

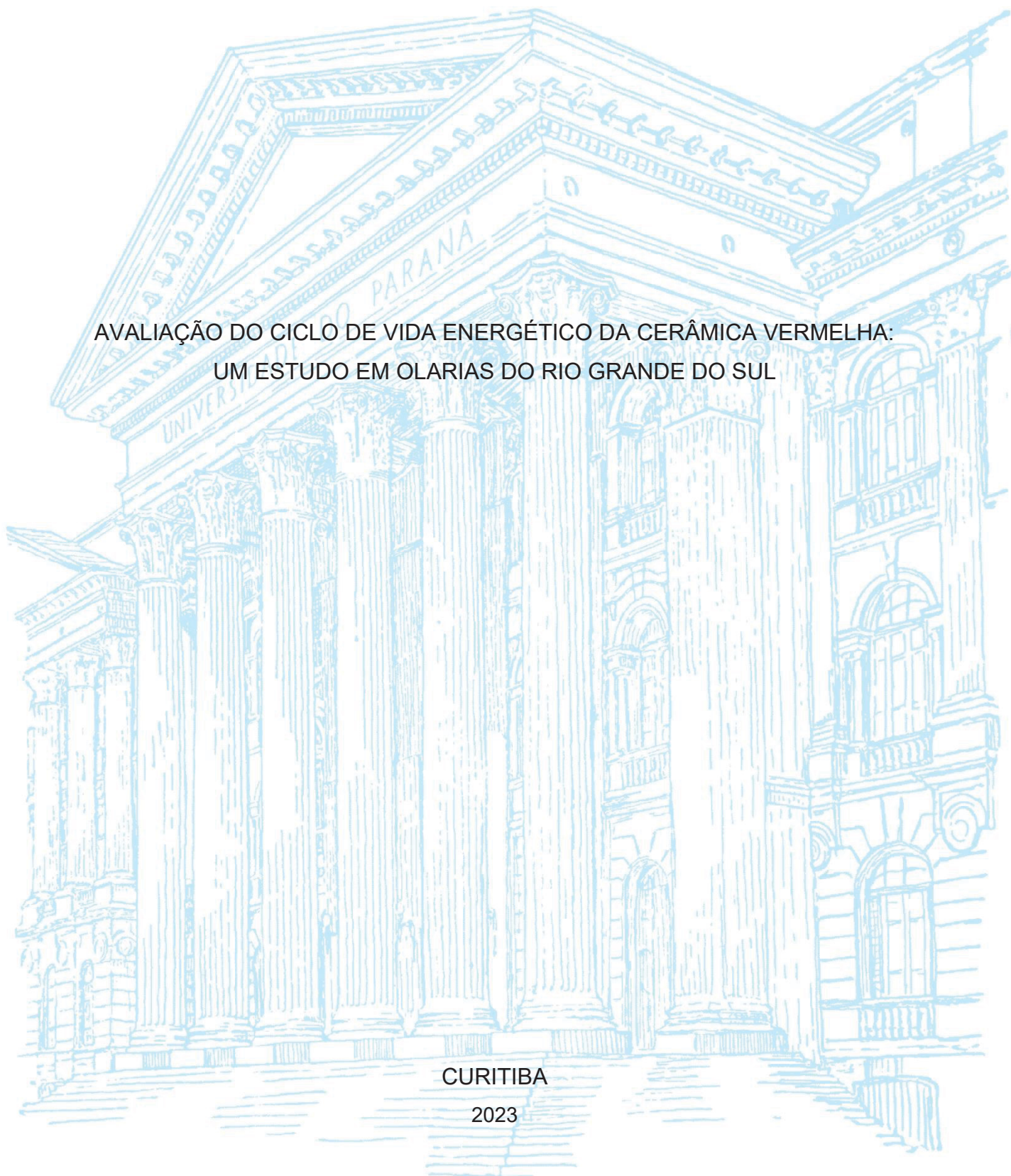
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO FELIPE VON MÜHLEN

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DA CERÂMICA VERMELHA:
UM ESTUDO EM OLARIAS DO RIO GRANDE DO SUL

CURITIBA

2023



JOÃO FELIPE VON MÜHLEN

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DA CERÂMICA VERMELHA:
UM ESTUDO EM OLARIAS DO RIO GRANDE DO SUL

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, Área de Sustentabilidade no Ambiente Construído, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Fernando Tavares

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Von Mühlen, João Felipe

Avaliação do ciclo de vida energético da cerâmica vermelha: um estudo em olarias do Rio Grande do Sul / João Felipe Von Mühlen. – Curitiba, 2023.
1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Sérgio Fernando Tavares

1. Cerâmica vermelha. 2. Olarias – Rio Grande do Sul. 3. Dióxido de carbono. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Tavares, Sérgio Fernando. IV. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA CIVIL -
40001016049P2

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **JOÃO FELIPE VON MÜHLEN** intitulada: **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DA CERÂMICA VERMELHA: UM ESTUDO EM OLARIAS DO RIO GRANDE DO SUL**, sob orientação do Prof. Dr. SÉRGIO FERNANDO TAVARES, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 13 de Setembro de 2023.

Assinatura Eletrônica

26/09/2023 11:10:48.0

SÉRGIO FERNANDO TAVARES

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

22/09/2023 19:57:59.0

MAYARA REGINA MUNARO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

26/09/2023 11:42:27.0

JOSÉ ALBERTO CERRI

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Centro Politécnico - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 81531-980 - Tel: (41) 3361-3110 - E-mail: poscivil@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 317432

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://siga.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaocassinaturas.jsp> e insira o código 317432

AGRADECIMENTOS

À Deus, pois sem o senhor, nada existiria.

À minha família, Natali e João Pedro, pelo suporte, incentivo e amor incondicional.

À minha mãe, Mara, por todo o suporte nesta caminhada, sem tua ajuda isso não teria sido possível.

Ao meu pai, Laerte, por todo o apoio.

Ao meu orientador, Dr. Sérgio Tavares, pelo convite, por seu tempo, pelo seu conhecimento e pela confiança.

À Universidade Federal do Paraná, por esta oportunidade tão especial.

João Pedro, meu filho, este trabalho, é dedicado a ti.

RESUMO

O relatório divulgado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas em abril de 2022, o qual enfoca a mitigação das mudanças climáticas, demonstra que as emissões nocivas de carbono entre 2010 e 2019 foram as mais altas já registradas na história da humanidade. A construção civil consome mais de um terço da energia mundial e é responsável por cerca de um terço das emissões globais de CO₂. Diante disto, este estudo tem como objetivo geral descrever de forma qualitativa e quantitativa o ciclo de vida simplificado, em termos de Energia Embutida e emissões de CO₂, dos blocos, dos tijolos e das telhas de cerâmica vermelha fabricados em 11 olarias no interior do Rio Grande do Sul, Brasil. Essa avaliação abrange as fases A1-A3 do ciclo de vida de edificações, que verificam desde as etapas da extração das argilas (matéria-prima) até os produtos estarem finalizados para a venda. O método utilizou o conceito de *input-output* (entrada e saída) para colher os dados primários e, pesquisa bibliográfica para verificar os dados secundários. Os dados foram coletados entre agosto de 2022 e março de 2023, mediante aplicação de um questionário desenvolvido a partir de estudos anteriores, em 11 olarias, aliado à entrevista aberta e análise documental. Os achados do estudo evidenciaram que a energia embutida de um quilograma de cerâmica vermelha nas olarias avaliadas encontra-se entre 1,29 MJ/kg e 9,90 MJ/kg, enquanto as emissões de CO₂ variam entre 0,14 kg CO₂/kg CO₂ e 1,03 CO₂/kg CO₂. Essa variação nos valores pode ser atribuída às diferenças dos produtos de cada empresa, bem como aos tipos de fornos utilizados e insumos energéticos empregados. Além disso, foi possível constatar que a etapa da queima é a principal responsável pelo consumo energético e emissões de CO₂ durante a produção.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida Energético. Avaliação do Ciclo de Vida do CO₂. Energia Embutida. Cerâmica Vermelha. Emissão de CO₂.

ABSTRACT

The report released by the Intergovernmental Panel on Climate Change in April 2022, which focuses on climate change mitigation, shows that harmful carbon emissions between 2010 and 2019 were the highest ever recorded in human history. Civil construction consumes more than a third of the world's energy and is responsible for about a third of global CO₂ emissions. Therefore, this study aims to describe in a qualitative and quantitative way the simplified life cycle, in terms of Embedded Energy and CO₂ emissions, of red ceramic blocks, bricks and tiles manufactured in 11 brick kilns in the interior of Rio Grande do Sul, Brazil. This assessment covers the A1-A3 phases of the life cycle of buildings, which verify from the stages of extraction of clays (raw material) until the products are finished for sale. The method used the concept of input-output to collect the primary data and literature search to verify the secondary data. Data were collected between August 2022 and March 2023, through the application of a questionnaire developed from previous studies, in 11 brick kilns, combined with open interviews and document analysis. The findings of the study showed that the embedded energy of one kilogram of red ceramic in the evaluated potteries is between 1.29 MJ/kg and 9.90 MJ/kg, while CO₂ emissions vary between 0.14 kg CO₂/kg CO₂ and 1.03 CO₂/kg CO₂. This variation in values can be attributed to the differences in the products of each company, as well as the types of furnaces used and energy inputs used. In addition, it was possible to verify that the burning stage is the main responsible for energy consumption and CO₂ emissions during production.

Keywords: Energy Life Cycle Assessment. CO₂ Life Cycle Assessment. Embodied Energy. Red Ceramic. CO₂ emission.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processos elementares da ACVE e ACVCO₂ do ciclo de vida de blocos e telhas cerâmicas	30
Figura 2 - Forno Paulistinha	33
Figura 3 - Fluxo de ar e gases no interior do forno Paulistinha	34
Figura 4 - Forno Abóboda.....	35
Figura 5 - Fluxo de ar e gases quentes no interior do forno Abóboda.....	35
Figura 6 - Forno Vagão Metálico	36
Figura 7 - Fluxo de ar e gases no interior do forno Vagão Metálico	36
Figura 8 - Forno Metálico Móvel.....	37
Figura 9 - Fluxo de ar e gases no interior do forno Metálico Móvel	38
Figura 10 - Forno Hoffmann	38
Figura 11 - Fluxo de ar e gases no interior do forno Hoffmann	39
Figura 12 - Forno Cedan	39
Figura 13 - Fluxo de ar e gases no interior do forno Cedan	40
Figura 14 - Forno Túnel.....	40
Figura 15 - Fluxo de ar e gases no interior do forno Túnel	41
Figura 16 - Etapas da pesquisa.....	50
Figura 17 - Camadas de argilas de diferentes jazidas na empresa 4.....	61
Figura 18 - Serragem para queima nos fornos – empresa 4.....	63
Figura 19 - Fornalha na empresa 8	65
Figura 20 - Duto de recuperação de calor do forno	66
Figura 21 - Secador - empresa 8	67
Figura 22 - Blocos secos aguardando a queima - empresa 10	68
Figura 23 - Queima dos blocos na empresa 4	68
Figura 24 - Resfriamento dos blocos após a queima na empresa 9	69
Figura 25 - Extrusora com resíduos abaixo - empresa 9	69
Figura 26 - Peças danificadas após a secagem - empresa 4.....	70
Figura 27 - Peças perdidas após a queima - empresa 9	70
Figura 28 - Consumo Energético	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Abrangência da Avaliação do Ciclo de Vida	25
Tabela 2 - Categoria de veículos, capacidade e consumo específico de diesel	54
Tabela 3 - Poder Calorífico Inferior	55
Tabela 4 - Fator de conversão para MJ	55
Tabela 5 - Geração de CO ₂ por fonte de energia.....	56
Tabela 6 - Peso específico dos insumos	57
Tabela 7 - Descrição das empresas	58
Tabela 8 - Tipo de produtos fabricados.....	59
Tabela 9 - Grau de automação	60
Tabela 10 - Distância entre a indústria cerâmica e as jazidas.....	61
Tabela 11 - Extração de argila e consumo de óleo ¹	62
Tabela 12 - Distância dos fornecedores de insumos	63
Tabela 13 - Consumo de Óleo Diesel no Transporte.....	64
Tabela 14 - Reaproveitamento de calor do forno	65
Tabela 15 - Tipos de fornos utilizados pelas empresas cerâmicas	66
Tabela 16 - Tempo de secagem e queima dos blocos nos fornos túneis .	67
Tabela 17 - Produção das empresas Cerâmicas	71
Tabela 18 - Insumos Energéticos.....	71
Tabela 19 - Energia Embutida	72
Tabela 20 - Consumo Energético Específico	73
Tabela 21 - Emissões de CO ₂	74
Tabela 22 - Apresentação final de dados	74
Tabela 23 - Energia Embutida e Emissão de CO ₂ - Dados da literatura	75

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

°C- Graus Celsius

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV- Avaliação do Ciclo de Vida

ACVCO₂- Avaliação do Ciclo de Vida das Emissões de Gás Carbônico

ACVE- Avaliação do Ciclo de Vida Energético

AICV- Análise do Inventário do Ciclo de Vida

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica

C- Capacidade

cm- Centímetros

CO₂ – Gás Carbônico

CP - Consumo de Energia por Fonte

ECO₂ = Emissão de CO₂

EE- Energia Embutida

EEcomb- Energia Embutida do Combustível

EEprod- Energia Embutida do Produto

EUA- Estados Unidos da América

fc- Fator de Conversão para MJ

FEAM- Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais

FIEMG- Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais

GEE- Gases de Efeito Estufa

GFE- Geração de CO₂ por Fonte de Energia

GLP- Gás Liquefeito do Petróleo

HP- *Hopper Blower*

ICV- Inventário do Ciclo de Vida

IEA- *International Energy Agency*

IPCC- *Intergovernmental Panel on Climate Change*

ISO- *International Organization for Standardization*

Kcal- Quilocaloria

Kg- quilograma

Km/L- Quilômetro por litro

m- Massa

m- Metro

MJ- Mega Joule

MJ/kg- Mega joule por quilograma

NBR- Norma Técnica

PCI- Poder Calorífico Inferior

PIB- Produto Interno Bruto

tCO₂- Toneladas de Gás Carbônico

UF- Unidade Funcional

UNEP- *United Nations Environment Programme*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	14
1.2 OBJETIVO GERAL.....	15
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4 JUSTIFICATIVA.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 CONCEITOS INICIAIS.....	18
2.1.1 Sustentabilidade na indústria da cerâmica vermelha	18
2.1.2 Consumo de energia em edificações.....	19
2.1.3 Emissões de CO ₂	20
2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	22
2.2.1 Definição da Avaliação do Ciclo de Vida	22
2.2.2 Avaliação do Ciclo de Vida nas edificações.....	23
2.2.3 Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida	24
2.2.3.1 Objetivo e escopo da Avaliação do Ciclo de Vida	24
2.2.3.2 Análise do Inventário do Ciclo de Vida	25
2.2.3.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida	26
2.2.3.4 Interpretação da Avaliação do Ciclo de Vida.....	26
2.2.4 Avaliação do Ciclo de Vida Energético	26
2.2.4.1 Definição da Avaliação do Ciclo de Vida Energético.....	27
2.2.4.2 A Avaliação do Ciclo de Vida Energético em materiais de construção	27
2.2.4.3 Avaliação do Ciclo de Vida das emissões de CO ₂	28
2.3 CERÂMICA VERMELHA.....	29
2.3.1 Sistema de produto e características do processo produtivo.....	29
2.3.2 Processo de extração da argila.....	30
2.3.3 Preparação da massa.....	31
2.3.4 Laminação	31
2.3.5 Extrusão e corte.....	31
2.3.6 Secagem.....	32
2.3.7 Queima.....	32
2.3.7.1 Forno Paulistinha	33
2.3.7.2 Forno Abóboda.....	34
2.3.7.3 Forno Vagão Metálico	36
2.3.7.4 Forno Metálico Móvel	37

2.3.7.5 Forno Hoffmann.....	38
2.3.7.6 Forno Cedan	39
2.3.7.7 Forno Túnel.....	40
2.3.8 Impactos ambientais relacionados a produção da cerâmica vermelha	41
2.3.8.1 Extração de argila	41
2.3.8.2 Consumo de água.....	42
2.3.8.3 Geração de resíduos sólidos.....	42
2.3.8.4 Consumo de Energia	43
2.3.8.5 Emissão de CO ₂	43
2.4 ESTADO DA ARTE	43
3 MÉTODO.....	48
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE PESQUISA	48
3.2 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA	49
3.3 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO	50
3.3.1 Unidades de análise.....	51
3.3.2 Definição do objetivo e escopo	51
3.3.3 Análise do inventário do ciclo de vida	52
3.3.3.1 Unidade funcional.....	53
3.3.3.2 Cálculo com os dados	53
3.3.3.3 Cálculo da energia embutida no transporte da matéria-prima e insumos.....	54
3.3.3.4 Cálculo da energia incorporada à produção	54
3.3.3.5 Cálculo das emissões de CO ₂	56
4 RESULTADOS	58
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS EMPRESAS.....	58
4.2 JAZIDAS.....	60
4.3 TRANSPORTE.....	62
4.4 SECAGEM E QUEIMA	64
4.5 RESÍDUOS	69
4.6 CONSUMO ENERGÉTICO.....	71
4.7 EMISSÕES DE CO ₂	73
4.8 DADOS DA LITERATURA	74
5 DISCUSSÃO	77
5.1 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS DE ENERGIA EMBUTIDA.....	77
5.2 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CO ₂	81
6 CONCLUSÃO.....	83
6.1 LIMITAÇÕES.....	84

6.2 SUGESTÕES DE NOVOS ESTUDOS.....	85
REFERÊNCIAS	86
APÊNDICE A- INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS.....	96
APENDICE B - INSUMOS E ENERGIA EMBUTIDA.....	100
APENDICE C- EMISSÕES DE CO₂.....	109

1 INTRODUÇÃO

Entre as atividades da construção civil estão aquelas que podem ser relacionadas às edificações, contemplando todo o seu ciclo de vida (TAVARES, 2006). Essas atividades demandam um consumo energético na extração da matéria-prima, manufatura dos produtos, transporte, execução da obra, operação e desconstrução. Resultam também na liberação de poluentes, que colocam em risco a estabilidade e integridade da biosfera. Cada matéria-prima é extraída beneficiada e/ou manufaturada, e, finalmente transportada para o canteiro de obras (HAMMOND; JONES, 2008).

Todas essas atividades, além de emitirem poluentes, demandam um consumo energético que pode ser avaliado mediante realização da Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE). Essa é uma ferramenta que possibilita verificar o consumo energético em todo o ciclo de vida de determinado produto ou serviço. Possibilita também como avaliar as emissões de gás carbônico e pode ser aplicada aos materiais de construção, como a cerâmica vermelha (TAVARES; BRAGANÇA, 2016).

A indústria da cerâmica vermelha é considerada como um segmento altamente poluidor, devido aos índices de emissão de CO₂ emitido e impactos ambientais ocasionados à biodiversidade no local de extração. Em razão desses impactos, é imperativa a necessidade de tornar esse processo produtivo o mais sustentável possível (KUASOSKY, 2016). Porém, a sustentabilidade é um termo complexo para ser definido de forma suficiente ou prática (MARCELINO-SÁDABA *et al.*, 2017). Embora existam diferentes definições para sustentabilidade, neste estudo, a abordagem será restrita aos indicadores de energia embutida e emissão de CO₂.

Este estudo visa avaliar as emissões de CO₂ e a energia embutida de diferentes indústrias de cerâmica vermelha brasileiras. Por meio de um estudo de caso 11 olarias situadas no interior do Rio Grande do Sul, foram selecionadas para a coleta de dados, que permitiram a realização da ACVE.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Este estudo, com base na técnica da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), sob a luz das normas ISO 14040, 14044 e EN 15978, 15804, apresenta a seguinte problemática de pesquisa: Quais são, em termos de Energia Embutida (EE) e emissões de CO₂, os consumos e emissões associados ao processo produtivo, do berço ao portão, dos blocos, tijolos e telhas de cerâmica vermelha de uma típica olaria brasileira? Essa questão de pesquisa está relacionada à quantificação de indicadores ambientais envolvidos no processo produtivo da cerâmica vermelha pertinentes à realidade nacional.

1.2 OBJETIVO GERAL

Descrever e avaliar de forma qualitativa e quantitativa o ciclo de vida simplificado, em termos de EE e emissões de CO₂, dos blocos, tijolos e telhas de cerâmica vermelha fabricados em 11 olarias no interior do Rio Grande do Sul, considerando as fases A1-A3 do ciclo de vida de edificações, definidas na norma europeia EN 15978 (2011), que considera desde a etapa da extração da argila (matéria-prima) até a finalização dos produtos no limite da fábrica.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Obter qualitativa e quantitativamente as entradas e saídas do processo produtivo de 11 olarias, sob a luz das normas ISO 14040 e ISO 14044 do berço ao portão;
- b) Qualificar e quantificar o consumo energético da produção da cerâmica vermelha;
- c) Quantificar as emissões de CO₂ da produção do berço ao portão da cerâmica vermelha.

1.4 JUSTIFICATIVA

A construção civil consome mais de um terço da energia mundial e o setor é responsável por cerca de um terço das emissões globais de CO₂ (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY [IEA], 2013*). O relatório divulgado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, em abril de 2022, que enfoca a mitigação das mudanças climáticas, demonstra que as emissões

nocivas de carbono entre 2010 e 2019 foram as mais altas já registradas na história.

Dentro desse contexto, é reconhecido que o uso global de energia do setor construtivo ultrapassa 32% e as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) são de 19% devido aos processos de construção. As mudanças climáticas são reconhecidas como uma ameaça à sociedade e para combater os seus impactos ambientais está pacificado que o uso mais eficiente de recursos, o uso de recursos renováveis e a redução de emissões de GEE são etapas fundamentais e inevitáveis na transição para um sistema de desenvolvimento sustentável (DUCE; VOSLOO; RICE, 2017).

No que diz respeito ao consumo energético na indústria da cerâmica vermelha, a lenha ainda é o principal combustível com 48% de presença, enquanto resíduos de madeira representam 39%, demais combustíveis, 4%, e eletricidade, 3% (MME *et al.*, 2018). É notável a crescente opção pelos resíduos de madeira frente a outros combustíveis devido a quatro principais razões: abundância desse material para aquisição no mercado; material de origem renovável; proporciona maior homogeneidade na combustão; e, permite automação na alimentação dos fornos (LOPES; BRITO; MOURA, 2016).

Nesse contexto, discussões anteriores evidenciaram preocupações relacionadas à eficiência energética no ciclo de vida das edificações; todavia, é notável a redução da energia embutida presente na produção dos materiais de construção e nas suas emissões associadas (FISCHER, 2020). No Brasil, essas emissões, ainda estão abaixo dos índices mundiais, mas o setor da construção civil apresenta emissões similares ao dos países desenvolvidos (TAVARES; BRAGANÇA, 2016).

A indústria da cerâmica vermelha produz materiais que estão entre os mais impactantes em todo o processo da construção civil (LOPEZ-AGUILAR *et al.*, 2019). Esse segmento representa 4,8% da indústria da construção civil e é responsável por 90% das alvenarias e coberturas construídas no Brasil, atingindo o faturamento anual de 18 bilhões de reais (MME *et al.*, 2018).

Consoante a Anicer (2022), esse setor tem, aproximadamente, 5600 empresas que contribuem com cerca de 200 mil empregos indiretos ao longo da cadeia produtiva da construção civil no Brasil. Além disso, existem polos

cerâmicos, como o de Santa Gertrudes, em São Paulo, por exemplo, no qual o número de empregos diretos aumentou 46,5% em dez anos, passando de 7850 empregos em 2010 para 11500, em 2020, consequência de demanda por habitação e reforma no mercado interno (DIÁRIO RIO CLARO, 2021).

A China lidera a produção global de cerâmica vermelha e apresenta cada vez mais tecnologias mais eficientes no processo de produção; a Índia, é a segunda maior produtora, porém, lidera a produção de cerâmica vermelha artesanal. Em contrapartida, a América Latina conta com os tipos de fornos mais poluentes e primitivos de produção (LOPEZ-AGUILAR *et al.*, 2019). Nesse cenário, a indústria da cerâmica vermelha requer uma avaliação permanente dos seus processos para permitir aumento de produtividade aliado aos parâmetros de desenvolvimento sustentável (BERNI; BEJAY; DORILEO, 2013).

Assim sendo, estudos que investigam as produções de cerâmicas atuais são relevantes para identificar rotas alternativas de produção, atreladas ao tripé da sustentabilidade, ou seja, preservação ambiental, equidade social e benefícios econômicos. Isso se dá porque a ACVE é uma ferramenta que permite um embasamento importante na tomada de decisões dos profissionais da área, das empresas e dos órgãos públicos, nos aspectos ambientais e econômicos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção apresenta-se o conteúdo teórico que embasa o estudo. São apresentados conceitos iniciais pertinentes ao estudo e, na sequência, aspectos relevantes sobre a ACV, sobre a cerâmica vermelha, e o estado da arte.

2.1 CONCEITOS INICIAIS

A construção civil é responsável por 5,8% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro; e, além disso, é um dos setores que mais gera empregos diretos e indiretos, o que a torna um dos setores mais importantes da economia brasileira (CUNHA, 2016). Contudo, apesar da relevância no cenário econômico, a construção civil exerce grande pressão ambiental devido à geração de externalidades negativas (ARAÚJO SOUZA *et al.*, 2015). Dessa forma, o conhecimento mais aprofundado dos efeitos negativos do setor, reduzido aqui pelas indústrias de cerâmica vermelha, é crucial para poder definir planos de ação e mitigação desses impactos.

2.1.1 Sustentabilidade na indústria da cerâmica vermelha

A sustentabilidade passou a ser discutida no âmbito empresarial desde o momento em que preocupações acerca do meio ambiente e da desigualdade social aconteceram (KUASOSKI, 2016). O conceito de sustentabilidade principiou o amadurecimento a partir da década de 1970, argumentando sobre o quanto o planeta pode suportar, baseado no rumo da produção e do consumo que se concebia na sociedade (KUASOSKI, 2016; TINOCO, 2010).

O pensamento de uma sociedade mais justa com o gerenciamento responsável dos recursos naturais, fez com que os governos e instituições dessem maior importância ao movimento de sustentabilidade; todavia, a diversidade de definições acerca da ideia de sustentabilidade confirma que esse conceito ainda não está definido (CARRILLO-HERMOSILLA; GONZALEZ; KÖNNÖLÄ, 2009). Entretanto, para Trentini e Camargo (2022), a sustentabilidade na construção civil demonstra que, em todo ciclo de vida da edificação, devem ser promovidas ações que objetivem reduzir os impactos ambientais, potencializar a viabilidade econômica e possibilitar melhor qualidade

de vida para as gerações atuais e futuras. Logo, a necessidade de tornar a construção civil uma atividade sustentável fica cada vez mais iminente, exigindo conhecimentos mais aprofundados dos processos pertinentes aos materiais e às etapas da construção civil.

O desenvolvimento sustentável tem potencial de fomentar o crescimento econômico e a redução dos impactos negativos no cenário ambiental e social. À vista disso, a busca deve ser constante. Dessa forma, considerando que no Brasil existem 5600 empresas do ramo cerâmico que, juntas, produzem mensalmente 2.554.202.000 telhas cerâmicas e 5.702.479.000 de blocos cerâmicos, qualquer progresso atingido no consumo dos recursos utilizados, por menores que sejam, possibilitará atingir resultados significativos (ANICER, 2022). Posto isto, evidencia-se ser indispensável a compreensão do ciclo de vida da cerâmica vermelha para identificar os processos menos eficientes (SILVA; LIBRELOTTO, 2016).

2.1.2 Consumo de energia em edificações

Os combustíveis fósseis corresponderam, em 2018, a 81% do uso global de energia (PICCARDO; DODDO; GUSTAVSSON, 2020). E a matriz energética brasileira é composta por 52,6% de combustíveis fósseis, valor percentual abaixo do mundial (BEN, 2023).

As edificações têm uma participação importante no consumo de energia ao redor do mundo. O setor da construção civil tem significativa influência sobre o consumo total de recursos naturais e sobre as emissões de gases do efeito estufa (CABEZA *et al.*, 2014). Diante deste cenário, o consumo energético é uma preocupação devido à quantidade de GEE que é gerada durante o ciclo de vida de uma edificação (CHIAIA *et al.*, 2019). Nesse contexto, os alvos mais importantes na busca pela redução da energia incorporada são os impactos que acontecem no decorrer do ciclo de vida da edificação (O'CONNOR; BOWICK, 2019).

Os impactos ambientais associados às edificações podem ser avaliados ao se observar o consumo de energia, as emissões atmosféricas, a eutrofização, a acidificação das águas, entre outros (BRIBIÁN; CAPILLA; USÓN, 2011). A

energia consumida durante o ciclo de vida é a maior contribuinte para os impactos ambientais das edificações (O'CONNOR; BOWICK, 2019).

A redução da energia incorporada pode ser alcançada com a escolha adequada de materiais. Ao escolher produtos com baixo impacto ambiental, colabora-se de forma decisiva na redução do consumo energético e, também por isto, percebe-se o aumento na utilização de materiais mais sustentáveis (ROXANA; MARIA, 2019).

2.1.3 Emissões de CO₂

O aquecimento do ar da superfície terrestre aumentou mais rápido que o esperado, conforme conjunto de dados mais longos e extensos que consideram registros desde 1850 até os dias atuais (IPCC, 2019). A média da temperatura do ar terrestre aumentou 1,53°C, enquanto a temperatura média da superfície aumentou 0,87°C; diferença de grande relevância, de acordo com o IPCC (2019). Esse aquecimento considerado antropogênico tem implicado em mudanças de zonas climáticas, principalmente no aumento dos climas secos e na diminuição dos climas polares (IPCC, 2019).

A terceira avaliação nacional do clima dos Estados Unidos da América (EUA) concluiu que em partes do Alasca, da Louisiana, de Ilhas do Pacífico e outras localidades costeiras, os impactos das mudanças climáticas são tão severos que algumas comunidades já estão se mudando de terras históricas às quais suas tradições e identidades culturais estão ligadas (DUFFY *et al.*, 2019).

A emissão dos gases do efeito estufa, principalmente o CO₂, tem aumentado a frequência e a intensidade de alguns eventos climáticos como, por exemplo, as ondas de calor. Eventos recentes relacionados a essas ondas têm sido mais intensas em regiões como Amazônia, nordeste do Brasil, Mediterrâneo, Patagônia, e grande parte da África (IPCC, 2019).

