

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL**  
**CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA REGIÃO DOS VINHEDOS**  
**ÁREA DO CONHECIMENTO**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**RAFAEL SCHEUER BASSO**

**CARACTERIZAÇÃO DE PASTA DE GESSO COM DIFERENTES  
PORCENTAGENS DE SUBSTITUIÇÃO DO GESSO *IN NATURA* POR GESSO  
RECALCINADO**

**BENTO GONÇALVES**

**2022**

**RAFAEL SCHEUER BASSO**

**CARACTERIZAÇÃO DE PASTA DE GESSO COM DIFERENTES  
PORCENTAGENS DE SUBSTITUIÇÃO DO GESSO *IN NATURA* POR GESSO  
RECALCINADO**

Trabalho de Conclusão de Curso Supervisionado em Engenharia Civil apresentado à Universidade de Caxias do Sul como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador Prof.: Me., Maurício Schafer

**BENTO GONÇALVES**

**2022**

## RESUMO

BASSO, R.S. **Caracterização de pasta de gesso com diferentes porcentagens de substituição do gesso *in natura* por gesso recalcinado.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Caxias do Sul, Área de conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias, Bento Gonçalves, 2022.

A construção civil tem grande importância para o desenvolvimento econômico e social do país, porém, traz como consequência a imensa geração de resíduos sólidos que, na maioria das vezes, não possuem uma política de reaproveitamento e são descartados de forma inadequada. Um desses materiais é o gesso, que com as tecnologias aplicadas, acabou tendo um aumento no seu consumo, chegando a ser um dos materiais mais consumidos no mundo. O trabalho em questão tem como objetivo a inserção dos resíduos de gesso provenientes da produção de placas de forro de gesso, em pequenas empresas. Na metodologia utilizada foi fixada uma relação água/gesso no valor de 0,8, e a temperatura de 170° C e o tempo de calcinação do resíduo, sendo executada com obtenção de constância de massa e realizados ensaios comparativos entre o gesso natural (0%) e com substituição 10%, 20%, 30%, 40% e 50%. Para tanto foi feita a reciclagem do gesso e realizados ensaios de laboratório para caracterizar: o pó, quanto a massa unitária e o módulo de finura; as pastas, relativamente aos tempos de início e fim de pega, consistência e densidade da pasta no estado fresco e a resistência à compressão e flexão, dureza, absorção de água, massa específica aparente, no estado endurecido. Foram realizados também ensaios com o pó e pastas produzidas com gesso comercial, como forma de estabelecer um padrão para comparação dos resultados.

Palavras-chave: Reciclagem do gesso; resíduo de gesso; sustentabilidade

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição Percentual de RCC no município de São Carlos .....	15
Figura 2 - Classificação Resíduos Construção .....	16
Figura 3 - Média Anual dos resíduos gerados pelos associados .....	18
Figura 4 - Localização do Principal Polo Gesseiro (Araripe) .....	19
Figura 5 - Extração da Gipsita.....	21
Figura 6 - Moagem da Gipsita.....	21
Figura 7 - Compostos obtidos a partir da calcinação da gipsita .....	22
Figura 8 - Utilizações da Gipsita e/ou Gesso .....	23
Figura 9 - Embalagem do gesso em pó .....	24
Figura 10 - Fluxograma do processo de hidratação .....	25
Figura 11 - Perdas de gesso na construção civil.....	29
Figura 12 - Geração de Resíduos por etapa e impactos ambientais gerados.....	30
Figura 13 - Descarte inadequado de gesso acartonado.....	32
Figura 14 - Resíduo Gesso Convencional, gerado em obra .....	32
Figura 15 - Nervuras nas placas .....	34
Figura 16 - Moldes de Silicone .....	35
Figura 17 - Batedeira Mecânica .....	35
Figura 18 - Plaina de Acabamento .....	36
Figura 19 - Secagem Placas de Ferro .....	36
Figura 20 - Resíduo Fabricação de Placas de Gesso .....	37
Figura 21 - Segregação dos Resíduos de Gesso .....	39
Figura 22 - Processo de Reciclagem do Gesso.....	43
Figura 23 - Fluxograma da Metodologia Utilizada.....	47
Figura 24 - Curva granulométrica gesso comercial.....	51
Figura 25 - Resíduos provenientes dos processos mecânicos .....	52
Figura 26 - Resíduo de Gesso seco a 50°C.....	54
Figura 27 - Resíduo não passante por peneira.....	55
Figura 28 - Gesso reciclado para segunda calcinação .....	55
Figura 29 - Estufa do Laboratório UCS-CARVI.....	56
Figura 30 - Curva granulométrica gesso reciclado.....	57
Figura 31 - Argamassadeira Laboratório UCS.....	59
Figura 32 - Molde corpo de provas metálico .....	60
Figura 33 - Corpos de provas desmoldados e identificados .....	60
Figura 34 - Exigências Físicas .....	61
Figura 35 - Pesagem gesso para o ensaio de tempo de pega .....	62
Figura 36 - Molde e Vicat modificado para início do ensaio.....	63
Figura 37 - Medição com auxílio de régua.....	65
Figura 38 - Amostra sendo rompida no ensaio de flexão.....	66
Figura 39 - Amostra sendo rompida no ensaio de compressão .....	68
Figura 40 - Corpos de prova sobre reservatório .....	70
Figura 41 - Diâmetro da esfera de aço utilizada.....	72
Figura 42 - Gráfico do início e fim de pega .....	76
Figura 43 - Gráfico do intervalo entre início e fim de pega .....	77

Figura 44 - Gráfico da densidade da pasta de gesso.....	80
Figura 45 - Gráficos da trabalhabilidade da pasta de gesso .....	82
Figura 46 - Comparativo dos valores médios de resistência a flexão para cada traço de pasta de gesso utilizado.....	84
Figura 47 - Comparativo dos valores médios de resistência a compressão para cada traço de pasta de gesso utilizado e idade diferentes.....	86
Figura 48 - Gráfico da massa aparente da pasta de gesso .....	89
Figura 49 - Gráfico da absorção de água da pasta de gesso.....	91
Figura 50 - Gráfico do coeficiente de capilaridade da pasta de gesso.....	93
Figura 51 - Gráfico de comparação de absorção de água de 10 min e 90 min.....	94
Figura 52 - Gráfico da dureza da pasta de gesso.....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ensaio gerais realizados .....	48
Tabela 2 - Descrição dos traços utilizados .....	49
Tabela 3 – Características Técnicas (Em laboratório).....	50
Tabela 4 - Exigências físicas do gesso da construção civil .....	50
Tabela 5 - Granulometria do gesso comercial.....	51
Tabela 6 - Módulo de Finura e Massa Unitária do gesso comercial .....	51
Tabela 7 - Granulometria do gesso reciclado .....	56
Tabela 8 - Módulo de Finura e Massa Unitária do gesso reciclado .....	57
Tabela 9 - Quantidade de Materiais para a pasta de gesso .....	59
Tabela 10 - Exigências físicas e mecânicas do gesso para construção civil de acordo com a Norma NBR 13207 - gesso para construção civil .....	67
Tabela 11 - Resumo resultados ensaios.....	73
Tabela 12 - Comparação de densidades aparentes de diferentes rebocos de construção, segundo diferentes autores (g/cm <sup>3</sup> ).....	81

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnica
°C	Grau centígrado
CaSO <sub>4</sub>	Sulfato de cálcio
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRYWALL	Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall
NBR	Norma Brasileira de Regulação
RCC	Resíduo de Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
SINDUSGESSO	Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco.

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 OBJETIVOS .....	12
1.1.1 Objetivo Geral .....	12
1.1.2 Objetivo Específico .....	12
1.2 DEMILITAÇÕES .....	12
1.3 DELINEAMENTO DO TRABALHO .....	13
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) .....	14
2.1.1 Resíduos de Gesso em Bento Gonçalves .....	17
2.2 O GESSO .....	18
2.2.1. Produção Do Gesso .....	20
2.2.2. Hidratação Do Gesso.....	24
2.3 EMPREGOS DO GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	26
2.3.1 Gesso Na Produção De Artefatos Pré-Moldados .....	27
2.4 GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE GESSO.....	28
2.4.1. Tipos de Resíduos de Gesso.....	31
2.4.1.1 Resíduos de Instalação de Gesso Acartonado .....	31
2.4.1.2 Resíduos de Instalação de Gesso Convencional.....	32
2.4.1.3 Placas De Gesso Convencional .....	33
2.4.1.4 Resíduos na Produção de Placas de Gesso Convencional.....	37
2.5 REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE GESSO .....	38
2.6 RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DE GESSO .....	39
2.6.1 Outros Usos para Resíduo de Gesso Reciclado.....	42
2.6.2 Processos para Reciclagem do Gesso.....	44
2.6.2.1 Secagem dos Resíduos de Gesso.....	44
2.6.2.2 Trituração E Moagem.....	45
2.6.2.3 Calcinação Do Resíduo Moído.....	45
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>47</b>
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS .....	49
3.1.1. Aglomerantes .....	49
3.1.1.1 Gesso .....	49



3.1.1.2 Resíduo de Gesso .....	52
3.1.1.3 Água .....	57
3.2 MÉTODOS .....	57
3.2.1 Preparação da Pasta e Moldagem .....	58
3.2.2. Estado Fresco .....	61
3.2.2.1 Tempo de Pega .....	61
3.2.2.2 Densidade da Pasta .....	63
3.2.2.3 Trabalhabilidade .....	64
3.2.3 Ensaio No Estado Endurecido .....	65
3.2.3.1 Resistência a Flexão .....	65
3.2.3.2 Resistência a Compressão .....	67
3.2.3.3 Densidade de Massa Aparente .....	68
3.2.3.4 Absorção de Água por Capilaridade .....	69
3.2.3.5 Dureza .....	71
<b>4. RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>73</b>
4.1 PÓ DE GESSO .....	73
4.1.1 Granulometria .....	73
4.2 ESTADO FRESCO .....	76
4.2.1 Tempo de Pega .....	76
4.2.2 Densidade da Pasta .....	79
4.2.3 Trabalhabilidade .....	82
4.3 ESTADO ENDURECIDO .....	83
4.3.1 Resistência à Flexão .....	83
4.3.2 Resistência à Compressão .....	86
4.3.3 Massa Aparente .....	89
4.3.4 Absorção De Água .....	91
4.3.4 Dureza .....	95
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>98</b>
5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS .....	100
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>101</b>

## 1.INTRODUÇÃO

A área da sustentabilidade está presente na atuação dos profissionais responsáveis pelo desenvolvimento e crescimento do país. A construção civil tem grande importância no desenvolvimento econômico e social do Brasil. Devido aos avanços tecnológicos construtivos, a mesma tem sido responsável por uma imensa geração de empregos, movimentando a economia e possibilitando cada vez mais o bem-estar da sociedade. Para Speck (2014) isso se deve ao déficit habitacional e à oferta de financiamento imobiliário que aumentou consideravelmente na última década.

No entanto, o setor da construção civil tem seu lado negativo, que se dá pela quantidade excessiva de resíduos que é gerado nos processos construtivos ou destrutivos, que na maioria dos casos são descartados de forma inadequada, trazendo problemas ao meio ambiente e riscos à população (CORTE, 2017). A construção civil é responsável por um grande consumo de recursos naturais e energéticos, além de ser responsável também, por gerar cerca de 40 a 60% dos resíduos sólidos urbanos, provenientes de construções, reformas e demolições de edificações (HABITARE, 2007). Dentre estes resíduos, o gesso é um material em crescente uso. Estima-se que no Brasil o gesso corresponda a 4% dos resíduos de construção e demolição provenientes de placas de forro, acabamentos, revestimentos e placas de gesso acartonado (JOHN; CINCOTTO, 2003; NITA et al., 2004).

Pinheiro (2011) relata que a geração de resíduos de gesso, está presente nas quatro etapas que constituem a cadeia de produção do gesso, o qual é destinado à construção civil, estas etapas são: extração de matéria-prima; produção do gesso; beneficiamento de componentes; e sua aplicação. Relata-se a ausência de dados referente ao volume de resíduos gerados, e aos graves impactos ambientais provocados como, contaminação do solo, poluentes atmosféricos, contaminação de lençol freático e degradação ambiental.

O gesso é produzido em diversos países do mundo, com um consumo anual aproximado, segundo Bezerra (2009), de cerca de 125 milhões de toneladas, das quais o Brasil participa com cerca de 2 milhões de toneladas. Com produção voltada basicamente para suprir o consumo interno, o Brasil aparece como 16º produtor mundial, mas as previsões é que seja duplicado o consumo até 2030. No Brasil o gesso é largamente utilizado como material de acabamento, especialmente na produção de placas de forros e elementos decorativos.

John & Cincotto (2003) estimam que há perdas nos processos de fabricação e aplicação dos produtos de cerca de 5% do total do gesso produzido no Brasil. Em 2010 representava, portanto, um volume estimado de 137.500 toneladas, considerando-se a produção de gesso, conforme Lyra Sobrinho et al. (2011), e desconsiderando o consumo de gesso utilizado na indústria cimenteira e na agricultura.

As experiências europeia, japonesa e americana, segundo Carneiro et al. (2001), demonstram que há conhecimento de base tecnológica suficiente para o desenvolvimento da reciclagem e há publicações científicas disponíveis que indicam ser plenamente possível a recuperação da capacidade aglomerante do gesso e a utilização dos resíduos reciclados na produção de placas de forro, o que poderá, eventualmente, apresentar resultados econômicos importantes. O processo de hidratação e desidratação em sua ocorrência natural faz do gesso um recurso sustentável, que em princípio pode ser infinitamente reciclado (ABERLE et al., 2010).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), e a lei dos resíduos sólidos, Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), estabelecem responsabilidades, diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Na Resolução 307/02 o gesso é classificado como material de classe C, ou seja, resíduo que não é passível de reciclagem. A Resolução 431/11, após o desenvolvimento de novas tecnologias, o resíduo de gesso passou a ser reciclado, alterando-se para Classe B (CONAMA, 2011).

As empresas que operam no mercado regional do gesso, por serem de pequeno porte, têm dificuldade de dar conta dos resíduos gerados, e destiná-los adequadamente. Isso decorre muitas vezes pela falta de recursos financeiros necessários aos investimentos nos processos de reciclagem, por gerar individualmente resíduos em pequenas quantidades, e pela inexistência de uma metodologia adequada para a reciclagem, o que contribui para a manutenção dessa situação.

O objetivo deste trabalho é caracterizar alguns traços de pasta de gesso, com a substituição de gesso *in nature* por gesso reciclado recalcinado, viabilizando tecnicamente o reaproveitamento de resíduos de gesso na construção civil.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar as propriedades das pastas de gesso com diferentes porcentagens de substituição de gesso *in natura* por gesso reciclado recalcinado em diferentes teores.

