabricação de cerâmica vermelha é passível de licenciamento, tendo como potencial poluidor médio e o porte varia de acordo com a produção bruta do empreendimento: Pequeno: produção bruta ≤ 12.000 t/ano; Médio: produção entre 12.000 e 50.000 t/ano e Grande: produção bruta > 50.000 t/ano.egundo .

A mesma tem uma produção diária de aproximadamente 18 mil blocos cerâmicos, entretanto, houve uma redução, uma vez que a quantidade produzida baixou para 12 mil tijolos. Ressalta-se também que a empresa tem 06 funcionários com carga horária diária de 08 horas, o que a caracteriza como microempresa.

Quanto às matérias primas, estima-se que o consumo médio de argila mensalmente é de 720 m³, em torno de 1.152.000 Kg de argila, sendo que essa quantidade varia de acordo com as características da argila. Já em relação à madeira destinada à queima da cerâmica, há estimativas do quantitativo porém não constados de forma precisa, girando em torno de 8 m³ de lenha e sabe-se que é extraída no município de Rodolfo Fernandes/RN.

Em relação ao sistema produtivo, o tempo de secagem varia entre dois e três dias e a matéria prima é depositada a céu aberto e processada manualmente, sendo que em período mais chuvoso as peças chegam a ficar cerca de 6 a 8 dias no seu tempo de secagem, devido a umidade está baixa nessa época. Constatou-se que não há controle de qualidade e que aproximadamente 4% da produção é perdida, caracterizando-se como resíduo sólido-industrial. Além disso, os detritos oriundos das atividades da empresa não recebem tratamentos e são destinados aos aterramentos de vias e ao lixo local.

Além dessa localização a presente pesquisa foi também conduzida na Cidade de São Bento/PB, situada na Região Geográfica Imediata de Catolé do Rocha-São Bento. De acordo com o IBGE (2010), a cidade possui população, conforme estimativas de 33 796 habitantes, sendo a 15ª cidade mais populosa da Paraíba. Sua Área territorial é de 248 km², com 375 Km de distância da capital João Pessoa. Ao analisar os aspectos sociais locais, percebe-se que a prestação de serviços se apresenta como a principal fonte de renda local, no entanto, outras atividades também contribuem para o desenvolvimento econômico, onde pode-se citar a agropecuária e a indústria, sendo um pólo industrial com uma grande produção de redes de dormir, mantas e produtos têxtil, sendo conhecida como a *Terra das Redes* e produzindo mais de 12 milhões de redes por ano.

Nesse sentido, a cidade possui dentre seus segmentos a produção blocos de concreto, que mesmo em pequenas proporções, contribui para a geração de emprego e renda. A Figura 21 mostra as localizações da zona urbana da cidade, bem como a localização da cerâmica.

Figura 21 – Localização da Zona Urbana de São Bento e da indústria de blocos de concreto



Fonte: Google Earth, 2019. Adaptada.

A empresa está situada na parte periférica (pontas) da zona urbana da cidade com aproximadamente 2 km de distância do centro da cidade e tem aproximadamente 8 anos e funcionamento. Essa possui como legislação ambiental apenas a licença de operação.

Ao analisar as atividades desenvolvidas na Precol Indústria e Comércio de Premoldados, Artefatos de Cimento, verifica-se que a empresa, além da produção de blocos de concreto do tipo Classe D, também produz outros artefatos de pré-moldados, como vigas, postes, tubos de concreto, e longarinas e presta serviços na área da construção civil, como construção de edifícios, obras de urbanização dentre outros.

Ela possui uma produção mensal de aproximadamente 10 mil blocos de concreto, entretanto, houve uma redução, uma vez que a quantidade produzida aumentou para 8 mil tijolos. Ressalta-se também que a empresa tem 08 funcionários com carga horária diária de 08 horas, o que a caracteriza como microempresa.

Quanto às matérias primas, estima-se que o consumo médio de cimento mensalmente é de 500 m³ de concreto, a areia fina e grossa sendo que essa quantidade varia de acordo com as características das mesmas, são retiradas próximas a um rio que percorre próximo ao local da empresa quanto ao pó de pedra e o pedrisco, são extraídos na região entre os municípios de Acari/RN e Currais Novos/RN, locais ricos com esses minerais.

Em relação ao sistema produtivo, o tempo de cura dura entre 15 à 20 dias e secagem varia entre dois e três dias. A matéria prima é depositada a céu aberto e processada de forma manual e automatizada. Constatou-se que há controle de qualidade mas de forma ineficiente, ou seja, não há monitoramento adequado na produção do material final, além do estoque de materias-prima mal administrado. Tendo em vista que tal empresa possui um traço para produção do bloco porém há adições que não são controladas nesse processo, como por exemplo o incernimento de água. Com isso, observou-se que aproximadamente 1% da produção é perdida, caracterizando-se como resíduo sólido-industrial. Mesmo este material podendo ser reutilizado novamente no processo de produção, ainda há desperdício.

Além disso, os detritos oriundos das atividades da empresa não recebem tratamentos e são destinados aos aterramentos de vias, e o município faz a coleta para reutilização em alguns aterros ou construções, em que são solicitados pela população. Dependendo das peças que não obtenham um produto final bom para o uso, algumas delas ainda chegam a serem retulizadas como pó de pedra, fazendo o trituramento dessas peças.

4.4. REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Os ensaios descritos neste tópico são de fundamental importância para a caracterização físico-química da argila utilizada na produção dos blocos cerâmicos, na Cidade de São Francisco de Oeste/RN. Desse modo, realizou-se os ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X no Laboratório de Engenharia Civil da UFRN, Campus Natal/RN, sendo esses efetuados pelo Professor Aldo da Silva Souza.

4.4.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O procedimento utilizado para o preparo de amostras para análise morfológica da fração argila em MEV seguiu da seguinte maneira: uma determinada quantidade de argila foi seca em estufa, a uma temperatura de aproximadamente 1600°C para secagem da amostra. Após essa etapa, a amostra foi colocada em dessecador para resfriar de modo a não absorver umidade, sendo posteriormente triturada em almofariz de porcelana até a granulometria correspondente à peneira de malha 0,057mm e peneirada diretamente sobre o porta-amostra recoberto com fita de carbono, de modo que as partículas se depositassem aleatoriamente (COSTA, 2016).

O microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), utilizado para a análise morfológica das amostras, foi um modelo DMS 962 Zeiss, operado a 25KV, com utilização de elétrons secundários (COSTA, 2016).

4.4.2 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X

As amostras de argila foram secas em estufa a uma temperatura de 110°C por um período de 24 horas, de modo que pudessem ser destorroadas e homogeneizadas facilmente. Após esta etapa, determinadas porções das amostras foram trituradas até a granulometria equivalente a peneira 76mm, com o objetivo de uniformização do tamanho das partículas (COSTA, 2016).

