

**LORENA DALVA LIMA**

**PRODUÇÃO E RECICLAGEM DE GESSO ACARTONADO: ANÁLISE  
ENERGÉTICA E AMBIENTAL**

Bambuí – MG

2025

LORENA DALVA LIMA

**PRODUÇÃO E RECICLAGEM DE GESSO ACARTONADO: ANÁLISE  
ENERGÉTICA E AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Bambuí como requisito para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Orientador: Brenno Santos Leite

Coorientador: Bruno Menezes Galindro

Linha de pesquisa: Tecnologias Ambientais

Projeto Estruturante: Educação e Sustentabilidade V - Novos materiais e energia

Bambuí – MG

2025

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

Lima, Lorena Dalva.

Produção e reciclagem de gesso acartonado: análise energética e ambiental. / Lorena Dalva Lima. – Bambuí, 2025.

104 f.: il.; color.

Orientador: Brenno Santos Leite.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2025.

CDD

Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

## **BIOGRAFIA**

**Discente:** Lorena Dalva Lima

**Filiação:** Helenice Dalva Lima / Helvécio Vale de Lima

**Naturalidade:** Belo Horizonte **Estado:** Minas Gerais **Data de nascimento:** 18/07/1998

### **Informações escolares:**

**Ensino médio:** Colégio Losango de Piumhi. Cidade: Piumhi/MG. Concluído em: 2015

**Curso Superior:** Graduação em Engenharia Civil pelo Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) - *Campus* Piumhi. Concluída em 2021. Trabalho de conclusão de curso: O estudo comparativo entre o uso do telhado verde e dos convencionais em uma edificação residencial. Orientador: Pedro Luiz Teixeira de Camargo.

**Curso de Especialização:** Especialização em Ecologia e Gestão Ambiental pela Faculdade Venda Nova do Imigrante. Concluída em 2022. Trabalho de conclusão de curso: Poluição do ar: pequenas partículas e grandes impactos.

**Experiência Profissional:** Faz parte do Grupo de Pesquisa em Ciências Ambientais, Econômicas e Sustentabilidade, Projeto de Iniciação Científica certificado pelo CNPq, com sede no IFMG - *Campus* Piumhi, atuando na linha de pesquisa Soluções de Engenharia de Baixo Custo. Trabalha desde 2022 em projetos de estruturas de aço.

## RESUMO

O gesso acartonado é amplamente empregado na construção civil por sua praticidade e desempenho, mas seu descarte inadequado gera impactos ambientais relevantes. Este estudo aplica a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para comparar os impactos ambientais de cinco cenários envolvendo a produção e a destinação de resíduos de gesso acartonado: produção convencional de placas e de gesso em pó, reciclagem por via seca e úmida, e disposição em aterro. Foram analisadas duas categorias de impacto: aquecimento global e demanda de energia acumulada. Os resultados mostram que os cenários de reciclagem contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa e da dependência por recursos naturais. O transporte foi identificado como a etapa mais intensiva em energia nos diferentes cenários. O estudo evidencia a relevância de políticas públicas e de incentivos à infraestrutura de reciclagem, apontando a reciclagem do gesso acartonado como uma estratégia viável para consolidar práticas sustentáveis e avançar rumo a uma economia circular no setor da construção. Além disso, os dados obtidos subsidiam tomadas de decisão mais conscientes por parte de gestores públicos, empresas e profissionais da área, contribuindo para a formulação de diretrizes técnicas e normativas que incentivem a gestão adequada desses resíduos. A integração entre planejamento urbano, tecnologia e responsabilidade ambiental se mostra essencial para mitigar os impactos da construção civil e transformar resíduos em recursos dentro de um ciclo produtivo mais eficiente e sustentável.

**Palavras-chave:** Gestão de resíduos, economia circular, *drywall*, processos de reciclagem, comparação energética.

## ABSTRACT

Gypsum drywall is widely used in the construction industry due to its practicality and performance, but its improper disposal generates significant environmental impacts. This study applies Life Cycle Assessment (LCA) to compare the environmental impacts of five scenarios involving the production and disposal of gypsum drywall waste: conventional production of panels and gypsum powder, dry and wet recycling, and landfill disposal. Two impact categories were analyzed: global warming and cumulative energy demand. The results show that recycling scenarios help reduce greenhouse gas emissions and dependence on natural resources. Transportation was identified as the most energy-intensive stage across the different scenarios. The study highlights the importance of public policies and incentives for recycling infrastructure, identifying gypsum drywall recycling as a viable strategy to consolidate sustainable practices and advance toward a circular economy in the construction sector. Furthermore, the data obtained support more informed decision-making by public administrators, companies, and professionals in the field, contributing to the development of technical guidelines and regulations that encourage proper waste management. The integration of urban planning, technology, and environmental responsibility proves essential to mitigate the impacts of the construction sector and transform waste into resources within a more efficient and sustainable production cycle.

**Keywords:** Waste management, circular economy, gypsum board, recycling processes, energy comparison.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo Histórico anual de chapas para Drywall no Brasil (milhões de m <sup>2</sup> ).....	19
Figura 2: Extração da gipsita .....	21
Figura 3: Processo de britagem da gipsita .....	21
Figura 4: Processo de moagem da gipsita .....	21
Figura 5: Resultado da moagem da gipsita .....	21
Figura 6: Forno tipo panela .....	22
Figura 7: Forno tipo marmita .....	22
Figura 8: Forno tipo rotativo.....	23
Figura 9: Forno tipo intermitente .....	23
Figura 10: Componentes do sistema drywall .....	24
Figura 11: Processo de fabricação do drywall .....	24
Figura 12: Tipos de placas drywall .....	25
Figura 13: Embutimento de instalações no drywall.....	26
Figura 14: Consumo de drywall por m <sup>2</sup> por habitante/ano .....	28
Figura 15: Consumo de drywall por m <sup>2</sup> por região.....	28
Figura 16: Fases de uma ACV .....	34
Figura 17: Lógica de comparação e interpretação de resultados .....	40
Figura 18: Fluxograma esquemático do Cenário 1 Referência.....	44
Figura 19: Fluxograma esquemático do Cenário 2 Descarte Direto em Aterro.....	45
Figura 20: Fluxograma esquemático do Cenário 3 Reciclagem para Produção de Novas Placas (Processo Via Úmida) .....	46
Figura 21: Fluxograma esquemático do Cenário 4 Reciclagem para Produção de Gesso em Pó (Processo Via Seca) .....	47
Figura 22: Fluxograma esquemático do Cenário 5 Produção Convencional do Gesso em Pó .....	48
Figura 23: Caminhão-caçamba basculante. ....	49
Figura 24: Secador de tambor rotativo.....	50
Figura 25: Ensacadeira.....	51
Figura 26: Misturador .....	52
Figura 27: Peneira vibratória.....	52
Figura 28: Moinho de rolos.....	53
Figura 29: Esteira transportadora.....	54
Figura 30: Britadeira .....	54

Figura 31: Cortador.....	55
Figura 32: Paleteira.....	56
Figura 33: Empilhadeira.....	57
Figura 34: Triturador.....	57
Figura 35: Gastos energéticos do Cenário 1 Referência.....	65
Figura 36: Gastos energéticos do Cenário 2 Descarte Direto em Aterro.....	66
Figura 37: Gastos energéticos do Cenário 3 Reciclagem para Produção de Novas Placas (Processo Via Úmida).....	67
Figura 38: Gastos energéticos do Cenário 4 Reciclagem para Produção de Gesso em Pó (Processo Via Seca).....	68
Figura 39: Gastos energéticos do Cenário 5 Produção Convencional do Gesso em Pó.....	69
Figura 40: Comparação entre os cenários de destinação do gesso acartonado (Cenários 2, 3 e 4) em kg de CO2 equivalente.....	71
Figura 41: Comparação entre os cenários de produção de gesso em pó a partir de resíduos de placas de gesso acartonado (Cenário 4) e a produção de gesso em pó a partir da gipsita (Cenário 5) em kg de CO2 equivalente.....	72
Figura 42: Comparação entre os parâmetros de interpretação de aquecimento global para produção e o descarte convencional das placas de gesso acartonado (Cenário 1 + Cenário 2) e o cenário de reciclagem das placas (Cenário 3) em kg de CO2 equivalente.....	74
Figura 43: Impacto do Aquecimento Global (GWP) para os Cinco Cenários Avaliados no Ciclo de Vida do Gesso Acartonado em kg de CO2 equivalente.....	75
Figura 44: Comparação da Demanda de Energia Acumulada (CED) para os cenários de destinação das placas de gesso acartonado (Cenários 2, 3 e 4) em Megajoules (MJ).....	76
Figura 45: Comparação da Demanda de Energia Acumulada (CED) entre a produção de gesso em pó reciclado e a produção convencional a partir da gipsita (Cenários 4 e 5) em Megajoules (MJ).....	78
Figura 46: Comparação da Demanda de Energia Acumulada (CED) entre produção e descarte convencional das placas de gesso acartonado (Cenário 1 + Cenário 2) e a alternativa de reciclagem (Cenário 3) em Megajoules (MJ).....	79
Figura 47: Impacto do Demanda de Energia Acumulada (CED) para os cinco cenários avaliados no ciclo de vida do gesso acartonado em Megajoules (MJ).....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estrutura da metodologia .....	36
Tabela 2: Cálculo da distância percorrida pelo caminhão .....	60
Tabela 3: Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de transporte (caminhão) 60	
Tabela 4: Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de secagem .....	61
Tabela 5: Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de ensacamento .....	61
Tabela 6: Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de mistura.....	61
Tabela 7: Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de peneiramento .....	62
Tabela 8: Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de moagem .....	62
Tabela 9: Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de transporte (esteira)....	62
Tabela 10: Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de britagem.....	63
Tabela 11: Dados para o cálculo do consumo energético dos processos de calcinação .....	63
Tabela 12: Dados para o cálculo do consumo energético dos processos de corte .....	63
Tabela 13: Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de empilhamento.....	64
Tabela 14: Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de trituração .....	64
Tabela 15: Consumo geral dos cenários .....	69

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ACV</b>	Avaliação do Ciclo de Vida
<b>ACVE</b>	Análise do Ciclo de Vida Energético
<b>CNI</b>	Confederação Nacional da Indústria
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional de Meio Ambiente
<b>GEE</b>	Gases de Efeito Estufa
<b>GHG</b>	<i>GreenHouse Gases</i>
<b>IFMG</b>	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
<b>IPT</b>	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i>
<b>LCA</b>	<i>Life Cycle Assessment</i>
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>RCD</b>	Resíduos de Construção e Demolição
<b>WBCSD</b>	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
<b>WRI</b>	<i>World Resources Institute</i>

# SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1. Justificativa.....	15
1.2. Objetivo Geral .....	16
1.3. Objetivos Específicos .....	16
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
2.1. Histórico do gesso acartonado.....	17
2.2. Composição e processo de fabricação do gesso.....	20
2.3. Gesso acartonado e <i>drywall</i> .....	23
2.4. Gesso acartonado no Brasil e o mercado nacional .....	26
2.5. Resíduos e reciclagem do gesso acartonado .....	28
2.6 Normas regulamentadoras .....	31
2.7. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) .....	32
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>36</b>
3.1. Objetivo e Escopo .....	37
3.2. Análise de Inventário .....	38
3.3. Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV).....	39
3.4. Interpretação dos resultados .....	39
3.5. Modelagem dos cenários no OpenLCA .....	40
3.5.1. Cenário 1 - Referência .....	41
3.5.2. Cenário 2 - Descarte Direto em Aterro .....	41
3.5.3. Cenário 3 - Reciclagem para Produção de Novas Placas (Processo Via Úmida) .....	42

3.5.4. Cenário 4 - Reciclagem para Produção de Gesso em Pó (Processo Via Seca).....	42
3.5.5. Cenário 5 - Produção Convencional do Gesso em Pó .....	43
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
4.1. Cenários.....	44
4.1.1. Cenário 1 - Referência .....	44
4.1.2. Cenário 2 - Descarte Direto em Aterro .....	45
4.1.3. Cenário 3 - Reciclagem para Produção de Novas Placas (Processo Via Úmida) .....	45
4.1.4. Cenário 4 - Reciclagem para Produção de Gesso em Pó (Processo Via Seca).....	46
4.1.5. Cenário 5 - Produção Convencional do Gesso em Pó .....	47
4.2. Análise do Inventário .....	49
4.2.1. Equipamentos.....	49
4.2.1.1 Transporte (caminhão) .....	49
4.2.1.2 Secagem .....	50
4.2.1.3 Ensacamento .....	50
4.2.1.4 Mistura .....	51
4.2.1.5 Peneiramento.....	52
4.2.1.6 Moagem .....	52
4.2.1.7 Transporte (esteira) .....	53
4.2.1.8 Britagem.....	54
4.2.1.9 Calcinação .....	54
4.2.1.10 Processo de corte.....	55
4.2.1.11 Paletização .....	55
4.2.1.12 Empilhamento .....	56
4.2.1.13 Trituração .....	57
4.2.2 Cálculo dos consumos energéticos .....	58
4.2.2.1 Considerações .....	58
4.2.2.1 Consumo energético do caminhão .....	59
4.2.2.2 Consumo energético do secador .....	61
4.2.2.3 Consumo energético da ensacadeira .....	61
4.2.2.4 Consumo energético do misturador .....	61

4.2.2.5 Consumo energético da peneira .....	62
4.2.2.6 Consumo energético do moedor .....	62
4.2.2.7 Consumo energético da esteira .....	62
4.2.2.8 Consumo energético da britadeira.....	62
4.2.2.9 Consumo energético do calcinador .....	63
4.2.2.10 Consumo energético do cortador .....	63
4.2.2.11 Consumo energético da paleteira .....	64
4.2.2.12 Consumo energético da empilhadeira .....	64
4.2.2.13 Consumo energético do triturador.....	64
4.3. Análise de Impacto do Ciclo de Vida.....	65
4.3.1 Consumo energético dos cenários .....	65
4.3.1.1 Cenário 1 - Referência .....	65
4.3.1.2 Cenário 2 - Descarte Direto em Aterro .....	66
4.3.1.3 Cenário 3 - Reciclagem para Produção de Novas Placas (Processo Via Úmida) .....	66
4.3.1.4 Cenário 4 - Reciclagem para Produção de Gesso em Pó (Processo Via Seca).....	67
4.3.1.5 Cenário 5 - Produção Convencional do Gesso em Pó .....	68
4.3.2 Análise Comparativa.....	70
4.3.2.1. Categoria de impacto: Global Warming .....	70
4.3.2.2. Categoria de impacto: Cumulative Energy Demand.....	76
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>82</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>91</b>
APÊNDICE A – MODELAGEM REALIZADA NO SOFTWARE OPENLCA - CENÁRIO 1 REFERÊNCIA .....	91
APÊNDICE B – MODELAGEM REALIZADA NO SOFTWARE OPENLCA - CENÁRIO 2 DESCARTE DIRETO EM ATERRO.....	92
APÊNDICE C – MODELAGEM REALIZADA NO SOFTWARE OPENLCA - CENÁRIO 3 RECICLAGEM PARA PRODUÇÃO DE NOVAS PLACAS (PROCESSO VIA ÚMIDA).....	93

APÊNDICE D – MODELAGEM REALIZADA NO SOFTWARE OPENLCA -  
CENÁRIO 4 RECICLAGEM PARA PRODUÇÃO DE GESSO EM PÓ (PROCESSO VIA  
SECA) .....94

APÊNDICE E – MODELAGEM REALIZADA NO SOFTWARE OPENLCA -  
CENÁRIO 5 PRODUÇÃO CONVENCIONAL DO GESSO EM PÓ..... 95

APÊNDICE F – ELABORAÇÃO DE PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA  
(PTT).....96

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Sozin e Melo (2017), a deterioração ambiental causada por ações humanas tem sido cada vez mais debatida globalmente, impulsionada pela urgência de mitigar seus efeitos, as causas e transformar o panorama atual. Dentre os setores que contribuem significativamente para essa deterioração, destaca-se o segmento da construção civil, tornando essencial a busca por alternativas que reduzam os impactos ambientais associados.

A geração de resíduos da construção e demolição (RCD) é um dos principais desafios ambientais urbanos, dada sua diversidade e volume. Entre os materiais descartados, incluem-se embalagens, madeira, tijolos, concreto, telhas, azulejos, gesso, argamassas e latas de tinta, provenientes tanto de sobras de obras quanto de materiais novos danificados. No Brasil, estima-se que, diariamente, sejam recolhidas cerca de 122.012 toneladas desses resíduos, muitas vezes, descartados de maneira inadequada em vias públicas e espaços urbanos (SALINO *et al.*, 2021; ABRELPE, 2018).

Nesse contexto, o gesso acartonado, também conhecido como *drywall*, tem se popularizado na construção civil brasileira e mundial, devido às suas vantagens em relação aos métodos tradicionais. Composto por uma placa de gesso reforçada com fibra de vidro e revestida com papel-cartão, esse material, de fácil utilização, apresenta resistência e flexibilidade. A crescente adoção do *drywall* no Brasil pode ser atribuída à sua rapidez na execução de obras, facilidade de instalação e eficiência no isolamento térmico e acústico (AZEVEDO *et al.*, 2022).

Entretanto, concomitantemente ao aumento do uso do *drywall*, tem-se a geração considerável de resíduos. Segundo Erbs *et al.* (2015), as perdas na construção com esse material são elevadas, principalmente devido ao corte das chapas de gesso acartonado. Nos Estados Unidos, estima-se que entre 10% e 12% do gesso acartonado utilizado em obras tornam-se resíduos, enquanto, no Brasil, essa taxa é estimada em 5%. No entanto, esses resíduos podem ser reciclados, desde que devidamente separados e descontaminados.

Machado (2021) explica que a reciclagem do gesso acartonado pode ocorrer por via úmida, em que se tem a adição de água no processo, ou via seca. Uma vez separados, seus componentes podem ser reaproveitados na fabricação de novas placas de gesso ou direcionados para fins agrícolas, como a correção de solo.

Diante desse cenário, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) se apresenta como uma metodologia fundamental para mensurar os impactos ambientais associados ao ciclo de vida do

gesso acartonado. Conforme estabelecido pelas Normas ISO 14040, a ACV permite a análise abrangente dos impactos ambientais de um produto ou serviço, desde a extração da matéria-prima até sua disposição final (LANA; PEREIRA, 2020).

Diante da necessidade de uma gestão mais sustentável para os resíduos de gesso acartonado, esta pesquisa teve como objetivo avaliar os processos de produção, descarte e reciclagem desse material. Para isso, foi importante mensurar o impacto ambiental gerado por esses processos produtivos, e, nesse sentido, a ACV contribuiu para a identificação de pontos críticos e oportunidades de melhoria. Por meio da ACV, também foi possível comparar diferentes cenários de destinação, considerando aspectos como emissões de gases de efeito estufa, consumo energético e impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do material.

### **1.1. Justificativa**

De acordo com Souza (2013), a indústria de placas de gesso acartonado cresceu significativamente no Brasil a partir da década de 1990, consolidando seu uso na construção civil devido às suas características de praticidade, desempenho e estética. O autor explica que a instalação das placas pode ser até cinco vezes mais rápida que a vedação em alvenaria. Além disso, uma placa de 9,5 mm de espessura pesa entre 6,5 e 8,5 kg/m<sup>2</sup>, o que contribui para a redução de custos nas fundações e na superestrutura.

Conforme relatório da Confederação Nacional da Indústria - CNI (2010), o faturamento anual da indústria de gesso brasileira situa-se em, aproximadamente, US\$ 300 milhões. Além disso, segundo Ahmed *et al.* (2011), anualmente, são produzidos cerca de 15 milhões de toneladas de resíduos de gesso em todo o mundo, evidenciando a necessidade de estratégias eficazes para a gestão desses resíduos.

Outro fato relevante é que o Brasil é o maior produtor de gipsita da América do Sul (SPIELMANN, 2022, p.16). Esse cenário ressalta a importância de abordar a gestão dos resíduos de gesso acartonado em nível nacional, considerando os impactos ambientais decorrentes da fabricação, uso e descarte de forma inadequada.

Urbano (2013) ressalta que o Polo Gesseiro do Araripe, situado no extremo oeste de Pernambuco, concentra cerca de 80% das minas de gipsita do Brasil. Entretanto, o autor aponta como aspecto negativo o fato de que esse polo é responsável pelo maior consumo de lenha entre as indústrias do Estado, utilizada exclusivamente nos processos de calcinação da gipsita.

Segundo John (2007), o gesso acartonado gera uma quantidade significativa de resíduos e apresenta uma taxa de reutilização e reciclagem relativamente baixa. Quando descartado de

maneira inadequada em terrenos baldios, áreas de preservação ou nas proximidades de corpos d'água, há o risco de contaminação do solo e do lençol freático. Um desafio adicional surge quando esses resíduos são depositados em aterros sanitários, pois, em contato com matéria orgânica, o gesso reage e, como produto, tem-se a liberação de gás sulfídrico, uma substância tóxica com sérios riscos à saúde humana.

Além disso, a revisão bibliográfica revelou a escassez de documentos atualizados ou regulamentações específicas que detalhem os procedimentos adequados para o manejo dos resíduos de gesso acartonado, evidenciando uma lacuna significativa na normatização dessa gestão. Outro ponto crítico é a ausência de dados recentes sobre o consumo de gesso acartonado no Brasil, o que dificulta a elaboração de estratégias eficazes para o setor.

Diante desse cenário, destaca-se a relevância desta pesquisa, especialmente em um contexto de carência de dados atualizados. A ausência de informações recentes pode resultar em decisões sem embasamento e oportunidades perdidas para a otimização da gestão de resíduos. Assim, uma análise detalhada e atualizada não apenas contribui para a literatura científica, mas também auxilia na formulação de práticas mais sustentáveis e no desenvolvimento de tecnologias inovadoras para o setor.

Este estudo está em consonância com a linha de pesquisa em tecnologias ambientais do Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologias Ambientais (IFMG - *Campus Bambuí*), especialmente no que tange à gestão de resíduos sólidos.

## **1.2. Objetivo Geral**

Avaliar os impactos ambientais associados à produção, descarte e reciclagem do gesso acartonado, com ênfase no consumo energético e nas emissões de gases de efeito estufa (GEE).

## **1.3. Objetivos Específicos**

- Quantificar e comparar o consumo energético e as emissões de GEE nos diferentes cenários de destinação e produção do gesso acartonado;
- Identificar as etapas do processo produtivo e de reciclagem que apresentam as maiores emissões de GEE e demanda energética;
- Avaliar a viabilidade ambiental da reciclagem do gesso acartonado como alternativa sustentável à produção convencional.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica desta dissertação aborda tópicos relacionados à história do gesso acartonado, à composição e processo de fabricação do gesso, à relação do gesso acartonado com o *drywall*, ao mercado e consumo do gesso acartonado no Brasil, às normas regulamentadoras, aos resíduos e reciclagem do gesso acartonado e à metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

### 2.1. Histórico do gesso acartonado

Segundo consta na literatura, o gesso é o aglomerante mais antigo conhecido. O uso desse material por civilizações antigas é comprovado por escavações arqueológicas, havendo sido encontrado em ruínas na Síria, na Turquia, em Jericó e no Egito (Antunes e John, 1999; Munhoz, 2008).

Segundo Kanno (2009, p. 37):

O gesso, ou plaster, é conhecido e utilizado pela humanidade desde o período neolítico. Recentes descobertas arqueológicas na Anatólia (atual Turquia) revelaram que, por volta de 9000 a.C., o gesso já era utilizado para fabricação de recipientes e rebocos (de gesso e cal) que serviam de suporte para afrescos decorativos. Os egípcios já conheciam as técnicas de calcinação do gesso e utilizavam o gesso em argamassas para construção de pirâmides, esfinges, tumbas e revestimentos de paredes nas quais eram feitas pinturas.

A existência de jazidas de gipsita no Chipre, Fenícia e Síria foi mencionada pelo filósofo Teofratos, discípulo de Platão e Aristóteles, em seu “Tratado sobre a Pedra”, escrito entre os séculos III e IV a.C. (Baltar *et al.*, 2008). De acordo com Kanno (2009), durante o período Renascentista, entre os séculos XIV e XVI, o gesso foi encontrado sendo utilizado na decoração, e, durante o Barroco, entre o final do século XVI e início do século XVIII, houve uso abundante do estuque (um tipo de argamassa).

No século XVII, mais especificamente, em 1666, o rei da França, Luiz XIV, tornou obrigatório o uso do gesso como material de revestimento tanto na parte interior como exterior das edificações, como medida preventiva contra incêndios, afirma Nogueira (2012).

Na Europa, a partir do século XVIII, o gesso passou a ser utilizado na agricultura, como corretivo dos solos, e no setor da construção civil. O primeiro estudo científico dos fenômenos relacionados à preparação do gesso foi publicado por Lavoisier, em 1768, o qual aborda a desidratação da gipsita. Segundo Baltar; Bastos; Luz (2008), a partir de 1885, o uso do gesso na construção civil foi estimulado pela descoberta de um processo de retardamento do tempo de pega.

De acordo com Araújo e Farias (2021), após o século XIX, diversos autores mencionam a desidratação do gesso, facilitando, assim, a transformação dos equipamentos. Porém, foi a partir do século XX que a tecnologia avançou e os equipamentos para a produção do gesso foram aprimorados, dando origem aos equipamentos atuais. Dessa forma, o gesso alcançou maior empregabilidade em diversos setores. Oliveira (2013) destaca que a gipsita, matéria-prima do gesso, é encontrada em todo o mundo, em geral, na cor branca; no entanto, antes das etapas de fabricação, pode ser achada nas cores amarela, cinza ou marrom, devido às impurezas presentes no material.

Data-se de 1888, em Rochester, no Condado de Kent, Reino Unido, as primeiras estruturas que, posteriormente, seriam denominadas *drywall*. Porém, só em 1891, a manufatura foi finalizada, por Augustine Sackett e Fred I. Kane. Eles inventaram a chapa de gesso acartonado, que revolucionou o setor da construção civil; contudo, apenas em 1894, a ideia foi patenteada nos Estados Unidos, afirma Santos *et al.* (2018).

Segundo os mesmos autores, a primeira versão de *drywall*, também conhecida, na época, como placas *Sackett*, era composta por quatro camadas: gesso molhado entre quatro folhas de papel, lã e camurça. Em geral, as folhas mediam 91 cm x 91 cm x 3 cm de espessura, com bordas e sem acabamento. O *drywall (sacket)* foi bem aceito pelo mercado e ainda é muito utilizado, devido à sua resistência natural ao fogo e a uma boa resistência mecânica, proporcionada pelo cartão, resistente à tração, e pelo gesso, resistente à compressão (Fleury, 2014).

Data-se de 1970 a primeira fábrica de gesso acartonado instalada na Região Nordeste do Brasil. Segundo Barbosa *et al.* (2019), isso só foi possível devido à iniciativa de Roberto de Campos Guimarães, que fundou a Gypsum, na cidade de Petrolina, em Pernambuco. No ano de 1990, ocorreu o ápice construtivo do *drywall*, por causa dos avanços tecnológicos alcançados em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (Mitidieri, 2009).

Em 1994, surgiu a empresa Drywall, e o método de vedação com chapas de gesso acartonado passou a ser visto no Brasil como um método construtivo de inovação e potencial de racionalização de custos. No ano de 1995, as empresas Lafarge e BPB começaram a explorar o mercado brasileiro (Holanda, 2003).