### **1.1.2 Objetivo Específico**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Avaliar se há variabilidade entre as consistências e os tempos de pega das pastas com o gesso reciclado e do gesso comercial nas porcentagens.
- b) Avaliar o desempenho das pastas de gesso com substituição de 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de gesso reciclado;
- c) Analisar a influência da substituição frente a resistência mecânica.

## **1.2 DEMILITAÇÕES**

O trabalho delimitou-se a caracterizar a gestão dos resíduos de gesso, na produção de placas para forros e rodafornos/molduras. O fator utilizado comercialmente é de 0,8 (gesso e água), sendo que para o estudo, foi aplicado porcentagens distintas de resíduos, a fim de analisar qual apresenta melhor resultado.

Foi analisado gesso de matéria prima e resíduo de gesso hidratado, através de ensaios de laboratório, caracterizar: o pó, quanto à massa unitária e ao módulo de finura; as pastas, em seu estado fresco, em relação aos tempos de pega, consistência e densidade da pasta, e em seu estado endurecido, em relação a resistência à compressão e flexão, absorção de água, dureza e massa específica aparente. Os ensaios de laboratório foram realizados utilizando o gesso reciclado juntamente com o comercial, considerando as devidas substituições, e somente do gesso sem substituições, para termos um comparativo, analisando se os resultados apresentados, pela empresa produtora da matéria-prima, estão coerentes.

### **1.3 DELINEAMENTO DO TRABALHO**

O trabalho foi delineado em cinco grandes etapas. Sendo a primeira, a introdução e os objetivos. Na segunda etapa, a elaboração, revisão bibliográfica, onde se realizou uma pesquisa para coleta de informações e aprofundamento do tema em análise, a fim de posteriormente desenvolver o trabalho de conclusão, e repassar a teoria argumentativa dos objetivos apontados. A terceira etapa contemplou a descrição dos métodos, que foram utilizados. Através de desenvolvimento experimental nas características dos materiais utilizados, ensaios realizados para ocorrer a conclusão, apresentando conjuntamente práticas conhecidas de outros trabalhos. A quarta etapa foi efetuada a análise dos resultados obtidos frente aos ensaios realizados em laboratório, e por fim, na quinta etapa, fazendo suas considerações finais. Concluindo assim se houver resultados satisfatórios ou se é necessário buscar outros caminhos para uma melhor execução futura.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Há aproximadamente 8.000 a.C, o gesso já era utilizado na construção civil. Os habitantes da Síria e Anatólia (atual Turquia) usavam o material em sua forma mais crua de pedra natural. Seu desenvolvimento iniciou-se com os povos da Babilônia, Mesopotâmia e Assíria, em construções e decorações. As pesquisas mostraram que os egípcios antigos também utilizavam o gesso para uso mineral e formar blocos de construção, utilizando-o esmagado e sem o acréscimo de água. Posteriormente, usufruíram do método para construir tumbas e pirâmides que hoje estão listadas como uma das sete maravilhas do mundo moderno (RIBEIRO, 2006).

Recai sobre as empresas do setor de construção civil, a responsabilidade de preocupar-se com o meio ambiente e descarte correto de seus resíduos sólidos. Tendo consciência da evolução constante da área, tem-se buscado formas inovadoras e tecnológicas para não apenas descartar, mas também, conseguir reutilizar o material evitando a extração excessiva do minério (BETSUYAKU, 2015).

### **2.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)**

Segundo a Lei 12.305 (BRASIL, 2010), o Plano de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos no país, prevê a responsabilidade conforme o acordo setorial e da logística reversa, também aborda medidas socioeducativas para a gestão de resíduos. A Lei ainda estima o fim dos lixões, sendo assim necessário os resíduos serem encaminhados aos aterros sanitários, a fim de uma tentativa de reduzir a contaminação das águas.

A construção civil é vista como uma das atividades mais importantes para o desenvolvimento do mercado econômico e social, no entanto, também é considerada como uma influenciadora de impactos ambientais negativos, por conta dos altos consumos de recursos naturais, modificação das paisagens naturais e pela geração de resíduos em si (PINTO, 2005).

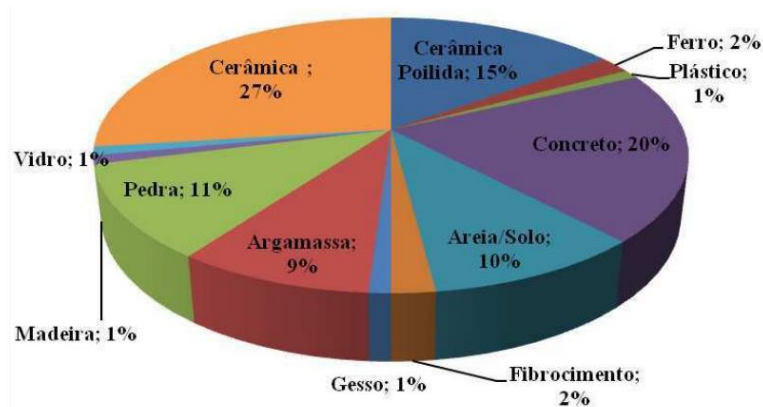
Conforme a NBR 15116 (ABNT, 2014) os resíduos, também chamados de entulhos, são provenientes de construções, reformas e reparos de obras de construção civil. Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção

ABRECON (2012), pode-se definir entulho como um montante de fragmentos ou restos de materiais de construção.

Segundo o SINDUSCON – MG (2005), a geração de resíduos de construção e demolição varia de cidade para cidade, podendo ser representada por cerca de metade dos resíduos sólidos urbanos do planeta. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2017) a indústria civil foi responsável pela geração de aproximadamente 45 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no Brasil em 2017. A ABRELPE (2017) também afirma que aproximadamente 60% dos municípios brasileiros ainda destinam os resíduos de forma inadequada ou apenas como lixos, sem pensar em uma alternativa sustentável.

Em nível mundial, os detritos da construção civil são diversificados devido às peculiaridades dos sistemas e meios construtivos de cada país. Pesquisas realizadas na cidade de São Carlos mostram a composição dos resíduos da construção civil no Brasil, conforme pode ser visto na Figura que se segue (MUNHOZ, 2006). Esses percentuais podem ser visualizados no fluxograma a seguir, na Figura 1.

Figura 1 - Composição Percentual de RCC no município de São Carlos



Fonte: Neto 2005 apud Munhoz e Renóbio 2006.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA criou a resolução 307 (2002), que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para o controle e administração dos resíduos, minimizando assim os impactos ambientais.

De acordo com o CONAMA, a classificação dos resíduos de construção e demolição (RCD) é feita por 4 subgrupos separados conforme seu tipo de utilização e reciclagem. Sendo essa classificação realizada por meio da Resolução nº 341, de 24 de maio de 2011, e dividida da seguinte maneira:

*I – Classe A*- são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.

*II – Classe B* – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;

*III – Classe C* – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação, sendo eles: isopor, massa corrida e massa de vidro.

*IV – Classe D* – são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Figura 2 - Classificação Resíduos Construção

<p><b>Classe A - Trituráveis</b></p> <p>Tijolo, Telhas, Areia, e outros.</p> 	<p><b>Classe B - Recicláveis</b></p> <p>Papel, Plástico, Madeira, e outros.</p> 
<p><b>Classe C - Não Recicláveis</b></p> <p>Gesso, Isopor, e outros.</p> 	<p><b>Classe D - Resíduos Perigosos</b></p> <p>Tinta, Verniz, Solventes, e outros.</p> 

Fonte: Eos consultores (2012).

A resolução 307 do CONAMA teve um de seus artigos alterados pela Resolução 431 de 2011. Na resolução de 2002, o gesso era classificado como resíduo de Classe C,



dessa forma, considerava-se que os resíduos de gesso não possuíam alternativas tecnológicas ou de reciclagem disponíveis. A resolução 431, entretanto, estabeleceu que os resíduos de gesso atualmente são classificados como resíduos de Classe B, ao lado de materiais como plástico, metais, vidros, assim passando a ser classificado como resíduo com capacidade de reciclagem e de ter outras destinações (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2011).

Para Pinheiro (2011), mesmo estando na “Classe B”, este resíduo segue com problemas na destinação final devido aos raros espaços de transbordo e triagem. Também por não serem aceitos em aterros sanitários, e a ser quase nula a existência de recicladoras.

Diante da crescente importância do desenvolvimento sustentável e a redução do impacto ambiental nas empresas do ramo da construção civil, muitas empresas buscam soluções que retraiam os danos ao meio ambiente. Essas empresas trabalham com o intuito de desenvolver novos produtos com finalidade de aspecto biodegradável ou reciclável para que possam ser reaproveitados de alguma outra forma após o seu uso. Assim, as empresas fazem uso de estudos de meios de uso e consumo de RCC, com o objetivo de diminuir os impactos e reutilizar os agregados reciclados (BIGOLIN, 2013).

O uso de RCC como agregado reciclado vem sendo pesquisado para diversas aplicações e a tendência do desenvolvimento sustentável está cada vez mais em alta quando se trata de construção civil (MATOS, 2015).

### **2.1.1 Resíduos de Gesso em Bento Gonçalves**

De acordo com o Plano de Resíduos da cidade de Bento Gonçalves (2014), a construção civil no município apresenta um grande número de obras públicas e privadas que acabam resultando em uma vasta demanda na destinação dos resíduos sólidos.

A ASCON (Associação das Empresas de Construção Civil de Bento Gonçalves), (2020), conta com 64 empresas associadas e acredita englobar 75% das obras existentes no município, realizou uma pesquisa com seus associados para ter consciência sobre a quantidade de resíduos gerados no decorrer do ano. Os dados são apresentados na Figura 3.

Figura 3 - Média Anual dos resíduos gerados pelos associados

TIPO DO RESÍDUO	QUANTIDADE ANUAL
Blocos de concreto, blocos cerâmicos e argamassas.	200 TON
Madeira	50 TON
Plástico (sacaria de embalagens, aparas de tubulações, etc.).	60 TON
Papelão (sacos e caixas de embalagens)	80 TON
Metais (qualquer tipo de metal)	40 TON
Serragem	2 TON
Gesso de revestimento, placas acartonadas e artefatos.	60 TON
Solos	40.000 m <sup>3</sup>
Isopor	2 TON
Uniformes	1 TON
Instrumentos de aplicação (pincéis, panos, estopas, trinchas).	4 TON

Fonte: Plano de resíduos, Bento Gonçalves (2014).

Devido ao fato de o município não ter disponibilizado o plano atual e diversas empresas do ramo da construção civil não serem associadas à ASCON, os dados são desatualizados e as médias referem-se especificamente aos participantes da Associação.

Os motivos de a prefeitura de Bento Gonçalves não disponibilizar coleta destes resíduos, é por conta de ser uma responsabilidade das empresas geradoras em dar destino correto aos resíduos e por possuir empresas de tele entulho atuantes na cidade.

## 2.2 O GESSO

De acordo com Ribeiro (2006), o gesso é um dos três aglomerantes possuídos pelas indústrias brasileiras, juntamente ao cimento Portland e a Cal. A matéria-prima natural empregada é a gipsita, uma rocha encontrada em diversas partes do mundo. Nosso país conta inclusive, com jazidas distribuídas em nove estados, e todas apresentando grande grau de pureza.

De acordo com a NBR 13207, (ABNT, 1994), o gesso é um elemento obtido da calcinação da gipsita e moído em forma de pó. A Gipsita é um sulfato de cálcio dihidratado –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  - cuja composição teórica é 46,6%  $\text{SO}_3$ , 32,5%  $\text{CaO}$ , 20,9%  $\text{H}_2\text{O}$ . Abundante na natureza, o mineral é encontrado em granulação fina a média, e duas formas, estratificadas ou maciças, sua coloração pode variar entre tons claros de amarelo e marrom. Os termos gipsita e gipso podem ser utilizados para denominar o mineral em estado natural, enquanto gesso, indica o produto industrial hemi-hidratado e calcinado a

160- 180°C, mineralogicamente conhecido como bassanita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ ) (OLIVEIRA 2012).

Em rede nacional, os principais depósitos de gipsita reconhecidos pelo Departamento Nacional de Produto Mineral – DNPM encontram-se associados às bacias sedimentares conhecidas como Bacia Amazônica, Bacia do Parnaíba, Bacia Potiguar, Bacia Sedimentar do Araripe, e Bacia do Recôncavo. Sendo a Bacia Sedimentar do Araripe a mais adequada em relação a economia. (DNPM, 2012). Podemos observar na Figura 4, que o polo gesso nacional, está situado em sua maioria no Nordeste brasileiro.

Figura 4 - Localização do Principal Polo Gesso (Araripe)



Fonte: Ribeiro (2006)

O polo de Pernambuco, constituído por cinco municípios da microrregião de Araripina, apresenta instaladas 312 empresas, produzindo anualmente 2302 mil toneladas, operando a 23,77 % da capacidade (MUNHOZ, 2008).

Segundo o SINDUSGESSO (2011), o Estado de Pernambuco é responsável por 95% da produção nacional, o Estado do Maranhão participa com 3%, o Ceará com 1,5% e o Tocantins com 0,3%. Para o SINDUSGESSO (2011), a área de Pernambuco possui reservas estimadas em 1,22 bilhões de toneladas e, por seu teor de pureza, é uma das mais expressivas e importantes do mundo. Mais da metade do total produzido no Estado de Pernambuco é destinado à fabricação de blocos e placas, e o restante é destinado para revestimentos. Uma pequena parcela é dedicada a moldes cerâmicos e outros usos.

O segmento do gesso nacional encontra-se em evolução, com uma taxa de crescimento anual de 8% e expectativas de crescimento ainda maior (SINDUSGESSO, 2007). O que se deve, principalmente, à disseminação de sistemas construtivos

alternativos, ao alto teor de pureza das jazidas brasileiras de gipsita e baixo custo do gesso (PINHEIRO, 2011).

No Brasil, a extração do minério de gipsita é da ordem de 1,9 milhão de toneladas por ano. Desse montante, 59% são destinados à calcinação, 30% ao setor de cimentos e 11% ao setor agrícola. Sendo o consumo direto do gesso, para aplicação em construções, aproximadamente 1.090.000 toneladas do minério, por ano (BRASIL, 2009; MARCONDES, 2007 e RIBEIRO, 2006).

O país representa 2,5% da produção mundial, o que o deixa entre os dez maiores produtores de gesso no mundo e o maior no ranking da América do Sul. No entanto, por ser um mineral encontrado em abundância, acaba por não possuir grande expressão econômica (DNPM, 2013).

