

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**DANIELA DENISE SPIELMANN**

**GESSO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO: UMA ANÁLISE DE SEUS  
IMPACTOS DESDE A PRODUÇÃO AO DESCARTE**

**PATO BRANCO**

**2022**

**DANIELA DENISE SPIELMANN**

**GESSO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO: UMA ANÁLISE DE SEUS  
IMPACTOS DESDE A PRODUÇÃO AO DESCARTE**

**GYP SUM AS A CONSTRUCTION MATERIAL: AN ANALYSIS OF ITS IMPACTS  
FROM PRODUCTION TO DISPOSAL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. MSc. Normelio Vitor Fracaro.

**PATO BRANCO**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**DANIELA DENISE SPIELMANN**

**GESSO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO: UMA ANÁLISE DE SEUS  
IMPACTOS DESDE A PRODUÇÃO AO DESCARTE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 20/junho/2022

---

Normélio Vitor Fracaro  
Mestrado em Ciência do Solo  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Pato Branco

---

Jairo Trombetta  
Mestrado em Engenharia  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Pato Branco

---

Elizângela Marcelo Siliprandi  
Doutorado em Engenharia de Produção  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Pato Branco

**PATO BRANCO**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Certamente palavras não serão suficientes para expressar a minha imensa gratidão a todos que estiveram presentes nesta fase tão importante da minha trajetória, através das mais puras palavras de apoio em cada momento de dificuldade.

Agradeço ao Prof. Normelio Fracaro, pela orientação e paciência para que este trabalho se concretizasse.

Aos meus pais, Luiz e Valéria, pela confiança em mim depositada e por todo o apoio para vencer este grande desafio.

Ao meu namorado, Lucas, por estar ao meu lado em cada adversidade e não me permitir desacreditar deste sonho.

A minha irmã e meu cunhado, Carliane e Jucinei, por todo incentivo e conselhos nesta árdua caminhada.

A minha afilhada, Maísa, pela alegria contagiante nos momentos em que mais precisei.

Aos professores, pela imensa contribuição pessoal e profissional.

Aos colegas e amigos da graduação, com os quais pude compartilhar os obstáculos diários.

Aos amigos de longa data, que apesar do tempo e da distância sempre se fizeram presentes.

Aos familiares, pelos mais simples gestos de apoio.

Enfim, a todos os que acreditam neste sonho e contribuíram para torná-lo possível.

Sem sonhos, a vida não tem brilho. Sem metas, os sonhos não têm alicerces. Sem prioridades, os sonhos não se tornam reais.  
(CURY, 2018).

## Resumo

O gesso é um material de construção amplamente empregado na atualidade e um dos mais antigos aglomerantes conhecidos pelo homem. O material é produzido a partir da extração e calcinação da gipsita, minério encontrado em solos sedimentares. Sabe-se que o setor da construção civil é conhecido como um dos maiores geradores de resíduos sólidos, fato que se assemelha com a produção e utilização do gesso. Durante a extração e calcinação da gipsita são originados resíduos de material particulado, descarte de material inadequado à produção e material estéril. Na produção de componentes de gesso, os resíduos são compreendidos por placas danificadas durante o manuseio ou não aprovadas pelo processo de qualidade. Por fim, em sua aplicação pela construção civil, são produzidos resíduos devido ao rápido endurecimento de pasta de gesso ou em função de cortes de gesso acartonado de acordo com a modulação das obras. Pode-se afirmar que todos os resíduos oriundos de gesso impactam ambientalmente na região em que são descartados. O gesso, ao ser descartado de modo inadequado, tem potencial de contaminação do solo e lençol freático, além de desenvolver reações químicas que originam gases poluentes e inflamáveis. Desta maneira, o descarte dos resíduos de gesso é uma temática preocupante em meio ao cenário da construção civil e fomenta estudos para atenuar a geração destes resíduos. Soluções aos impactos ambientais decorrentes da produção e utilização do gesso são caracterizadas por ações que visam a redução dos resíduos produzidos e pela nova classificação do material enquanto resíduo reciclável. O processo de reciclagem ainda é pouco estruturado no Brasil, porém o seu desenvolvimento é necessário e viável como uma das soluções para mitigar os impactos dos resíduos de gesso.

Palavras-chave: gesso; resíduo; impacto; descarte.

## **ABSTRACT**

Gypsum is a building material widely used today and one of the oldest binders known to man. The material is produced from the extraction and calcination of gypsum, an ore found in sedimentary soils. It is known that the construction sector is known as one of the largest generators of solid waste, a fact that is similar to the production and use of gypsum. During the extraction and calcination of gypsum, residues of particulate matter, disposal of material unsuitable for production and sterile material are generated. In the production of gypsum components, waste is comprised of boards damaged during handling or not approved by the quality process. Finally, in its application by civil construction, residues are produced due to the rapid hardening of gypsum paste or due to plasterboard cuts according to the modulation of the works. It can be said that all waste from gypsum has an environmental impact on the region where it is discarded. Gypsum, when improperly disposed of, has the potential to contaminate the soil and water table, in addition to developing chemical reactions that generate polluting and flammable gases. In this way, the disposal of gypsum waste is a matter of concern in the civil construction scenario and encourages studies to mitigate the generation of this waste. Solutions to the environmental impacts resulting from the production and use of gypsum are characterized by actions aimed at reducing the waste produced and by the new classification of the material as recyclable waste. The recycling process is still poorly structured in Brazil, but its development is necessary and viable as one of the solutions to mitigate the impacts of gypsum waste.

Keywords: plaster; residue; impact; discard.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do sertão de Araripe .....	15
Figura 2: Estrutura geológica do Brasil.....	20
Figura 3: Lavra de gipsita no polo gesseiro de Araripe.....	20
Figura 4: Fluxograma da produção de gesso por forno tipo panela.....	22
Figura 5: Fluxograma da produção de gesso por forno tipo marmita .....	22
Figura 6: Fluxograma da produção de gesso por forno tipo tubular rotativo....	23
Figura 7: Aplicação do gesso na construção civil - rebaixamento de forro.....	28
Figura 8: Aplicação do gesso na construção civil - blocos .....	28
Figura 9: Aplicação do gesso na construção civil - revestimento .....	29
Figura 10: Gráfico da coleta de RCD nas regiões brasileiras (t/ano) .....	31
Figura 11: Composição percentual de RCD nos Estados Unidos da América ..	31
Figura 12: Resíduo da extração de gipsita.....	32
Figura 13: Resíduo da britagem da gipsita .....	33
Figura 14: Resíduos da calcinação da gipsita .....	33
Figura 15: Resíduo de acondicionamento do gesso.....	34
Figura 16: Resíduo da fabricação artesanal de componentes de gesso .....	34
Figura 17: Geração de resíduos na execução de revestimento com pasta de gesso .....	36
Figura 18: Geração de resíduos de chapa de gesso acartonado .....	36
Figura 19: Ciclo de vida do gesso .....	38
Figura 20: Descarte inadequado do gesso.....	40
Figura 21: Comparativo do resíduo gerado por aplicadores com e sem treinamento.....	45
Figura 22: Fluxograma da reciclagem de gesso sem calcinação.....	47
Figura 23: Separação e armazenamento do gesso para coleta .....	48



## **LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1: Compostos obtidos a partir da calcinação da gipsita .....</b>	<b>24</b>
<b>Quadro 2: ATTs para recebimento de resíduo de gesso no Brasil .....</b>	<b>39</b>
<b>Quadro 3: Impactos ambientais do processo de produção .....</b>	<b>40</b>

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1: Produção mundial de gipsita .....</b>	<b>18</b>
<b>Tabela 2: Produção mundial de gesso .....</b>	<b>19</b>
<b>Tabela 3: Requisitos físicos e mecânicos do gesso para construção civil.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabela 4: Requisitos físicos do gesso para construção civil (granulometria via seca) .....</b>	<b>26</b>
<b>Tabela 5: Requisitos físicos do gesso para construção civil (tempo de pega) .</b>	<b>27</b>
<b>Tabela 6: Requisitos químicos do gesso sem aditivos para construção civil ...</b>	<b>27</b>
<b>Tabela 7: Volume de resíduos de gesso durante atividades de construção e demolição no Brasil .....</b>	<b>35</b>

## LISTA DE ABREVIações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CaO	Óxido de cálcio
CaSO <sub>4</sub> .0,5H <sub>2</sub> O	Sulfato de cálcio hemi-hidratado
CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	Sulfato de cálcio di-hidratado (gipsita)
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
NBR	Norma brasileira
RCD	Resíduo de construção e demolição
SINDUSGESSO	Sindicato da Indústria do Gesso do Estado do Pernambuco

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>14</b>
1.1.1	Objetivo Geral .....	14
1.1.2	Objetivos Específicos .....	14
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>O gesso</b> .....	<b>17</b>
2.1.1	Aspectos históricos .....	17
2.1.2	Processo produtivo .....	18
2.1.3	Os tipos de gesso .....	24
2.1.4	As propriedades do gesso .....	26
2.1.5	Aplicabilidade na Construção Civil.....	27
<b>2.2</b>	<b>Resíduos da Construção Civil</b> .....	<b>30</b>
2.2.1	O resíduo de gesso .....	31
2.2.1.1	<u>Oriundo da produção</u> .....	<u>32</u>
2.2.1.2	<u>Oriundo da construção e demolição (RCD)</u> .....	<u>35</u>
2.2.2	O descarte do resíduo de gesso.....	37
2.2.3	Impacto do descarte de resíduo do gesso.....	40
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>42</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISES E RESULTADOS</b> .....	<b>44</b>
<b>4.1</b>	<b>Alternativas para redução dos resíduos de gesso e mitigação dos impactos ambientais</b> .....	<b>44</b>
4.1.1	Redução da geração de resíduos .....	44
4.1.2	Reciclagem do gesso .....	45
4.1.2.1	<u>O processo de reciclagem do gesso</u> .....	<u>47</u>
4.1.2.2	<u>Utilização do gesso reciclado</u> .....	<u>50</u>
<b>4.2</b>	<b>Considerações do capítulo</b> .....	<b>51</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Historicamente guiada por sistemas construtivos convencionais, a construção civil tem sido revolucionada pela busca e empregabilidade de materiais e métodos alternativos que proporcionem maior eficiência e funcionalidade às construções. Neste âmbito, o gesso se destaca no setor ao ser amplamente empregado em revestimentos de tetos e paredes, confecção de componentes pré-moldados, como forros e divisórias, e elementos decorativos (PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS, s/d).

Associado ao crescimento de sua aplicabilidade, tornou-se consequência o aumento do descarte de resíduos de gesso presentes em construções e demolições; sendo tais resíduos decorrentes, principalmente, do desperdício de materiais nos processos construtivos adotados e do planejamento de atividades no canteiro de obras (SCHENINI, BAGNATI, CARDOSO, 2004).

Conforme a Resolução n° 307/02 do CONAMA, qualquer material oriundo de construção, reforma, reparo ou demolição de obras do setor da construção civil pode ser considerado como um resíduo da construção civil e sendo, portanto, comumente chamado de entulho de obra (BRASIL, 2002). Na última década, a geração de resíduos de construção e demolição (RCD), no Brasil, apresentou um crescimento superior a 33%, evidenciando a coleta de mais de 47 milhões de toneladas de tais resíduos nos municípios brasileiros, em 2020 (ABRELPE, 2021). Associado ao exposto, Apolinário (2015) menciona o gesso como responsável por 4% dos entulhos gerados pela construção.

O resíduo do gesso, conforme Pinheiro (2011), apresenta propriedades que promovem a sulfurização do solo e contaminação do lençol freático, em virtude da sua facilidade de solubilização; bem como, pode originar gases que além de serem considerados tóxicos, podem ser inflamáveis. Destarte, os cuidados especiais com sua destinação final tornam-se fundamentais para a minimização do impacto ambiental causado pelo seu descarte.

Em contrapartida, no Brasil, os resíduos oriundos da utilização do gesso na construção civil não apresentavam tecnologias e aplicações economicamente viáveis para a sua reciclagem/recuperação e possuíam sua destinação final determinada pela Resolução n° 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), na qual inicialmente estavam classificados como resíduos Classe C. Todavia, por meio da Resolução n° 431/2011

do referido conselho e que alterou a Resolução n° 307/2002, tal resíduo passou a ser classificado como integrante da Classe B e, deste modo, considerado como resíduo reciclável (BRASIL, 2011).