Ainda segundo o autor, a empresa Lafarge adquiriu a Gypsum e deu origem à Lafarge Gypsum. A BPB criou a Placo do Brasil. Além dessas duas empresas, em 1997, a Knauf também se instalou no País.

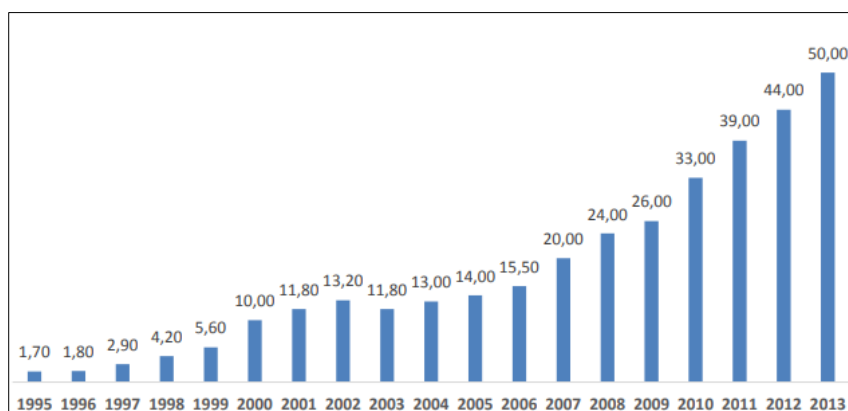
Em 2000, surgiu a Associação Brasileira de *Drywall*, formada pelas três principais fábricas de gesso acartonado atuantes no Brasil: Knauf Drywall, Lafarge Gypsum e Placo do Brasil. O objetivo era divulgar a técnica de construção a seco (Fleury, 2014, p. 11).

De acordo com Fleury (2014), em 2001, surgiu o primeiro grupo de normas técnicas brasileiras de paredes de gesso acartonado: NBR 14.715 (Requisitos), NBR 14.716 (Verificação das Características Geométricas) e NBR 14.717 (Determinação das Características Físicas).

Em relação à produção, a partir de 1990, o material ganhou notoriedade no processo de modernização da construção civil, que, até então, era baseada em técnicas construtivas tradicionais (CAMARGO, CHAVES, 2021). Em 2000, o consumo da tecnologia *drywall* no Brasil era de 10 milhões de metros quadrados; em 2010, 33 milhões de metros quadrados; e, em 2013, atingiu seu ápice, com 50 milhões de metros quadrados - esse período condiz com o auge do programa habitacional do governo brasileiro da época (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DRYWALL, 2014).

Um estudo realizado pela Associação Brasileira de Fabricantes de Blocos e Chapas de Gesso (ABRAGESSO, 2015) revelou um crescimento no consumo de chapas de *drywall* no Brasil desde o ano de 1995. Estas informações são apresentadas na Figura 1:

**Figura 1:** Consumo Histórico anual de chapas para Drywall no Brasil (milhões de m<sup>2</sup>)



Fonte: Abragesso (2015).

Fruto das evoluções tecnológicas iniciadas no passado, o gesso acartonado é hoje um sistema construtivo que está presente na vida de milhares pessoas e cada vez mais presente no mercado, por ser uma excelente solução construtiva para tetos, paredes, divisórias e revestimentos.

## 2.2. Composição e processo de fabricação do gesso

Em seu estudo, Ferreira (2017, p. 26) afirma que “O gesso é um aglomerante aéreo, ou seja, depois de endurecido, não resiste à ação da água, e se utiliza de uma única matéria-prima, o mineral gipsita”. De acordo com Cunha (2012), a gipsita é um sulfato de cálcio di-hidratado cuja fórmula química é  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; geralmente, está associada à anidrita, conhecida por ser um sulfato de cálcio anidro ( $\text{CaSO}_4$ ). O autor também descreve a composição química média da gipsita: 32,5% de óxido de cálcio (CaO), 46,6% de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e 20,9% de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Além disso, a gipsita tem dureza 2 na escala de Mohs, densidade de 2,35, índice de refração de 1,53, é bastante solúvel e sua cor varia em incolor, branca, cinza e amarronzada, a depender das impurezas contidas nos cristais, afirma o mesmo autor.

Segundo Baltar; Bastos e Luz (2008), a gipsita é utilizada em sua forma natural ou calcinada. Em forma natural, pode ser usada como corretivo de solos, no setor agrícola, e na indústria do cimento. Greene (2022) afirma que o mineral é empregado com a função de aumentar o tempo de pega do cimento (tempo para início do endurecimento). Já em forma calcinada, pode ser utilizada na construção civil, como material ortopédico ou dental.

Urbano (2013) explica que o processo de desidratação da gipsita, também conhecido como calcinação, ocorre entre uma faixa de temperatura de 100 a 160 °C, e, como resultado, produz o sulfato de cálcio  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ , conhecido como gesso.

Em resumo, o processo de fabricação do gesso ocorre nas seguintes etapas:

- 1º Etapa: extração do mineral, a gipsita. Após a localização da jazida, é retirada uma grande quantidade de terra até que a gipsita seja encontrada. Em seguida, são utilizadas bombas de detonação, com o objetivo de quebrar a gipsita em pedaços menores, para facilitar o transporte (AGL Drywall, 2020);
- 2º Etapa: realização da britagem, que consiste na fragmentação do mineral da gipsita (URBANO, 2013, p. 18).

Na *Figura 2*, é possível identificar o processo de extração da gipsita e a quebra do material primário em pedaços menores, e, na *Figura 3*, o processo de britagem realizado após a extração da gipsita.

**Figura 2:** Extração da gipsita



**Figura 3:** Processo de britagem da gipsita



Fonte: <https://agldrywall.com.br/2020/11/06/gipsita/>. Acesso em 16/04/2023.

- 3º Etapa: moagem - processo que pode ser realizado em moinhos de martelo, segundo Urbano (2013). Ainda segundo o autor, dependendo da finalidade do gesso, após a moagem, o material deve passar pela etapa de peneiramento.

Na Figura 4, é possível ver a moagem do mineral, e, na Figura 5, o resultado do material após a moagem.

**Figura 4:** Processo de moagem da gipsita



**Figura 5:** Resultado da moagem da gipsita



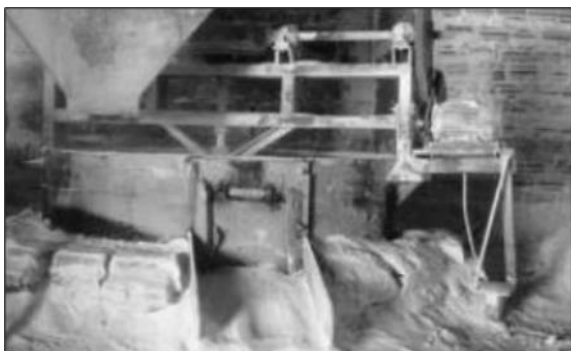
Fonte: Urbano (2013). Acesso em 16/04/2023.

- 4º Etapa: calcinação, na qual, segundo Rodrigues (2021), o mineral britado, moído e peneirado pode, ainda, possuir umidade, em torno de 10%, que deve ser controlada pelo processo de secagem. A técnica de calcinação na indústria pode ocorrer em vários tipos de fornos. Conforme Apolinario (2015), existem, basicamente, quatro tipos de fornos:
  - ✓ Tipo panela: são caracterizados pela forma de painéis de aço, são circulares, abertos, de grande diâmetro e de pequena altura. Neste tipo de forno, as pás agitadoras homogeneizam a calcinação, e os

controles de temperatura e do tempo de residência do material são controlados através da observação visual; estão em processo de desuso (Figura 6);

- ✓ Tipo marmita: na forma de panelões fechados (cubas), onde o calor gerado no fundo é obtido pela queima de óleo ou lenha. A temperatura pode ser controlada por meio de pirômetros. Um conjunto de palhetas internas na cuba garante que o material fique homogêneo (Figura 7);
- ✓ Tipo rotativo: na forma de tubo giratório, de aço e material refratário, de grande comprimento e com pequena inclinação. Nesse processo, o mineral moído entra em contato diretamente com a chama que sai do maçarico, ao lado da alimentação. Em seguida, o mineral calcinado percorre, por meio da gravidade, toda a extensão do forno (Figura 8);
- ✓ Tipo marmita giratório (intermitente): de aço e material refratário. A extensão do forno irá depender do volume, de acordo com a produção. O controle do forno é feito de forma automatizada. Nesses tipos de forno, o mineral não entra em contato direto com a chama. O material permanece na cuba, e sua descarga é intermitente (Figura 9).

**Figura 6:** Forno tipo panela



**Figura 7:** Forno tipo marmita



Fonte Fig. 6: Apolinario (2015). Acesso em 18/04/2023.

Fonte Fig. 7: Apolinario (2015). Acesso em 18/04/2023.

**Figura 8:** Forno tipo rotativo



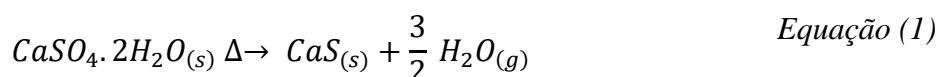
**Figura 9:** Forno tipo intermitente



Fonte Fig. 8: Apolinario (2015). Acesso em 18/04/2023.

Fonte Fig. 9: Apolinario (2015). Acesso em 18/04/2023.

Durante o processo da calcinação, a gipsita perde uma molécula e meia de água de cristalização e dá origem ao gesso (Melo, 2012). A Equação 1 demonstra a reação de desidratação, que ocorre de acordo com a seguinte equação (BALTAR, 2011, p. 511):



Segundo Campos *et al.* (2017), dependendo do processo de calcinação, é possível obter vários tipos de gessos (hemidratos), conhecidos como: i) gesso beta ( $\beta$ ), que é utilizado principalmente no setor da construção civil e representa mais de 95% do mercado de gesso, sendo muito empregado na fabricação de elementos pré-moldados, por exemplo, placas para forro, blocos divisórios e placas de gesso acartonado, além de produção de gesso-cola, utilizado para assentamento de blocos; ii) gesso alfa ( $\alpha$ ), que é um produto mais nobre, empregado para fins odontológicos e ortopédicos, para a fabricação de peças cerâmicas, entre outros.

No presente trabalho, aborda-se o gesso acartonado, que é um tipo de gesso beta, muito utilizado no ramo da construção civil. Atualmente, a maioria das edificações já possui esse método construtivo, devido à sua facilidade de execução.

### **2.3. Gesso acartonado e *drywall***

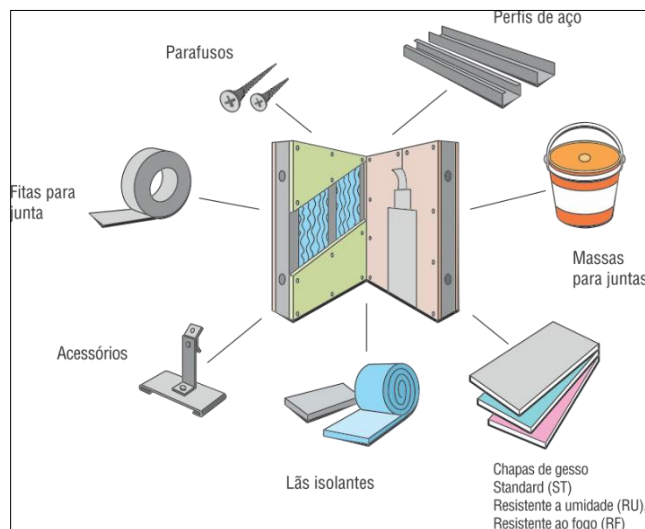
Segundo Eye (2015), o *drywall* é uma técnica construtiva estruturada, armada e removível, composto por placas de gesso acartonado conectadas com placas de aço galvanizado. A palavra *drywall*, em si, é uma expressão inglesa que significa “parede seca” (Junior, 2008).

De acordo com Lourenço e Carvalho (2020), as placas de gesso acartonado são compostas por água, gesso e aditivos, revestidas em papel acartonado. Além disso, possuem

alta resistência ao fogo, por conterem água em sua composição. Em situações de incêndio, a água vai sendo liberada gradativamente em forma de vapor, resistindo a altas temperaturas e impedindo a transmissão de calor por um período de tempo, segundo as mesmas autoras.

Na Figura 10, estão descritos alguns materiais comuns utilizados em sistemas *drywall*.

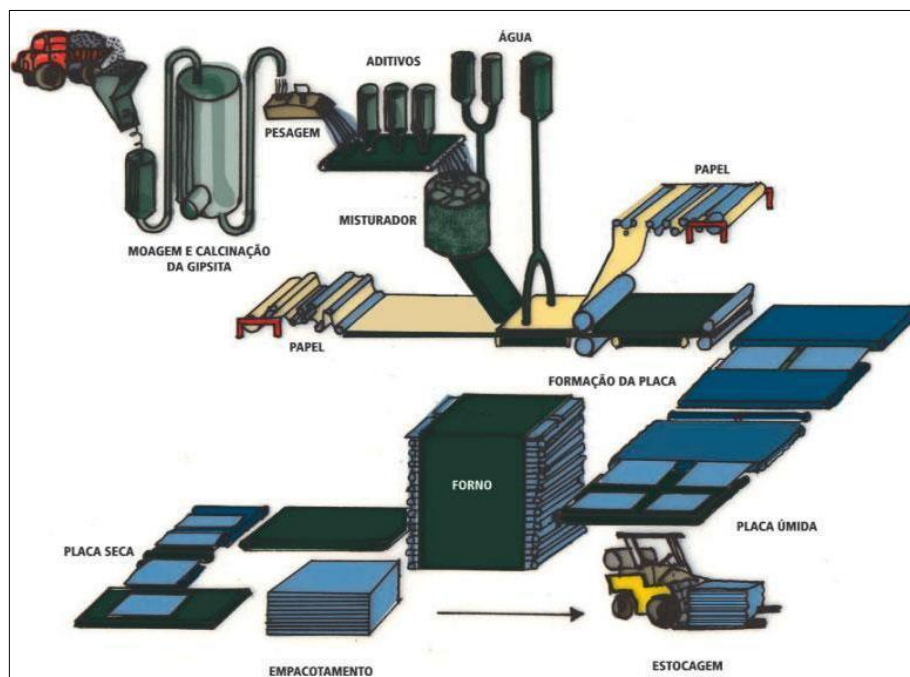
**Figura 10:** Componentes do sistema *drywall*



Fonte: <https://www.brasfor.com.br/parede-corta-fogo-drywall/>. Acesso em 02/05/2023.

Na Figura 11, estão descritas as etapas para fabricação do *drywall*. É um processo que ocorre mecanicamente, com poucas variações entre uma fábrica e outra.

**Figura 11:** Processo de fabricação do *drywall*



Fonte: <https://engenharia360.com/quais-as-diferencas-entre-o-gesso-e-o-drywall/>. Acesso em 09/05/2023.

Atualmente, os três tipos principais de placas de gesso acartonado mais utilizados são: placas *standard* (ST), empregadas em áreas secas; placas resistentes à umidade (RU), destinadas às áreas molhadas; e placas resistentes ao fogo (RF), explica Oliveira (2019). A Figura 12 apresenta os tipos de placas de gesso acartonado mais utilizados e suas respectivas cores.

**Figura 12:** Tipos de placas *drywall*



Fonte: <https://diviplus.com.br/cores-placas-drywall/>. Acesso em 02/05/2023.

O *drywall* é um método construtivo rápido e limpo, uma vez que não é necessário utilizar água ou preparação de argamassa. É um sistema pré-fabricado empregado em paredes, forros e revestimentos, seja em ambientes secos ou úmidos (Junior, 2006). De acordo com Moura (2018), o interior da parede de *drywall* é oco, o que facilita a instalação de fiações elétricas e componentes hidráulicos; porém, pode ser preenchido com enchimento de isolamento térmico ou acústico.

Na Figura 13, pode-se observar a fiação elétrica instalada dentro de um sistema *drywall*.

**Figura 13:** Embutimento de instalações no *drywall*



Fonte: <https://revistas.unisuam.edu.br/index.php/projectus/article/view/337/384>. Acesso em 26/04/2023.

Segundo Costa e Nascimento (2015), no processo de montagem do *drywall*, são necessários alguns materiais como suporte, tanto para fazer o encaixe das placas como para obter o espaço necessário para a instalação da fiação elétrica, entre outras características.

De acordo com Nakamura (2013), deve-se instalar uma estrutura metálica para receber as placas de gesso acartonado, composta por peças horizontais e verticais, com a espessura adequada de acordo com os projetos. Em seguida, podem ser efetuadas as instalações hidráulicas e elétricas segundo o projeto da edificação, e, somente após essa etapa, fazer a fixação das placas.

A fixação das placas é feita com parafusos autoperfurantes, e as juntas entre placas são preenchidas com massas e fitas apropriadas. Ressalta-se que a versatilidade das placas, o custo e a facilidade no manuseio e instalação elevaram muito o seu consumo e a aceitabilidade na construção civil (COSTA; NASCIMENTO, 2015, p. 102).

#### **2.4. Gesso acartonado no Brasil e o mercado nacional**

No Brasil, tem ocorrência de gipsita em oito Estados, porém os principais depósitos estão localizados na Bacia Sedimentar do Araripe, constituída pelos estados do Piauí, Ceará e Pernambuco (Melo, 2012). A Bacia Sedimentar do Araripe possui uma área aproximada de 8.000 km<sup>2</sup>, e uma parcela compõe o Polo Gesseiro do Araripe, localizado no estado de Pernambuco, responsável pela maior produção do Brasil (Araújo, 2004). No próximo tópico, serão apresentados os aspectos históricos e como Pernambuco se tornou o maior produtor de gesso do Brasil.

Segundo Nunis (1971), até o ano de 1961, o maior produtor de gesso no Brasil era o estado do Rio Grande do Norte, e toda a gipsita consumida no País tinha origem nas minas

do antigo distrito de Sebastianópolis, atual município de Governador Dix-Sexp Rosado, no Rio Grande do Norte (Costa & Anjos, 1962). Nos anos de 1963 e 1964, o Ceará foi o maior produtor, sendo as reservas geologicamente pertencentes à formação chamada Formação Santana<sup>1</sup>. As cidades cearenses de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha, locais onde a gipsita era encontrada, eram muito povoadas, na época, e com acesso difícil para caminhões em algumas épocas do ano. Devido a estas limitações, que não eram observadas no estado do Pernambuco, observou-se uma maior participação deste estado no mercado, o que culminou na redução da produção no Ceará, tornando o estado de Pernambuco o maior produtor a partir de 1965 (NUNIS, 1971).

No final da década de 1970, surgiu o fosfogesso, conhecido também como gesso químico, um subproduto da indústria do ácido fosfórico, como um competidor do gesso, devido ao preço baixo de aquisição e proximidade com o mercado consumidor. Esse produto gerou uma queda na produção do gesso. Até o ano de 1976, houve um aumento gradativo de produção; porém, por causa da inserção do gesso químico no mercado, entre os anos de 1977 e 1978, houve diminuição na produção de gesso, mas, nos anos seguintes, a extração da gipsita voltou a subir (Araújo *et al.*, 1983).

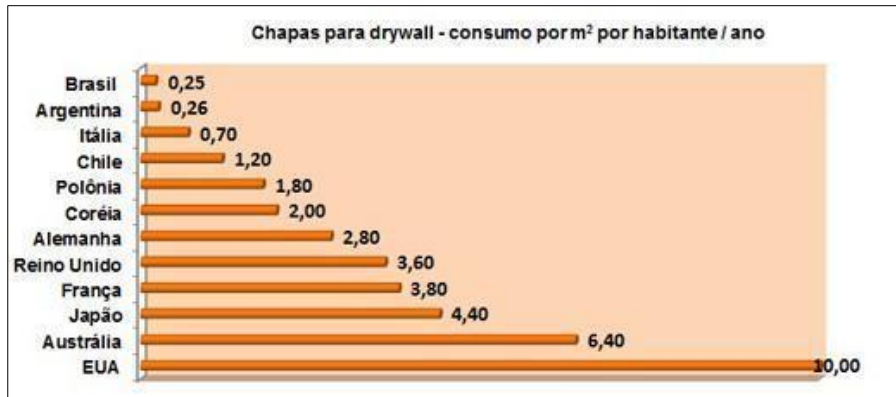
Em 2014, o Polo Gesseiro do Araripe foi responsável pela produção de aproximadamente 97% do gesso consumido no Brasil, gerando 13,9 mil empregos diretos e 69 mil indiretos, resultantes da atuação de 42 minas de gipsita e 174 indústrias de calcinação; destas, 165 operam a base de biomassa florestal, e o restante, a base de combustíveis fósseis (Gadelha, 2014).

O gesso acartonado tem cada vez mais aderência no segmento de construção civil em nível mundial; não obstante, o mercado brasileiro vem respondendo positivamente ao uso do *drywall* nas edificações. Porém, quando é comparado a outros países, ainda apresenta um consumo relativamente pequeno, o que pode ser observado na Figura 14, que apresenta o consumo de gesso acartonado por m<sup>2</sup>/ano.

---

<sup>1</sup> De acordo com Morais (2018), a Formação Santana é localizada na Chapada do Araripe, área que abrange os estados do Ceará, Piauí e Pernambuco. Na estratigrafia, uma formação geológica é um conjunto de rochas ou minerais que tem características próprias, em relação à sua composição, idade, origem ou outras propriedades similares.

**Figura 14:** Consumo de *drywall* por m<sup>2</sup> por habitante/ano

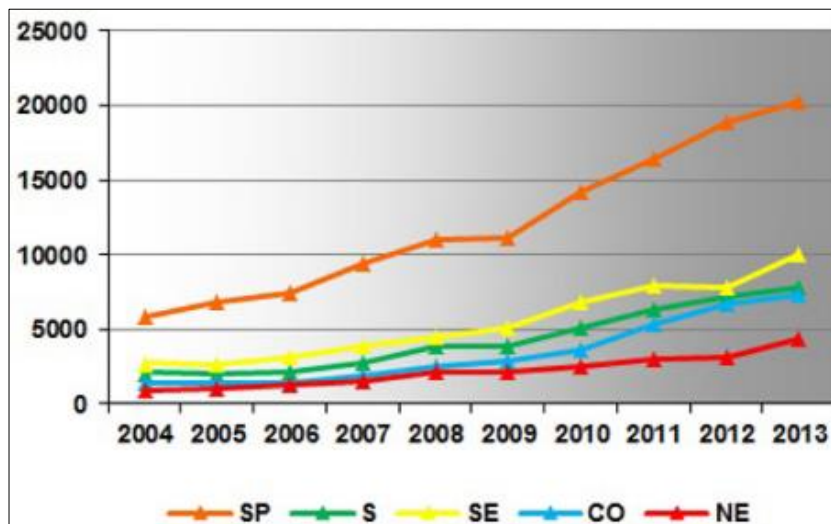


Fonte: <https://www.sulmodulos.com.br/como-o-drywall-esta-crescendo-no-mercado-brasileiro/>. Acesso em 07/05/2023.

Pode-se observar que o Brasil apresenta um consumo muito pequeno de gesso quando comparado com outros países; porém, o *site* Sul Módulos (2023) destaca o crescimento anual estimado em 13% ao ano, ou mais, na próxima década, no Brasil.

Ainda, observa-se que os índices de consumo de *drywall* variam nas diferentes regiões do País. Na Figura 15, é possível observar que o estado de São Paulo é o maior consumidor de chapas de gesso no Brasil. Isto se deve, principalmente, ao índice de verticalização observado no Estado e ao uso de *drywall* em edificações e reformas.

**Figura 15:** Consumo de *drywall* por m<sup>2</sup> por região



Fonte: Abragesso (2014).

## 2.5. Resíduos e reciclagem do gesso acartonado

No que se refere à reciclagem, Rocha *et al.* (2018) afirmam que:

Até 2012, não existiam políticas públicas que incentivassem a reciclagem de gesso, sendo classificado como material de Classe C pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), ou seja, material que deve ser armazenado, transportado e destinado conforme normas técnicas. Em 2013, o CONAMA (2013) alterou a classificação do material para a Classe B, a qual reúne materiais que devem ser reutilizados, reciclados ou encaminhados para áreas de armazenamento temporário para uma futura reciclagem (Rocha *et al.*, 2018, p. 36).

De acordo com Turial *et al.* (2020), a maioria dos resíduos de gesso, mais precisamente as placas de gesso acartonado, são descartados de maneira inadequada, causando grandes problemas ambientais, dentre os quais, pode-se citar a contaminação do solo e do lençol freático. “O resíduo do gesso é constituído de sulfato de cálcio di-hidratado. A facilidade de solubilização promove a sulfurização do solo e a contaminação do lençol freático” (PINHEIRO, 2011, p.1).

Além disso, não é recomendado que o material seja disposto em aterros. Neste caso, além de tóxico, a dissolução dos componentes do gesso pode torná-lo inflamável, explica a autora.

Após a separação do gesso de outros resíduos, o material readquire as propriedades químicas da gipsita, mineral primordial do gesso. Sendo assim, a Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para *Drywall* (2009) explica que o reciclado (segregado corretamente e material limpo) pode ser utilizado novamente na cadeia produtiva.

Existem diversas formas de reutilizar o gesso acartonado. A seguir, estão descritas algumas opções:

- Compostagem: o gesso pode ser triturado em pequenos pedaços e adicionado à pilha de compostagem. Ele fornece cálcio ao solo e ajuda a melhorar a estrutura do composto (Neto *et al.*, 2015);
- Correção do solo: nesse caso, o gesso acartonado ajuda a melhorar a qualidade do solo, corrige solos com pH ácido, melhora a drenagem e aumenta a retenção de nutrientes;
- Aditivo: de acordo com Barros (2010), o gesso reciclado é empregado como aditivo na indústria cimentícia. Geralmente, utilizam-se entre 3% e 5% em relação à quantidade total de cimento. O gesso ajuda a regular o tempo de pega do cimento, retardando o processo de endurecimento e melhorando suas propriedades de trabalhabilidade;
- Fabricação de *Drywall*: o gesso reciclado também pode ser utilizado na fabricação de novas chapas *drywall*. Em Vancouver, no Canadá, a empresa *New West Company Recycling Inc.* desenvolveu um processo de reciclagem de placas de gesso combinando 25% deste material com gesso virgem no processo de fabricação de chapas de *drywall*, mantendo suas propriedades conforme as normas vigentes, segundo Rosa; Leite e Santos (2016).

A reciclagem e reutilização dos resíduos de *drywall* são importantes, pois reduzem a demanda por novos materiais e ajudam a diminuir a extração de recursos naturais. Isso minimiza o impacto ambiental associado à produção e extração de matérias-primas. Além disso, a reutilização do *drywall* evita que os resíduos sejam descartados em aterros sanitários, contribuindo para a redução do volume de lixo e para a preservação dos recursos naturais.

A reutilização do gesso acartonado faz parte do conceito de economia circular, que busca fechar o ciclo de vida dos materiais, mantendo-os em uso pelo maior tempo possível. Isso estimula a criação de uma sociedade mais circular, na qual os recursos são valorizados e aproveitados ao máximo, reduzindo a dependência dos recursos virgens.