Segundo informações do Sindugesso e Abragesso apud Agopyan et al. (2005), as principais fontes de resíduos de gesso na construção são provenientes das atividades de revestimento (88%), chapas de gesso acartonado (8%) e componentes pré-moldados (4%), sendo estimada uma massa de 120 mil toneladas por ano na Grande São Paulo que, se devidamente gerenciada, poderia minimizar o consumo de gipsita em 32.700 toneladas por ano, reduzindo assim o excesso de extração (PINHEIRO, 2011).

O volume de resíduos gerados por essas unidades produtoras é desconhecido. Entretanto, é provável que represente uma massa significativa e que proporcione uma reciclagem de gesso em nível industrial (JOHN; CINCOTTO, 2003). Em outras regiões do país, onde as atividades de construção e demolição geram grande volume de resíduos de gesso, se forem devidamente gerenciados, podem voltar a ser integrados na cadeia produtiva (PINHEIRO, 2011).

### **2.2.1. Produção Do Gesso**

A produção do gesso no Brasil é executada envolvendo as seguintes atividades: Extração do minério realizada a céu aberto, seguida pelos processos de britagem, moagem grossa e estocagem. Após, é procedida secagem (pois a umidade da matéria-prima pode chegar a 10 %), calcinação, moagem fina e ensilagem (PINHEIRO, 2011).

A gipsita é encontrada perto da superfície e em profundidades de até vinte metros, sua extração é realizada através de máquinas perfuratrizes, pás mecânicas, bombas d'água, tratores, caminhões e outros. A exploração é feita por meio de explosivos que

resultam em diferentes tamanhos e formas da pedra (LIMA, 2011), conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Extração da Gipsita



Fonte: Bing images, acesso em novembro de 2021.

Após a extração da gipsita, os pedaços são britados com o objetivo de reduzir sua granulometria, em torno de 20 mm, de modo que se adeque ao forno de calcinação. Para os processos de britagem e moagem, são utilizados britadores de mandíbula e moinhos de martelo. Em alguns casos a britagem é realizada em dois estágios em circuito fechado com peneiras vibratórias a seco. Logo após diminuir, torna a gipsita um produto mais fino, essa pode ser transportada em esteira para a usina, a fim de iniciar o próximo tratamento (LIMA, 2011). Na Figura 6, podemos ver a máquina utilizada no processo.

Figura 6 - Moagem da Gipsita



Fonte: Site Britador do Brasil, Acesso em novembro de 2021.

A calcinação é a etapa mais importante no processo de produção. Consiste num aquecimento não muito elevado, uma média de temperatura de 160 °C. A técnica de calcinação na indústria pode ocorrer em vários tipos de fornos (MUNHOZ, 2008).

De acordo com Munhoz (2008), a calcinação é o processo térmico no qual a gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) é desidratada e a temperatura varia focando no composto que se pretende originar. Esses compostos, podemos encontrar na Figura 7.

Figura 7 - Compostos obtidos a partir da calcinação da gipsita

Temperatura de Calcinação	Composto Originado	Características
140°C a 160°C	Hemidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ )	Solúvel. Pode resultar no hemidrato $\alpha$ ou $\beta$ .
160°C a 200°C	Anidrita III ( $\text{CaSO}_4 \cdot \varepsilon\text{H}_2\text{O}$ )	Tem presa rápida. Pode conter água de cristalização em baixo teor. Com a umidade do ar, se transforma no hemidrato.
250°C a 800°C	Anidrita II ( $\text{CaSO}_4$ )	Baixa velocidade de hidratação
Acima de 800°C	Anidrita I ( $\text{CaSO}_4$ )	

Fonte: Munhoz (2008).

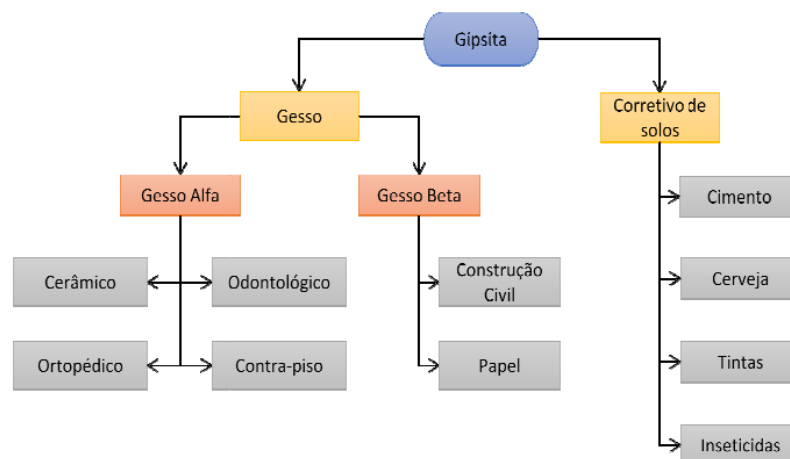
A temperatura teórica para que a reação de desidratação ocorra é de 106°C, porém a velocidade da reação será razoável. A produção industrial, indica temperaturas superiores, entre 145°C e 170°C (RIBEIRO, 2006).

A partir da gipsita são produzidos o gesso alfa e o gesso beta, com processos de fabricação e aplicação distintos. No momento do desmonte da bancada, já se pode fazer a classificação da gipsita, segundo sua destinação, em:

- Tipo A - Para fabricação do gesso alfa ( $\alpha$ ), odontológico, ortopédico ou cerâmico.
- Tipo B - Para fabricação do gesso beta ( $\beta$ ), para revestimento, cerâmica ou fundição.
- Tipo C - Para refugo, ou para uso como corretivo de solo, na forma de gipsita, com partículas de tamanho entre 0 a 5 mm (OLIVEIRA 2012).

Podemos visualizar os tipos de gesso citados e suas aplicações, na Figura 8, a seguir.

Figura 8 - Utilizações da Gipsita e/ou Gesso



Fonte: Adaptado Melo (2012).

O gesso  $\alpha$  tem cristais maiores, bem definidos, homogêneos e estrutura cristalina levemente diferente dos cristais do gesso  $\beta$  devido à calcinação ocorrer sob pressão dentro de autoclaves. Por possuir cristais grandes, bem formados e sem poros, acaba resultando em uma menor área superficial. Como consequência da redução da área específica, a dissolução dos cristais do hemidrato  $\alpha$  torna-se mais lenta e os cristais do dihidrato crescem lentamente e de maneira ordenada, formando um material de baixa porosidade e com maior resistência mecânica (JOHN; CINCOTTO, 2007).

O gesso  $\beta$ , ao contrário do alfa, contém elevada área superficial específica devido a sua granulometria fina e seus cristais porosos. Necessitando assim de uma elevada quantidade de água para a sua formação. Desta forma, constitui um material de baixa resistência mecânica devido a sua elevada porosidade (JOHN; CINCOTTO, 2007).

A variação da temperatura permite obter gesso beta com diferentes características diretamente relacionadas à sua utilização. Em temperaturas de 120°C a 180°C, a gipsita perde 1 1/2 moléculas de água, passando de di hidratado para hemi-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ), formando gessos de fundição (rápidos) utilizados na construção civil ou gesso de revestimento (lento), (PINHEIRO, 2011). Além desses tipos, há ainda o gesso cerâmico, uma variedade mais nobre do gesso de fundição, e o gesso fíller, que corresponde à fração de finos que se recupera dos vapores que são lançados no ar durante a etapa de calcinação (DNPM, 2012).

Durante a etapa de pulverização, o gesso produzido na calcinação passa por uma moagem fina, adquirindo a granulometria certa para sua utilização. Em geral, as granulometrias são especificadas por norma. No acondicionamento, são utilizadas



embalagens de estanques, a fim de abrigar o material da umidade ambiente (ABREU, 2005; PINHEIRO, 2011).

De acordo com a NBR 13207 (ABNT, 1994), o gesso deve ser distribuído em sacos multifoliados, fortes o suficiente para evitar abertura durante a sua manipulação e com condições que possam ser cerrados logo após o seu enchimento. Pensando na qualidade, os sacos de gesso devem ser guardados em locais secos, protegidos e de fácil acesso para realizar a inspeção. Na Figura 9, podemos ver um estoque de gesso pronto para comercialização.

Figura 9 - Embalagem do gesso em pó

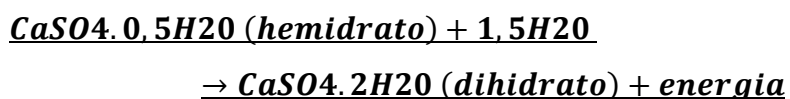


Fonte: Supergesso (2021).

### 2.2.2. Hidratação Do Gesso

O gesso é denominado como um ligante hidrófilo, isso por sua relação com a água. Os hidrófilos se classificam em hidráulicos ou aéreos. Os ligantes hidráulicos são resistentes a água, como exemplo tem-se o cimento e a cal hidráulica. Como ligante hidrófilo aéreo, tem-se o gesso, pois ao ser misturado com a água forma uma pasta que endurece ao ser exposto ao ar e sua pasta endurecida, com ou sem adição de outros materiais, não é resistente à água (MUNHOZ, 2008).

Conforme Bernhoeft (2010), a hidratação é resultado da reação química entre o hemidrato e a água, regerando o di-hidrato por meio da reação inversa da formação de gipsita em gesso, liberando calor, conforme etapas abaixo:





Segundo John e Cincotto (2007), em relação aos aglomerantes, o gesso foi pioneiro a receber um estudo científico da hidratação Lavoisier (1978). O mecanismo acima engloba três etapas:

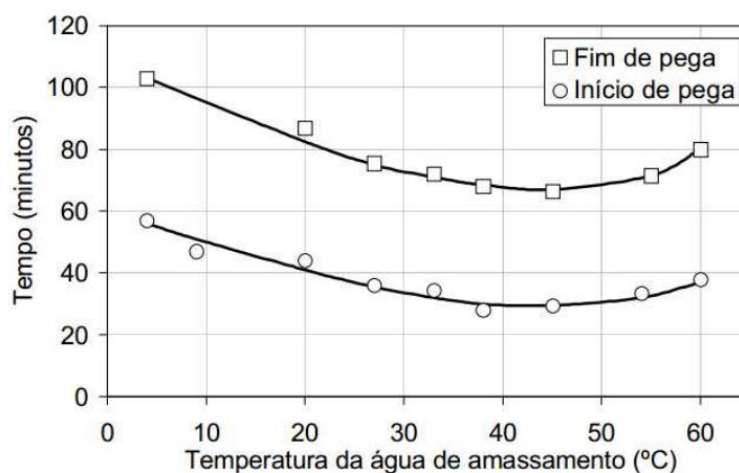
**ETAPA INICIAL** – Fenômeno Químico da Dissolução: Uma mínima hidratação seguida pelo período de indução. A indicação de término desta etapa surge pelo aumento da taxa de elevação da temperatura, ou seja, quando é observada a elevação superior a  $0,1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Neste momento está caracterizando o início de pega.

**ETAPA INTERMEDIARIA** – Fenômeno Físico da Cristalização: Evolução rápida da reação de hidratação. Essa segunda etapa é caracterizada pela veloz elevação da temperatura, e apresenta o momento propício para aplicação do gesso em pasta para revestimentos.

**ETAPA FINAL** – Fenômeno Mecânico de Endurecimento: Fim de pega, quando chega à sua temperatura máxima, de modo que foi concluída a hidratação. Nesse momento, a temperatura começa a baixar.

Na Figura 10, podemos ver o fluxograma do processo da hidratação do gesso, que é disponibilizado pelo IBRACON, 2021.

Figura 10 - Fluxograma do processo de hidratação



Fonte: IBRACON, 2021.

John e Cincotto (2007) relatam que em condições ambientais normais e na ausência de aditivos retardadores, a maior parte de hidratação é completada em até duas horas, mas a reação das anidritas pode levar meses. Portanto, do ponto de vista prático, a pega do gesso se encerra em cerca de duas horas, mas segue ganhando resistência por até vinte horas.

O fenômeno de pega e o ganho de resistência são resultados da redução do volume da água líquida que se combina com os anidros. O fato pode ser afetado por diversos fatores, como por exemplo, a origem geológica da matéria-prima e suas impurezas, finura e forma dos grãos, relação a/g, temperatura da água, velocidade e tempo de mistura dos aditivos (KARNI, 1995).

### **2.3 EMPREGOS DO GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Iwasaki & Camarini (2011) afirmam que a utilização do gesso na construção civil tem tido crescimento significativo por permitir ótimos acabamentos e tratar de um aglomerante inorgânico que apresenta propriedades de endurecimento rápido que geram qualidade e alta produtividade. Segundo Lyra Sobrinho et al. (2011) o aumento no uso de gesso no Brasil entre 2008 e 2010 foi de 25,3%, passando de 2.250.000 para 2.820.000 toneladas por ano. Mais consumo do material, reflete em mais resíduos.

Em 2013, o consumo aparente de gesso foi de 3.332.991 toneladas (FILHO et al, 2014). Sua maior aplicação é na indústria da construção civil (revestimento de paredes, placas, blocos, painéis, etc), podendo ser utilizado como alternativa em relação a outros materiais como a cal, o cimento, a alvenaria e a madeira. É também empregado na confecção de moldes para as indústrias cerâmicas, metalúrgicas e de plásticos. Por sua resistência ao fogo é usado na confecção de portas corta-fogo. Misturando gesso e amianto, isolantes para cobertura de tubulações e caldeiras são produzidos, enquanto isolantes acústicos derivam da adição de material poroso ao gesso (MUNHOZ; RENÓFIO, 2006).

No Brasil o gesso é utilizado como material de acabamento, especialmente na produção de placas de forros e elementos decorativos (SAVI, 2012). Além disso, possui mais duas destinações de âmbito nacional: Para a agricultura e indústria cimenteira em sua forma natural, já em sua forma calcinada (gesso) é direcionado para construção civil, material ortopédico, dental, e outras formas de menor relevância (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

No setor industrial a grande aplicação da gipsita é na fabricação do cimento Portland por ser um retardador do tempo de pega, onde é adicionado ao clínquer em um percentual de 3 a 5 % em massa. Já o gesso para revestimento tem sido visto pelas construtoras como uma alternativa eficiente tanto por sua qualidade, quanto custo-

benefício. O revestimento em pasta de gesso pode substituir argamassas, camadas de chapisco, massa corrida e preparação para pintura (caso venha a ser realizado). O gesso destinado à fundição é posteriormente utilizado na fabricação de pré-moldados como peças para decoração, placas para forro, blocos de gesso, chapas de gesso acartonado, entre outros (BERNHOEFT, 2010).