Desta maneira, a reclassificação do resíduo de gesso sob a perspectiva do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) indica haver viabilidade econômica e aplicabilidade dos produtos oriundos de sua reciclagem. Contudo, Pinheiro (2011) destaca ainda a necessidade da análise da geração do resíduo e o conhecimento de suas características para o desenvolvimento de tecnologias que permitam sua posterior utilização com desempenho satisfatório.

À vista disso, espera-se que este estudo possibilite discussões acerca da produção do gesso e os impactos ambientais causados por este processo, bem como em relação à destinação conferida ao resíduo do gesso oriundo da construção civil. Deste modo, pretende-se responder os seguintes questionamentos: há alternativas para a mitigação dos impactos ambientais da produção do gesso? E, a destinação atribuída atualmente aos resíduos de gesso está correta, frente aos impactos ambientais gerados pelo seu descarte?

Para tanto, o estudo estará estruturado em 3 partes; dentre os quais, a primeira aborda a história do gesso desde a produção até sua aplicabilidade na construção civil, a segunda trata dos resíduos gerados a partir do gesso e a terceira engloba alternativas para redução de tais resíduos e mitigação dos impactos ambientais gerados por este material. Na sequência, são apresentadas discussões acerca do exposto e a conclusão do trabalho.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Levantar alternativas para mitigar os impactos oriundos dos resíduos de gesso, em seu processo produtivo e remanescente de construções.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Apresentar o processo de extração da gipsita e produção do gesso, relacionando os impactos ambientais resultantes.

Analisar o uso e descarte inadequado do gesso enquanto material de construção civil.

Compreender o panorama nacional em termos da destinação de resíduos da construção civil, especificamente com relação ao gesso.

Indicar alternativas para a redução dos resíduos de gesso e mitigação dos impactos ambientais do seu descarte.

## 1.2 Justificativa

O gesso é um dos materiais mais antigos utilizados pela Construção Civil, sendo um aglomerante cuja matéria prima natural é constituída pela gipsita. No Brasil, a produção de gipsita ocorre predominantemente na região do Polo Gesseiro de Araripe, localizado no extremo oeste pernambucano, conforme mostra a Figura 1, e sendo responsável pela produção de 2,1 milhões de toneladas no ano de 2017, segundo dados do Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco (BRASIL, 2018).

**Figura 1: Localização do sertão de Araripe**



**Fonte: SINDUSGESSO (2016)**

Em consonância à produção nacional, em 2017, o Brasil ainda efetuou a importação de aproximadamente 207 mil toneladas de gipsita e seus derivados (BRASIL, 2018); fato este que destaca a grande empregabilidade do material no país.

Em que pese o volume de resíduos de gesso gerado a partir de suas unidades produtoras seja desconhecido (PINHEIRO, 2011), considera-se provável que estes representem uma massa significativa ao ponto de viabilizar o processo de reciclagem, por exemplo, em nível industrial – tanto na região de produção quanto em outras

regiões do país cuja utilização do gesso origine um grande volume de resíduos (JOHN; CINCOTTO, 2003).

Desta maneira, o fato do Brasil ser o maior produtor de gipsita da América do Sul (BRASIL, 2018) evidencia a importância de se tratar sobre os resíduos oriundos da sua extração e utilização para produção do gesso em âmbito nacional, tendo em vista os impactos ambientais gerados pelos seus resíduos e seu descarte inadequado, como o risco de contaminação do solo e lençol freático, por exemplo.

O carência de dados acerca da quantificação de resíduos de gesso gerados nas construções brasileiras pode ser compreendido como consequência da insuficiência de meios para uma destinação assertiva de tais resíduos. Sabe-se ainda que, no Brasil, grande parcela das construções e demolições se deparam com dificuldades em relação à coleta e posterior transporte dos resíduos. Desta forma, a originalidade do trabalho está centrada na busca por alternativas que mitiguem a problemática encontrada em termos da destinação dos resíduos de gesso.

Deste modo, a delimitação do tema se concentrou no estudo da destinação dos resíduos de gesso gerados pela construção civil, visando questionar o rumo atual de tais resíduos, e proposição de alternativas para tal que minimizem os impactos ambientais gerados pelo seu descarte. À vista disso, para o desenvolvimento do trabalho será necessária uma revisão bibliográfica acerca das propriedades e aplicabilidades do material na construção civil, bem como análise dos resíduos oriundos da sua utilização e sua respectiva destinação. Havendo a disponibilidade de tais materiais na rede internacional de informações, o estudo torna-se viável.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O gesso

#### 2.1.1 Aspectos históricos

O gesso, conhecido como um dos materiais mais antigos utilizados pelo homem, teve o seu emprego apontado em ruínas da Síria e Turquia há aproximados 8 milênios a.C. (MUNHOZ, 2006); local este em que, segundo Pinheiro (2011), era aplicado como argamassa para pisos, suporte de afrescos e fabricação de recipientes.

Os pesquisadores Gourdin e Kingery (1975) *apud* Pinheiro (2011) indicaram em seus estudos a presença do gesso junto ao material empregado nas juntas de assentamento dos blocos que constituem as Pirâmides de Gizé, no Egito, construídas em meados de 2800 a.C.

Na África, conforme Munhoz (2006), têm-se descobertas da presença do gesso na construção de barragens e canais, bem como aplicação junto à blocos de terra utilizados pelos bárbaros para o levantamento de suas habitações.

Após a invasão romana, em meados de 222 a.C., houve a propagação do uso de gesso no Ocidente. Concentrado principalmente na França, o material era associado a placas de madeira e aplicado no fechamento de ambientes; bem como, esteve presente em elementos decorativos de sarcófagos confeccionados à época (PINHEIRO, 2011).

A disseminação do gesso na França foi registrada a partir de uma carta real, de 1292, em que cita a exploração de 18 jazidas de pedra de gesso na região parisiense (MUNHOZ, 2006).

A partir do século XVIII, o emprego do gesso expandiu-se por toda a Europa; sendo o seu uso estimulado e intensificado na construção civil a partir da descoberta do processo de retardamento do tempo de pega, em 1885 (BALTAR, BASTOS, LUZ, 2005 *apud* FERREIRA, 2017).

Historicamente produzido e utilizado de modo rudimentar, o gesso passou a ser foco de estudos científicos no final do século XVIII, momento em que Lavoisier apresentou à Academia de Ciências Francesas o primeiro estudo relativo à origem da preparação do gesso.

Posteriormente, o desenvolvimento de novos estudos e a associação de tecnologias ao processo de obtenção da matéria-prima, por exemplo, viabilizaram a produção de um material com maior qualidade e com nichos de aplicação ainda mais diversificados, tais como revestimentos a partir da composição de argamassas.

### 2.1.2 Processo produtivo

O gesso é um material produzido a partir de uma única matéria-prima, conhecida como gipsita. A gipsita é um mineral composto por sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) que, segundo Fernandes (2017), é facilmente encontrado em rochas sedimentares formadas a partir de depósitos evaporatórios naturais de antigos oceanos.

De acordo com o Sumário Mineral Brasileiro elaborado pela Agência Nacional de Mineração (BRASIL, 2018), a China pode ser considerada líder mundial na produção de gipsita, apresentando a produção de 130 milhões de toneladas do minério em 2017. Nesta mesma análise, o Brasil encontra-se na 16ª posição mundial de produção, como mostra a tabela 1 abaixo.

**Tabela 1: Produção mundial de gipsita**

<b>Posição</b>	<b>Países</b>	<b>Produção (10<sup>3</sup> t) em 2017</b>
1°	China	130.000
2°	Estados Unidos da América	17.500
3°	Irã	16.000
4°	Tailândia	11.000
5°	Turquia	9.000
6°	Itália	8.600
7°	Espanha	7.000
8°	Omã	6.000
9°	México	5.400
10°	Japão	4.700
11°	Rússia	4.400
12°	Índia	3.500
13°	França	3.300
14°	Austrália	2.600
15°	Egito	2.200
16°	Brasil	2.113
	Demais países	24.587

**Fonte: Elaboração própria com base no Sumário Mineral Brasileiro (2018)**

Em contrapartida, o aproveitamento da gipsita para a produção do gesso evidencia um novo cenário mundial sob liderança dos Estados Unidos da América,

com a produção de 22 milhões de toneladas de gesso no ano de 2020 (Tabela 2), e o Brasil na 13ª posição de tal ranking, segundo dados do Ministério de Minas e Energia da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (2021) por meio do Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos.

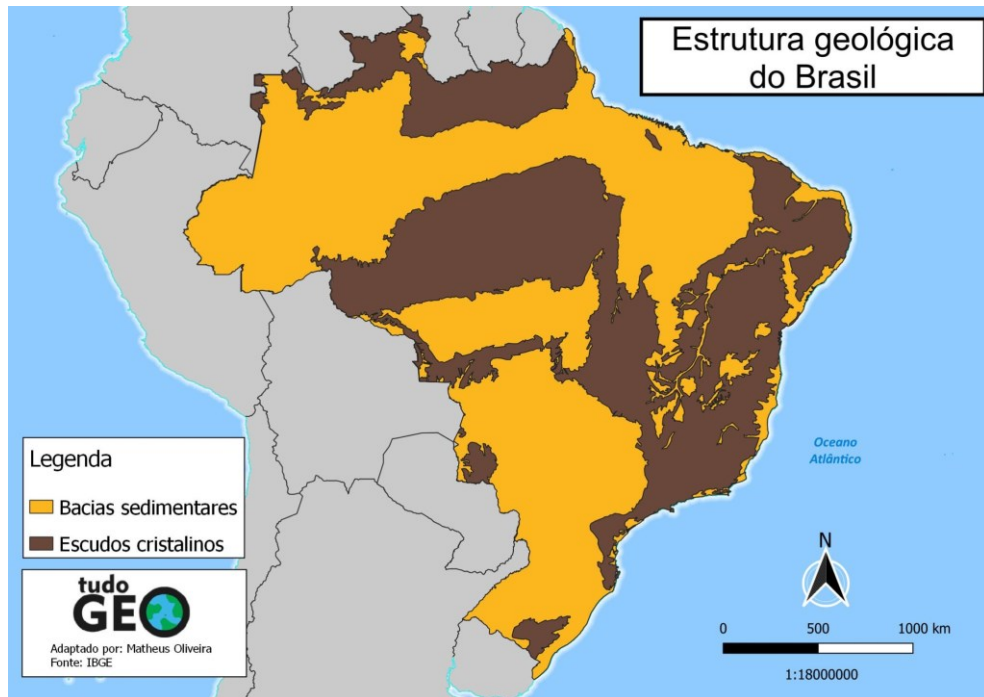
**Tabela 2: Produção mundial de gesso**

<b>Posição</b>	<b>Países</b>	<b>Produção (10<sup>3</sup> t) em 2020</b>
1°	Estados Unidos da América	22.000
2°	China	16.000
3°	Irã	16.000
4°	Omã	11.000
5°	Turquia	10.000
6°	Tailândia	9.300
7°	Espanha	7.000
8°	México	5.400
9°	Japão	4.700
10°	Rússia	3.800
11°	Arábia Saudita	3.300
12°	Alemanha	3.200
13°	Brasil	3.200
	Demais países	35.400

**Fonte: Elaboração própria com base no Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos (BRASIL, 2021)**

O Brasil, conforme Araujo e Farias (2020), apresenta bacias sedimentares presentes em 60% do território nacional (Figura 2); sendo que as principais concentrações do minério de gipsita estão situadas nas regiões Norte e Nordeste. Neste contexto, o estado de Pernambuco possui destaque como maior produtor nacional e foi responsável por aproximadamente 80% da produção brasileira, em 2017 (BRASIL, 2018).

O polo gesseiro de Araripe, localizado no extremo oeste pernambucano, é destaque na produção nacional de gesso ao englobar aproximadamente 800 empresas no processo, dentre as quais encontram-se 140 calcinadoras, 49 mineradoras e cerca de 600 empresas fabricantes de produtos pré-moldados a partir do gesso (BRASIL, 2016 *apud* Fernandes, 2017). Nesta região, as condições geológicas viabilizam a extração da gipsita a céu aberto (Figura 3) com o desenvolvimento de bancadas com cerca de 20 m de altura.