Alguns países têm implementado políticas de diminuição das emissões dos gases do efeito estufa. Cabo Verde, por exemplo, apresentou, em 2017, um plano para ter 50% de sua energia elétrica gerada por fontes renováveis até 2025, com o objetivo de diminuir a emissão dos gases do efeito estufa (COUTINHO; VIANNA, 2020). Consoante a esses mesmos autores, a implementação do plano vai evitar a emissão de 210.789 tCO₂ anuais, a partir de

2025. A União Europeia, EUA e a China comprometeram-se em reduzir as emissões de gases do efeito estufa nos próximos anos. A UE tinha como meta a redução dessas emissões em 40% até 2050 e discute uma lei para reduzir em 55% as emissões dos gases do efeito estufa até 2030 e 100% até 2050 (REVISTA EXAME, 2020a).

Já os EUA, comprometeram-se em reduzir as emissões de gases do efeito estufa entre 50% e 52% até 2030 em comparação aos índices de 2005. O objetivo dos EUA é alcançar a neutralidade de suas emissões até 2050 (PLANELLES, 2021). Enquanto a China pretende alcançar a economia livre de carbono até 2060, para isso, comprometeu-se em aumentar em 25% a participação das energias renováveis da matriz energética até 2030 (REVISTA EXAME, 2020b).

O setor da construção civil é uma das áreas de maior importância em termos de intervenção com relação às emissões de CO₂ e oferece oportunidades para diminuir os impactos ambientais. Responsável por 30% das emissões de CO₂, a situação da construção civil não passou despercebida e cada vez mais tem recebido pressão das autoridades e do público para tratar dessas questões ambientais (UNITED NATIONS, 2019).

A construção civil é responsável por 19% das emissões de CO₂ relacionadas a energia no mundo, enquanto é responsável por 36% das emissões totais na Europa (PICCARDO; DODDO; GUSTAVSSON, 2020). Entretanto, a *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2019) afirma que o setor da construção civil é responsável por 38% dessas emissões, o dobro do que é referido por Piccardo, Doddo e Gustavsson (2020). Consoante a Liu *et al.* (2020), a emissão de CO₂ da construção civil está relacionada ao consumo energético, fato que é corroborado por Piccardo, Doddo e Gustavsson (2020), autores que enfatizam a importância da revisão da eficiência energética das edificações para reduções de emissões de CO₂.

2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

É comum a escassez de estudos de ACV no setor da construção civil que considerem dados condizentes com a realidade brasileira; Porém, o método de ACV despertou interesse nos últimos anos na construção civil no Brasil, pois permite quantificar e avaliar impactos ambientais ao longo do ciclo de vida das edificações (CALDAS; TOLEDO FILHO, 2018). Alinhados à mesma ideia, Tavares e Bragança (2016) afirmam que existe a necessidade da atualização dos dados e ferramentas para a composição de inventários de ACV.

2.2.1 Definição da Avaliação do Ciclo de Vida

A ACV é uma abordagem que tem como propósito avaliar o potencial do impacto na saúde humana e no meio ambiente. A ACV avalia os produtos e os serviços desde a extração das matérias-primas, incluindo todas as etapas de produção, de transporte, de uso e o tratamento final em seu ciclo de vida (ABNT, 2009a). Em outras palavras, a ACV é uma técnica que identifica e quantifica os impactos ambientais e possíveis efeitos associados aos seus produtos (ABNT, 2009a). Ademais, busca compreender os melhores métodos para lidar com essa situação e pode fornecer informações valiosas acerca dos principais contribuintes dos impactos em uma edificação (ABNT, 2009a; O'CONNOR; BOWICK, 2014).

O desenvolvimento da ACV teve início, principalmente, durante os anos 1980 (FINNVEDEN *et al.*, 2009). Anteriormente chamada de análise do ciclo de vida, a ACV foi renomeada porque necessita de considerações próprias do autor do estudo, como por exemplo definição do objetivo e escopo (ABNT, 2009a). Apesar de a ACV ser reconhecida como um dos métodos mais abrangentes para avaliação ambiental na construção civil, a norma ISO 14040 (ABNT 2009a) pode não ser a técnica mais apropriada para todas as situações. Na construção civil, por exemplo, uma grande dificuldade é a extensa e exaustiva quantidade de informações necessárias e tal como a experiência necessária do profissional para calcular os impactos (SOUST-VERDAGUER; LLATAS; GARCÍA-MARTÍNEZ, 2016). Outra característica da ACV é demonstrar os efeitos ambientais no que diz respeito ao consumo da matéria-prima e dos recursos

energéticos, possibilitando, assim, saber quanto efetivamente o desenvolvimento e o uso de um produto ou serviço colaboram para o seu esgotamento (TAVARES, 2006). Além disso, a ACV é um instrumento que colabora na identificação de oportunidades de melhoria para o desempenho ambiental, utilizando indicadores de desempenho relevantes (ABNT, 2009a).

2.2.2 Avaliação do Ciclo de Vida nas edificações

No setor da construção civil, a ACV é utilizada para avaliar os impactos ambientais das edificações. Com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos resultados, um estudo pode utilizar os materiais de construção que têm maior contribuição relativa a este cenário (HOXHA *et al.*, 2017). Portanto, a ACV avalia o impacto em ampla gama de questões ambientais, como a implicação na qualidade do ar, no uso e na qualidade da água, na toxicidade para a vida humana e para o ecossistema, nas consequências sobre as emissões de CO₂ e na eficiência energética (ANDERSON; THORNBACK, 2013). Discussões sobre o potencial do setor da construção civil para mitigação das mudanças climáticas tem acontecido no decorrer das últimas décadas, enfocadas no aspecto do consumo energético durante a fase operacional da edificação (FISCHER, 2020; O'CONNOR; BOWICK, 2016).

Pode-se perceber que políticas de redução de emissões de GEE relacionadas a esse setor estimulam a melhora na eficiência energética e redução da dependência dos combustíveis fósseis. Todavia, ao passo que as edificações se tornam mais eficientes energeticamente e com menor dependência dos combustíveis fósseis, a responsabilidade das emissões de GEE oriundas da fase pré-operacional tende a ser maior que na fase operacional e, como resultado, os materiais aplicados na fase da construção tem parcela de contribuição maior nos impactos totais (FISCHER, 2020; MAO *et al.*, 2013; O'CONNOR; BOWICK, 2016).

Nessa conjuntura, a eficiência energética primária na fabricação dos materiais e na redução das emissões de GEE no decorrer do ciclo de vida das edificações tem se destacado (GIESEKAM *et al.*, 2014; MAO *et al.*, 2013). Com isso, os profissionais da construção civil responsáveis pela escolha dos materiais a serem utilizados em uma edificação, têm a oportunidade e a responsabilidade

de controlar as emissões incorporadas aos seus projetos, com uma tomada de decisão eficiente amparada pela ACV (O'CONNOR; BOWICK, 2016).

2.2.3 Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida

A norma ISO 14040 (ABNT, 2009a) descreve a estrutura da ACV e abrange os seus estudos, mas não descreve detalhadamente a técnica de ACV e nem especifica metodologias para as fases individuais. A estrutura básica de uma ACV é composta por quatro fases: objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação do impacto; e, interpretação.

2.2.3.1 Objetivo e escopo da Avaliação do Ciclo de Vida

O objetivo de uma ACV contempla as aplicações pretendidas, propósito de estudo e o público-alvo. Demonstra também se existe a intenção de comparar e divulgar os resultados encontrados (ABNT, 2009a). Engloba, ainda, os itens ambientais do produto ou serviço, dentre as categorias de impactos estudadas. A ACV fornece informações valiosas que permitem aos gestores tomar decisões que visem melhorar o desempenho ambiental de seus produtos e serviços (HOSSAIN *et al.*, 2016).

As limitações para o ciclo de vida que definem o sistema do produto, é denominada de escopo. Este, por sua vez, é subdividido em unidades de processo, etapas de entrada de recursos e saída de resíduos ou emissões. Espera-se de uma ACV resultados comparativos de desempenho ambiental entre processos; Para isso, é necessário definir uma unidade funcional, que as análises possam se intercambiar. Por exemplo, devido às dificuldades de padronizar um bloco cerâmico, pode-se utilizar a unidade funcional de m² de parede construída ou kg de cerâmica vermelha (TAVARES, 2006).

Na primeira fase da ACV, deve ser definido o objetivo do estudo pretendido, que compreende: aplicação; razões; público alvo; e, disposição dos resultados a título de comparações (ABNT, 2009a). Após a definição do objetivo, deve ser definido o escopo, que compreende os seguintes itens: sistema do produto e suas funções; unidade funcional (UF); fronteiras do sistema; requisitos quanto à qualidade de dados; procedimento de alocação; critérios de corte; categorias de impactos selecionadas e método de avaliação de impactos;

pressupostos e limitações do estudo; e, tipo de análise (ABNT, 2009a; ABNT, 2009b).

No estudo da ACV, a definição do escopo é importante devido a abrangência que este estudo atingirá. Na **Tabela 1**, é possível verificar a abrangência dos principais escopos de ACV.

Tabela 1- Abrangência da Avaliação do Ciclo de Vida

Escopo	Abrangência
“berço-ao-portão” ou “ <i>cradle-to-gate</i> ”	- Extração de recursos; - Operações de fabricação, manufatura; - Até o produto ser finalizado na indústria;
“do berço-ao-túmulo” ou “ <i>cradle-to-grave</i> ”	- Todas as etapas da ACV;
“do berço-ao-sítio” ou “ <i>cradle-to-site</i> ”	- Extração de recursos; - Operações de fabricação, manufatura; - Finalização do produto na indústria; - Distribuição e entrega do produto até a obra;
“do portão ao portão” ou “ <i>gate-to-gate</i> ”	- Todas as etapas dentro da fábrica;
“do portão ao túmulo” ou “ <i>gate-to-grave</i> ”	- Processos de distribuição, uso e descarte final;
“do berço ao berço” ou “ <i>cradle-to-cradle</i> ”	- Considera todos os processos “do portão-ao-túmulo”, porém, os resíduos são incorporados à fase inicial de outros processos.

Fonte: baseado em Caldas, Pedroso e Spoto (2016).

2.2.3.2 Análise do Inventário do Ciclo de Vida

A quantificação do uso de recursos primários e secundários, bem como as respectivas emissões de CO₂ acontecem na etapa da Análise do Inventário do Ciclo de Vida (AICV) e consideram todo o ciclo de vida dentro do escopo definido na etapa anterior. Após definir o método para a coleta dos dados, a qualidade destes precisa ser verificada (TAVARES, 2006). De acordo com Finnveden *et al.* (2009), o resultado da AICV é uma compilação dos recursos e das emissões do produto ao longo do ciclo de vida em relação à UF.

A qualidade e a credibilidade dos resultados de um estudo de ACV dependem em grande parte da qualidade dos dados incluídos no estágio do Inventário do Ciclo de Vida (ICV). Esse inventário necessita conter, de forma específica e confiável, todas as entradas na forma de recursos materiais e energéticos e as saídas na forma de emissões atmosféricas, emissões para a água e solo, bem como os resíduos sólidos gerados, em cada uma das etapas do ciclo de vida do sistema em estudo (ISO/TR 14048, 2002). A elaboração de um ICV é a tarefa mais cara em um estudo de ACV devido à grande quantidade de recursos que precisam ser consumidos, principalmente tempo, para se obter informações atualizadas e confiáveis (IBANEZ-FOREZ; BOVEA; SIMÓ, 2011).

Posterior a coleta de dados, métodos de cálculos são executados para gerar os resultados do inventário, adaptados à UF estabelecida (ABNT, 2009a). A validação dos dados coletados deve ser realizada por meio de balanço de massa, balanço de energia e análises comparativas de fatores de emissões (ABNT, 2009b).

2.2.3.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

A quantificação dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de determinado produto, ocorre na AICV (BOVEA *et al.*, 2007). Para tal finalidade, é considerado o consumo de recursos naturais e a emissão de poluentes as diversas esferas ambientais. A AICV tem como elementos obrigatórios: seleção de categoria de impacto; indicadores de categoria e modelos de caracterização; correlação dos resultados do ICV às categorias de impacto selecionadas; e, o cálculo dos resultados dos indicadores de categoria (NAZÁRIO, 2019).

2.2.3.4 Interpretação da Avaliação do Ciclo de Vida

A interpretação é a fase final da ACV. Nesta fase são organizados e discutidos os resultados para fundamentar as conclusões e auxiliar nas tomadas de decisão de acordo com o objetivo e escopo da ACV definidos (ABNT, 2009a).

2.2.4 Avaliação do Ciclo de Vida Energético

Nesta seção apresenta-se a definição de ACVE, ACVE em materiais de construção e ACVCO₂.

2.2.4.1 Definição da Avaliação do Ciclo de Vida Energético

A ACVE é uma versão simplificada da ACV, que evidencia apenas o cenário de entrada de energia nas diferentes fases do ciclo de vida. Em outros termos, a ACVE é uma abordagem na qual todos os insumos energéticos para um produto ou serviços são contabilizados; Todavia, não apenas os consumos diretos durante a fabricação e, sim, os insumos energéticos dispostos para produzir componentes, materiais e serviços (CABEZA *et al.*, 2014; CHAU; LEUNG; NG, 2015).

A ACVE é normalmente realizada com a utilização de energia primária ou secundária. A primária é a energia que vem diretamente da natureza, como, por exemplo, a lenha ou o carvão mineral, enquanto a secundária é a energia consumida (energia elétrica) (CHAU; LEUNG; NG, 2015). A ACVE é composta por três tipos de energia: a energia incorporada; a energia operacional; e, a energia de demolição (CABEZA *et al.*, 2014). Porém, a função da ACVE não é substituir a ACV, que é um método muito mais amplo, mas facilitar a tomada de decisão referente ao consumo energético e de impactos, como a emissão de CO₂, por exemplo (TAVARES, 2006).

2.2.4.2 A Avaliação do Ciclo de Vida Energético em materiais de construção

Em cada país existe uma realidade diferente quanto ao consumo energético e as matrizes energéticas utilizadas. Por exemplo, o *mix* de eletricidade sul-africano é amplamente baseado na queima do carvão (DUCE; VOSLOO; RICE, 2017). Ciente disso, pode-se apontar que fomentar o uso de fontes de energias renováveis vai trazer vantagens consideráveis. Em uma construção estabelecida em local de climas frio, o uso de materiais que atuem como isolantes térmicos pode aumentar o valor de energia embutida, mas durante sua vida útil reduz o consumo de energia operacional (TAVARES, 2006).

Frente a isto, o cálculo e a comunicação clara do desempenho ambiental dos materiais utilizados nas edificações requerem um quadro metodológico

transparente (TOTEM, 2021). Logo, o conhecimento dos impactos ambientais dos materiais de construção alternativos em edifícios residenciais é importante para o seu desenvolvimento (XIMENES; GRANT, 2013). A ACVE pode ser utilizada para demonstrar benefícios de um projeto para otimização de energia operacional e conseqüentemente dos GEE e para fazer previsões de cenários (TAVARES, 2006).

2.2.4.3 Avaliação do Ciclo de Vida das emissões de CO₂

A avaliação do ciclo de vida das emissões de CO₂ é um método de ACV simplificado, assim como a ACVE. Esse método avalia as emissões de carbono (carbono equivalente de saída) ao longo do ciclo de vida das edificações (ATMACA; ATMACA, 2015). Além disso, quantifica as emissões de CO₂ provenientes dos processos industriais (CHAU; LEUNG; NG, 2015).

As emissões de CO₂ oriundas da queima de combustíveis fósseis são classificadas como CO₂ fóssil, enquanto as oriundas da queima de biomassa são classificadas como CO₂ biogênico. Apesar de não existir diferença entre essas duas classificações em termos de contribuição para as mudanças climáticas, este discernimento é comumente feito porque o CO₂ biogênico é cíclico, enquanto o CO₂ fóssil tem fluxo unidirecional para a atmosfera (CHAU; LEUNG; NG, 2015; FISCHER, 2020).

Em uma edificação, as emissões de carbono podem ser quantificadas de diferentes maneiras; entre elas, estão a conversão de dados de consumo de energia e a estimativa a partir de bancos de dados de emissões de carbonos (CHAU; LEUNG; NG, 2015). A conversão de dados de consumo de energia advém da relação entre a energia utilizada com os recursos energéticos. Estes fatores médios de emissão dependem dos aspectos de cada país ou região, como, por exemplo, matriz energética, tecnologia de fabricação ou origem dos materiais (CHAU; LEUNG; NG, 2015). As estimativas, a partir de bancos de dados de emissões de carbono, são calculadas com a multiplicação direta da quantidade de material por fatores de emissões de CO₂ retirados de um banco de dados (HAMMOND; JONES, 2011).

No cenário das edificações, as emissões de CO₂ são definidas como aos GEE relacionados aos processos de extrair matéria-prima, fabricar o produto,

bem como todos os transportes pertinentes a estas etapas. Além disso, em algumas circunstâncias, engloba também aquelas associadas à construção (ATMACA; ATMACA, 2015; HAMMOND; JONES, 2011).

No contexto das emissões antropogênicas de GEE, pode-se destacar que o CO₂ é tido como o principal GEE antrópico, à medida que responde por cerca de 75% das emissões antropogênicas (IPCC, 2014). À medida que os estudos sobre EE ganham mais relevância conforme as edificações tornam-se mais eficientes, as emissões associadas ao consumo dos recursos energéticos recebem igual importância (FISCHER, 2020; O'CONNOR; BOWICK, 2016). Então, pode-se perceber, baseado nas informações apresentadas, que a ACVE e a ACVCO₂ são as principais ferramentas utilizadas para estimar o consumo energético e as emissões de CO₂ associadas ao ciclo de vida de determinado produto e permitem auxílio importante na avaliação ambiental de edificações de forma mais simplificada (FISCHER, 2020).

2.3 CERÂMICA VERMELHA

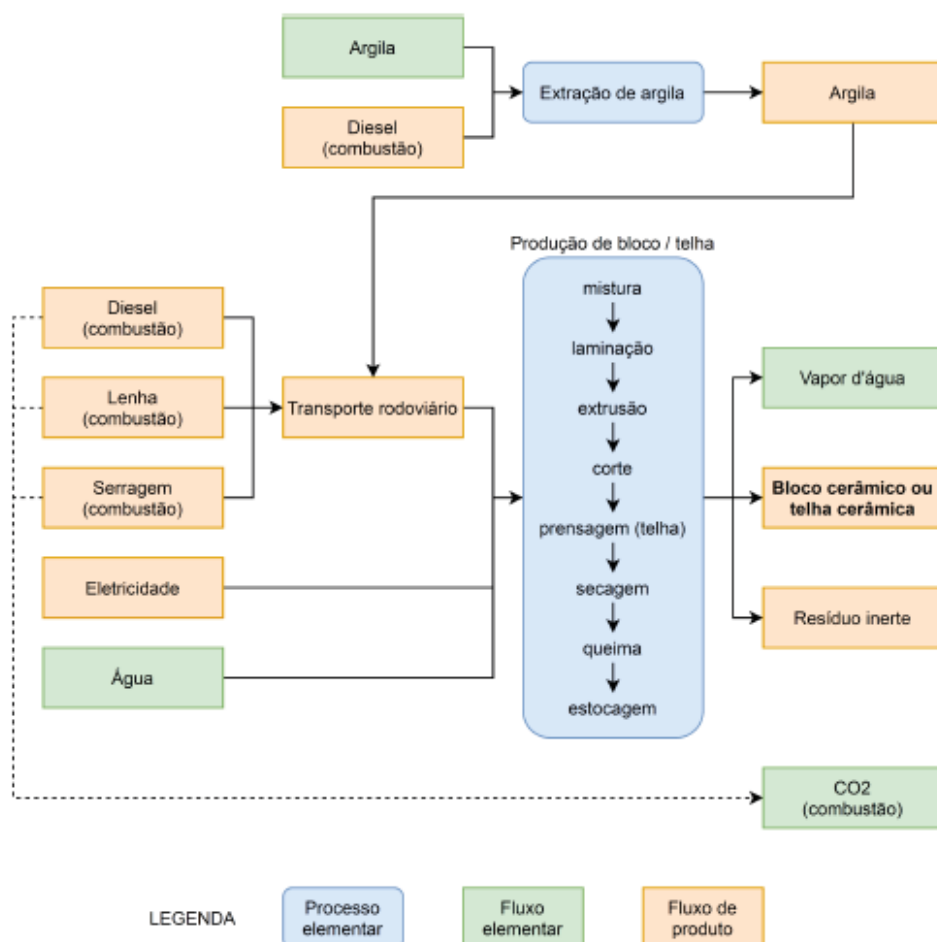
A cerâmica vermelha utilizada para a fabricação de telhas, de tijolos, blocos, de tubos e de outros materiais é constituída basicamente por argilas, que precisam passar pelo processo de queima para atingir alta resistência e durabilidade. Esse processo gera quantidades consideráveis de emissões atmosféricas que contribuem para o aumento das mudanças climáticas (SILVA; LIBRELOTTO, 2016).

2.3.1 Sistema de produto e características do processo produtivo

A produção da cerâmica vermelha é realizada a partir de diferentes tipos de argila, água e ocasionalmente aditivos (CLETO; VON MÜHLEN; BELIZARIO-SILVA, 2022).

A Figura 1 apresenta os processos elementares da extração da argila e da produção dos blocos e telhas cerâmicas. Entretanto, os processos dos blocos e das telhas diferem na etapa da prensagem, a qual é pertinente apenas para as telhas (CLETO; VON MÜHLEN; BELIZARIO-SILVA, 2022).

Figura 1 – Processos elementares da ACVE e ACVCO₂ do ciclo de vida de blocos e telhas cerâmicas



Fonte: Cleto, von Mühlen e Belizario-Silva (2022).

A etapa da prensagem, ocorre após as telhas serem extrudadas onde a peça é moldada em seu formato final (CLETO; VON MÜHLEN; BELIZARIO-SILVA, 2022).

2.3.2 Processo de extração da argila

A argila é extraída a céu aberto e é indicado que a extração ocorra nos meses de menor precipitação. Esse procedimento pode ser realizado de forma manual ou mecanizada, com auxílio de equipamentos como, por exemplo, escavadeiras ou pás carregadeiras, conforme guia técnico da Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG) e da Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM), realizado em 2013. Esta argila passa por um período de descanso para acelerar o processo de decomposição da matéria

orgânica e sais solúveis, pois estes elementos podem ser nocivos à qualidade do produto final (CLETO; VON MÜHLEN; BELIZARIO-SILVA, 2022).

2.3.3 Preparação da massa

A preparação de uma massa cerâmica de qualidade é fundamental para a obtenção de um produto qualificado, contemplando a redução de perdas e um melhor desempenho ambiental. Esta etapa compreende na mistura dos variados tipos de argila, água e resíduos, quando cabível (FIEMG; FEAM, 2013).

A argila armazenada na fábrica é homogeneizada por retroescavadeiras ou pás carregadeiras, mas para garantir uma massa cerâmica de qualidade entre outros fatores, necessita de boa homogeneização, procedimento que pode resultar em mais de 35% de economia do consumo da argila, ter um ganho de 25% na produtividade e redução de cerca de 40% dos índices de deformação (FIEMG; FEAM, 2013).

2.3.4 Laminação

A argila homogeneizada vai para o processo de laminação, no qual o laminador direciona as partículas com o objetivo de diminuir a granulometria. O laminador diminui os vazios entre as partículas e tem por finalidade aumentar a densidade da argila, eliminar as frações de ar e eliminar os aglomerados. Este processo tem por consequência a redução de possíveis defeitos nas peças (FIEMG; FEAM, 2013; MME *et al.*, 2018).

2.3.5 Extrusão e corte

A forma da seção transversal da peça acontece na extrusora ou maromba, por onde a massa cerâmica é pressionada, logo compactada e obrigada a passar através de um molde, resultando em uma coluna extrusada quando se fabrica blocos ou tarugos quando se fabrica telhas (FIEMG; FEAM, 2013). Essa etapa é responsável por 15% dos custos de fabricação, em razão do alto consumo energético e desgaste dos componentes (FIEMG; FEAM, 2013).

Existe a possibilidade de o corte ser realizado de forma manual ou automática e o mesmo é válido para a retirada das peças cortadas. Após terem a dimensão longitudinal definida no corte, as peças são selecionadas e encaminhadas para a secagem após avaliação visual. As peças não selecionadas podem ser reencaminhadas para a etapa de preparação da massa (FIEMG; FEAM, 2013; MME *et al.*, 2018).

2.3.6 Secagem

O processo de secagem é realizado de forma natural ou artificial. Nesta fase, as peças podem perder entre 20% e 30% da umidade (CARVALHO, 2019). A secagem natural normalmente acontece com as peças colocadas ao ar livre, sendo definidas pelas condições do ambiente, entre elas, a umidade do ar, a temperatura ambiente, a velocidade do vento e a exposição ao sol. Entretanto, também pode ser acomodada em galpões e secar de forma mais lenta; Todavia, menos prejudicial aos aspectos das peças devido as condições mais uniformes do ambiente interno.

A secagem artificial normalmente é realizada por meio de ar quente dos fornos em câmaras fechadas, podendo ser de reaproveitamento. O ar quente é desviado e sai em respiradouros na câmara de secagem (BACCELLI JR., 2010).

2.3.7 Queima

Os fornos intermitentes consistem no processo carga-queima-carga, onde o calor é gerado de fora e vai ao interior do forno atravessando as peças lá dispostas. No final deste processo, normalmente existe a perda de algumas peças devido a não existência da uniformidade da queima, por excesso de queima ou até mesmo por falta dela (CARVALHO, 2019).

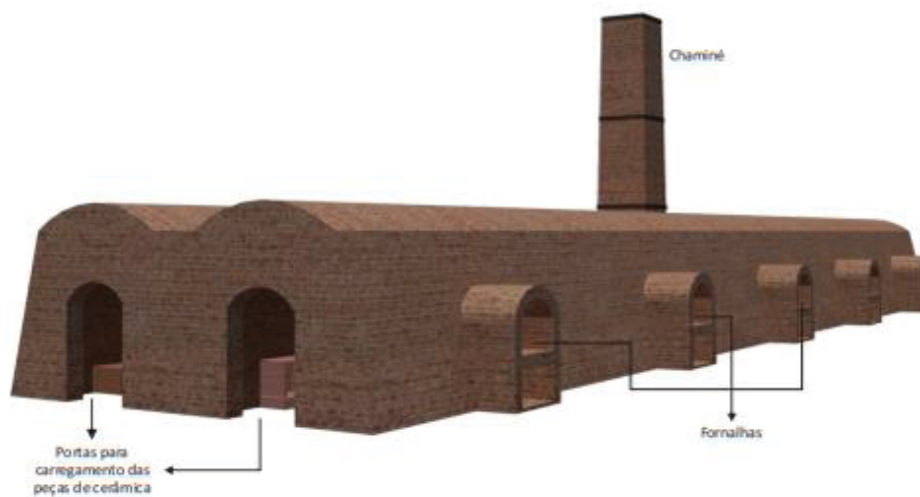
O forno contínuo é denominado desta forma, pois seu ciclo de queima acontece sem interrupções; isto é, durante a saída dos blocos do forno, há a entrada de novos blocos para a queima. Os fornos contínuos comumente têm a capacidade de até quatro vezes mais do que os fornos intermitentes, logo além de mais produtivos são mais econômicos. Já os fornos semi-contínuos tem a

produção constante, porém o forno é carregado em lotes para a queima, ao invés de continuamente. (CALDAS; PEDROSO; SPOSTO, 2016).

2.3.7.1 Forno Paulistinha

O forno paulistinha é um forno intermitente caracterizado por ter queimadores laterais (DO Ó, 2016). Apesar de ser pouco econômico, ainda tem uma representação na ordem de 15% dos fornos operantes no Brasil no segmento da cerâmica vermelha (Figura 2). Embora existam outros fornos com melhor desempenho no mercado, este forno tem baixo custo de manutenção e pode ser o motivo do número expressivo em uso (DO Ó, 2016; INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA [INT], 2015a).

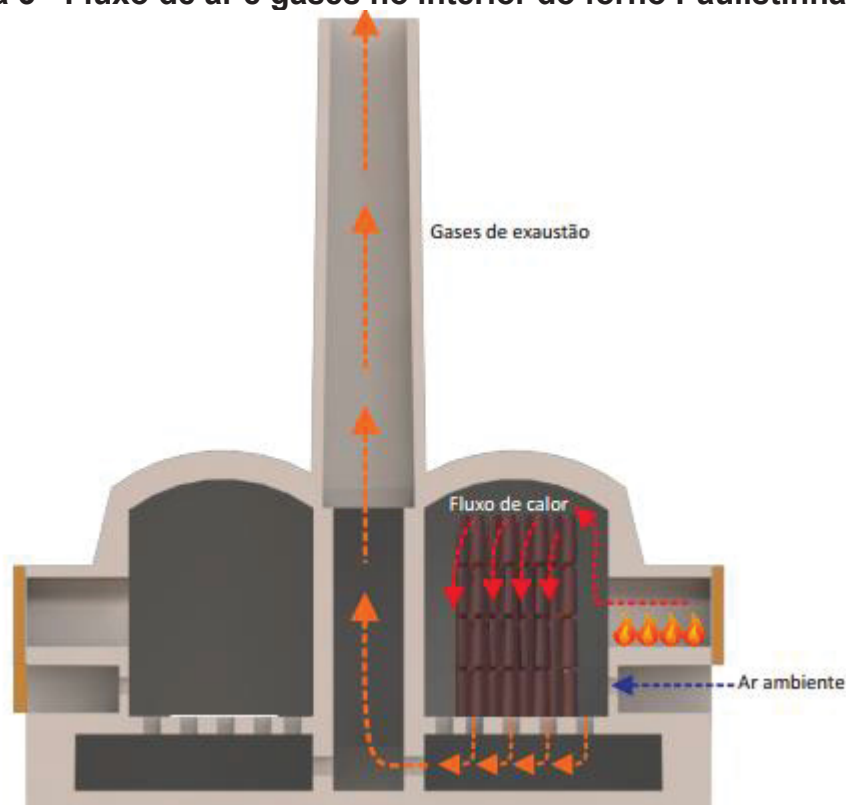
Figura 2 - Forno Paulistinha



Fonte: INT (2015a).