Pinheiro (2011) relata que parte do consumo do gesso destinado ao setor civil, é para fabricação de argamassas de revestimento, sendo essas usadas em forma de pasta seguindo a orientação normativa NBR 13867 (ABNT, 1997).

Na arquitetura de interiores, o gesso pode ser utilizado de duas formas. O formato decorativo na produção de rodafornos/molduras, devido a sua boa aparência, acabamentos refinados e resultados já na primeira camada. E de rebaixamento de teto, não tendo, apenas função estética, mas também, suprimindo a necessidade de se esconder tubulações hidro sanitárias e elétricos presentes. Sendo uma opção economicamente viável (MILITO, 2007).

Por ser um material com alto coeficiente de absorção acústica, e baixa condutividade térmica, o gesso é um bom isolante acústico e térmico. (FERREIRA; CRUVINEL, 2014). No entanto, Ribeiro et al. (2002) descreve duas particularidades que o tornam inutilizáveis por conta de alguns fatores que devem ser considerados. Primeiramente, o material não pode ser utilizado em exteriores por ser solúvel em água e segundo, por provocar corrosão no aço, só deve ser armado com armaduras galvanizadas.

### **2.3.1 Gesso Na Produção De Artefatos Pré-Moldados**

A área da construção civil consome também, um grande volume de gesso na fabricação de elementos como: blocos, placas, divisórias de gesso acartonado, molduras etc. (PINHEIRO, 2011).

As placas, normalmente são utilizadas em forros e para fazer detalhes de rebaixamento no teto, conforme regulamentado pela norma NBR 12775 (ABNT, 1992). Já os blocos, são destinados à vedação vertical, como paredes e divisórias internas, seguindo a NBR 16494 (ABNT, 2017). Tanto as placas, quanto os blocos, são produzidas basicamente pela junção da matéria-prima (gesso) com água, sendo a incorporação de fibras, pigmento e/ou aditivos reguladores optativos (DOMÍNGUEZ; SANTOS, 2001).

Os detritos produzidos no processo industrial de formação de elementos pré-moldados para a construção civil apresentam baixo nível de contaminação, mas alto teor de umidade. Os resíduos de gesso provenientes das obras de demolições e reformas apresentam grande quantidade de impurezas, como: poeiras, fibra de sisal, fitas de papel, massa de rejunte, arames, madeiras, etc. e outros materiais utilizados. Para John & Cincotto (2003), os restos de gesso acartonado podem conter contaminantes como metais (pregos e perfis), madeiras e tintas, ficando suscetíveis ainda a outros contágios se durante as demolições, não houver procedimentos adequados de gestão.

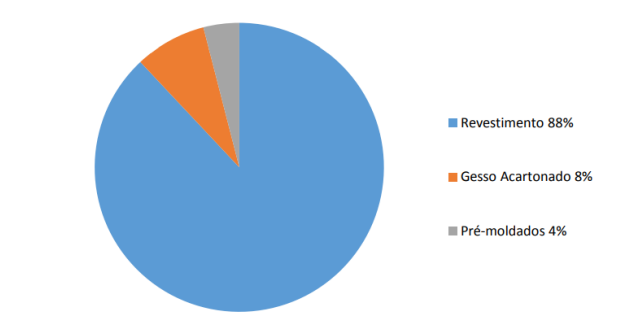
As chapas acartonadas, produzidas a partir de laminação contínua, são outra forma de usar o gesso. O processo inclui além de gesso e água, aditivos onde são envolvidos por lâminas de papel (PERES et al., 2001). As normas de especificações técnicas das chapas acartonadas são NBR 14715 (ABNT, 2001), NBR14716 (ABNT, 2001) e NBR 14717 (ABNT, 2001).

## **2.4 GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE GESSO**

De acordo com Pinheiro (2011), o gesso representa mais ou menos, 5% de todo entulho gerado pela construção civil, isso devido à expansão do segmento do gesso em área nacional e ainda, apresentando expectativas de crescimento seguido de uma taxa de crescimento anual de 8%.

Segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall, 2012, estima-se que o desperdício de gesso nas construções seja de 45%, enquanto os fabricantes do gesso em pó estimam prejuízos em torno de 30% com a massa do gesso. (DRYWALL, 2012). Para o Sindicato das Indústrias de Gesso (SINDUSGESSO, 2005) as perdas na construção civil são significativas. Como podemos ver na Figura 11.

Figura 11 - Perdas de gesso na construção civil



Fonte: Adaptado Sindusgesso, (2005)

De uma tonelada de resíduos de gesso, 88% do gesso aplicado em revestimentos são responsáveis pela maior parte da geração dos resíduos de gesso na construção civil, em um levantamento, estima-se que 8% derivam do gesso acartonado e 4% são oriundos dos pré-moldados.

Para John e Cincotto (2003), se a equipe não for qualificada, tem-se um desperdício ainda maior, devido ao rápido endurecimento da pasta de gesso, podendo a perda alcançar um percentual de 30%. Sendo uma alternativa para reduzir esse valor, um aprimoramento na tecnologia do gesso acartonado e qualidade de mão de obra. (MELO, 2012). John & Cincotto (2003), estimaram a quantidade de resíduos de gesso no Brasil, em 2008, em cerca de 137.500 toneladas/ano.

Chandara et al. (2009), também alertam sobre os malefícios para a saúde e bem-estar humano ocasionados pelos resíduos de gesso. A liberação de íons em baixas concentrações pode apresentar apenas odores que remetem a ovos podres, no entanto, em alta concentração, os gases liberados podem ser letais. Pinheiro (2011) informou que os impactos ambientais causados pela geração de resíduos são graves. E para piorar, estão presentes em todo o processo de produção do gesso, conforme apresentados na Figura 12.

Figura 12 - Geração de Resíduos por etapa e impactos ambientais gerados

ETAPA	NATUREZA	VOLUME ESTIMADO	IMPACTOS AMBIENTAIS
Extração da matéria-prima	- Material estéril - Minério impróprio ao uso - Material particulado	- Ausência de dados	- Poluentes atmosféricos - Contaminação do solo - Contaminação de lençol freático - Degradação ambiental
Produção do gesso	- Material particulado - Resíduo de varrição	- 10% a 15% de perda	- Poluentes atmosféricos - Contaminação do solo - Contaminação de lençol freático - Degradação ambiental
Beneficiamento de componentes	- Pasta de gesso hidratada - Peças danificadas	- Chapas de gesso acartonado -2,5% - Demais componentes- ausência de dados	- Contaminação do solo - Contaminação de lençol freático - Degradação ambiental
	- Revestimento	- 30% a 40% * - ausência de dados**	
	- Chapas de gesso acartonado	- 12%* - ausência de dados**	
Aplicação	- Alvenaria blocos - Forro de placas de gesso - Elementos decorativos	- 5%* - ausência de dados** - Ausência de dados* - ausência de dados** - Ausência de dados* - Ausência de dados**	- Contaminação do solo - Contaminação de lençol freático
*Fase de Construção		** Fase de Demolição	

Fonte: Adaptado de Pinheiro (2011).

A geração de resíduo de gesso de construção representa não só um problema econômico, mas também, um impacto ecológico com graves consequências. Estes sólidos acabam em aterros sanitários ou são depositados de forma irregular em terrenos baldios. Por serem oriundos de um material tóxico, contaminam o meio ambiente, ao liberar íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  que alteram a alcalinidade do solo e contagiam os lençóis freáticos. Além disso, a decomposição do resíduo de gesso em aterros ocasiona a geração de gás sulfídrico, devido às reações do sulfato com a matéria orgânica (MAEDA 2000).

Pode-se perceber que o combate a produção dos resíduos, depende da sua execução. Uma gestão adequada e preocupada durante o serviço de revestimento, resulta em uma boa gestão do entulho (MAEDA 2000).

Para Carvalho et al. (2008) é possível reutilizar os resíduos de gesso hidratado para produzir diferentes materiais com aspectos semelhantes e sem prejuízos nas propriedades, como placas de forro e elementos de decoração. Esta conclusão é resultado do seu trabalho, em que comparou as características físicas e químicas entre o gesso comercial (natural) com as características do gesso reciclado.

A viabilidade econômica da reciclagem dos resíduos de gesso, é variável. Alguns fatores influentes são os custos de destinação em aterros, coleta, transporte e processamento e da aceitação pelo mercado dos produtos fabricados com o gesso reciclado (CIWMB, 2001). Para John & Cincotto (2003), reciclar o gesso é mais complexo do que produzir a partir da matéria prima extraída da jazida natural. O consumo

de mão de obra e o investimento em equipamentos tornam o processo de reciclagem do resíduo de gesso mais caro.

John & Cincotto (2003) ainda complementam que os resíduos do gesso utilizados na construção civil, originam-se de três fontes expressivas de geração: a fabricação de placas, a montagem e as obras de demolição e reformas. Estimativas de empresas do ramo gesseiro, relatam que cerca de 50% dos resíduos de gesso são oriundos de processos industriais e 50% resultantes de atividades de aplicação e demolição.

Pelo fato dos resíduos produzidos no processo industrial de fabricação de elementos pré-moldados apresentarem pouca contaminação, mas alto teor de umidade, são os mais indicados para a reutilização, dentro da logística reversa. Já os resíduos de gesso oriundos das obras de demolições e reformas, apresentam grande quantidade de impurezas. Podendo ser encontrado no meio, fibra de sisal, fitas de papel, arames, massa de rejunte, madeiras entre outros materiais (MARVIN, 2000).

#### **2.4.1. Tipos de Resíduos de Gesso**

O método de aplicação do gesso resulta em resíduos característicos. Independentemente de sua origem, devem ser gerenciados e destinados corretamente. Nos próximos itens, são caracterizados os resíduos da instalação de gesso acartonado em forros e divisórias, instalação de placas de gesso convencional, e produção das placas de gesso convencional.

##### **2.4.1.1 Resíduos de Instalação de Gesso Acartonado**

A instalações das divisórias e forros de gesso acartonado, geram resíduos devido cortes necessários para que as placas se adequem ao local final de instalação. Entretanto, pode-se reduzir consideravelmente a quantidade dos detritos, realizando a medição e modulando as dimensões da obra em relação as placas. Deve-se cuidar, para que os resíduos não sejam contaminados com metais, utilizados na estrutura, como montantes e guias, além dos parafusos, usados na fixação. A Figura 13, apresenta uma pequena quantidade de resíduos de gesso acartonado, misturado a outros substratos.

Figura 13 - Descarte inadequado de gesso acartonado



Fonte: Motta, 2021

#### 2.4.1.2 Resíduos de Instalação de Gesso Convencional

Semelhante ao processo de instalação de gesso acartonado, os resquícios das placas de gesso convencional são resultado dos cortes de adequação. Outro ponto a ser considerado é a preparação da pasta in loco juntamente com o sisal para a união das placas. Diferente do modelo acartonado, onde é fixado em perfis metálicos por parafusos, a colocação das placas convencionais é um processo mais artesanal. Na Figura 14, apresentamos o resíduo de gesso convencional, logo após sua geração.

Figura 14 - Resíduo Gesso Convencional, gerado em obra



Fonte: Do Autor, 2022



Por ser um material de rápido endurecimento, o gesso necessita de mão de obra eficiente e qualificada para como consequência, ter menos resíduos ao final da obra. Além disso, o volume pode aumentar antes mesmo da aplicação da pasta, quando o tempo de pega do material ser ultrapassado, ou o traço utilizado não ser o adequado. Formas de reduzir, é fornecendo um treinamento prévio para a mão de obra e com uma compatibilização do ambiente. Vale ressaltar, que a quantidade de resíduos está diretamente relacionada com a habilidade e velocidade do colocador.

Outro aspecto relevante, é a fragilidade das placas de gesso convencionais. Dessa forma, devem ser estocadas cuidadosamente e manuseadas com cuidado no momento da utilização, assim evitando sua inutilidade antes mesmo da instalação do forro.

#### **2.4.1.3 Placas De Gesso Convencional**

Os forros de gesso podem ser feitos com placas lisas, fabricadas em dimensões comerciais de 60 x 60 cm e 65 x 65 cm. Podendo apresentar outras dimensões. Essas placas lisas são produzidas com espessura de 15,0 mm no centro e 30,0 mm nas bordas. As bordas apresentam dimensões maiores (região mais estruturada da placa) porque são áreas de conexão na montagem e na formação do painel de revestimento com encaixes do tipo macho-fêmea. Além disso, a sustentação das placas de forro é realizada por sistema de tirantes (arames) fixados nos cantos das placas, o que exige maior reforço (SAVI, 2012).

A face superior da placa de forro de gesso, não fica visível após a instalação, mas possui um sistema de nervuras que servem para aumentar sua rigidez, conforme ilustra a Figura 15.

Figura 15 - Nervuras nas placas



Fonte: Do, Autor (2022).

As placas lisas são fabricadas com pasta de gesso resultante de pó e água e moldadas em formas de silicone, sob uma placa de vidro, para determinar o esquadro. O final confere um acabamento a parte da placa que ficará visível após a instalação. Nas indústrias da região, as placas de forro de gesso são produzidas na proporção de água/gesso de 1 para 1, em peso, valor presente também em Silva (2003).

O derretimento das placas lisas de forro de gesso é feito em uma mesa com características próprias para a finalidade. Uma bancada, com conjunto de três moldes, onde se apoia um silicone, que dará o acabamento liso à face inferior da placa de gesso. Neste molde, já está embutido, dois lados com o encaixe de macho, e dois lados com o encaixe fêmeo, para facilitar na hora da execução. Para finalizar, um tampão de acrílico, é fixado à mesa de forma a permitir um movimento basculante, serve para imprimir à face superior da placa os nervos de rigidez e garantir a espessura pré-determinada da placa de gesso. Esta chapa é deitada sobre a pasta, logo após o lançamento sobre o silicone. Esse processo, não necessita do uso dos desmoldantes, usados no passado. A Figura 16, ilustra os moldes citados.

Figura 16 - Moldes de Silicone



Fonte: MetalGypsum (2021).

O processo de fabricação nas indústrias locais, coincide com o procedimento de Silva (2003), consistindo no preparo de uma mistura de água e gesso (cerca de 5 litros) em uma bateadeira, por cerca de 1 minuto, tornando a mistura uma pasta homogênea, que é posteriormente e de forma manual, depositada sobre o papel inferior. Na Figura 17, tem-se um exemplo de bateadeira mecânica.

Figura 17 - Bateadeira Mecânica



Fonte: MetalGypsum (2021).

Em seguida, a mistura é posta sobre a forma já preparada e o tampão que serve para dar a conformação à face superior da placa do forro é baixado. A reação química leva cerca de 10 minutos para ocorrer e após, levanta-se o chapão. Após, é aguardado o final da reação da água/gesso, que dura cerca de 2 minutos e a placa é desenformada.