**Figura 2: Estrutura geológica do Brasil**

Fonte: TUDOGEO (2022)

**Figura 3: Lavra de gipsita no polo gesseiro de Araripe**

Fonte: Pinheiro (2011)

A fabricação do gesso, segundo Fernandes (2017), pode ser descrita por três etapas principais, as quais englobam a extração, moagem ou britagem e calcinação

ou autoclave – sendo que a determinação do processo específico leva em consideração o tipo de gesso almejado.

Após a extração da matéria-prima nas jazidas gipsíferas, os blocos de minério são submetidos a uma série de procedimentos mecânicos nos quais são fragmentados com objetivo de promover a redução de suas dimensões e gerar uma maior homogeneização do material.

Apolinário (2015) menciona que o processo de moagem, ou britagem, consiste na utilização de britadores de mandíbula e moinhos de martelo. Inicialmente, o minério de gipsita é reduzido a fragmentos com diâmetros inferiores a 100 mm para viabilizar seu transporte por esteiras; sendo que no decorrer do processo de moagem, pode ser reduzido a dimensões inferiores a 25 mm (PINHEIRO, 2011) de modo a adequar-se para a efetividade do posterior processo de calcinação.

Na sequência, o minério moído de gipsita é encaminhado para o processo de calcinação, caracterizado como uma das etapas mais importante da produção do gesso. A calcinação consiste na desidratação do sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), comumente gipsita, através de um processo térmico com utilização de fornos em uma faixa de 140°C a 160°C (FERREIRA, 2017).

A calcinação, ao promover a desidratação do minério de gipsita, origina materiais resultantes com variação de sua composição em função das condições sob as quais o processo de calcinação é desenvolvido. Neste contexto, Pinheiro (2011) apresenta dois princípios base para o procedimento: por via úmida e por via seca.

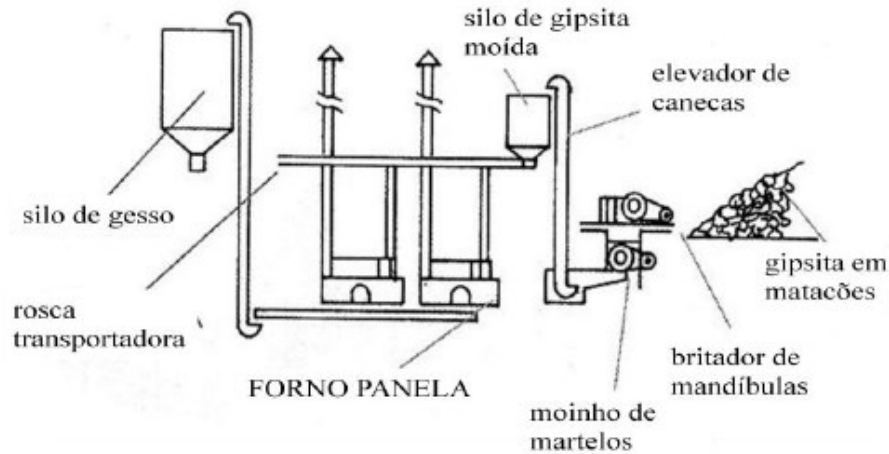
- (i) *Via úmida* – a calcinação por via úmida ocorre em fornos cujo ambiente se encontra sob pressão de vapor de água saturado, em autoclaves. O produto obtido é o hemi-hidrato  $\alpha$  (gesso tipo  $\alpha$ ), usado em moldes de precisão e na odontologia e
- (ii) *Via seca* – a calcinação por via seca é realizada em fornos sob pressão atmosférica ou com uma fraca pressão de vapor de água. O produto obtido é o hemi-hidrato  $\beta$  (gesso tipo  $\beta$ ), usado na construção civil.  
(PINHEIRO, 2011, pg. 23).

O processo térmico para a calcinação da gipsita é desenvolvido através de fornos cuja energia se origina na combustão de lenha; sendo tais fornos conhecidos, de acordo com Apolinário (2015) e Pinheiro (2011) pelos seguintes tipos:

- (i) Forno tipo panela – forno caracterizado pela forma de ‘panelão’ de aço, sendo circular, aberto, de grande diâmetro e pequena altura, conforme ilustrado na Figura 4. Comumente está assentado sobre uma fornalha de alvenaria, não permitindo o contato direto do material com a chama.

Possui pás homogeneizadoras em seu interior. O controle de temperatura e tempo de residência do material são empíricos, mediante análise visual. Sua utilização está em fase de extinção.

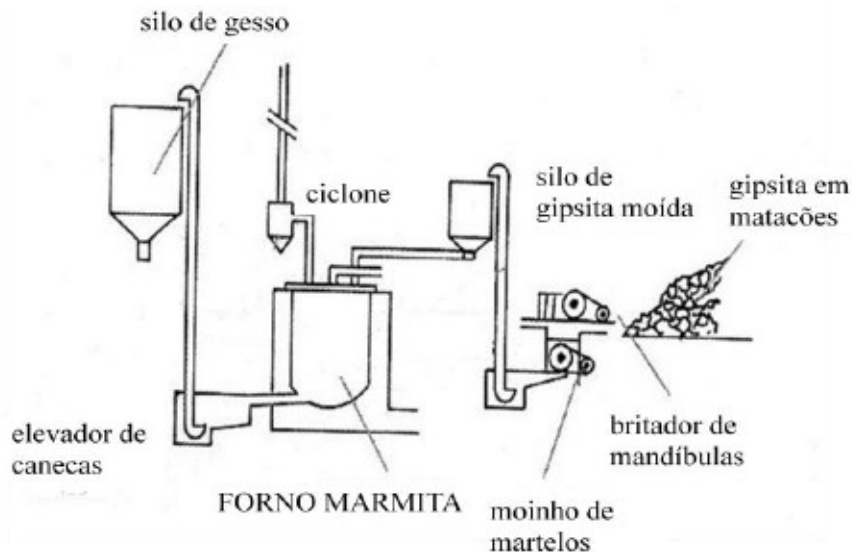
**Figura 4: Fluxograma da produção de gesso por forno tipo panela**



**Fonte: Pinheiro (2011)**

- (ii) Forno tipo marmita – consiste em ‘panelões’ fechados (cubas) providos de um sistema de palhetas internas que promovem a homogeneidade do material (Figura 5). Permite a utilização de combustíveis alternativos, como o óleo BPF (óleo preto). O controle de temperatura ocorre por meio de pirômetros e o tempo de residência é determinado por gravimetria. O processo produtivo com forno tipo marmita possui capacidade cinco vezes maior em relação à utilização do forno tipo panela.

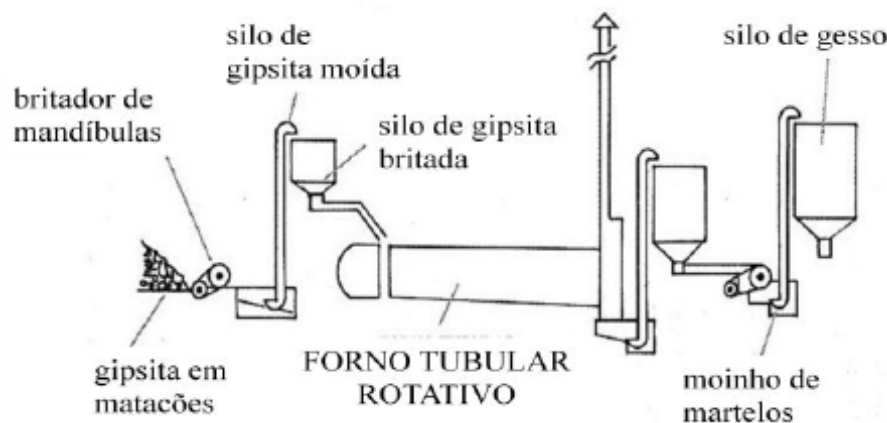
**Figura 5: Fluxograma da produção de gesso por forno tipo marmita**



**Fonte: Pinheiro (2011)**

- (iii) Forno tipo tubular rotativo – caracterizado pela forma de tubo giratório, o qual é composto por aço e material refratário. O material moído entra em contato direto com a chama através de um maçarico posicionado nas proximidades da abertura de alimentação e percorre toda a extensão do forno em virtude da gravidade, pois possui certa inclinação no tubo (Figura 6). O controle de temperatura é realizado pela chama do maçarico e o tempo de residência varia em função da velocidade de rotação do tubo. Este tipo de forno viabiliza um sistema de produção contínua e produto com características mais uniformes.

**Figura 6: Fluxograma da produção de gesso por forno tipo tubular rotativo**

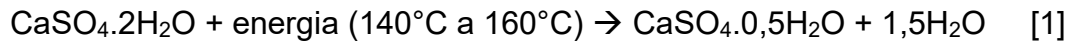


**Fonte: Pinheiro (2011)**

- (iv) Forno tubular paralelo – forno constituído por um tubo central e tubos periféricos nos quais circulam gases aquecidos. O minério não entra em contato direto com a chama. O controle da temperatura ocorre por meio da chama do maçarico e o tempo é determinado pela velocidade de rotação do tubo.
- (v) Forno intermitente – constituído de aço e material refratário. O controle de temperatura e tempo é automatizado e costuma seguir instruções oriundas do gerenciamento por computadores. Em alguns casos possui controle de perda de massa do material.

Sobremaneira, o processo de calcinação através de qualquer tipo de forno citado, irá promover a desidratação do sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) em virtude da reação do mesmo com a energia em forma de calor, resultando na liberação da água livre e formação de compostos como hemi-hidrato ou anidritas.

Destarte, a reação química da produção de gesso pode ser resumida pela equação [1].



### 2.1.3 Os tipos de gesso

O termo genérico 'gesso' é usado comumente para descrever uma família de aglomerantes produzida por meio da calcinação da gipsita, a qual é composta por variações da condição de hidratação, segundo Bauer (2000) *apud* Ferreira (2017), conforme apresentado no Quadro 1 abaixo.

**Quadro 1: Compostos obtidos a partir da calcinação da gipsita**

Temperatura de Calcinação	Composto Originado	Características
140°C a 160°C	Hemi-hidrato (CaSO <sub>4</sub> ·0,5H <sub>2</sub> O)	Solúvel. Pode resultar no hemi-hidrato α ou β.
160°C a 190°C	Anidrita III (CaSO <sub>4</sub> ·εH <sub>2</sub> O)	Tem pega rápida. Pode conter água de cristalização em baixo teor. Com a umidade do ar, se transforma em hemi-hidrato.
220°C a 800°C	Anidrita II (CaSO <sub>4</sub> )	Baixa velocidade de hidratação.
Acima de 800°C	Anidrita I (CaSO <sub>4</sub> )	

**Fonte: Adaptado de Apolinário (2015)**

As variações mais comuns dos compostos oriundos de gipsita, desta maneira, são conhecidas como hemi-hidrato (α e β), anidrita tipo III ou solúvel, anidrita tipo II ou insolúvel e anidrita tipo I; sendo que, tais distinções decorrem da temperatura e pressão utilizados no processo de calcinação.

Assim sendo, as composições resultantes da calcinação da gipsita podem ser definidas como segue, com base em Apolinário (2015), Ferreira (2017), Pinheiro (2011) e John e Cincotto (2007):

- (i) Hemi-hidrato: é o primeiro produto obtido a partir da desidratação da gipsita, tendo sua reação concretizada na faixa de temperatura de 140°C a 160°C e apresentando a composição molecular sob a fórmula CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O. Em virtude de uma variação no processo de obtenção, o hemi-hidrato ramifica-se em α e β.
  - a. Hemi-hidrato α: é oriundo de uma produção por via úmida, ou seja, mediante pressão de vapor de água. Desta maneira, a sua



formação decorre de uma liberação lenta da água de cristalização e, por consequência, é caracterizado por cristais grandes, homogêneos e bem definidos. Após sua mistura com água, é possível obter um material de grande resistência mecânica. Em virtude da sua homogeneidade e maior custo de produção, costuma ser empregado apenas para fins odontológicos, artigos cerâmicos, ortopedia e afins.

b. Hemi-hidrato  $\beta$ : é oriundo de uma produção por via seca, ou seja, mediante pressão atmosférica. Tal processo promove uma maior velocidade de desidratação, em que se originam cristais irregulares e fragmentados; bem como, devido à sua elevada área superficial, necessita de maiores quantidades de água na aplicação e, assim, constitui um material de baixa resistência mecânica. Popularmente, trata-se do gesso utilizado para a construção civil.