Em geral, o processo de reciclagem do gesso acartonado envolve algumas etapas, que estão detalhadas a seguir:

- 1º Etapa: o primeiro passo é coletar os resíduos de gesso acartonado que podem ser provenientes de demolições, reformas ou descartes industriais. Esses resíduos, geralmente, são compostos por placas de gesso, parafusos e outros materiais associados. Na fase de coleta, é importante separar o gesso acartonado de outros resíduos, como madeira, plástico e metal, para facilitar o processo de reciclagem (ALVES, 2021);
- 2º Etapa: após a coleta e separação, as placas de gesso acartonado são trituradas em pequenos fragmentos. Isso pode ser feito por meio de máquinas trituradoras específicas para esse propósito. A trituração reduz o tamanho das placas e facilita as etapas subsequentes do processo (ERBS *et al.*, 2015);
- 3º Etapa: nesta fase, é realizada a remoção de impurezas presentes nos fragmentos de gesso triturado. Isso pode incluir a separação de parafusos, pregos, fios metálicos e outros materiais indesejáveis. A remoção de impurezas é importante para garantir a qualidade do material reciclado (JOHN; CINCOTTO, 2003 *apud* CAVALCANTE; MIRANDA, 2011);
- 4º Etapa: realizam-se a moagem e o peneiramento, e os fragmentos de gesso triturado passam por um processo de moagem adicional para reduzir ainda mais o tamanho das partículas. Em seguida, ocorre o peneiramento, no qual as partículas são classificadas por tamanho. Esse processo ajuda a obter uma granulometria adequada para a reciclagem do gesso acartonado (ERBS, 2020);
- 5º Etapa: o gesso acartonado contém água em sua composição, e a desidratação é necessária para remover a umidade presente nos fragmentos triturados. Isso pode

ser feito utilizando-se técnicas de secagem, como a exposição ao calor ou o uso de secadores específicos (CORREIA; CORDON, 2015);

- 6º Etapa: após todas as etapas anteriores, os fragmentos de gesso estão prontos para serem reciclados. O gesso reciclado pode ser utilizado em diversas aplicações, como fabricação de novas placas de *drywall*, argamassas, adubos agrícolas e outros produtos que utilizam o gesso como matéria-prima (ALVES; 2021).

O processo de reciclagem pode variar de acordo com a região e as tecnologias disponíveis. Além disso, é fundamental garantir que a reciclagem seja realizada de forma adequada, seguindo regulamentações e diretrizes ambientais, para promover a sustentabilidade e a redução do desperdício de recursos. Essas práticas contribuem para um futuro mais sustentável e para a construção de uma economia mais circular.

## 2.6 Normas regulamentadoras

De acordo com a Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para *Drywall* (2009), as chapas para *drywall* devem ser produzidas conforme as seguintes normas:

- **ABNT NBR 14.715:2010 - Chapas de gesso para *drywall*:** essa normativa é a mais utilizada pelos fabricantes de chapas *drywall* e garante a qualidade das chapas de gesso acartonado. É dividida em duas partes, sendo a primeira responsável por especificar os requisitos para as chapas *drywall* destinadas à execução de paredes, forros e revestimentos internos não estruturais. A segunda define os procedimentos laboratoriais para a determinação das características físicas e os métodos de ensaio para verificar o atendimento à ABNT NBR 14.715-1;

- **ABNT NBR 14716:2010 - Chapas de gesso acartonado:** verificação das características geométricas: essa norma estabelece os métodos para a verificação das características geométricas das chapas de gesso acartonado especificadas na NBR 14715, destinadas à construção de paredes, forros e revestimentos internos;

Costa; Silva e Bombonato (2014) ainda afirmam que, quando essas leis são executadas corretamente, asseguram a obtenção de um resultado final satisfatório na obra construída. Elas especificam, de maneira detalhada, as técnicas a serem empregadas para cada característica do *drywall*.

As normas regulamentadoras dos resíduos de gesso acartonado desempenham um papel importante na gestão ambiental e na sustentabilidade da indústria da construção. Elas estabelecem diretrizes específicas para o descarte, a coleta, o transporte e a reciclagem do gesso

acartonado, visando mitigar os impactos ambientais negativos associados ao seu manejo inadequado. Segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para *Drywall* (2009), são algumas dessas diretrizes:

- Resolução N.º 307, de 5 de junho de 2002: responsável por estabelecer as diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos oriundos da construção civil;
- Lei N.º 12.305, de 2 de agosto de 2010: essa lei descreve a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Em geral, os planos de gerenciamento de resíduos de gesso acartonado incluem medidas como a separação adequada dos resíduos, o transporte seguro, o armazenamento temporário, o tratamento e a destinação final ambientalmente adequados.

Observou-se, por meio de pesquisas na literatura, que as políticas e regulamentações sobre o gerenciamento de resíduos de gesso acartonado variam de acordo com a legislação local e nacional. Atualmente, no Brasil, a legislação referente aos resíduos de gesso acartonado é parte integrante das normativas que regem os resíduos da construção civil.

Segundo as normativas descritas anteriormente, os resíduos da construção civil, incluindo o gesso acartonado, devem ser gerenciados de forma ambientalmente adequada, priorizando a redução na fonte, a reutilização e a reciclagem. No entanto, notou-se que as especificidades sobre como, exatamente, o gesso acartonado deve ser tratado e reciclado não são diretamente abordadas, o que pode resultar em variações na prática conforme as diferentes regulamentações municipais e estaduais.

## **2.7. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)**

A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), conhecida também pelo termo *Life Cycle Assessment (LCA)*, tem a função de analisar a carga ambiental potencial de um determinado produto ou serviço na sua fase de produção, uso e disposição. A ACV é uma metodologia de análise de fatores fundamentais no estudo ambiental que impactam ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos ou serviços, afirma Condeixa (2013). De acordo com a mesma autora, o processo de ACV aborda todo o sistema de inventariação dos insumos, das saídas e dos processos de extração e processamento da matéria-prima, das etapas de fabricação, distribuição, consumo, manutenção, reciclagem e reutilização, até o despejo final do produto.

O Inmetro (2016) define a ACV como uma técnica de verificação dos impactos ambientais que analisa balanços de massa e energia de todas as etapas que compõem o processo produtivo de determinado produto ou serviço. Essa metodologia pode ser resumida pelos termos

“do berço ao túmulo” ou, ainda, “do berço ao berço”. Essa última expressão é utilizada em casos em que o produto seja reciclado ou reutilizado.

A ACV é baseada em princípios científicos e segue normas internacionais, descritas a seguir:

- **ABNT NBR ISO 14040:2009 - Gestão Ambiental:** avaliação do ciclo de vida  
- Princípios e estrutura;
- **ABNT NBR ISO 14044:2009 - Gestão Ambiental:** avaliação do ciclo de vida  
- Requisitos e orientações.

Essas normas estabelecem diretrizes para a realização da ACV e garantem que os resultados sejam confiáveis e comparáveis. De acordo com a ISO 14040 (2009), a metodologia ACV é composta por quatro fases principais, e pode ser observada na Figura 16, em que são ilustradas as relações entre as fases de estudo de uma ACV.

- **Definição do objetivo e escopo:** nesta fase, determina-se o propósito da avaliação e se estabelecem os limites do sistema a ser analisado. Além disso, são definidas as unidades funcionais relevantes para a comparação, ou seja, quais os critérios de desempenho que serão utilizados para avaliar diferentes produtos ou serviços;

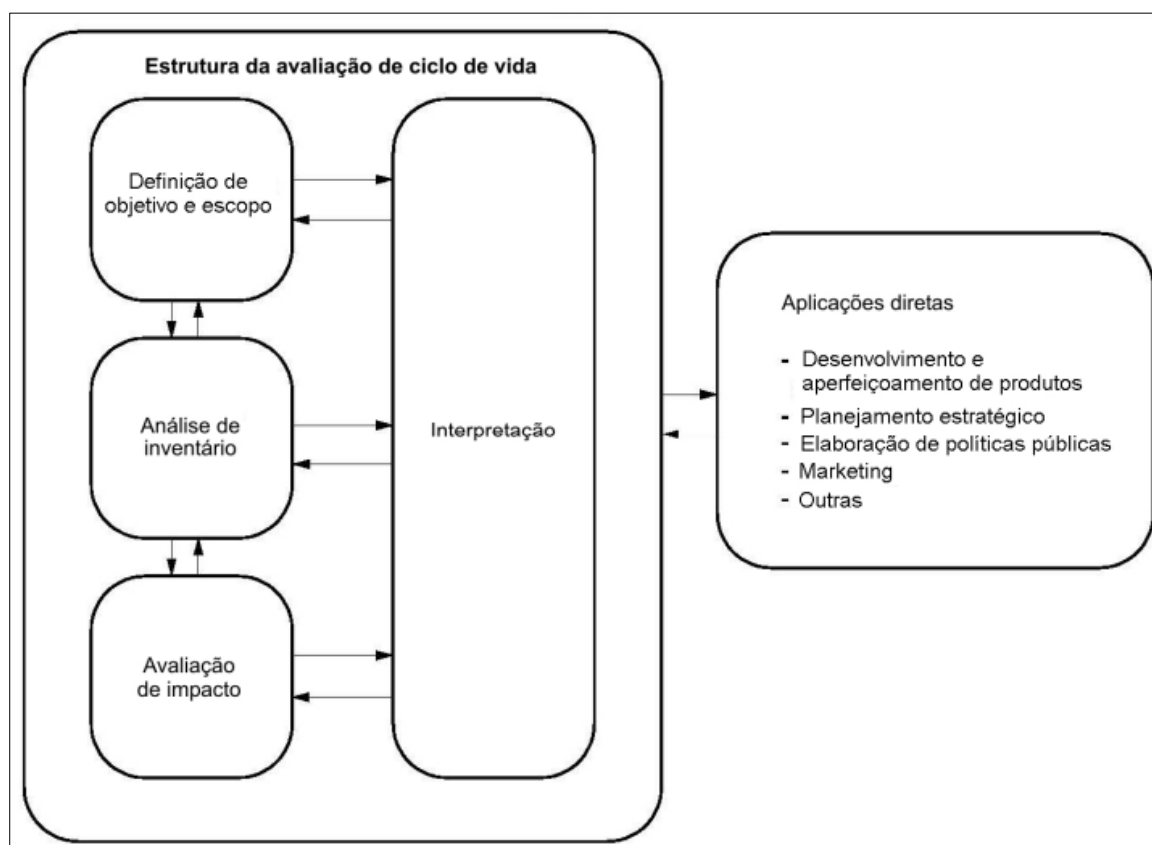
- **Análise do inventário do ciclo de vida:** nesta fase, coletam-se dados sobre todas as entradas e saídas de recursos e energia ao longo do ciclo de vida do produto, processo ou serviço. Isso inclui informações sobre matérias-primas, energia consumida, emissões atmosféricas, resíduos gerados, entre outros. Os dados são organizados em uma tabela chamada inventário do ciclo de vida;

- **Avaliação do impacto do ciclo de vida:** nesta etapa, os dados do inventário são interpretados e avaliados em relação aos potenciais impactos ambientais. Utilizam-se modelos e indicadores para quantificar e avaliar os impactos em categorias, como mudanças climáticas, depleção da camada de ozônio, acidificação, eutrofização, entre outras. Os resultados podem ser apresentados em termos de pegadas ambientais ou indicadores específicos;

- **Interpretação dos resultados:** nesta última fase, os resultados da avaliação são analisados e interpretados à luz dos objetivos definidos na primeira fase. Avaliam-se as incertezas associadas aos resultados e identificam-se as principais fontes de impacto ao longo do ciclo de vida. Também é possível realizar análises de sensibilidade e identificar oportunidades de melhoria para reduzir os impactos ambientais.

Na Figura 16, estão ilustradas as relações entre as fases de estudo de uma ACV.

**Figura 16:** Fases de uma ACV



Fonte: ABNT NBR ISO 14040:2009. Acesso em 23/05/2023.

A ACV pode ser utilizada para diferentes finalidades, como apoiar decisões de projeto, identificar pontos-chave para melhorias ambientais, comparar diferentes opções de produtos ou serviços e comunicar informações ambientais aos consumidores, afirma Cavenaghi (2015).

De acordo com Tavares (2006), devido à complexidade envolvida no estudo de uma ACV e à diversidade de impactos a serem mensurados, muitos estudos têm se concentrado principalmente na mensuração do Aquecimento Global e da Demanda de Energia Acumulada. Diante disso, optou-se por trabalhar com as duas categorias de impacto:

- **Aquecimento Global:** na categoria *global warming*, ou aquecimento global, são consideradas as emissões de poluentes que contribuem para o aumento da temperatura global. Esses poluentes incluem gases como CO<sub>2</sub>, hidrocarbonetos e NO<sub>x</sub>, que, ao serem quantificados, resultam no chamado CO<sub>2</sub> equivalente. Conforme o Ministério do Meio Ambiente (2012), o dióxido de carbono equivalente é calculado multiplicando-se a quantidade de gases de efeito estufa (GEE) emitidos pelo seu respectivo potencial de aquecimento global. Esse impacto ambiental é um dos mais relevantes na construção civil, setor que, segundo Pedrosa (2015), é

responsável por aproximadamente 30% das emissões globais de CO<sub>2</sub> (apud Di Domênico; Ribeiro e Silva). Nesta categoria, utilizou-se como metodologia de cálculo o método ReCipe, o qual evoluiu a partir dos métodos Eco-indicador 99 e CML 2000 e considera diversas categorias de impacto, como mudança climática, depleção de ozônio, acidificação, eutrofização, toxicidade humana, formação de oxidantes fotoquímicos, ecotoxicidade, radiação ionizante, uso do solo e esgotamento de recursos naturais (Joint Research Centre, 2010; Goedkoop *et al.*, 2009, apud Mendes; Bueno e Ometto).

- **Demanda de Energia Acumulada:** o método *Cumulative Energy Demand* (CED), ou demanda de energia acumulada, é um indicador amplamente empregado para avaliar a eficiência energética e servir como critério de triagem para impactos ambientais em processos. Ele é utilizado em estudos de ACV para comparar a demanda de energia primária entre diferentes sistemas (Guanais; Cohim e Medeiros, 2017). O método CED quantifica a energia total consumida ao longo do ciclo de vida de um bem ou serviço, abrangendo tanto o uso direto quanto a energia incorporada nos processos produtivos. Desenvolvido com base no estudo de Jungbluth e Frischknecht (2007), ele classifica o consumo energético em cinco categorias: não renovável fóssil, não renovável nuclear, renovável biomassa, renovável (eólica, solar e geotérmica) e renovável hídrica (European Commission, 2010).

### 3. METODOLOGIA

A metodologia proposta neste trabalho foi dividida nas seguintes etapas, conforme a ABNT NBR ISO 14040:2009: i) Objetivo e escopo; ii) Análise do inventário; iii) Avaliação de impacto – ACV; e iv) Interpretação dos resultados. As etapas e suas respectivas descrições são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Estrutura da metodologia

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>
<b>3.1. Objetivo e escopo</b>	Nesta etapa, foram definidos a finalidade da avaliação e os limites dos sistemas a serem estudados. O objetivo principal da pesquisa foi comparar os processos de reciclagem, descarte e de produção primária do gesso acartonado em pó e em placas, quanto ao consumo energético total e aos impactos ambientais. Para isso, foram determinados cinco cenários distintos, incluindo um cenário-base e os demais para efeito de comparação. Esses cenários foram elaborados considerando-se diferentes rotas tecnológicas e práticas de gestão de resíduos.
<b>3.2. Análise do inventário</b>	Nesta fase, foram coletadas todas as informações referentes às entradas e saídas dos processos. A partir da definição dos cenários, foi conduzido um estudo detalhado contemplando aspectos técnicos, econômicos e ambientais para selecionar os equipamentos e veículos mais adequados para cada situação. Posteriormente, foi calculado o consumo energético dos equipamentos por quilograma de material processado. Os dados de consumo energético foram obtidos a partir de fontes secundárias e complementados com informações disponíveis em literatura técnica e bases de dados ambientais.
<b>3.3. Avaliação de impacto</b>	Com base nos dados de consumo energético definidos nas etapas anteriores, foi realizada a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) dos diferentes cenários. A ACV foi conduzida conforme as diretrizes estabelecidas pelas normas ISO 14040 e ISO 14044, garantindo que a análise fosse metodologicamente robusta e comparável a estudos similares. Essa etapa contou com o auxílio do <i>software</i> OpenLCA, de domínio público, que auxiliou nos cálculos de ACV. Para esta pesquisa, optou-se por trabalhar com as categorias de impacto <i>Global Warming</i> , sendo a metodologia de cálculo o método ReCipe, e com a categoria de impacto <i>Cumulative Energy Demand</i> , sendo a metodologia de cálculo utilizada <i>Cumulative Energy Demand</i> (TAVARES, 2006; Joint Research Centre, 2010; Goedkoop <i>et al.</i> , 2009, apud Mendes; Bueno e Ometto).
<b>3.4. Interpretação dos resultados</b>	Os resultados obtidos nas análises anteriores foram interpretados e discutidos. Além disso, apresentaram-se sugestões de melhorias com base nas informações coletadas, com o intuito de identificar qual dos cenários analisados apresenta o menor e o maior impacto ambiental. Além disso, as principais etapas

	responsáveis pelo consumo energético e pela geração de GEE foram destacadas, permitindo a proposição de estratégias para reduzir o consumo de energia e minimizar os danos ambientais associados à produção e reciclagem do gesso acartonado.
<b>3.5. Modelagem dos cenários no OpenLCA</b>	Nesta etapa, foram apresentadas as premissas e considerações utilizadas para a modelagem dos cenários no <i>software</i> OpenLCA.

Fonte: Elaboração própria (2025).

### 3.1. Objetivo e Escopo

Neste estudo, foram estabelecidos cinco cenários para análise: **a) Cenário 1 - Referência:** corresponde ao fluxograma da produção convencional das placas de gesso acartonado; **b) Cenário 2:** descarte direto em aterro; **c) Cenário 3:** reciclagem para produção de novas placas (processo via úmida), **d) Cenário 4:** reciclagem para produção de gesso em pó (processo via seca); **e) Cenário 5:** cenário adicional que avalia a produção convencional do gesso em pó.

**Cenário 1 - Referência:** representou-se o processo convencional de produção das placas de gesso acartonado, incluindo a extração da matéria-prima, processamento, conformação das placas e distribuição. O Cenário 1 - Referência foi desenvolvido com base no trabalho titulado “Comparação entre materiais da construção civil através da avaliação do ciclo de vida: sistema *drywall* e alvenaria de vedação”, desenvolvido pela pesquisadora Karina de Macedo Soares Pires Condeixa (2013). Em uma das etapas da pesquisa, a autora desenvolveu um fluxograma de produção, uso e descarte de gesso acartonado, tomando como material principal o gesso acartonado.

**Cenário 2 - Descarte Direto em Aterro:** simulou-se a destinação final do gesso acartonado sem qualquer reaproveitamento, avaliando os impactos ambientais associados à disposição inadequada do material em um aterro controlado.

**Cenário 3 - Reciclagem para Produção de Novas Placas (Processo Via Úmida):** analisou-se a viabilidade da reciclagem do gesso acartonado para a produção de novas placas, considerando as etapas de separação, trituração, tratamento e reintrodução do material no processo produtivo. Neste cenário, considerou-se a via úmida como as etapas de aditivos necessários à produção do gesso acartonado.

**Cenário 4 - Reciclagem para Produção de Gesso em Pó (Processo Via Seca):** avaliou-se a conversão do gesso acartonado descartado em gesso em pó por meio de um processo seco, possibilitando sua reutilização em aplicações industriais, na construção civil ou

agricultura. Ressalta-se que a utilização na agricultura exige testes de toxicidade e respectiva caracterização.

**Cenário 5 - Produção Convencional do Gesso em Pó:** neste cenário, examinou-se o processo tradicional de fabricação do gesso em pó a partir da extração da gipsita e calcinação, permitindo uma comparação direta com a reciclagem do material.

Com base nestes cenários, passou-se a coleta de informações referentes às entradas e saídas do processo. Estas informações serão descritas na Análise de Inventário.

### 3.2. Análise de Inventário

A Análise de Inventário consistiu na coleta e organização sistemática de dados, referentes a equipamentos e processos, relacionados às entradas e saídas de cada processo ao longo dos cenários propostos para a análise de ciclo de vida do gesso acartonado. Para garantir a confiabilidade dos resultados, a metodologia utilizada seguiu as diretrizes das normas ISO 14040 e ISO 14044.

A partir da definição dos cenários, foi conduzido um estudo detalhado contemplando aspectos técnicos, tais como: i) Consumo de insumos (água, energia, combustível, entre outros parâmetros) e ii) Consumo energético dos equipamentos (kWh/kg de material beneficiado). Os seguintes passos foram adotados na análise:

1. **Identificação das entradas e saídas do sistema:** foram mapeadas todas as matérias-primas, consumo energético, insumos auxiliares, geração de resíduos, reciclagem e descarte do gesso acartonado;

2. **Coleta de dados primários e secundários:** os dados de consumo energético foram obtidos a partir de fontes primárias e secundárias, complementados com informações disponíveis na literatura técnica e bases de dados ambientais. Os arquivos técnicos fornecidos pelos fabricantes de cada equipamento foram considerados como fontes primárias, enquanto os dados extraídos de banco de dados foram classificados como fontes secundárias. A base de dados utilizada neste estudo foi a do Ecoinvent 3.8® (Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016).

3. **Cálculo do consumo energético:** para cada cenário, foi estimado o consumo energético dos equipamentos, em kWh, utilizado por quilograma de material processado, considerando fatores como eficiência energética e tempo de operação.

Com os cenários e o inventário estruturado, passou-se à modelagem dos fluxos de materiais e energia e ao processamento dos dados com o auxílio do *software* livre OpenLCA®,

que permite o cálculo detalhado dos impactos ambientais associados a cada cenário. Esta etapa será discutida na sequência.

### 3.3. Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) dos diferentes cenários foi realizada com base nos dados de consumo energético definidos nas etapas anteriores. Para essa fase, utilizou-se o *software* OpenLCA<sup>®</sup>, de domínio público, que auxiliou nos cálculos da ACV. Esse programa permitiu a modelagem dos processos e a quantificação dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos produtos. Além disso, para a obtenção dos dados de inventário, foi utilizado o banco de dados Ecoinvent 3.8<sup>®</sup>, que forneceu informações detalhadas sobre os fluxos de materiais e energia envolvidos em cada etapa do ciclo de vida do gesso acartonado.

Para isso, consideraram-se duas categorias principais de impacto:

**i) Aquecimento Global:** avaliou-se a emissão de gases de efeito estufa (GEE) associada à produção e ao descarte do gesso acartonado, considerando seu impacto ambiental.

**ii) Demanda de Energia:** a análise da demanda energética permitiu identificar os processos mais intensivos em consumo de energia e propor alternativas para a otimização do uso de recursos energéticos, promovendo maior eficiência nos sistemas de produção e reciclagem.

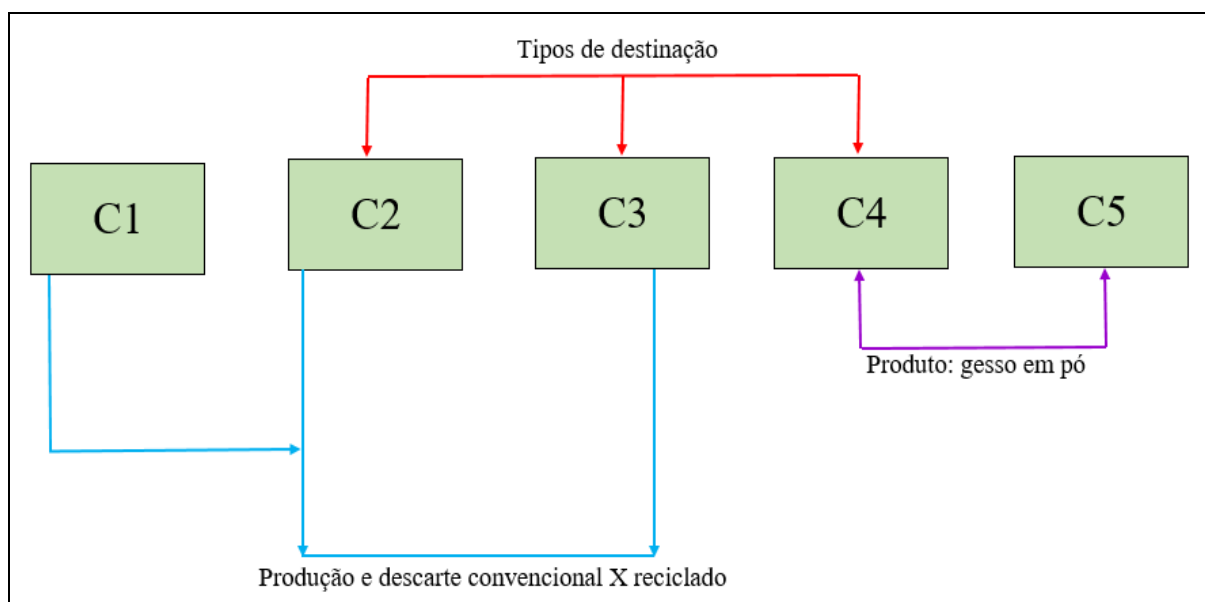
### 3.4. Interpretação dos resultados

A etapa de interpretação dos resultados teve como objetivo analisar criticamente os impactos ambientais gerados nos diferentes cenários avaliados e identificar oportunidades para a redução deles.

Os resultados foram discutidos considerando-se a relevância ambiental de cada categoria. A comparação entre os cenários permitiu destacar as principais etapas responsáveis pelo maior consumo energético e emissão de GEE, possibilitando compreender os impactos de cada processo.

Diante dos cenários definidos, foram realizadas comparações levando em conta diferentes opções de produção e de descarte das placas de gesso acartonado e de produção de gesso em pó, conforme Figura 17.

**Figura 17:** Lógica de comparação e interpretação de resultados



Fonte: Elaboração própria (2025)

Sendo: C1 - Cenário Referência; C2 - Descarte direto em aterro; C3 - Reciclagem para produção de novas placas (processo via úmida); C4 - Reciclagem para produção de gesso em pó (processo via seca); C5 - Cenário adicional que avalia a produção convencional do gesso em pó.

Foram realizadas as seguintes comparações entre os cenários:

- **Comparação 1:** comparação entre os cenários de destinação final das placas de gesso acartonado (Cenários 2, 3 e 4);
- **Comparação 2:** comparação entre a produção de gesso em pó a partir de resíduos de placas de gesso acartonado (Cenário 4) e a produção utilizando gipsita como matéria-prima (Cenário 5);
- **Comparação 3:** comparação entre a produção e o descarte convencional das placas de gesso acartonado (cenário 1 + cenário 2) e o cenário de reciclagem das placas (cenário 3).

### 3.5. Modelagem dos cenários no OpenLCA

A modelagem dos cenários foi realizada utilizando-se o *software* OpenLCA, em conjunto com o banco de dados Ecoinvent 3.8, permitindo a quantificação dos impactos ambientais associados a cada rota de gestão do gesso acartonado. Na sequência, serão apresentadas as considerações necessárias para cada cenário.

### **3.5.1. Cenário 1 - Referência**

A modelagem do Cenário 1 no OpenLCA foi estruturada com a gipsita definida como a principal entrada do processo. Informações sobre este mineral estavam disponíveis no banco de dados Ecoinvent 3.8®, o que permitiu uma modelagem mais precisa e realista. A escolha desse material garantiu que os impactos ambientais associados à sua extração e beneficiamento fossem devidamente considerados na análise de ciclo de vida.

Também foram incorporadas as entradas e saídas específicas de cada etapa do fluxograma, assegurando uma representação fiel do processo produtivo. Alguns materiais utilizados na produção do gesso acartonado não estavam diretamente disponíveis no banco de dados (aditivos e papelão). Neste caso, optou-se por materiais equivalentes com composição semelhante, garantindo que o modelo refletisse, da forma mais precisa possível, a composição real das placas analisadas.