Ele é constituído de paredes de alvenaria com ausência de isolamento térmico para a queima das peças. A queima se dá mediante um fluxo ascendente de gases que vão para a abóboda e descem em direção ao solo do forno onde estão os crivos de passagem, passando pelos crivos os gases seguem para a chaminé (Figura 3) (INT, 2015a).

Figura 3 - Fluxo de ar e gases no interior do forno Paulistinha



Fonte: INT (2015a).

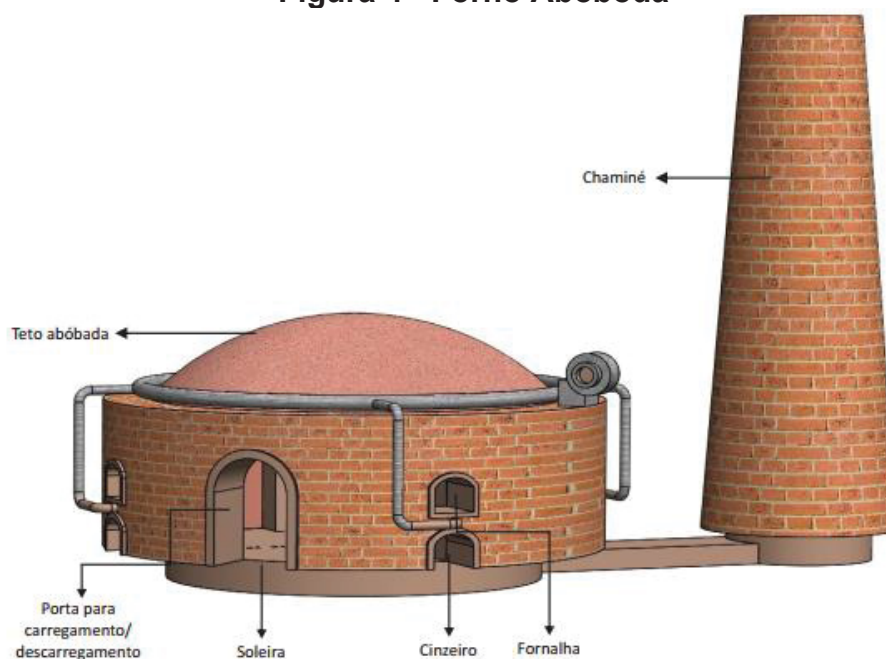
Habitualmente, esses fornos são encontrados em regiões do país com menor desenvolvimento tecnológico e é reconhecido por ser um forno de baixo investimento, operação simplificada e fácil de construir (FIEMG; FEAM, 2013).

2.3.7.2 Forno Abóboda

O forno abóboda é utilizado em 40% das indústrias de cerâmica vermelha no Brasil, principalmente nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste (INT, 2015a) (Figura 4). A distribuição do calor entre as peças acontece de forma descendente apresentando queima homogênea das peças; porém, tem capacidade de resfriamento bastante lenta (BACCELLI JR., 2010).

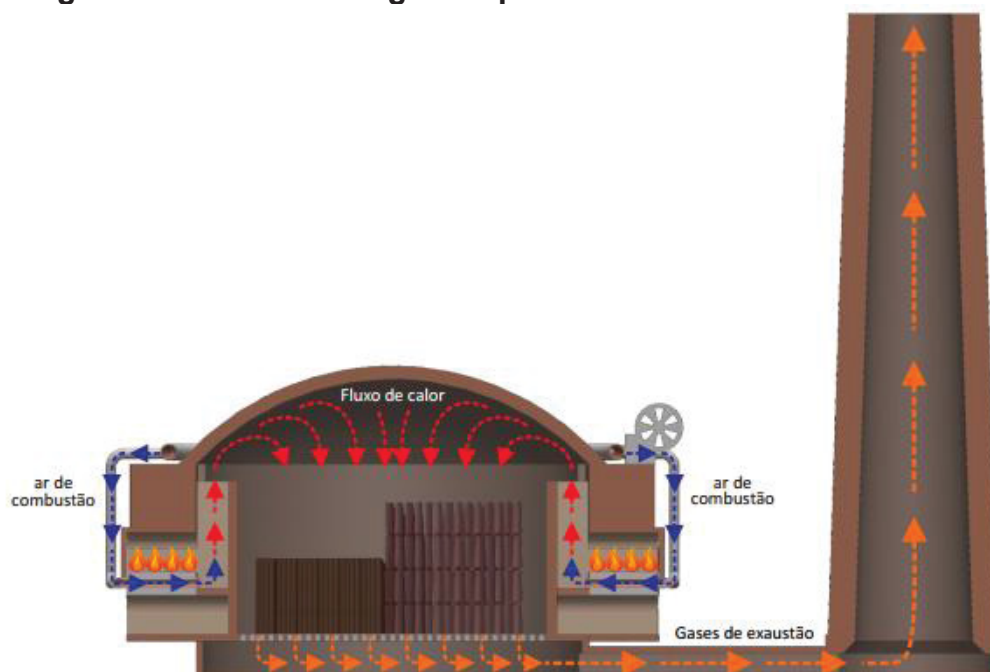
O ciclo completo da queima acontece entre 36 e 48 horas e tem um consumo reduzido de lenha devido ao calor que fica aprisionado na abóboda (Figura 5). Esse fato permite que neste tipo de forno, o calor possa ser reaproveitado na forma de ar quente e direcionado para as estufas de secagem (CARVALHO, 2019).

Figura 4 - Forno Abóboda



Fonte: INT (2015a).

Figura 5 - Fluxo de ar e gases quentes no interior do forno Abóboda

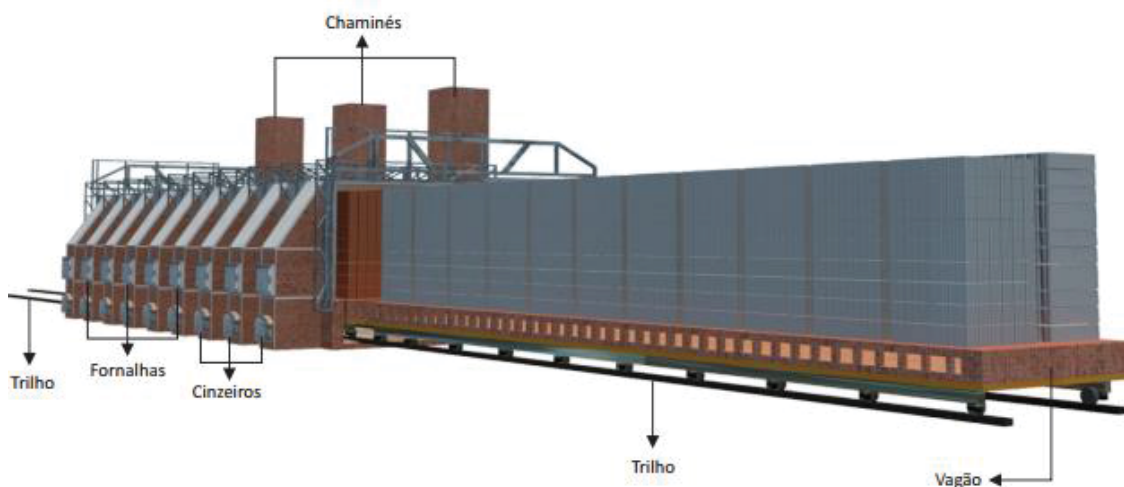


Fonte: INT (2015a).

2.3.7.3 Forno Vagão Metálico

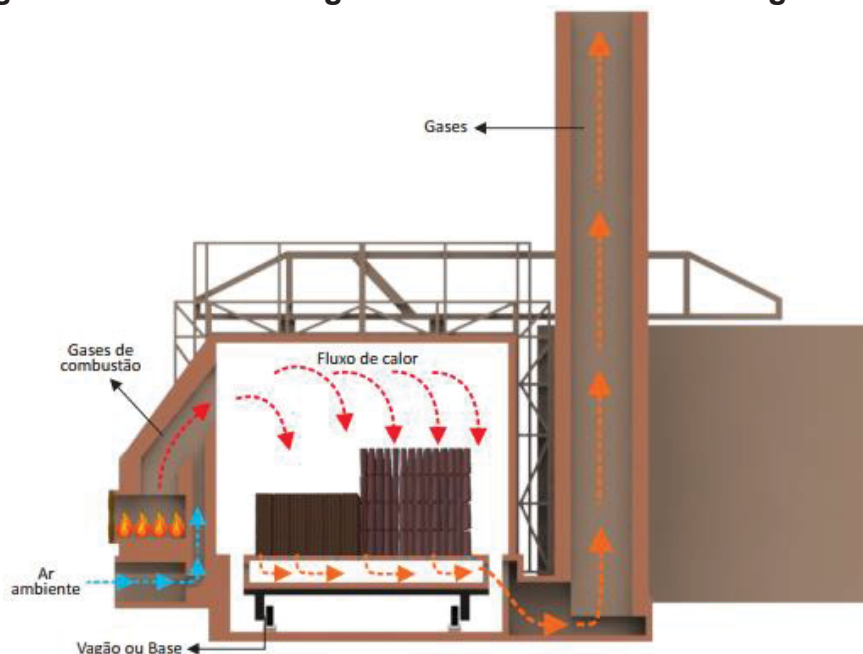
O forno vagão metálico é um forno que apresenta vantagens técnicas, econômicas e ambientais e permite reduzir o consumo energético, a mão de obra, além de produzir produtos variados (Figura 6). Este forno possibilita o aproveitamento do calor da queima na fase da secagem, recuperando os gases quentes antes de entrarem na chaminé, conforme Figura 7 (INT, 2015a).

Figura 6 - Forno Vagão Metálico



Fonte: INT (2015a).

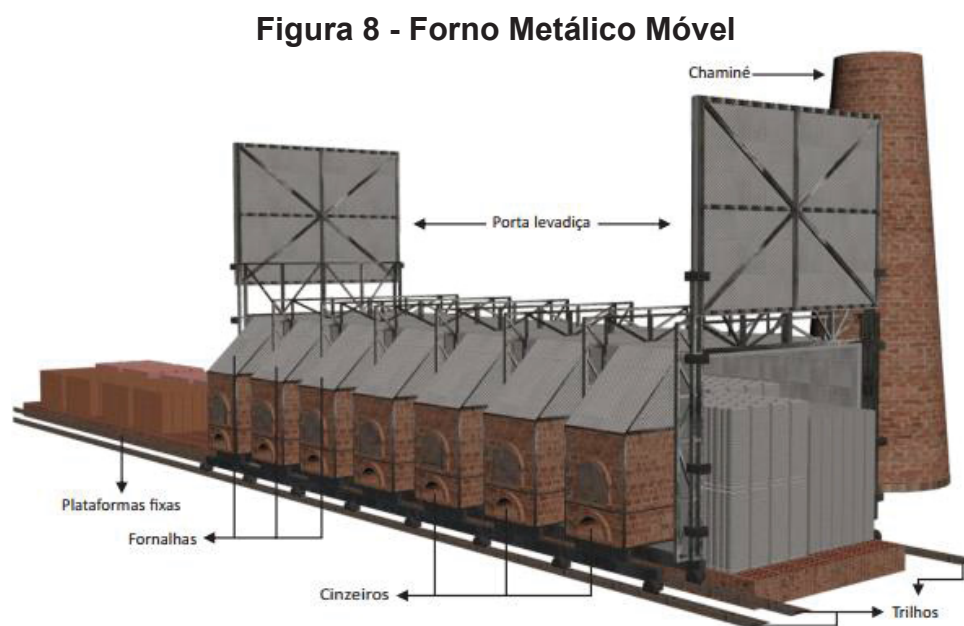
Figura 7 - Fluxo de ar e gases no interior do forno Vagão Metálico



Fonte: INT (2015a).

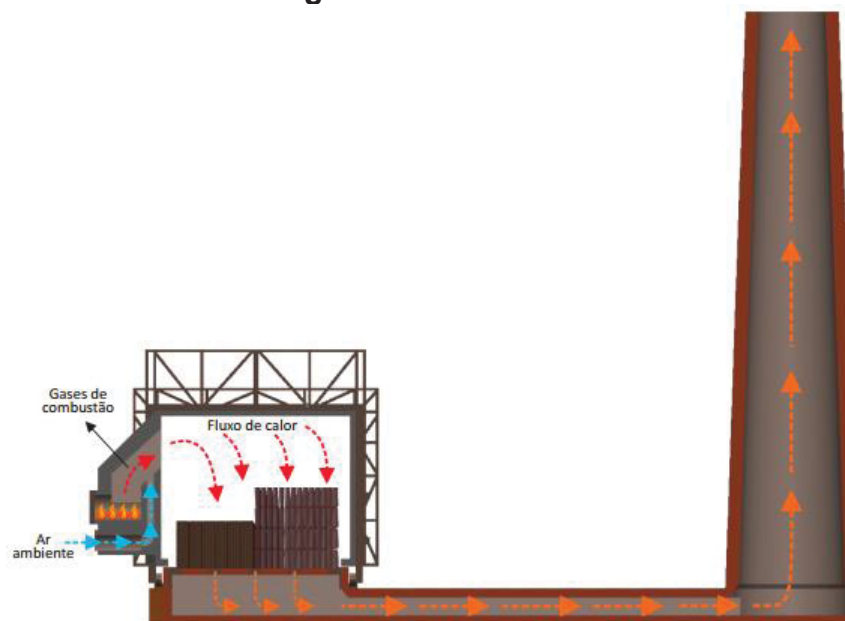
2.3.7.4 Forno Metálico Móvel

O forno Metálico Móvel é utilizado por cerca de 5% da produção nacional da cerâmica vermelha. Ele apresenta algumas vantagens técnicas, econômicas e ambientais ao permitir redução na demanda de energia térmica e, conseqüentemente, redução nas emissões de GEE (INT, 2015a) (Figura 8 e Figura 9).



Fonte: INT (2015a).

Figura 9 - Fluxo de ar e gases no interior do forno Metálico Móvel

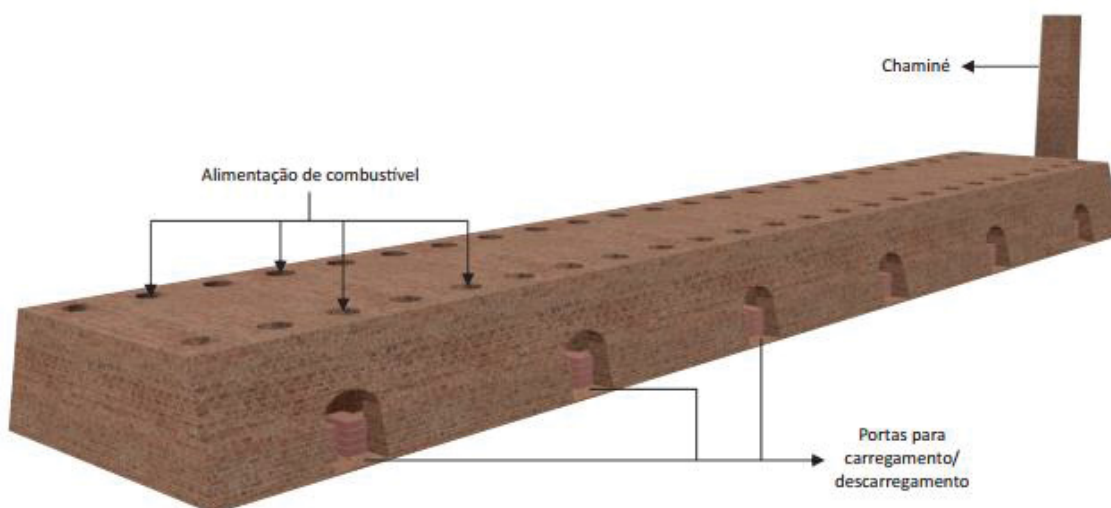


Fonte: INT (2015a).

2.3.7.5 Forno Hoffmann

O forno Hoffmann é largamente utilizado na queima de blocos, por apresentar boa produtividade, fácil manuseio e baixo consumo energético (Figura 10) (BACCELLI JR., 2010).

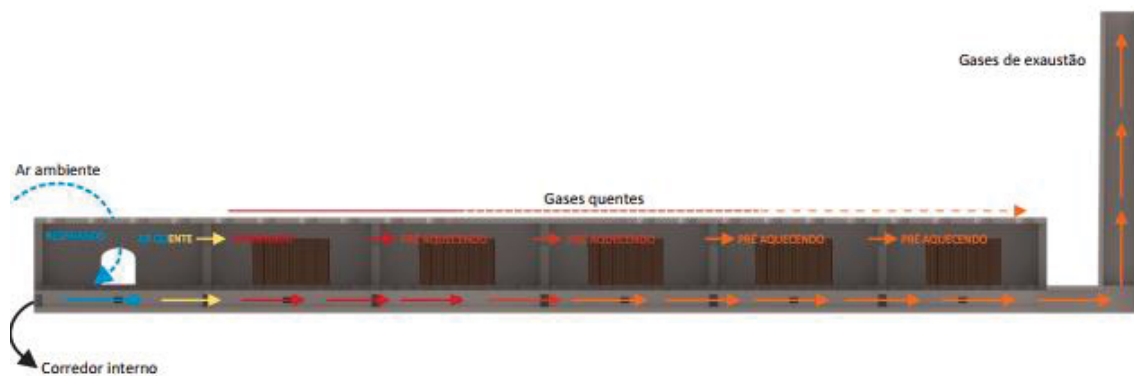
Figura 10 - Forno Hoffmann



Fonte: INT (2015a).

É um forno semi-contínuo no qual os gases quentes movimentam de forma horizontal e suas paredes tem portas laterais que permitem carregar e descarregar as peças (Figura 11) (INT, 2015a).

Figura 11 - Fluxo de ar e gases no interior do forno Hoffmann

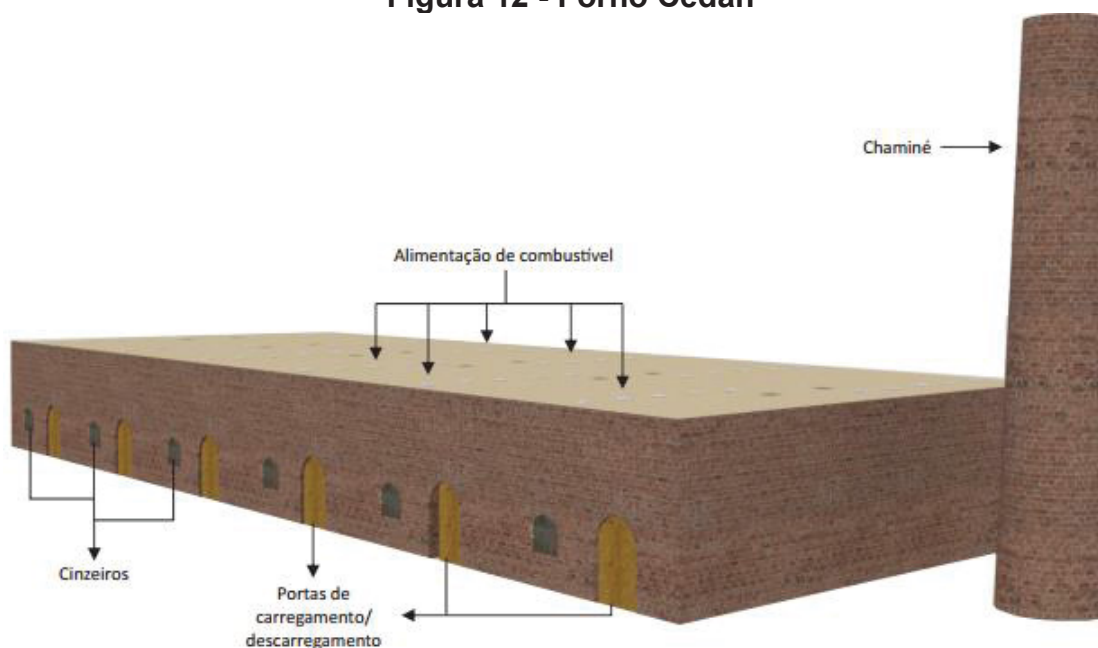


Fonte: INT (2015a).

2.3.7.6 Forno Cedan

O forno Cedan tem boa eficiência energética (Figura 12 e Figura 13) e, por isso, é considerado uma boa solução na busca pela sustentabilidade (menor consumo de energia térmica e menor emissão de gases) (INT, 2015a).

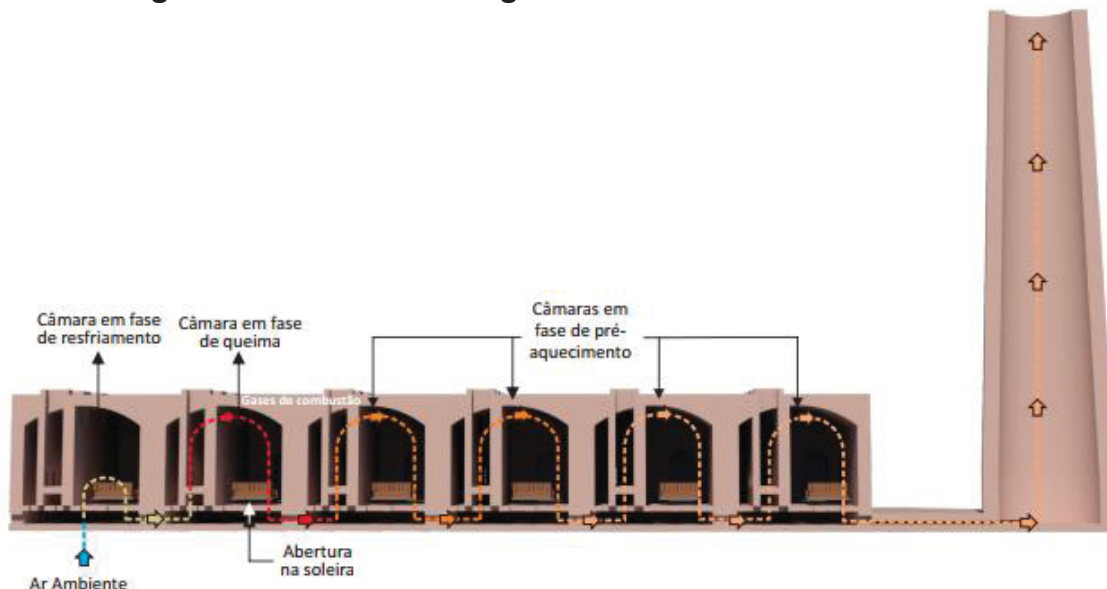
Figura 12 - Forno Cedan



Fonte: INT (2015a).

Esses fornos possibilitam baixo consumo energético, devido à recuperação de calor nas câmaras (BACCELLI, JR., 2010).

Figura 13 - Fluxo de ar e gases no interior do forno Cedan

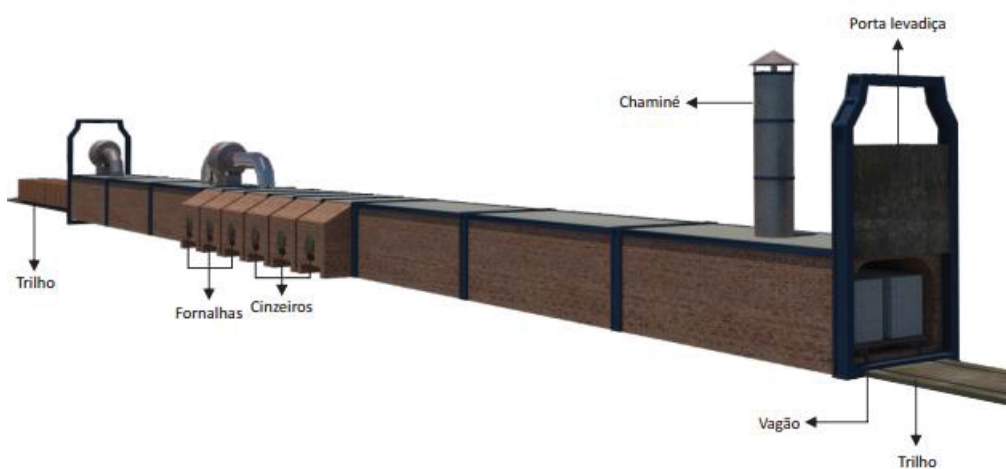


Fonte: INT (2015a).

2.3.7.7 Forno Túnel

O forno túnel provavelmente tem uma das mais avançadas tecnologias de queima. Estes fornos são normalmente usados quando se quer garantir altos padrões de qualidade na queima das peças cerâmicas (Figura 14 e Figura 15) (DUCE; VOSLOO; RICE, 2017).

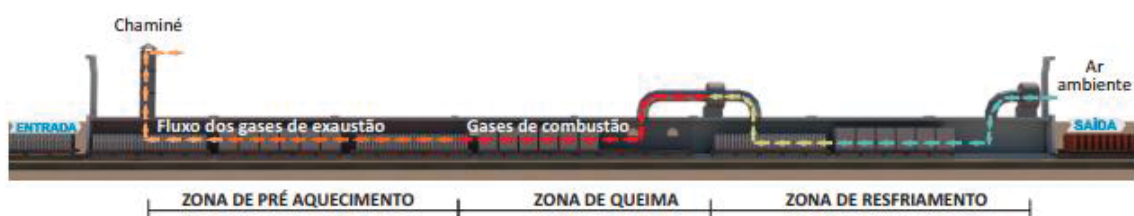
Figura 14 - Forno Túnel



Fonte: INT (2015a).

Esse forno apresenta, além de eficiência, fácil operação de carga e descarga e alto grau de automação, porém necessita de mão de obra qualificada para operar (FIEMG; FEAM, 2013). É o forno mais utilizado pelas grandes indústrias do setor, pois tem boa eficiência energética e grande capacidade produtiva (CALDAS; PEDROSO; SPOSTO, 2016). Ele costuma estar dividido em 3 zonas, conforme Figura 15: preaquecimento, queima e resfriamento. O produto entra cru em uma extremidade do forno e sai com a queima concluída na outra extremidade (INT, 2015a).

Figura 15 - Fluxo de ar e gases no interior do forno Túnel



Fonte: INT (2015a).

2.3.8 Impactos ambientais relacionados a produção da cerâmica vermelha

A norma NBR 14001 esclarece que o conceito de aspecto ambiental está relacionado com os fatores das atividades de produtos ou de serviços que interagem com o meio ambiente. Sobre isso, pode-se dizer que estes aspectos são: consumo de água; degradação das áreas de extração de argila; consumo de energia; geração de resíduos sólidos; e, GEE relacionado a todas as fontes de emissão, inclusive o transporte da matéria prima (CARVALHO, 2019).

2.3.8.1 Extração de argila

Os principais impactos ambientais referentes à extração da argila são físicos, bióticos e antrópicos. Os físicos compreendem na poluição do ar, erosão do solo assoreamento dos cursos d'água e emissões de ruídos. Os impactos bióticos abrangem a supressão da camada vegetal, enquanto os antrópicos refletem no impacto visual, graças a alteração da topografia (FIEMG; FEAM, 2013).

Tendo em vista que boa parte dos empreendimentos operam informalmente, deve se considerar a formalização da atividade da extração. A extração quando ocorre de maneira informal reflete em riscos nas áreas exploradas e pode acabar por comprometer o abastecimento das empresas de cerâmica vermelha (COELHO, 2009).

2.3.8.2 Consumo de água

Na etapa da preparação da massa, a argila recebe a quantidade de água necessária para garantir a umidade exigida para a moldagem e extrusão; porém, posteriormente, ocorrerá a evaporação dessa água durante a queima das peças (GRIGOLETTI, 2001). Sendo assim, a geração de efluentes líquidos de maior importância acontece na limpeza das máquinas e não representa impacto significativo. Não existe geração de efluentes líquidos no processo industrial da produção de cerâmica vermelha, exceto da origem de lavagem do maquinário e das peças e efluentes sanitários (FIEMG; FEAM, 2013).

Contudo, Sarquis *et al.* (2018) apontam que o consumo de água na produção da cerâmica vermelha é estabelecido em torno de 1m³/dia e não existe nenhum processo de reutilização da água descartada. Isso difere da indústria cerâmica espanhola que desenvolveu técnicas de reaproveitamento da água da produção garantindo o funcionamento da empresa nos tempos de seca e uma redução de consumo na ordem de 50% (ENRIQUE *et al.*, 2000).

2.3.8.3 Geração de resíduos sólidos

A perda do produto acabado durante o processo de produção é o principal resíduo da fabricação cerâmica; Entretanto, esse resíduo pode ser reincorporado ao processo produtivo (CARVALHO, 2019). Conforme Grigoletti e Satler (2003), quando o resíduo é pós-queima, ele não pode mais ser reintroduzido e usualmente acaba por virar aterro dentro da própria empresa cerâmica. Quando existem cinzas de carvão mineral, elas não podem ser expostas diretamente ao solo, devido ao alto nível de enxofre e por isso, devem ser armazenadas em caçambas (FIEMG; FEAM, 2013). Entretanto as cinzas resultantes da queima do

cavaco e da serragem são podem ser utilizadas na agricultura ou serem introduzida na argila.

2.3.8.4 Consumo de Energia

O setor da cerâmica vermelha é um grande consumidor de energia e também gera um impacto ambiental significativo devido à sua extensa utilização de lenha ou resíduos de madeira, como serragem e cavaco por exemplo. Embora recursos como óleo combustível e eletricidade sejam frequentemente utilizados, a lenha responde por quase metade de todo o consumo energético desse setor. Este fato torna-se decisivo ao considerar os problemas ambientais derivados da exploração, produção e queima da lenha. Além disso, a lenha possui um rendimento energético baixo, podendo influenciar a qualidade e os padrões técnicos dos produtos cerâmicos (CARVALHO, 2019).

2.3.8.5 Emissão de CO₂

As emissões atmosféricas resultam das atividades de transporte, manuseio, mistura de matérias-primas e insumos, assim como do uso de energia no processo de queima. O transporte está diretamente associado às emissões, especialmente pela utilização de combustíveis fósseis em veículos de grande porte para a entrega desses insumos. Vários fatores influenciam as taxas de emissão, incluindo o tipo de combustível empregado, o nível de controle operacional e o tipo de forno utilizado na produção cerâmica, todos afetando diretamente a eficiência energética do processo (FIEMG; FEAM, 2013).