Com as amostras na forma de pó, sete gramas foram separados para serem moldadas em um moldador cilíndrico de aço 51 entre paletes de aço espelhado, que foram comprimidos sob uma pressão de aproximadamente 1200 kgf/cm² por um período de um minuto. As amostras obtidas em forma de tabletes ficaram com as seguintes dimensões; 3,17 cm de diâmetro e espessura de 0,45 cm, com superfícies bem espelhadas. Após o peneiramento as amostras foram novamente secas em estufa e armazenadas em dessecador até a realização dos ensaios (COSTA, 2016).

O equipamento utilizado foi um espectrômetro de raios-X do tipo fluorescência, modelo VRA 35, que identifica os elementos presentes através da análise dos comprimentos de onda dos raios-X produzidos (COSTA, 2016).

No VRA 35 é utilizado o método dispersivo para detecção dos raios-X característicos. Neste método, a fluorescência da amostra incide em cristais orientados, com espaçamento interplanar d bem conhecido, e regulando o ângulo θ em que a reflexão ocorre, o comprimento de onda λ da radiação é determinado pela lei de Bragg (COSTA, 2016).

$$n\lambda = 2 d \sin \theta$$

O método é muito dependente da matriz ou da composição global, onde o elemento identificado está presente, e que pode, por processos de novas fluorescências ou absorção seletiva, aumentar ou diminuir a radiação característica do elemento em estudo (COSTA, 2016).

4.5.EXECUÇÃO DO ESTUDO DE ACV

Para a realização da ACV será necessário o uso de recursos computacionais, desta forma, será utilizado o *software* SimaPro 7.3, que Segundo a ACV Brasil, foi lançado em 1990 pela empresa PRé Consultants, tem usuários em mais de 80 países e é o software mais utilizado para Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Sendo esse, uma ferramenta para coletar dados e analisar o desempenho ambiental de produtos e serviços. Na qual, o usuário pode modelar e analisar ciclos de vida complexos de uma forma sistemática e transparente, seguindo as recomendações da série ISO 14040.

É uma ferramenta utilizada pelas grandes indústrias, consultorias e universidades. que permite relacionar os dados a diferentes categorias de impacto. Além disso, ainda permite uma inter-relação com o excel, ou seja, após gerar as suas planilhas e gráficos os mesmos ainda podem serem enviados para o excel ou do excel para o SimaPro e vice-versa.

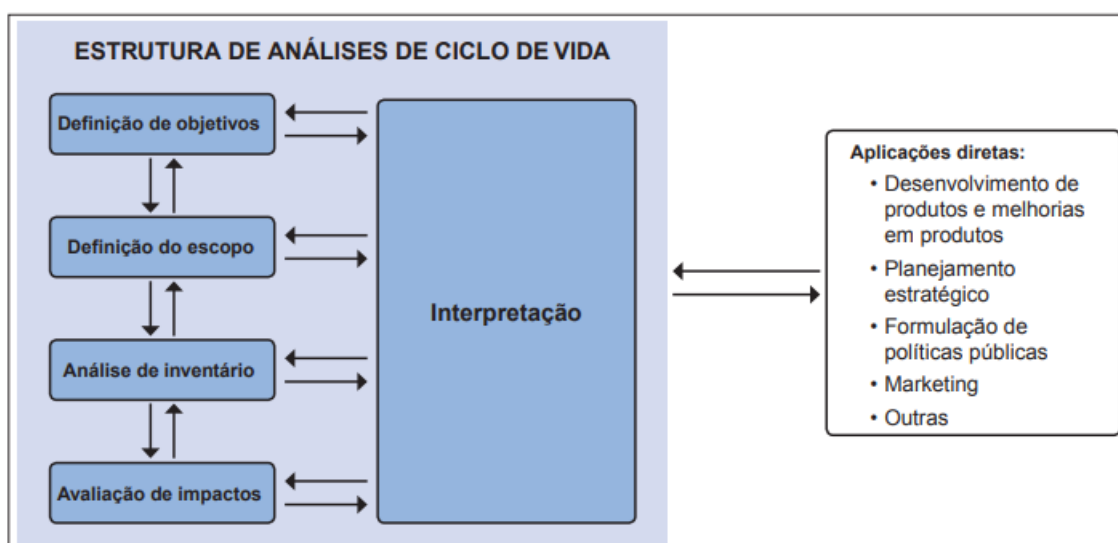
A princípio será realizado a compilação de um inventário sobre materiais e energias relevantes inseridas e emissões ambientais e feito uma avaliação do impacto ambiental associado com as emissões identificadas, em seguida será interpretado os resultados sobre o impacto dos blocos. Os impactos a serem analisados serão:

- Potencial de aquecimento global;
- Toxicidade humana;
- Formação de oxidantes fotoquímicos;
- Formação de material particulado;
- Potencial de deterioração da camada de ozônio;
- Potencial de acidificação;
- Uso de água;
- Depleção Fóssil:

Através desta análise, pretende-se traçar o perfil ambiental destes produtos, auxiliando na tomada de decisão quanto à escolha do tipo de bloco mais adequado para profissionais da área, e estabelecer dados para futuras pesquisas com base nos resultados encontrados.

A ACV busca por meio de quatro tópicos orientar e proporcionar uma melhor aplicação sendo eles: Definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação (Figura 22) (ISO 14040: 2001).

Figura 22 - Estrutura para análises de ciclo de vida



Fonte: Norma ISO 14040:2006. Adaptada.

a) Definição do Objetivo e Escopo: Na primeira fase da ACV são estabelecidos o objetivo e o escopo do estudo, tendo estes, suporte normativo na ISO 14044 e no relatório técnico ISO/TR 14049 (CAMPOS, 2012). Nessa etapa é onde se define os motivos principais para a realização do estudo, assim como abrangência e limites, unidade funcional, metodologia, procedimentos fundamentais para a segurança da qualidade do estudo, a escolha dos parâmetros ambientais e a estratégia para coleta de dados (BIANCHINI, 2007).

b) Análise do Inventário: É onde acontece a coleta de dados e procedimentos de cálculos, quantificando os fluxos de massa e energia que entram e saem nas diversas etapas do ciclo de vida do produto (DIAS, 2008). Podendo-se quantificar o uso de recursos (matérias-primas, energia e transporte) e as liberações no ar (emissões atmosféricas), no solo e na água (resíduos sólidos e efluentes) (SARTORI, 2007).

c) Avaliação do Impacto (AICV): Esta etapa é realizada baseada nos dados adquiridos da análise do inventário, associando o que entra e sai nas diversas etapas do ciclo de vida do produto em certas categorias de impactos, conforme seu efeito potencial em determinadas áreas (ex. saúde pública ou recursos naturais). Sendo feita a avaliação dos impactos ambientais relacionado à emissão de determinada substância a partir do seu efeito potencial, devido o efeito real depender de muitas variáveis, fazendo sua modelação altamente complexa (RODRIGUES, 2010).

d) Interpretação: Nesta fase é feita a avaliação e análise dos resultados obtidos nas fases de ICV e AICV do estudo, conforme os objetivos e escopo definidos e planejados na primeira etapa (QUEIROZ, 2011). Nesta fase são tiradas conclusões e recomendações, devendo ter na interpretação os impactos ambientais mais relevantes; avaliação do estudo com relação a sua completeza, sensibilidade e consistência; e também conclusões e sugestões de realização de melhorias para a redução dos impactos ambientais relevantes (DIAS, 2008).