Após, se retira o excesso de gesso, que virá a ser o resíduo, através de uma plaina mecânica de acabamento, e assim conseguir um produto mais uniforme no final, como pode ser conferida na Figura 18.

Figura 18 - Plaina de Acabamento



Fonte: MetalGypsum (2021).

Após, as placas são colocadas para secagem/cura total, o processo pode durar até 6 dias, podendo chegar até 15 dias, dependendo do clima da região. São necessários cerca de 20 minutos para a realização do processo completo de produção de apenas uma placa de forro, não incluso neste tempo a cura e a secagem. Na Figura 19, temos o processo de secagem, a temperatura ambiente.

Figura 19 - Secagem Placas de Ferro



Fonte: MetalGypsum (2021).



#### 2.4.1.4 Resíduos na Produção de Placas de Gesso Convencional

Os resíduos produzidos no processo de fabricação de elementos pré-moldados para a construção civil, vistos na Figura 20, contém pouca contaminação por não terem entrado em contato com nenhum outro material além da água utilizada para a preparação da pasta.

Figura 20 - Resíduo Fabricação de Placas de Gesso



Fonte: Do Autor, 2022

O que se observa na empresa que possui a fabricação de placas e outros objetos, como molduras e negativos de gesso, é o alto teor de umidade apresentado pelos resíduos, pois são gerados ainda no início do processo de produção, antes de serem submetidos à secagem.

Embora o material desta fonte seja, inevitavelmente mais heterogêneo em composição do que o obtido do drywall, devido à natureza tradicional de sua preparação, pesquisas anteriores revelaram a possibilidade de sua reutilização (Begliardo et al., 2007).

## 2.5 REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE GESSO

Segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall (DRYWALL, 2009), os itens remanescentes do gesso devem ser segregados, coletados, armazenados, transportados e destinados conforme etapas abaixo:

A segregação é a forma de armazená-los para a coleta, devem ser separados de acordo com seu tipo de material. A segregação, a coleta e a armazenagem dos resíduos de gesso são etapas que requerem uma atenção especial. A preocupação com a proteção contra a umidade, é um dos itens principais da gestão de resíduos, por ser um fator que pode impossibilitar a realização da reciclagem (MUNHOZ; RENÓFIO, 2006).

Segundo a Resolução nº 307 (CONAMA, 2002), a separação do resíduo deve ser realizada pelo gerador preferencialmente já no seu local de origem. Para Lima (2011) esse processo logo no início, é a garantia da qualidade do resíduo. Reduz a probabilidade de conter a presença de contaminantes e potencializa a chance de reutilização ou reciclagem. A execução satisfatória dessa etapa, pode ser obtida com orientação, treinamento e qualificação dos funcionários a respeito da importância dessa fase (Lima & Camarini, 2011).

Para facilitar a coleta, os resíduos derivados do gesso precisam ser armazenados em locais apropriados e separados dos demais materiais, como metais, papéis, madeiras e restos de alvenaria. Isso tudo, com o intuito de manter a qualidade do resíduo antes de ser encaminhado para reciclagem (DRYWALL, 2009).

Os resíduos de gesso devem ser mantidos em ambiente seco e cobertos, para evitar qualquer contato com a água. Visto que esse contato, além de poder inutilizá-lo, pode ocasionar uma reação química prejudicial ao solo (DRYWALL, 2009).

A Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall (2009) aponta que o transporte dos resíduos deve obedecer às regras municipais estabelecidas preocupadas com o meio ambiente e conter toda e qualquer documentação necessária. Os responsáveis pelo transporte também devem ser cadastrados no órgão municipal responsável, assim tendo a permissão de circular com os destroços.

Segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall (2009), nos municípios brasileiros já existem Áreas de Transbordo e Triagem (ATTs). Essas áreas são responsáveis por receber os restos de gesso e após triar e homogeneizar. Após, os resíduos são vendidos para responsáveis pela reciclagem, ou até mesmo diretamente para o cliente final.

A reciclagem dos resíduos de gesso torna-se impossibilitada caso não seja feita de forma adequada, conforme os processos anteriormente relatados (MELO, 2012). A reciclagem é uma oportunidade de transformar o que seria um custo em uma fonte de renda. Na Figura 21, tem-se um quadro resumo, de como proceder para a segregação dos resíduos de gesso.

Figura 21 - Segregação dos Resíduos de Gesso

<b>ORIGEM DO RESÍDUO</b>	<b>SEGREGAÇÃO</b>
Chapas de gesso (Drywall)	Delimitar uma área exclusiva para deposição dos resíduos em locais cobertos. Deve evitar qualquer tipo de contaminação, principalmente por metais
Gesso para revestimento	O gesso não aproveitado não deve ser depositado nas mesmas pilhas dos resíduos classe A. Deve haver um local específico para o acondicionamento e armazenamento deste resíduo em locais cobertos. Deve evitar qualquer tipo de contaminação, principalmente por metais
Placas pré-moldadas de gesso	Delimitar uma área exclusiva para deposição dos resíduos em locais cobertos. Deve evitar qualquer tipo de contaminação, principalmente por metais

Fonte: Sindicato da Indústria da Construção Civil – MG, (2008, p.53).

## 2.6 RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DE GESSO

A reciclagem é definida na Resolução nº 307 (CONAMA, 2002) como o reaproveitamento de um resíduo, após ter passado por um processo de transformação.

Para Franchetti e Marconato (2009) a reciclagem pode ser primária ou secundária. Quando o reaproveitamento do resíduo é realizado dentro do mesmo processo industrial que o gerou, é classificado como primário. Já quando o resíduo é utilizado para fabricar outro tipo de material diferente daquele que o originou, é classificado como secundário. Para John (2001), as reciclagens dentro do próprio processo de geração são limitadas pelo seu alto custo, sugerindo então, explorar a opção de reciclagem secundária.

Segundo Erbs et al. (2015), os resíduos da construção civil e também os de processos de fabricação, podem ser reutilizados, pois o gesso retorna às suas propriedades quando processado, porém de que se mantenha livre de despoços.

De acordo com John e Cincotto (2007), é mais complexo reciclar do que o produzir o gesso partir da matéria-prima, a gipsita. Relembrando que os resíduos são compostos de gipsita com uma fração de impurezas. O processo de reciclagem exige mais

mão de obra e energia, pois é necessário remover as impurezas, além de um melhor sistema de segregação. Para Pinheiro (2011) quando se tem desde o início o controle destas impurezas, é possível alcançar uma composição próxima à da matéria-prima.

Segundo John e Cincotto (2007), a granulometria representa a distribuição dos tamanhos dos grãos do material e um indicador da plasticidade da pasta e lisura do acabamento.

Estudos sobre o reaproveitamento dos resquícios de gesso apresentam semelhanças físico-químicas entre o material residual e o gesso natural. Chandara et al. (2009), realizaram testes de termogravimetria. Obtendo o resultado de perda de aproximadamente 20% de sua massa quando exposto a temperatura média de 150°C. Garg e Jain (2010) utilizaram gesso calcinado a uma temperatura de 160°C, para produzir placas e blocos, possibilitando assim melhores condições de uso de critérios quanto à resistência do material.

Para Bauer (1994), o tempo de pega está diretamente ligado a temperatura. Temperaturas de calcinação mais elevadas em maiores tempos, resulta em gessos com maiores tempos de pega, com possibilidade de elevação, levando o gesso a uma segunda cozedura. A granulometria também influencia nos tempos, quando possui grânulos muito finos, os tempos de pega serão menores em razão da superfície específica para hidratação ser maior.

Savi (2012) relata que pastas de gesso reciclado, por apresentarem uma consistência mais pastosa, resulta em maior trabalhabilidade em relação as pastas de gesso comercial que apresentam aspecto líquido. A uniformidade da pasta também sofre influência do tempo de pega, por conta do fator água/gesso. Portanto, está relacionada também com a temperatura e o tempo de calcinação.

Iwasaki e Camarini (2011) por meio de estudos com gesso reciclado, concluíram que as pastas com fator água/gesso de 0,70 e 0,80, quando comparadas com pastas produzidas com gesso comercial, apresentaram as seguintes características: redução no tempo de pega, aumento de porosidade e permeabilidade, perda de plasticidade e menor capacidade de espessamento. No entanto, mostraram melhores valores de resistência à tração, compressão e dureza superficial. O aumento da água deve observar limites que garantam a resistência mínima, e cuidar com excessos, pois a demasia não permite o endurecimento total.

Medina et al. (2016) utilizaram resíduos de gesso na produção de cimento sustentável, relatando a possibilidade de incorporar restos de gesso calcinados à 170°C



na composição. A esta temperatura, as áreas dos poros são reduzidas, obtendo melhores resultados.

Contudo, apesar dos resíduos não apresentarem reciclabilidade, poucas ações práticas são vistas neste sentido. Para Kochem (2016) a reciclagem do resíduo de gesso com o intuito de valorizá-lo, é necessária devido ao grande volume gerado nas obras, porém a prática da reciclagem no Brasil ainda é jovem.

Para Lima e Camarini (2011), a reciclagem do gesso é um dos principais fatores para o desenvolvimento sustentável. Devendo consumir o mínimo de energia e produzir um material com propriedades físicas e mecânicas de qualidade, além de ser economicamente viável.

Sendo comprovada a estabilidade técnica e científica, o processo de reciclagem poderá utilizar os resíduos num ciclo contínuo, sem desperdícios. Uma atividade produtiva e financeiramente sustentável (SAVI, 2012).

Bernhoeft (2010) experimentou substituir 5 e 10% de resíduo com um fator água/gesso constantemente próximo a 0,8, usando como indicativo de viabilidade; o acréscimo de resíduo à pasta de gesso, diminui os tempos de início e fim de pega. Deve se prezar, para que não diminua o tempo da faixa de consistência útil, pois o rápido endurecimento das argamassas se tornaria um agravante em relação a produção de resíduos do revestimento de gesso. Ensaios de calor de hidratação, também foram realizados como comparativos entre pasta de gesso natural. Com adição de resíduo, almejando a possibilidade de manter o tempo de consistência útil. Mesmo com queda da resistência à compressão das pastas mediante e de forma proporcional a adição de resíduo, as resistências registradas até a adição de 10% de resíduo não comprometeram a performance.

Usar o gesso reciclado puro na produção de elementos complementares, é outro método disponível. Rodaforros e sancas, utilizam pasta mista (gesso reciclado + gesso comercial), deixando com maior consistência e melhorando a trabalhabilidade, fornecendo maior fluidez, e obtendo um aspecto próximo do gesso comercial puro. Os estudos realizados indicam que o gesso é tecnicamente reciclável e que é plausível de ser aproveitado na produção de placas de forro.

Schimitz (2008) propôs-se a avaliar, por meio da substituição de 5 e 10 % de resíduo moído, a melhor forma de utilizar o resíduo da pasta de gesso natural no revestimento interno de paredes. Minimizando o comprometimento na qualidade e no

desempenho do revestimento. Ao final, comparou os resultados com o desempenho do gesso natural.

Sobrinho (2009) apresentou metodologia semelhante à de Schimtz (2008), tendo ensaiado uma série com gesso natural, e outras com além de 5% e 10%. Usou também 15%, 20%, e 25% de adição de resíduo. Sua conclusão direciona a uma tendência favorável a aplicação da prática.

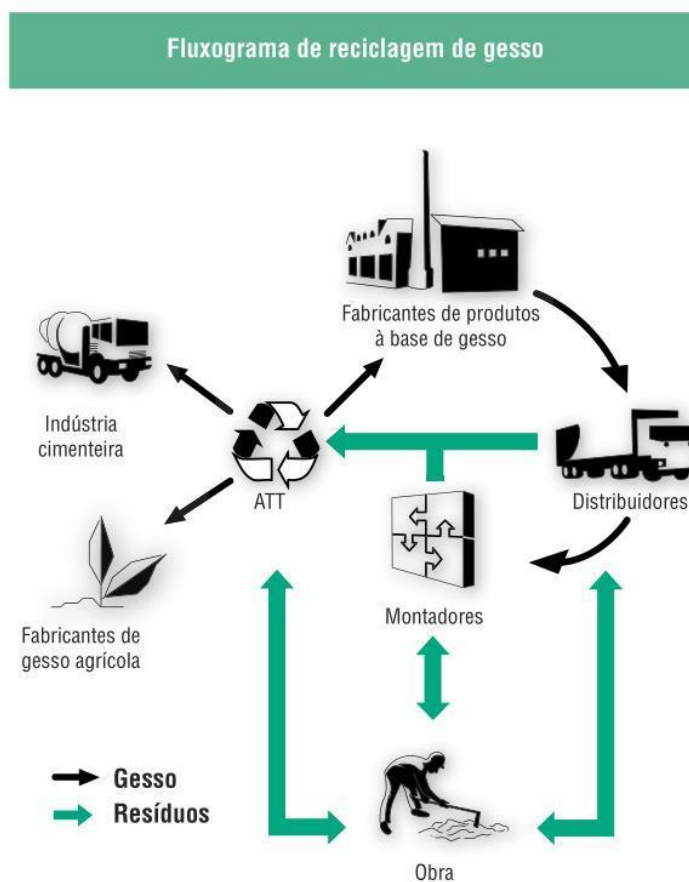
### **2.6.1 Outros Usos para Resíduo de Gesso Reciclado**

O segmento do gesso na região é composto por pequenas empresas, John & Cincotto (2003) consideram isso um fator decisivo para a viabilização da reciclagem em escala industrial, visto que as pequenas fábricas de placas são responsáveis por gerar uma massa significativa dos resíduos.

Segundo Melo (2012), um ponto que dificulta o reaproveitamento do material diante da possibilidade da utilização de resíduos reciclados por meio de novas etapas de moagem e calcinação, é a presença de impurezas no material, que por vezes, ultrapassam o limite aceitável de 3%. Essa reciclagem depende também de outros fatores como o local da indústria e o custo de processamento do resíduo, quantidade de resíduos disponíveis e ações de gerenciamento (JOHN; CINCOTTO, 2003).

Na Figura 22, temos um resumo, de todos os processos encontrados, até o momento para a reciclagem do gesso.

Figura 22 - Processo de Reciclagem do Gesso



Fonte: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Fluxograma-do-processo-de-reciclagem-do-gesso\\_fig2\\_298351815](https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Fluxograma-do-processo-de-reciclagem-do-gesso_fig2_298351815)

É normal os fabricantes de concreto adicionarem gesso em pequenas quantidades em relação à massa de clínquer, algo em torno de 5%, para que o material atue como retardador do tempo de pega do cimento. A não adição, tornaria o tempo de endurecimento mais rápido podendo até inviabilizar sua utilização (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL, 2012). John e Cincotto (2003) observam que para esse efeito de pega, o gesso deve possuir elevada pureza. A produção nacional de cimento, de acordo com dados de 2010, é de aproximadamente 80 milhões de toneladas anuais, essa fabricação pode incluir até 5% de gipsita.