2.4 ESTADO DA ARTE

Duce, Vosloo e Rice (2017) realizaram um estudo utilizando dados da produção de 86 dos 102 locais de produção de tijolos de cerâmica vermelha na África do Sul. Os resultados encontrados não conseguiram apontar a tecnologia que tem o melhor desempenho ambiental; todavia, a produção baseada no forno Hoffmann sempre apresentou um desempenho inferior aos demais. As principais

contribuições para os impactos ocorreram na preparação e na queima da argila, fazendo com que as demais etapas apresentassem valores quase insignificantes. Além disso, a utilização do carvão na mistura da argila e como combustível, foi o responsável pelo maior impacto.

Sendo assim, uma medida fundamental para diminuir os impactos ambientais dessa produção é a diminuição da utilização de combustíveis fósseis e carvão, tanto na mistura da argila quanto na queima. Essa análise também demonstrou que a energia elétrica leva a impactos consideráveis, devido ao *mix* de eletricidade sul-africano ser amplamente baseado em carvão, logo fomentar o uso de fontes de energia renováveis pode trazer melhorias significativas. Em uma média ponderada, Duce, Vosloo e Rice (2017) encontraram 0,27 kg de CO₂ e 3,46MJ de emissões e consumo energético, respectivamente para 1 kg de cerâmica vermelha.

Carvalho (2019) realizou a caracterização ambiental do processo de produção do bloco cerâmico produzido na Bahia. A autora levantou dados do berço-ao-portão da fábrica de três empresas que apresentam como principais diferenças os fornos e a distância dos fornecedores de biomassa e argila para atender ao objetivo de caracterizar ambientalmente o processo da produção do bloco cerâmico no estado da Bahia. As categorias de impactos avaliadas por Carvalho (2019) foram: mudanças climáticas, escassez de recursos fósseis e consumo de água. Essa avaliação foi realizada utilizando o *ReCiPe* 2016 e *Ecoinvent* 3 com o *Software Simapro* 8.2.0.0. Com base nos resultados da AICV os pontos críticos encontrados foram o consumo de energia elétrica, o uso de biomassa, a influência das distâncias dos fornecedores e os fornos utilizados. Nos resultados encontrados referentes à energia embutida e emissões de CO₂ para as três empresas cerâmicas, a autora apresentou respectivamente para bloco cerâmico 3 MJ e 0,35 kg CO₂/kg, 3,4 MJ e 0,25 kg CO₂/kg, e, 6,1 MJ e 0,55 kg CO₂/kg (CARVALHO, 2019).

Von Mühlen e Tavares (2021) realizaram um estudo de caso em uma olaria com o objetivo de verificar a energia incorporada e as emissões de CO₂. Esse estudo foi fundamentado no método de avaliação das entradas e saídas do processo de fabricação, o qual foi possível devido à observação e à coleta documental na empresa. O estudo foi dividido em quatro etapas: avaliar os dados

coletados; avaliar o percentual de cada insumo energético dessa produção; calcular as emissões de CO₂; e, interpretar os resultados. Os autores concluíram que essa indústria apresenta consumo energético e emissões superiores aos estudos no qual foi comparada. Os resultados encontrados para energia embutida de telhas cerâmicas foi de 11,07 MJ e 0,92 kg CO₂/kg de emissões enquanto para telhas cerâmicas esmaltadas foi de 14,95 MJ e 1,31 kg CO₂/kg.

Mahmoodi *et al.* (2021) realizaram uma revisão bibliográfica no Paquistão em que foram avaliadas três diferentes estruturas de paredes, entre elas, paredes de alvenaria de cerâmica vermelha. Os quantitativos por m² de parede foram tabelados e relacionados com valores de energia embutida e emissões de CO₂ encontrados na literatura. Para a composição da parede de alvenaria foi utilizado o tijolo de barro com 3 MJ de energia embutida e 0,22 CO₂/kg de emissões. A parede de alvenaria com blocos cerâmicos alcançou o maior índice de consumo energético e emissões de CO₂ frente a parede de blocos *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) e parede de blocos concreto.

Hashemi e Cruickshank (2015) realizaram um estudo em Uganda e na Tanzânia referente à energia embutida em tijolos. Os autores concluíram que na África Oriental, melhorar os métodos de construção e produção dos fornos, educar os produtores artesanais, replantar árvores, fornecer fontes alternativas de energia renovável, melhorar o projeto para controlar a intensidade do fogo e a circulação do ar em fornos de tijolos, são algumas das recomendações para melhorar a eficiência energética e mitigar os impactos ambientais. Mediante utilização de dados de produção local e de revisão de literatura, os autores calcularam que a energia embutida dos blocos é 4,76 MJ; Porém, o cálculo das emissões de CO₂ não foi realizado. Os autores compararam esse resultado com o estudo de Hammond e Jones (2011), que apresenta a energia embutida da cerâmica vermelha em 3 MJ, logo os autores concluíram que a energia embutida dos tijolos estudados está aproximadamente 1,6 superior ao estudo utilizado para comparação.

Tavares e Bragança (2016) realizaram um estudo sobre os índices de CO₂ dos materiais de construção em edificações brasileiras, entre eles da cerâmica vermelha. Este estudo é uma atualização de um estudo anterior e apresenta um método de cálculo de estimativas de CO₂ para materiais de

construção. Para isso, utiliza os valores percentuais de cada insumos energéticos, da geração de CO₂ por fonte de energia e da energia embutida de cada material de construção. Para a cerâmica vermelha os valores encontrados foram 5 MJ de energia embutida e 0,17 kg CO₂/kg de emissões.

Cleto, von Mühlen e Belizario-Silva (2022) realizaram uma pesquisa bibliográfica para o banco de dados do SIDAC. O objetivo do relatório foi apresentar os procedimentos adotados na coleta e no processamento dos dados genéricos do ICV, fundamentados na bibliografia nacional. Os autores realizaram a coleta de dados referentes à extração de argila e à produção das telhas e blocos cerâmicos com intuito de demonstrar os valores de energia incorporada no ciclo de vida de tijolos e telhas. Os dados foram coletados da literatura nacional, de estudos realizados entre 2001 e 2021, abrangendo teses, dissertações, trabalhos de conclusão de cursos de graduação, artigos de periódicos, artigos de evento e relatórios, que aconteceram nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul, além de três publicações que se referiam a todo o território nacional. A maioria desses estudos conduziram coletas de dados primários junto a fabricantes brasileiros de blocos e telhas. No total, foram obtidos 66 conjuntos de dados, representando estimativas de fluxos de produção ou intervalos de valores. Partes desses dados foram selecionados para compor a amostra de informações utilizada neste estudo.

Os autores, concluíram que esses dados não são uma amostra significativa, tendo em vista que existem no Brasil aproximadamente 5600 indústrias cerâmicas. Destes 66 estudos, apenas 10 descreveram os produtos contemplados com suas características geométricas. Os outros estudos fizeram uma referência genérica a blocos ou tijolos, ou ainda, apenas apontam com cerâmica vermelha, sem maiores informações sobre os produtos. Logo, houve prejuízo na obtenção de dados específicos para cada tipo de produto.

Sendo assim, esse estudo evidenciou os dados utilizando uma unidade de massa relacionada com o consumo de combustível. Ainda que tenham sido alcançados poucos dados frente ao número de olarias, os autores estimaram uma faixa de valores para cada um dos itens que compreendem o inventário do processo produtivo dos produtos cerâmicos. O escopo considerado nesta

avaliação foi *gate-to-gate* (portão-ao-portão), que compreende em todas as etapas realizadas dentro da fábrica.

A seleção dos componentes cerâmicos para a 1ª versão do SIDAC foi realizada em comum acordo com a ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica), levando em consideração os produtos mais consumidos no mercado nacional (CLETO; VON MÜHLEN; BELIZARIO-SILVA, 2022).

Yokoo *et al.* (2015) elaboraram um estudo sobre a energia embutida e emissão de CO₂ de edifícios na China e no Japão e, para isso, calcularam a energia embutida e as emissões de CO₂ de quatro edificações no nordeste da China e de uma edificação localizada em Tóquio, no Japão. As estruturas dessas edificações são compostas por concreto armado e tijolos, porém o consumo de aço na edificação Japonesa é três vezes maior, devido ao dimensionamento que considera as contramedidas contra os terremotos. Os valores encontrados de energia embutida nesse estudo para os tijolos foram 4103 MJ/ton para as edificações chinesas e 3409 MJ/ton para as edificações japonesas e respectivamente 380 kg/CO₂ e 250 kg/CO₂.

Para fundamentar a coleta de dados de consumo de energia e matérias-primas em indústrias de tijolos cerâmicos no oeste de Godavari Andhra Pradesh, na Índia, Levi e Raut (2021) realizaram um estudo dos processos pertinentes à produção de cerâmica e para tal finalidade adotaram o método de análise de processo de fluxo, que identifica quatro níveis do sistema. O primeiro nível inclui o consumo de energia direta na fabricação e transporte do produto, o segundo nível representa a energia indireta utilizada na extração das matérias primas, o terceiro nível demonstra o gasto de energia direta durante a fabricação de equipamentos na indústria e seu transporte para o nível, e o quarto nível inclui o gasto energético na fabricação de equipamento e seu transporte. Os valores encontrados em sete indústrias cerâmicas avaliadas, variaram entre 4,9 GJ/m³ e 7,8 GJ/m³. Observa-se que os autores não apresentaram os valores relacionados a massa da cerâmica nem deram as dimensões dos tijolos de forma que permitiram efetuar a conversão.

Neste capítulo apresentou-se o referencial teórico que embasou este estudo. Na sequência, apresenta-se o método utilizado para a realização desta pesquisa.

3 MÉTODO

Este capítulo apresenta as estratégias metodológicas que nortearam o desenvolvimento desta pesquisa. São elas, a classificação da pesquisa, o protocolo de ações executadas, bem como a descrição do estudo de caso.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Prodanov e Freitas (2013) classificam as pesquisas quanto ao método científico, a natureza, o objetivo, o procedimento técnico para coleta de dados e a abordagem. A proposta desta pesquisa é descrever quantitativamente e qualitativamente o ciclo de vida energético de blocos e telhas de cerâmica vermelha para o contexto brasileiro, desde as ações da extração da matéria-prima por meio de uma ACV simplificada (ACVE e ACVCO₂). Para isto, serão utilizados dados primários coletados em 11 empresas e dados secundários coletados mediante revisão bibliográfica.

Com base em Marconi e Lakatos (2003) e Prodanov e Freitas (2013), esta pesquisa pode ser classificada quanto ao método científico adotado, como indutiva, porque os argumentos indutivos têm como propósito oportunizar um entendimento mais amplo do que as premissas iniciais; quanto à sua natureza, pode ser classificada como aplicada, pois tem o objetivo de gerar conhecimentos de aplicação prática direcionados à solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais; quanto ao seu objetivo, pode ser classificada como descritiva, pois almeja-se registrar, descrever, analisar e interpretar o que está sendo observado, sem a interferência do pesquisador, utilizando a ACV como técnica de coleta de dados.

O procedimento técnico empregado está classificado em um estudo de caso, porque estuda e detalha um ou mais objetos, permitindo um amplo conhecimento. A abordagem é mista, pois apresenta uma parte quantitativa que busca transformar informações em números, para classificá-los e analisá-los; e uma parte qualitativa, pois dados descritivos serão coletados de acordo com os elementos existentes no processo.

3.2 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA

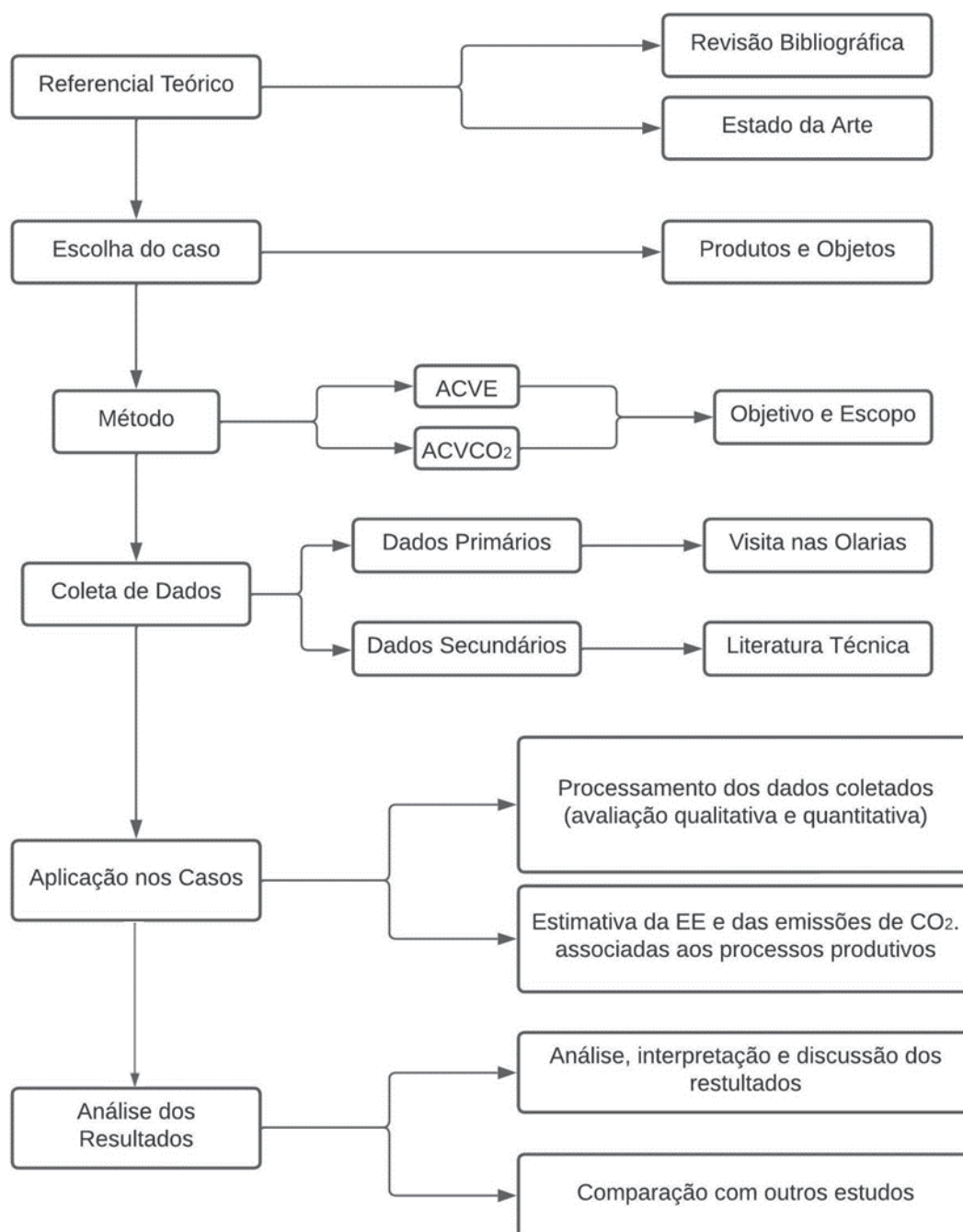
As estratégias de pesquisa são classificadas por Robson (2002) como fixas ou flexíveis. Neste estudo, a estratégia é classificada como flexível, porque diz respeito à seleção de um estudo de caso, o qual está inserido em um contexto em que os detalhes serão demonstrados ao longo da coleta de dados. A abordagem técnica pode ser classificada como um estudo de caso pois:

- a) refere-se ao estudo profundo de um ou mais objetos (YIN, 2015), já que são avaliados processos produtivos em detalhes;
- b) a situação do contexto no qual está sendo realizada a investigação é descrita (PRODANOV; FREITAS, 2013), porque os processos produtivos são descritos de forma quantitativa posteriormente à qualitativa;
- c) investiga um fenômeno dentro do seu contexto real (YIN, 2015), pois são avaliados os processos produtivos conforme são executados, sem interferência, e dentro da realidade local;
- d) o investigador recorre a fontes múltiplas de dados e a métodos de coleta diversificados (PRODANOV; FREITAS, 2013) – porque utilizou-se de dados da literatura técnica, medições *in loco*, entrevistas, questionários, consultas a documentos, entre outros.

Ao considerar a definição da unidade de análise e por se tratar de levantamentos múltiplos, esta pesquisa pode ser definida como um estudo de caso múltiplo, porque cada área analisada pode ser o objeto de um estudo de caso individual (YIN, 2015).

Este estudo foi realizado em seis etapas: referencial teórico; escolha do caso; método; coleta de dados; aplicação nos casos; e, análise dos resultados (Figura 16).

Figura 16 - Etapas da pesquisa



Fonte: elaborado pelo autor com base em Fischer (2020).

3.3 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A definição das unidades de análise e delimitação são abordadas na descrição do estudo, em que serão apresentadas de acordo com as fases da ACV (ACVE e ACVCO₂), método utilizado no decorrer desta pesquisa.

3.3.1 Unidades de análise

A unidade de análise define o que é o caso e suas questões iniciais (YIN, 2015). A unidade de análise deste estudo é a fase A1-A3, conforme EN 15978 (2011) do ciclo de vida energético e emissões de CO₂ da cerâmica vermelha para fabricação de blocos, de tijolos e de telhas. Para isto, esta pesquisa teve como objetos de estudo 11 olarias situadas no interior do estado do Rio Grande do Sul.

3.3.2 Definição do objetivo e escopo

A aplicação pretendida, a razão para execução e o público-alvo são contemplados pelo objetivo deste estudo. Reitera-se o apresentado no item 1.2, o objetivo principal desta pesquisa é descrever de forma qualitativa e quantitativa o ciclo de vida simplificado, em termos de EE e emissões de CO₂, dos blocos, dos tijolos e das telhas de cerâmica vermelha fabricados em 11 olarias situadas no interior do Rio Grande do Sul. Essa avaliação abrange as fases A1-A3 do ciclo de vida de edificações, definidas na norma europeia EN 15978 (2011), que verificam as etapas da extração da argila (matéria-prima) até os produtos estarem finalizados para deixar a fábrica.

As razões para o desenvolvimento são evidenciadas pela necessidade de geração de informações sobre o consumo energético e emissão de CO₂ da cerâmica vermelha, permitindo a tomada de decisão pelas partes interessadas. Para ultrapassar a entrega de resultados deste estudo, a aplicação pretendida é auxiliar empresas e profissionais da construção civil sobre os aspectos ambientais, em termos de EE e emissão de CO₂ e geração de dados para trabalhos futuros pertinentes ao tema.

O público-alvo deste estudo são as olarias e demais indústrias da cadeia da construção civil, profissionais da construção civil ACVistas e outros pesquisadores da área. O escopo contempla a descrição da cadeia produtiva da cerâmica vermelha, as funções dos produtos, a indicação das fronteiras do estudo, e as unidades funcionais. A fronteira de análise está limitada a fase A1-A3, conforme definido na EN 15978 (2011), para análises do ciclo de vida de edificações. A seleção relacionada à fronteira tecnológica priorizou o objetivo

principal desta pesquisa, descrever de forma qualitativa e quantitativa o ciclo de vida simplificado, em termos de EE e emissões de CO₂, dos blocos, de tijolos e de telhas de cerâmica vermelha fabricados em 11 olarias situadas no interior do Rio Grande do Sul. Portanto, os casos avaliados representam a tecnologia aplicada nessa realidade. A fronteira geográfica é considerada regional, tendo em vista que as empresas estão sediadas no estado do Rio Grande Sul, estado com significativa produção de cerâmica vermelha.

Com relação às entradas e às saídas, por ser uma ACV simplificada, esta pesquisa permite quantificar apenas os recursos energéticos (entradas) empregados nos processos produtivos e as emissões de CO₂ associadas à utilização destes recursos (saídas), dentro do escopo determinado.

3.3.3 Análise do inventário do ciclo de vida

A ACV, em uma visão simplificada, é um relatório das entradas e saídas de um sistema em observação. Sendo assim, muitos autores referem-se ao conceito de *Input-Output Analysis* (ROSSATO, 2009).

Neste estudo foram colhidos dados primários e secundários. Os dados primários foram obtidos sob o panorama dos métodos das entradas e saídas na qual todas as entradas e saídas do ciclo de vida, dentro do escopo proposto, serão qualificados e quantificados (ABNT, 2009b). Para isto, foram realizadas visitas em 11 olarias, mediante as quais foi possível conhecer seus processos produtivos e seus dados colhidos mediante observação do autor, questionários, entrevistas e análise documental.

Com a observação dos processos, aliado às entrevistas e à análise documental, pode-se estabelecer os valores de EE consumidas no processo. Ao verificar as entradas de combustíveis por observação e entrevistas, o processo estará sendo avaliado de forma qualitativa, enquanto ao verificar por questionários e análise documental as quantidades envolvidas estarão sendo avaliadas de forma quantitativa.

Ainda, mediante pesquisa bibliográfica, foram levantados dados secundários, referentes à EE no ciclo de vida da cerâmica vermelha, bem como das emissões de CO₂ pertinentes ao processo.

3.3.3.1 Unidade funcional

O principal objetivo da unidade funcional é definir conforme as características do produto, como serão quantificados os resultados da ACV (EN 15804, 2014). De acordo com a ISO 14040 (2009), a ACV é desenvolvida ao redor de uma unidade funcional. Esta unidade define o que está sendo estudado e condiciona todas as análises subsequentes, já que todas as entradas e saídas do ICV e também o perfil da AICV estão associados à unidade funcional.

Os combustíveis envolvidos no processo fabril foram identificados e quantificados gerando uma relação com a unidade funcional, estabelecida nesta pesquisa como 1 kg de cerâmica vermelha.

3.3.3.2 Cálculo com os dados

Para se obter os valores de EE em cada processo de produção, foi efetuado o cálculo do consumo de combustível relacionado com seu poder calorífico, conforme o INT (2015b) e Manfredini e Sattler (2005).

Com os dados referentes ao consumo energético, é possível estimar as emissões de CO₂ equivalentes. Para isto, faz-se uma relação entre a quantidade de energia consumida e a quantidade de emissões de CO₂ de cada elemento da matriz energética (HAMMOND; JONES, 2011; TAVARES, 2006).

Com relação ao consumo de óleo diesel na extração da argila, existem três cenários diferentes. O primeiro cenário é a empresa que declarou o consumo de óleo na extração da argila; o segundo cenário é a empresa que tem o consumo de óleo da extração somado ao óleo consumido no transporte da jazida até a empresa; e, o terceiro cenário é quando a empresa tem somente o gasto total de óleo do mês referência.

No primeiro cenário foi adotado o valor declarado, já no segundo cenário, foi calculado o consumo de óleo no transporte e subtraído do valor declarado, pois assim, sabe-se o valor consumido na extração. No terceiro cenário, se utilizou de um coeficiente de consumo de óleo diesel para extração de argila, que de acordo com Carvalho (2019), é entre 1,3 l/ton e 1,8 l/ton, com uma postura mais conservadora, o autor deste trabalho adotou 1,8 l/ton.

3.3.3.3 Cálculo da energia embutida no transporte da matéria-prima e insumos

A energia incorporada ao transporte da argila e dos insumos energéticos (pó de serragem, serragem) até a olaria será qualificada e quantificada avaliando a capacidade de carga dos veículos de transporte relacionados com os valores da **Tabela 2** e a quantidade encontrada de combustível será somada no consumo total.

Tabela 2 - Categoria de veículos, capacidade e consumo específico de diesel

Categoria	Capacidade (C)	Consumo específico de diesel
Comerciais leves	$C < 3,5 \text{ t}$	0,26 l/km
Caminhões leves	$3,5 \text{ t} \leq C < 10 \text{ t}$	0,42 l/km
Caminhões médios	$10 \text{ t} \leq C \leq 15 \text{ t}$	0,42 l/km
Caminhões pesados	$> 15 \text{ t}$	0,67 l/km

Fonte: Guerreiro, Cachola e Pacca (2022).

3.3.3.4 Cálculo da energia incorporada à produção

O consumo energético específico é um índice de grande relevância para avaliação do desempenho energético em uma ACV, dado que informa a relação da quantidade de energia incorporada dentro da unidade funcional. Este valor também possibilita a comparação entre distintas empresas ou tecnologias, como por exemplo entre os diferentes tipos de fornos cerâmicos utilizados (INT, 2015b).

No método de cálculo será considerada a quantidade das fontes de energia consumidas durante o escopo avaliado. Dentre fontes de energia, podem ser apontadas a energia elétrica, o óleo diesel, a biomassa e demais fontes de energia que serão percebidas no decorrer do processo (MANFREDINI; SATTTLER, 2005).

Os valores de energia incorporados no processo podem ser descobertos ao se realizar a relação (Equação 1) entre os valores de energia consumida com os valores de poder caloríficos encontrados na literatura, de acordo com a Tabela 3 e a Tabela 4.

Equação 1 - Energia embutida do combustível

$$EE_{comb} = m \times PCI$$

EE_{comb} = Energia Embutida do Combustível

m = massa

PCI = Poder Calorífico Inferior

Essas relações (de cada combustível), quando somadas, permitem estimar a EE no produto final. Conforme foi estabelecido nesta pesquisa, a unidade utilizada para energia será sempre MJ, logo, os valores de consumo energético encontrados em outras unidades deverão ser convertidos.

Na Equação 2, pode-se perceber que a EE de cada combustível é multiplicada pelo fator de conversão (ver Tabela 4) permitindo que o valor da EE do processo de produção seja demonstrado em MJ.

Equação 2 - Energia embutida do produto

$$EE_{prod} = \sum(EE_{comb} * fc)$$

EE_{prod} = Energia Embutida do Produto

fc = fator de conversão para MJ

Tabela 3 - Poder Calorífico Inferior

Combustível	PCI (kcal/kg)
Bagaço de cana	2130
Biodiesel (B100)	9000
Carvão vegetal	6460
Cavaco de eucalipto	4300
GLP	11100
Lenha	3100
Lixívia	2860
Óleo combustível	9950
Óleo diesel	10100
Pó de madeira	4100

Fonte: adaptado de Manfredini e Sattler (2005) e de MME (2017).

Tabela 4 - Fator de conversão para MJ

Unidade de medida	Fator de conversão para MJ
Quilocaloria (kcal)	4,1868 x 10 ⁽⁻³⁾

Fonte: adaptado de MME (2017).

Para conhecer o valor da EE da unidade funcional, estabelece-se, conforme a Equação 3, a divisão da EE total do ciclo de vida com a massa da produção.

Equação 3 - Energia embutida da unidade funcional

$$EE = \frac{EE_{prod} (MJ)}{produção (kg)}$$

3.3.3.5 Cálculo das emissões de CO₂

Ao identificar as fontes de energia presentes no ciclo de vida de um determinado material, é possível estimar a quantidade das emissões de CO₂ que aconteceram nesses processos. Todavia, para promover esse cálculo, é necessário conhecer os valores do consumo energético de cada fonte, ou seja, ao identificar que determinada fonte de energia, como o pó de serragem, por exemplo, está presente no processo, deve-se descobrir a quantidade que foi consumida.

A partir do valor total de consumo energético referente ao escopo estudado e com as fontes de energia qualificadas e quantificadas, deve-se estabelecer o valor percentual que cada combustível agrega à EE. No entanto, para realizar o cálculo das estimativas das emissões de CO₂ apresentado na Equação 4, ainda é necessário outro índice, que é a geração de CO₂ por fonte de energia, apresentados na Tabela 5 - Geração de CO₂ por fonte de energia.

Equação 4 - Estimativa da emissão de CO₂

$$ECO_2 = \sum (EE \times CP \times GFE)$$

Onde:

ECO₂ = Emissão de CO₂ (kg CO₂ / kg)

EE = Energia Embutida (MJ)

CP = Consumo de energia por fonte (%)

GFE = Geração de CO₂ por fonte de energia (kg / MJ)

Tabela 5 - Geração de CO₂ por fonte de energia

Fonte	CO ₂ (kg/GJ)
Eletricidade	42,2

Petróleo	73,3
Óleo Combustível	74,1
Gás Natural	56,1
GLP	63,1
Carvão Mineral	94,6
Carvão Vegetal	33,6
Lenha	56,0
Lixívia	95,3
Biomassa Sólida Geral	100,0
Outras Fontes Primárias Fósseis	73,3
Outras Fontes Primárias Renováveis	100,0

Fonte: adaptado de Tavares e Bragança (2016).

Tabela 6 - Peso específico dos insumos

Insumo	Massa (Kg)
1 M ³ de óleo diesel	852
1 M ³ de cavacos de madeira	229
1 M ³ de pó de madeira	410

Fonte: adaptado de Lima (2017).

Este capítulo tratou de apresentar os procedimentos para que fosse possível alcançar os objetivos propostos. No próximo capítulo serão apresentados os resultados da pesquisa.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados desta pesquisa. Inicialmente, os dados referentes à caracterização das empresas visitadas e na sequência apresenta-se os resultados referentes à caracterização das empresas, jazidas, transporte, secagem e queima, resíduos, consumo energético, emissões de CO₂ e dados da literatura.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS EMPRESAS

Entre os dias 11 de agosto de 2022 e 21 de março de 2023 foi realizada a coleta de dados em 11 indústrias cerâmicas no interior do Rio Grande do Sul, sendo que foram dez visitas presenciais e uma entrevista via *Google Meet* (empresa 11). A rotina das visitas presenciais foram todas muito similares, sendo compostas de visitação à produção e entrevista com o proprietário ou colaborador da empresa. Em todas as entrevistas foi utilizado o instrumento de coleta de dados (Apêndice A) e em todas foram respondidas de forma parcial, exceto em duas empresas, empresa 3 e empresa 4, que preferiram não informar nenhum dado referente a consumos energéticos e dados da produção, alegando sigilo dos dados.

Quanto à localização das empresas, todas estão localizadas no interior do Rio Grande do Sul, sendo distribuídas em cinco regiões de acordo com a Tabela 7. Nota-se que o Vale do Caí foi a região com maior visitação; porém, é nesta região que se encontram as empresas 3 e 4, as quais não compartilharam as informações sobre consumos e dados da produção. Sendo assim, o Vale do Taquari foi a amostra mais relevante deste estudo. Já a entrevista realizada de forma remota, foi em uma empresa da região central do estado.

Tabela 7 - Descrição das empresas

Empresa	Localização	Colaboradores na produção	Colaboradores
1	Vale do Caí	22	34
2	Vale do Caí	-	-
3	Vale do Caí	-	-
4	Vale do Caí	-	-
5	Vale do Taquari	6	18
6	Vale dos Sinos	150	181
7	Vale do Taquari	5	15

8	Vale do Taquari	15	20
9	Vale do Gravataí	22	40
10	Vale do Gravataí	30	35
11	Região Central	34	42

Fonte: o autor (2023).