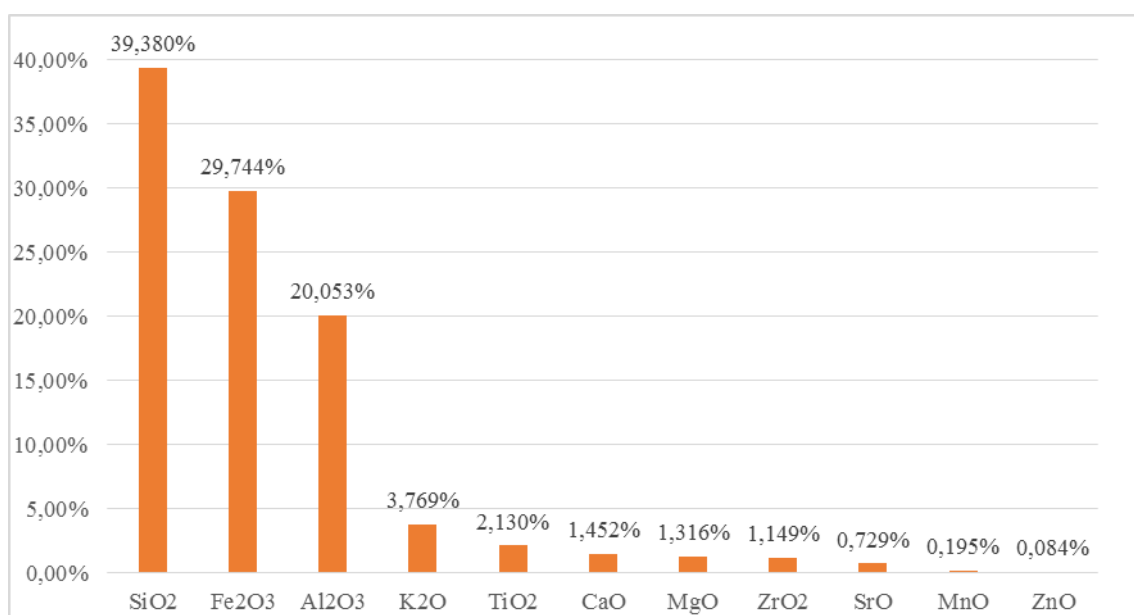
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se, nesta etapa, os resultados alcançados nesse estudo, no que se refere à avaliação das duas estruturas aqui comparadas: os blocos de concreto e os blocos cerâmicos.

5.1. ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

O resultado da análise química por difração de raios X da argila encontra-se disposta no Gráfico 05.

Gráfico 1 – FRX dos aditivos



Fonte: Costa, 2016.

Conforme o Gráfico 01, as substâncias presentes em maior abundância na argila estudada são o SiO₂, Fe₂O₃ e Al₂O₃. Além desses óxidos, ainda estão presentes o K₂O, o TiO₂ e uma série de contaminantes. Analisando os compostos principais (que correspondem aos percentuais de SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, K₂O e TiO₂) percebe-se que estes correspondem a 95,075% da amostra analisada, enquanto que os materiais contaminantes equivalem a 4,925% (COSTA, 2016).

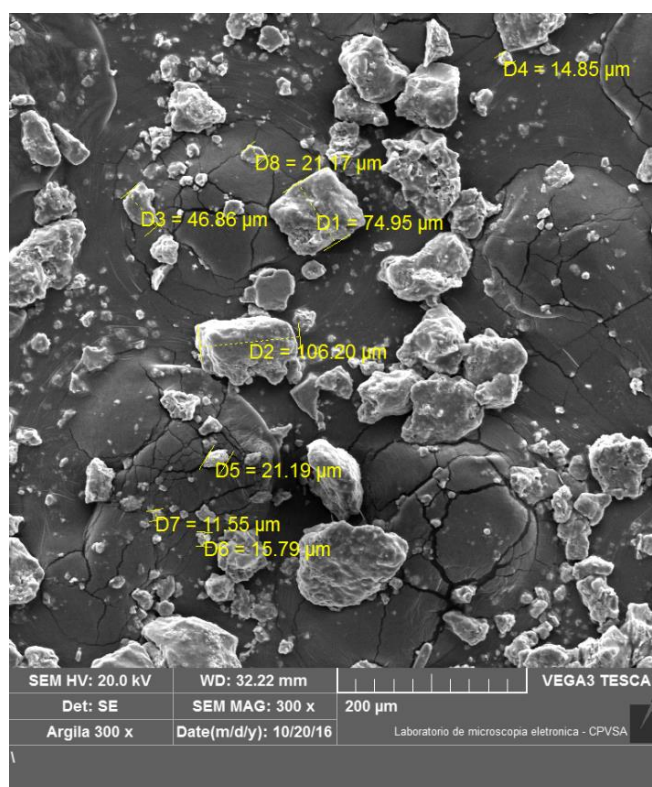
De acordo com Prado et al (2012), Os óxidos de silício e alumínio são provenientes do quartzo. No caso do Fe₂O₃, estão associados a presença de goethita. No mais, evidencia-se a presença de muitos óxidos alcalinos.

Então, observou-se que a importância desse ensaio para o estudo está caracterizada apenas na parte de gasto de material calorífero para produção do material, pois quanto maior a quantidade de substâncias nessa argila mais alta será a temperatura para atingir o ponto de fusão para formação da estrutura cristalina e consequentemente maior quantidade de lenha será necessário para queima do material e ainda assim tornando a argila mais impure. Além disso, a sua importância pode ser associada aos impactos referentes ao efeito estufa, tendo em vista que, quanto maior a liberação desses óxidos, mais existe a possibilidade para formação do efeito estufa e problemas no ar, além dos outros impactos inseridos na análise do ACV.

5.2.MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Esse ensaio se fez necessário para analisar o diâmetro da argila, uma vez que quanto menor o seu diâmetro e mais arredondada a sua estrutura cristalina, mais coesa essa argila será, e menos coesa caso aconteça o contrário. Logo, isso interfere na quantidade de água e energia ao qual será inserido para produção do material. As Figuras 23 e 24 apresentam os registros obtidos pelo MEV.