O consumo de energia foi um parâmetro crítico na modelagem, sendo considerado em kWh para cada processo produtivo. Para isso, utilizou-se a matriz energética do Brasil (Região Sudeste), conforme disponível no Ecoinvent 3.8®, possibilitando um cálculo mais representativo dos impactos ambientais associados ao uso de eletricidade no País.

O fluxograma criado no OpenLCA para o Cenário 1 – Referência está apresentado no APÊNDICE A, onde são descritas as etapas do processo e as principais entradas e saídas de materiais e energia.

### **3.5.2. Cenário 2 - Descarte Direto em Aterro**

A modelagem do Cenário 2 no OpenLCA foi baseada na etapa de transporte do resíduo até o aterro, considerando um processo já disponível no banco de dados Ecoinvent 3.8®.

O modelo inclui todas as etapas associadas ao tratamento do resíduo no aterro, abrangendo desde a disposição final até os impactos ambientais decorrentes da decomposição do material, incluindo possíveis emissões atmosféricas geradas ao longo do tempo. Essa abordagem permite avaliar de forma abrangente os impactos ambientais desse cenário, garantindo que as emissões e o consumo de energia relacionados ao descarte sejam corretamente quantificados.

O fluxograma criado no OpenLCA para o Cenário 2 está disponível no APÊNDICE B, onde são descritos as entradas e saídas do sistema e os parâmetros de consumo energético.

### **3.5.3. Cenário 3 - Reciclagem para Produção de Novas Placas (Processo Via Úmida)**

A modelagem do Cenário 3 no OpenLCA foi estruturada considerando-se a placa de gesso acartonado como material de entrada no processo. Diferentemente do Cenário 1, neste caso, os componentes individuais da placa, como aditivos e papelão, não foram, de início, analisados separadamente, pois o foco da modelagem está no resíduo já descartado. Dessa forma, a placa foi inserida no sistema levando-se em conta seu estado final de descarte, sem segmentação detalhada dos materiais que a compõem.

A separação dos elementos individuais foi realizada apenas na etapa de mistura, em que os aditivos e o papelão são incorporados ao processo. O objetivo principal desta modelagem foi avaliar a viabilidade da reciclagem do gesso acartonado, buscando alternativas sustentáveis para evitar o descarte direto em aterro e promover sua reintegração na economia através da reutilização do material na fabricação de novas placas.

Ressalta-se que, para cada etapa do processo, foram quantificados os consumos energéticos (kWh) e as massas (kg) das entradas e saídas, permitindo uma análise precisa do impacto energético e ambiental do cenário. Além disso, como parte do modelo, foi incluída uma etapa de descarte de resíduos em aterro, especificamente para fibras de vidro e papelão, materiais que não são reintegrados ao ciclo produtivo. Para essa operação, empregou-se um processo já existente no banco de dados Ecoinvent 3.8®, assegurando a fidelidade aos impactos ambientais associados ao descarte desses resíduos.

O fluxograma criado no OpenLCA para o Cenário 3 está apresentado no APÊNDICE C, onde são descritos os parâmetros de entrada e saída e os consumos energéticos.

### **3.5.4. Cenário 4 - Reciclagem para Produção de Gesso em Pó (Processo Via Seca)**

A modelagem do Cenário 4 no OpenLCA seguiu uma abordagem semelhante à adotada no Cenário 3. No entanto, diferentemente desse cenário, não houve a necessidade de adicionar novos elementos ao processo, uma vez que a reciclagem via seca não demanda a incorporação de aditivos ou papelão. O material de entrada no sistema consistiu exclusivamente de placas de gesso acartonado descartadas, sem a separação detalhada de seus componentes individuais.

A modelagem foi estruturada para capturar todas as etapas do processamento do gesso descartado, garantindo a quantificação precisa do consumo energético e da massa de insumos e produtos resultantes. Para cada fase do processo, foram registrados os valores de

consumo energético (kWh) e a massa (kg) dos materiais envolvidos, permitindo uma análise detalhada dos impactos ambientais e da eficiência do cenário.

O fluxograma criado no OpenLCA para o Cenário 4 está disponível no APÊNDICE D, onde são apresentados os parâmetros energéticos e materiais do sistema.

### **3.5.5. Cenário 5 - Produção Convencional do Gesso em Pó**

A modelagem do Cenário 5 no OpenLCA foi desenvolvida considerando-se a gipsita como material de entrada, seguindo as mesmas etapas de processamento descritas no Cenário 1. Esse processo não incluiu a conformação do gesso em novas placas, sendo finalizado na etapa de distribuição do gesso em pó.

Portanto, todas as fases anteriores, como extração, beneficiamento e calcinação, foram mantidas, garantindo a rastreabilidade completa dos impactos ambientais e do consumo energético ao longo do ciclo de vida do material. Dessa forma, a modelagem permitiu a quantificação precisa do consumo energético total, até o ponto em que o gesso estivesse pronto para ser comercializado em sua forma pulverizada.

A estrutura detalhada da modelagem desenvolvida no OpenLCA para o Cenário 5 está disponível no APÊNDICE E, onde são descritos os parâmetros energéticos e as informações relacionadas às entradas e saídas do processo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Cenários

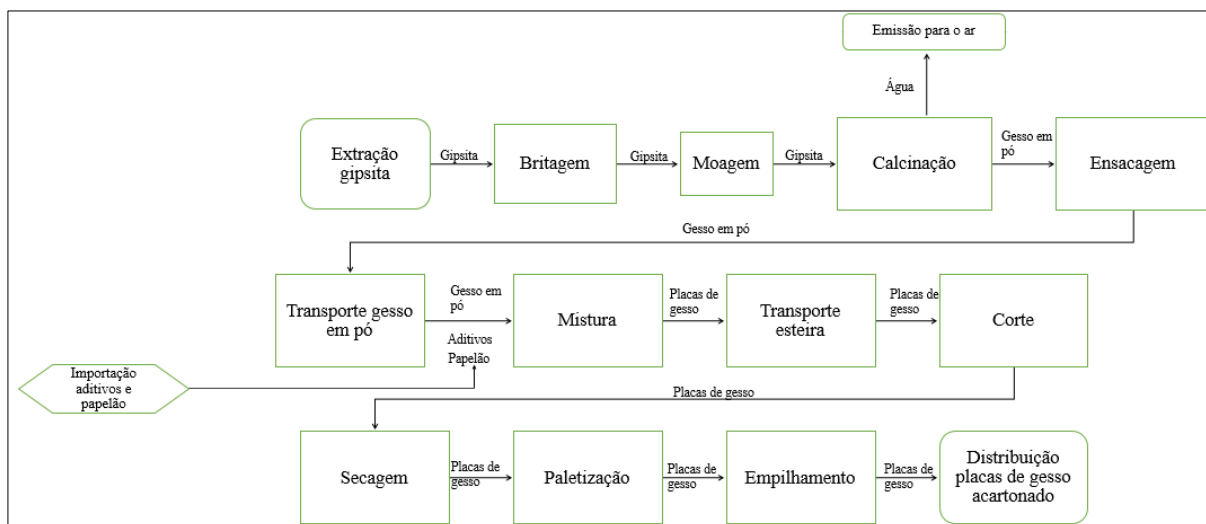
#### 4.1.1. Cenário 1 - Referência

O primeiro cenário desenvolvido corresponde ao fluxograma da produção convencional das placas de gesso acartonado.

Este cenário foi desenvolvido com base no trabalho titulado “Comparação entre materiais da construção civil através da avaliação do ciclo de vida: sistema *drywall* e alvenaria de vedação”, desenvolvido pela pesquisadora Karina de Macedo Soares Pires Condeixa (2013). Em uma das etapas da pesquisa, a autora desenvolve um fluxograma de produção, uso e descarte de *drywall*, tomando como material principal o gesso acartonado.

Este cenário foi dividido em três fases principais: i) 1ª - Beneficiamento da matéria-prima: envolve desde a extração até o transporte da gipsita, elemento principal na produção do gesso acartonado; ii) 2ª - Importação de papel-cartão e aditivos: essa etapa descreve o processo de importação dos elementos papel-cartão e demais aditivos; iii) 3ª - Produção das placas de gesso acartonado: com os materiais descritos nas etapas anteriores, a terceira fase envolve os processos de produção das placas de gesso acartonado, que vão da fase de mistura até a fase de distribuição das placas. Na Figura 18, é exposto o fluxograma esquemático do **Cenário 1 Referência**:

Figura 18: Fluxograma esquemático do Cenário 1 Referência



Fonte: Elaboração própria (2025)

O processo inicia-se na extração da gipsita, matéria-prima do gesso. Em seguida, a gipsita extraída passa pela etapa de britagem, onde é fragmentada em pedaços menores para facilitar as fases subsequentes. Após isso, o material é encaminhado para a moagem, reduzindo o tamanho das partículas para que a gipsita se transforme em um pó fino. Logo depois, ocorre a calcinação, que consiste no aquecimento controlado da gipsita para remover água e transformá-la em gesso. Em seguida, o gesso é levado para a ensacadeira, onde é embalado para transporte.

Na sequência, o gesso em pó é transportado até o misturador, no qual são adicionados papelão e aditivos para formar as placas de gesso acartonado. Após a mistura, o material é encaminhado para o cortador, onde as placas são cortadas no tamanho desejado.

Após o corte, as placas passam por uma segunda etapa de secagem, que garante que estejam secas e prontas para o uso. As placas secas são, então, organizadas e agrupadas no paletizador, que as prepara para o transporte. Em seguida, uma empilhadeira organiza os paletes para que sejam distribuídos. Por fim, o material é encaminhado para distribuição, completando o ciclo de produção.

#### 4.1.2. Cenário 2 - Descarte Direto em Aterro

Este cenário corresponde à situação em que as placas de gesso acartonado são descartadas diretamente em um aterro sanitário, sem a realização de qualquer tipo de tratamento prévio, conforme descrito na Figura 19.

**Figura 19:** Fluxograma esquemático do Cenário 2 Descarte Direto em Aterro

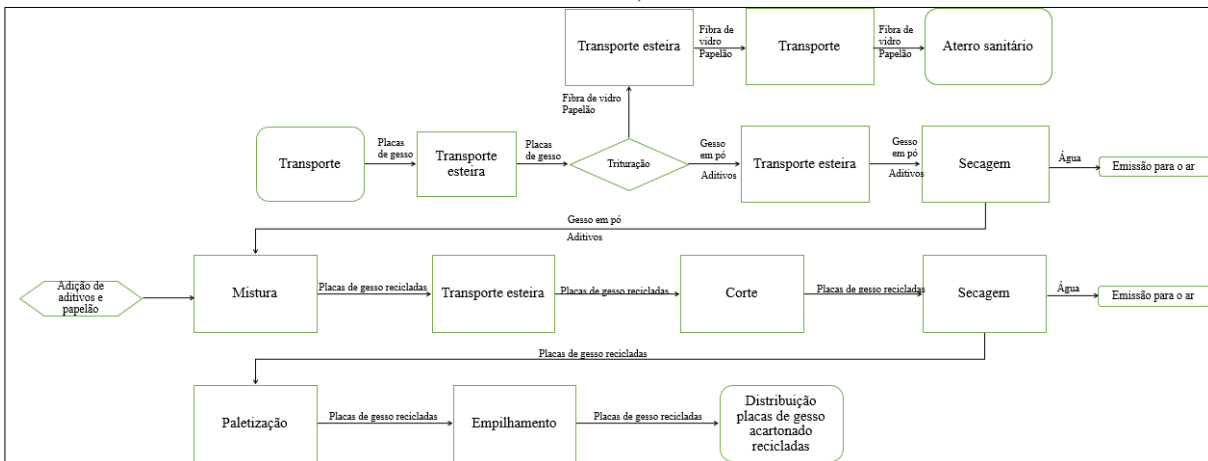


Fonte: Elaboração própria (2025)

#### 4.1.3. Cenário 3 - Reciclagem para Produção de Novas Placas (Processo Via Úmida)

Este cenário representa uma alternativa de reciclagem para as placas de gesso acartonado. Nessa situação, os resíduos de placas de gesso acartonado são utilizados como material de entrada, resultando na obtenção de novas placas recicladas como saída. Na Figura 20, é apresentado o fluxograma esquemático do **Cenário 3 Reciclagem para Produção de Novas Placas (Processo Via Úmida)**.

**Figura 20:** Fluxograma esquemático do Cenário 3 Reciclagem para Produção de Novas Placas (Processo Via Úmida)



Fonte: Elaboração própria (2025)

Inicialmente, as placas de gesso acartonado que seriam descartadas são transportadas e movidas pela esteira até o triturador, onde o material é fragmentado. Durante a trituração, são separados materiais como fibra de vidro e papelão, que seguem por uma outra esteira para a fase de transporte até o aterro sanitário, onde são descartados.

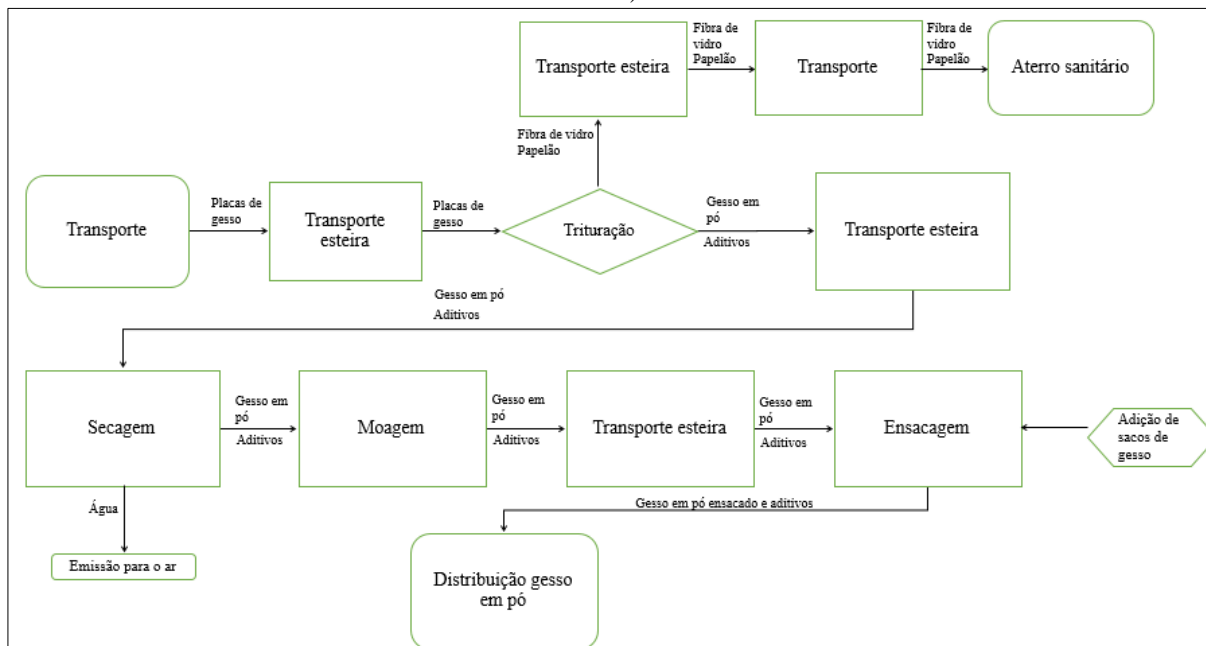
Enquanto isso, o gesso fragmentado segue por uma outra esteira para o secador, onde a umidade é removida e, em seguida, passa para o misturador, no qual são adicionados aditivos e papel-cartão. Após a inserção do papelão e dos aditivos, o material passa para o cortador, para dar o formato adequado às novas placas.

Na sequência, as placas recém-formadas são novamente secas em uma segunda etapa de secagem, para remover qualquer tipo de umidade excessiva. Depois, seguem para o paletizador, onde são organizadas em paletes para facilitar no transporte. As placas empilhadas são, então, movidas por uma empilhadeira e encaminhadas para a distribuição, voltando ao mercado como placas de gesso acartonado prontas para uso na construção civil.

#### 4.1.4. Cenário 4 - Reciclagem para Produção de Gesso em Pó (Processo Via Seca)

Nesse cenário, os resíduos de placas de gesso acartonado são reciclados com o objetivo de se obter gesso em pó. Como resíduos desse processo, o papelão e a fibra de vidro são gerados e direcionados ao aterro sanitário. Na Figura 21, é descrito o fluxograma esquemático do **Cenário 4 Reciclagem para Produção de Gesso em Pó (Processo Via Seca)**:

**Figura 21:** Fluxograma esquemático do Cenário 4 Reciclagem para Produção de Gesso em Pó (Processo Via Seca)



Fonte: Elaboração própria (2025)

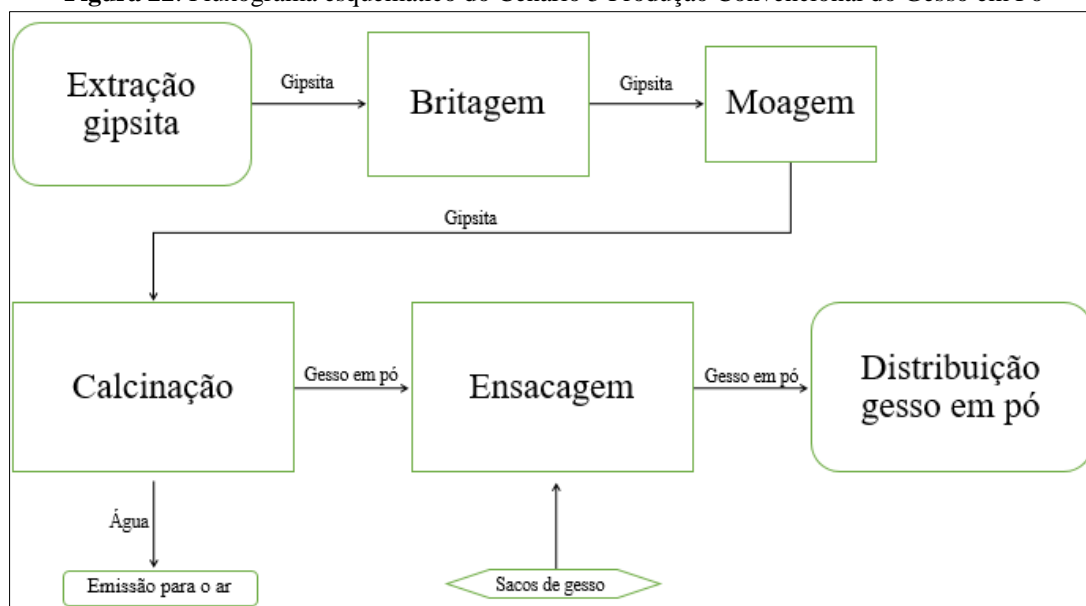
Nesta situação, inicialmente, as placas são transportadas até a unidade de trituração, onde são fragmentadas e separadas, tendo como produto o gesso e, como resíduos, a fibra de vidro e o papelão. Esses dois últimos materiais seguem para o aterro sanitário, enquanto o gesso é movido por uma esteira até a etapa de secagem, que remove a umidade do material.

Em seguida, o gesso seco é encaminhado para um moinho de rolos, onde é moído até se transformar em um pó fino. Após a moagem, o gesso em pó é transportado para a etapa de ensacamento e, posteriormente, é preparado para a distribuição comercial.

#### 4.1.5. Cenário 5 - Produção Convencional do Gesso em Pó

Neste cenário, são descritas as etapas do processo convencional de produção de gesso em pó, com a finalidade de comparar com o cenário que utiliza resíduos de placas de gesso acartonado para a fabricação do gesso em pó. Na Figura 22, apresenta-se o fluxograma esquemático do **Cenário 5 Produção Convencional do Gesso em Pó**.

**Figura 22:** Fluxograma esquemático do Cenário 5 Produção Convencional do Gesso em Pó



Fonte: Elaboração própria (2025)

Primeiramente, ocorre a extração da gipsita, em que o material bruto é retirado de minas. Após essa etapa, a gipsita extraída é enviada para a britagem, que reduz o tamanho do material em pedaços menores e mais uniformes, adequados para o processamento subsequente. Em seguida, o material britado passa por uma moagem, que transforma a gipsita em partículas mais finas.

Após a moagem, o pó resultante segue para o processo de calcinação, que consiste em aquecer a gipsita em temperaturas controladas para remover a umidade e o excesso de água presente no mineral, convertendo-o em gesso. Esse gesso calcinado é, então, direcionado para a ensacadeira, onde o material é embalado. Por fim, o produto final, o gesso em pó, é encaminhado para distribuição, pronto para ser comercializado e utilizado em diferentes aplicações. Este processo, desde a extração até a distribuição, reflete o ciclo de produção tradicional do gesso a partir da gipsita.

Todos os cenários foram apresentados com o objetivo de descrever processos que estão mais próximos da realidade do setor de reciclagem, de descarte e de produção das placas de gesso acartonado. É importante ressaltar que alguns cenários podem sofrer alterações em algumas etapas, dependendo da empresa ou da região em que o material está sendo utilizado. Isso ocorre pelo fato de que é possível realizar os processos de reciclagem, de descarte e de produção das placas de gesso acartonado de diversas formas, a depender do interesse do fabricante.

## 4.2. Análise do Inventário

Para cada etapa descrita nos fluxogramas, existem diversos equipamentos disponíveis no mercado que realizam tais funções. Neste trabalho, em cada etapa, optou-se por trabalhar apenas com um tipo de equipamento, para facilitar a comparação entre os cenários. Para a escolha dos equipamentos e do veículo, levaram-se em conta aspectos técnicos, econômicos e ambientais, assegurando, desse modo, que os equipamentos selecionados atendessem às necessidades do estudo e fossem apropriados para as operações específicas de reciclagem e/ou produção de gesso acartonado.

### 4.2.1. Equipamentos

Nos próximos tópicos, serão descritos os equipamentos e o veículo selecionados e os motivos que justificaram a escolha de cada um.

#### 4.2.1.1 Transporte (caminhão)

Para as etapas que envolvem transporte, foi escolhido um veículo tipo caminhão-caçamba basculante convencional, modelo Delivery 11.180, da marca Volkswagen. O caminhão escolhido possui uma capacidade máxima de 6,5 toneladas e um consumo médio de combustível de 6,2 km por litro.

De acordo com o Sinduscon (2012), caminhões equipados com poliguindaste ou caçamba basculante, desde que cobertos com lona, são amplamente utilizados para o transporte de resíduos, os quais podem incluir blocos de concreto, componentes cerâmicos, argamassas, concretos, gesso de revestimento, placas acartonadas e outros artefatos.

Na Figura 23, está um exemplo do veículo que atende à respectiva demanda:

**Figura 23:** Caminhão-caçamba basculante.



Fonte: SB Veículos – Caminhões de utilitários (2024).

#### 4.2.1.2 Secagem

Para as etapas relacionadas à secagem dos materiais, foi considerado um secador de tambor rotativo, fornecido pela empresa Zhengzhou Hengxing Equipamentos Pesados Co., LTDA. De acordo com o fornecedor, este equipamento é utilizado para a secagem de materiais de construção, de metalurgia ou químicos. Entre as vantagens, estão a alta eficiência e o baixo consumo de energia, em comparação com secadores similares.

O modelo escolhido foi o Ø0.6x8, com capacidade de 2,26 m<sup>3</sup> e potência de 4 kW, pesando aproximadamente 5,1 toneladas. Este equipamento foi selecionado devido à sua adequação para analisar os cenários, os quais envolviam 1 tonelada de gesso acartonado, atendendo perfeitamente às necessidades do estudo.

Na Figura 24, está representado o modelo de secador utilizado na pesquisa:

**Figura 24:** Secador de tambor rotativo.



Fonte: Zhengzhou Hengxing Equipamentos Pesados Co., LTDA. (2024).

#### 4.2.1.3 Ensacamento

Para a etapa de empacotamento, foi adotada uma ensacadeira fornecida pela empresa Indumak. O modelo escolhido foi a KSP, que, de acordo com o fornecedor, é indicada para produtos mais pesados, dotada de uma câmara de armazenamento menor. O equipamento possui capacidade variando entre 9 e 12 toneladas por hora e potência de 7,5 cv, com peso de aproximadamente 580 kg. Conforme o fornecedor, essa ensacadeira é versátil e pode ser utilizada em diversos segmentos, como sementes, fertilizantes, ração, nutrição animal e construção civil. Entre os diferenciais deste equipamento, estão a alta produção e o baixo custo

de manutenção, além da capacidade de ensacar quase todos os tipos de produtos. É adequada para produtos granulados, paletizados, sementes, farelados, pó, entre outros.

Como os cenários do estudo envolviam o empacotamento de materiais em pó, a ensacadeira selecionada se mostrou perfeitamente adequada para as necessidades do projeto.

A Figura 25 mostra o modelo de ensacadeira utilizado no estudo:

**Figura 25:** Ensacadeira



Fonte: Indumak (2024).

#### **4.2.1.4 Mistura**

Para realizar a homogeneização dos materiais, foi considerado um misturador com capacidade de 2 m<sup>3</sup> por hora e potência de 2 kW, fornecido pela empresa WAMGROUP. Segundo o fornecedor, esse equipamento é amplamente utilizado em diversas indústrias, incluindo a alimentícia, de plásticos, de lama, de cal, de produtos a granel, do papel e de reciclagem. Ele é adequado para processar uma variedade de produtos, como misturas de líquido-sólido, pós, granulados e biogás.

Devido às suas características gerais e à capacidade de atender às demandas específicas dos cenários, optou-se por este equipamento.

A Figura 26 apresenta o misturador adotado:

**Figura 26:** Misturador



Fonte: WAMGROUP (2024).

#### **4.2.1.5 Peneiramento**

Para as fases de peneiramento, considerou-se a utilização de uma peneira vibratória modelo GSC 450, fornecida pela empresa Palamatic Process, com capacidade de 1,5 tonelada por hora e potência de 0,5 kW. As vantagens deste equipamento incluem facilidade de limpeza, montagem e desmontagem simplificadas. Segundo o fornecedor, as peneiras podem ser instaladas tanto em uma linha de transferência pneumática quanto em modo de gravidade; além disso, podem ser facilmente instaladas em uma linha de produção nova ou existente.

A capacidade de 1,5 tonelada por hora foi ideal para os cenários analisados nesta pesquisa, uma vez que os estudos envolvem unidades de 1 tonelada de gesso acartonado.

A Figura 27 demonstra o equipamento utilizado:

**Figura 27:** Peneira vibratória



Fonte: Palamatic Process (2024).

#### **4.2.1.6 Moagem**

Para a moagem dos materiais, optou-se por um moedor tipo moinho de rolos, modelo NTB-800C, fornecido pela empresa NATREB, com capacidade de 40 toneladas por

hora e potência de 40 cv, tendo aproximadamente 5,1 toneladas. Segundo o fornecedor, este equipamento se destaca pela alta produção com baixo consumo de energia. Possui dois cilindros com folga ajustável entre si, sendo um cilindro liso, com rotação dosadora, que serve como parede de impacto, e outro cilindro de facas, com rotação elevada, para romper os minerais por impacto e cisalhamento.

Assim como na etapa de secagem, é importante ressaltar que o tempo necessário na etapa de moagem varia de acordo com o objetivo desejado, ou seja, obter partículas mais finas ou mais grossas. Na Figura 28, está representado o moedor utilizado:

**Figura 28:** Moinho de rolos



Fonte: NATREB (2024).