- (ii) Anidrita III ou anidrita solúvel: sendo a etapa intermediária entre o hemi-hidrato e a anidrita II, tem-se a sua obtenção na faixa de 160°C a 190°C e fórmula química descrita por  $\text{CaSO}_4 \cdot \varepsilon \text{H}_2\text{O}$ , cujo teor de água de cristalização é uma variável entre  $0,06 < \varepsilon < 0,11$ . É caracterizado pela sua alta reatividade e facilidade de reversão em hemi-hidrato; assim, costuma agir como acelerador de pega. O período em que a anidrita III é revertida em hemi-hidrato é conhecido como etapa de estabilização, sendo estimada a sua ocorrência em um prazo de 12 horas de armazenamento em ambiente com 80% de umidade relativa.
- (iii) Anidrita II ou anidrita insolúvel: sua obtenção pode ter origem na faixa de 220°C a 800°C. Através do processo de calcinação em 220°C a 350°C, obtém-se a anidrita conhecida como “supercalcinada”, a qual reage lentamente com a água podendo concluir a sua hidratação em um prazo de sete dias. Em contrapartida, ao ser calcinada em 700°C a 800°C, a mesma passa a ser chamada de “anidrita calcinada à morte” e, então, passa a hidratar-se apenas após a decorrência de alguns meses.
- (iv) Anidrita I: também conhecida como anidrita de alta temperatura ou anidrita  $\alpha$ , ocorre principalmente pela calcinação da gipsita na faixa de 1100°C a 1200°C. De modo geral, é definida como uma fase “não pura” devido ao fato de conter

óxido de cálcio oriundo da dissociação térmica do sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ), a qual é possível a partir de  $800^\circ\text{C}$  de temperatura.

#### 2.1.4 As propriedades do gesso

As normativas brasileiras propostas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) especificam algumas propriedades a serem analisadas em termos do gesso nacional, de modo que seja garantido o desempenho dos subsistemas aos quais for empregado caso estejam sendo atendidos os critérios exigidos.

A NBR 13.207 – Gesso para construção civil – Requisitos (2017) trata o gesso para construção como material proveniente da gipsita ou resíduos de gesso, constituído predominantemente de sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), calcinado e reduzido a pó, podendo conter adições e/ou aditivos.

Destarte, os requisitos físicos e mecânicos estabelecidos pela NBR 13.207/2017 fazem menção à massa unitária, dureza e resistência de aderência do gesso, de acordo a Tabela 3.

**Tabela 3: Requisitos físicos e mecânicos do gesso para construção civil**

Ensaio	Unidade	Limite
Massa unitária	$\text{g}/\text{cm}^3$	$\geq 600,0$
Dureza	$\text{N}/\text{mm}^2$	$\geq 20,0$
Aderência	MPa	$\geq 0,2$

Fonte: ABNT NBR 13.207 (2017)

Com base na granulometria apresentada pelo gesso, este classifica-se em gesso para fundição ou gesso para revestimento (Tabela 4).

**Tabela 4: Requisitos físicos do gesso para construção civil (granulometria via seca)**

Classificação do gesso	Granulometria mínima
Gesso para fundição	(peneira abertura 0,29 mm) $\geq 90\%$ passante
Gesso para revestimento	(peneira abertura 0,21 mm) $\geq 90\%$ passante

Fonte: ABNT NBR 13.207 (2017)

Definida a utilização para a qual o gesso estará associado, em fundição ou revestimento, são definidos os requisitos físicos em termos do tempo de pega do produto (Tabela 5).

**Tabela 5: Requisitos físicos do gesso para construção civil (tempo de pega)**

Ensaio	Tempo de pega (min)	
	Início	Fim
<b>Gesso para fundição</b>	≤ 10	≤ 20
<b>Gesso para revestimento (sem aditivos)</b>	≥ 10	≥ 35
<b>Gesso para revestimento (com aditivos)</b>	≥ 4	≥ 50

Fonte: ABNT NBR 13.207 (2017)

Os requisitos químicos, por sua vez, referem-se aos teores percentuais de água livre, água de cristalização, óxido de cálcio e anidrido sulfúrico (Tabela 6).

**Tabela 6: Requisitos químicos do gesso sem aditivos para construção civil**

Determinações químicas	Limites (%)
<b>Água livre</b>	Máx. 1,3
<b>Água de cristalização</b>	4,2 a 6,2
<b>Óxido de cálcio (CaO)</b>	Min. 38,0
<b>Anidrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>)</b>	Min. 53,0

Fonte: ABNT NBR 13.207 (2017)

Em que pese a NBR 13.207/2017 não descreva o processo de ensaio para determinação dos requisitos ora citados nem faça menção às devidas normativas para tal, infere-se uma consideração de algumas das seguintes normas:

- (i) NBR 12127 – Gesso para construção civil – Determinação das propriedades físicas do pó;
- (ii) NBR 12128 – Gesso para construção civil – Determinação das propriedades físicas da pasta de gesso;
- (iii) NBR 12129 – Gesso para construção civil – Determinação das propriedades mecânicas;
- (iv) NBR 12130 – Gesso para construção civil – Determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico.

#### 2.1.5 Aplicabilidade na Construção Civil

O gesso, no âmbito da construção civil, enquadra-se em diversas possibilidades de aplicações. Desta maneira, considerar-se-á a classificação da norma NBR 13.207/2017 em que subdivide tal material em gesso de fundição e gesso de revestimento.

O gesso de fundição é constituído basicamente por hemi-hidrato- $\beta$  e pode conter pequena parcela de anidrita solúvel (FREITAS, YANO, JUNIOR, 2018). O mesmo pode ser empregado na confecção de elementos pré-moldados, tais como placas, divisórias, elementos decorativos e sancas, por exemplo (BALTAR, BASTOS, BORGES, 2004 *apud* FERREIRA, 2017).

**Figura 7: Aplicação do gesso na construção civil - rebaixamento de forro**



Fonte: ROSSO (2022)

**Figura 8: Aplicação do gesso na construção civil - blocos**



Fonte: APOLINÁRIO (2015)

O gesso de revestimento, por sua vez, é constituído por hemi-hidrato- $\beta$  e anidrita insolúvel, além de poder conter aproximadamente 2% de impurezas como

sílica, argila, carbonatos, sulfato de magnésio, óxidos de ferro e alumínio (FREITAS, YANO, JUNIOR, 2018). O gesso de revestimento costuma ser empregado em substituição a rebocos e/ou massas de acabamento junto a paredes e tetos. Devido ao fato de ser aplicado em áreas de grande extensão, caracteriza-se como produto com necessidade de maior tempo de pega, evitando seu endurecimento no período de aplicação.

**Figura 9: Aplicação do gesso na construção civil - revestimento**



**Fonte: POINTER (2022)**

Conforme Pinheiro (2011), a maior parcela do consumo do gesso no âmbito da construção civil está centrada na produção de componentes como placas, blocos de gesso e chapas de gesso acartonado, os quais são sucintamente definidos pela autora como segue:

- (i) Placas de gesso: produzidas com dimensões de 60 x 60 cm ou 65 x 65 cm e espessura variável na faixa de 12 a 20 mm, tais chapas são comumente empregadas em forros e rebaixamentos de teto.
- (ii) Blocos de gesso: são elementos empregados na vedação vertical por meio de paredes e divisórias internas das edificações. Há três variações de blocos produzidos no Brasil, sendo os blocos simples (BS), os blocos reforçados com fibra de vidro (B-GRG) e os blocos resistentes à umidade

- (B-Hidro); sendo que, todas as características técnicas são especificadas por normas internacionais, visto não haver normatização brasileira sobre tal.
- (iii) Chapas de gesso acartonado: comumente empregadas na instalação de divisórias, são produzidas através do envolvimento de uma mistura de gesso, água e aditivos no interior de duas lâminas de papel cartão. Sua instalação necessita de materiais de suporte nos quais será fixada, sendo que sua utilização pode destinar-se para divisórias tanto provisórias quanto permanentes.

## 2.2 Resíduos da Construção Civil

Resíduos sólidos podem ser compreendidos, de acordo com a Lei nº12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, como um material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade (BRASIL, 2010). Em 2020, neste contexto, o Brasil quantificou a geração de aproximadamente 82,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos, o que representa cerca de 226 toneladas diárias (ABRELPE, 2021).

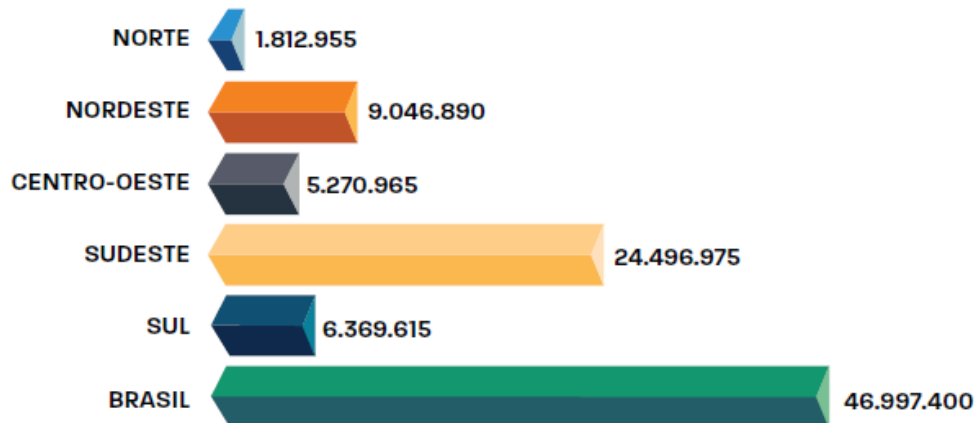
Dentre os resíduos sólidos gerados no país, os resíduos de construção e demolição (RCD) representam uma parcela considerável dos índices apresentados. Estes resíduos são definidos pela resolução nº 307 do CONAMA, em seu art. 2º, como:

Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (BRASIL, 2002, p. 1).

Em 2020, por meio do Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2021), constatou-se a coleta de aproximadamente 47 milhões de toneladas de RCD no país (Figura 10). Assim sendo, evidencia-se que a construção civil seja responsável por cerca de 57% dos resíduos gerados no Brasil, seja por construções ou demolições.

Nacionalmente, ainda, destaca-se a contribuição da região sudeste diante da geração de 52% do total de RCD coletados no país, o que representa o registro de aproximados 24,5 milhões de toneladas no ano de 2020.

**Figura 10: Gráfico da coleta de RCD nas regiões brasileiras (t/ano)**



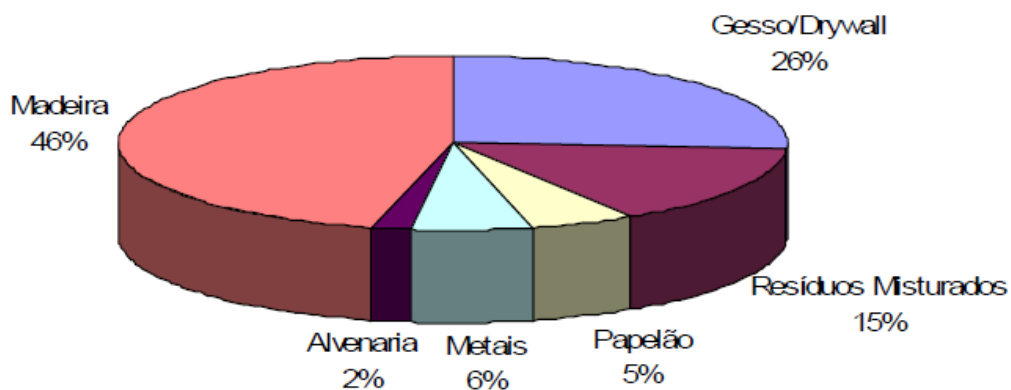
Fonte: ABRELPE (2021)

### 2.2.1 O resíduo de gesso

Em âmbito mundial, conforme enfatiza Munhoz (2006), a classificação dos resíduos da construção civil quanto ao material gerador apresenta uma grande diversificação; tal fato é consequência das peculiaridades do sistema construtivo presente em cada país.

Os Estados Unidos da América, de acordo com o autor, apresentam uma taxa de geração de resíduos na faixa de 20 a 39 kg/m<sup>2</sup> de área construída, variando conforme o tipo de construção. Possuindo um sistema construtivo baseado em vedações verticais através de *drywall*, a composição de resíduos gerados no país apresenta um percentual de 26% sob origem no gesso (Figura 11).