As empresas 2, 3 e 4 não informaram o número de colaboradores, nas demais, a empresa 6 é a que tem o maior número de colaboradores com 181, enquanto a empresa 7 é que tem o menor número, contando com 15 colaboradores em seu quadro (Tabela 7).

Ao avaliar os tipos de produtos fabricados pelas indústrias, pode-se constatar que dez empresas produzem tijolos e blocos. Destas, três fabricam também canaletas e outras três fabricam tabelas. Há ainda uma empresa que se dedica exclusivamente à produção de telhas cerâmicas. Com exceção desta, todas as outras oferecem opções de tijolos e blocos, tanto para uso em vedação quanto em estruturas (Tabela 8).

Tabela 8 - Tipo de produtos fabricados

Tipo de Produtos	Indústrias por Região					Participação (%)
	Vale do Caí	Vale do Gravataí	Vale dos Sinos	Vale do Taquari	Região Central	
Tijolos e Blocos	-	-	1	2	1	36,36
Tijolos, Blocos e Canaletas	1	1		1		27,27
Tijolos, Blocos e Tabelas	2	1	-	-	-	27,27
Telhas	1	-	-	-	-	9,1
Total	4	2	1	3	1	100

Fonte: o autor (2023).

Foi realizada uma avaliação empírica para determinar o nível de automação dos processos. As empresas foram classificadas em três categorias: processo artesanal, para aquelas que ainda utilizam pelo menos um forno intermitente; semiautomatizado, para aquelas que utilizam todos os fornos contínuos e têm pelo menos automatização do caixão alimentador até o corte após a extrusão; e automatizado, para aquelas em que os colaboradores têm o mínimo de envolvimento direto com o produto (Tabela 9).

Tabela 9 - Grau de automação

Processo produtivo	Total de Empresas	Participação (%)
Artesanal	2	18,18
Semi automatizado	6	54,54
Automatizado	3	27,28
Totais	11	100,00

Fonte: o autor (2023).

4.2 JAZIDAS

A extração de argila em todas as indústrias pesquisadas é realizada com o auxílio de retroescavadeiras que usam óleo diesel como combustível. Embora algumas empresas terceirizem essa etapa, a maioria extrai a argila e a transporta das jazidas até a sede utilizando caminhões com capacidades entre 12m³ e 25m³. Para melhorar a qualidade da massa, as empresas buscam argilas com características diferentes e, para isso, extraem a argila de mais de uma jazida. Todas as empresas usam argilas de pelo menos duas jazidas diferentes, sejam próprias ou de terceiros.

A jazida mais próxima é uma jazida própria da empresa 5, que fica no pátio da sede. É responsável por 5% da argila utilizada pela empresa e a jazida mais distante é uma jazida terceirizada da empresa 2, que está distante 68km.

As empresas 2, 10 e 11 são as que utilizam argila terceirizada. A empresa 2 utiliza 50% da argila de jazida própria e 50% de jazida terceirizada, a empresa dez utiliza 40% da argila de jazida própria e 60% de duas jazidas terceirizadas e a empresa 11 tem 100% da argila terceirizada.

As empresas deste estudo exploram 22 jazidas então, quando questionado às empresas sobre a vida útil restante destas jazidas, três responderam que ainda restam “três anos”, duas responderam “cinco anos”, outras duas responderam “15 anos”, sobre 15 jazidas as empresas não souberam responder e duas empresas não forneceram informações sobre suas jazidas (Tabela 10).

Tabela 10 - Distância entre a indústria cerâmica e as jazidas

Distância entre a jazida e a empresa	Total de empresas	Total de jazidas	Participação (%)
De 0 a 2 km	4	6	27,27
De 2,1 até 5 km	1	1	4,55
De 5,1 até 10 km	3	3	13,63
De 10,1 até 20 km	3	6	27,27
De 20,1 até 50 km	3	5	22,73
De 50,1 até 70 km	1	1	4,55
Não respondeu	2		

Fonte: o autor (2023).

As empresas 1, 2, 4 e 6 conduzem o processo de sazonalização da argila, porém com diferentes intervalos de tempo, dependendo das necessidades de produção. Esses intervalos podem variar de 30 dias a vários meses. A empresa 10, por sua vez, realiza o sazonalização por um período de dois meses. Já as empresas 5 e 11 conduzem o sazonalização por seis meses, enquanto a empresa 9 realiza esse processo por três anos. Por outro lado, as empresas 3, 7 e 8 não realizam o sazonalização.

Para a fabricação de tijolos ou telhas, são misturadas duas ou mais argilas para garantir plasticidade e coesão da massa. Todas as empresas avaliadas neste estudo utilizam ao menos duas argilas em suas misturas. A empresa 4, por exemplo, utiliza uma técnica de acomodar as argilas de diferentes jazidas em camadas no pátio da fábrica para o sazonalização (Figura 17), sendo que assim, quando a escavadeira vai retirar as argilas para direcionar à produção, já está conduzindo matéria-prima de diversas jazidas.

Figura 17 - Camadas de argilas de diferentes jazidas na empresa 4

Fonte: o autor (2023).

A respeito do consumo de argila e da estimativa do consumo de óleo diesel na fase de extração, apenas três empresas forneceram dados, pois nas demais ocorre terceirização da extração ou as empresas não souberam fornecer as informações necessárias. Por esse motivo, foi necessário utilizar uma estimativa, conforme descrito no item **3.3.3.2 Cálculo com os dados** (Tabela 11).

Tabela 11 - Extração de argila e consumo de óleo¹

Empresa	Argila (ton)	Óleo Diesel(l)	Consumo (l/ton)
1	3.200	6.000,00	1,88
2	1.289	2.320,20	1,80
3	-	-	-
4	-	-	-
5	2.000	500,00	1,80
6	28.000	36.236,40	1,29
7	806	1.450,80	1,80
8	1.472	2.649,60	1,80
9	3.100	11.210,89	3,61
10	4.200	7.560,00	1,80
11	3.600	6.480,00	1,80

¹ extração e consumo mensais

Fonte: o autor (2023).

O consumo de óleo diesel pode variar dependendo do tipo de equipamento utilizado, do tamanho da área de extração, da profundidade da extração, da qualidade do solo e das condições climáticas. Em geral, a extração de argila é considerada um processo com alto consumo de combustível, o que pode ter impactos negativos no meio ambiente e nos custos operacionais da empresa.

4.3 TRANSPORTE

As empresas avaliadas exploram jazidas que, em média, estão localizadas a 15,5 km de distância. A jazida mais próxima está no pátio da sede, enquanto a mais distante fica a 68 km. Para o transporte da argila, são utilizados caminhões com capacidade entre 14 m³ e 25 m³, movidos a óleo diesel, com consumo de volume variando entre 90 litros e 8.763,60 litros (Tabela 13).

As empresas avaliadas utilizam principalmente serragem (Figura 18) ou cavaco como insumo em seus fornos. No entanto, a empresa 5 utiliza também

retalhos de madeira que são triturados em equipamento próprio. Essa empresa recebe madeira fornecida pela prefeitura, que é proveniente de entulhos descartados pelos moradores da cidade. No entanto, o volume de biomassa proveniente dessa fonte corresponde a apenas 8% do total utilizado pela empresa.

Figura 18 - Serragem para queima nos fornos – empresa 4



Fonte: o autor (2023).

As empresas têm fornecedores de insumos localizados a uma distância que varia de 15 km a 200 km, mas a maioria está situada entre 31 km e 70 km (Tabela 12). A empresa 2 utiliza exclusivamente serragem, enquanto a empresa 11 usa cavaco e casca de arroz. Todas as outras empresas empregam uma combinação de cavaco e serragem, inclusive as empresas 3 e 4; todavia, estas não forneceram informações sobre as quantidades e distâncias de seus fornecedores.

Tabela 12 - Distância dos fornecedores de insumos

Insumo	Número de empresas	Até 10 km	De 11 até 30 km	De 31 até 50 km	De 51 até 70 km	De 71 até 100 km	Mais que 100 km	Não informou
Serragem	10	0	1	4	3	0	0	2
Cavaco	10	0	1	3	3	0	1	2
Retalhos de Madeira	1	0	0	1	0	0	0	0
Casca de arroz	1	0	0	1	0	0	0	0

Fonte: o autor (2023).

Tabela 13 - Consumo de Óleo Diesel no Transporte

Empresa	Argila	Insumos	Total
1	3.445,71	654,61	4.100,32
2	2.159,08	4.824,00	6.983,02
3	-	-	-
4	-	-	-
5	454,64	1.453,58	1.908,22
6	8.763,60	7.934,43	16.698,03
7	90,00	918,86	1.008,86
8	152,74	801,13	953,87
9	2.789,11	4.134,86	6.923,97
10	3.402,53	5.880,69	9.283,22
11	2.613,00	6.049,14	8.662,14

Fonte: o autor (2023).

4.4 SECAGEM E QUEIMA

As empresas analisadas utilizam serragem, cavaco ou uma combinação dos dois como fonte de combustível para suas fornalhas (Figura 19). No entanto, a avaliação da umidade e qualidade desses insumos é realizada apenas de maneira empírica e visual (Tabela 12). Todas as empresas relataram enfrentar dificuldades para obter insumos de qualidade, o que prejudica a capacidade de suas fornalhas alcançarem as temperaturas adequadas, ao mesmo tempo em que consomem uma quantidade razoável de combustível. No entanto, mesmo o controle dos gastos com insumos é realizado de forma visual. Especificamente, a empresa 8 declarou ter dificuldades para obter serragem e cavaco sem evidências visíveis de excesso de umidade.

Figura 19 - Fornalha na empresa 8

Fonte: o autor (2023).

Antes de realizar a queima, as peças passam pelo processo de secagem, em um secador (Figura 21) e exceto pela empresa 2, todas as outras empresas aproveitam o calor dos fornos para secar as peças (Figura 20). Enquanto as outras empresas não precisam de uma fornalha exclusiva para secagem e utilizam o calor residual dos fornos, a empresa 2 requer abastecimento de serragem ou cavaco em uma fornalha dedicada. Além disso, embora a empresa 6 também reutilize o calor dos fornos, ela ainda precisa abastecer fornalhas para aquecer os secadores. A empresa mencionou que a quantidade de serragem necessária é menor, mas não conseguiu fornecer uma estimativa de biomassa utilizada (Tabela 14).

Tabela 14 - Reaproveitamento de calor do forno

Reaproveitamento do calor do forno	Total de empresas	Participação (%)
Não	1	9,09
Sim	10	90,91
Total	11	100

Fonte: o autor (2023).

Figura 20 - Duto de recuperação de calor do forno

Fonte: o autor, (2023).

A empresa 2 emprega um forno intermitente, cujo modelo não foi identificado, para a queima de telhas, enquanto a empresa 7 utiliza um forno intermitente não identificado e um vagão metálico intermitente para queima de tijolos maciços, bem como um forno contínuo modelo túnel para os demais tipos de tijolos. As demais empresas fazem uso exclusivo de fornos túneis (Tabela 15).

Tabela 15 - Tipos de fornos utilizados pelas empresas cerâmicas		
Tipos de fornos	Total de empresas	Participação (%)
Intermitente (variados)	1	9,09
Ambos	1	9,09
Contínuo (Túnel)	9	81,82
Total	11	100

Fonte: o autor (2023).

Figura 21 - Secador - empresa 8



Fonte: o autor, (2023).

O tempo necessário para a secagem e a queima varia devido a diferenças nos fornos utilizados (**Tabela 16**). Apesar de serem do tipo contínuo e túnel, esses fornos apresentam tamanhos distintos, utilizam insumos provenientes de diversas fontes e queimam peças com características diferentes. Além disso, a massa de argila utilizada na fabricação também varia entre eles. O tempo de queima também pode variar conforme a eficiência do forno, umidade da argila e carga inserida.

Depois de saírem dos secadores, os blocos ficam aguardando por um período indefinido (**Figura 22**), de acordo com a demanda da empresa, até serem encaminhados para o processo de queima (**Figura 23**), o qual também terá uma duração variável dependendo da empresa. Ao serem inseridas no forno, as peças são submetidas ao processo de queima, atingindo uma temperatura aproximada de 900°C. Isso resulta na formação de uma estrutura sólida com uma resistência muito maior do que a inicial. Após a conclusão do processo de queima, algumas empresas utilizam hélices para acelerar o resfriamento das peças, permitindo assim que os colaboradores possam manuseá-las (**Figura 24**).

Tabela 16 - Tempo de secagem e queima dos blocos nos fornos túneis

Empresa	Secagem (h)	Queima (h)
1	48	18
5	42	40
6	18	40
7	24	36

8	48	36
9	36	22
10	20	17
11	36 a 48	20 a 30

Fonte: o autor (2023).

Figura 22 - Blocos secos aguardando a queima - empresa 10



Fonte: o autor (2023).

Figura 23 - Queima dos blocos na empresa 4



Fonte: o autor (2023).

Figura 24 - Resfriamento dos blocos após a queima na empresa 9



Fonte: o autor (2023).

4.5 RESÍDUOS

Durante o processo de extrusão ou corte, podem ocorrer erros e danos nas peças (Figura 25) e estes resíduos são reincorporados à massa, todavia as peças danificadas após a secagem (Figura 26), são trituradas antes de serem reincorporadas, porém também são reutilizadas na massa.

Figura 25 - Extrusora com resíduos abaixo - empresa 9



Fonte: o autor (2023).

Figura 26 - Peças danificadas após a secagem - empresa 4



Fonte: o autor (2023).

Sobre as peças que são perdidas após a queima (**Figura 27**), todas as empresas declararam que são vendidas para serem utilizadas como aterro ou pavimentação em estradas, na maioria das vezes em sítios e fazendas.

Figura 27 - Peças perdidas após a queima - empresa 9



Fonte: o autor (2023).

Sobre as cinzas dos fornos, a empresa 5 declarou que reincorpora 100% na massa dos blocos e que ela não interfere na qualidade dos blocos, todas as demais empresas declararam que vendem as cinzas para o setor agrícola. Todas as empresas declararam ter as devidas licenças ambientais necessárias para a comercialização de todos os resíduos, apesar que não foi feito nenhum tipo de conferência nesse sentido por parte do autor deste estudo.

4.6 CONSUMO ENERGÉTICO

A produção da empresa 6 é a maior dentre as empresas avaliadas enquanto a produção da empresa 7 é a menor. Isso acontece devido ao porte de cada empresa, enquanto a empresa 6 tem uma grande estrutura com 181 colaboradores a empresa 7 tem 15 colaboradores. As empresas 3 e 4 não informaram os valores de suas produções (Tabela 17).

Tabela 17 - Produção das empresas Cerâmicas

Empresa	Produção (kg)
1	3.358.477
2	1.065.725
3	-
4	-
5	2.000.000
6	22.500.000
7	650.000
8	1.200.000
9	2.500.000
10	4.200.000
11	3.005.000

Fonte: o autor (2023).

Com os valores de consumos dos insumos energéticos (Tabela 18) foi calculada a energia embutida total do ciclo de vida da cerâmica vermelha, dentro do escopo proposto. Assim, esse valor foi relacionado com a total da produção e foi encontrado o valor da energia embutida por kg (Tabela 19).

Tabela 18 - Insumos Energéticos

Empresa	Energia Elétrica (kWh)	Serragem (m³)	Cavaco (m³)	Casca de Arroz (m³)	Óleo Diesel (l)	Gás Natural (m³)
1	131.379	500	200	0	8.140	0
2	76.448	1500	0	0	4.900	0
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	40.000	575	675	0	1460	200
6	750.000	7.319	2.620	0	57.934	0
7	25.000	300	300	0	3.220	0
8	46.000	697,50	697,50	0	6.450	0
9	75.000	90	1.710	0	28.135	0
10	85.000	1280	1280	0	23.641	0
11	160.000	0	2.200	100	23.753	0

Fonte: o autor (2023).

Tabela 19 - Energia Embutida

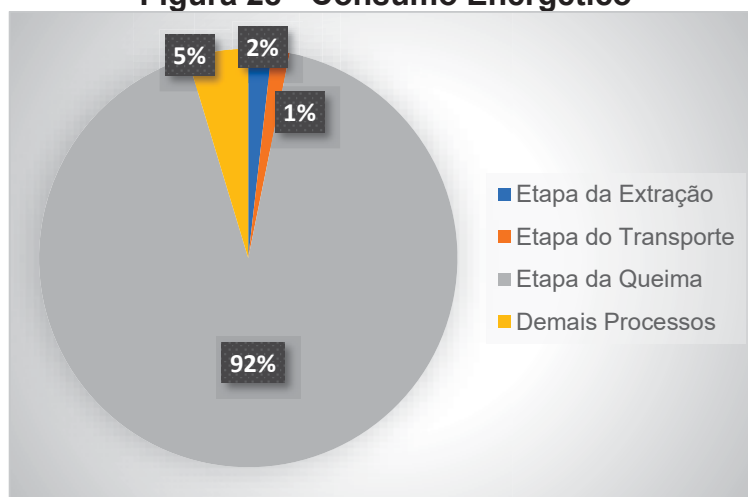
Empresa	Energia Total (MJ)	Energia Embutida (MJ/kg)
1	5.085.248	1,55
2	11.299.855	10,6
3	-	-
4	-	-
5	7.075.983	3,54
6	66.920.658	2,97
7	3.544.211	5,45
8	8.162.312	6,80
9	8.885.430	3,55
10	15.372.359	3,66
11	10.432.881	3,47

Fonte: o autor (2023).

Entre todas as empresas cerâmicas avaliadas, houve uma variação nos valores da energia embutida calculada, que variaram de 1,55 MJ/kg a 10,6 MJ/kg. Devido à falta de informações fornecidas pelas empresas, não foi possível calcular os valores para as empresas 3 e 4. No entanto, as empresas 5, 6, 9, 10 e 11 apresentaram valores semelhantes, com uma variação de apenas 0,69 MJ.

Ao considerar todas as empresas avaliadas, a etapa da queima foi responsável por 92% do consumo energético quantificado, já a etapa do transporte de argila e insumos para as empresas foi a de menor consumo sendo responsável por 1% (Figura 28). Este valor foi obtido somando os consumos energéticos de todas as empresas avaliadas.

Figura 28 - Consumo Energético



Fonte: o autor (2023).

Ao avaliar individualmente as empresas, todas elas apresentaram a etapa da queima como a maior responsável pelo consumo energético e estes valores variam entre 85% e 96,57% (APENDICE B). Foi realizada uma avaliação do consumo energético específico durante a etapa de queima em todas as empresas, com exceção das empresas 3 e 4, que não forneceram os dados.

Essa informação é crucial para auxiliar na tomada de decisões relacionadas à eficiência energética dos insumos utilizados nos fornos, bem como o desempenho dos próprios fornos. A empresa 1 alcançou o melhor desempenho com 1,29 MJ/kg, enquanto a empresa 2 atingiu o pior desempenho com 9,90 MJ/kg (Tabela 20).

Tabela 20 - Consumo Energético Específico

Empresa	Consumo Energético Específico (MJ/kg)
1	1,29
2	9,90
3	-
4	-
5	3,41
6	2,77
7	5,15
8	6,49
9	3,07
10	3,40
11	3,28

Fonte: o autor (2023).

4.7 EMISSÕES DE CO₂

Os dados referentes às emissões de CO₂ estão disponíveis na Tabela 21. É observável que a empresa 1 registrou a menor quantidade de emissões, enquanto a empresa 2 apresentou o valor mais elevado. A análise desses dados permite identificar as disparidades nas emissões de CO₂ entre as empresas avaliadas, o que serve como ponto de partida para a tomada de decisões em relação à redução dessas emissões.

Tabela 21 - Emissões de CO₂

Empresa	Total (kg)	kgCO₂/ kg
1	718.006,21	0,14
2	11.683.204,58	1,03
3	-	-
4	-	-
5	2.462.629,66	0,35
6	19.291.738,58	0,29
7	1.889.085,54	0,53
8	5.449.456,61	0,67
9	3.016.688,40	0,34
10	5.487.367,33	0,36
11	3.435.717,77	0,33

Fonte: o autor (2023).

A etapa da queima foi identificada como aquela com o maior impacto nas emissões de CO₂, apresentando uma variação entre 90,10% e 98,15% (APENDICE C).

A Tabela 22 apresenta os produtos fabricados, fornos usados, energia embutida e emissões de CO₂

Tabela 22 - Apresentação final de dados

Empresa	Produto	Forno	E.E. (MJ/kg)	Emissões (kg CO₂ / kg)
1	Blocos	Túnel	1,55	0,14
2	Telhas	Intermitente	10,6	1,03
5	Blocos	Túnel	3,54	0,35
6	Blocos	Túnel	2,97	0,29
7	Blocos e Tijolos	Túnel e Intermitente	5,45	0,53
8	Blocos	Túnel	6,80	0,67
9	Blocos	Túnel	3,55	0,34
10	Blocos e Calhas	Túnel	3,66	0,36
11	Blocos	Túnel	3,47	0,33

4.8 DADOS DA LITERATURA

Uma pesquisa bibliográfica foi conduzida com o objetivo de investigar os valores de energia incorporada e emissões de CO₂ associados a tijolos, blocos,

telhas e cerâmicas vermelhas em geral. Esses valores foram obtidos a partir de diferentes países, incluindo Brasil, Reino Unido, Espanha, Itália, China, Japão, África do Sul, Austrália, Turquia, Estados Unidos, Uganda, Paquistão, Índia e Chipre.

Além disso, foram considerados estudos que abordaram tanto casos de estudo em olarias quanto pesquisas sobre o desempenho energético de sistemas construtivos ou materiais que envolviam de alguma forma a utilização de cerâmica vermelha. Adicionalmente, foi considerado um estudo específico sobre tijolos de adobe, que não envolvem o processo de queima, a fim de permitir uma comparação de consumo energético e emissões de CO₂ (Tabela 23).

Tabela 23 - Energia Embutida e Emissão de CO₂ - Dados da literatura

Produto	Insumo	Forno	Escopo	Local	E.E. (MJ/kg)	Emissão de CO ₂ (kg CO ₂ /kg)	Autores
Telha	-	-	-	MG, Brasil	3,14	-	Berni (2010)
Telha	-	-	-	MG, Brasil	4,88	-	Berni (2010)
Tijolo	-	-	-	MG, Brasil	2,65	-	Berni (2010)
Telha	-	-	-	Espanha	4,59	0,41	Bribian, Capilla e Usón (2011)
Tijolo	-	-	-	Espanha	3,56	0,41	Bribian, Capilla e Usón (2011)
Bloco de vedação	Lenha, serragem e cavaco	Contínuo	Berço-ao-Portão	BA, Brasil	3,00	-	Carvalho (2019)
Bloco de vedação	Lenha, serragem e cavaco	Contínuo	Berço-ao-Portão	BA, Brasil	3,00	-	Carvalho (2019)
Bloco de vedação	Lenha, serragem e cavaco	Contínuo	Berço-ao-Portão	BA, Brasil	6,10	-	Carvalho (2019)
Tijolo	-	-	-	China	2,00	0,29	Chen (2022)
Tijolo de Adobe	-	-	Berço-ao-Portão	Chipre	0,033	0,0002	Christoforou (2016)
Tijolo de Adobe	-	-	Berço-ao-Portão	Chipre	0,17	0,0013	Christoforou (2016)
Tijolo	-	Variados	Berço-ao-Portão	África-do-Sul	3,46	0,27	Duce, Volso e Rice (2017)
Telha	Gás Natural	-	Berço-ao-Portão	Reino Unido	6,50	0,24	Hammond e Jones (2011)
Tijolo	Gás Natural	-	Berço-ao-Portão	Reino Unido	3,00	0,24	Hammond e Jones (2011)
Tijolo	Lenha, casca de café e casca de arroz	Intermitente	Berço-ao-Portão	Uganda e Tanzânia	4,76	-	Hashemi e Cruickshank (2015)

Cerâmica Vermelha	-	-	-	-	4,85	-	Ishida <i>et al.</i> (2018)
Tijolo	Gás Natural	-	Berço-ao-Portão	Turquia	2,50	-	Kus, Edis e Oskan (2008)
Tijolo	-	-	-	Paquistão	3,00	0,22	Mahmoodi <i>et al.</i> (2021)
Tijolo	Lenha	Intermitente	-	Uganda	4,26	-	Olweny, Ndibwami e Ahimbisibwe (2017)
Cerâmica Vermelha	-	-	-	Brasil	5,00	0,17	Tavares e Bragança (2016)
Bloco Estrutural	Cavaco e Serragem	Túnel	Berço-ao-Portão	SP, Brasil	3,36		Vinhal (2016)
Bloco Estrutural	Cavaco e Serragem	Túnel	Berço-ao-Portão	SP, Brasil	3,83		Vinhal (2016)
Telha Natural	Serragem	Intermitente	Portão-ao-Portão	RS, Brasil	11,07	0,92	Von Mühlen e Tavares (2021)
Telha Esmaltada	Serragem	Intermitente	Portão-ao-Portão	RS, Brasil	14,95	1,31	Von Mühlen e Tavares (2021)
Tijolo	-	-	-	China	4,10	0,38	Yokoo <i>et al.</i> (2015)
Tijolo	-	-	-	Japão	3,41	0,25	Yokoo <i>et al.</i> (2015)
Tijolo	-	-	-	Austrália	3,50	-	Australian Government (S. D.)
Tijolo	-	-	Berço-ao-Portão	EUA	2,00	-	Ashley, (2008)
Tijolo	-	-	-	Índia	1,80	-	Shukla, Tiwari e Sodha (2008)
Tijolo	-	-	Berço-ao-Portão	Itália	3,00	-	Copiello (2016)
Tijolo	-	-	-	Bangladesh	2,50	0,19	Shams, Mahmud e Al-Amin (2011)

Fonte: o autor (2023).

Neste capítulo foram apresentados os resultados do estudo. Na sequência, apresenta-se a discussão desses resultados com a literatura vigente sobre a temática.

5 DISCUSSÃO

Neste capítulo apresenta-se a discussão dos resultados da presente pesquisa.

5.1 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS DE ENERGIA EMBUTIDA

A empresa 1, que se dedica à produção de tijolos e blocos, registrou o menor consumo energético entre as empresas avaliadas, com uma energia embutida de 1,55 MJ/kg. Essa empresa utiliza um forno túnel que emprega serragem como insumo energético. Por outro lado, a empresa 2, que fabrica exclusivamente telhas, apresentou o maior índice de energia embutida, totalizando 10,6 MJ/kg. Essa empresa utiliza um forno intermitente e cavaco como insumo energético. Além das diferenças nos tipos de fornos, a empresa 1 consegue reaproveitar o calor do forno para a secagem dos blocos, enquanto a empresa 2 precisa utilizar fornalhas exclusivas para a secagem das telhas. A discrepância na energia embutida entre essas duas empresas pode ser explicada pelas diferentes formas de produção, pois elas fabricam produtos distintos com argilas de fontes diferentes e utilizam fornos com desempenhos variados.

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, a etapa da secagem e queima é responsável por 92% do consumo energético no ciclo de vida da cerâmica vermelha, considerando o escopo desde o berço até o portão. Portanto, essa etapa se destaca como o componente mais significativo a ser avaliado quando se busca compreender os índices de consumo energético na produção de cerâmica vermelha. Além disso, existem diversos fatores que exercem uma influência significativa na variação desse consumo, tais como o tipo de forno utilizado, as práticas de manutenção e o controle da queima (ISHIDA *et al.*, 2018).

Shukla, Tiwari e Sodha (2008) relataram que a energia embutida de um quilograma de tijolo queimado é de 1,80 MJ/kg, enquanto Ashley (2008) Chen (2022) referem que é de 2,00 MJ/kg. Esses são os valores mais baixos encontrados e todos se referem à produção de tijolos; no entanto, não fornecem informações sobre os processos produtivos envolvidos. Já os valores mais altos

encontrados foram de 6,10 MJ/kg (CARVALHO, 2019), referente à produção de tijolos, e 14,95 MJ/kg (VON MÜHLEN; TAVARES, 2021) referente à produção de telhas. No estudo de Carvalho (2019), que avaliou três empresas cerâmicas (empresa a empresa b e empresa c), os resultados encontrados para a energia embutida de um quilograma de blocos de vedação foram de 3,00 MJ/kg, 3,40 MJ/kg e 6,10 MJ/kg, respectivamente. Essas três empresas utilizam cavaco, lenha e serragem como insumos energéticos em um forno contínuo, e a diferença nos resultados se deve à quantidade de insumos utilizados em cada forno. Vale ressaltar que a empresa a e a empresa c utilizaram a mesma quantidade de argila em sua produção, mas a empresa c apresentou uma energia embutida mais do que o dobro da empresa a. Por sua vez, o estudo de von Mühlen e Tavares (2011) avaliou uma olaria que utiliza um forno intermitente e cavaco como combustível. O valor elevado encontrado pode ser explicado pelo fato de essas telhas serem esmaltadas e passarem por um processo de dupla queima, além da empresa utilizar um forno intermitente. Esta mesma olaria produz telhas que não passam pelo processo de esmaltação e logo sofrem apenas uma queima. A energia embutida encontrada para este produto é de 11,07 MJ/kg.

Dentre as empresas avaliadas, destaca-se a empresa 6, que é a maior deste estudo e alcançou um índice de energia embutida de 2,97 MJ/kg. Essa empresa utiliza fornos túneis e os insumos energéticos são cavaco e serragem. Embora essa empresa necessite de um abastecimento auxiliar para a secagem dos blocos, a eficiência dos fornos manteve a energia embutida abaixo da maioria das empresas analisadas neste estudo.

Na literatura avaliada, quatro estudos (CARVALHO, 2019; COPIELO, 2016; HAMMOND; JONES, 2011; MAHMOODI *et al.*, 2021) apresentaram um valor de 3,00 MJ/kg para a energia embutida de tijolos, valor semelhante ao encontrado na empresa 6. No entanto, apenas dois desses estudos informaram os insumos energéticos utilizados nos fornos. O trabalho de Hammond e Jones (2011) mencionou o uso de gás natural, enquanto Carvalho (2019) (empresa a) utilizou lenha, serragem e cavaco, além de especificar que o forno era do tipo contínuo. Portanto, a similaridade entre o tipo de forno e os insumos energéticos utilizados na empresa 6 e na empresa de Carvalho (2019) corroboram os

resultados, não havendo diferença no desempenho entre a empresa que utilizou gás natural e a empresa 6. Entretanto, não é possível afirmar que o gás natural tem o mesmo desempenho dos demais insumos energéticos pois existem fatores como umidade da argila e condições de uso do forno que podem alterar os resultados encontrados.