#### **4.2.1.7 Transporte (esteira)**

Para a fase de transporte por meio de esteira, foi escolhida uma esteira transportadora modelo ER15, fabricada e distribuída pela empresa Demakine, com capacidade de 70 kg por metro e potência de 4 cv, sendo este equipamento amplamente utilizado na indústria de resíduos sólidos, conforme informações do fornecedor.

Este equipamento é fabricado com barras de aço SAE 1020, uma estrutura leve e resistente. Além disso, possui motor redutor blindado na tração da correia, sendo a lona transportadora lisa emborrachada. Também conta com sistema de reversão de correia que possibilita que a esteira seja usada para carga ou descarga, de acordo com o fabricante. Na Figura 29, está exposta a esteira utilizada:

**Figura 29:** Esteira transportadora



Fonte: Demakine (2024).

#### **4.2.1.8 Britagem**

Para realizar a britagem, escolheu-se uma britadeira modelo BI-ODM 0503, fornecida pela empresa ODEBRAZ, com capacidade de 7 toneladas por hora e motor de 15 cv, com peso de aproximadamente 1785 kg.

Para este trabalho, o equipamento atendeu à quantidade do material descrita nos cenários. Entre as vantagens do equipamento destacadas pelo fornecedor, podem-se citar o ótimo desempenho na britagem de materiais como entulho de construção, calcário, argila, cal, bauxita, gipsita, entre outros. Além disso, também possui elevado grau de redução, fácil retirada das barras para manutenção e sistema de regulagem de abertura/fechamento simples. Na Figura 30, pode ser visualizado o modelo de britadeira utilizado:

**Figura 30:** Britadeira



Fonte: ODEBRAZ (2024).

#### **4.2.1.9 Calcinação**

Para a etapa de calcinação, considerando-se a complexidade envolvida na escolha do calcinador, optou-se por adotar um valor de consumo energético obtido a partir de dados

consolidados em pesquisas anteriores<sup>2</sup>. O calcinador adotado é um tipo de forno rotativo, visto que, segundo Daniel Júnior *et al.* (2018), os processos de calcinação ocorrem, em sua maioria, em fornos industriais do tipo rotativo.

#### 4.2.1.10 Processo de corte

Nas fases de corte, utilizou-se nos cálculos um cortador fornecido pela empresa ROBOTEC CNC, modelo RTP-2051, com capacidade de corte de 8 metros por minuto, tensão de entrada igual a 380 volts e corrente igual a 50 amperes. Segundo o fornecedor, as espessuras de processamento variam entre 0,5 e 22 mm.

Para este cálculo, considerou-se que o peso total das placas a serem cortadas era de 1000 kg e que cada placa pesava aproximadamente 18 kg. De acordo com o fornecedor de placas *drywall* Artesana Drywall (2024), uma placa do tipo padrão possui dimensões de 12,5x1200x1800 mm. Sendo assim, 1 tonelada é igual a 56 placas, cada uma possuindo um total de 3 metros de corte. Na Figura 31, está exposto o cortador utilizado:

**Figura 31:** Cortador



Fonte: ROBOTEC CNC (2024).

#### 4.2.1.11 Paletização

Para a presente pesquisa, foi utilizada uma paleteira do tipo manual, modelo PTH 50 padrão, disponibilizada pela empresa CROWN. Este equipamento possui capacidade de até

---

<sup>2</sup> Para a definição do valor de consumo energético na etapa de calcinação, foram utilizados como referência os seguintes estudos: o trabalho intitulado “Estudo numérico do processo de calcinação da gipsita em fornos rotativos com aquecimento indireto a óleo”, desenvolvido por José Junio Urbano (2013); a pesquisa “Estudo de um processo de combustão de gás totalflex para calcinação da gipsita em regiões remotas”, de Marcelo Eduardo Alves Olinda de Souza (2006); e o estudo “Calcinação”, elaborado por Antonio Rodrigues de Campos, Adão Benvindo da Luz, Flávia de Freitas Bastos e Igor Nogueira (2018).

2300 kg. De acordo com o fornecedor, a série PTH de paleteiras apresenta um desempenho duradouro devido ao uso generoso de aço, principalmente em pontos de tensão críticos. Além disso, a paleteira usa pinos e eixos amarelos cromados anticorrosão e pistões com tratamento de cromagem dura para minimizar ferrugem. O *design* e o posicionamento da alavanca de controle minimizam o cansaço do operador e melhoram a produtividade.

Escolheu-se este equipamento devido ao fato de que a paleteira manual atendia adequadamente aos cenários descritos na pesquisa.

Uma das vantagens de se utilizar a paleteira manual é que seu gasto energético é igual a zero, o que significa que não foi necessário contabilizar qualquer consumo de energia para este equipamento. A paleteira adotada possui diversas vantagens, segundo o fornecedor. Entre elas, a longa duração se destaca como a principal, garantindo a eficiência e a confiabilidade no uso prolongado do equipamento. Na Figura 32, pode ser visualizada a paleteira escolhida:

**Figura 32:** Paleteira



Fonte: CROWN (2024).

#### **4.2.1.12 Empilhamento**

Para calcular o consumo energético na fase de empilhamento, foi escolhida uma empilhadeira modelo EEP1662 AC, fornecida pela empresa Movelift. Possui consumo energético de 1,34 kWh, capacidade de 1,6 tonelada, tempo de funcionamento considerado de uma hora e elevação de 6,2 metros.

De acordo com o fornecedor, a empilhadeira se destaca por sua maior resistência a batidas e ao uso severo, garantindo durabilidade e eficiência no desempenho das tarefas. Na Figura 33, é apresentado o equipamento escolhido:

**Figura 33:** Empilhadeira



Fonte: Movelift (2024).

#### **4.2.1.13 Trituração**

Para a etapa de trituração, empregou-se um triturador modelo TE2, da marca CSM. Possui capacidade de 2 m<sup>3</sup>/h e potência igual a 3 cv. Para o cálculo de consumo energético necessário para a trituração de 1 tonelada de gesso acartonado, considerou-se a densidade do material igual a 800 kg/m<sup>3</sup>. A partir dos dados, o tempo de funcionamento necessário do triturador para realizar o processo foi de 0,625 hora.

Foi escolhido este equipamento pelo fato de ser direcionado à trituração de entulho. Segundo o fornecedor, ele pode ser utilizado, também, na própria obra, para reaproveitar os entulhos gerados, sem a necessidade de transporte dos resíduos para os aterros sanitários. Na Figura 34, está representado o triturador adotado:

**Figura 34:** Triturador



Fonte: CSM (2024).

É importante destacar que, em todos os cenários analisados, é recomendado realizar um teste de qualidade final do material. Esse procedimento é essencial para garantir que o material atenda aos padrões necessários, evitando situações indesejáveis no futuro. O teste de

qualidade final permite identificar possíveis defeitos ou inconsistências, assegurando a conformidade com as especificações técnicas e as expectativas de desempenho.

Além disso, é indispensável lembrar que as perdas relacionadas à energia dissipada nos equipamentos não foram consideradas nesta análise. A principal razão para essa exclusão é a dificuldade de se obter dados precisos sobre o rendimento dos equipamentos utilizados. A eficiência energética pode variar entre diferentes máquinas e condições operacionais, tornando complexo o cálculo exato das perdas energéticas.

Essa limitação deve ser levada em conta ao interpretar os resultados, uma vez que a energia dissipada pode impactar a eficiência total do processo. Portanto, é recomendável que, em estudos futuros, se busquem métodos para estimar ou medir com maior precisão essas perdas, a fim de se obter uma análise mais completa e detalhada do consumo energético e do desempenho dos equipamentos.

## **4.2.2 Cálculo dos consumos energéticos**

### **4.2.2.1 Considerações**

A partir dos fluxogramas desenvolvidos e do consumo energético de cada equipamento, considerando a quantidade de entrada de material igual a uma tonelada, calcularam-se o consumo energético de cada etapa e, posteriormente, o consumo energético final de cada cenário.

Para as situações, considerou-se a composição das placas de gesso acartonado, conforme o fabricante Trevo Drywall (2019), como sendo 36,01% de gesso, 29% de água, 0,1% de papelão, 20% de fibra de vidro e 14,89% referentes aos demais aditivos.

Para o cálculo do gasto energético de cada cenário, alguns dados foram adotados. Entre eles, podem ser citados:

- A porcentagem de água presente no mineral gipsita é igual a 20,90%, conforme aponta Cerqueira (2021);
- De acordo com Alves (2007), a perda de água durante os processos de secagem no gesso oriundo da matéria-prima é de, aproximadamente, 5,00%, enquanto, no gesso reciclado, é por volta de 15,00%;

- Com base no trabalho desenvolvido por Lima e Camarini (2010), o tempo de secagem adotado nos cenários é de 1 hora<sup>3</sup>. É importante destacar que o tempo de secagem dos materiais varia conforme a situação específica, dependendo da quantidade de umidade presente no material e do nível de secagem desejado. Para o estudo dos cenários, considerou-se que o secador e o calcinador funcionassem por uma hora. No entanto, é essencial lembrar que cada situação deve ser avaliada individualmente, levando em conta as particularidades de cada caso;

- Para a conversão dos valores dados em kcal para kWh, utilizou-se a conversão de 1 kcal igual a aproximadamente 0,001162 kWh, conforme indica a calculadora eletrônica<sup>4</sup>;

- Para a conversão de óleo combustível para gás natural, adotou-se o fator igual a 1,08 m<sup>3</sup>/kg, como propõe a Companhia de Gás de Minas Gerais (GASMIG);

- Além da conversão de óleo combustível para gás natural, também foi realizada a conversão do gás natural para kWh, garantindo a padronização das unidades de medida nos resultados. Para isso, foi utilizada uma calculadora eletrônica<sup>5</sup>, que determinou o valor equivalente de 1 m<sup>3</sup> de gás natural como 10,55 kWh.

#### **4.2.2.1 Consumo energético do caminhão**

Para determinar a distância média percorrida pelo caminhão durante os processos de coleta e entrega dos materiais, foi realizado um cálculo considerando como ponto de partida a praça 7 de Setembro, localizada no município de Belo Horizonte, em Minas Gerais, visto que se trata de um ponto central da cidade.

Além disso, verificaram-se as estações de reciclagem disponíveis na cidade. Atualmente, elas não recebem resíduos de gesso, pois são destinados diretamente para o aterro sanitário; no entanto, foram utilizadas como referência nos cálculos, com o objetivo de apresentar o gasto energético se elas recebessem tais materiais.

Na Tabela 2, é possível ver as estações de reciclagem disponíveis no município e seus respectivos endereços:

---

<sup>3</sup> O trabalho titulado “Influência da temperatura e do tempo de calcinação na composição do gesso reciclado (2010)”, realizado pelas pesquisadoras Karla Danielle dos Santos Lima e Gládis Camarini (2012), mostrou que o tempo mais econômico para secagem do gesso é de 1 hora.

<sup>4</sup> Calculadora disponível em <https://www.inchcalculator.com/convert/kilocalorie-to-kilowatt-hour/>

<sup>5</sup> Calculadora disponível em <https://www.calculat.org/pt/energia/consumo-de-gas/>

**Tabela 2:** Cálculo da distância percorrida pelo caminhão

<b>Estação de Reciclagem de Entulho em Belo Horizonte</b>	<b>Endereço</b>	<b>Distância percorrida pelo caminhão da praça 7 de Setembro até a Estação de Reciclagem</b>
Usina de Reciclagem de Entulho	Rua Polycarpo de Magalhães Viotti, 450, Bandeirantes (Pampulha)	11,60 km
Central de Tratamento de Resíduos Sólidos	BR-040, km 531 – Jardim Filadélfia	10,50 km
<b>Média da distância a ser utilizada nos cálculos</b>		<b>11,05 km</b>

Fonte: Arquivo próprio (2024).

A distância de coleta e distribuição utilizada nos cenários foi de 11,05 km.

Para a etapa de extração da gipsita não foi considerado o gasto energético do veículo, visto que se trata de uma distância relativamente pequena de coleta do material virgem para o galpão de beneficiamento da matéria-prima.

Para a etapa de transporte da gipsita, considerou-se como origem o polo gesseiro do Araripe, maior produtor atual de gipsita do Brasil, localizado na região de Pernambuco, e, como destino final, a cidade de Belo Horizonte, em Minas Gerais, tomando como referência a praça 7 de Setembro, totalizando uma distância igual a 1897 km.

Para a etapa de importação do papel e aditivos, não foram levados em conta os gastos referentes ao transporte marítimo dos materiais, devido à falta de informações realistas sobre os processos. Porém, o consumo referente ao transporte do porto até a cidade de produção foi considerado. De acordo com Marcondes (2007), o papel-cartão e os aditivos importados chegam no Porto de Santos, localizado no litoral do estado de São Paulo. Para o Cenário 1 Referência, esses elementos foram transportados do porto até a cidade de Belo Horizonte, em Minas Gerais, sendo considerada como referência a praça 7 de Setembro, obtendo-se uma distância igual a 653,00 km.

Em resumo, obtiveram-se os seguintes dados de entrada para o cálculo do consumo energético do caminhão, descritos na Tabela 3:

**Tabela 3:** Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de transporte (caminhão)

<b>Transporte - Caminhão</b>	
Modelo/Fornecedor	Delivery 11.180 - Volkswagen
Consumo médio	6,2 km/l
Capacidade máxima de transporte	6,5 toneladas
Distância para coleta e distribuição	11,05 km
Distância para transporte da gipsita	1897,00 km
Distância para transporte do papel-cartão e aditivos	653,00

Fonte: Arquivo próprio (2024).

#### 4.2.2.2 Consumo energético do secador

Para o cálculo do consumo energético das etapas de secagem, foram considerados os seguintes dados de entrada, apresentados na Tabela 4:

**Tabela 4:** Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de secagem

<b>Secagem – Secador de tambor rotativo</b>	
Modelo/Fornecedor	Modelo Ø0.6x8 - Zhengzhou Hengxing Equipamentos Pesados Co
Capacidade máxima	2,26 m <sup>3</sup>
Potência	4 kW
Tempo de secagem para capacidade máxima	1 hora

Fonte: Arquivo próprio (2024).

A partir dos dados de entrada, obteve-se um consumo energético do secador de tambor rotativo de 0,00221 kWh/kg.

#### 4.2.2.3 Consumo energético da ensacadeira

Para o cálculo do consumo energético relacionado à etapa de ensacamento, utilizaram-se os dados de entrada descritos na Tabela 5:

**Tabela 5:** Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de ensacamento

<b>Ensacamento - Ensacadeira</b>	
Modelo/Fornecedor	Modelo KSP - Indumak
Capacidade média	10,5 toneladas
Potência	7,5 cv
Tempo de ensacamento para capacidade média	1 hora

Fonte: Arquivo próprio (2024).

Com base nos valores de entrada, obteve-se um consumo energético da ensacadeira de 0,00053 kWh/kg.

#### 4.2.2.4 Consumo energético do misturador

Nos cálculos das etapas de mistura, utilizaram-se os seguintes dados de entrada apresentados na Tabela 6:

**Tabela 6:** Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de mistura

<b>Mistura - Misturador</b>	
Fornecedor	WAMGROUP
Capacidade máxima	2 m <sup>3</sup>
Potência	2 kW
Tempo de mistura para capacidade máxima	1 hora

Fonte: Arquivo próprio (2024).

A partir dos dados de entrada, alcançou-se um consumo energético do misturador de 0,00125 kWh/kg.

#### 4.2.2.5 Consumo energético da peneira

Para o cálculo do consumo energético das etapas de peneiramento, foram considerados os seguintes dados de entrada expostos na Tabela 7:

**Tabela 7:** Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de peneiramento

<b>Peneiramento – Peneira vibratória</b>	
Modelo/Fornecedor	Modelo GSC 450 – Palamatic Process
Capacidade máxima	1,5 toneladas
Potência	0,5 kW
Tempo de peneiramento para capacidade máxima	1 hora

Fonte: Arquivo próprio (2024).

Com base nos valores de entrada, obteve-se um consumo energético da peneira vibratória de 0,00033 kWh/kg.

#### 4.2.2.6 Consumo energético do moedor

No cálculo de consumo energético das etapas de moagem, foram levados em consideração os seguintes dados descritos na Tabela 8:

**Tabela 8:** Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de moagem

<b>Moagem – Moinho de rolos</b>	
Modelo/Fornecedor	Modelo NTB-800C - NATREB
Capacidade máxima	40 toneladas
Potência	40 cv
Tempo de moagem para capacidade máxima	1 hora

Fonte: Arquivo próprio (2024).

#### 4.2.2.7 Consumo energético da esteira

Para o cálculo do consumo energético referente às etapas de transporte pela esteira, foram considerados os dados de entrada apresentados na Tabela 9:

**Tabela 9:** Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de transporte (esteira)

<b>Transporte - Esteira</b>	
Modelo/Fornecedor	Modelo ER15 - Demakine
Capacidade	70 kg/m
Potência	4 cv
Velocidade de transporte	20 m/s

Fonte: Arquivo próprio (2024).

A partir dos dados de entrada, foi obtido um consumo energético da esteira de 0,00004 kWh/kg.

#### 4.2.2.8 Consumo energético da britadeira

Para o cálculo do consumo energético relacionado à etapa de britagem, utilizaram-se os dados de entrada descritos na Tabela 10:

**Tabela 10:** Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de britagem

<b>Britagem - Britadeira</b>	
Modelo/Fornecedor	Modelo BI-ODM 0503 - ODEBRAZ
Capacidade máxima	7 toneladas
Potência	15 cv
Tempo de britagem para capacidade máxima	1 hora

Fonte: Arquivo próprio (2024).

Com base nos dados de entrada, obteve-se um consumo energético da britadeira de 0,000226 kWh/kg.

#### 4.2.2.9 Consumo energético do calcinador

Para o consumo energético das etapas de calcinação, utilizaram-se como base três pesquisas, descritas na Tabela 11:

**Tabela 11:** Dados para o cálculo do consumo energético dos processos de calcinação

<b>Processo de calcinação - Calcinador</b>		
<i>Título da pesquisa</i>	<i>Autores/Ano</i>	<i>Consumo energético (kcal/tonelada de gesso)</i>
Estudo numérico do processo de calcinação da gipsita em fornos rotativos com aquecimento indireto a óleo	José Junio Urbano (2013)	332.320
Estudo de um processo de combustão de gás totalflex para calcinação da gipsita em regiões remotas	Marcelo Eduardo Alves Olinda de Souza (2006)	332.320
Calcinação	Antônio Rodrigues de Campo Adão Benvindo da Luz Flavia de Freitas Bastos Igor Nogueira (2018)	332.000

Fonte: Arquivo próprio (2024).

A partir dos dados, adotou-se o consumo energético do calcinador de 332.000 kcal/tonelada de gesso. Convertendo esse valor para kWh, considerando 1 kcal igual a aproximadamente 0,001162 kWh, têm-se 385,86 kWh.

#### 4.2.2.10 Consumo energético do cortador

Para o cálculo do consumo energético relacionado ao processo de corte, utilizaram-se os dados de entrada descritos na Tabela 12:

**Tabela 12:** Dados para o cálculo do consumo energético dos processos de corte

<b>Processo de corte - Cortador</b>	
Modelo/Fornecedor	Modelo RTP-2051 – ROBOTEC CNC
Velocidade de corte	8 m/min
Tensão de entrada	380 volts
Corrente	50 amperes

Fonte: Arquivo próprio (2024).

Com base nos valores de entrada, obteve-se um consumo energético do cortador de 0,0066 kWh.

#### 4.2.2.11 Consumo energético da paleteira

O equipamento adotado é uma paleteira do tipo manual, modelo PTH 50, fornecida pela empresa CROWN. Diante disso, o consumo energético considerado das etapas de paletização foi igual a zero.

#### 4.2.2.12 Consumo energético da empilhadeira

Para o cálculo do consumo energético das etapas de empilhamento, foram considerados os seguintes dados de entrada apresentados na Tabela 13:

**Tabela 13:** Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de empilhamento

<b>Empilhamento - Empilhadeira</b>	
Modelo/Fornecedor	Modelo EEP1662 AC - Movelift
Capacidade máxima	1,6 tonelada
Tempo de funcionamento considerado	1 hora
<b>Consumo energético fornecido pelo fabricante</b>	<b>1,34 kWh</b>

Fonte: Arquivo próprio (2024).

Com base nos valores de entrada, obteve-se um consumo energético da empilhadeira de 1,35 kWh.

#### 4.2.2.13 Consumo energético do triturador

Nos cálculos das etapas de trituração, foram considerados os seguintes dados de entrada apresentados na Tabela 14:

**Tabela 14:** Dados para o cálculo do consumo energético das etapas de trituração

<b>Trituração - Triturador</b>	
Modelo/Fornecedor	Modelo TE2 - CSM
Capacidade máxima	2m <sup>3</sup>
Potência	3 cv
Tempo para capacidade máxima	1 hora

Fonte: Arquivo próprio (2024).

A partir dos valores de entrada, obteve-se um consumo energético do triturador de 0,00138 kWh/kg.

### 4.3. Análise de Impacto do Ciclo de Vida

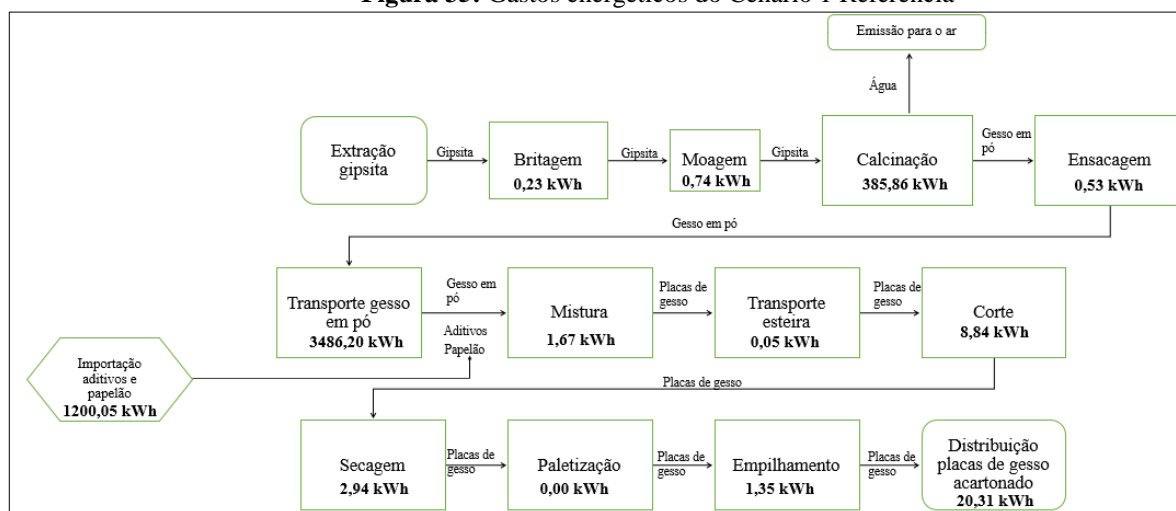
#### 4.3.1 Consumo energético dos cenários

Neste tópico, são apresentadas as etapas de cada cenário, juntamente com seus respectivos consumos energéticos.

##### 4.3.1.1 Cenário 1 - Referência

Na Figura 35, estão descritos os resultados dos gastos energéticos do **Cenário 1 Referência**:

Figura 35: Gastos energéticos do Cenário 1 Referência



Fonte: Elaboração própria (2025)

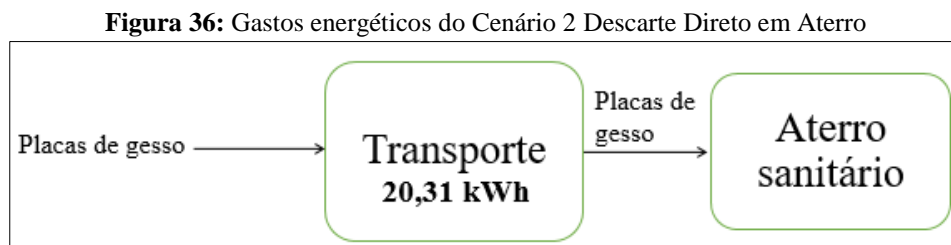
No Cenário 1, o consumo energético total registrado foi de 5108,77 kWh, sendo que as etapas de transporte foram as principais responsáveis pelo alto consumo de energia, representando, aproximadamente, 92,13 % do total da energia consumido.

Ao abordar os tipos de transporte no Brasil, Santos e Loos (2018) destacam que mais de 60% das cargas no país são movimentadas por meio rodoviário. Além disso, os autores ressaltam que a malha pavimentada brasileira se encontra em condições de má qualidade, o que pode ocasionar um consumo maior de combustível.

Sendo assim, para otimizar os processos de transporte, além da escolha por veículos energeticamente mais eficientes, considera-se também a possibilidade de utilizar outros modais de transporte. Os modais ferroviário e hidroviário representam alternativas vantajosas para diversificar e equilibrar o sistema de transporte, pois possuem características como a capacidade de movimentar grandes volumes de carga por longas distâncias, que é o caso do gesso em pó (SANTOS; LOOS, 2018).

#### 4.3.1.2 Cenário 2 - Descarte Direto em Aterro

Na Figura 36, estão descritos os resultados dos gastos energéticos do **Cenário 2 Descarte Direto em Aterro**:



Fonte: Elaboração própria (2025)

No cenário de descarte em aterro sanitário, o consumo energético significativo ocorre na etapa de transporte dos resíduos, que registrou um total de 20,31 kWh. Devido às limitações impostas no inventário definido, não foram considerados os processos de tratamento dos resíduos dentro do aterro, quando existem, focando exclusivamente no impacto energético do transporte até o destino final.

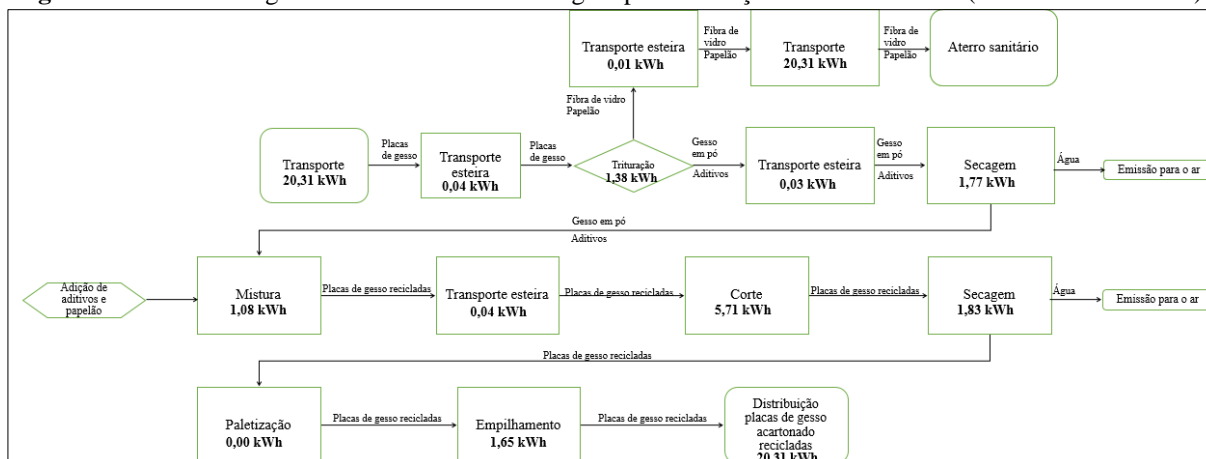
A adoção de veículos mais eficientes, como caminhões movidos a biodiesel ou elétricos, pode contribuir para a redução da demanda energética e do impacto ambiental. Segundo Silva e Freitas (2008), o biodiesel se destaca por sua importância, uma vez que é derivado de fontes renováveis e apresenta como principal vantagem a redução na emissão de gases poluentes.