**Figura 11: Composição percentual de RCD nos Estados Unidos da América**



Fonte: MUNHOZ (2006)

Em que pese os sistemas construtivos brasileiros estejam centrados na alvenaria de vedação com blocos cerâmicos, reduzindo substancialmente a geração

de resíduos de gesso em comparação com os Estados Unidos da América; a problemática decorrente de tais resíduos tem destaque no cenário nacional por conta das interferências ambientais e econômicas que origina.

A quantidade de resíduos de gesso produzidos por algumas cidades do estado do Paraná indica, conforme Viotto Filho (2011) apud Savi (2012), uma estimativa de 30 toneladas/mês na cidade de Maringá (PR) e cerca de 12 toneladas/mês em Umuarama (PR), de acordo com o Departamento Municipal de Meio Ambiente apud Savi (2012).

Estimam-se ainda, com base em Nita et al. (2004) apud Fernandes (2017), um índice percentual em que até 45% do total de gesso utilizado nas obras brasileiras seja convertido em resíduo. Entretanto, estimativas como tal possuem considerável imprecisão e dificultam a mensuração exata da quantidade de RCD com origem no gesso em virtude do baixo controle e acompanhamento do resíduo em meio à precária infraestrutura brasileira para destinação do mesmo; bem como, deve-se considerar que a geração do resíduo inicia na extração de sua matéria-prima e se estende até a aplicação em obra e/ou demolição da mesma.

#### 2.2.1.1 Oriundo da produção

A cadeia produtiva do gesso, ao ser composta por determinadas etapas, é responsável pela geração de resíduos em diferentes processos e com características distintas. Desta maneira, Pinheiro (2011) evidencia alguns dos resíduos decorrentes da produção do material conforme apresentados na sequência.

**Figura 12: Resíduo da extração de gipsita**



Fonte: PINHEIRO (2011)



Na extração da matéria-prima, inicialmente, costuma ser gerada uma mistura de material estéril e minérios descartados por conta da seleção de material adequado para a industrialização (Figura 12).

No decorrer do processo de britagem, o minério passa pela redução de sua granulometria e uma porção mais fina é retirada do processo, sendo considerada resíduo e destinada à produção de gesso agrícola (Figura 13a); além da emissão de material particulado considerado um poluente atmosférico (Figura 13b).

**Figura 13: Resíduo da britagem da gipsita**



Fonte: PINHEIRO (2011)

Na etapa de beneficiamento, após encaminhado às usinas de calcinação, o minério passa por uma rebitagem e posterior moagem; estes geram resíduos similares a primeira etapa de britagem, com rejeitos sólidos encaminhados ao gesso agrícola e materiais particulados.

Durante a calcinação, por sua vez, os materiais particulados gerados são encontrados suspensos no interior das usinas (Figura 14a) e são emitidos gases poluentes por meio das chaminés dos fornos (Figura 14b).

**Figura 14: Resíduos da calcinação da gipsita**



Fonte: PINHEIRO (2011)

Por fim, tem-se o acondicionamento temporário do gesso em *bags* ou embalagens de papel com possibilidade de perda de material durante o seu manuseio (Figura 15a), bem como a sedimentação de eventuais materiais pulverulentos gerando um resíduo de varrição (Figura 15b) no interior da usina, o qual é coletado e comercializado enquanto gesso de baixa qualidade (Figura 15c).

**Figura 15: Resíduo de acondicionamento do gesso**



Fonte: PINHEIRO (2011)

A produção de componentes de gesso, posteriormente, também atua na geração de resíduos; entretanto, estes variam de acordo com o processo de fabricação utilizado: artesanal, semiartesanal ou automatizado. De modo geral, nesta etapa, os resíduos costumam ter como origem o fato de uma chapa e/ou bloco não ser aprovada no controle de qualidade ou quebrar durante o manuseio, desforma ou transporte.

Considerando o cenário brasileiro, a grande maioria das empresas tem sua produção centrada na fabricação artesanal. Nesse processo, a manipulação do material durante a dosagem e mistura, bem como na inserção do mesmo em moldes, por exemplo, resulta em resíduos de gesso hidratado acumulados no interior da fábrica (Figura 16).

**Figura 16: Resíduo da fabricação artesanal de componentes de gesso**



Fonte: PINHEIRO (2011)

### 2.2.1.2 Oriundo da construção e demolição (RCD)

Os sistemas construtivos comumente empregados, a qualificação da mão de obra e o planejamento das atividades são aspectos que interferem diretamente no volume de resíduos de gesso originados em qualquer obra. A compreensão da cultura do local, do mesmo modo, torna-se pertinente e diversifica o cenário dos resíduos em nível mundial.

O levantamento de dados realizado por Pinheiro (2011), apresenta a grande variação existente no volume de resíduos de gesso gerados pelas obras brasileiras em diferentes localidades (Tabela 7), evidenciando não ser possível tratar-se de tal assunto de modo generalizado em âmbito nacional e ressaltando-se a importância de estudos regionais.

**Tabela 7: Volume de resíduos de gesso durante atividades de construção e demolição no Brasil**

Localidade	Atividade	Resíduo gerado	Fonte
Londrina – PR	Construção	15%	Levy e Helene (1997, apud NETO, 2005)
Campina Grande – PB	Construção	15%	Nóbrega (2002)
São Carlos – SP	Construção Demolição	1%	Neto (2005)
Petrolina – PE	Construção Demolição	3%	Pinheiro, Pereira Junior e Camarini (2009)
Recife – PE	Construção Demolição	4%	Ribeiro (2006)
Campinas – SP	Construção	28%	Camarini, Pimentel e Sá (2011)

**Fonte: PINHEIRO (2011)**

No Brasil, a geração do resíduo de gesso durante a utilização na construção civil apresenta três principais nichos de aplicação dos quais são originados: a execução de revestimentos de gesso é responsável por até 88% do volume de resíduos de tal material, seguido em 8% com origem nas perdas da utilização do gesso acartado e 4% sob responsabilidade dos componentes pré-moldados presentes nas obras (MUNHOZ, 2006).

Os revestimentos de gesso, principal origem dos resíduos de tal material em obra, são comumente aplicados sobre alvenarias e tetos por meio de uma pasta oriunda da mistura de gesso e água. A geração de resíduos nesta atividade decorre

do preparo da mistura, (a) sua aplicação e/ou (b) endurecimento da pasta antes de ser aplicada (Figura 17).

**Figura 17: Geração de resíduos na execução de revestimento com pasta de gesso**



Fonte: PINHEIRO (2011)

Por outro lado, o gesso acartonado constitui um processo mais “limpo” de aplicação em obra, no qual é necessária a fixação das chapas em guias e seu posterior acabamento. Entretanto, a modulação particular de cada obra interfere diretamente no volume de resíduos gerados, visto que estes são constituídos por pedaços de chapas danificadas ou sobras provenientes de cortes (Figura 18).

**Figura 18: Geração de resíduos de chapa de gesso acartonado**



Fonte: IBDA (2022)

Na utilização de componentes pré-moldados, como em forros com placas de gesso, faz-se a fixação do gesso através de estruturas de suporte e posteriormente aplica-se uma pasta de gesso para rejuntamento das placas. Nesse processo, os resíduos originam-se exclusivamente do manuseio dos materiais e quebra dos componentes.

Em termos de demolição, não há como estimar uma quantidade ou índices de geração de resíduos tendo em vista que a durabilidade do gesso aplicado em uma construção é diretamente influenciada pelas condições de utilização, eventual contato com água ou ambientes úmidos, além de ser necessário considerar-se as condições em que foi instalado (impactos de instalação).

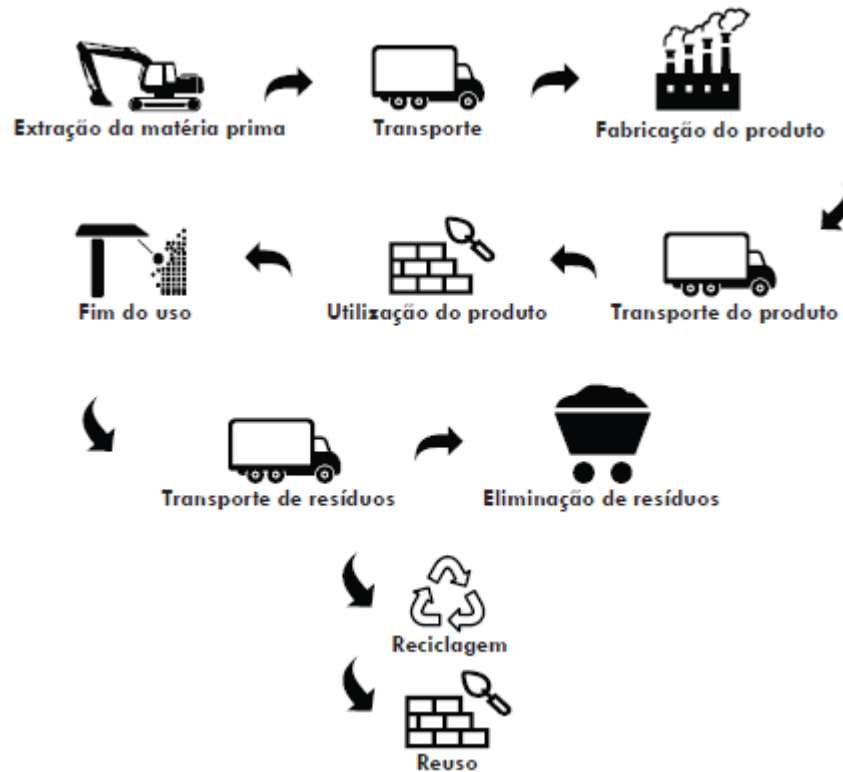
### 2.2.2 O descarte do resíduo de gesso

O Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA, por meio da Resolução nº 307/02 estabelece diretrizes e procedimentos para nortear a gestão dos resíduos da construção civil em âmbito nacional. Por consequência dos avanços tecnológicos decorridos desde a sua criação e a importância de tal normatização, suas considerações passaram por processos de revisão e tiveram alterações determinadas pela publicação das Resoluções nº 348/04, nº431/11, 448/12 e nº469/15.

O resíduo de gesso, com base na Resolução nº 307/02 a partir da alteração pela Resolução nº 431/11, enquadra-se como resíduo da classe B, os quais são definidos como “os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso” (BRASIL, 2002, p. 3).

Desta maneira, torna-se possível resumir o ciclo de vida do gesso de acordo a Figura 19, em que a reciclagem é apresentada como uma das vertentes de destinação dos resíduos provenientes da utilização de produtos de gesso e permite o reuso posterior destes resíduos reciclados.

**Figura 19: Ciclo de vida do gesso**



**Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DRYWALL (2014)**

De modo a atender as recomendações do Conselho quanto à destinação dos resíduos de gesso, faz-se necessário que os mesmos sejam coletados e armazenados em local específico nos canteiros de obra, estando separados de quaisquer outros materiais (TENÓRIO et al, 2017).

Por outro lado, em virtude da recente classificação do gesso enquanto material reciclável, o cenário brasileiro ainda sofre com a quase inexistência de usinas de reciclagem e, considerando a impossibilidade do descarte destes resíduos em aterros, torna-se indispensável a atuação de áreas destinadas ao recebimento dos mesmos. Neste contexto, surge o novo conceito definido pela resolução ora citada:

Área de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos (ATT): área destinada ao recebimento de resíduos da construção civil e resíduos volumosos, para triagem, armazenamento temporário dos materiais segregados, eventual transformação e posterior remoção para destinação adequada, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e a segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2002, p.2).

De acordo com a Associação Brasileira de Drywall (2022), no Brasil há 22 regiões principais com atuação de ATTs registradas para o recebimento dos resíduos de gesso (Quadro 2). Evidencia-se, desta forma, a concentração de tais áreas em regiões metropolitanas.