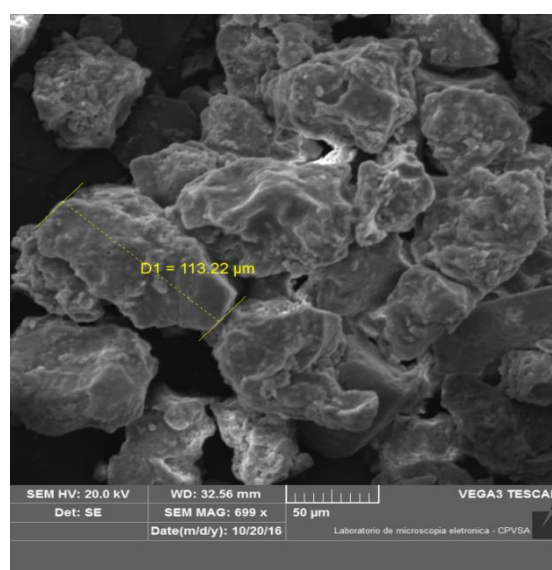
Figura 23 – MEV apresentando diâmetros variados.



Fonte: Costa, 2016.

A Figura 23 demonstra, que a argila em estudo tem uma variedade de diâmetro, com valores de grandes diferenças, sendo algumas com diâmetros muito pequenos, que é o caso de uma com 11,5 micrômetros, e outra com diâmetro de 106,20 micrômetro.

Figura 24 – MEV apresentando o maior diâmetro.



Fonte: Costa, 2016.

A Figura 24 demonstra que o maior diâmetro encontrado no ensaio de 113,22 μm . De acordo com as figuras, percebe-se que os diâmetros dos argilominerais que compõe a amostra utilizada apresentavam diâmetros de grãos muito pequenos. Dessa forma, ao analisar o diâmetro do material verifica-se que há uma variação entre 14,85 μm e 113,22 μm (COSTA, 2016).

O diâmetro das micropartículas que constituem a argila é uma característica muito importante, tendo em vista que interfere positiva ou negativamente no desempenho do material ao longo de todas as etapas do processo, o que pode implicar em reduções ou perdas de desempenho dos produtos finalizados, assim como em reduções ou acréscimos de rendimento ao longo do processo produtivo. Além desses pontos, essa característica afeta ainda a trabalhabilidade do material (COSTA, 2016).

Ao comparar os diâmetros da amostra com os valores estabelecidos pela NBR 6502/95, percebe-se que a granulometria do material em análise é consideravelmente superior ao que está previsto na norma, podendo concluir que ocorrem perdas referentes a coesão e plasticidade. No entanto, tal fator não implica não impossibilidade de utilizar o material, visto que é possível efetuar o processamento mecânico, reduzindo dessa forma os diâmetros dos grãos (COSTA, 2016). Tendo em vista que, aumenta apenas o consumo energético e uma pequena quantidade de água, aos quais não foram possíveis ser mensurados.

5.3. FERRAMENTA ACV

A seguir será elaborado a ACV e mencionado os seus resultados de acordo com os respectivos materiais estudados.

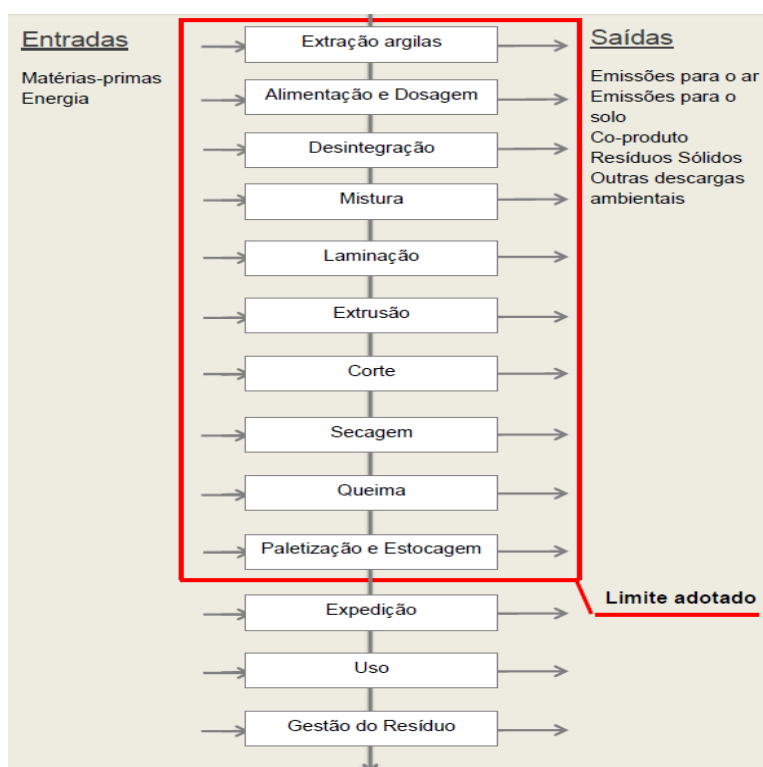
5.3.1. Definição do objetivo e escopo

Essa etapa é alocado na primeira parte do ACV, contudo tem-se como objetivo comparar os impactos ambientais de acordo com os seguintes tipos:

- Potencial de aquecimento global;
- Toxicidade humana;
- Formação de oxidantes fotoquímicos;
- Formação de material particulado;
- Potencial de deterioração da camada de ozônio;
- Potencial de acidificação;
- Uso de água;
- Depleção Fóssil:

Eles serão comparados com a mesma produção de cada bloco, a qual foi de 1 kg de bloco cerâmico e 1 kg de bloco de concreto, sendo esses utilizados em massa ao invés de unidade, para melhor aplicação no programa. Essa comparação é feita de acordo com o conjunto dos impactos do processo inicial até a saída do bloco para revenda. Logo, foi mapeado o processo para o bloco cerâmico apresentado na Figura 25 e o processo para o bloco de concreto apresentado na Figura 26.