As empresas 5, 9, 10 e 11 registraram valores de energia embutida entre 3,47 MJ/kg e 3,66 MJ/kg. Essas empresas utilizam fornos túnel e os insumos energéticos são cavaco e serragem, exceto a empresa 11, que utiliza apenas cavaco. Na literatura, foram encontrados sete estudos com valores semelhantes, variando entre 3,36 MJ/kg e 3,83 MJ/kg. Esses estudos permitiram observar que Vinhal (2016) (empresa a) utiliza um forno túnel com cavaco e serragem, enquanto Carvalho (2019) (empresa b) emprega um forno contínuo, modelo não especificado, que utiliza cavaco, lenha e serragem como insumos energéticos. Esses estudos corroboram os valores apresentados pelas empresas mencionadas, que utilizam fornos e insumos semelhantes. Além disso, é possível observar que a empresa 11, que utiliza apenas cavaco, obteve um desempenho semelhante às empresas que utilizam cavaco e serragem.

As empresas 2, 7 e 8 apresentaram valores de energia embutida acima das demais. A empresa 2 registrou um valor de 10,6 MJ/kg, a empresa 7 apresentou 5,45 MJ/kg, e a empresa 8 alcançou 6,80 MJ/kg. O valor encontrado na empresa 7 pode ser explicado pelo fato de que a empresa utiliza não apenas um forno túnel, mas também dois fornos intermitentes, que consomem mais energia e têm uma produtividade menor. Por outro lado, a empresa 8 utiliza apenas um forno túnel, e os insumos energéticos empregados são cavaco e serragem.

Entre as empresas que fabricam tijolos e blocos com processos produtivos semelhantes, a empresa 8 se destacou ao apresentar a maior energia embutida calculada, totalizando 6,80 MJ/kg. Essa empresa utiliza um forno túnel que utiliza cavaco e serragem como insumo energético. É relevante notar que a empresa 8 mencionou ter dificuldades em obter cavaco e serragem com baixo teor de umidade, o que provavelmente contribuiu para o maior consumo de insumos e, conseqüentemente, para uma maior energia embutida.

De acordo com os achados da literatura, ao considerar apenas empresas que utilizam fornos contínuos na fabricação de tijolos e blocos, os valores de energia embutida variam de 3,00 MJ/kg a 6,10 MJ/kg, com exceção do valor atípico da empresa c do estudo de Carvalho (2019). Se esse valor for descartado, a faixa fica entre 3,00 MJ/kg e 3,83 MJ/kg, conforme observado no estudo de Vinhal (2016).

No caso dos fornos intermitentes utilizados na fabricação de tijolos e blocos, os valores de energia embutida variam de 4,26 MJ/kg a 4,76 MJ/kg. Esses resultados indicam que as empresas que utilizam fornos intermitentes tendem a ter um consumo energético maior.

Dentro das empresas avaliadas neste estudo, a empresa 7 é a única que fabrica blocos e tijolos e utiliza tanto fornos intermitentes quanto um forno túnel. Essa empresa apresentou o segundo maior valor de energia embutida, com 5,45 MJ/kg. No entanto, se excluirmos a empresa 8, que teve um consumo energético elevado devido à baixa qualidade do insumo energético, as demais empresas que fabricam tijolos e blocos e utilizam apenas fornos túnel variam seu consumo energético entre 1,55 MJ/kg e 3,66 MJ/kg, valores semelhantes aos encontrados na literatura.

Conforme exposto anteriormente, a secagem e queima são responsáveis por 92% do consumo energético, segundo a avaliação das empresas verificadas. Sendo assim, a avaliação do consumo energético específico desta etapa demonstra a energia consumida da secagem e da queima, apontando a eficiência dos fornos e consumos de insumos. Os índices encontrados variaram entre 1,29 MJ/kg (empresa 1) e 9,90 MJ/kg (empresa 2). A empresa 8 que alegou ter dificuldades em adquirir insumos com taxa adequada de umidade, apresentou um índice de 6,49 MJ/kg o maior encontrado ao considerar apenas as empresas que fabricam blocos e tijolos, o que evidencia a importância da qualidade dos insumos energéticos para garantir o bom desempenho do forno.

Foi selecionado também um estudo que avaliou o processo de fabricação de tijolos de adobe, que são tijolos que não passam por processo de queima. Este produto não é fabricado por nenhuma empresa que foi avaliada, mas este estudo foi inserido para fins de comparação da energia embutida de um tijolo sem o processo da queima. Segundo Christoforou (2016), o tijolo de adobe

apresenta a energia embutida entre 0,033 MJ/kg e 0,17 MJ/kg, conforme as distâncias das jazidas das fábricas avaliadas nesse estudo. Pode-se perceber que estes valores estão entre 2,19% e 11,26% da energia embutida da empresa 1, que é a empresa com o menor índice de energia embutida entre as empresas avaliadas neste estudo.

Dois estudos (ISHIDA *et al.*, 2018; TAVARES; BRAGANÇA, 2016) apresentaram resultados de energia embutida como cerâmica vermelha, não indicando qual o tipo de produto. Os valores encontrados foram 5 MJ/kg e 4,80 MJ/kg respectivamente. Tavares e Bragança (2016) demonstraram que o insumo energético mais utilizado ao longo do ciclo de vida da cerâmica vermelha é a lenha, representando 80% do total, o que difere dos insumos energéticos utilizados pelas empresas avaliadas neste trabalho.

5.2 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CO₂

As emissões de CO₂ encontradas nas empresas avaliadas neste estudo, variaram entre 0,14 kgCO₂ /kg (empresa 1) e 1,03 kgCO₂/kg (empresa 2). Da mesma forma que a energia embutida, a variação destas emissões pode ser explicada devido as empresas 1 e 2 fabricarem produtos diferentes e utilizarem fornos diferentes, além de receber argilas com características distintas e de jazidas com distâncias diversificadas. O valor da empresa 01 é similar ao menor valor encontrado na literatura que foi 0,19 kgCO₂/kg (SHAMS; MAHMUD; AL-AMIN, 2011), porém nesse estudo não há maiores informações sobre o processo produtivo, ou seja, não especifica o forno utilizado nem mesmo os seus insumos.

Ao excluir a empresa 2 que produz apenas telhas, a empresa que evidencia a maior emissão de CO₂, com 0,67 kgCO₂/kg é a empresa 8. Assim, pode-se perceber que o desempenho do forno tem influência direta nos índices das emissões.

Se forem consideradas apenas as empresas 5, 6,9,10 e 11 que tem um forno similar e utilizam insumos similares, percebe-se que as emissões variam entre 0,29 kgCO₂/kg e 0,36 kgCO₂/kg. Estes valores corroboram com os valores que foram encontrados na literatura em seis estudos (BRIBIAN; CAPILLA; USÓN, 2011; CHEN, 2022; DUCE; VOSLO; RICE, 2017; HAMMOND; JONES, 2011; YOOKO *et al.*, 2015) para a produção de tijolos, que variaram entre 0,24

kgCO₂/kg e 0,41 kgCO₂/kg. A empresa 7 que utiliza dois fornos intermitentes além de um forno túnel, apresentou a estimativa de 0,53 kgCO₂/kg, apresentando um aumento significativo quando comparada às empresas que utilizam apenas um forno túnel.

Na literatura avaliada, o estudo que demonstrou o menor valor de emissões de CO₂ foi Tavares e Bragança (2016), com 0,17 kgCO₂/kg e o estudo com o maior valor de emissões foi von Mühlen e Tavares (2021), com 1,31 kgCO₂/kg; porém, esse valor é referente a telhas esmaltadas que passam por um processo de queima dupla; quanto às telhas que passam por processo de queima simples, o estudo aponta a emissão de 0,92 kgCO₂/kg. Nos estudos da literatura avaliada referente a blocos e tijolos, as emissões variaram de 0,19 kgCO₂/kg (SHAMS; MAHMUD; AL-AMIN, 2011) e 0,41 kgCO₂/kg (BRIBIAN; CAPILLA; USÓN, 2011).

As emissões dos tijolos de adobe encontrados na literatura são de 0,0002 kgCO₂/kg e 0,0013 kgCO₂/kg (CHRISTOFOROU, 2016) e representam 0,14% e 0,93% das emissões da empresa 1, que foi a empresa que apresentou a menor emissão dentre as avaliadas por este estudo, o que demonstra o impacto da queima nos resultados na estimativa das emissões de CO₂.

6 CONCLUSÃO

A pesquisa realizada apresentou informações que ampliam a compreensão do ciclo de vida energético e das emissões de CO₂ associadas à produção de cerâmica vermelha em indústrias cerâmicas no Rio Grande do Sul, cumprindo assim os objetivos estabelecidos previamente. Neste estudo, foram avaliadas 11 empresas cerâmicas localizadas no interior do Rio Grande do Sul, das quais nove forneceram dados suficientes para o cálculo da energia embutida e das emissões de CO₂. Além disso, foram coletados dados de 20 estudos da literatura que abordavam informações sobre a energia embutida, emissões de CO₂ ou ambos relacionados à cerâmica vermelha.

Durante as visitas realizadas, ficou evidente que o setor da cerâmica vermelha é diversificado, abrangendo indústrias de diferentes tamanhos e níveis de automação na produção. Entretanto, em relação ao uso de matérias-primas e fontes energéticas, algumas similaridades foram observadas.

Os valores de energia embutida encontrados foram semelhantes quando as empresas utilizaram os mesmos tipos de fornos e insumos energéticos, mesmo que as argilas tivessem origens diferentes. Foi possível notar uma exceção na empresa 1, que apresentou um melhor desempenho devido a um controle mais eficiente da qualidade dos insumos energéticos, e na empresa 8, que relatou dificuldades em obter insumos energéticos com a umidade adequada. As diferenças nos valores de energia embutida estavam associadas a diferentes processos produtivos, fornos e produtos fabricados. As emissões de CO₂ seguiram um padrão de importância relacionado diretamente à energia embutida encontrada, pois o consumo energético é o principal responsável por estas emissões.

A literatura referente a fornos intermitentes evidenciou um valor estimado ligeiramente maior para a energia embutida em comparação aos fornos contínuos das empresas avaliadas, mas ainda menor do que os fornos intermitentes. Cabe destacar um estudo britânico que utilizou gás natural como insumo energético, porém não especificou o tipo de forno utilizado. Nesse caso, a energia embutida apresentou valores menores, mas as emissões de CO₂ foram

similares para tijolos e, para telhas, obteve-se um melhor desempenho em termos de emissões de CO₂.

Essas conclusões fornecem uma visão mais clara sobre o impacto energético e ambiental da produção de cerâmica vermelha, permitindo oportunidades para aprimorar a eficiência energética e reduzir as emissões de CO₂ na indústria cerâmica no Rio Grande do Sul.

6.1 LIMITAÇÕES

Esta pesquisa encontrou algumas limitações na coleta de dados, que impactaram a apresentação dos resultados. Uma das principais limitações foi a ausência de dados anuais das empresas, sendo disponibilizadas apenas informações de um único mês como referência. Essa limitação pode ter afetado a análise, principalmente em meses em que os insumos energéticos são mais suscetíveis à umidade, resultando em um aumento do consumo energético registrado. Além disso, as empresas não forneceram informações detalhadas sobre os maquinários utilizados em cada etapa da produção, o que impossibilitou o cálculo preciso da energia embutida por etapa, como no caso da energia embutida na extrusão à vácuo.

Outra limitação importante foi a necessidade de utilizar estimativas na extração e transporte de matéria-prima, devido à falta de dados fornecidos pelas empresas. Da mesma forma, as informações sobre o consumo energético do transporte dos insumos energéticos foram limitadas, pois todas as empresas adquiriam seus insumos de um revendedor, que obtinha o cavaco e a serragem de empresas localizadas em regiões distantes.

Foram empregados cálculos estimativos para avaliar o consumo de óleo diesel na extração e transporte de matéria-prima, devido à escassez de dados fornecidos pelas empresas. Da mesma forma, a análise do consumo energético no transporte dos insumos energéticos foi restringida, uma vez que todas as empresas adquirem seus insumos de um revendedor que obtém cavaco e serragem de empresas mais distantes.

6.2 SUGESTÕES DE NOVOS ESTUDOS

No desenvolvimento desta pesquisa, foram encontradas dificuldades pela falta de alguns dados. Estas lacunas podem ser sanadas com a elaboração das seguintes pesquisas:

- a) Verificação da energia embutida e emissão de CO₂ de outras fases do ciclo de vida da cerâmica vermelha;
- b) Acompanhamento anual de uma empresa cerâmica, para refinar os dados obtidos de energia embutida e emissões de CO₂;
- c) Relacionar a quantidade de energia necessária e emissões de CO₂ para a produção de tijolos e telhas cerâmicas com quesitos de qualidades previstos em normas;
- d) Elaboração de um passaporte de material para produtos cerâmicos, como tijolos e telhas que trata-se de uma ferramenta que oferece dados estruturados sobre armazenamento e disponibiliza informações acerca dos materiais utilizados em construções, servindo como uma plataforma e repositório (MUNARO; TAVARES, 2022).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. (ANEEL). **Panorama geral do setor elétrico e governança setorial**. 2019. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/655804/14752877/Panorama+geral+do+setor+el%C3%A9trico+e+governan%C3%A7a+setorial+Victor.pdf/43046afc-c5ce-8f77-0f68-597e1dcdfa0>>. Acesso em: 04 abr. 2022.

ANDERSON, J.; THORNBAC, J. A guide to understanding the embodied impacts of construction products. **Construction Products Association**, v. 12, p. 2013, 2012.

ANICER. ANICER – **Dados do setor**. 2022. Disponível em <<https://www.anicer.com.br/anicer/setor/>>. Acesso em: 12 jul. 2022

ARAÚJO SOUZA, G. A.; JUNIOR, J. C. M.; SANTOS, M. L. V.; MENDONÇA, R. S.; FARIA, T. D. F. C.; MARQUES, M. R. Arquitetura de terra: alternativa sustentável para os impactos ambientais causados pela construção civil. **E-Xacta**, Belo Horizonte, v. 8, n.1, p. 1 – 13, 2015. <https://doi.org/10.18674/exacta.v8i1.1331>

ASHLEY, E.; LEMAY, L. Concrete's contribution to sustainable development. **Journal of Greenbuilding**, v. 3, p. 37-49, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.3992/jgb.3.4.37>. Acesso em: 29 jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a. Disponível em: < [Microsoft Word - nbriso14040.doc \(licenciadorambiental.com.br\)](#)>. Acesso em: 14 jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14044**: Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b. Disponível em: < [Arquivo EXPRESSAMENTE para impressão da norma NBRISO14044, gerado em 01/04/2019 \(usp.br\)](#)>. Acesso em: 10 mar. 2022.

ATMACA, A; ATMACA, N. Life cycle energy (LCA) and carbon dioxide emissions (LCCO₂A) assessment of two residential buildings in Gaziantep, Turkey. **Energy and Buildings**, v. 102, p. 417-431, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.008>

AUSTRALIAN GOVERNMENT. **Embodied energy**. S. D. Disponível em: < <https://www.yourhome.gov.au/materials/embodied-energy>>. Acesso em: 14 abr. 2023.

BACCELLI JR., G. **Avaliação do processo industrial da cerâmica vermelha na região do Seridó - RN**. 2010. 541 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010. Disponível em: < [Descrição: Avaliação do processo industrial da cerâmica vermelha na região do Seridó - RN \(ibict.br\)](#)>. Acesso em: 14 maio 2022.

BEN. Balanço Energético Nacional. Relatório Síntese 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados->

[abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-681/BEN_S%C3%ADntese_2023_PT.pdf](#). Acesso em: 04 out 2023.

BERNI, M. D. **Oportunidades de eficiência energética para a Indústria:** relatório setorial - setor cerâmico. Brasília: CNI, 2010. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/97/d5/97d55c18-e360-4e41-8b0f-db57aed2afe4/20121127140253106351i.pdf. Acesso em: 02 jul. 2023.

BERNI, M. D.; BEJAY, S. V.; DORILEO, I. L. Tecnologias inovadoras e eficiência energética no segmento de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 18, n. 1, p. 29-34, 2013. <https://doi.org/10.4322/cerind.2014.034>

BOVEA, M. D; SAURA, Ú.; FERRERO, J. L.; GINER, J. Cradle-to-gate study of red clay for use in the ceramic industry. **Int J LCA**, v.12, n 6, p. 439–447, 2007. <https://doi.org/10.1065/lca2006.06.252>

BRIBIÁN, I. Z.; CAPILLA, A. V.; USON, A. A. Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts evaluation of the eco-efficiency improvement potential. **Build Environ**, v. 46, n. 5, p. 1133–1140, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002>

CABEZA, L. F.; RINCÓN, L.; VILARIÑO, V.; PÉREZ, G.; CASTELL, A. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 29. p. 394-416, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>

CALDAS, L. R.; TOLEDO FILHO, R. D. Avaliação do ciclo de vida de materiais cimentícios utilizados no Brasil: estudo para argamassas, graute e bloco de concreto. **Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, v. 2, n. 2, p. 34-61, 2018. <https://doi.org/10.18225/lalca.v2i2.4143>

CALDAS, L.; PEDROSO, G.; SPOSTO, R. M. **Avaliação do ciclo de vida energético (ACVE) de uma habitação:** estudo para diferentes cenários considerando as etapas do berço ao túmulo. 2016. Disponível em: <<https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/16.191/6012>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

CARRILLO-HERMOSILLA, J., GONZALEZ, P. D. R., KÖNNÖLÄ, T. **Eco-Innovation: when sustainability and competitiveness shake hands**. New York, NY: Palgrave Macmillan, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/236021674_Eco-Innovation_When_Sustainability_and_Competitiveness_Shake_Hands>. Acesso em: 10 jun. 2023.

CARVALHO, A. S. **Caracterização ambiental da produção de bloco cerâmico na Bahia**. 2019. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Santa Cruz, Santa Cruz, 2019.

CEN - **EN 15804:** Standards publication sustainability of construction works environmental product declarations - core rules for the product category of construction products. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2014.

CEN - **EN 15978**: Sustainability of construction works - assessment of environmental performance of buildings and calculation method. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium. 2011.

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. **Applied Energy**, v. 143, n. 1, p. 395-413, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.023>

CHEN, W.; YANG, S.; ZHANG, X.; JORDAN, N. D.; HUANG, J. Embodied energy and carbon emissions of buildings materials in China. **Building and Environment**, v. 207, part A, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108434>. Acesso em: 14 jun. 2023.

CHIAIA, B.; FANTILLI, A. P.; MANCINELLI, O.; CUTRUPIA, A. **The sustainable approach to structural and thermal design in buildings**. 2019. Disponível em: < <http://ptehormigon.org/wp-content/uploads/2020/10/sustainable-approach-to-buildings.pdf> >. Acesso em: 26 jul. 2022.

CHRISTOFOROU, E.; KYLILI, A.; FOKAIDES, P. A.; IOANNOU, I. Cradle to site Life Cycle Assessment (LCA) of adobe bricks. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 443-452, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.016>. Acesso em: 10 jun. 2023.

CLETO, F. R.; VON MÜHLEN, J. F.; BELIZARIO-SILVA, F. **Relatório de coleta de dados para o sistema de informação do desempenho ambiental da construção**: blocos e telhas cerâmicos. São Paulo: SIDAC, 2022.

COELHO, J. M. **Relatório técnico 32**: perfil de argilas para cerâmica vermelha. ministério de minas e energia – MME: Secretaria de geologia, mineração e transformação mineral - SGM. 30 p., 2009.

COPIELLO, S. Economic implications of the energy issue: evidence for a positive non-linear relation between embodied energy and construction cost. **Energy and Buildings**, v. 123, p. 59-70, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.054>. Acesso em: 30 maio 2023.

COUTINHO, G. L.; VIANNA, J. N. Emissões de GEE evitadas em Cabo Verde: estimativa em um cenário de adoção de fontes energéticas renováveis em 2025. **LALCA: Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, v. 4, e45077-e45077, 2020. <https://doi.org/10.18225/lalca.v4i0.5077>

CUNHA, I. B. da. **Quantificação das emissões de CO₂ na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais**. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Porto Alegre, 2016. Disponível em: < http://tede2.pucrs.br/tede2/bitstream/tede/6884/2/DIS_IASMINY_BORBA_DA_CUNHA_COMPLETO.pdf >. Acesso em: 22 mai. 2022

DIÁRIO RIO CLARO. **Dia do Ceraista**: geração de emprego na indústria cerâmica cresceu 46,5% em dez anos. 2021. Disponível em: <<https://www.j1diario.com.br/dia-do-ceramista-geracao-de-emprego-na-industria-ceramica-cresceu-465-em-dez-anos/>>. Acesso em: 15 ago. 2022.

DO Ó, K. D. S. **Estudo das etapas de produção e comparativo de fornos do setor ceramista do sertão paraibano**. 2016. Universidade Federal de Campina Grande, 2016. Disponível em:< [Estudo das etapas de produção e comparativo de fornos do setor ceramista do Sertão Paraibano. \(ufcg.edu.br\)](http://ufcg.edu.br)>. Acesso em: 10 jun. 2022.

DUCE, A.; VOSLOO, P. T.; RICE, G. A. **Environment impacts of clay bricks in south Africa**. 2017. Disponível em: <https://www.claybrick.org/technical-note-30-lca-environmental-impacts-clay-bricks-south-africa>. Acesso em: 20 nov. 2022.

DUFFY, P. B.; FIELD, C. B.; DIFFENBAUGH, N. S.; DONEY, S. C.; DUTTON, Z.; GOODMAN, S.; HEINZERLING, L.; HSIANG, S.; LOBELL, D. B.; MICKLEY, L. J.; MYERS, S.; NATALI, S. M.; PARMESAN, C.; TIERNEY, S.; WILLIAMS, A. P. Strengthened scientific support for the endangerment finding for atmospheric greenhouse gases. **Science**, v. 363, n. 6427, 2019. <https://doi.org/10.1126/science.aat5982>

ENRIQUE, J. E.; MONFORT, E.; CELADES, I.; MALLOL, G. Water saving techniques in the spanish tile industry. **Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio**, v. 39, n. 1, p. 149-154, 2000. <https://doi.org/10.3989/cyv.2000.v39.i1.883>

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS (FIEMG) E DA FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DE MINAS GERAIS (FEAM). **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica vermelha**. Belo Horizonte: FIEMG, 2013.

FINNVEDEN, G.; HAUSCHILD, M. Z.; EKVALL, T.; GUINÉE, J.; HEIJUNGS, R.; HELLWEG, S.; KOEHLER, A.; PENNINGTON, D.; SUH, S. Recent developments in life cycle assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n.1, p. 1–21, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>

FISCHER, A. C. **Avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO₂ dos materiais de madeira aplicados à pré-fabricação de vedações verticais em wood frame para o contexto brasileiro**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil - PPGECC, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

GIESEKAM, J.; BARRETT, J.; TAYLOR, P.; OWEN, A. The greenhouse gas emissions and mitigation options for materials used in UK construction. **Energy & Buildings**, v. 78, p. 202–214, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.035>

GRIGOLETTI, G. C. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Sul**. 2001. 168 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

GRIGOLETTI, G. C.; SATTLER, M A. Estratégias ambientais para indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído: Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 3, n. 3, p. 19-32, 2003.

GUERREIRO, L. R., CACHOLA, C. S., PACCA, S. A. **Relatório de coleta de dados para o sistema de informação do desempenho ambiental da construção: energia e transporte**. São Paulo: SIDAC, 2022. Disponível em: <[2022 Sidac Energia e transporte.pdf - Яндекс.Документы \(yandex.ru\)](#)>. Acesso em: 24 jul. 2022.

HAMMOND, G.; JONES, C. A BSRIA guide: embodied carbon. In: Lowrie, F.; Tse, P. (Ed.). **The inventory of carbon and energy. 2008**. Disponível em: <https://doi.org/10.1680/ener.2008.161.2.87>. Acesso em: 24 abr. 2023.

HAMMOND, G.; JONES, C. A BSRIA guide: embodied carbon. In: Lowrie, F.; Tse, P. (Ed.). **The inventory of carbon and energy. 2011**. Disponível em: <<http://www.organicexplorer.co.nz/site/organicexplore/files/ICE%20Version%201.6a.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2023.

HASHEMI, A.; CRUICKSHANK, H. Embodied energy of fired bricks: the case of Uganda and Tanzania. In: **14th International Conference on Sustainable Energy Technologies**, 2015. Disponível em: https://warwick.ac.uk/fac/sci/eng/elith/publications/all_publications/elith-zc10.pdf. Acesso em: 10 abr. 2023.

HOSSAIN, M. U.; POON, C. S.; LO, I. M.; CHENG, J. C. Evaluation of environmental friendliness of concrete paving eco-blocks using LCA approach. **Int. Journal Life Cycle Assess.**, v. 21, p. 70-84, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0988-2>

HOXHA, E.; HABERT, G.; LASVAUX, S.; CHEVALIER, J.; LE ROY, R. Influence of construction material uncertainties on residential building LCA reliability. **Journal of cleaner production**, v. 144, p. 33-47, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.068>

IBANEZ, V.; BOVEA, M. D.; SIMÓ, A. Life cycle assessment of ceramic tiles. Environmental and statistical analysis. **Int J Life Cycle Assess**, v. 16, p. 916-928, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0322-6>

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA. **Manual da eficiência energética na indústria de cerâmica vermelha**. Rio de Janeiro: INT/MCTI, 2015b. Disponível em: <https://anicerpro.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Manual-Fornos-Eficientes-2ª-edição-EELA_INT.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2022

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA. **Manual de fornos eficientes para indústria de cerâmica vermelha**. Rio de Janeiro: INT/MCTI, 2015a. Disponível em: <https://anicerpro.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Manual-Fornos-Eficientes-2ª-edição-EELA_INT.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA. **Manual de sistemas de secagem na indústria de cerâmica vermelha**. Rio de Janeiro: INT/MCTI, 2016. Disponível em: <<https://www.gov.br/int/pt-br/central-de-conteudos/ceramica-vermelha/manual-sistemas-de-secagem>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Special report on climate change and land**. 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-2/>. Acesso em: 04 maio 2022

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **AR5 climate change 2014: mitigation of climate change.** Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>. Acesso em: 20 abr. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2022: mitigation of climate change.** 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>> Acesso em: 20 fev. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Transition to sustainable buildings.** Paris: IEA, 2013. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/1e300ab6-44de-41dc-8714-ee12a4800943/Building2013_free.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2022.

ISHIDA, H. K.; VALENTE, A. C. F.; VILLEGAS, T. A.; PINZÓN, F. M. **Análise da eficiência energética em segmentos industriais selecionados.** 2018. Disponível em: <<http://antigo.mme.gov.br/documents/36144/472854/Produto+6.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

ISO/TR 14048. **Environmental management–life cycle assessment data documentation format.** European Committee for Standardization (CEN), 2002. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/29872.html>. Acesso em: 14 jul. 2022.

KUASOSKI, M.; KUZMA, L. K.; MENON, M. U.; DOLIVEIRA, S. L. D. Sustentabilidade em indústrias de cerâmica vermelha por meio da utilização deecoinovações. **Revista Gestão Industrial**, v. 12, p. 145-164, 2016. <https://doi.org/10.3895/gi.v12n3.4380>

KUS, H.; EDIS, E.; ÖZKAN, E. Comparative Environmental Assessment of Manufacturing Process. In: **The World Sustainable Building Conference (SB08).** Melbourne, Austrália, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/272351258_comparative_environmental_assessment_of_masonry_wall_units_regarding_manufacturing_process. Acesso em: 15 jun. 2023.

LEVI, K. P.; RAUT, A. Embodied energy analysis to understand environmental impact of brick industry in West Godavari region. **Materials Today: Proceedings**, v. 47, p. 5338-5344, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.061>

LIMA, T. C. S. V. Caracterização do resíduo de serragem da madeira para utilização como agregado na construção civil em Salgueiro-PE. **69ª Reunião Anual da SBPC** - 16 a 22 de julho de 2017 - UFMG - Belo Horizonte/MG, 2017.

LIU, P.; LIN, B.; ZHOU, H.; WU, X.; LITTLE, J. C. CO₂ emissions from urban buildings at the city scale: system dynamic projections and potential mitigation policies. **Applied Energy**, v. 277, n.115546, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115546>

LOPES, G. de A.; BRITO, J. O.; DE MOURA, L. F. Uso energético de resíduos madeireiros na produção de cerâmicas no estado de São Paulo. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 679–686, 2016. <https://doi.org/10.5902/1980509822767>

LÓPEZ-AGUILAR, H. A.; HUERTA-REYNOSO, E. A.; GÓMEZ, J. A.; DUARTE-MOLLER, J. A.; PÉREZ-HERNÁNDEZ, A. Life cycle assessment of a traditional brick manufacture improvement. **Revista internacional de contaminación ambiental**, v. 35, n. 1, p. 195-206, 2019. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.01.14>

MAHMOODI, O.; SIAD, H.; LACHEMI, M.; DADSETAN, S.; SAHMARAN, M. Development and characterization of binary recycled ceramic tile and brick wastes-based geopolymers at ambient and high temperatures. **Construction and Building Materials**, v. 301, p. 124138, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124138>

MANFREDINI, C.; SATTTLER, M. A. Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 1, p. 23–37, 2005.

MAO, C.; SHEN, Q.; SHEN, L.; TANG, L. Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: two case studies of residential projects. **Energy & Buildings**, v. 66, p. 165–176, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.033>

MARCELINO-SADABA, S.; KINUTHIA, J.; OTI, J.; MENESES, A. S. Challenges in life cycle assessment (LCA) of stabilised clay-based construction materials. **Applied Clay Science**, v. 144, p. 121-130, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.05.012>

MARCONI, M A.; LAKATOS, E. **Fundamentos de metodologia científica**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MME; EPE; BANCO MUNDIAL; APPLUS; QUALITEC. **Análise da eficiência energética em segmentos industriais selecionados: cerâmica**. Brasília, 2018.

MUNARO, Mayara Regina; TAVARES, Sérgio Fernando. **Analysis of Brazilian public policies related to the implementation of circular economy in civil construction**. *Ambiente Construído*, v. 22, p. 129-142, 2022.