**Quadro 2: ATTs para recebimento de resíduo de gesso no Brasil**

<b>Estado</b>	<b>Região Atendida</b>	<b>Identificação</b>
<b>RS</b>	Grande Porto Alegre	Sebanella
<b>SC</b>	Grande Florianópolis	SulGesso
	Vale do Itajaí	Planeta
	Blumenau e Região	VitaCiclo
	Região Norte	Planeta
	Joinville	Ecogypsum
<b>PR</b>	Grande Curitiba	Rec Gesso
	Litoral do Paraná	Rec Gesso
	Região Campos Gerais	Rec Gesso
	Grande Londrina	Kurica
<b>SP</b>	Grande São Paulo	Multiplus / Pari
	Taboão da Serra	Morelix
	Guarulhos	Multilix
	Vale do Paraíba	AB Ambiental
<b>RJ</b>	Grande Rio de Janeiro	ProRecycle
<b>ES</b>	Grande Vitória	Nassau / Mizú
	Guarapari	A2 Ambiental
<b>BA</b>	Grande Salvador	Ecológica NE
	Feira de Santana	Ecológica NE
<b>PE</b>	Grande Recife	Ciclo Ambiental
<b>CE</b>	Grande Fortaleza	MM Gesso
<b>MG</b>	Grande Belo Horizonte	Alternativa

**Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DRYWALL (2022)**

Desta maneira, conforme enfatiza Pinheiro (2011), embora o gesso esteja sendo classificado como resíduo reciclável, a destinação final deste continua sendo um problema para o setor da construção civil, pois o mesmo não pode ser destinado para aterros sanitários ou similares, bem como são raras as áreas de transbordo e triagem e são, ainda, quase inexistentes as usinas de reciclagem de gesso no Brasil. Por consequência, o descarte inadequado de resíduos de gesso torna-se comum ao cenário brasileiro, em que costumeiramente pode ser encontrado despejado junto a outros entulhos de obra, em terrenos baldios, sem qualquer proteção contra umidade e afins (Figura 20).

**Figura 20: Descarte inadequado do gesso**



Fonte: G1 (2022)

### 2.2.3 Impacto do descarte de resíduo do gesso

Ao longo do processo produtivo do gesso, como apresentado, são gerados resíduos em formas variadas: material estéril, minério de gipsita impróprio à industrialização, resíduo de varrição e outros. Assim, Pinheiro (2011) elenca os principais impactos ambientais presentes no processo de produção (Quadro 3).

**Quadro 3: Impactos ambientais do processo de produção**

Fonte de resíduo	Natureza	Volume estimado	Impactos ambientais
<b>Extração e preparo da matéria-prima</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material estéril</li> <li>- Minério impróprio ao uso</li> <li>- Material particulado</li> </ul>	- Ausência de dados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poluentes atmosféricos</li> <li>- Contaminação do solo</li> <li>- Contaminação do lençol freático</li> <li>- Degradação ambiental</li> </ul>
<b>Processo de fabricação do gesso</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material particulado</li> <li>- Resíduo de varrição</li> </ul>	- 10% a 15% de perda	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poluentes atmosféricos</li> <li>- Contaminação do solo</li> <li>- Contaminação do lençol freático</li> <li>- Degradação ambiental</li> </ul>
<b>Produção de componentes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasta de gesso hidratada</li> <li>- Peças danificadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chapas de gesso acartonado: 2,5%</li> <li>- Demais componentes: ausência de dados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminação do solo</li> <li>- Contaminação do lençol freático</li> <li>- Degradação ambiental</li> </ul>

Fonte: PINHEIRO (2011)



Para a extração da matéria-prima, como visto no Quadro 3, sabe-se que há a geração de dois tipos principais de resíduos: materiais estéreis e minérios impróprios para a industrialização. A partir destes, observa-se a alteração do ecossistema da região de extração em virtude da deposição de tais materiais em regiões próximas às lavras (FREITAS, YANO, JUNIOR, 2018). Os autores citam as modificações resultantes como a redução da vegetação nativa, perda da biodiversidade, contaminação do lençol freático, aumento da acidez e sulfurização dos mananciais.

No processo de produção do gesso por meio da etapa de calcinação, um grande consumo energético é requerido para a elevação da temperatura no interior dos fornos; este consumo, para tanto, resulta no impacto da flora local através da retirada de material combustível (MUÑOS et al, 2014).

No cenário brasileiro, em termos do descarte de resíduos, é comum observarmos a deposição inadequada de materiais como o gesso em aterros sanitários e/ou similares. Assim, Munhoz (2006) descreve as consequências da deposição do gesso em tais locais: os componentes do gesso reagem e originam dióxido de carbono, água e gás sulfídrico ( $H_2S$ ) quando em contato com umidade e condições anaeróbicas, com baixo pH, e sob ação de bactérias redutoras de sulfatos. O gás sulfídrico formado possui odor característico de ovo podre, é tóxico e inflamável, segundo o autor.

Além disso, por apresentar um grande potencial de solubilização, os resíduos de gesso podem promover a sulfurização do solo e consequente contaminação do lençol freático (PINHEIRO, 2011).

Assim, a mesma autora destaca três possibilidades de minimizar o impacto ambiental ocasionado pelos resíduos de gesso, as quais são a redução, a reutilização e a reciclagem do material (PINHEIRO, 2011).

### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho visa analisar o processo de produção do gesso por meio da extração e calcinação da gipsita; bem como discorrer sobre o uso e destinação do gesso enquanto resíduo da construção civil, de modo a levantar alternativas para a mitigação dos impactos ambientais da produção e descarte inadequado do mesmo.

Para tanto, destaca-se a relevância da metodologia na composição do projeto, tendo em vista que Fonseca (2002) considera que a mesma visa proporcionar uma visão detalhada de toda ação a se desenvolver durante o trabalho de pesquisa. Outrossim, realiza-se o delineamento do mesmo em função dos tipos de pesquisa identificados por Gerhardt e Silveira (2009) em face aos objetivos, à abordagem, aos procedimentos técnicos e à natureza.

Frente aos objetivos, o trabalho pode ser classificado enquanto pesquisa exploratória, a qual compreende-se como aquela que tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses (GERHARDT E SILVEIRA, 2009).

Em consonância, a abordagem de pesquisa empregada permite classificar a mesma como qualitativa, tendo em vista que relaciona qualitativamente aspectos não mensuráveis através de definições descritivas (FACHIN, 2005).

Ademais, quanto ao levantamento de dados, foram empregadas pesquisas bibliográficas, que segundo Fonseca (2002) utilizam referências teóricas constituídas por material já elaborado sobre o tema a estudar.

Outrossim, o trabalho foi classificado como pesquisa aplicada, que Gerhardt e Silveira (2009) descrevem por objetivar a geração de conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos englobados por interesses locais.

Primeiramente, foi realizada uma revisão bibliográfica visando compreender o contexto histórico do gesso; para tanto, realizou-se o estudo do processo de produção e obtenção do gesso, bem como a sua caracterização enquanto material da construção civil e sua aplicabilidade no setor. Posteriormente, fez-se uma análise dos resíduos associados a tal aglomerante, sejam estes oriundos da etapa de produção ou após sua vinculação a construções e/ou demolições. Na sequência, analisaram-se alternativas para a mitigação dos impactos ambientais pertinentes a produção,

utilização e descarte do material, tratando-se da possibilidade de redução dos resíduos e reciclagem dos despejos de gesso.

Realizados os estudos mencionados, segue-se para a análise dos resultados obtidos e posterior conclusão do estudo, podendo esta propor diferentes alternativas para a destinação dos resíduos de gesso.

## **4 ANÁLISES E RESULTADOS**

### **4.1 Alternativas para redução dos resíduos de gesso e mitigação dos impactos ambientais**

O gesso, enquanto material amplamente empregado na construção civil, se torna assunto de grande preocupação do ponto de vista ambiental em virtude da sua contribuição negativa ao meio ambiente. Desde a extração da sua matéria-prima aos resíduos diretos da sua aplicação em obras da construção civil, o gesso gera impactos ao ecossistema. Deste modo, a busca por soluções para reduzir os resíduos oriundos de tal material e mitigar os impactos ambientais de sua produção e descarte figuram-se como indispensáveis ao desenvolvimento do setor.

#### **4.1.1 Redução da geração de resíduos**

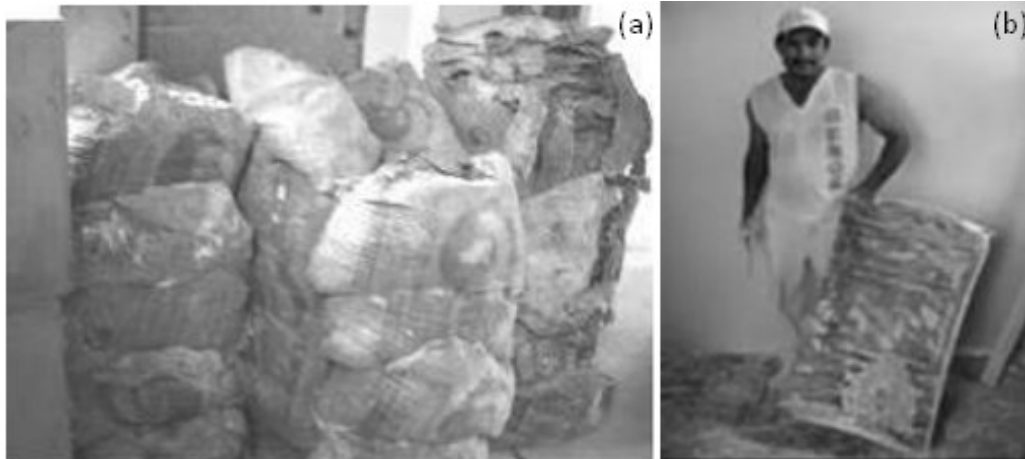
Em termos de processos industriais, é costumeiro que a prioridade do desenvolvimento das atividades esteja centrada na produtividade do setor, principalmente em um cenário capitalista cujos lucros costumam antepor aspectos relacionados à sustentabilidade.

Todavia, um planejamento pormenorizado dos processos pertinentes à industrialização possibilita que sejam desenvolvidas as atividades necessárias em consonância com a redução dos impactos negativos decorrentes de tal. Assim sendo, alguns autores tratam de possibilidades para a reduzir a geração de resíduos em meio a produção e utilização do gesso.

A fabricação de componentes pré-moldados de gesso, como visto em seções anteriores, tem seu processo definido em virtude do tipo de componente que se almeja obter, sendo citados o processo artesanal, semiartesanal ou automatizado. Desta maneira, Freitas, Yano e Junior (2018) declaram que o aumento da automatização do processo resulta na diminuição dos resíduos produzidos.

Na aplicação de revestimento de gesso, alternativas para reduzir a emissão de resíduos podem ser citadas como a necessidade de aumento do tempo útil das pastas de gesso, a promoção de treinamento para capacitação da mão-de-obra e melhoria da qualidade da alvenaria sobre a qual o produto será aplicado (MUNHOZ, 2006).

**Figura 21: Comparativo do resíduo gerado por aplicadores com e sem treinamento**



**(a) Resíduos da aplicação sem treinamento; (b) Resíduos da aplicação com treinamento**

**Fonte: TAVARES ET AL (2010)**

O mesmo autor menciona ainda, em termos da utilização do gesso acartonado, a importância de melhoria da tecnologia do produto e da capacitação da mão-de-obra envolvida para a mitigação dos resíduos gerados neste tipo de produto.

Sob o ponto de vista geral da construção civil, é imprescindível planejar as atividades desde a montagem do canteiro de obras para que seja possível evitar a produção de resíduos em construções e demolições (FREITAS, YANO, JUNIOR, 2018).

#### 4.1.2 Reciclagem do gesso

O conceito de reciclagem, de acordo com a Resolução nº 307 (2002) do CONAMA, é tratado como o processo de aproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação. Destarte, possui destaque no setor da construção civil como destinação prevista, pela mesma resolução, em termos dos resíduos pertencentes à Classe B, tal como o gesso.

Na Europa, a concepção da reciclagem do gesso teve início na Dinamarca, como menciona Fernandes (2017), através de uma empresa denominada Gypsum Recycling. O sistema europeu, segundo Grassi (2018), conta com a eficiência do processo de separação dos resíduos de gesso em relação aos demais entulhos de obra, através de contêineres exclusivos para o material e centrais de triagem automáticas; desta maneira, o gesso coletado pode ser 100% reciclado e apresenta grau de pureza que o permite ser reintroduzido na produção de um novo material sem a alteração das suas respectivas propriedades.

No Brasil, em contrapartida, a preocupação com a temática é recente e os processos adotados são simples, constituídos basicamente por etapas de moagem e/ou moagem associada à calcinação (PINHEIRO, 2011; GRASSI, 2018).