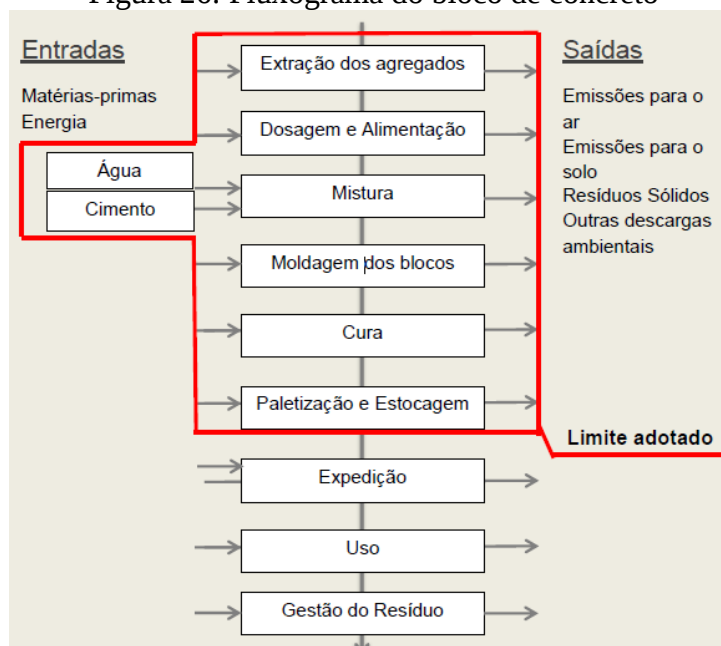
Figura 25: Fluxograma do bloco cerâmico



Fonte: Ferreira; Araujo; Barbosa; Soares. 2018.

A Figura 25 apresenta o processo inicial, apartir da extração da argila, até o processo de revenda que tem o término no na etapa de paletização e Estocagem.

Figura 26: Fluxograma do bloco de concreto



Fonte: Ferreira; Araujo; Barbosa; Soares. 2018.

A Figura 26 apresenta o processo inicial, apartir da extração dos agregados, até o processo de revenda que tem o término no na etapa de paletização e Estocagem.

5.3.2. Inventário

A pesquisa e consequente elaboração dos inventários derivam da quantificação dos insumos relacionados a cada fase do processo. Os critérios para estabelecer essas quantificações baseiam-se na coleta de dados, levando em consideração dois tipos de fluxos: entrada e saída, que posteriormente são organizados em uma tabela denominada inventário do ciclo de vida (CAMPOS, 2012)

Diante disso, foi possível obter alguns dados da própria plataforma do programa utilizados na construção do inventário, na parte de processos, ao qual seria escolhido o tipo de material, que no caso estudado foram escolhidos os materiais cerâmicos e concreto e em seguida na parte de parâmetros seria elaborado a tabela com os dados obtidos de cada material. Além dos próprios dados da plataforma foram alocados dados fornecidos pelos administrados das indústrias em estudo. Veja na Tabela 1 Inventário do processo de produção dos blocos cerâmicos e na Tabela 2 Inventário do processo de produção dos blocos de concreto.

Tabela 1: Inventário do processo de produção dos blocos cerâmicos.

Entradas/Saídas	Quantidade	Unidade	Grandeza	Alocação	Comentário
Argila	0,6132	kg	-	-	Insumo para produção
Madeira	0,0006024	m3	-	-	Matéria-prima para
Transporte (20t)	2,147	t.km	-	-	Distância percorrida
Transporte (32t)	2,03	t.km	-	-	Distância percorrida
Eletricidade	0,0344	kWh	-	-	Utilizada na produção
Blocos cerâmicos	1	kg	Massa	-	Impacto por massa
Material Particulado < 10 µm	0,00015493	kg	-	-	Dados da Empresa
Material Particulado < 2.5µm	0,000637942	kg	-	-	Dados da Empresa
Dióxido de enxofre (SO2)	0,00006680	kg	-	-	Dados da Empresa
Monóxido de carbono (Co)	0,00015286	kg	-	-	Dados da Empresa
Compostos orgânicos voláteis	0,00007249	kg	-	-	Dados da Empresa
Dióxido de nitrogênio	0,00075194	kg	-	-	Dados da Empresa

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 1 apresenta a quantidade das entradas e saídas para 1 kg de bloco cerâmico, mas esses valores não tem precisão exata uma vez, alguns dados foram fornecidos pela empresa e foram estipulados os valores para 1kg por meio da regra de 3, pois as empresa não tem o valor do traço exato apenas para 1 kg desse material então veja:

- **Argila:** Deu valor estipulado na tabela variou de acordo com 15 kg de blocos cerâmicos, aos quais consumiam cerca de 10 kg de argila, então apenas para um 1 kg de bloco ele irá consumir aproximadamente 0,6132 kg.
- **Madeira:** Seu valor foi estipulado a partir da seguinte relação: em um mês é consumido aproximadamente 10 m³ de lenha para queima de 12.000 blocos cerâmicos, então para apenas 1 kg de bloco cerâmico obteve-se 0,0008334 m³ de madeira para sua queima.
- **Transporte:** Seu valor foi estipulado de acordo com a quantidade de argila utilizada e a quilometragem percorrida por cada veículo diante o processo de produção do material, que para o veículo de 20 t percorriam cerca de 2150 km e o de 32 t percorria cerca de 2000 km. Fazendo a relação obteve-se o valor para cada transporte apresentado na Tabela 1.

Quanto às quantidades de material particulado, dióxido de enxofre e de nitrogênio, monóxido de carbono e compostos voláteis, esses valores foram dados pela empresa, a qual pagou para uma análise desses poluentes no ano de 2018, para emissão de uma Licença de Operação, para apresentação ao órgão fiscalizador competente.

Tabela 2: Inventário do processo de produção dos blocos de concreto

Entradas/Saídas	Quantidade	Unidade	Grandeza	Alocação	Comentário
Blocos de concreto	1	kg	Massa	-	Impacto por massa
Elettricidade	0,00875	kWh	-	-	Utilizada na produção
Areia Fina e Areia Grossa	0,4381	kg	-	-	Insumo para produção
Cimento	0,04381	Kg	-	-	Insumo para produção
Pó de Pedra	0,3505	Kg	-	-	Insumo para produção
Pedrisco	0,3154	Kg	-	-	Insumo para produção
Fita de Poliéster (PET)	0,00007462	Kg	-	-	QTD para embalagem
Água	0,02081	Kg	-	-	Insumo para produção
Transporte (20t)	5,126	t.km	-	-	Distância percorrida

Transporte (31t)	1,752	t.km	-	-	Distância percorrida
-------------------------	-------	------	---	---	----------------------

Fonte: Autor, 2019.

Para eletricidade o valor foi estipulado a partir da seguinte relação: em um mês é consumido aproximadamente 70 kWh de energia, para produção de 8.000 blocos, então para apenas 1 kg de bloco ele produz em torno 0,00875 kWh de eletricidade.