Na agricultura, a utilização do gesso é amplamente disseminada, conforme a Associação Brasileira do Drywall (2012), serve para quatro principais aplicações: efeito fertilizante, corretivo de solos ácidos, condicionador de subsuperfície e condicionador para compostagens. Essa conexão entre gesso e solo ocorre de diferentes formas, variando

de acordo com o teor de matéria orgânica e natureza mineralógica da fração de argila (RAIJ, 2008).

Fernandes (2013) através de seu estudo, reutilizou o resíduo de gesso no processo de fabricação de placas para forro, em busca da diminuição dos impactos gerados pelo descarte inadequado e contaminação do solo. Sua metodologia consistiu em coleta, trituração e secagem. Todas as amostras apresentaram resistência à pressão inferior as exigidas pela NBR 13207 (ABNT, 1994).

Campbell (2003) relata que no Canadá foi implantada uma empresa de reciclagem, que produz matérias primas para a fabricação de placas de gesso, misturando 25 por cento de gesso reciclado ao gesso novo, o processo inclusive, não provoca perda na qualidade.

As placas produzidas com o gesso reciclado apresentam aspectos de cor e resistência física e mecânica semelhantes e compatíveis com a do gesso comercial. A melhor utilização do gesso reciclado puro é em grandes indústrias, que possuem equipamentos adequados para trabalhar com o material, ou indústrias que produzem placas de grandes dimensões, como as de painéis de parede (SAVI, 2012).

## **2.6.2 Processos para Reciclagem do Gesso**

Para a reciclagem, os procedimentos de manuseio e estocagem devem ser controlados, pois não havendo disposição de implantá-los, poderá haver o comprometimento da segurança e também da confiança do reciclador (ROCHA e JOHN, 2003).

Lima & Camarini (2011) atentam para a necessidade de utilização dos procedimentos corretos de segregação e condicionamento, evitando a contaminação e mantendo a qualidade dos resíduos até o momento de sua destinação, ou então, de seu aproveitamento.

### **2.6.2.1 Secagem dos Resíduos de Gesso**

Segundo Savi (2012), em pequenas empresas de fabricação de placas e artefatos de gesso é que, durante o processo industrial, os resíduos apresentam alto teor de umidade,

pois são gerados antes de serem submetidos à secagem. A mesma questão problemática é apresentada pelos resíduos de obras de montagem de placas de forros e paredes e serviços de reformas, pois esses entulhos podem ficar expostos por longos períodos e acabar entrando em contato com a água, além de o próprio ambiente ser úmido.

Essa umidade pode ser removida ou reduzida, através da secagem com exposição direta ao sol, claro que isso demanda espaço físico e tempo, o que pode implicar no planejamento do processo de reciclagem. Para se conseguir um melhor e mais rápido desempenho, deve-se fazer a secagem em fornos ou estufas. Sendo necessário controlar a temperatura, pois a exposição a fortes fontes de calor pode comprometer ou até prejudicar a recuperação da propriedade aglomerante do gesso e, conseqüentemente, todo o restante do processo de reciclagem (SAVI, 2012).

#### **2.6.2.2 Trituração E Moagem**

Segundo Savi, 2012, o impacto causado pela umidade nos resíduos compromete também as atividades de trituração e moagem, pois reduz a eficiência dos equipamentos, produzidos para trabalhar com material seco.

A trituração e a moagem ficam responsáveis pela redução granulométrica dos resíduos de gesso e sua transformação em pó. Embora o gesso possa ser moído diretamente, sem passar pelo processo de trituração, acaba sendo triturado para reduzir seu tempo na câmara de moagem (SAVI, 2012).

#### **2.6.2.3 Calcinação Do Resíduo Moído**

Gregg e Willing (1951) obtiveram sucesso em seus experimentos de reciclagem do gesso. Utilizaram o método de absorção, trabalhando com temperaturas de calcinação entre 110 °C e 700 °C, e concluíram que as maiores resistências foram obtidas com a calcinação do gesso com temperaturas entre 180°C e 190°C.

Estudos realizados por Lima e Camarini (2011), com calcinação de gesso a temperaturas de 120°C, 150°C, e 200°C, com tempos de permanência em estufa por períodos de 1, 5, 8, 16 e 24 horas, chegaram aos resultados de que a calcinação a temperaturas de 150°C e 200°C, com períodos de permanência de uma hora, apresentam

bons efeitos quando equiparados ao gesso comercial. Estas condições de tempo e temperatura de calcinação favorecem as questões econômicas da reciclagem por reduzir o consumo de energia. Lima & Camarini (2011) ainda obtiveram os melhores resultados de resistência à compressão axial, com a calcinação à temperatura de 150°C, e tempo de permanência em estufa de uma hora.

Para Fernandes (2013), o gesso reciclado nas temperaturas de 170°C e 200°C nos tempos de 80 e 120 minutos apresentaram resultados de resistência a compressão maior. Os gessos calcinados a temperatura de 140°C nos tempos de 50, 80 e 120 minutos não reagiram com a água e por consequência não endureceram. É indicado um maior tempo de permanência na estufa para a calcinação do dihidrato de sulfato de cálcio.

Semelhante a eles, Harada e Pimentel (2009) também conseguiram resultados no processo reciclagem de gesso de fundição, abrasando a temperaturas de 160 °C com tempo de queima de 24 horas.

Para Haddon (1924), a calcinação do gesso com temperaturas entre 160 e 170 °C extrai praticamente toda a água remanescente na massa de gesso.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com as pesquisas realizadas anteriormente, verificou-se que os resíduos dos artefatos de gesso, mais especificamente placas e molduras, poderiam ser reincorporados ao setor, mesmo que como aditivo à matéria-prima virgem. Para tentarmos atingir as ideias propostas, de ver qual a porcentagem de substituição de gesso reciclado apresenta melhores resultados nos ensaios, foi utilizada uma metodologia, resumida na Figura 23.

Figura 23 - Fluxograma da Metodologia Utilizada



Fonte: Do autor (2022).

Essa metodologia indica as etapas que foram realizadas, desde a coleta do resíduo de gesso até a realização dos ensaios feitos no laboratório de materiais da UCS – Universidade de Caxias Do Sul - CARVI.

Os ensaios realizados nesta pesquisa, possuem como objetivo determinar as características mecânicas e físicas dos elementos desta pesquisa. A Tabela 1 apresenta de forma direta os ensaios que foram realizados no material em pó, e nas pastas, tanto no estado fresco quanto no endurecido, com as respectivas normativas seguidas.

Tabela 1 - Ensaios gerais realizados

ESTADO	ENSAIO	MÉTODO	MATERIAL
GESSO EM PÓ	Granulometria	NBR 12127 - ABNT 2017	Gesso Comercial e resíduo
	Módulo de finura		
	Massa unitária		
FRESCO	Índice de consistência	NBR 12129 - ABNT 2017	Traços GC, G10, G20, G30,G40 e G50
	Densidade da pasta	NBR 13278 - ABNT 2005	
	Tempo de pega	NBR 12128 - ABNT 2017	
ENDURECIDO	Resistencia a flexão	NBR 14717 - ABNT 2001	Traços GC, G10, G20, G30,G40 e G50
	Resistencia a compressão	NBR 12129 - ABNT 2017	
	Massa aparente	NBR 13280 - ABNT 2005	
	Absorção de água	NBR 15259 - ABNT 2005	
	Dureza	NBR 12129 - ABNT 2019	

Fonte: Do autor (2022).

Com finalidade de padronizar o nome para cada traço foi criado uma nomenclatura. Os traços produzidos foram identificados por letras e números. A letra “G” consiste na abreviação de gesso. Já os números estão presentes nas porcentagens (10, 20, 30, 40 e 50), e para o comercial utilizaremos a letra “C”, em conjunto com a letra “G”.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos traços empregados, com a composição de cada um deles.



Tabela 2 - Descrição dos traços utilizados

Siglas Traços	Descrição Traços
GC	Gesso Comercial
G10	Gesso Comercial (90%) + Gesso Reciclado (10%)
G20	Gesso Comercial (80%) + Gesso Reciclado (20%)
G30	Gesso Comercial (70%) + Gesso Reciclado (30%)
G40	Gesso Comercial (60%) + Gesso Reciclado (40%)
G50	Gesso Comercial (50%) + Gesso Reciclado (50%)

Fonte: Do Autor, 2022

Para a substituição da matéria-prima natural pelo gesso reciclado, foram empregados os percentuais de 0% (utilizados no presente), 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de teores de substituição do gesso comercial pelo gesso reciclado. Esses valores foram escolhidos, conforme pesquisas realizadas anteriormente, e tendo uma ideia, do que as empresas poderiam utilizar, para a redução de custos. Diante disso foram moldados corpos de provas, com a relação de 0,8 (água/gesso) conforme estudo realizado por Fernandes, (2013).

Todos os corpos de provas que foram ensaiados, possuem os materiais, dosagem, cura e ensaios padronizados, para que haja um controle dos traços produzidos nesta pesquisa. A temperatura e umidade do ambiente são variáveis não controladas.

### 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais que foram utilizados e suas devidas caracterizações para confecção desta pesquisa estão descritos no decorrer deste item.

#### 3.1.1. Aglomerantes

##### 3.1.1.1 Gesso

Para realizar os ensaios, utilizou-se o gesso Beta, que é o mais utilizado na indústria da construção civil para a fabricação de artefatos pré-moldados, principalmente placas para forro de gesso convencional e placas para gesso acartonado. Por característica, tem cristais heterogêneos, apresentando menor tempo de pega, assim auxiliando na produção dos elementos. Em contrapartida, acaba gerando uma produção de maior quantidade de resíduos.

Utilizamos o gesso comercial “O SuperGesso Fundição – Gesso de Paris”, que é um gesso tipo Beta de secagem rápida, perfeito para pequenos reparos de superfícies nas habitações, produção de artefatos de gesso em geral, artesanato e elementos decorativos. Tem como composição química Sulfato de cálcio hemidratado ( $\text{CASO}_4 + 1/2\text{H}_2\text{O}$ ); Impurezas (< 2%) Carbonato de Cálcio e de Magnésio, argila e sais solúveis, este utilizado na fábrica de artefatos. Se encontra disponível em embalagem de papelão de 40 kg e seu tempo de endurecimento é de aproximadamente 20 minutos após a mistura, podendo variar em função da relação pó/água utilizada e umidade relativa do ar. Possui as características apresentadas na Tabela 3, conforme disponibilizadas pela empresa fabricante do produto.

Tabela 3 – Características Técnicas (Em laboratório)

Variáveis	Valores
Densidade do Pó	>0,60 g/ml
Resíduo passante #50	>90 %
Água de Cristalização	4,2 – 6,2%
Consistência Normal	75
Tempo de Pega Inicial	<10'
Tempo de Pega Final	<20'
Dureza mínima	20 N/mm <sup>2</sup>

Fonte: IGE – Indústria de Gessos Especiais, 2022.

De acordo com a NBR 12128 (ABNT, 2017), existem algumas exigências que o gesso tem que cumprir, de acordo com a granulometria encontrada, conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Exigências físicas do gesso da construção civil

Classificação do gesso	Tempo de pega (min) (NBR 12128)		Módulo de finura (NBR 12127)
	Início	Fim	
Gesso fino para Revestimento	> 10	> 45	< 1,10
Gesso grosso para revestimento	> 10	> 45	> 1,10
Gesso fino para fundição	4 – 10	20 - 45	< 1,10
Gesso grosso para fundição	4-10	20 - 45	> 1,10

Fonte: NBR 12128 (ABNT, 2017)

Os ensaios referentes ao gesso foram realizados, e na Tabela 5 podemos observar a granulometria deste aglomerante.

Tabela 5 - Granulometria do gesso comercial

Peneiras Utilizadas (mesh)	Material Passante (g)	Material Retido (g)	Tempo de Peneiramento (min)
Peneira 100	98,32	1,68	2
Peneira 200	96,67	1,65	2
Peneira 400	1,04	95,63	2

Fonte: Do Autor, 2022

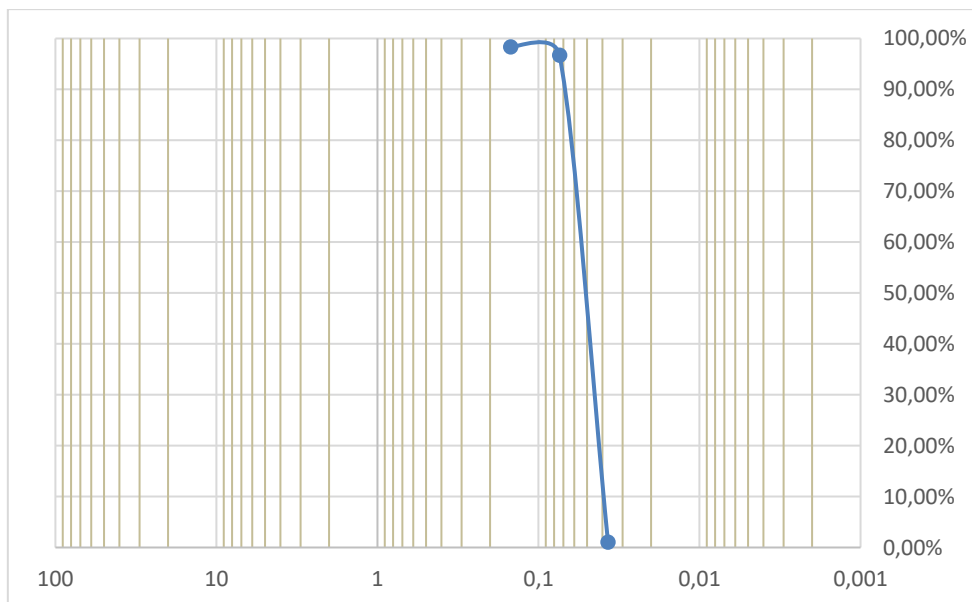
Na Tabela 6 podemos observar as características físicas do deste aglomerante, que pode ser classificado como gesso fino. Enquanto na Figura 24, temos a curva granulométrica, do gesso comercial.

Tabela 6 - Módulo de Finura e Massa Unitária do gesso comercial

Tipo de Gesso	Valor Médio
Módulo de Finura	0,95
Massa Unitária	764,00 (Kg/m <sup>3</sup> )

Fonte: Do Autor, 2022

Figura 24 - Curva granulométrica gesso comercial



Fonte: Do Autor, 2022

### 3.1.1.2 Resíduo de Gesso

Os resíduos de gesso foram selecionados de uma pequena/média fábrica de placas e artefatos, situada em Bento Gonçalves, que tem interiormente, a preocupação de coletar o resíduo sem impurezas e/ou misturas de outro material. Os rejeitos são destinados para a cidade de Canoas, onde a empresa acaba realizando a moagem, e após, repassando para a indústria cimenteira.