O processo de reciclagem, sob o ponto de vista de John e Cincotto (2003), torna necessária uma maior demanda de energia e mão de obra para a produção a partir de material reciclado, em comparação à produção através de matéria-prima oriunda da natureza; tal fato associa-se com a remoção de materiais contaminantes incorporados aos resíduos.

Desta maneira, os autores consideram que o processo de reciclagem do gesso seja mais caro que a produção convencional através de matéria-prima; evidenciando a pouca estrutura que o sistema de reciclagem possui no Brasil, principalmente em termos da qualidade dos resíduos por meio da sua separação, para que se torne mais viável.

Por outro lado, a separação dos resíduos de gesso dos demais materiais da construção civil, de acordo com a Associação Brasileira de Drywall (2014), viabiliza consideravelmente a utilização do material na cadeia produtiva cujo uso da gipsita como matéria-prima seja o centro do processo. Isto aproximaria o processo brasileiro ao sistema de reciclagem presente na Europa, tornando-o viável em virtude da melhor qualidade dos produtos reciclados e maior aproveitamento dos resíduos coletados.

A maior viabilidade da reciclagem, ainda, pode ser resultante da aplicação efetiva do conceito de logística reversa; este é compreendido pela Lei nº 12.305/2010 como instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010). Desta maneira, os resíduos de gesso retornariam ao processo de industrialização de produtos baseados na gipsita.

Neste contexto, Franchetti e Marconato (2009) *apud* Savi (2012) tratam de duas frentes de reciclagem: primária e secundária. A reciclagem primária trata-se daquela em que o reaproveitamento do resíduo transcorre ao longo do mesmo processo industrial que o gerou; a reciclagem secundária, por sua vez, caracteriza-se pela utilização do resíduo na cadeia produtiva de outro tipo de material, distinto do que originou tal resíduo. Por consequência dos custos anteriormente citados, os quais

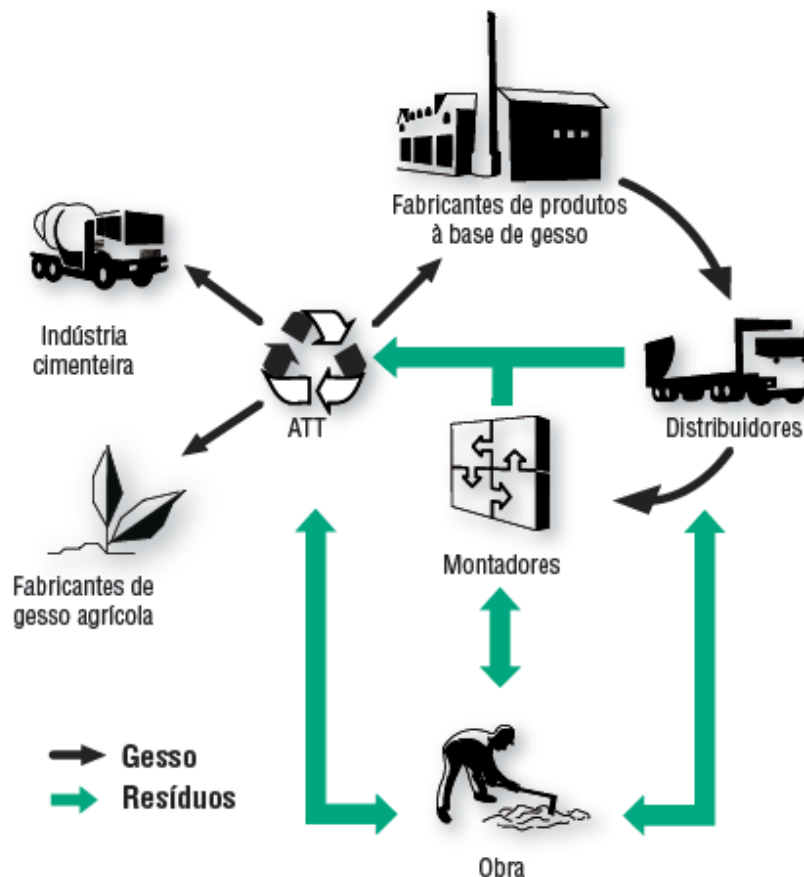
enquadram-se na utilização da reciclagem primária, nota-se a reciclagem secundária como alternativa a ser explorada.

#### 4.1.2.1 O processo de reciclagem do gesso

Conforme Pinheiro (2011), mediante a perspectiva gerencial, é desejável que o processo de reciclagem de um resíduo seja simples, com baixo custo energético, de fácil implantação em regiões próximas à fonte emissora de resíduos e seja capaz de gerar um produto reciclado com qualidade para reinserção na cadeia produtiva.

Deste modo, o fluxograma relativo à Figura 22 apresenta uma síntese de um possível processo de reciclagem do gesso, evidenciando as etapas em que ocorre a conversão do gesso em resíduo e sugerindo três utilizações após a sua reciclagem, no qual novamente é considerado como material de gesso.

**Figura 22: Fluxograma da reciclagem de gesso sem calcinação**



**Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL (2014)**

Destarte, o processo de reciclagem do gesso será descrito pelas etapas de coleta dos resíduos, transporte, secagem e processamento.

(i) Coleta dos resíduos de gesso

A etapa de coleta dos resíduos dá início ao processo de reciclagem e possui importância singular para a qualidade dos resíduos que se almeja encaminhar à reciclagem, pois como evidencia Fernandes (2017) e Grassi (2018), quanto menor a contaminação do resíduo por outros insumos, melhor será o produto reciclado obtido e, por consequência, maior será o aproveitamento do processo.

A Associação Brasileira de Drywall (2014) evidencia a necessidade de que, nesta etapa, os resíduos de gesso sejam coletados e armazenados em local específico da obra, protegido e seco, onde estarão dispostos separadamente de outros materiais como madeira, metais, papéis, restos de alvenaria e afins.

A obtenção de melhores resultados nesta etapa, segundo o autor, relaciona-se diretamente com a capacitação da mão-de-obra envolvida na operação do produto, incluindo os prestadores de serviços terceirizados (DRYWALL, 2014).

**Figura 23: Separação e armazenamento do gesso para coleta**



**Fonte: SAVI (2012)**

(ii) Transporte dos resíduos de gesso

O transporte, de acordo com o manual de resíduos de gesso elaborado pela Associação Brasileira de Drywall, deve “obedecer às regras estabelecidas pelo órgão municipal responsável pelo meio ambiente e/ou pela limpeza pública, inclusive no que diz respeito à sua adequada documentação” (DRYWALL, 2014, p. 11). É necessário, ainda, que os transportadores estejam habilitados e cadastrados nos órgãos competentes.

As Áreas de Transbordo e Triagem (ATTs) são as entidades competentes para o recebimento dos resíduos coletados em obras, as quais são licenciadas pelas



respectivas prefeituras para receber os resíduos de gesso e outros materiais (DRYWALL, 2014).

(iii) Secagem dos resíduos de gesso

Apesar dos cuidados na coleta, armazenamento e transporte dos resíduos de gesso, Savi (2012) salienta a importância da etapa de secagem dos resíduos de modo a garantir a eficiência do processo de reciclagem em etapas posteriores, como a moagem.

O autor evidencia que os resíduos gerados podem apresentar alto teor de umidade por longos períodos de exposição nas caçambas ou, inclusive, por eventual contato com água no canteiro de obras. Desta maneira, a umidade pode ser removida ou reduzida através de secagem por simples exposição ao sol; entretanto, almejando um melhor desempenho do processo, é possível o uso de fornos ou estufas para a secagem – desde que seja realizado um controle da temperatura para não comprometer a recuperação da propriedade aglomerante do gesso.

(iv) Processamento

O processamento dos resíduos inicia pela trituração e moagem do material de gesso coletado e tem sequência na calcinação dos resíduos moídos.

De acordo com Savi (2012), a trituração e a moagem dos resíduos têm por finalidade a redução granulométrica dos mesmos e sua transformação em pó. O autor ainda enfatiza que, embora o gesso possa ser moído sem passar pelo processo de trituração, muitas vezes é conveniente que seja triturado como forma de reduzir o tempo de permanência na câmara de moagem.

A recuperação da capacidade aglomerante do gesso é consequência do processo de calcinação. Através da calcinação, o resíduo de gesso que se apresenta como di-hidrato de cálcio, sob a fórmula  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , é convertido em gesso reciclado, sob a fórmula  $\text{CaSO}_4 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O} + 0,5\text{H}_2\text{O}$  (SAVI, 2012).

Pinheiro (2011) enfatiza que, no processo de calcinação, o resíduo de gesso moído será inserido em uma estufa com temperatura ajustada em uma faixa de 50°C a 350°C.

Após a calcinação, o material poderá ser resfriado à temperatura ambiente, homogeneizado e armazenado em recipientes fechados (GRASSI, 2018).

Por meio de estudos experimentais, Pinheiro (2011) apresenta como favorável o processo de reciclagem com temperatura de 150°C e tempo de permanência de 1h de calcinação. Neste processo, a produção do gesso reciclado apresentou

características técnicas e de consumo energético similares ao do gesso comercial. Além disso, o gesso reciclado apresentou propriedades físicas e mecânicas no estado endurecido compatíveis com o gesso comercial. Destarte, o processo de reciclagem permite a reinserção do resíduo no processo produtivo por indefinidas vezes, visto não haver alterações consideráveis em suas propriedades.

#### 4.1.2.2 Utilização do gesso reciclado

O produto da reciclagem do gesso, em suma, possui três principais frentes de reaproveitamento: a indústria cimenteira, a agricultura e o próprio processo de industrialização do gesso (OLIVEIRA, POLISSENI, 2013; DRYWALL, 2014).

Em termos da indústria de cimento, o gesso reciclado é empregado em pequena proporção como adição ao clínquer, em aproximadamente 3 a 5% (OLIVEIRA, POLISSENI, 2013), com objetivo de atuar como retardante de pega para fornecer trabalhabilidade ao produto por mais tempo. Esta frente de reaproveitamento, de acordo com a Associação Brasileira de Drywall (2014), se mostra particularmente econômica.

No setor agrícola, há quatro principais usos ao produto da reciclagem de gesso: como fertilizante, por ser fonte de enxofre e cálcio; como corretivo de solos sódicos, principalmente em regiões áridas ou semiáridas em que torna o solo agricultável e controla o seu pH; como condicionador de subsuperfície, em solos tropicais e com vegetação de cerrado, nos quais recupera deficiências de cálcio e controla o excesso de alumínio, favorecendo o maior crescimento das raízes das plantas, lhes dando mais vigor e resistência à doenças e pragas; e, por fim, como condicionador de esterco, no qual diminui as perdas de amônia e torna os esterco mais eficientes como fertilizantes orgânicos naturais (OLIVEIRA, POLISSENI, 2013; DRYWALL, 2014; SANT ANA, 2017; FREITAS, YANO, JUNIOR, 2018).

Nas indústrias de transformação do gesso, os resíduos podem ser reincorporados, em certa proporção, no processo produtivo. Sabe-se que esta opção tem sido pouco utilizada na prática, contudo é igualmente viável sob as perspectivas técnica e econômica, principalmente em situações em que a geração de tais resíduos está situada nas proximidades de unidades fabris (OLIVEIRA, POLISSENI, 2013; DRYWALL, 2014; FREITAS, YANO, JUNIOR, 2018).

## 4.2 Considerações do capítulo

Todo e qualquer processo produtivo, independente do setor ao qual esteja vinculado, está associado à geração de determinados resíduos. O gesso, material aglomerante amplamente empregado na construção civil, tem sua origem na extração e calcinação da gipsita e, por consequência dos processos industriais, associa-se a geração de resíduos como minérios descartados após extração por incompatibilidade com o padrão para industrialização e material estéril, além dos resíduos pertinentes à produção de componentes devido à quebra durante o manuseio e resíduos de utilização do material em obras, como material perdido na aplicação de revestimentos de gesso.