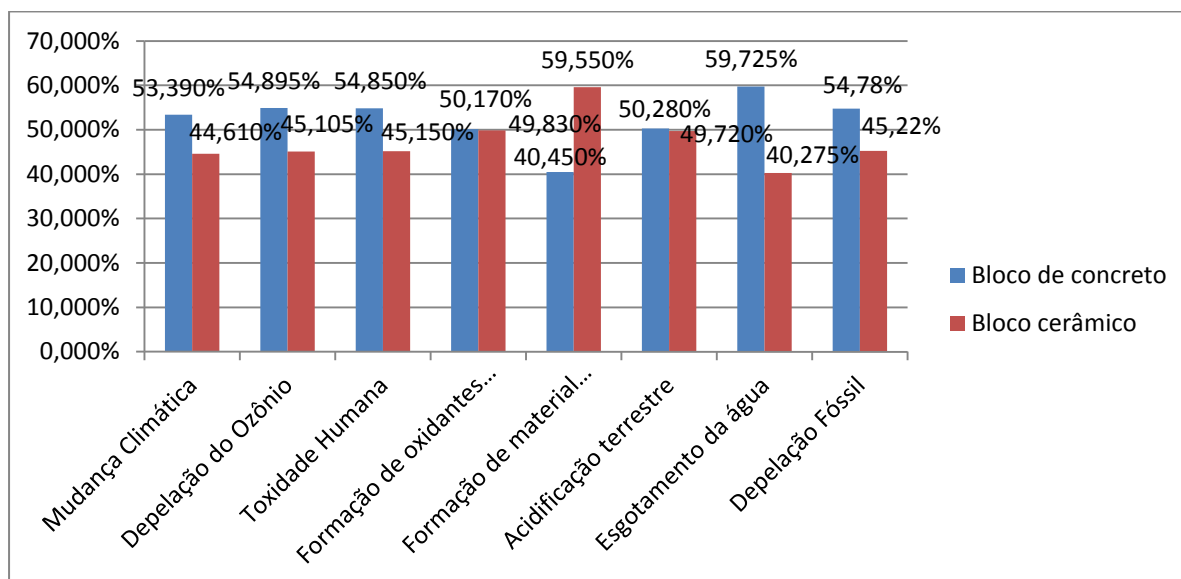
Quanto aos materiais utilizados para produção da argamassa como o cimento a areia fina e grossa o pó de pedra e o pedrisco, estes foram dados pela empresa, uma vez que essa tem o traço preciso para produção do bloco de concreto.

E para o transporte Seu valor foi estipulado de acordo com a quantidade de que vinham por entregas, como por exemplo o cimento e os matérias que a empresa faziam retiradas como o po de pedra, areias e etc. Sendo utilizado o peso por tonelada grama e a quilometragem percorrida por cada veículo diante o processo de produção do material, fazendo uma relção entre esses. Tendo que, o veículo de 20 t percorriam cerca de 5.300 km e o de 32 t percorria cerca de 2000 km. Fazendo a relação obteve-se o valor para cada transporte apresentado na Tabela 2.

5.3.3. Avaliação do impacto

Apartir dos dados obtidos na Tabela 1 e na Tabela 2 foi possível elaborar o grafico da avaliação do impacto utilizando o método RECIPE ENDPOINT (E) por meio do software SimaPro. Sendo analisados as seguintes categorias do Recipe: Mudanças Climáticas; Toxicidade humana; Formação de oxidantes fotoquímicos; Formação de material particulado; Destruição da camada de ozônio; Acidificação terrestre; Esgotamento da água; Depleção Fóssil (Gráfico 2).

Gráfico 2: Participação dos Blocos nas Categorias de impacto analisadas pelo método RECIPE.



Fonte: Autor, 2019.

5.3.4. Interpretação

Como o próprio nome já diz, nesta etapa será realizada uma interpretação para a compreensão dos resultados obtidos dos impactos dos 2 blocos nas 8 categorias de impactos selecionadas para este estudo, que pode ser visto no Gráfico 2 na avaliação de impacto.

a) Mudanças Climáticas: Sabe-se que É uma categoria de impacto a qual, esta ligada ao progressivo número de gases que acarretam o efeito estufa, ocorrendo este efeito devido os gases ficarem concentrados em certas regiões da atmosfera criando uma camada que bloqueia a dissipação do calor (FERREIRA, 2018).

Dos 100% avaliados na categoria, as contribuições de impactos dos blocos estão distribuídos em 55,39% relacionado ao bloco de concreto e 44,61% ao bloco cerâmico.

b) Toxicidade humana: É a categoria que compreende todo e qualquer impactante a saúde humana proveniente das substâncias tóxicas presentes no ambiente sendo por inalação ou ingestão. A caracterização desta está vinculada aos potenciais de toxicidade humana, HTPs, (Human Toxicity Potentials), tendo os resultados expressos em 1,4 diclorobenzeno (FERREIRA, 2018).

Os resultados apresentados quanto à toxicidade humana mostram que dos 100% avaliados nesta categoria, as contribuições do impacto total são disseminadas em:

54,85% ao bloco de concreto e 45,15% ao bloco cerâmico.

c) Formação de oxidantes fotoquímicos: Este impacto ocorre devido o monóxido de carbono (CO) e todos os outros compostos orgânicos voláteis (COV) reagirem com o radical hidróxido (OH) formando radicais peróxidos, e ao entrar em contato com óxidos de nitrogênio (NOx) e luz ultravioleta (UV) formam oxidantes fotoquímicos como o ozônio e outros compostos reativos na troposfera. O potencial de criação deste é representado em COV equivalentes (FERREIRA, 2018).

Nesta categoria entre os 100% do seu impacto, 50,17% são representados pelos blocos de concreto e os restantes 49,83% são pertencentes aos blocos cerâmicos.

d) Formação de material particulado: O material particulado (MP) refere-se a uma classe de poluentes formada por poeira, fumaça e todo tipo de material líquido ou sólido que permanecem suspensas no ar em função do seu pequeno tamanho, em forma de poeira, neblina, fumaça, fuligem. Seus componentes possuem características físicas e químicas diversas. Em geral o material particulado é classificado de acordo com o diâmetro das partículas, devido a relação existente entre diâmetro e possibilidade de penetração no trato respiratório. Os efeitos deste sobre a saúde estão: câncer respiratório, arteriosclerose, inflamação de pulmão, agravamento de sintomas de asma, crescimento de internações hospitalares e podem levar à morte. (FERREIRA, 2018).

Os resultados apresentados quanto a esse, revela que as contribuições do impacto total são disseminadas em: 40,45% ao bloco de concreto e 59,55% ao bloco cerâmico, dos 100% do impacto avaliados nesta categoria.

e) Destruição da camada de ozônio: A camada de ozônio é parte da estratosfera que filtra os raios ultravioletas vindos do sol, a estratosfera é a segunda mais próxima à superfície da Terra, que se encontra a uma distância de 10 a 50 km da superfície. É nessa camada que está localizada a camada de ozônio. Esta camada vem sendo degradada fazendo com que diminuía a concentração do gás, resultando na formação do buraco de ozônio, com isto aumenta-se a incidência de raios ultravioletas (UV), o que pode acarretar em efeitos aos humanos, aumentando a probabilidade de ocorrência de câncer de pele, cataratas, além de afetar às plantas. Os gases CFC e Halons são os principais responsáveis por esta depleção (FERREIRA, 2018).