Além disso, um fator crítico para diminuir o consumo de energia relacionado ao transporte é a colocação de centros de coleta e distribuição em pontos estratégicos das cidades ou perímetros urbanos, posicionando-os próximos às áreas de maior geração de resíduos. Isso pode reduzir a necessidade de percursos longos, diminuindo o gasto de combustível.

#### 4.3.1.3 Cenário 3 - Reciclagem para Produção de Novas Placas (Processo Via Úmida)

Na Figura 37, estão expostos os resultados dos gastos energéticos do **Cenário 3 Reciclagem para Produção de Novas Placas (Processo Via Úmida)**:

**Figura 37:** Gastos energéticos do Cenário 3 Reciclagem para Produção de Novas Placas (Processo Via Úmida)



Fonte: Elaboração própria (2025)

No Cenário 3, o consumo energético total registrado foi de 74,47 kWh, sendo o transporte dos materiais por caminhão o maior responsável pelo alto consumo de energia, representando 81,82% do total de energia consumido. Esse impacto significativo evidencia o combustível consumido, tornando o transporte um dos principais desafios para a eficiência energética do processo.

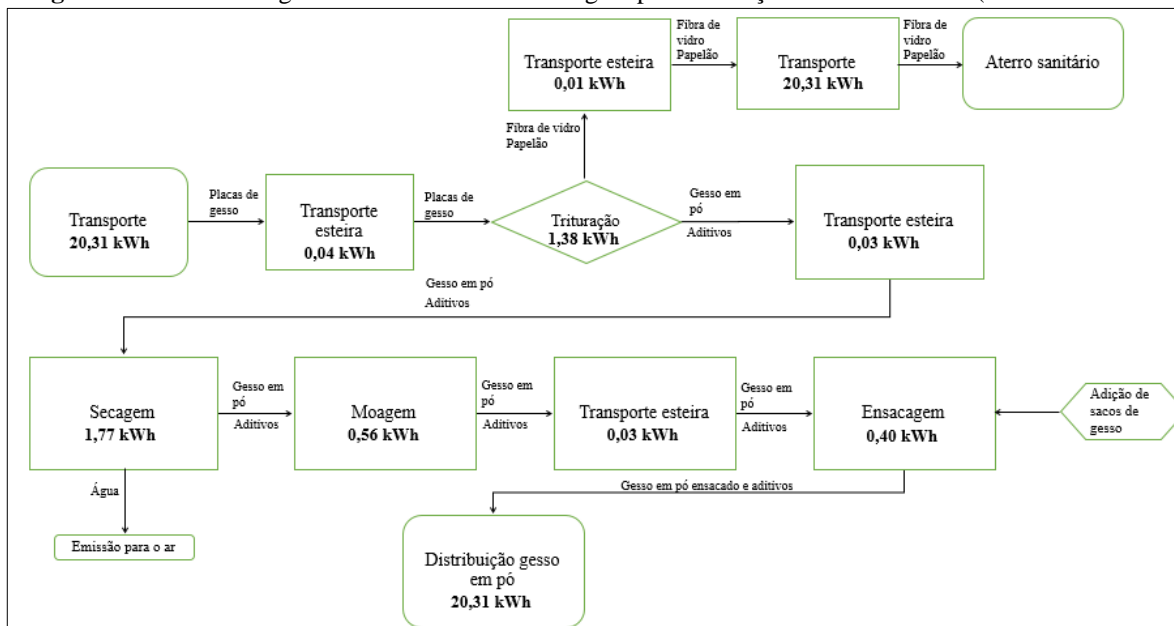
As demais etapas do processo, que incluem transporte por esteira, secagem, moagem, mistura e ensacamento, somaram 13,54 kWh, correspondendo a 18,18% do consumo total de energia. Embora essas operações apresentem menor impacto energético em comparação com o transporte rodoviário, sua otimização pode contribuir para a redução global do consumo.

Para mitigar o consumo de energia para as etapas de transporte, assim como apresentado no Cenário 2, sugere-se a otimização das rotas de transporte, reduzindo a distância percorrida pelos caminhões, diminuindo, conseqüentemente, o uso de combustível. Além disso, a adoção de veículos mais eficientes, como caminhões movidos a biodiesel ou elétricos, pode minimizar a demanda energética do processo.

#### 4.3.1.4 Cenário 4 - Reciclagem para Produção de Gesso em Pó (Processo Via Seca)

Na Figura 38, estão descritos os resultados dos gastos energéticos do **Cenário 4 Reciclagem para Produção de Gesso em Pó (Processo Via Seca)**:

**Figura 38:** Gastos energéticos do Cenário 4 Reciclagem para Produção de Gesso em Pó (Processo Via Seca)



Fonte: Elaboração própria (2025)

No Cenário 4, o consumo energético total registrado foi de 65,15 kWh, sendo a etapa de transporte dos materiais por caminhão a principal responsável pelo alto consumo de energia, correspondendo a 93,52% do total. Esse elevado impacto energético decorre da dependência de combustíveis fósseis e da necessidade de deslocamentos frequentes, tornando o transporte um fator crítico para a eficiência do processo.

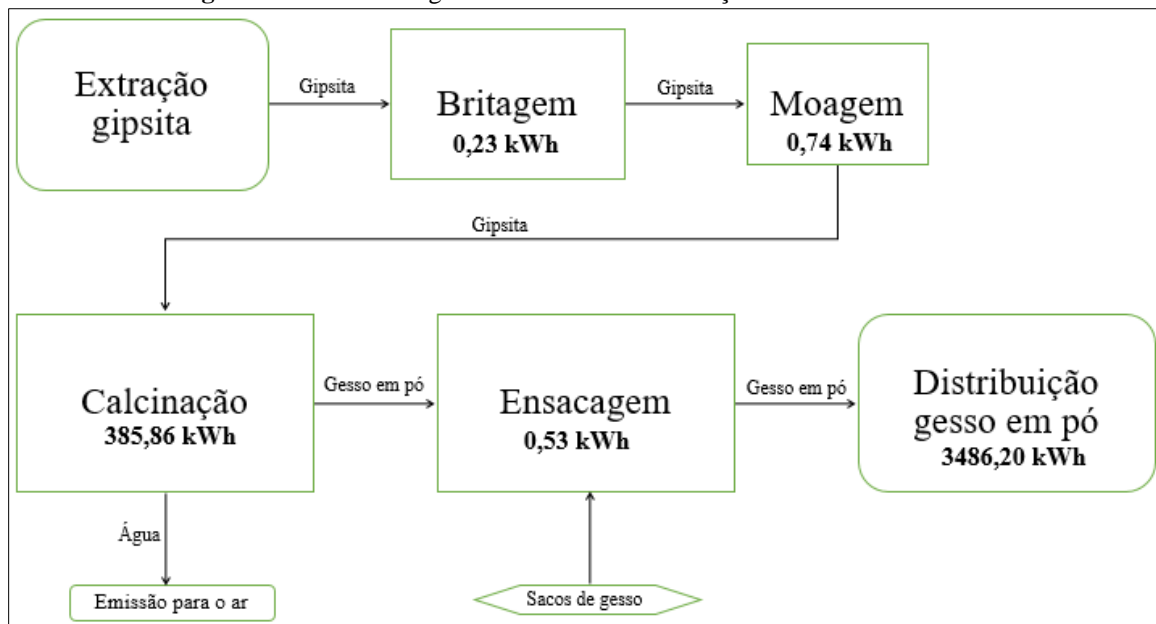
As outras operações, que incluem transporte por esteira, secagem, moagem e ensacamento, somaram 4,22 kWh, representando apenas 6,48% do consumo total. Embora essas etapas caracterizem um menor impacto energético, sua otimização pode contribuir para um processo mais eficiente e sustentável.

Assim como nos Cenários 2 e 3, para reduzir o consumo energético global do Cenário 4, recomenda-se a otimização das rotas de transporte, reduzindo, assim, o consumo de combustível. Além disso, a substituição de caminhões convencionais por veículos mais eficientes pode reduzir significativamente tanto a demanda energética quanto o impacto ambiental do processo. Ressalta-se que o uso de biodiesel é uma opção interessante, visto que é um tipo de energia renovável, biodegradável e não tóxico (SANTOS *et al.*, 2022).

#### 4.3.1.5 Cenário 5 - Produção Convencional do Gesso em Pó

Na Figura 39, expõem-se os resultados dos gastos energéticos do **Cenário 5 Produção Convencional do Gesso em Pó:**

**Figura 39:** Gastos energéticos do Cenário 5 Produção Convencional do Gesso em Pó



Fonte: Elaboração própria (2025)

No Cenário 5 analisado, o consumo energético total registrado foi de 3873,56 kWh, com a etapa de distribuição do gesso em pó sendo a principal responsável pelo elevado gasto energético, o equivalente a 89,99% do total consumido. As demais etapas do processo consumiram 10,01% do total, mas ainda representam oportunidades para otimização.

Assim como discutido no tópico do Cenário 1, no Brasil, o principal tipo de transporte utilizado é o rodoviário (COLAVITE; KONISHI, 2015). Além da distância significativa para distribuição do gesso em pó, um estudo realizado pela Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2007) identificou que 74,90% da malha viária apresentam algum dano ou deterioração, com seu estado de conservação avaliado como péssimo, ruim ou deficiente.

Os resultados evidenciaram que, em todos os cenários, o transporte dos materiais revelou-se como o maior consumidor energético, destacando a necessidade de melhorias na logística e no tipo de combustível utilizado. A Tabela 15 apresenta a relação das etapas de transporte com o consumo total:

**Tabela 15:** Consumo geral dos cenários

Cenário	Consumo (kWh)		
	Transporte	Demais etapas	Total
Cenário 01	4706,56 (92,13 %)	402,21 (7,87 %)	5108,77 (100 %)
Cenário 02	20,31 (100 %)	0,00 (0,00 %)	20,31 (100 %)
Cenário 03	60,93 (81,82 %)	13,54 (18,18 %)	74,47 (100 %)
Cenário 04	60,93 (93,52 %)	4,22 (6,48 %)	65,15 (100%)
Cenário 05	3486,20 (89,99 %)	387,36 (10,01 %)	3873,56 (100 %)

Fonte: Elaboração própria (2025)

Dessa forma, as principais estratégias para redução do consumo energético incluem a redução da dependência do transporte rodoviário, com preferência por rotas mais eficientes e alternativas de transporte, e também veículos mais eficientes e combustíveis alternativos, por exemplo, o biodiesel<sup>6</sup>.

A implementação dessas melhorias poderá minimizar o consumo de energia e os impactos ambientais, tornando os processos de produção e reciclagem do gesso acartonado mais eficientes e sustentáveis.

### **4.3.2 Análise Comparativa**

Dentro do contexto de Avaliação do Ciclo de Vida - ACV, na sequência, serão apresentados os resultados das análises de impacto ambiental realizadas no *software* OpenLCA. Além do resultado geral, serão descritos os resultados referentes a cada comparação.

#### **4.3.2.1. Categoria de impacto: *Global Warming***

Na modelagem realizada no OpenLCA, os resultados da categoria de impacto de Aquecimento Global (*Global Warming*) foram gerados para cada cenário separadamente. Para facilitar a compreensão, os dados foram organizados por comparação, destacando-se, em seguida, as etapas que mais contribuíram para os impactos em cada caso.

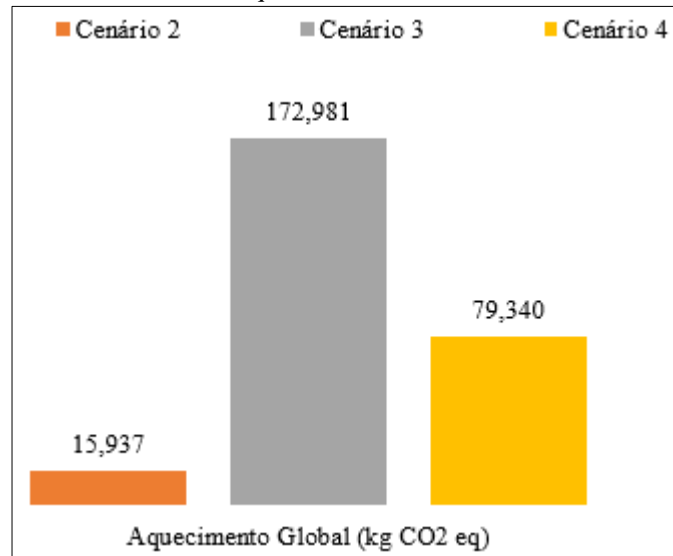
Os resultados desta análise envolveram predominantemente as emissões dos seguintes gases de efeito estufa: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>).

Na Figura 40, estão expostos os resultados obtidos para a categoria de impacto *Global Warming*, considerando as diferentes rotas de destinação das placas de gesso acartonado. Comparação 1: Avaliação comparativa entre os cenários de destinação final das placas de gesso acartonado (Cenários 2, 3 e 4):

---

<sup>6</sup> Um estudo intitulado “Biodiesel em suas funcionalidades gerais”, desenvolvido pelos pesquisadores Lopes; Freitas e Ribeiro (2013), apresenta várias informações envolvendo o biodiesel, como composição, contexto histórico, legislações, entre outras. Além disso, os autores destacam que o biodiesel pode ser empregado em motores que utilizam o diesel.

**Figura 40:** Comparação entre os cenários de destinação do gesso acartonado (Cenários 2, 3 e 4) em kg de CO<sub>2</sub> equivalente



Fonte: Elaboração própria (2025)

De acordo com a Figura 40, o descarte das placas para a produção de novas (Cenário 3) resultou em uma maior emissão de GEE, sendo esse valor igual a 175,981 kgCO<sub>2</sub>eq, seguido pelo Cenário 4, que sugere a reciclagem das placas de gesso acartonado para a produção de gesso em pó, com um valor de 79,340 kgCO<sub>2</sub>eq. Por fim, o Cenário 2, referente ao descarte das placas diretamente para aterro sanitário, mostrou um menor valor quando comparado aos outros dois cenários, sendo 15,937 kgCO<sub>2</sub>eq.

Com base nos resultados obtidos, observa-se que as alternativas de destinação das placas de gesso acartonado voltadas à reciclagem (Cenários 3 e 4) apresentam maiores emissões de gases de efeito estufa (GEE) em comparação ao descarte em aterro sanitário (Cenário 2). No entanto, é importante destacar que, apesar do maior impacto associado, os Cenários 3 e 4 resultam na geração de produtos reciclados, placas novas e gesso em pó, respectivamente, que, de acordo com Mendonça *et al.* (2016), podem ser reinseridos na cadeia produtiva, promovendo a circularidade dos materiais e reduzindo a demanda por recursos virgens. Por outro lado, o Cenário 2 representa uma perda completa do material, sem qualquer tipo de aproveitamento ou recuperação, configurando um modelo linear de gestão de resíduos e contribuindo para o esgotamento de recursos naturais e aumento da pressão sobre os sistemas de disposição final.

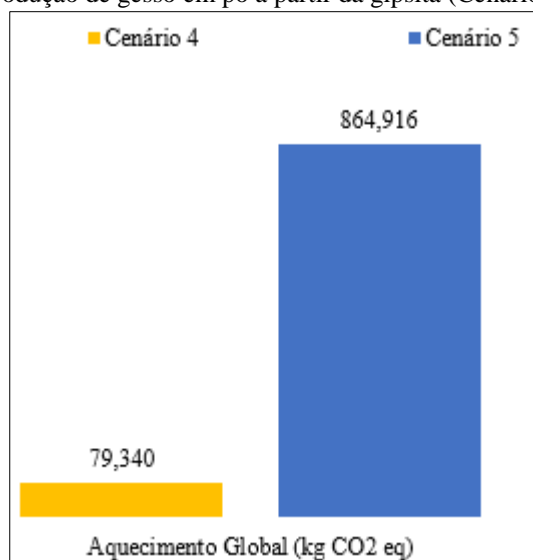
Além disso, Marinhos (2019) explica que a disposição inadequada do gesso acartonado em aterros pode gerar, por meio da solubilização, a sulfurização do solo e contaminação dos lençóis freáticos. Em determinadas condições, pode ocorrer a liberação de gases durante a decomposição do material, os quais apresentam risco de inflamabilidade,

podendo resultar em incineração, liberando substâncias altamente nocivas à saúde humana, afirma Hendges (2013).

Portanto, embora as opções de reciclagem gerem maiores emissões de GEE, elas evitam a perda total do material e promovem a economia circular. Já o descarte em aterro, apesar de menor emissão de GEE, representa riscos ambientais e não contribui para a sustentabilidade a longo prazo.

A Figura 41 apresenta os resultados obtidos para a categoria de impacto *Global Warming*, na Comparação 2, que avalia a diferença entre a produção de gesso em pó a partir de resíduos de placas de gesso acartonado (Cenário 4) e a produção de gesso em pó a partir da gipsita (Cenário 5).

**Figura 41:** Comparação entre os cenários de produção de gesso em pó a partir de resíduos de placas de gesso acartonado (Cenário 4) e a produção de gesso em pó a partir da gipsita (Cenário 5) em kg de CO<sub>2</sub> equivalente



Fonte: Elaboração própria (2025)

De acordo com a Figura 41, o Cenário 5, que representa a produção de gesso em pó a partir da extração da gipsita, resultou em uma emissão de 864,916 kgCO<sub>2</sub>eq. Em comparação, o Cenário 4, referente à reciclagem das placas de gesso acartonado para a produção de gesso em pó, apresentou uma emissão menor, 79,340 kgCO<sub>2</sub>eq.

Nesse contexto, a reciclagem mostrou-se a alternativa mais viável do ponto de vista das emissões de GEE. O Cenário 5, que contempla a produção de gesso em pó a partir da gipsita, envolve etapas como calcinação e grandes distâncias de transporte, as quais demandam maior consumo de energia, conforme já discutido anteriormente. Essas fases são responsáveis por grande parte das emissões de GEE observadas nesse cenário.

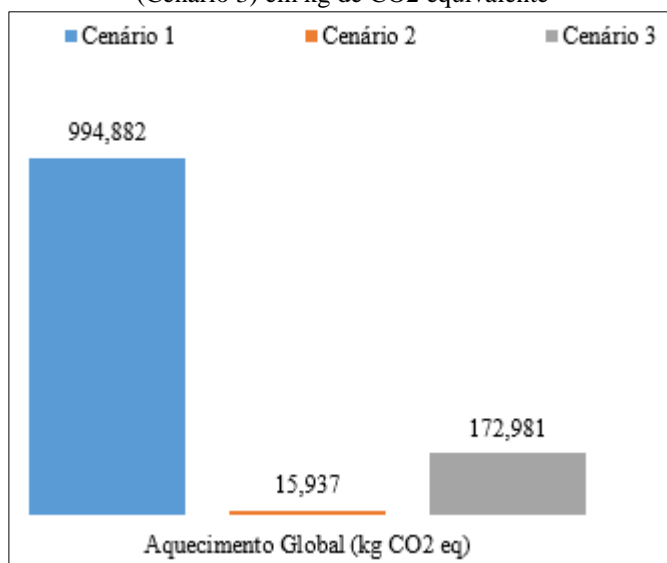
Segundo Urbano (2013), os processos de calcinação da gipsita no Polo Gesseiro do Araripe consomem uma quantidade significativa de lenha. De acordo com a Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco (2010), a demanda por energéticos na região do Araripe atingiu 197.833 toneladas equivalentes de petróleo (tep) em 2004. Desse total, a produção de gesso foi responsável por aproximadamente 93% do consumo de todos os energéticos de origem florestal utilizados na região.

Além disso, as etapas de transporte do gesso em pó, aditivos e papelão também são responsáveis pela emissão de GEE. Sugerem-se, para essas etapas, veículos mais eficientes, como caminhões movidos a biodiesel ou elétricos. O *site* estrangeiro *Car and Driver* (2020) apresentou um estudo intitulado “Biodiesel vs. Diesel: Tudo o que você precisa saber”, no qual as vantagens do uso do biosiesel são apresentadas, e, de acordo com a pesquisa, o biodiesel emite 11% menos monóxido de carbono (CO) e 10% menos material particulado do que o diesel, além de ser oriundo de fonte renovável. Complementando, conforme a *Car Talk* (2020), o biodiesel reduz as emissões líquidas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em 78%.

Considerando os aspectos discutidos, a reciclagem das placas de gesso acartonado para a produção de gesso em pó representa uma estratégia eficiente, pois não apenas reduz o volume de resíduos enviados aos aterros sanitários, como também evita a extração da gipsita. Esta, por sua vez, demanda das etapas de calcinação e transporte, que contribuem para as emissões de GEE e o consumo de recursos florestais.

A Figura 42 apresenta os resultados obtidos para a categoria de impacto *Global Warming*, na Comparação 3, que avalia a produção e o descarte convencional das placas de gesso acartonado (Cenário 1 + Cenário 2) e o cenário de reciclagem das placas (Cenário 3).

**Figura 42:** Comparação entre os parâmetros de interpretação de aquecimento global para produção e o descarte convencional das placas de gesso acartonado (Cenário 1 + Cenário 2) e o cenário de reciclagem das placas (Cenário 3) em kg de CO2 equivalente



Fonte: Elaboração própria (2025)

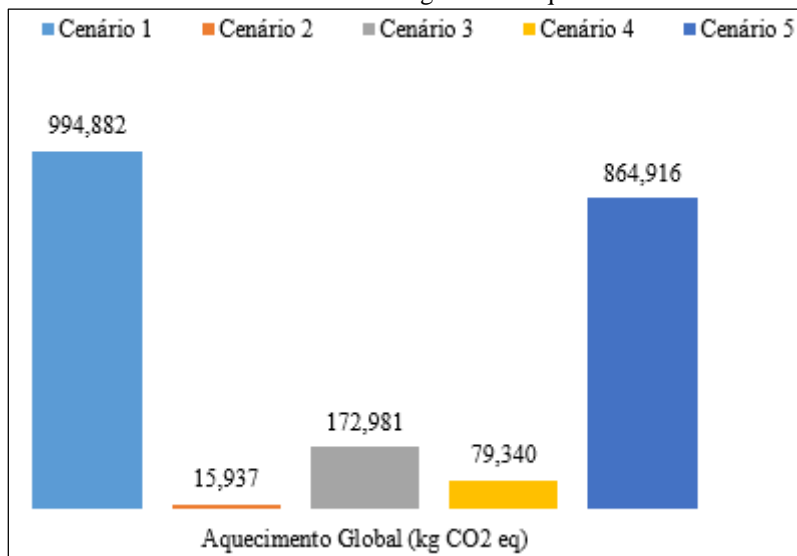
De acordo com os resultados apontados na Figura 42, a produção e o descarte convencional das placas de gesso acartonado (Cenário 1 + Cenário 2) foram superiores, com um valor total de 1010,819 kgCO<sub>2</sub>eq, enquanto o Cenário 3, referente à reciclagem das placas de gesso acartonado para a produção de novas placas, obteve uma emissão de 172,981 kgCO<sub>2</sub>eq.

Muito similar à Comparação 2, nesta situação, a alta emissão de GEE do Cenário 1 corresponde à maior parte, além do processo de calcinação e das etapas de transporte, referente ao transporte do gesso em pó e dos aditivos e papelão. Segundo Silva e Freitas (2008, *apud* Barnwal e Sharma, 2005), a combustão do biodiesel, em relação ao óleo diesel de petróleo, apresenta vantagens ambientais significativas, como a eliminação total do dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), redução de 60% na emissão de fuligem, 50% na emissão de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos, mais de 70% na emissão de hidrocarbonetos poliaromáticos e 15% na emissão de compostos aromáticos.

Com base nesse resultado, observa-se que, sob a perspectiva das emissões de GEE, a alternativa de reciclagem demonstra maior eficiência ambiental, revelando uma emissão inferior, correspondente a 17,11% daquelas associadas ao processo convencional de produção e descarte.

Em um contexto global, a análise dos impactos ambientais, associada ao aquecimento global dos cinco cenários avaliados, revelaram variações significativas nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), conforme apresentado na Figura 43.

**Figura 43:** Impacto do Aquecimento Global (GWP) para os Cinco Cenários Avaliados no Ciclo de Vida do Gesso Acartonado em kg de CO<sub>2</sub> equivalente



Fonte: Elaboração própria (2025)

De acordo com os dados apresentados na Figura 43, os cenários que envolvem a produção convencional de placas de gesso e gesso em pó, Cenários 1 e 5, respectivamente, foram os que registraram as maiores emissões de GEE, igual a 994,882 kgCO<sub>2</sub>eq e 864,916 kgCO<sub>2</sub>eq, nessa ordem. Esse resultado está diretamente relacionado a etapas com elevado consumo energético, especialmente as etapas de calcinação e de transporte.

No que se refere às opções de descarte, o Cenário 2, que representa o descarte convencional das placas de gesso em aterros sanitários, apresentou emissões menores, um valor de 15,937 kgCO<sub>2</sub>eq. No entanto, essa alternativa não promove o reaproveitamento do material, além de sobrecarregar os aterros. A disposição também pode acarretar impactos negativos à saúde humana e ao meio ambiente. De acordo com Alves (2007, apud Engessul, 2007), os impactos ambientais causados pelos resíduos de gesso estão associados à geração de gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S). Esse gás é inflamável e, em concentrações acima de 8 ppm, pode causar irritação nos olhos, sendo potencialmente letal em concentrações por volta de 500 ppm, devido à sua capacidade de provocar danos respiratórios e paralisar o sistema nervoso, que controla a respiração, resultando em asfixia.

Em contrapartida, os Cenários 3 e 4 mostraram-se mais vantajosos, não apenas por apresentarem menores emissões de GEE, mas também por reduzirem a necessidade de extração de matéria-prima, conforme afirmam Cagnoni e Cordon (2016).

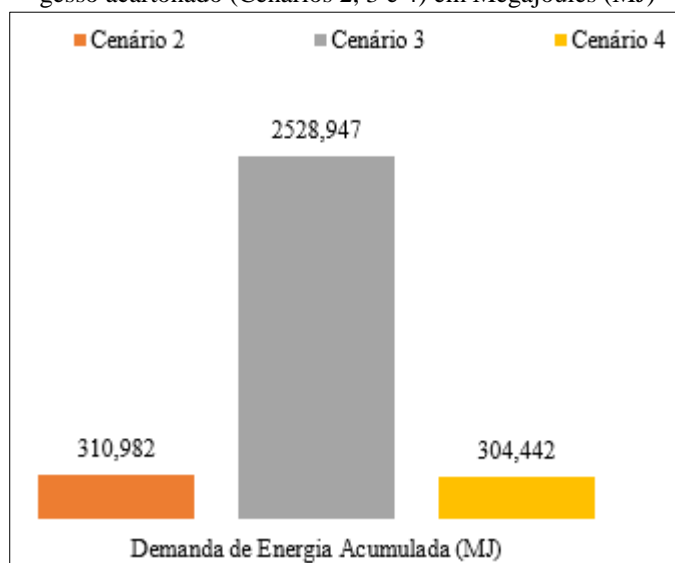
Os resultados obtidos para os cinco cenários de destinação e produção de gesso acartonado evidenciam a importância da reciclagem na redução dos impactos ambientais, especialmente no que se refere às emissões de gases de efeito estufa (GEE), à extração de matéria-prima e à destinação em aterros sanitários.