NAZÁRIO, L.C.S. **Caracterização e avaliação do ciclo de vida (ACV) da produção de telhas cerâmicas no município de Parelhas/RN**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2019. Disponível em: <[https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/28026/1/Caracteriza%a7%a3oavalia%a7%a3ociclo_Naz%a1rio_2019.pdf](https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/28026/1/Caracteriza%c3%a7%a3oavalia%c3%a7%a3ociclo_Naz%a1rio_2019.pdf)> Acesso em: 04 mai. 2022.

NODEHI, M.; TAGHVAAEE, V. M. Applying circular economy to construction industry through use of waste materials: a review of supplementary cementitious materials, plastics, and ceramics. **Circular Economy and Sustainability**, p. 1-34, 2022. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00149-x>

O'CONNOR, J.; BOWICK, M. **Advancing sustainable design with life cycle assessment**. Athena Sustainable Materials Institute. SAB Magazine, 2014.

O'CONNOR, J.; BOWICK, M. **Reducing embodied environmental impacts of buildings: policy options and technical infrastructure**. Athena Sustainable Materials Institute, 2019.

O'CONNOR, J.; BOWICK, M. **Embodied carbon of buildings**: International Policy Review. Vancouver, B.C. Canada: Athena Sustainable Materials Institute, 2016.

OLWENY, M.; NDIBWAMI, A.; AHIMBISIBWE, A. Embodied Energy of the Common Wood Fired Brick. In: **51st International Conference of the Architectural Science Association (ANZAScA)**, p. 519-528, 2017. Disponível em:

http://ir.umu.ac.ug/xmlui/bitstream/handle/20.500.12280/498/Olweny_FoBE_Article_2017.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 18 abr. 2023.

PICCARDO, C.; DODOO, A.; GUSTAVSSON, L. Retrofitting a building to passive house level: A life cycle carbon balance. **Energy and Buildings**, v. 223, p. 110135, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110135>

PLANELLES, M. **EUA voltam à luta climática e prometem reduzir suas emissões à metade em uma década**. El País, 2021. Disponível em: <https://brasil.elpais.com/internacional/2021-04-22/eua-voltam-a-luta-climatica-e-prometem-reduzir-suas-emissoes-a-metade-em-uma-decada.html>. Acesso em: 10 mar. 2023.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico** - 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

REVISTA EXAME. **China anuncia plano para ter economia livre de carbono até 2060**. 2020b. Disponível em: <<https://exame.com/esg/china-anuncia-plano-para-ter-economia-livre-de-carbono-ate-2060/>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

REVISTA EXAME. **UE faz acordo para reduzir emissões de CO2 em 55% até 2030**. 2020a. Disponível em: < <https://exame.com/esg/ue-faz-acordo-para-reduzir-emissoes-de-co2-em-55-ate-2030/>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

ROBSON, C. **Real world research**: a resource for social scientists and practitioner- researchers. 2.ed. Malden: Blackwell Publishing, 2002.

ROSSATO I. F. Inventário do ciclo de vida do processo de fabricação cerâmico. **III Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí 15, 16 e 17 de abril de 2009**. Ensus, 2009.

ROXANA, F. E.; MARIA, B. S. Thermal properties of an adobe brick wall: adapting traditional techniques to contemporary living standards. **Anais...** 6th International Conference on Education, Social Sciences and Humanities 24-26 June 2019- Istanbul, Turkey, p. 1148-1158, 2019.

SARQUIS, A. B.; SEHNEM, S.; PIZZINATTO, N. K.; JÚNIOR, J. C. M. Diagnóstico de gestão ambiental no setor de cerâmica vermelha. **Revista Eletrônica de Administração e Turismo**, v. 12, n. 6, p. 1542-1562, 2018. <https://doi.org/10.15210/reat.v12i6.13055>

SHAMS, S.; MAHMUD, K.; AL-AMIN, M. A comparative analysis of Building materials for sustainable construction with emphasis on CO₂ reduction, **International Journal of Environment and Sustainable Development**, v. 10, p. 364-374, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/IJESD.2011.047767>. Acesso em: 18 mar. 2023.

SHUKLA, A.; TIWARI G. N.; SODHA, M.S. Embodied energy analysis of adobe house, **Renewable Energy**, v. 34, p. 755-761, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.002>. Acesso em: 28 abr. 2023.

SILVA, D. C.; LIBRELOTTO, L. I. Avaliação do ciclo de vida da cerâmica vermelha: blocos cerâmicos. In: **ENSUS 2016 - IV Encontro de Sustentabilidade em Projeto**. Florianópolis: UFSC/ SEACon/Virtuhab, 2016.

SOUST-VERDAGUER, B.; LLATAS, C.; GARCÍA-MARTÍNEZ, A. Simplification in life cycle assessment of single-family houses: A review of recent developments. **Building and Environment**, v. 103, p. 215-227, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.014>

SOUZA, J. R.; SOUSA, J. R. Produção mais limpa: um diagnóstico da indústria ceramista no município de Paulistana-PI. **Connexio**, v. 6, n. 2, p. 73-87, 2017

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 225f. 2006. Disponível em:<

http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE_Sergio_Fernando_Tavares.pdf.> Acesso em: 10 fev. 2022.

TAVARES, S. F.; BRAGANÇA, L. **Índices de CO2 para materiais de construção em edificações brasileiras**. SBE série 16 Brazil & Portugal, 2016.

TINOCO, J. E. P. **Balço social e o relatório da sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2010.

TOTEM. **Environmental profile of buildings**. 2021. Disponível em:<<https://www.totem-building.be/services/rest/downloads/download?id=1&lang=EN&transId=1>>. Acesso em: 14 jul. 2022.

TRENTINI, L. P; CAMARGO, B. **Certificações ambientais com foco em sustentabilidade em edificações – LEED como ferramenta de certificação**. 2022. Disponível em: <www.ienomat.com.br/revista/index.php/repositorio/article/view/172/174>. Acesso em: 30 jul. 2022.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Emissões do setor de construção civil atingiram recordes em 2019**. 2019. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/emissoes-do-setor-de-construcao-civil-atingiram>>. Acesso em: 14 mar. 2022.

UNITED NATIONS. **Sustainable buildings**. 2019. Disponível em: <<https://www.unenvironment.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/sustainable-buildings>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

VINHAL, L. D. **Estudo de indicadores ambientais de blocos cerâmicos com base em avaliação do ciclo de vida, considerando o contexto brasileiro**. 2016. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/8703>> Acesso em: 27 jun. 2023.

VON MÜHLEN, J. F.; TAVARES, S. F. Avaliação do ciclo de vida energético da cerâmica vermelha. 2021. In: **IV Encontro Latino-Americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**. Salvador: ANTAC, 2021. Disponível

em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/2520>. Acesso em: 16 mar. 2023.

XIMENES, F.A., GRANT, T. Quantifying the greenhouse benefits of the use of wood products in two popular house designs in Sydney, Australia. **Int J Life Cycle Assess** v. 18, p. 891–908, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0533-5>

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Tradução Ana Thorrel. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

YOKOO, N.; OKA, T.; YOKOYAMA, K.; SAWACHI, T.; YAMAMOTO, M. Comparison of embodied energy/CO₂ of office buildings in China and Japan. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 9, p. 300-307, 2015. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/283029233 Comparison of Embodied EnergyCO₂ of Office Buildings in China and Japan](https://www.researchgate.net/publication/283029233_Comparison_of_Embodied_EnergyCO2_of_Office_Buildings_in_China_and_Japan)> Acesso em: 23 maio 2023.

APÊNDICE A- INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

CADASTRO DE INFORMAÇÕES

Identificação da Empresa			
Razão Social:			
Nome Fantasia:			
Endereço:		Bairro:	
Cidade:		CEP:	
Contato:		Cargo:	
Telefone:			
Estrutura da Empresa			
Número de Colaboradores da empresa:			
Dias e horários de funcionamento da produção:			
Processo de produção é: <input type="checkbox"/> artesanal <input type="checkbox"/> semiautomatizado <input type="checkbox"/> automatizado			
Número de Colaboradores na produção:			
Produção			
Capacidade Produtiva:		Produção mensal:	Consumo Energia Elétrica
(ton / mês)		(ton / mês)	(kW/mês)
TIJOLOS	6 furos	TELHAS	Plana
	8 furos		Romana
	9 furos		Francesa
	10 furos		Portuguesa
	12 furos		Colonial
	21 furos		Outro
	Maciço	OUTROS	Outro
	Outro		Outro
	Outro		Outro
	Outro		Outro
Usa embalagem? <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim		Quais ?	
Mercado Consumidor			
<input type="checkbox"/> - Municípios da Região		<input type="checkbox"/> - Santa Catarina	
<input type="checkbox"/> - Todo o RS		<input type="checkbox"/> - Mercosul	
Matéria-prima			
Origem:		Sazonamento (secagem a céu aberto):	
<input type="checkbox"/> - Sede		<input type="checkbox"/> - Sim	
<input type="checkbox"/> - Fora da Sede		<input type="checkbox"/> - Não	
Número de argilas na massa e o porquê:			
<input type="checkbox"/> - 1 <input type="checkbox"/> - 2 <input type="checkbox"/> - 3 <input type="checkbox"/> - 4 <input type="checkbox"/> - 5 <input type="checkbox"/> - mais			
Todas as argilas vêm da mesma jazida? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			
As jazidas são próprias? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			
Caso a jazida for própria, perguntar para cada jazida:			
Qual o tipo de equipamento utilizado na extração?			
Qual o consumo mensal de combustível em litros?			
Qual a idade do equipamento?			
Qual a distância da Olaria até a Jazida?			
Qual o tipo de veículo utilizado no transporte da argila e qual a capacidade?			
Qual o combustível e o rendimento de consumo (km/l) deste veículo?			
Qual é o volume extraído da jazida mensalmente?			
Qual é o volume extraído da jazida mensalmente é para a olaria e qual é para terceiros?			
Qual o volume de matéria-prima ainda existe na jazida?			

Qual o tempo de vida útil restante estimado para a jazida?					
Há quanto tempo a jazida já vem sendo explorada?					
Qual a área ocupada da jazida?					
Em quais órgãos está registrada a olaria?					
Caso a jazida não for própria, perguntar para cada jazida:					
Qual a distância da Olaria até a Jazida?					
Qual o tipo de veículo utilizado no transporte da argila e qual a capacidade?					
Qual o combustível e o rendimento de consumo (km/l) deste veículo?					
Qual a quantidade é adquirida mensalmente?					
Processo produtivo					
Equipamentos Utilizados			Potência		Idade (anos)
	<input type="checkbox"/> - Caixão Alimentador		HP:	_____	
	<input type="checkbox"/> - Destorrador		HP:	_____	
	<input type="checkbox"/> - Misturador		HP:	_____	
	<input type="checkbox"/> - 1° Laminador		HP:	_____	
	<input type="checkbox"/> - 2° Laminador		HP:	_____	
	<input type="checkbox"/> - Extrusora		HP:	_____	
	<input type="checkbox"/> - Prensa		HP:	_____	
	<input type="checkbox"/> - Maromba		Pot.:	_____	
	<input type="checkbox"/> - Outro		Pot.:	_____	
	<input type="checkbox"/> - Outro		Pot.:	_____	
	<input type="checkbox"/> - Outro		Pot.:	_____	
	<input type="checkbox"/> - Outro		Pot.:	_____	
Qual o consumo de água mensal?					
Qual a procedência? <input type="checkbox"/> companhia de água local <input type="checkbox"/> poço <input type="checkbox"/> reservatório (chuva, lago)					
Tipo de Conformação	<input type="checkbox"/> - Extrusão Simples				
	<input type="checkbox"/> - Extrusão Simples e Prensagem				
	<input type="checkbox"/> - Prensagem				
	<input type="checkbox"/> - Extrusão à Vácuo				
	<input type="checkbox"/> - Extrusão à Vácuo e Prensagem				
	Qual o percentual de perda neste processo?				
	Qual o destino da perda neste processo?				
	Secagem	<input type="checkbox"/> - Natural		Fonte de Calor para Secagem	<input type="checkbox"/> - Recuperação dos Fornos
<input type="checkbox"/> - Intermitente		<input type="checkbox"/> - Fornalha			

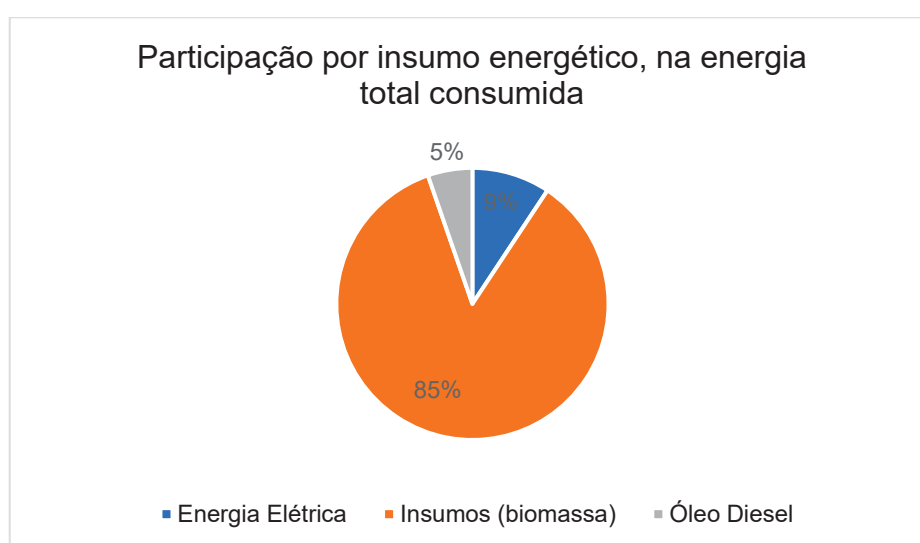
	<input type="checkbox"/> - Contínua		<input type="checkbox"/> - Combustível (especificar)	
	<input type="checkbox"/> - Natural e Estufa		<input type="checkbox"/> - Outro	
	<input type="checkbox"/> - Estufa		<input type="checkbox"/> - Outro	
	Qual o tempo de secagem?			
	Qual o percentual de perda neste processo?			
	Qual o destino da perda neste processo?			
Tipos de Fornos	Intermitentes	<input type="checkbox"/> - Paulistinha	Quant. _____	Idade: Tempo de queima:
		<input type="checkbox"/> - Abóboda	Quant. _____	Idade: Tempo de queima:
		<input type="checkbox"/> - Vagão Metálico	Quant. _____	Idade: Tempo de queima:
	Semi-Contínuo ou contínuo	<input type="checkbox"/> - Hoffmann	Quant. _____	Idade: Tempo de queima:
		<input type="checkbox"/> - Cedan	Quant. _____	Idade: Tempo de queima:
		<input type="checkbox"/> - Túnel	Quant. _____	Idade: Tempo de queima:
		<input type="checkbox"/> - Outro	Quant. _____	Idade: Tempo de queima:
	Qual o percentual de perdas neste processo?			
	Qual a destinação dos cacos?			
	Qual a destinação das cinzas?			
Tipos de Combustível	<input type="checkbox"/> - Lenha	Quant. _____ (_____/mês)	Distância do fornecedor:	
	Qual é o meio de transporte e a sua capacidade?			

	<input type="checkbox"/> - Serragem	Quant. _____ (_____/mês)	Distância do fornecedor:
	Qual é o meio de transporte e a sua capacidade?		
	<input type="checkbox"/> - GLP	Quant. _____ (_____/mês)	Distância do fornecedor:
	Qual é o meio de transporte e a sua capacidade?		
	<input type="checkbox"/> - Carvão Vegetal	Quant. _____ (_____/mês)	Distância do fornecedor:
	Qual é o meio de transporte e a sua capacidade?		
	<input type="checkbox"/> - Óleo	Quant. _____ (_____/mês)	Distância do fornecedor:
	Qual é o meio de transporte e a sua capacidade?		
	<input type="checkbox"/> - Carvão Mineral	Quant. _____ (_____/mês)	Distância do fornecedor:
	Qual é o meio de transporte e a sua capacidade?		
	<input type="checkbox"/> - Gás Natural	Quant. _____ (_____/mês)	Distância do fornecedor:
	Qual é o meio de transporte e a sua capacidade?		
	<input type="checkbox"/> - Outros	Quant. _____ (_____/mês)	Distância do fornecedor:
	Qual é o meio de transporte e a sua capacidade?		
A empresa possui gerador? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			
Combustível utilizado:			
Quantidade de combustível utilizada mensalmente:			
Gerais			
São oferecidos cursos de aperfeiçoamento técnico do pessoal? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			
Qual o treinamento que os colaboradores recebem ao iniciar na empresa?			
Qual o principal meio de transporte dos funcionários?			
<input type="checkbox"/> Carro <input type="checkbox"/> Ônibus <input type="checkbox"/> Bicicleta <input type="checkbox"/> Trem <input type="checkbox"/> Outro			
A empresa adota alguma estratégia para reduzir o consumo de energia e demais combustíveis?			
A empresa adota alguma estratégia para reduzir a geração de resíduos?			
Quais são os principais problemas enfrentados no setor?			
Quais são as principais vantagens do setor?			

APENDICE B - INSUMOS E ENERGIA EMBUTIDA

Empresa 1

Região: Vale do Cai					
Consumo de Argila: 3.200.000 kg					
Produção Mensal: 3.358.477 kg					
Insumo	Quantidade	Poder Calórico	Kcal	MJ	%
Energia Elétrica	131,379 kWh	-	-	472,964	9,30
Cavaco	204.935 kg	4100 kcal/kg	840.233.500	3.517.890	69,18
Serragem	45.796 kg	4300 kcal/kg	196.922.800	824.476	16,21
Óleo Diesel	11.300 litros	7920 kcal/l	64.468.800	269.918	5,31
Total				5.190.042	100



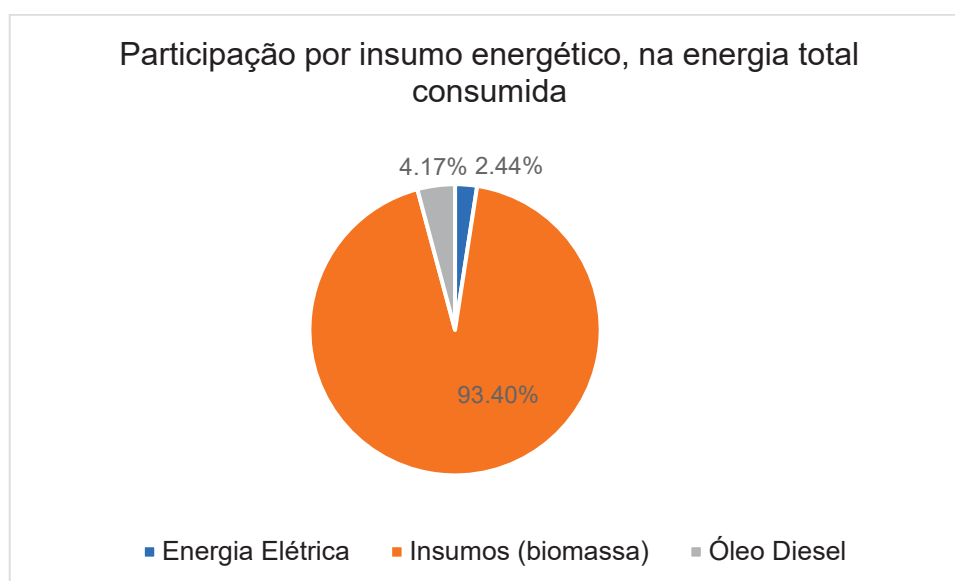
Óleo Diesel gasto na extração da argila	
6.000,00 litros (valores declarados pela empresa)	

Óleo Diesel gasto no transporte da argila					
Jazida	Argila extraída (ton)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m ³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
1	1600	10	14	1.142,86	765,71
2	1600	35	14	4.000,00	2.680,00
Total	3200	-	-	5.142,86	3.445,71

Óleo Diesel Gasto no transporte de insumos					
Insumo	Quantidade (m ³)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m ³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
Cavaco	200	61,4	100	245,60	164,55
Serragem	500	25,6	35	731,43	490,06
Total					654,61

Empresa 2

Região: Vale do Cai					
Consumo de Argila: 1.289.000 kg					
Produção Mensal: 1.056.725 kg					
Insumo	Quantidade	Poder Calórico	Kcal	MJ	%
Energia Elétrica	76.448 kWh	-	-	275.213	2,44
Cavaco	-	-	-	-	0
Serragem	614.805 kg	4.100	2.520.700.500	10.553.669	93,40
Óleo Diesel	14.203 litros	7.290	112.489.938	470.973	4,17
Total				11.299.855	100



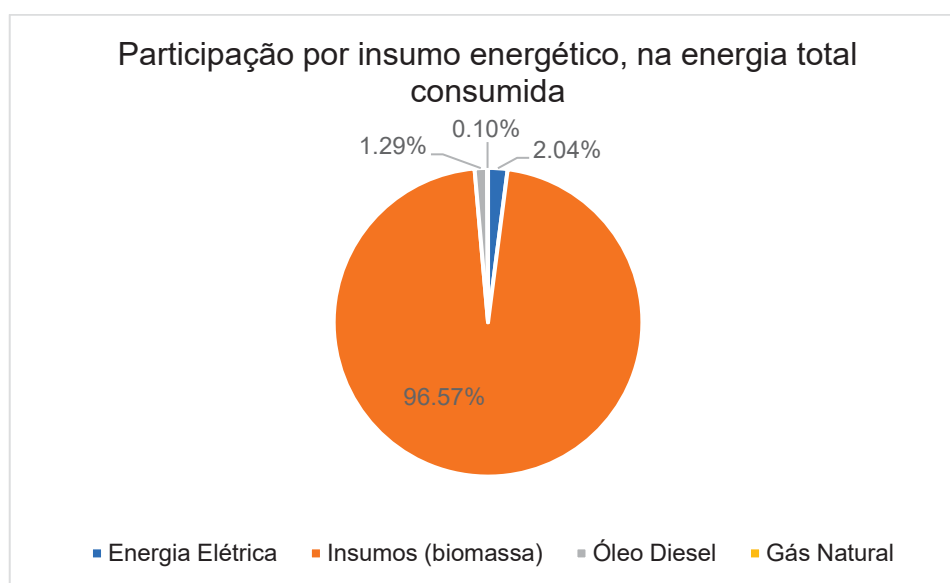
Óleo Diesel gasto na extração da argila
$1.289,00 \text{ kg} * 1,8 = \mathbf{2.320,20 \text{ litros}}$ (valores estimados com coeficiente)

Óleo Diesel gasto no transporte da argila					
Jazida	Argila extraída (ton)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
1	644,5	2	14	92,07	61,69
2	644,5	68	14	3.130,43	2.097,39
Total	1.289,00	-	-	3.222,50	2.159,08

Óleo Diesel Gasto no transporte de insumos					
Insumo	Quantidade (m³)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
Cavaco	-	-	-	-	-
Serragem	2.100	60	35	7.200	4.824,00
Total					4.824,00

Empresa 5

Região: Vale do Taquari					
Consumo de Argila: 2.000.000 kg					
Produção Mensal: 2.000.000 kg					
Insumo	Quantidade	Poder Calórico	Kcal	MJ	%
Energia Elétrica	40.000 kWh	-	-	144.000	2,05
Cavaco	154.562 kg	4.300	664.614.450	2.782.608	39,32
Gás Natural	200 m ³	8.600	1.720.000	7.201	0,10
Serragem	235.675 kg	4.100	966.268.525	4.045.573	57,17
Óleo Diesel	2.760 litros	7.290	23.072.733	96.601	1,37
Total				7.075.983	100



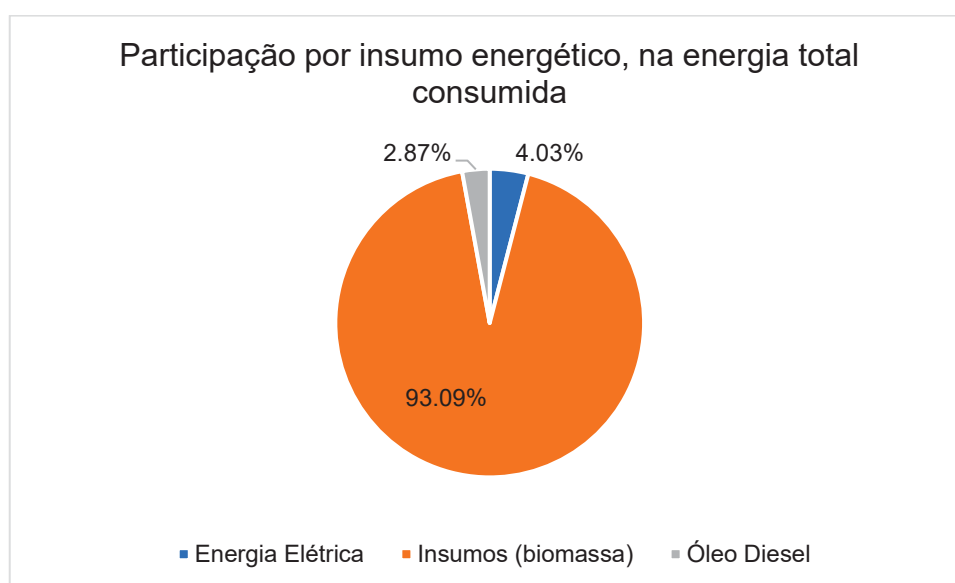
Óleo Diesel gasto na extração da argila
500,00 litros (valores declarados pela empresa)

Óleo Diesel gasto no transporte da argila					
Jazida	Argila extraída (ton)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m ³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
1	100	0	0	0	0
2	1900	5	14	678,57	454,64
Total	2000			678,57	454,64

Óleo Diesel Gasto no transporte de insumos					
Insumo	Quantidade (m ³)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m ³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
Cavaco	575	40	35	1.314,29	880,57
Cavaco(picador)	100	10	12	166,67	111,67
Serragem	575	40	100	460,00	308,20
Total					1.300,14

Empresa 6

Região: Vale dos Sinos					
Consumo de Argila: 28.000.000 kg					
Produção Mensal: 22.500.00 kg					
Insumo	Quantidade	Poder Calórico	Kcal	MJ	%
Energia Elétrica	750.000 kWh	-	-	2.700.000	4,03
Cavaco	600.000 kg	4.300	2.580.000.000	10.801.944	16,14
Serragem	3.000.000 kg	4.100	12.300.000.000	51.497.640	76,95
Óleo Diesel	57.934 litros	7.290	458.840.668	1.921.074	2,87
Total				66.920.658	100



Óleo Diesel gasto na extração da argila

Gasto com Óleo Diesel da Extração + Transporte (declarado pela empresa) = 45.000 litros
 45.000 – gasto com transporte = gasto com extração

$$45.000 - 8.763,60 = 36.236,40 \text{ litros}$$

Óleo Diesel gasto no transporte da argila

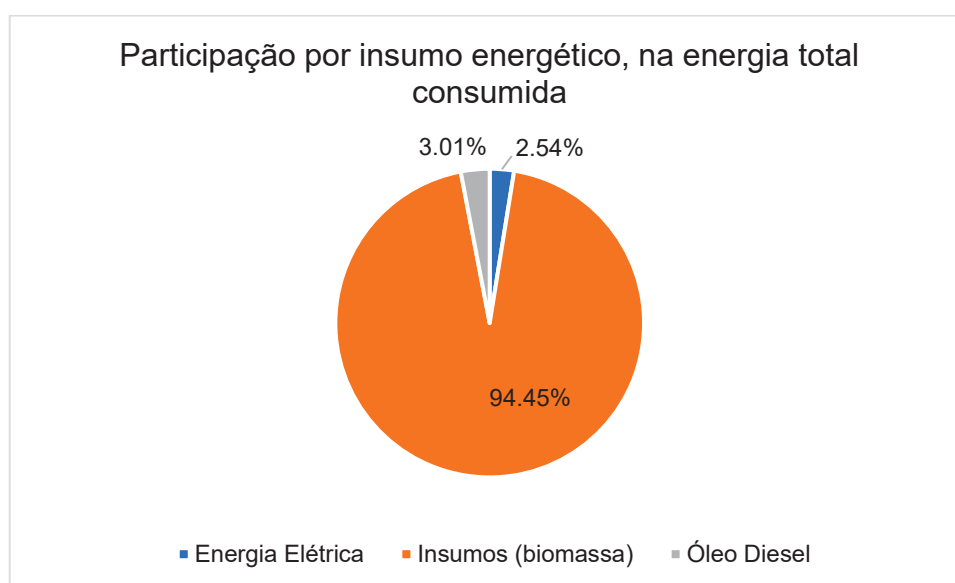
Jazida	Argila extraída (ton)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
1	25.200	10	25	10.080,00	6.753,60
2	2.800	15	14	3.000,00	2.010,00
Total	28.000			13.080,00	8.763,60

Óleo Diesel Gasto no transporte de insumos

Insumo	Quantidade (m³)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
Cavaco	2.620,06	40	35	5.988,77	4.012,48
Serragem	7.317,07	40	100	5.853,66	3.921,95
Total					7.934,43

Empresa 7

Região: Vale do Taquari					
Consumo de Argila: 806.000 kg					
Produção Mensal: 650.000 kg					
Insumo	Quantidade	Poder Calórico	Kcal	MJ	%
Energia Elétrica	25.000 kWh	-	-	90.000	2,54
Cavaco	68.694 kg	4.300	295.384.200	1.236.715	34,89
Serragem	122.961 kg	4.100	504.140.100	2.110.734	59,55
Óleo Diesel	3.220 litros	7.290	25.499.711	106.762	3,01
Total				3.544.211	100



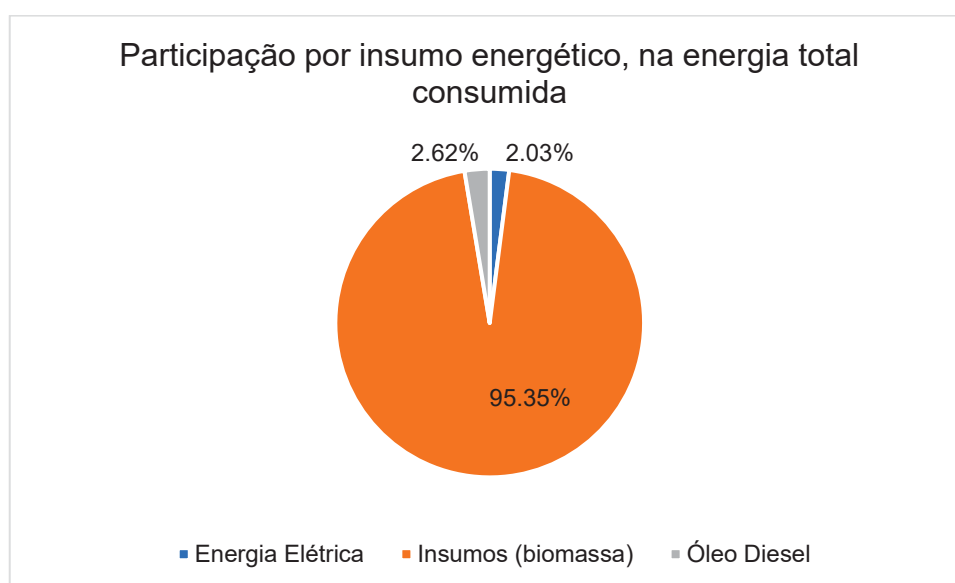
Óleo Diesel gasto na extração da argila
$806,00 * 1,8 = 1.450,80$ litros (valor estimado com coeficiente)