Na categoria Depleção do Ozônio, os resultados obtidos, em relação a 100% dos

impactos avaliados, 54,895% são devido ao bloco de concreto e 45,105% do bloco cerâmico.

f) Acidificação terrestre: Há uma enorme variedade de impactos no solo ocasionado pelos poluentes acidificantes, como por exemplo, diminuição do pH, teor de nutriente e crescimento do teor de elementos potencialmente tóxicos. Sendo a unidade de medida expressa em kg SO₂ eq. A principal causa de acidificação da precipitação é a presença na atmosfera de óxidos de enxofre (SO_x), com destaque para o dióxido de enxofre (SO₂), um gás proveniente da oxidação de compostos de enxofre (S) contidos nos combustíveis fósseis e na matéria orgânica que é queimada (FERREIRA, 2018).

Em relação a esta categoria, o bloco de concreto é o que mais contribui, apresentado um valor de 50,28%, enquanto o bloco cerâmico expresso uma porcentagem de 49,72%, sendo a soma destes 100% que representa o impacto total.

g) Esgotamento da água: Esta categoria está relacionada com a matéria-prima extraída para a produção dos blocos, a água de fontes naturais não especificadas. Dos 100% dos impactos gerados por esta categoria, tem-se que 59,725% são respectivos ao bloco de concreto e 40,275% ao bloco cerâmico.

h) Depleção Fóssil: É calculada em função do consumo de recursos fósseis. Os tipos de blocos que mais contribuem para a depleção fóssil é o bloco de concreto, apresentando uma porcentagem de 54,78%, enquanto o bloco cerâmico possui uma porcentagem de 45,22%, sendo a soma destes 100%, representando esta porcentagem o impacto total.

De acordo com Ferreira, 2018, por meio da depleção fóssil há as seguintes decorrências impactantes para o ambiente: Redução na oportunidade para futuras gerações terem acesso ao recurso; A eventual pressão causada nos substitutos; A incapacidade de prosseguir com as atividades dependentes de tal recurso envolvido.

A princípio observa-se que os blocos de concreto contribuem de forma superior com os impactos, comparados aos blocos cerâmicos. Porém, os blocos de concreto tem um reaproveitamento bem maior que os blocos cerâmicos, podendo assim ter um menor desperdício de material e consequentemente de matéria-prima.

Diante desse cenário observou-se que a maior diferença de impacto entre os tais blocos encontra-se na parte de material particulado, ao qual o bloco cerâmico polui mais, devido o seu processo de queima. E na parte de esgotamento de água em que o bloco de

concreto polui mais, uma vez que esse precisa de grande quantidade água para sua produção inclusive na etapa de cura, para evitar o processo de retração do concreto.

6. CONCLUSÃO

Durante o estudo, foi possível evidenciar alguns pontos críticos, tais como o considerável consumo de energias não renováveis, bem como combustíveis fósseis, a consequente contribuição ao aquecimento global e a toxicidade à saúde humana. A extração de recursos naturais e a sua conseguinte escassez, em que, não apresentou uma influência expressiva relativamente aos outros impactos.

Com a ACV foi possível verificar que o bloco de concreto foi o que mais contribuiu para as categorias de impacto analisadas quanto o bloco cerâmico. Sendo o bloco cerâmico mais poluente que o de concreto somente na categoria de formação de material particulado devido a este possuir a etapa da queima na sua fabricação, o que acarreta a formação dessas partículas.

A ausência de base de dados com projetos de processos brasileiros é um obstáculo a boa condução do estudo. Ou seja, a análise do inventário poderia englobar menos erros se todos os produtos de cada empresa participante estivessem no escopo do estudo.

Além disso, aos resultados apresentados, de alguma maneira este estudo contribui à promoção do pensamento do ciclo de vida direcionado ao setor da construção civil, apresentando suas aplicações e limitações, expondo problemas, divulgando, analisando e interpretando resultados e discutindo soluções. Enfim, auxiliando a adequação do setor ao conceito de desenvolvimento sustentável.

Cabe ressaltar que os dados relativos aos consumos de matérias primas e energia incorporada aos blocos apresentados constituem uma estimativa a partir dos dados fornecidos nas indústrias entrevistadas. Neste sentido contribuiu para o conhecimento da realidade local, porém tais dados devem ser aprofundados e refinados por trabalhos futuros.

Finalmente, diante das possibilidades que a metodologia de ACV proporciona, é essencial à análise comparativa de materiais e produtos no setor da construção civil que desempenham a mesma função. Dessa forma, a tomada de decisão é facilitada mediante os resultados comparativos de impactos, podendo assim, substituir materiais e produtos justificadamente.

7. REFERÊNCIAS

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Brasil, 2009.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos. Brasil, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e Solos. Rio de Janeiro: Copyright, 1995. 18 p. Disponível em: <[https://intranet.ifs.ifsuldeminas.edu.br/~eder.clementino/GESTÃO AMBIENTAL/LEGISLAÇÃO AMBIENTAL/NORMAS BRASILEIRAS REGULAMENTADORAS/NBR/NBR 06502 - 1995 - Rochas e Solos.pdf](https://intranet.ifs.ifsuldeminas.edu.br/~eder.clementino/GESTÃO_AMBIENTAL/LEGISLAÇÃO_AMBIENTAL/NORMAS_BRASILEIRAS_REGULAMENTADORAS/NBR/NBR_06502_-_1995_-_Rochas_e_Solos.pdf)>. Acesso em: 28 junho. 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - *NBR 6136* . Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. Brasil, 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10837*: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989.

Associação Brasileira Da Indústria De Materiais De Construção. **Projeção dos Impactos dos Investimentos do PAC 2 e do Programa Minha Casa Minha Vida**. Disponível em . Acesso em: 28 julho. 2019.

Amorin, K. (2014), Construção civil cresceu 74,25% nos últimos 20 anos, revela estudo do SindusCon-MG. Construção Mercado, Portal PINIweb. Disponível em: <<https://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao--construcao/negocios/construcao-civil-cresceu-7425--nos-ultimos-20-anos-revela-estudo-323993-1.aspx>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

BARBOSA, P.P. **Análise dos impactos ambientais da cadeia têxtil do algodão no espaço urbano – industrial: uma aplicação da avaliação do ciclo de vida**. 2012. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2012.