#### 4.3.2.2. Categoria de impacto: *Cumulative Energy Demand*

Para a avaliação da Demanda de Energia Acumulada (CED), as duas categorias principais de fontes fósseis de energia não renovável foram petróleo bruto e gás natural. Essas categorias representam os principais insumos energéticos utilizados nos processos de extração, produção, reciclagem e destinação do gesso acartonado, permitindo uma análise detalhada do impacto energético de cada cenário avaliado.

Os resultados da Comparação 1, para a categoria Demanda de Energia Acumulada (CED), para os cenários de destinação das placas de gesso acartonado (Cenários 2, 3 e 4), são apresentados na Figura 44:

**Figura 44:** Comparação da Demanda de Energia Acumulada (CED) para os cenários de destinação das placas de gesso acartonado (Cenários 2, 3 e 4) em Megajoules (MJ)



Fonte: Elaboração própria (2025)

A Comparação 1 revelou um valor de Demanda de Energia Acumulada de 2528,947 MJ para o cenário de reciclagem das placas de gesso acartonado para a produção de novas placas. Já o Cenário 2, relativo à destinação das placas diretamente em aterro, apresentou um valor de 310,982 MJ, e o Cenário 4, que se refere à produção de gesso em pó a partir das placas de gesso acartonado, registrou um valor de 304,442 MJ.

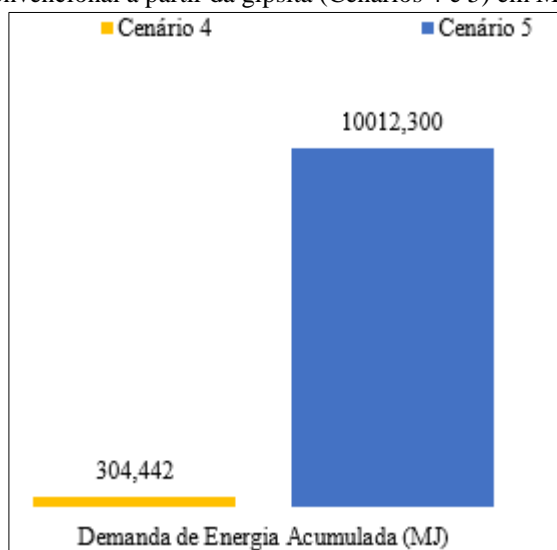
De forma semelhante ao observado na Comparação 1, com base na categoria de impacto de Aquecimento Global, o Cenário 3, que trata da reciclagem das placas para a produção de novas unidades, evidenciou um maior valor para a CED, indicando um impacto ambiental elevado sob essa perspectiva. No entanto, é importante destacar que, apesar de apresentar um menor consumo, o Cenário 2, que consiste na destinação direta das placas ao aterro, não oferece nenhum benefício ambiental, uma vez que o material é integralmente perdido. Adicionalmente, essa opção exige a fabricação de novas placas para reposição, o que implica em maior extração de recursos naturais e geração de impactos associados à produção primária.

Conforme Spielmann (2022, *apud* FREITAS; YANO; JUNIOR, 2018), a extração da matéria-prima gera, principalmente, dois tipos de resíduos: materiais estéreis e minérios inadequados para a industrialização. A deposição desses materiais nas proximidades das lavras ocasiona alterações no ecossistema local, como a redução da vegetação nativa, perda da biodiversidade, contaminação do lençol freático, aumento da acidez e sulfurização dos mananciais.

Outra opção de reciclagem é a adoção da metodologia apresentada no Cenário 4, que trata da reciclagem das placas para a produção de gesso em pó. Oliveira e Polisseni (2013) explicam que há, principalmente, três frentes para se utilizar gesso em pó reciclado: na indústria cimenteira, como adição de clínquer; no setor agrícola, como corretivo de acidez do solo; e na indústria de transformação do gesso, podendo esse processo ser feito dentro da própria obra. Considerando isso, destaca-se a relevância técnica e ambiental da reutilização dos resíduos de gesso, ao evitar sua destinação direta a aterros sem qualquer forma de aproveitamento.

Os resultados comparativos, para a categoria Demanda de Energia Acumulada (CED), para os cenários 4 e 5 são apresentados na Figura 45:

**Figura 45:** Comparação da Demanda de Energia Acumulada (CED) entre a produção de gesso em pó reciclado e a produção convencional a partir da gipsita (Cenários 4 e 5) em Megajoules (MJ)



Fonte: Elaboração própria (2025)

Os resultados da Comparação 2 revelaram uma diferença significativa entre os Cenários 4 e 5. O Cenário 4, que se refere à produção de gesso em pó a partir dos resíduos, obteve um valor de 304,442 MJ, enquanto o Cenário 5, que descreve a produção do gesso em pó a partir da gipsita, apresentou um valor de 10012,300 MJ.

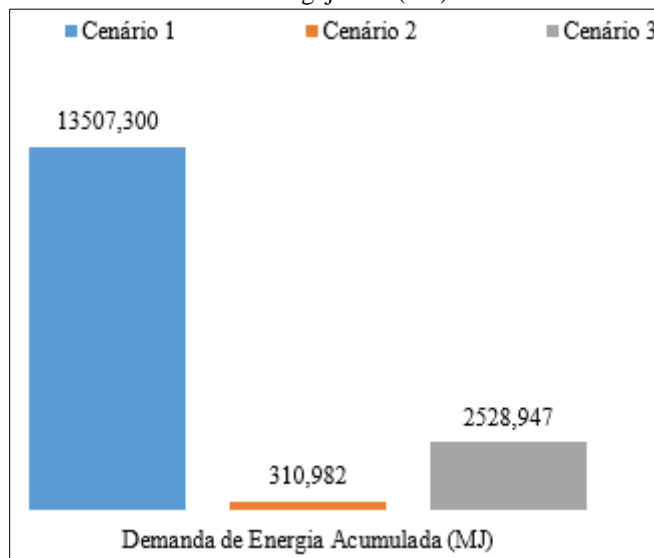
Essa diferença se deve, sobretudo, às etapas de calcinação e de transporte presentes no Cenário 5. Muños *et al.* (2014) explicam que a etapa de calcinação demanda elevado consumo energético para a elevação da temperatura nos fornos, o que pode gerar impactos à flora local em função da extração de material combustível utilizado como fonte de energia.

Além disso, tem-se a distância considerável de transporte do gesso para as regiões de consumo. De acordo com o *site* das Nações Unidas (2019), o Polo Gesseiro do Araripe foi responsável pela produção de 1,68 milhão de toneladas brutas de gipsita, sendo 699 mil toneladas a quantidade que foi vendida, consumida ou transferida para a industrialização.

Considerando esses aspectos, a reciclagem apresenta-se como uma alternativa viável, uma vez que elimina a necessidade da etapa de calcinação, bem como de rotas extensas.

Os resultados comparativos, para a categoria Demanda de Energia Acumulada (CED), para os cenários 1, 2 e 3 são apresentados na Figura 46:

**Figura 46:** Comparação da Demanda de Energia Acumulada (CED) entre produção e descarte convencional das placas de gesso acartonado (Cenário 1 + Cenário 2) e a alternativa de reciclagem (Cenário 3) em Megajoules (MJ)



Fonte: Elaboração própria (2025)

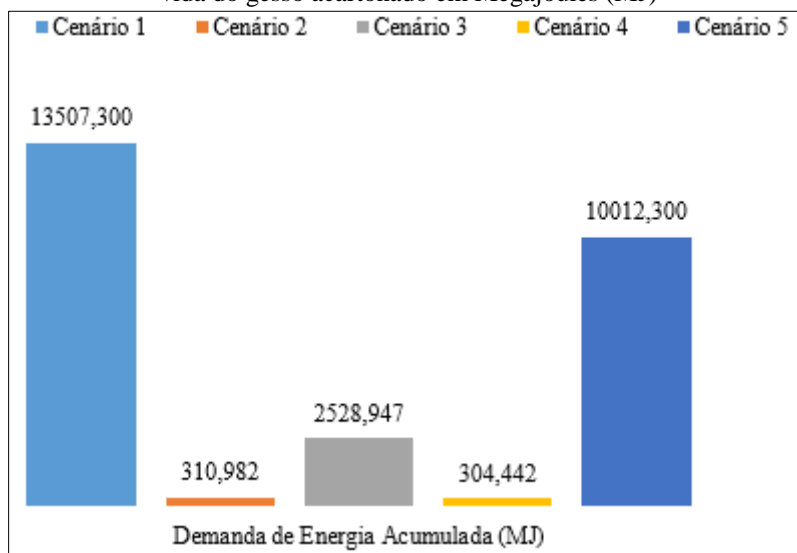
Neste caso, a produção e o descarte convencional (Cenários 1 e 2) resultaram em um valor total de 13818,282 MJ, enquanto o processo de reciclagem para a produção de novas placas, Cenário 3, revelou um valor de 2528,947 MJ.

Além da Demanda de Energia Acumulada ter sido maior no Cenário 1, os autores Freitas, Yano e Júnior (2018) explicam que o processo de produção convencional das placas de gesso envolve diferentes impactos ambientais: a extração e preparação da gipsita, que provocam a degradação do ecossistema local, com redução da vegetação, perda de biodiversidade e contaminação do lençol freático; na etapa de britagem, parte do material é descartado por não atender à granulometria exigida, gerando poeira fina em suspensão; durante a calcinação, há emissão de gases; no acondicionamento, ocorrem perdas por acúmulo de resíduos; e, no beneficiamento, sobras são originadas de peças reprovadas no controle de qualidade ou danificadas.

Nessa avaliação, os resultados evidenciam a reciclagem mais vantajosa do que as situações de produção e descarte convencionais. Segundo Santana *et al.* (2019), os ensaios realizados com o pó e a pasta de gesso demonstraram que o material reciclado, proveniente da reciclagem simples, apresentou propriedades físicas semelhantes às do gesso comercial. Esses resultados revelam a eficácia da reutilização do gesso.

Em um contexto global, a análise dos impactos ambientais, associada à Demanda de Energia Acumulada (CED), nos cinco cenários avaliados, demonstraram variações significativas nos resultados, conforme Figura 47.

**Figura 47:** Impacto do Demanda de Energia Acumulada (CED) para os cinco cenários avaliados no ciclo de vida do gesso acartonado em Megajoules (MJ)



Fonte: Elaboração própria (2025)

De acordo com o resultado geral de análise de Demanda de Energia Acumulada, os métodos convencionais de produção de placas de gesso e de gesso em pó (Cenários 1 e 5) apresentaram uma demanda de energia bem maior quando comparados aos cenários de reciclagem (Cenários 3 e 4).

Similarmente à análise da categoria de impacto de Aquecimento Global, os resultados da análise de Demanda de Energia Acumulada evidenciaram o potencial dos métodos de reciclagem do gesso acartonado. Portanto, a adoção de práticas de reciclagem no setor da construção civil, especialmente no tratamento de resíduos de gesso, mostra-se não apenas viável, mas recomendável.

Tanto a análise de Aquecimento Global quanto a de Demanda de Energia Acumulada revelaram grande diferença entre os resultados, sendo os cenários de reciclagem das placas (Cenários 3 e 4) os que geraram menores impactos quando comparados aos cenários de produção e descarte convencional (Cenários 1, 2 e 5).

Segundo Jiménez-Rivero e Navarro (2017), os governos desempenham um papel fundamental no fortalecimento da legislação relacionada aos resíduos de gesso, nos marcos regulatórios e na efetivação desses instrumentos. Destacam-se como pontos críticos a proibição

do descarte desses resíduos em aterros sanitários, o estímulo ao uso de materiais reciclados, a definição de destinos legais alternativos para os resíduos e a exigência de planos de gestão de resíduos. Além disso, esses marcos devem ser acompanhados por incentivos econômicos, medidas de controle e outros instrumentos que viabilizem e estimulem o desenvolvimento de mercados para materiais reciclados.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem do gesso acartonado surge como uma alternativa estratégica para reduzir a dependência da extração de gipsita, um recurso natural não renovável. A produção convencional de gesso exige a mineração da gipsita, um processo que gera impactos ambientais significativos, como degradação do solo e emissões de gases de efeito estufa devido à queima de combustíveis fósseis na etapa de calcinação.

Reciclar gesso acartonado oferece diversos benefícios ambientais e econômicos. Primeiramente, a reciclagem ajuda a reduzir a quantidade de resíduos que acabam em aterros sanitários, diminuindo a pressão sobre esses locais e mitigando os impactos ambientais associados ao descarte inadequado de gesso. Além disso, contribui para a conservação dos recursos naturais, uma vez que reduz a necessidade de extração de gipsita. A reciclagem também pode resultar em economia de custos a longo prazo, já que o material reciclado pode ser reutilizado em diversas áreas, diminuindo a dependência de matéria-prima.

Apesar dos claros benefícios, a reciclagem de gesso não é amplamente utilizada. Um dos principais desafios é a falta de infraestrutura adequada para a coleta e o processamento do gesso reciclado. Muitas regiões não possuem instalações específicas para a reciclagem de gesso, o que torna o processo logístico complexo e custoso. Além disso, a conscientização sobre os benefícios da reciclagem de gesso ainda é limitada, tanto entre consumidores quanto entre os fabricantes. A falta de políticas e incentivos governamentais também contribui para a baixa adesão à reciclagem, já que muitas empresas não veem um retorno financeiro imediato ou um incentivo claro para investir em práticas sustentáveis.

Portanto, a reciclagem de gesso acartonado deve ser incentivada como uma estratégia para promover a economia circular. O avanço de tecnologias que otimizem o consumo energético do processo pode tornar essa prática ainda mais sustentável no futuro. Além disso, políticas públicas e incentivos para a logística reversa do gesso podem impulsionar a adoção da reciclagem em larga escala, reduzindo a pressão sobre os recursos naturais e evitando a contaminação ambiental. Dessa forma, a reciclagem se consolida como um caminho essencial para a sustentabilidade na construção civil.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Daniela de Carvalho. Reciclagem e reutilização do gesso descartado na construção civil. 2007. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Itatiba, 2007. Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1066.pdf>. Acesso em: 2 maio 2025.

AMÉRICO, Suzana Vieira; GONÇALVES, José Roberto Moreira Ribeiro; BARBOSA, Manoella Soares; BISPO, Everton Rangel. Um estudo sobre o sistema construtivo sustentável de gesso acartonado: drywall. *Projectus*, [S.l.], v. 4, n. 1, p. 72-87, 7 jan. 2021. **Sociedade Unificada de Ensino Augusto Motta - UNISUAM**. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15202/25254146.2019v4n1p72>. Acesso em: 15 fev. 2025.

ANTUNES, Rubiane Paz do Nascimento. Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso. 1999. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-17022025-083829/pt-br.php>. Acesso em: 2 fev. 2024.

APOLINARIO, Giovani Mateus. Reutilização do resíduo de gesso da construção civil. 2015. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2015. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/handle/123456789/2721>. Acesso em: 3 jan. 2025.

ARAUJO, Sergio Murilo Santos de. O polo gesseiro do Araripe: unidades geoambientais e impactos da mineração. 2004. 255 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Área de Administração e Política de Recursos Minerais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1622585>. Acesso em: 22 jul. 2024.

BELTRAME, Rafael; BISOGNIN, Dilson Antônio; MATTOS, Bruno Dufau; CARGNELUTTI FILHO, Alberto; HASELEIN, Clovis Roberto; GATTO, Darci Alberto; SANTOS, Gleison Augusto dos. Desempenho silvicultural e seleção precoce de clones de híbridos de eucalipto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, [S.l.], v. 47, n. 6, p. 791-796, jun.

2012. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2012000600009>. Acesso em: 28 set. 2024.

CAR AND DRIVER. Biodiesel vs. diesel: tudo o que você precisa saber. Disponível em: <https://www.caranddriver.com/research/a31883731/biodiesel-vs-diesel/>. Acesso em: 2 maio 2025.

COLAVITE, Alessandro Serrano; KONISHI, Fabio. A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade. In: **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGeT**, 12., 2015, Resende. Anais [...]. Resende: SEGeT, 2015. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/13722620.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2024.

CONDEIXA, Karina de Macedo Soares Pires. Comparação entre materiais da construção civil através da avaliação do ciclo de vida: sistema drywall e alvenaria de vedação. 2013. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Niterói, 2013. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/3340>. Acesso em: 25 ago. 2024.

CORRÊA, Lúcio Marcos Azevedo; PINHEIRO, Erika Cristina Nogueira Marques. Processo executivo de drywall – estudo de caso com aplicações em edificação na cidade de Manaus - AM / Executive drywall process - case study with applications in building in the city of Manaus – AM. **Brazilian Journal Of Business**, [S.l.], v. 4, n. 2, p. 969-987, 6 jun. 2022. Brazilian Journals. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.34140/bjbv4n2-025>. Acesso em: 7 jan. 2025.

COSTA, Walter Duarte; ANJOS, Nelson da Franca Ribeiro dos; COMISSÃO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE PERNAMBUCO. Gipsita no estado de Pernambuco. Recife: **Comissão de Desenvolvimento Econômico de Pernambuco**, 1962. 56 p., [11] f. de estampas. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/9999>. Acesso em: 10 set. 2024.

CUNHA, Paulo Waldemiro Soares. Estudo sobre as potencialidades de compósitos à base de gesso e fibras de coco seco para aplicação na construção civil. 2012. 120 f. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos) – Universidade Federal

do Rio Grande do Norte, Natal, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/14324>. Acesso em: 14 nov. 2024.

DA COSTA, Amanda Tenório; DO NASCIMENTO, Felipe Bomfim Cavalcante. Uso de gesso acartonado em vedações internas. *Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT-ALAGOAS*, v. 2, n. 3, p. 99-106, 2015. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/2079>. Acesso em: 18 jul. 2024.

DE AZEVEDO, Jorge Joel Silva; SANCHES, Antônio Estanislau; PINHEIRO, Érika Cristina Nogueira Marques. Técnicas construtivas em gesso acartonado: utilização e viabilidade na construção de salas comerciais: estudo de caso em Manaus-AM. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 38507-38525, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n5-034>. Acesso em: 22 ago. 2024.

DE OLIVEIRA FERREIRA, Ademir et al. Mudança no conteúdo de carbono e cálcio em latossolo melhorado por gesso e calcário no Rio Grande do Sul. **Ciencia del Suelo**, v. 31, n. 1, p. 1-13, 2013. Disponível em: [https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol\\_31n1/ferreira.pdf](https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_31n1/ferreira.pdf). Acesso em: 19 set. 2024.

DOS SANTOS, Marcela Gabriela Foly et al. Inovação em segurança e ergonomia no processo de produção de chapas de drywall. In: **International Symposium on Technological Innovation**, 9., 2018, Aracaju. Anais [...]. Aracaju: IFS, 2018. Disponível em: <https://proceedings.sitis.org/2018/innovation>. Acesso em: 15 dez. 2024.

ERBS, Alexandre. Desenvolvimento de chapas de gesso acartonado exclusivamente a partir de seus resíduos. 2020. 187 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/12345>. Acesso em: 12 fev. 2025.

EYE, Luis Augusto Von. Alvenaria convencional x painéis drywall: um estudo de caso. 2015. 38 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ucb.br/jspui/handle/123456789/2008>. Acesso em: 4 mar. 2025.

FERREIRA, Fernanda Cavalcanti. Estudo de caracterização do gesso para revestimento produzido no polo gesseiro do Araripe. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/27641>. Acesso em: 10 ago. 2024.

FLEURY, Lucas Eira. Análise das vedações verticais internas de drywall e alvenaria de blocos cerâmicos: estudo de caso comparativo. 2014. 66 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS, Brasília, 2014. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/6399/1/20947500.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2024.

FREITAS, Verônica de; YANO, Bruna Bessa Rocha; AUGUSTO JUNIOR, José. Sustentabilidade do gesso. In: **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, 14, 2018, Tupã. Anais [...]. Tupã: UNESP, 2018. Disponível em: [http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/1910](http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1910). Acesso em: 5 nov. 2024.

FREIRE ARAUJO, L.; FARIAS, Bruno Matos de. Empregabilidade do gesso na construção civil. **Epitaya E-Books**, v. 1, n. 1, p. 89-108, 2021. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/118>. Acesso em: 23 jul. 2024.

IBICT – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. O que é Avaliação do Ciclo de Vida – ACV. Disponível em: <https://acv.ibict.br/acv/o-que-e-o-acv/>. Acesso em: 24 fev. 2025.

JIMÉNEZ-RIVERO, Ana; GARCÍA-NAVARRO, Justo. Exploring factors influencing post-consumer gypsum recycling and landfilling in the European Union. **Resources, Conservation And Recycling**, [S.l.], v. 116, p. 116-123, jan. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.014>. Acesso em: 18 out. 2024.

JÚNIOR, Antonio Simões Branco; LIRA, Júlia Santiago de Matos Monteiro; SPOSTO, Rosa Maria. Energia e emissões de CO<sub>2</sub> de sistema de vedação vertical em drywall [Energy and CO<sub>2</sub> emissions of vertical sealing system in drywall]. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil** –

REEC, v. 14, n. 2, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/49613>. Acesso em: 9 mar. 2025.

JUNIOR, José Antonio Morato. Divisórias de gesso acartonado: sua utilização na construção civil. 2008. 74 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://repositorio.anhembi.br/handle/123456789/4321>. Acesso em: 27 ago. 2024.

KANNO, Wellington Massayuki. Propriedades mecânicas do gesso de alto desempenho. 2009. 132 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-21112010-084639/publico/WellingtonMassayukiKannoDoDepositada.pdf>. Acesso em: 5 out. 2024.

KOCHEM, Keila et al. Potencialidades de logística reversa do resíduo de gesso da indústria da construção civil. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

LANA, Thiago Augusto Corlaite; PEREIRA, Andréa Franco. ACV simplificada e análise de emissões de CO<sub>2</sub> em sistemas de vedação arquitetônica. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 6, n. 1, p. 145-162, 2020. Disponível em: <https://revistamixsustentavel.ufsc.br/article/view/2020acv>. Acesso em: 14 ago. 2024.

LOPES, Ana Lucia Azevedo; FREITAS, Damiana Galache de; RIBEIRO, Érica da Silva. Biodiesel em suas funcionalidades gerais. 2013. Disponível em: <https://example.com/biodiesel-funcionalidades>. Acesso em: 11 nov. 2024.

LOURENÇO, Luciana; CARVALHO, Laísa Cristina. Drywall: estudo de caso utilização e técnica em canteiro de obra no município de Mogi Guaçu-SP. 2020. 16 f. Disponível em: <https://repositorio.unip.br/drywall-mogiguacu2020>. Acesso em: 23 fev. 2025.

MARINHOS, Aline Souza. Análise e quantificação de resíduos de gesso acartonado gerados em uma obra de edifício vertical residencial na cidade de Londrina: estudo de caso. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade

Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/londrina/gesso2019>. Acesso em: 30 set. 2024.

MELO, Daniele de Castro Pessoa de. Processo de calcinação da gipsita/resíduo em um forno rotativo contínuo para a produção de gesso beta reciclável. 2012. 177 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/11783/1/TESE%20de%20Daniele%20de%20Castro.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2024.

MUNHOZ, Fabiana Costa. Utilização do gesso para fabricação de artefatos alternativos, no contexto de produção mais limpa. 2008. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Bauru, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/2008gesso>. Acesso em: 07 jul. 2024.

NOGUEIRA, Jesus Charles do Amaral. Melhoria das propriedades do gesso com aditivo sintético e com látex de *Euphorbia tirucalli* e de *Hevea brasiliensis* para uso na construção de habitações de interesse social. 2012. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5462/1/arquivototal.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2024.

OLIVEIRA, Pedro Fontana de. Uso do pré-fabricado drywall em casas populares. 2019. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em: [https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1842/1/MONOGRAFIA\\_UsoPr%c3%a9-fabricadoDrywall.pdf](https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1842/1/MONOGRAFIA_UsoPr%c3%a9-fabricadoDrywall.pdf). Acesso em: 03 jul. 2024.

OLIVEIRA, Thaís Mayra de; POLISSENI, Antônio Eduardo. Reciclagem do gesso: potencial de aplicação. **Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis**, Petrópolis, v. 8, n. 1, 2013. Disponível em: <https://revista.ucp.br/engenharia/artigo123>. Acesso em: 15 ago. 2024.

RIVERA LARA, Susan Raquel; ABELLÓ FORERO, Carlos Mario. Propuesta de mejoramiento del proceso industrial para el aprovechamiento de residuos drywall a partir del

análisis técnico, económico y ambiental de un estudio de caso. 2016. Disponível em: <https://repositorio.unal.edu.co/drywall2016>. Acesso em: 20 jan. 2025.

RODRIGUES, Anna Beatryz Melo Gurgel. Estudo para a reciclagem sustentável do gesso. 2021. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/reciclagem-gesso2021>. Acesso em: 09 mar. 2025.

SALINO, Rita Estela et al. Resíduos de gesso de construção: geração e reciclagem: construction plaster waste: generation and recycling. **IGNIS: Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Tecnologia de Informação**, v. 1, n. 1, p. 51-67, 2021.

SANTOS, Andréia da Silva; LOOS, Mauricio Johnny. A necessidade do balanceamento da matriz de transporte brasileira. 2018. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br>. Acesso em: 05 maio 2025.

SANTOS, Carlos Santiago dos et al. A importância do biodiesel. In: **Simpósio Internacional de Ciências Integradas da Unaerp campus Guarujá**, 2022, Guarujá. Anais [...]. Guarujá: UNAERP, 2022.

SCIMAGO INSTITUTIONS RANKINGS. Avaliação de impacto do ciclo de vida: revisão dos principais métodos. **SciELO**, v. 26, n. 1, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-6513.153213>. Acesso em: 24 fev. 2025.

SILVA, Paulo Regis Ferreira da; FREITAS, Thais Fernanda Stella de. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 843-851, maio/jun. 2008.

SINGER, Jeferson Dariva. Reflexões sobre a geração de resíduos de gesso em construções secas. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SOZIN, João Paulo Falcetti; MELO, Pedro Corrêa de. Avaliação do ciclo de vida de emissão de CO2 equivalente de vedação de light wood frame em Brasília. 2017.

SPIELMANN, Daniela Denise. Gesso como material de construção: uma análise de seus impactos desde a produção ao descarte. 2022. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022.