Visando o desenvolvimento sustentável do processo produtivo do gesso, de fundamental importância seria a redução dos resíduos originados pela industrialização e utilização do material. Desta maneira, citam-se algumas alternativas:

- (i) Na moagem da gipsita, o material resultante do processo mecânico para redução de sua granulometria é classificado para posterior seguimento do processo; assim sendo, o material mais fino é 'descartado' como resíduo e destinado à produção de gesso agrícola, evidenciando uma maneira de mitigar parte do descarte de resíduos da produção.
- (ii) Após a calcinação da gipsita, o manuseio do gesso obtido resulta na dispersão de resíduos no interior da fábrica e origina, desta forma, o resíduo de varrição. Uma capacitação da mão-de-obra, associada ao desenvolvimento tecnológico do processo, viabiliza a diminuição do resíduo disperso nesta etapa de industrialização.
- (iii) Em processos industriais, principalmente no que diz respeito à produção de componentes pré-moldados de gesso, tem-se processos artesanais, semiartesanais e automatizados. Assim, a automatização do processo industrial se caracteriza como uma maneira de mitigação dos resíduos, em virtude da menor interferência de qualificação da mão-de-obra no processo.
- (iv) Na utilização do aglomerante em obras, como a aplicação de revestimentos de gesso, a capacitação técnica da mão-de-obra que irá atuar no manuseio do material é indispensável para a redução dos

resíduos característicos deste processo. Quanto mais capacitado for o operador, menor a quantidade de resíduos identificados na obra em função do seu trabalho.

Apesar das tentativas para a redução dos resíduos produzidos, tanto na produção quanto na aplicação do gesso, haverá resíduos a serem descartados ao longo do processo. Este descarte de materiais de construção civil, por sua vez, caracteriza uma das principais problemáticas do setor, tendo em vista que este é o maior produtor de resíduos sólidos em nível nacional.

O gesso, na teoria, é classificado como material reciclável e, para tanto, a destinação de seus resíduos está vinculada ao processo de reciclagem para reaproveitamento posterior. Entretanto, sabe-se que tal classificação é recente e o Brasil não possui estrutura para a efetividade do processo em âmbito nacional.

As poucas usinas de reciclagem de gesso no Brasil, associada ao escasso conhecimento popular acerca do assunto, faz com que se torne comum encontrar resíduos de gesso descartados de forma inadequada em diversas regiões do país, tais como em aterros sanitários, dispersos em meio a outros entulhos, diretamente em contato com o solo e sob exposição de umidade, por exemplo.

Outro fator que potencializa o descarte inadequado está relacionado às regulamentações que regem a coleta e transporte dos resíduos de gesso. Apesar de que tais condições garantiriam a qualidade do processo de reciclagem, as mesmas também fazem com que os municípios brasileiros careçam de empresas que executem a coleta e transporte dos resíduos de gesso até uma destinação adequada, em virtude de haver poucas empresas aptas para a gestão destes frente aos órgãos competentes. Assim, tem-se um viés para o descarte inadequado por consequência da pouca estrutura brasileira.

O município de Pato Branco – PR, neste contexto, enquadra-se na questão supracitada; afirmação essa que se baseia na busca por empresas que realizem a coleta dos resíduos de gesso em obras na cidade, porém sem sucesso.

Os impactos ambientais da produção do gesso são pertinentes, como a degradação ambiental ocasionada pelas interferências resultantes da extração da gipsita e redução da flora regional por conta da utilização como material combustível para a calcinação. Em consonância, têm-se os impactos ambientais originados pelo descarte inadequado dos resíduos, como a contaminação do solo e lençol freático.

A deposição do gesso em ambientes inadequados, como aterros sanitários e/ou similares, propicia a reação de seus constituintes de modo a originar dióxido de carbono, água e gás sulfídrico ( $H_2S$ ); bem como, potencializa a sulfurização do solo e contaminação do lençol freático.

O desenvolvimento de um sistema efetivo e com estrutura para a realização da reciclagem dos resíduos de gesso podem ser apontados como principais soluções para a mitigação dos impactos ambientais citados, aliado aos governos municipais no controle e fiscalização dos descartes de resíduos, visando dificultar a deposição inadequada dos rejeitos de gesso.

A reciclagem, destinação determinada ao gesso pela legislação que norteia os resíduos da construção civil, permite a reinserção do material em sua própria cadeia produtiva; com isso, torna-se favorável à redução dos índices de extração da matéria-prima do aglomerante, a gipsita, e minimiza a degradação ambiental na região de extração.

A reciclagem, além de contribuir para a redução do volume de resíduos em aterros e ser considerada a destinação correta para o gesso, pode ser vista como uma oportunidade econômica ao reduzir as despesas com deposição em aterros e, eventualmente, ser fonte de ganhos pela geração de novos empregos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral do presente trabalho está centrado em levantar alternativas para mitigar os impactos oriundos dos resíduos de gesso, em seu processo produtivo e remanescente de construções. À vista disso, questiona-se: há alternativas para a mitigação dos impactos ambientais da produção do gesso? E, a destinação atribuída atualmente aos resíduos de gesso está correta, frente aos impactos ambientais gerados pelo seu descarte?

Com base no conteúdo apresentado e discutido, infere-se que o processo de produção do gesso é responsável pela geração de parcela dos resíduos associados ao material e, por consequência, apresenta consideráveis impactos ambientais. Em contrapartida, a análise do processo permite a identificação de algumas alternativas aplicáveis em favor da minimização dos impactos inerentes ao processo de produção, tais como a capacitação da mão-de-obra presente no manuseio do produto, bem como a automatização e inserção de novas tecnologias pode contribuir para a redução do volume de resíduos originados.

Sabe-se, entretanto, que qualquer processo industrial estará associado à geração de parcela de resíduos do material em produção. Assim, uma destinação adequada a tais resíduos torna-se indispensável para efetividade do desenvolvimento sustentável.

Neste contexto, em que pese os resíduos de gesso sejam classificados como recicláveis e tenham regulamentação frente aos órgãos competentes, grande parcela dos mesmos continua a ser descartado de modo irregular, através de aterros sanitários e/ou similares, devido às poucas áreas aptas ao recebimento dos resíduos e às quase inexistentes usinas de reciclagem no país.

A reciclagem dos resíduos de gesso é uma prática favorável ao desenvolvimento sustentável e fundamental para a mitigação dos impactos ambientais oriundos dos resíduos de tal aglomerante, tendo em vista ser um processo viável sob condições em que haja a contribuição e responsabilização de todos os envolvidos no processo de geração destes resíduos.

Para sua efetividade frente ao cenário brasileiro, entretanto, faz-se necessária a contribuição e fomento de órgãos governamentais para que haja maior acesso à tal meio em todas as regiões brasileiras. Associado a isto, a implantação de um sistema

de logística reversa favorece a viabilidade de tal processo e o torna, do mesmo modo, mais acessível em âmbito nacional.

Portanto, ações para a redução da geração de resíduos de gesso são fundamentais para a mitigação dos impactos ambientais oriundos destes, bem como a implantação e efetividade de um sistema de reciclagem favorece para a correta destinação dos resíduos.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE, 2021. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em 22 de maio de 2021.

APOLINARIO, G. M. **Reutilização do resíduo de gesso da construção civil**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil), UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

ARAUJO, L. F. & FARIAS, B. M. de. **Empregabilidade do gesso na Construção Civil**. Engenharia na prática: construção e inovação. Rio de Janeiro: Epitaya, 2020. Vol. 2, cap. 4, p 89-108.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DRYWALL: Resíduos do gesso na construção civil: coleta, armazenagem e reciclagem. 2014. 2 ed. 20 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DRYWALL. **Sustentabilidade**. Disponível em: <<https://drywall.org.br/sustentabilidade/>>. Acesso em 15 de maio de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13207: Gesso para construção civil - Requisitos**. Rio de Janeiro, 1994. 3p.

BRASIL, Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Casa Civil, 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em 15 de maio de 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos**. Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes-1/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos>>. Acesso em 22 de maio de 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Mineração. **Sumário Mineral Brasileiro: Gipsita**. Brasília, 2018. Disponível em <[https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/pasta-sumario-brasileiro-mineral-2018/gipsita\\_sm\\_2018](https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/pasta-sumario-brasileiro-mineral-2018/gipsita_sm_2018)>. Acesso em 15 de maio de 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011**. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso.

CURY, A. **Você é insubstituível**. 1ª ed - Editora Sextante. Rio de Janeiro, 2018

FACHIN, ODÍLIA. **Fundamentos de Metodologia**. 5.ed. - Editora Saraiva, 2005.



FERNANDES, J.C.V, **Revestimentos de argamassa convencional e de gesso reciclado projetado**: Um estudo comparativo. Universidade do Sul de Santa Catarina, 2017.

FERREIRA, F. C. **Estudo de caracterização do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe**. 2017. 204p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FREITAS, V. de; YANO, B. B. R; JUNIOR, J. A. Sustentabilidade do gesso. *In*: XIV Fórum Ambiental. 2018, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: Alta Paulista, de 25 a 27 de julho de 2018.

G1. **Descarte irregular de entulho e gesso causa transtorno em São Carlos, SP**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/2014/10/descarte-irregular-de-entulho-e-gesso-causa-transtorno-em-sao-carlos-sp.html>>. Acesso em: 26 de maio de 2022.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da Ufrgs, 2009. 120 p. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>. Acesso em: 23 nov 2021.

GRASSI, J. T. **Análise das propriedades termo-acústicas de blocos de gesso reciclado fabricados a partir de gesso pós-consumo – uma revisão da literatura**. 2018. 60p. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

IBDA, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura. **Estudos comprovam que o Gesso da Construção Civil pode ser reciclado**. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=29&Cod=1321>>. Acesso em 21 de maio de 2022.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **Alternativas de gestão dos resíduos de gesso**. São Paulo, Escola Politécnica da USP, 2003.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.. **Gesso de Construção Civil**. *In*: ISAIA, G. C.. *Materiais de Construção Civil*. São Paulo: IBRACON, 2007. Cap. 22.2, p. 727-760.

OLIVEIRA, T. M.; POLISSENI, A. E. **Reciclagem do gesso: potencial de aplicação**. REUCP, Petrópolis, v. 8, n. 1, p. 40-45, 2013.

MUNHOZ, F. C; RENÓFIO, A. Uso da Gipsita na Construção Civil e Adequação para a P+L. *In*: XIII SIMPEP - Bauru. 2006, Bauru. **Anais [...]** Bauru - SP, 2006. p. 8.

MUÑOS, G. B., et al. **Melhoramento logístico no processo de reciclagem do gesso na empresa INOVAMAT**. 2014, 17p. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

PINHEIRO, M. S. **Gesso reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes**. 2011. 330p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade de Campinas, São Paulo, 2011.

POINTER. **Acabamento em gesso: quais são as vantagens em usar?**. Disponível em: <<https://pointer.com.br/blog/acabamento-em-gesso/>>. Acesso em 20 de maio de 2022.

PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS. **Reciclagem De Gesso**. Disponível em: <<https://portalresiduossolidos.com/reciclagem-de-gesso/>>. Acesso em 25 de março de 2022.

ROSSO, K. S. **Utilização de gesso na Construção Civil**. Disponível em: <<https://gauchanews.com.br/artigos/utilizacao-de-gesso-na-construcao-civil/12628624>>. Acesso em 20 de maio de 2022.

SANT ANA, Thiago P. **Reciclagem do gesso gerado pelo setor da construção civil na região oeste do Paraná**. 2017. 82 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo - PR, 2017.

SAVI, Olindo. **Produção de placas de forro com a reciclagem do gesso**. 2012. 233p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

SCHENINI, P. C.; BAGNATI, A. M. B.; CARDOSO, A. C. F. Gestão de resíduos da construção civil. In: Cobrac — Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis: UFSC, de 10 a 14 de outubro de 2004.

SINDUSGESSO. **Experiência e Perspectivas dos APL de Base Mineral no Brasil – Gesso**. In: XIII Seminário Nacional dos Arranjos Produtivos Locais de Base Mineral. 2016. **Anais [...]**. Outubro de 2016.

TENÓRIO, J. S., SANTOS, W. C. A. dos, SILVA, R. H. R. e, CALHEIROS, J. S., SILVA, M. M. da, GONZAGA, G. B. M., & SILVA, G. S. da. (2017). **Gerenciamento dos resíduos do gesso da construção civil: uma análise sobre a cidade de Maceió**. *Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS*, 4(1), 137. Recuperado de <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/4394>.

TUDOGEO. **Estrutura geológica do Brasil**. Disponível em: <<https://www.tudogeo.com.br/2020/05/16/estrutura-geologica-do-brasil/>>. Acesso em 15 de maio de 2022.