BIANCHINI, U. L. **Análise do Ciclo de Vida do Álcool Hidratado produzido na usina São Luiz localizada no município de Ourinhos - SP**. 2007. 54 f. Trabalho de

conclusão de curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Curso De Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

BLUMENSCHNEIN, R. N. **A sustentabilidade na cadeia produtiva da indústria da construção**. 2004. 249 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL**. 2019. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>>. Acesso em 14 de maio de 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **EDUCAÇÃO PROFISSIONAL**. 2009. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf1/constciv.pdf>>. Acesso em 14 de maio de 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2019. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/constciv.pdf>>. Acesso em 14 de maio de 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **A MINERAÇÃO BRASILEIRA**. 2009. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P28_RT51_Perfil_da_Mica.pdf/1a2f869d-56ec-4c2d-95ca-f8635a5fa75e>. Acesso em: 28 julho 2019.

CAMPOS, M. G. **Abordagem de Ciclo de Vida na Avaliação de Impactos Ambientais no Processamento Primário OffShore**. 2012. 121 f. Projeto de Graduação (Graduação Engenharia Ambiental) – Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.

CARDOSO, Francisco Ferreira; ARAÚJO, Viviane Miranda. **PROJETO TECNOLOGIAS PARA UMA CONSTRUÇÃO HABITACIONAL MAIS SUSTENTÁVEL**. 2007. São Paulo. Levantamento do estado da arte: Canteiro de obras. São Paulo: Habitação Mais Sustentável. 2007.

CARVALHO, Albano; DIAS, João Paulo. **Fluorescência de Raios X**. 2014. Disponível em: <<https://www.ipn.pt/laboratorio/LEDMAT/ensaio/19>>. Acesso em: 01 agosto. 2019.

CHAU, C. K.; LEUNG, T. M.; NG, W. Y. **A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings**. Elsevier, Applied Energy, v. 143, p. 395-413, 2015.

CHEHEBE, José Ribamar B. *Análise do Ciclo de Vida de Produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000*. Rio de Janeiro: Quality Mark, 1998.

CIB. Agenda 21 on sustainable construction. Rotterdam, Netherlands: CIB, 1999. 120 p. Report Publication 237.

CIB, International Council for Research and Innovation in Building and Construction. *Construction site waste management and minimisation. International Report*. Prepared by Dennis S. Macozoma. South Africa: CIB/CSIR, Project Number BP485, Report Number BOU/C361, February 2002.

CIDB. **Precast Concrete Products: Brick and Block Making**. Disponível em: <
<http://www.cidb.org.za/initiatives/Part%203-1-Concrete.pdf#search=%22cidb%20%22block%20machine%22%20pdf%22> > Acesso em: 14 de maio de 2019.

CORSON, W. H. **Manual Global de ecologia: O que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente**. 2ª Ed. São Paulo: Augustos, 1996. 413 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY: EPA. Characterization of building: Related construction and demolition debris in the United States. Report n. EPA 530-R-98-010 Monografia on-line. 1998. Disponível em . Acesso em 17 maio 2019.

DIAS, F. A. A. **Análise Ambiental e Econômica de Processos de Desinfecção de Resíduos de Serviço de Saúde**. 2008. 98 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

Federação das Indústrias do Rio de Janeiro – FIRJAN (2014), Construção Civil: Desafios 2020. FIRJAN, Rio de Janeiro.

FIEMG, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. **Guia Técnico Ambiental da Indústria da Cerâmica Vermelha**. Belo Horizonte/MG, 2013.

FIESP – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Observatório da construção**. 2017. Disponível em: <
<https://www.fiesp.com.br/observatoriodaconstrucao/noticias/levantamento-do-ibge-confirma-estimativas-do-12o-cons-trubusiness/>>. Acesso em 14 de maio de 2019.

FILHO, J. A. S. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. Universidade de São Carlos, 2007.

GIL, Antônio Carlos. **METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. Disponível em: <<https://ayanrafael.files.wordpress.com/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf>>. Acesso em: 08 maio. 2019.

IBICT – INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Avaliação do ciclo de vida**. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/>>. Acesso em 14 de maio de 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/sao-bento/panorama>>. Acesso em 14 de maio de 2019.

ISAIA, Geraldo (coord.). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. Vol. 2. São Paulo: Ibracon, 2007.

JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. Tese (Livre Docência) – USP, São Paulo, 2000.

LOURENÇO, P. B.; BRANCO, J. M. Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI. Universidade do Minho, Guimarães, 2012.

MACHADO, F. B.. **Caulinita**. 2012. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/silicatos/filossilicatos/caulinita.html>>. Acesso em: 28 julho. 2019.

MME - Ministério de Minas e Energia. (2017). **Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos**. Fonte: Site do MME - Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacaomineral/publicacoes/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-detransformacao-de-nao-metalicos>>. Acesso em 05 de agosto de 2019.

MEIRA, João M. L. **Argilas: o que são, suas propriedades e classificações**. 2001. Disponível em: <http://www.visaconsultores.com/pdf/VISA_com09.pdf>. Acesso em: 25 junho. 2019.

NUNES, et al. **Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção**. Revista Tecnológica. Maringá, v. 17, n. 1, 2008. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/article/view/8728/5158>>. Acesso em: 18 jun. 2016.

OLIVEIRA, L.S. Avaliação do ciclo de vida de blocos de concreto do mercado brasileiro: alvenaria e pavimentação. São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde13072016152611/publico/Lidian eSantanaOliveira2015.pdf>>. Acesso em 14 de junho de 2019.

RIZZATTI, E. **Tipologia de blocos cerâmicos estruturais: influência da geometria dos blocos no comportamento mecânico da alvenaria.** Revista Materia, 2011.

RODRIGUES, M. A. D. A. **Aplicação de uma Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida a Culturas Agrícolas em Portugal Continental.** 2010. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2010.

SALVADOR FILHO, J. A. A. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas.** Departamento de Engenharia de Estruturas, EESC. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

SAMPAIO, Elsa. **MINERALOGIA DO SOLO.** 2006. Disponível em: <<http://home.dgeo.uevora.pt/~ems/files/Anexo B-03.pdf>>. Acesso em: 28 junho. 2019.

SARTORI, L. **Avaliação Comparativa de Desempenho Ambiental de Duas Caixas de Carga do Semi-Reboque Bitrem Graneleiro: Compósito Natural versus Compósito Sintético.** 2011. 60 f. Dissertação (Mestrado em Materiais) – Programa de Mestrado em Materiais, Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2011.

SINDUSCON – SINDICATO DA INDÚSTRIA DA COSTRUÇÃO CIVIL. Filiação e associação. 2013. Disponível em: < <http://sindusconrn.com.br/>>. Acesso em 14 de maio de 2019.

TAVARES, JR. J. M. Uma aplicação da metodologia de análise do valor na verificação dos valores ambientais do processo produtivo numa empresa do setor cerâmico catarinense. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

TIBOR, T. FELDMAN, I. **ISO 14000 - Um guia para as novas normas de gestão ambiental.** Rio de Janeiro, 1996. 302p.