TROVÃO, Ana Paula Milagres. Pasta de gesso com incorporação de resíduo de gesso e aditivo retardador de pega. 2012. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

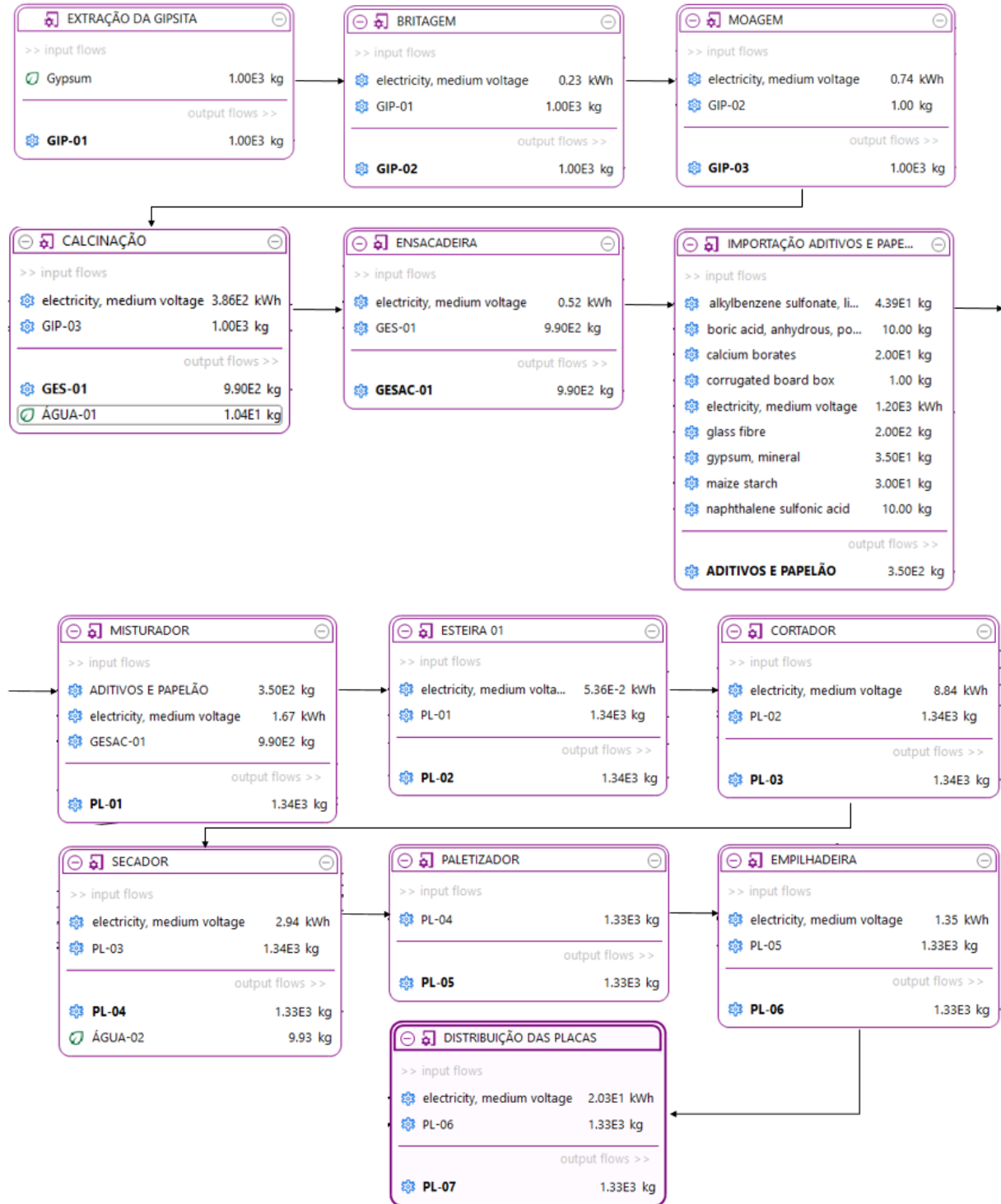
URBANO, José Junio. Estudo numérico do processo de calcinação da gipsita em fornos rotativos com aquecimento indireto a óleo. 2013. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

WERNET, G.; BAUER, C.; STEUBING, B.; REINHARD, J.; MORENO-RUIZ, E.; WEIDEMA, B. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [S.l.], v. 21, n. 9, p. 1218-1230, 2016. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>

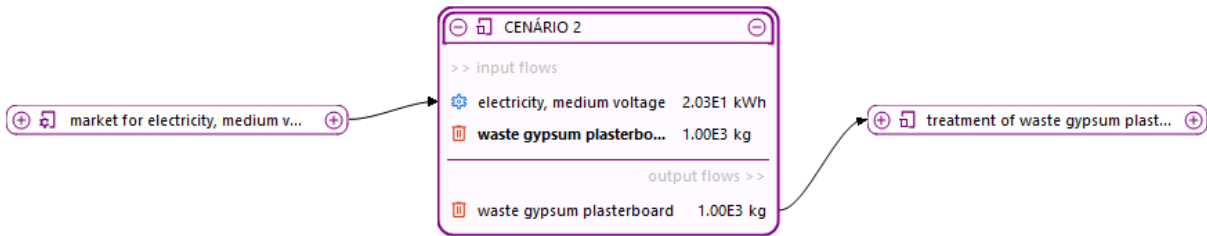
. Acesso em: 08 jan. 2025.

# APÊNDICES

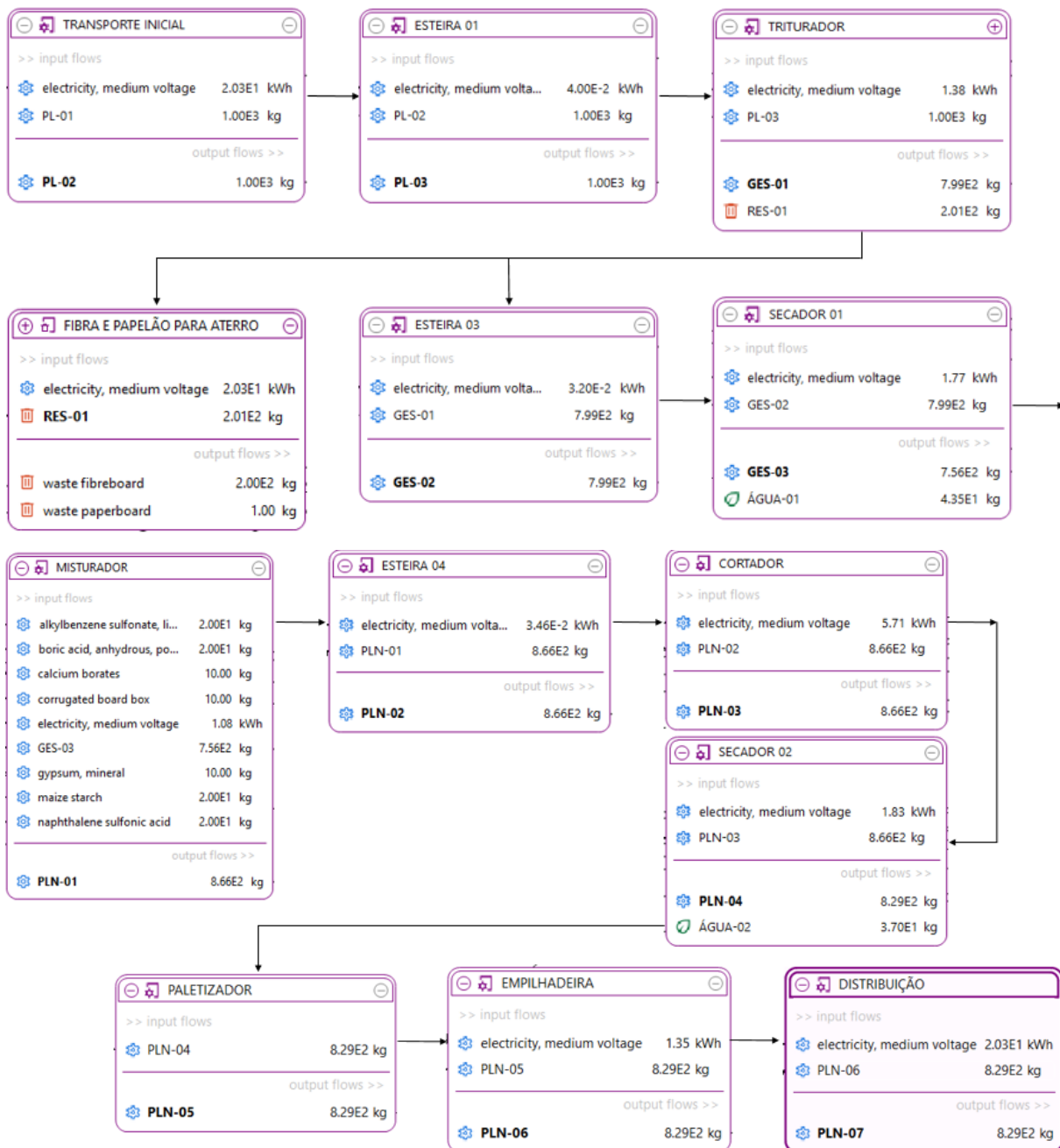
## APÊNDICE A – MODELAGEM REALIZADA NO SOFTWARE OPENLCA - CENÁRIO 1 REFERÊNCIA



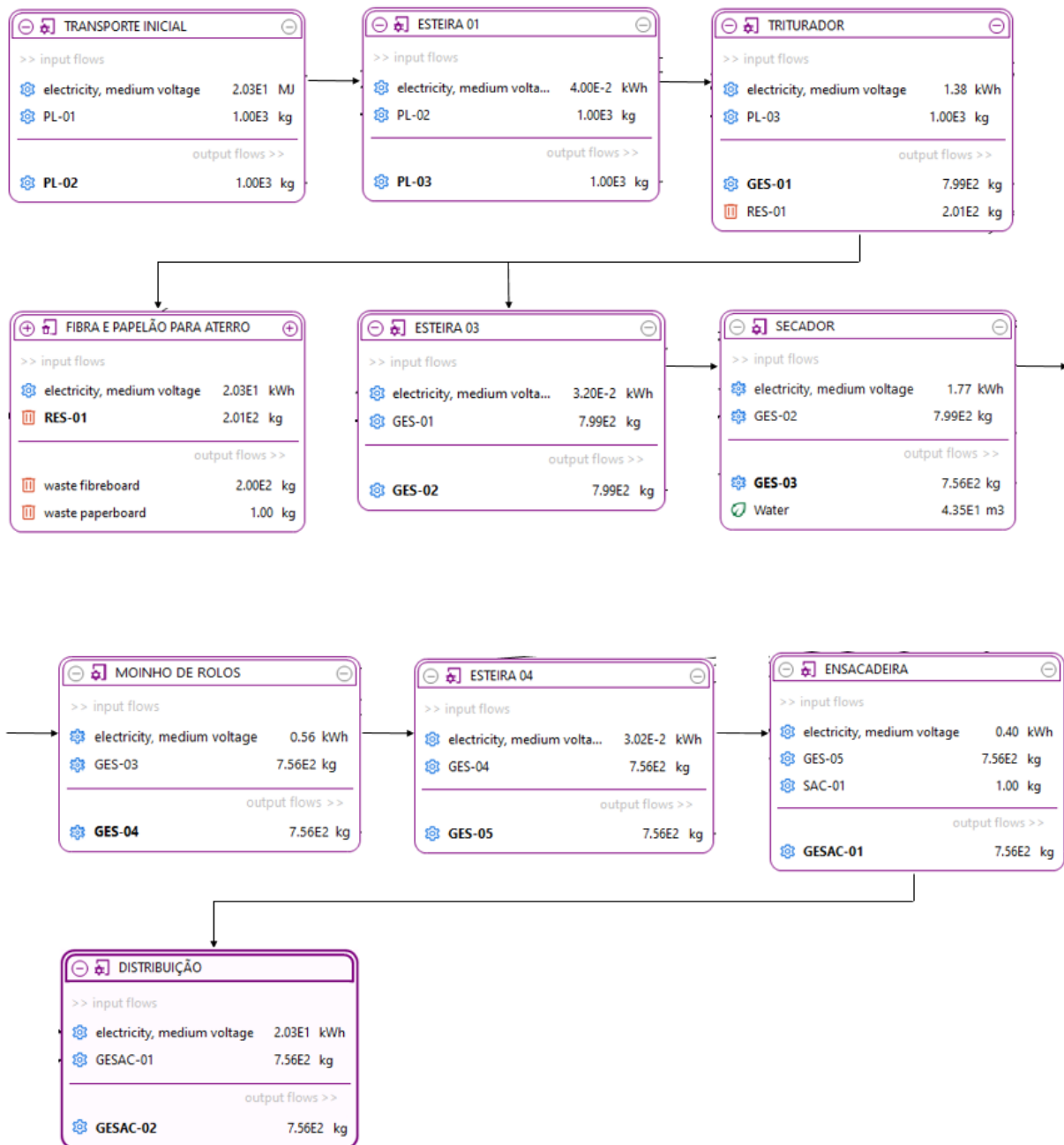
## APÊNDICE B – MODELAGEM REALIZADA NO SOFTWARE OPENLCA - CENÁRIO 2 DESCARTE DIRETO EM ATERRO



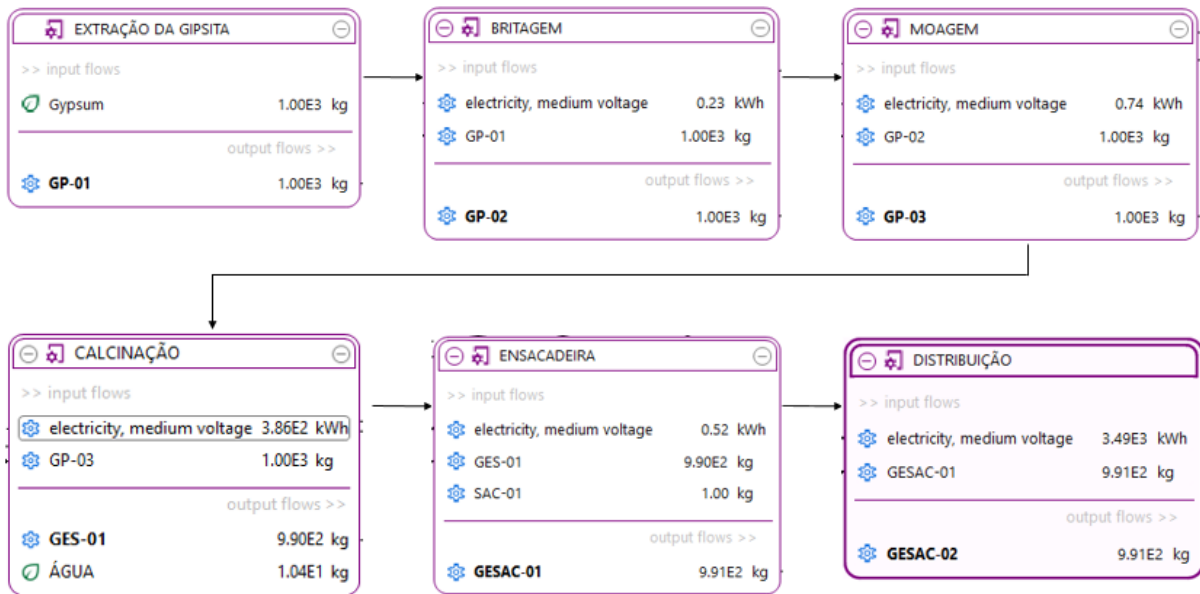
## APÊNDICE C – MODELAGEM REALIZADA NO SOFTWARE OPENLCA - CENÁRIO 3 RECICLAGEM PARA PRODUÇÃO DE NOVAS PLACAS (PROCESSO VIA ÚMIDA)



## APÊNDICE D – MODELAGEM REALIZADA NO SOFTWARE OPENLCA - CENÁRIO 4 RECICLAGEM PARA PRODUÇÃO DE GESSO EM PÓ (PROCESSO VIA SECA)



## APÊNDICE E – MODELAGEM REALIZADA NO SOFTWARE OPENLCA - CENÁRIO 5 PRODUÇÃO CONVENCIONAL DO GESSO EM PÓ



## **APÊNDICE F – ELABORAÇÃO DE PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA (PTT)**

### **1. INTRODUÇÃO**

O Produto Técnico-Tecnológico (PTT) é resultado da pesquisa realizada no Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) – *Campus Bambuí*. O Manual tem o objetivo de oferecer um guia técnico e acessível para profissionais, pesquisadores e tomadores de decisão que desejam compreender a metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV) e o programa computacional OpenLCA. O material apresenta uma abordagem sobre a metodologia ACV, demonstrando como essa ferramenta pode ser utilizada para avaliar diferentes situações.

### **2. OBJETIVOS**

Espera-se que este documento promova práticas adequadas de gerenciamento de resíduos de gesso acartonado, ajudando a reduzir a quantidade de materiais enviados para aterros sanitários. Outro ponto que se pode destacar é o incentivo à economia circular, em que os materiais são reutilizados e reciclados em vez de descartados após o uso.

### **3. PÚBLICO-ALVO**

O público-alvo do manual inclui engenheiros, arquitetos, gestores ambientais, acadêmicos e profissionais da indústria de materiais de construção que desejam aprofundar seus conhecimentos sobre a ACV e a reciclagem de gesso acartonado. Empresas que trabalham com *drywall* e gesso também poderão utilizar o material como referência para otimizar seus processos produtivos e implementar estratégias mais sustentáveis. Além disso, órgãos reguladores e formuladores de políticas públicas podem se beneficiar do conteúdo para desenvolver diretrizes e regulamentações voltadas à gestão adequada dos resíduos de gesso.

#### **4. JUSTIFICATIVA**

A importância desse manual reside no fato de que a reciclagem do gesso acartonado ainda é um desafio em muitos locais, e a falta de conhecimento técnico pode dificultar sua implementação em larga escala. Com um material didático e bem estruturado, espera-se contribuir para a difusão de informações sobre reciclagem e o papel da ACV na tomada de decisões ambientais mais fundamentadas. Além disso, ao ensinar o uso do *OpenLCA*, o manual proporcionará uma ferramenta acessível para que mais profissionais possam realizar suas próprias análises e otimizar processos de reciclagem e produção.

#### **5. CARACTERÍSTICAS DO PTT**

O conteúdo do manual abrangerá desde os conceitos fundamentais da ACV até a aplicação prática dessa metodologia no contexto do gesso acartonado. Será apresentado um estudo de caso utilizando o *software* OpenLCA, destacando como ele pode ser empregado para modelar diferentes cenários de reciclagem e descarte.

#### **6. LIMITAÇÕES**

O manual pode não abordar todas as dificuldades práticas enfrentadas na implementação da ACV, como a obtenção de dados primários confiáveis, a adaptação de inventários a contextos regionais e os desafios na interpretação de resultados. O uso eficiente do OpenLCA também exige um nível mínimo de conhecimento prévio sobre modelagem e análise de ciclo de vida, o que pode representar uma barreira para iniciantes. Além disso, a ACV é um campo dinâmico, sujeito a atualizações frequentes em metodologias, bases de dados e normas técnicas, tornando necessária a revisão periódica do material para manter sua relevância e precisão.

#### **7. PTT**

Segue, abaixo, a Produção Técnica e Tecnológica desenvolvida a partir da presente pesquisa:



## Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental

Mestrado Profissional

Avaliação do Ciclo de Vida – Gesso Acartonado

# Manual de uso OpenLCA

Lorena Dalva Lima  
Brenno Santos Leite  
Bruno Menezes Galindro



## FICHA TÉCNICA PARA A PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA

2025. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG)

Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte, desde que a obra original seja devidamente referenciada.

### GESTORES DO IFMG:

IFMG/BAMBUI – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05  
Caixa Postal 05 – Bambuí – MG – 38900-000 – [www.bambui.ifmg.edu.br](http://www.bambui.ifmg.edu.br)

REITOR DO IFMG – Prof. Dr. Rafael Bastos Teixeira

PRÓ-REITORA DE INOVAÇÃO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO – Prof. Dra. Gislayne Elisana Gonçalves

DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO DO IFMG – Prof. Dr. Venilson Luciano Benigno Fonseca

DIRETOR GERAL DO IFMG/BAMBUI – Prof. Dr. Humberto Garcia de Carvalho

DIRETOR DE INOVAÇÃO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DO IFMG/BAMBUI – Prof. Dr. Gustavo Augusto Soares

COORDENADORA DO MPSTA/IFMG BAMBUI – Prof. Dra. Ana Cardoso Clemente Ferreira Filha de Paula

### AUTORES

Lorena Dalva Lima (Mestranda do MPSTA – IFMG/Bambuí)

Brenno Santos Leite (Orientador – UFV/IFMG-Bambuí)

Bruno Menezes Galindro (Coorientador – IFSC)

### DIAGRAMAÇÃO E ILUSTRAÇÕES

Lorena Dalva Lima

Catálogo – Fonte Biblioteca IFMG – Campus Bambuí

L732a Lima, Lorena Dalva.

Avaliação do ciclo de vida – gesso acartonado: manual de uso OpenLCA. / Lorena Dalva Lima, Brenno Santos Leite, Bruno Menezes Galindro. – Bambuí, 2025.

42 p.; il.; color.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

1. Produto técnico. 2. Tanque de evapotranspiração. 2. Fossa ecológica de evapotranspiração. I. Leite, Brenno Santos. II. Galindro, Bruno Menezes. III. Título.

CDD 363.7282

Elaborada por Douglas Bernardes de Castro – CRB-6/2802



## Apresentação

Esse Produto Técnico e Tecnológico (PTT) é resultado da pesquisa realizada no Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) – Campus Bambuí. O Manual tem o objetivo de oferecer um guia técnico e acessível para profissionais, pesquisadores e tomadores de decisão que desejam compreender a metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV) e o software OpenLCA. O material apresenta uma abordagem sobre a metodologia da ACV, demonstrando como essa ferramenta pode ser utilizada para avaliar diferentes situações.

O conteúdo do manual abrangerá desde os conceitos fundamentais da ACV até a aplicação prática dessa metodologia no contexto do gesso acartonado. Será apresentado um passo a passo sobre o uso do software OpenLCA, destacando como ele pode ser utilizado para modelar diferentes cenários.

Este documento tem como objetivo incentivar práticas mais eficientes para o gerenciamento dos resíduos de gesso acartonado, contribuindo para a redução da quantidade de material descartado em aterros sanitários. Além disso, busca promover a economia circular, incentivando a reutilização e reciclagem do gesso, em vez de seu descarte após o uso, tornando o processo mais sustentável e reduzindo os impactos ambientais.

Boa leitura!

3

## Conteúdo



4

# 01 Resíduos de gesso acartonado

O faturamento anual da indústria de gesso brasileira situa-se em aproximadamente US\$ 300 milhões. Anualmente são produzidas aproximadamente 15 milhões de toneladas de resíduos de gesso em todo o mundo.

Outro fato relevante é que o Brasil é o maior produtor de gipsita da América do Sul.

Quando descartado de maneira inadequada em terrenos baldios, áreas de preservação ou nas proximidades de corpos d'água, há o risco de contaminação do solo e do lençol freático.

Quando esses resíduos são depositados em aterros sanitários, em contato com matéria orgânica, o gesso reage e como produto tem-se a liberação de gás sulfídrico, uma substância tóxica com sérios riscos à saúde humana.



## Normas regulamentadoras

ABNT NBR 14.715:2010 Chapas de gesso para *drywall*

ABNT NBR 14716:2010 Chapas de gesso acartonado

Resolução Nº 307 de 5 de junho de 2002

Lei Nº 12.305 de 2 de agosto de 2010





## 02 Avaliação do Ciclo de Vida

A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) ou conhecida também pelo termo Life Cycle Assessment (LCA) tem a função de analisar a carga ambiental potencial de um determinado produto ou serviço na sua fase de produção, uso e disposição. O Inmetro (2016) define a ACV como uma técnica de verificação dos impactos ambientais, que analisa balanços de massa e energia de todas as etapas que compõe o processo produtivo de determinado produto ou serviço. Essa metodologia pode ser resumida pelos termos "do berço ao túmulo" ou ainda, "do berço ao berço". Essa última expressão é utilizada em casos em que o produto seja reciclado ou reutilizado.

A ACV é baseada nas seguintes normativas:

ABNT NBR ISO 14040:2009 Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura;

ABNT NBR ISO 14044:2009 Gestão Ambiental: – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações.

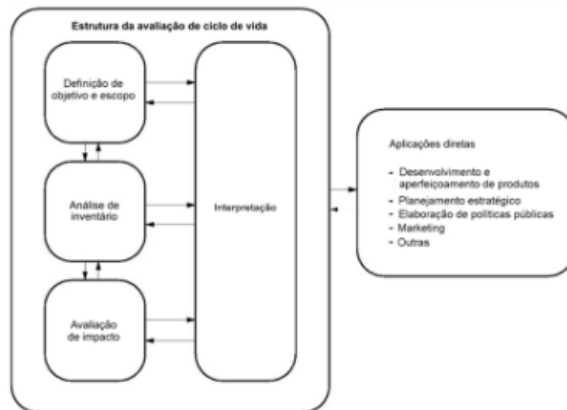
7

## 02 Avaliação do Ciclo de Vida

De acordo com a ISO 14040 (2009), a metodologia ACV é composta por quatro fases principais:

**Definição do objetivo e escopo:** Nesta etapa, define-se o propósito da avaliação, os limites do sistema e as unidades funcionais, que servem como critérios de desempenho para comparar diferentes produtos ou serviços;

**Análise do inventário do ciclo de vida:** Nesta fase, coletam-se dados sobre entradas e saídas de recursos e energia durante o ciclo de vida do produto, incluindo matérias-primas, consumo de energia, emissões e resíduos. Esses dados são organizados em uma tabela chamada inventário do ciclo de vida;



**Avaliação do impacto do ciclo de vida:** Nesta fase, os dados do inventário são analisados para avaliar os impactos ambientais, utilizando modelos e indicadores para quantificar efeitos em categorias como aquecimento global e demanda de energia acumulada. Os resultados são apresentados em indicadores específicos;

**Interpretação dos resultados:** Na última fase, os resultados são analisados em relação aos objetivos iniciais, avaliando incertezas e identificando as principais fontes de impacto. Também são identificadas oportunidades de melhoria para reduzir os impactos ambientais.

8



## 04 Conclusão

A **ACV** é uma ferramenta essencial para avaliar os impactos ambientais de produtos e processos, permitindo uma visão abrangente sobre a sustentabilidade. Com a crescente preocupação global com as mudanças climáticas e a busca por soluções mais ecológicas, a ACV tem ganhado cada vez mais destaque em diversas áreas, desde a indústria até a pesquisa acadêmica. Sua aplicação possibilita a identificação de oportunidades de melhoria, ajudando na tomada de decisões mais sustentáveis e na formulação de políticas ambientais mais eficazes.

O **openLCA** se destaca como um dos softwares mais utilizados. Gratuito e de código aberto, ele permite modelar sistemas complexos e calcular impactos ambientais com base em bancos de dados renomados, como o **Ecoinvent**. Sua versatilidade possibilita sua aplicação em diferentes tipos de pesquisa.

Esperamos que o manual desenvolvido possa contribuir significativamente para aqueles que desejam realizar estudos nessa área, fornecendo um guia acessível e prático para a implementação da ACV e a utilização do openLCA.



11

## Referências

IIBICT – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. O que é Avaliação do Ciclo de Vida – ACV. Disponível em: <https://acv.ibict.br/acv/o-que-e-o-acv/>. Acesso em: 24 fev. 2025.

GREENDELTA. openLCA – Life Cycle Assessment Software. Disponível em: <https://www.openlca.org/>. Acesso em: 24 fev. 2025.

JÚNIOR, Antonio Simões Branco; LIRA, Júlia Santiago de Matos Monteiro; SPOSTO, Rosa Maria. Energia e emissões de CO<sub>2</sub> de sistema de vedação vertical em drywall [Energy and CO<sub>2</sub> emissions of vertical sealing system in drywall]. Revista Eletrônica de Engenharia Civil – REEC, v. 14, n. 2, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/49613>. Acesso em: 9 mar. 2025.

LANA, Thiago Augusto Corlaite; PEREIRA, Andréa Franco. ACV simplificada e análise de emissões de CO<sub>2</sub> em sistemas de vedação arquitetônica. Mix Sustentável, Florianópolis, v. 6, n. 1, p. 145-162, 2020. Disponível em: <https://revistamixsustentavel.ufsc.br/article/view/2020acv>. Acesso em: 14 ago. 2024.

12