Óleo Diesel gasto no transporte da argila					
Jazida	Argila extraída (ton)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m ³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
1	644,80	1	12	53,73	36
2	80,60	1	12	6,72	4,50
3	80,60	11	12	73,88	49,50
Total	806			134,33	90,00

Óleo Diesel Gasto no transporte de insumos					
Insumo	Quantidade (m ³)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m ³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
Cavaco	300	40	35	685,71	459,43
Serragem	300	40	35	685,71	459,43
Total					918,86

Empresa 8

Região: Vale do Taquari					
Consumo de Argila: 1.472.000 kg					
Produção Mensal: 1.200.00 kg					
Insumo	Quantidade	Poder Calórico	Kcal	MJ	%
Energia Elétrica	46.000 kWh	-	-	165.600	2,03
Cavaco	159.714 kg	4.300	686.768.265	2.875.361	35,23
Serragem	285.884 kg	4.100	1.172.125.733	4.907.456	60,12
Óleo Diesel	6.450 litros	7.290	51.087.748	213.894	2,62
Total				8.162.312	100



Óleo Diesel gasto na extração da argila

$1.472 * 1,8 = 2.649,60$ litros
(valor estimado com coeficiente)

Óleo Diesel gasto no transporte da argila

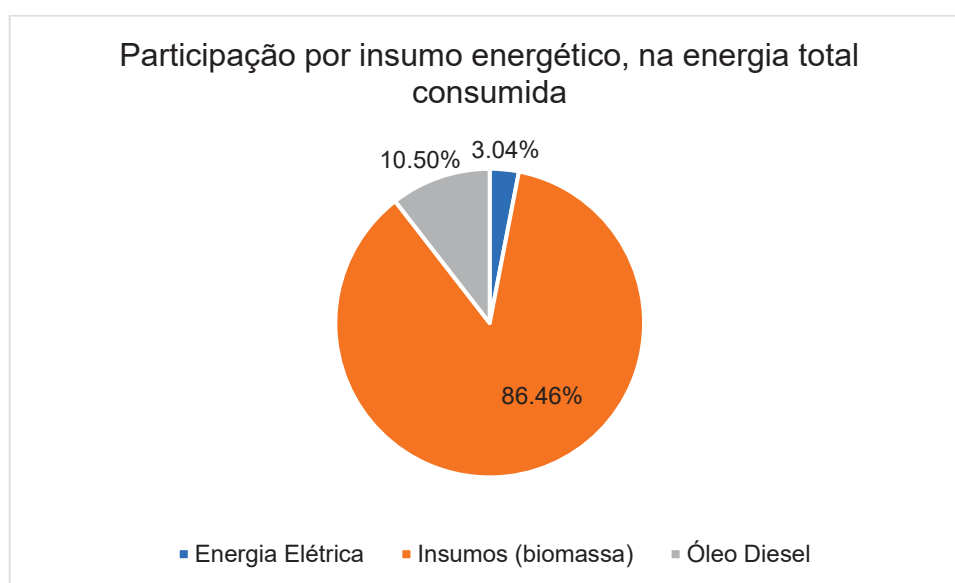
Jazida	Argila extraída (ton)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m ³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
1	744	2	14	106,29	71,21
2	148,8	6	14	63,77	42,73
3	579,2	1,4	14	57,92	38,81
Total	1472			227,98	152,74

Óleo Diesel Gasto no transporte de insumos

Insumo	Quantidade (m ³)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m ³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
Cavaco	697,50	15	35	597,86	400,56
Serragem	697,50	15	35	597,86	400,56
Total					801,13

Empresa 9

Região: Vale do Gravataí					
Consumo de Argila: 3.100.000 kg					
Produção Mensal: 2.500.000 kg					
Insumo	Quantidade	Poder Calórico	Kcal	MJ	%
Energia Elétrica	75.000 kWh	-		270.000	3,04
Cavaco	391.556 kg	4.300	1.683.389.940	7.049.273	79,34
Serragem	36.888 kg	4.100	151.242.030	633.220	7,13
Óleo Diesel	28.135 litros	7.290	222.828.069	932.937	10,50
Total				8.885.430	100



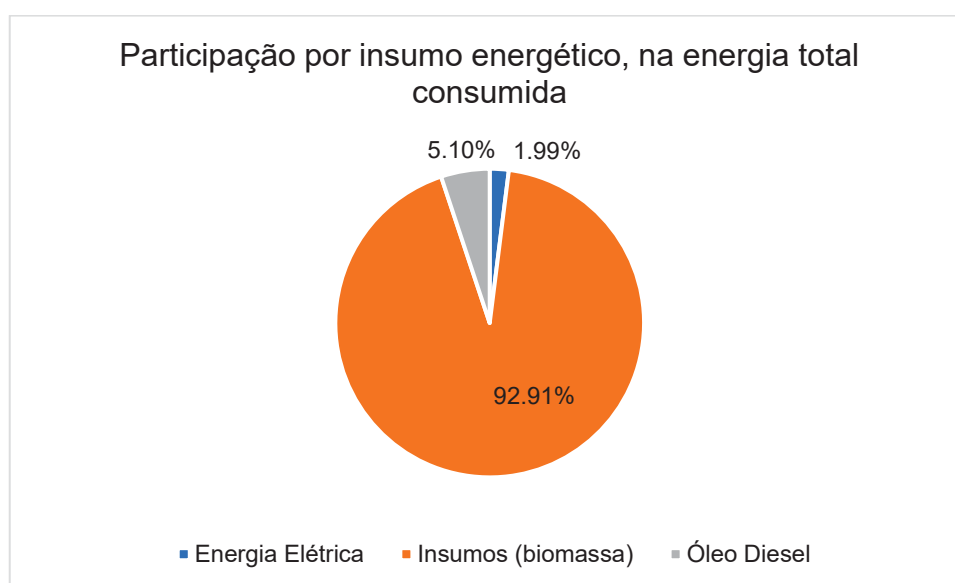
Óleo Diesel gasto na extração da argila
Gasto com Óleo Diesel da Extração + Transporte (declarado pela empresa) = 14.000 litros 14.000 – gasto com transporte = gasto com extração
$14.000 - 2.789,11 = 11.210,89$ litros

Óleo Diesel gasto no transporte da argila					
Jazida	Argila extraída (ton)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
1	2.170	25	25	2.170,00	1.453,90
2	465	30	14	996,43	667,61
3	465	30	14	996,43	667,61
Total	3.100	-	-	4.162,86	2.789,11

Óleo Diesel Gasto no transporte de insumos					
Insumo	Quantidade (m³)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
Cavaco	1.710	60	35	5.862,86	3.928,11
Serragem	90	60	35	308,57	206,74
Total					4.134,86

Empresa 10

Região: Vale do Gravataí					
Consumo de Argila: 4.200.000 kg					
Produção Mensal: 4.200.000 kg					
Insumo	Quantidade	Poder Calórico	Kcal	MJ	%
Energia Elétrica	85.000 kWh	-	-	306.000	1,99
Cavaco	293.094 kg	4.300	1.260.305.920	5.276.649	34,33
Serragem	524.634 kg	4.100	2.150.997.760	9.005.797	58,58
Óleo Diesel	23.641 litros	7.290	187.234.231	783.912	5,10
Total				15.372.359	100



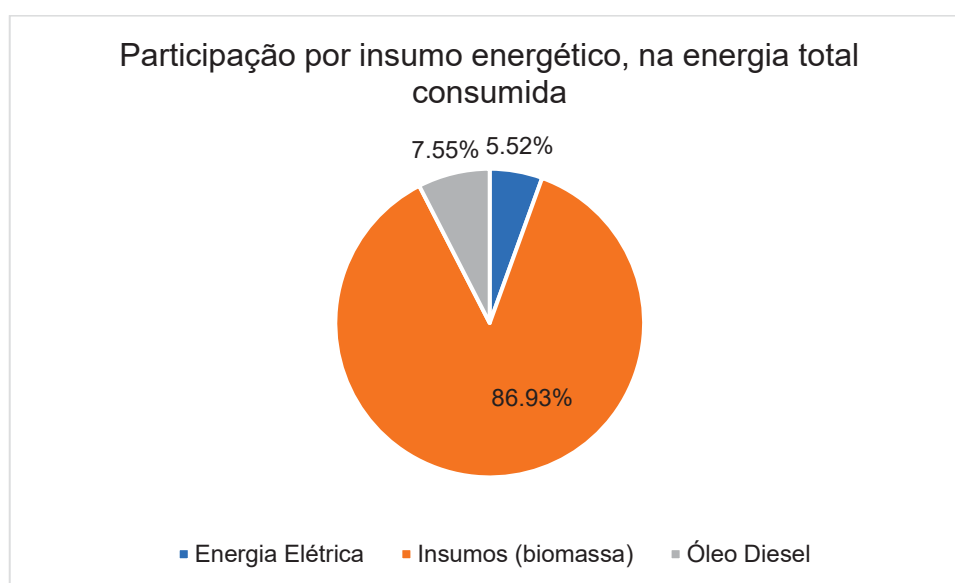
Óleo Diesel gasto na extração da argila
$4.200,00 * 1,8 = 7.560,00$ litros (valor estimado com coeficiente)

Óleo Diesel gasto no transporte da argila					
Jazida	Argila extraída (ton)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m ³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
1	1.680	22	25	1.478,40	990,53
2	1.260	20	14	1.800,00	1.206,00
3	1.260	20	14	1.800,00	1.206,00
Total	4.200			5.078,40	3.402,53

Óleo Diesel Gasto no transporte de insumos					
Insumo	Quantidade (m ³)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m ³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
Cavaco	1.280	60	35	4.388,57	2.940,34
Serragem	1.280	60	35	4.388,57	2.940,34
Total					5.880,69

Empresa 11

Região: Central					
Consumo de Argila: 3.600.000 kg					
Produção Mensal: 3.005.000 kg					
Insumo	Quantidade	Poder Calórico	Kcal	MJ	%
Energia Elétrica	160.000 kWh	-	-	576.000	5,52
Cavaco	503.756 kg	4.300	2.166.150.800	9.069.240	86,93
Serragem	-	4.100	-	-	-
Óleo Diesel	23.753 litros	7.290	188.124.981	787.641	7,55
Total				10.432.881	100



Óleo Diesel gasto na extração da argila
$3.600,00 * 1,8 = 6.480,00$ litros (valor estimado com coeficiente)

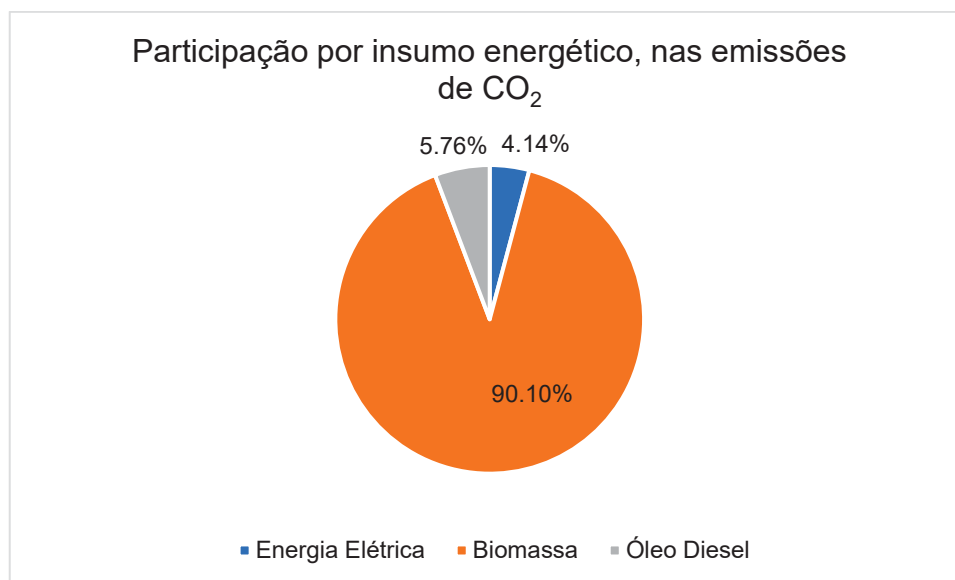
Óleo Diesel gasto no transporte da argila					
Jazida	Argila extraída (ton)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m ³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
1	1.800	14	12	2.100,00	1.407,00
2	1.800	12	12	1.800,00	1.800,00
Total	3.600	-	-	3.900,00	2.613,00

Óleo Diesel Gasto no transporte de insumos					
Insumo	Quantidade (m ³)	Distância da empresa (km)	Volume do transporte (m ³)	Km rodado (ida e volta)	Consumo de Óleo Diesel (litros)
Cavaco	2.200	200	100	8.800,00	5.896,00
Casa de Arroz	100	40	35	228,57	153,14
Total					6.049,14

APENDICE C- EMISSÕES DE CO₂

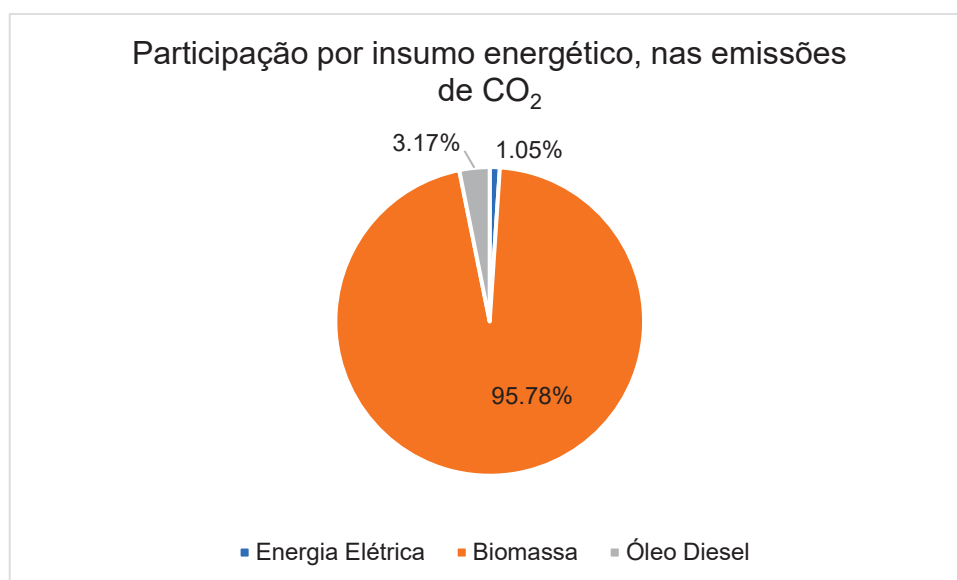
Empresa 1		
Energia	5.190.042	MJ
Massa	3.358.477	kg
Energia / Massa	1,55	MJ/kg

Insumo Energético	(%)	Geração de CO ₂ por fonte de energia	CO ₂ Calculado (kgCO ₂ /kg)
Energia Elétrica	9,11	42.2	0,006
Serragem	67,78	100	0,105
Cavaco	15,89	100	0,025
Óleo Diesel	7,22	74.1	0,008
Total			0,14
Total Produção			744.804,67



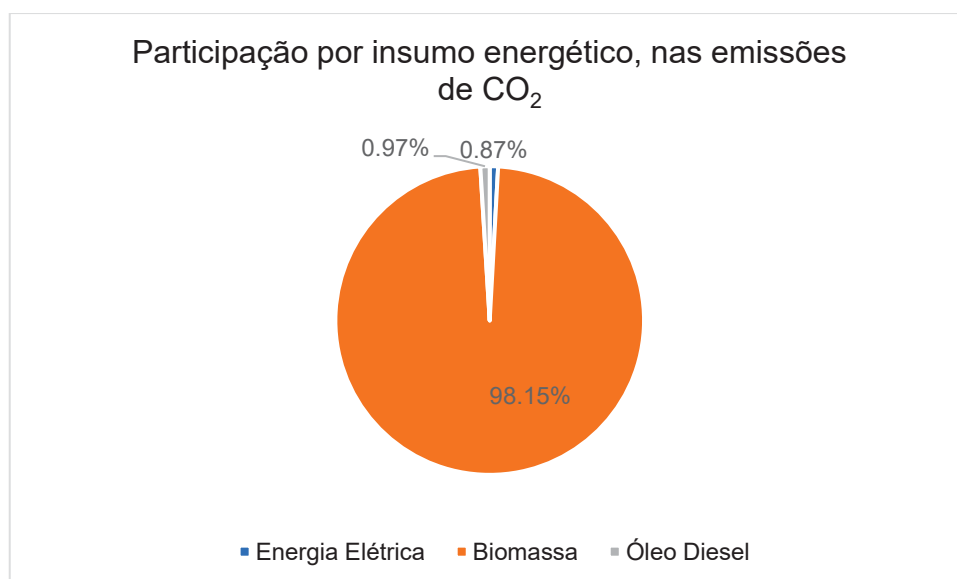
Empresa 2		
Energia	11.299.855	MJ
Massa	1.065.725	kg
Energia / Massa	10.6	MJ/kg

Insumo Energético	(%)	Geração de CO₂ por fonte de energia	CO₂ Calculado (kgCO₂/kg)
Energia Elétrica	2,44	42,2	0,011
Serragem	93,40	100	0,990
Cavaco	-	100	-
Óleo Diesel	4,14	74,1	0,033
Total			1,034
Total Produção			11.683.204,58



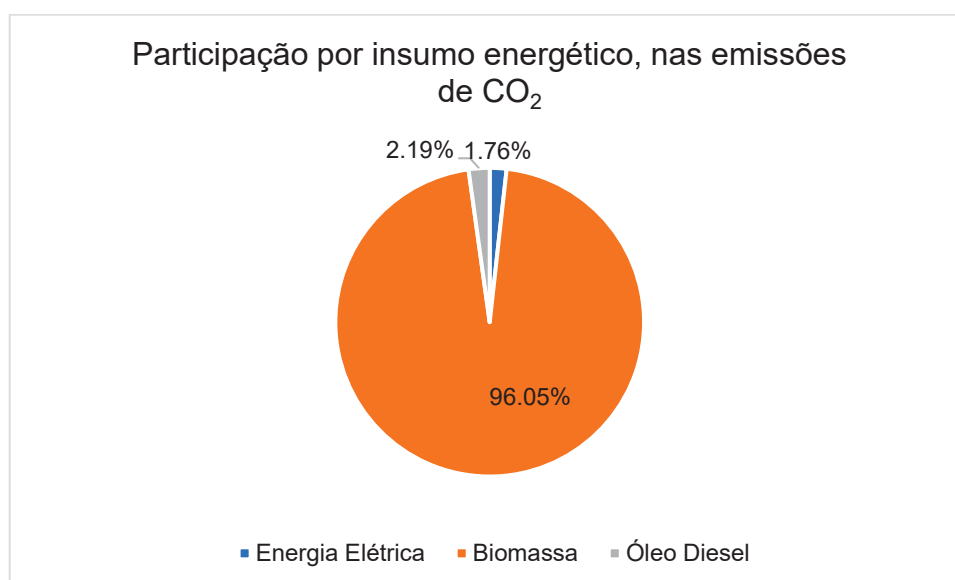
Empresa 5		
Energia	7.070.905	MJ
Massa	2.000.000	kg
Energia / Massa	3,54	MJ/kg

Insumo Energético	(%)	Geração de CO ₂ por fonte de energia	CO ₂ Calculado (kgCO ₂ /kg)
Energia Elétrica	2,04	42,2	0,003
Serragem	57,21	100	0,202
Cavaco	39,35	100	0,139
Óleo Diesel	1,29	74,1	0,003
Gás Natural	0,10	56,1	0,000
Total			0,348
Total Produção			2.459.531,98



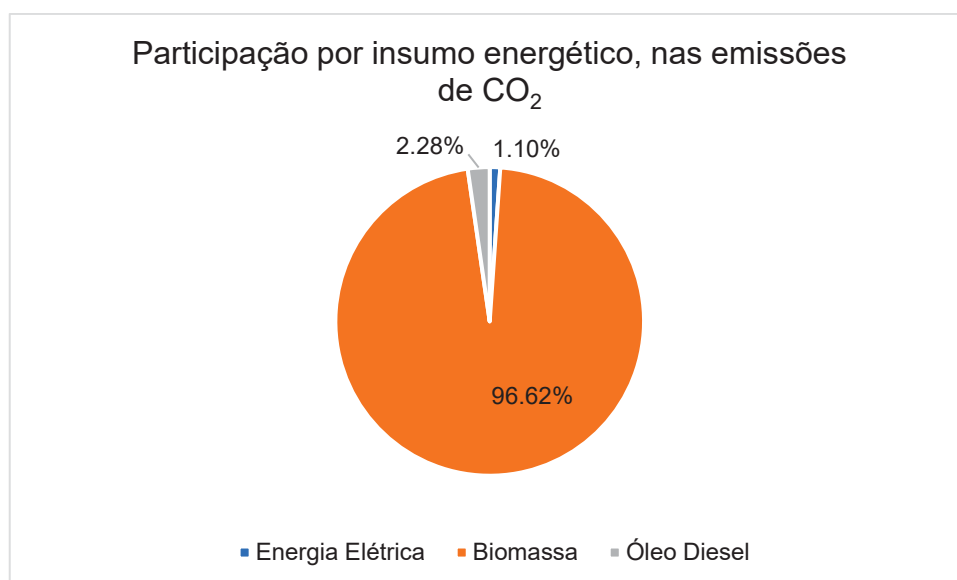
Empresa 6		
Energia	66.920.658	MJ
Massa	22.500.000	kg
Energia / Massa	2,97	MJ/kg

Insumo Energético	(%)	Geração de CO₂ por fonte de energia	CO₂ Calculado (kgCO₂/kg)
Energia Elétrica	4,03	42,2	0,005
Serragem	76,95	100	0,229
Cavaco	16,14	100	0,048
Óleo Diesel	2,87	74,1	0,006
Total			0,29
Total Produção			19.291.738,58



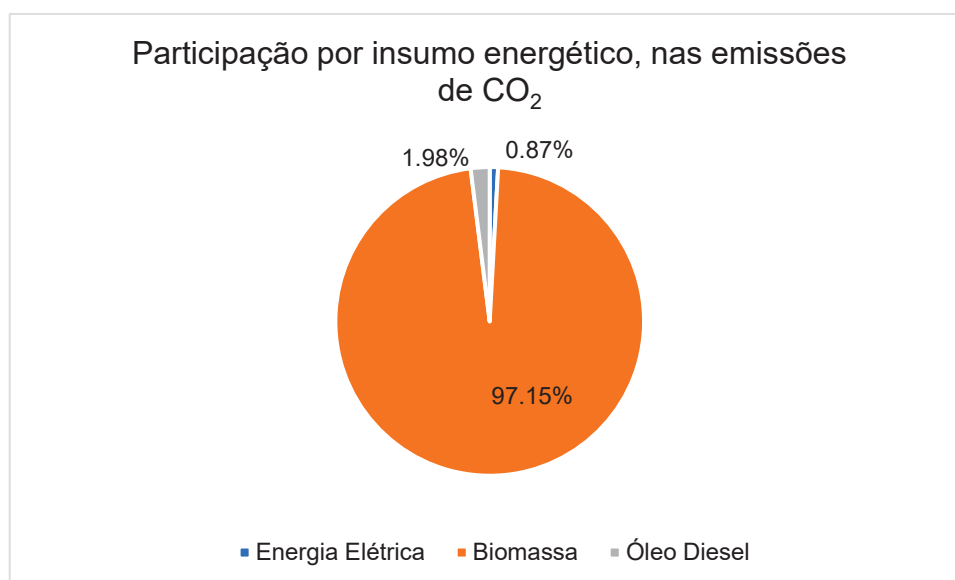
Empresa 7		
Energia	3.544.211	MJ
Massa	650.000	kg
Energia / Massa	5,45	MJ/kg

Insumo Energético	(%)	Geração de CO ₂ por fonte de energia	CO ₂ Calculado (kgCO ₂ /kg)
Energia Elétrica	2,54	42,2	0,006
Serragem	59,55	100	0,325
Cavaco	34,89	100	0,190
Óleo Diesel	3,01	74,1	0,012
Total			0,533
Total Produção			1.889.085,54



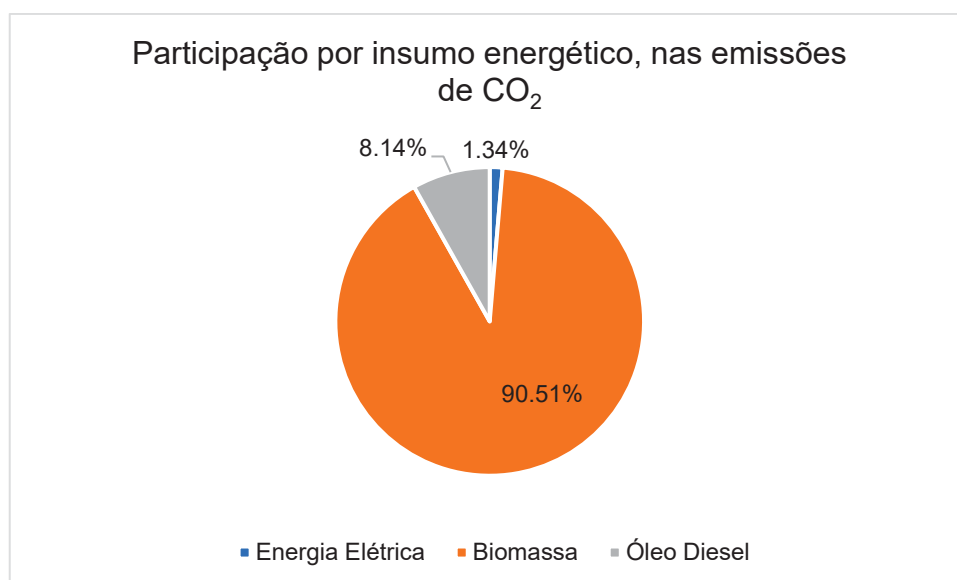
Empresa 8		
Energia	8.162.312	MJ
Massa	1.200.000	kg
Energia / Massa	6,80	MJ/kg

Insumo Energético	(%)	Geração de CO ₂ por fonte de energia	CO ₂ Calculado (kgCO ₂ /kg)
Energia Elétrica	2,03	42,2	0,006
Serragem	60,12	100	0,409
Cavaco	35,23	100	0,240
Óleo Diesel	2,62	74,1	0,013
Total			0,668
Total Produção			5.449.156,61



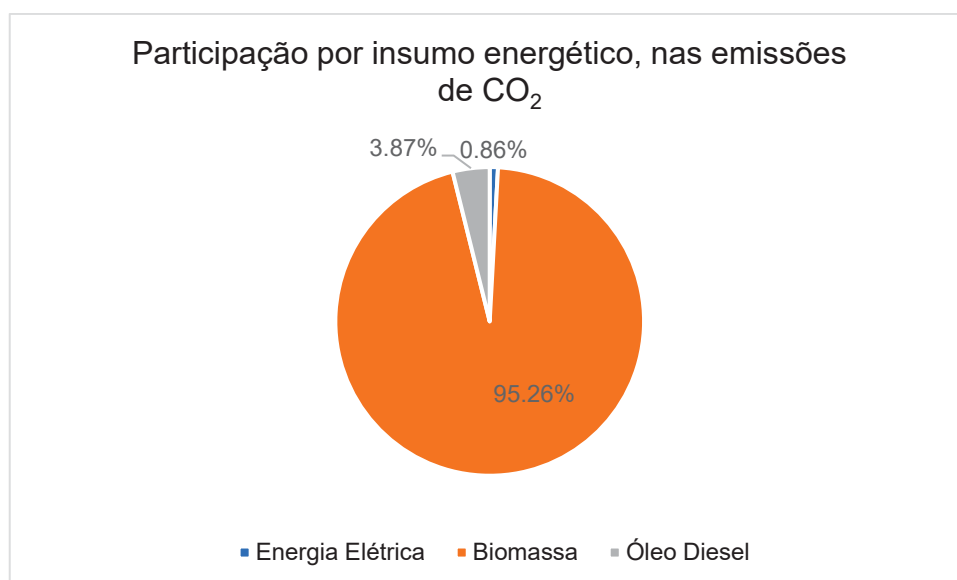
Empresa 9		
Energia	8.885.430	MJ
Massa	2.500.000	kg
Energia / Massa	3,55	MJ/kg

Insumo Energético	(%)	Geração de CO ₂ por fonte de energia	CO ₂ Calculado (kgCO ₂ /kg)
Energia Elétrica	3,04	42,2	0,005
Serragem	7,13	100	0,025
Cavaco	79,34	100	0,282
Óleo Diesel	10,50	74,1	0,028
Total			0,34
Total Produção			3.016.688,40



Empresa 10		
Energia	15.372.359	MJ
Massa	4.200.000	kg
Energia / Massa	3,66	MJ/kg

Insumo Energético	(%)	Geração de CO ₂ por fonte de energia	CO ₂ Calculado (kgCO ₂ /kg)
Energia Elétrica	1,99	42,2	0,003
Serragem	58,58	100	0,214
Cavaco	34,33	100	0,126
Óleo Diesel	5,10	74,1	0,014
Total			0,357
Total Produção			5.487.367,33



Empresa 11		
Energia	10.432.881	MJ
Massa	3.005.000	kg
Energia / Massa	3,47	MJ/kg

Insumo Energético	(%)	Geração de CO ₂ por fonte de energia	CO ₂ Calculado (kgCO ₂ /kg)
Energia Elétrica	5,52	42,2	0,008
Serragem	-	100	-
Cavaco	86,93	100	0,302
Óleo Diesel	7,55	74,1	0,019
Total			0,329
Total Produção			3.435.717,77