A coleta de resíduos é a primeira etapa para a realização da reciclagem do gesso, e se realizou no período de junho de 2022. O produto resultante da coleta foi acondicionado em baldes plásticos, transportados e pesados, e em seguida armazenados em local abrigado. Os resultantes dos processos mecânicos nas indústrias de pré-moldados de gesso, como podemos ver na Figura 25.

Figura 25 - Resíduos provenientes dos processos mecânicos



Fonte: Do Autor, 2022

O material foi coletado no mesmo dia do processo de fabricação de placas pré-fabricadas, sendo esse resíduo proveniente do equipamento conhecido como plaina. O produto coletado foi acondicionado em baldes plásticos, pesados, e em seguida armazenados em local abrigado, para evitar seu contato com o ambiente úmido. Foram coletados 91kg de material, quantidade de resíduo produzido em um dia pela empresa, e

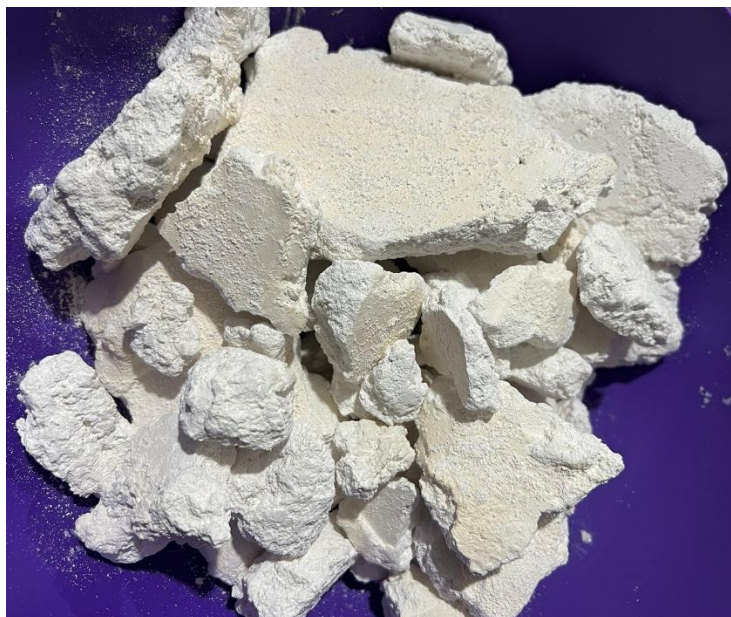
suficiente para atender às necessidades dos experimentos, já inclusa a compensação de perdas que podem ocorrer nos próximos processos.

As maiores perdas ocorrerem nos processos de trituração e moagem, principalmente na pulverização em forma de poeira, que fica em suspensão na atmosfera, além de muito se perder também, nas partes internas dos equipamentos. Há ainda perdas na mistura do gesso com outros contaminantes, por isso durante a coleta foi tomado cuidado para não haver a contaminação de materiais oriundos da máquina, como graxas, pedaços em contato com metal e até mesmos farelos que ficam no chão. A transformação do resíduo coletado, para pó de gesso, normalmente é realizada em três etapas: trituração, moagem e pulverização, que tem por objetivo diminuir a granulometria, buscando melhor homogeneização do resíduo e redução do tempo necessário para o processo de pulverização.

Os resíduos coletados, apresentaram alto teor de umidade. Esses resíduos foram submetidos a processo de secagem à temperatura de 50°C por aproximadamente, 7 dias ininterruptos, onde foram feitas pesagens diárias, para analisar a variação de massa, vindo a retirada de massa de água livre. A retirada da umidade se faz necessária para melhorar a eficiência nos trabalhos de trituração, moagem e pulverização.

Para a secagem dos resíduos, foram acondicionados em quatro bandejas de alumínio, em camadas com espessura de seis centímetros e posteriormente colocados em estufa. Do sexto, para o sétimo dia, a variação de massa foi extremamente pequena, e após o processo, os resíduos apresentaram aspecto externo de material seco, com formato de torrões, como podemos observar na Figura 26, e assim foi dada como finalizado o processo de constância de massa.

Figura 26 - Resíduo de Gesso seco a 50°C



Fonte: Do Autor, 2022

Das quatro bandejas colocadas na estufa, apenas duas foram selecionadas para dar seguimento aos ensaios, essas sendo as que apresentavam melhor secagem, por percepção tátil, totalizando assim 20 kg de resíduos secos. Também não foi necessário utilizar processo mecânico para moagem, pois manualmente, conseguiu-se deixá-lo semelhante ao comercial.

Após passar pela secagem para consistência de massa, o resíduo em sua totalidade foi peneirado, conforme é realizado na empresa que fornece a matéria-prima para a empresa parceira, para assim termos uma melhor homogeneização, antes de realizarmos a calcinação.

O peneiramento foi realizado em várias etapas e após foi pulverizado/homogeneizado todo o material peneirado. Na Figura 27, podemos ver o material não passante. Para assegurar as propriedades, o resíduo foi colocado em sacos plásticos e após pesado em balança e identificados, totalizando 5 sacos, com 1 kg cada.



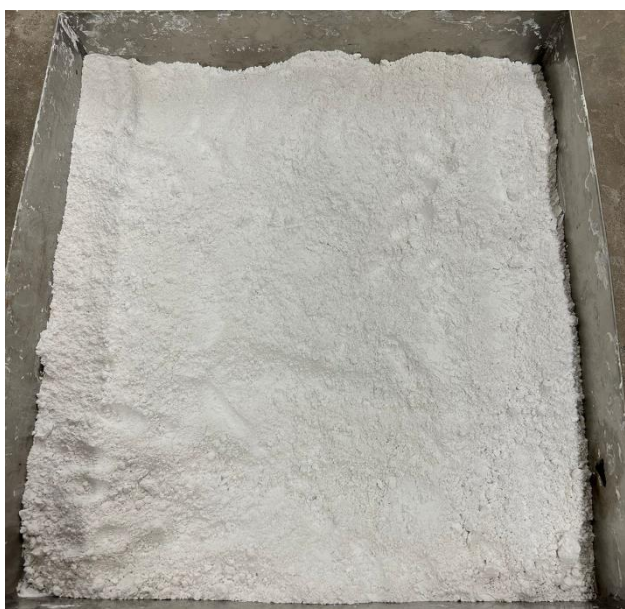
Figura 27 - Resíduo não passante por peneira



Fonte: Do Autor, 2022

Logo após o peneiramento, o resíduo passou por uma calcinação, sendo essa a uma temperatura maior e um tempo menor, 170°C por 120 minutos respectivamente, como pode-se ver na Figura 28. Sendo esses dados, os que apresentaram melhor resultado no estudo elaborado por Fernandes (2013), nos quesitos tempo de pega e resistência a compressão. Para a calcinação, foram utilizadas cinco bandejas, sendo cada uma com 1 kg de material, igualmente ensaiado por Savi (2012).

Figura 28 - Gesso reciclado para segunda calcinação



Fonte: Do Autor, 2022

Segundo a NBR 12127 (ABNT, 2017) para a realização do processo de calcinação é necessária uma estufa de secagem com circulação natural, que permita elevar a

temperatura até 170°C, conforme o modelo na Figura 29. Esse processo de calcinação foi realizado em uma estufa do laboratório da UCS-CARVI, com o objetivo de garantir que o resíduo de gesso recupere as suas propriedades químicas e físicas e consiga ser utilizado novamente como um aglomerante.

Figura 29 - Estufa do Laboratório UCS-CARVI



Fonte: Do Autor, 2022

Ao final dos 120 minutos de estufa, ela foi desligada e aberta, para assim resfriar o material até temperatura ambiente e posteriormente ser possível manuseá-lo. Este então foi colocado em sacos plásticos, dividindo cada bandeja em uma embalagem, para realizar os ensaios em laboratório.

Os ensaios referentes ao gesso reciclado foram realizados, e na Tabela 7 podemos observar a granulometria deste aglomerante.

Tabela 7 - Granulometria do gesso reciclado

Peneiras Utilizadas (mesh)	Material Passante (g)	Material Retido (g)	Tempo de Peneiramento
Peneira 100	97,70	2,3	2
Peneira 200	95,15	2,55	2
Peneira 400	0,00	95,15	2

Fonte: Do Autor, 2022

Na Tabela 8 podemos observar as características físicas deste aglomerante, que pode ser classificado como gesso fino. Na Figura 30, podemos ver a curva granulométrica, do gesso reciclado

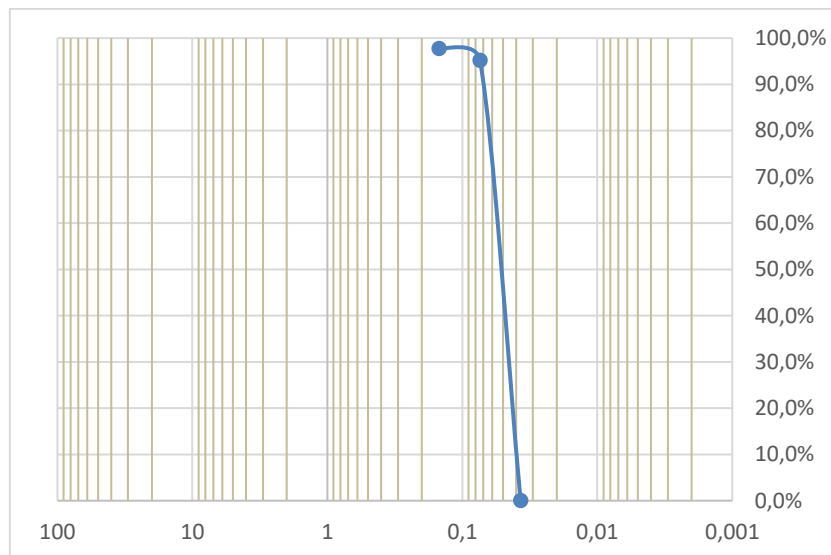


Tabela 8 - Módulo de Finura e Massa Unitária do gesso reciclado

Tipo de Gesso	Valor Médio
Módulo de Finura	0,96
Massa Unitária	439,84 (Kg/m <sup>3</sup> )

Fonte: Do Autor, 2022

Figura 30 - Curva granulométrica gesso reciclado



Fonte: Do Autor, 2022

### 3.1.1.3 Água

A água é um dos fatores que influenciam no tempo de pega do gesso, além de influenciar no endurecimento, age também na resistência e porosidade. Isso ocorre porque a solução leva mais tempo para ficar saturada e retarda a cristalização, de acordo com o Manual (2001). A água que foi utilizada para mistura dos materiais é potável, proveniente da rede de abastecimento municipal de Bento Gonçalves/ RS.

## 3.2 MÉTODOS

Neste item estão descritos os métodos que foram empregados nesta pesquisa. Para cada traço produzido, foram realizados ensaios preliminares visando obter o tempo de pega, absorção de água, dureza, resistência a compressão, resistência a flexão, massa específica e trabalhabilidade.

### 3.2.1 Preparação da Pasta e Moldagem

Foi utilizado a relação água/gesso fator 0,80, para a preparação da pasta, baseando-se na pesquisa de Fernandes (2013). Utilizando a Equação 1, podemos chegar no resultado de quantos kg de água é necessário para cada kg de gesso natural ou com sua substituição de resíduo. Sabendo que levaremos em consideração a medida disponibilizada pela empresa parceira da pesquisa.

$$\frac{Ma}{Mg} = 0,80 \text{ (equação 1)}$$

Onde:

Ma = Massa de água (Kg);

Mg = Massa de gesso (Kg).

A relação água/gesso obtém uma fluidez da pasta adequada à homogeneização de acordo com as exigências químicas, descritos pela NBR 12128 (ABNT, 1991). O gesso reciclado apresenta uma dificuldade maior que o comercial, para se incorporar com a água, por apresentar menor massa unitária. Assim, a mistura foi realizada mecanicamente, por argamassadeira, como podemos ver na Figura 31, com o lançamento da água sobre o pó, por um período de trinta segundos e após promovendo o amassamento pelo período de um minuto.

Figura 31 - Argamassadeira Laboratório UCS



Fonte: Do Autor, 2022

Para os ensaios, as primeiras pastas de gesso foram feitas inteiramente com pó de gesso comercial (utilizado como referência), foi separado a quantia de 1,0 kg de pó de gesso e 800 ml de água. Após, os produtos foram direcionados para a argamassadeira do laboratório. A adição da água se deu nos trinta segundos iniciais e continuou a mistura até atingir os 90 segundos cronometrados.

Os demais testes seguiram o mesmo processo. Na Tabela 9, a seguir, temos as quantidades de gesso comercial, gesso reciclado e água para cada pasta preparada mecanicamente.

Tabela 9 - Quantidade de Materiais para a pasta de gesso

Traços da Pasta	Gesso Comercial (g)	Resíduo de Gesso (g)	Água (g)	Tempo Lançamento da água (s)	Tempo de amassamento (s)
GC	1000	-	800	30	90
G10	900	100	800	30	90
G20	800	200	800	30	90
G30	700	300	800	30	90
G40	600	400	800	30	90
G50	500	500	800	30	90

Fonte: Do Autor, 2022

As pastas de gesso comercial e reciclado apresentam características distintas. As de gesso comercial apresentaram um aspecto líquido, enquanto as pastas de gesso reciclado, nas mesmas condições de mistura, apresentam um aspecto cremoso.

Foram moldados 6 corpos de provas para cada traço, totalizando assim 36 corpos de provas. Esses foram utilizados nos ensaios a seguir. O molde foi fabricado a partir de chapa metálica nas dimensões de 4 X 4 X 16 (altura, largura, comprimento), e está representado na Figura 32.

Figura 32 - Molde corpo de provas metálico



Fonte: Do Autor, 2022

A desforma foi feita respeitando o fim de pega da pasta, que foi notada após o término da fase exotérmica, posteriormente os corpos de prova foram identificados, conforme a Figura 33, e colocados na estufa em temperatura de 20°C, mantendo-os distante da umidade.

Figura 33 - Corpos de provas desmoldados e identificados



Fonte: Do Autor, 2022

### 3.2.2. Estado Fresco

Os ensaios no estado fresco das pastas de gesso foram realizados para determinar os tempos de início e fim de pega e índice de consistência. Esses ensaios são importantes para determinar as condições de trabalho da pasta.

#### 3.2.2.1 Tempo de Pega

Indica a caracterização no momento de início do endurecimento da pasta e o momento final da reação de hidratação. Seu conhecimento é importante, pois define a faixa de trabalhabilidade do material durante a utilização da pasta (SAVI, 2012).

No processo físico de mudança de estado, parte-se da pasta em estado líquido, incapaz de resistir a esforços constantes, para ir progressivamente aumentando a viscosidade, passando por um período plástico onde há uma certa resistência. Aos poucos, a dureza superficial e a resistência vão aumentando até que, convencionalmente, o produto é capaz de resistir a uma pressão exercida por um dedo ( $5\text{kg/cm}^2$ ) sem deixar fenda, momento no qual se considera que a pasta passa para o estado sólido (MANUAL, 2001). Partindo desse ponto de vista, denomina-se como tempo de início de pega o ganho de viscosidade; e tempo de final de pega o endurecimento, onde a pasta passa a ter mais consistência (HINCAPIÉ & CINCOTTO, 1997).

Os tempos de início e final de pega foi determinado utilizando o aparelho de Vicat, conforme a NBR 12128 (ABNT, 2017). Para aceitar ou rejeitar o processo, precisamos seguir as especificações da NBR 13207 (ABNT, 1994). Já que esta determina as propriedades físicas e mecânicas do gesso para a construção. As exigências físicas estão demonstradas na Figura 34.

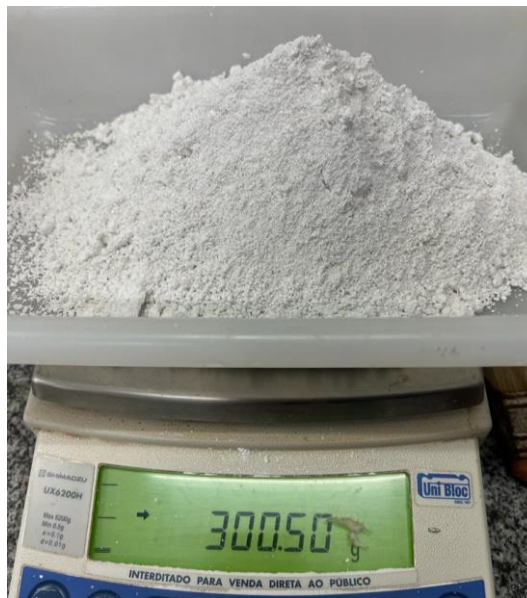
Figura 34 - Exigências Físicas

Classificação do gesso	Tempo de pega (min)	
	Início	Fim
Gesso fino para revestimento	>10	> 45
Gesso grosso para revestimento	>10	> 45
Gesso fino para fundição	4 - 10	20 - 45
Gesso grosso para fundição	4 - 10	20 - 45

Fonte: NBR 13207, (ABNT, 1994).

No ensaio, utilizou-se 300 g de gesso, com suas devidas substituições, conforme cada traço, como podemos ver na Figura 35, a seguir.

Figura 35 - Pesagem gesso para o ensaio de tempo de pega



Fonte: Do Autor, 2022

Em seguida, colocou-se o material pesado em um recipiente, adicionou-se 240 g de água, colocando a mistura em argamassadeira durante o tempo de 60 segundos, tempo utilizado na produção dos corpos de prova para deixar a pasta uniforme e seguir os mesmos padrões dos demais testes e assim termos o mínimo erro de comparação. Neste experimento, não foi utilizada nenhuma solução para retardar o endurecimento, o que por norma é permitido, justamente pelo fato de se ter resultados próximos da prática em obras.

Após o procedimento da preparação da pasta, transferiu-se imediatamente a pasta para o molde polimérico, este foi passado desmoldante, para facilitar sua retirada ao final do ensaio. Na aplicação da pasta no molde rasou-se o topo do molde com o auxílio de uma régua metálica. Na Figura 36, podemos ver o aparelho Vicat pronto para o ensaio.

Figura 36 - Molde e Vicat modificado para início do ensaio



Fonte: Do Autor, 2022

O início da pega é analisado no instante em que a agulha para 4 mm de distância da base, tendo um limite de 3 a 5 mm. Já o fim de pega é dado pelo momento em que a agulha não consegue a penetrar no bloco e sem ocorrer a marca do anel externo da agulha de fim de pega. Iniciaram-se as análises de tempo de início e de fim de pega, começando a realizar as aplicações da ponta sobre a pasta, foram realizadas aplicações a cada 1 minuto na pasta do gesso em pontos diferentes até o completo endurecimento da pasta, ou seja, fim de pega.

### 3.2.2.2 Densidade da Pasta

Seguindo as orientações da NBR 13278 (ABNT, 2005), o ensaio de densidade da pasta de gesso, constitui-se na utilização de um recipiente de volume conhecido, que é preenchido em três camadas de igual espessura. Cada camada recebe 20 golpes com o auxílio de um soquete, salientando que o adensamento deve se limitar somente à sua camada. Uma vez com o recipiente preenchido totalmente, realiza-se o arrasamento da pasta em excesso, tanto na superfície como nas bordas. Em seguida, deve-se pesar o recipiente. Assim, através da Equação 2, a seguir, a densidade de massa pode ser calculada.

$$d = \frac{mc - mv}{vr} * 1000 \text{ (equação 2)}$$

Onde:

d = densidade de massa (kg/m<sup>3</sup>);

mv = massa do recipiente vazio (g);

mc = massa do recipiente cheio (g);

vr = volume do recipiente cilíndrico (cm<sup>3</sup>).

O ensaio foi realizado duas vezes para cada traço

### 3.2.2.3 Trabalhabilidade

Para a determinação da consistência das misturas com gesso, empregou-se, neste trabalho, o ensaio de mini-slump, foi adaptado da normativa NBR 13276 (ABNT, 2016), seguindo a execução da NBR 12129 (ABNT, 2017), em função da praticidade de sua execução. O ensaio é realizado para se verificar a fluidez/plasticidade da mistura, sendo uma propriedade que normalmente se mede pela consistência da pasta e que determina as condições de trabalhabilidade.

O mini-slump é verificado pela deformação causada na pasta de gesso, pelo seu próprio peso. Para isso, tomou-se uma amostra de pasta de gesso para cada traço, quantidade esta suficiente para preencher o cone. O molde foi centralizado sobre a mesa de adensamento (*flow table*) e em seguida, a massa foi levada para a base e colocada no tronco cônico para o início das medições.

A homogeneização do gesso com a água deu-se por um tempo 60 segundos, e a retirada da forma tronco-cônica se deu em 1 minuto (valores e condições estabelecidas em laboratório, adaptadas ao gesso, considerando a inexistência de normas pertinentes), para que todas as misturas estejam com o mesmo tempo de reação.

Após a remoção do cone, a pasta espalhou-se sem auxílio, somente com seu próprio peso, esperando a finalização, foram efetuadas três medidas com régua, essas observadas na Figura 37.



Figura 37 - Medição com auxílio de régua



Fonte: Do Autor, 2022

### 3.2.3 Ensaio No Estado Endurecido

Os ensaios no estado endurecido dos corpos de provas moldados anteriormente, foram realizados para determinar resistência a flexão e compressão, esses com duas idades de corpos de provas, um de 7 dias e outro de 28 dias. Ainda foram realizados testes para determinar a massa específica, tal qual o índice de capilaridade e índice de absorção de água, e por fim, a dureza. Sendo esse efetivado dois testes, um para 7 dias somente moldados, e outro para 28 dias passando por absorção de água. Esses ensaios são realizados para determinar as propriedades físicas do material.

#### 3.2.3.1 Resistência a Flexão

Para a realização do ensaio foram tomadas as descrições da NBR 14717 (ABNT, 2001). O ensaio consistiu em posicionar o corpo de prova, com carregamento posicionado no meio do vão, aplicando carga à velocidade de  $(250 \pm 50)$  N/min, até a ruptura. Utilizando prensa de ensaio de compressão simples e três corpos de prova, que foi adaptado para o gesso, a partir do procedimento utilizado por Savastano Jr (2003), que é similar ao proposto por Gram & Gut (1994).

O cálculo para resistência à tração na flexão é dado pela Equação 3.

$$R_t = \frac{1,5 * F_f * L}{40^3} * 1000 \text{ (Equação 3)}$$

Onde:

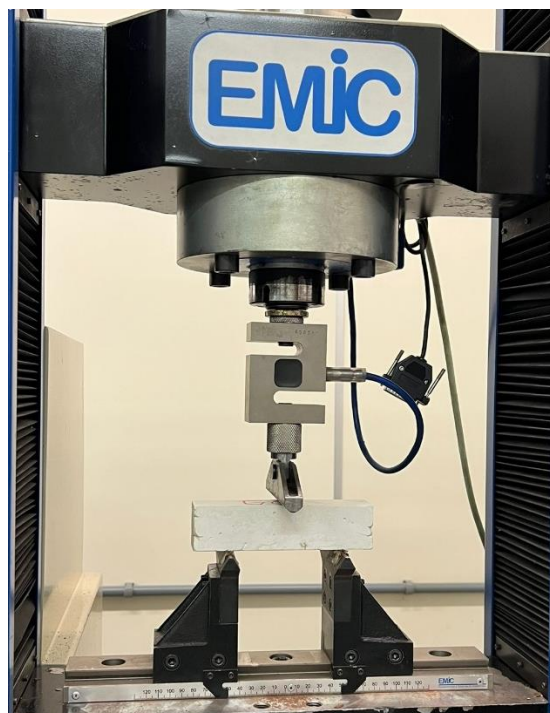
$R_t$  = resistência à tração na flexão (MPa);

$F_f$  = carga aplicada no centro do testemunho prismático (N);

$L$  = distância entre os suportes (mm).

Durante o ensaio, utilizou-se corpos de prova confeccionados anteriormente. Foram utilizados três corpos de prova, para cada traço desenvolvido, totalizando assim para o ensaio de resistência a flexão, 18 corpos de provas. Foi utilizado o equipamento de ensaio EMIC, da linha DL30000, com capacidade máxima de carga de 200kN. Assim, cada bloco foi sobreposto na prensa, e forças superficiais nesses blocos de gesso foram empregados, passando a ter valores quantitativos e significativos para a resistência da amostra, conforme Figura 38.

Figura 38 - Amostra sendo rompida no ensaio de flexão



Fonte: Do Autor, 2022

Após o ensaio de absorção de água, os corpos de provas passaram 21 dias em estufa, a uma temperatura de 20°C para não obter variação de massa e concentração de umidade. Totalizando assim, 28 dias após sua moldagem, foram utilizados também para o ensaio de flexão, para fins comparativos de corpos de provas com idades diferentes. A

resistência média de flexão de cada adição de resíduo, em MPa, foi considerada como sendo a média aritmética dos valores dos três corpos de provas ensaiadas.

### 3.2.3.2 Resistência a Compressão

A resistência à compressão foi determinada em conformidade com a NBR 12775 (ABNT,1992), utilizando prensa de ensaio de compressão simples, e seguindo os mesmos padrões do ensaio de resistência a flexão. Na Tabela 10, a seguir temos as exigências da NBR 12129 (ABNT, 2017).

Tabela 10 - Exigências físicas e mecânicas do gesso para construção civil de acordo com a Norma NBR 13207 - gesso para construção civil

Determinações físicas e mecânicas	Unidade	Limites
Resistencia à compressão (NBR 12129)	Mpa	>8,40

Fonte: NBR 12129 (ABNT,1991).

Na utilização para o teste, o valor de resistência à compressão é representado pela sigla R, o valor calculado é dado em MPa, representado pela equação 4 a seguir:

$$R = \frac{P}{S} \text{ (Equação 4)}$$

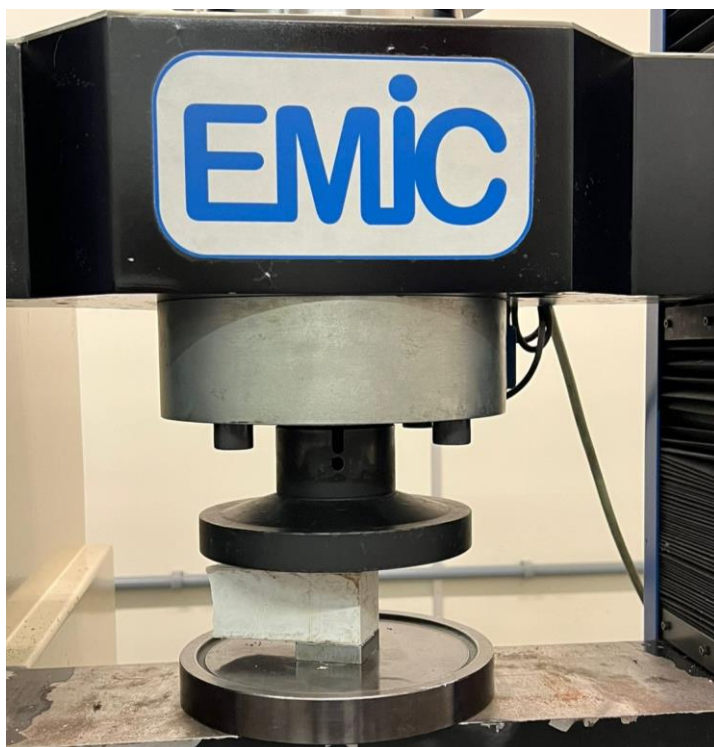
Onde:

P = carga que produziu a ruptura do corpo de prova, em Newton.

S = área de seção transversal de aplicação de carga, em milímetros quadrados.

Foram rompidos 5 corpos de provas, esses sendo metade dos desenvolvidos nas formas, pois foram utilizados os mesmos corpos de provas que tinham sido rompidos no ensaio de flexão. Na Figura 39, vemos os corpos de provas menores sendo rompidos. Uma das metades foi deixado de lado, para obtermos o ensaio de dureza, posteriormente.

Figura 39 - Amostra sendo rompida no ensaio de compressão



Fonte: Do Autor, 2022

Passado o ensaio de absorção de água, os corpos de provas utilizados após 21 dias em estufa a 20° C, com o objetivo de não obter variação de massa e ganho de umidade, totalizou-se 28 dias após sua moldagem. Foram usados também no ensaio de compressão, para fins comparativos de corpos de provas com idades diferentes. Para esse ensaio foram utilizados 5 corpos de provas, igualmente ao de 7 dias.

### 3.2.3.3 Densidade de Massa Aparente

Seguindo as orientações da NBR 13280 (ABNT, 2005), para os ensaios de massa aparente, cada um dos traços de pasta de gesso. Utilizou-se a Equação 5 para o cálculo da densidade de massa.

$$\rho_{m\acute{a}x} = \frac{m}{v} * 1000 \text{ (Equação 5)}$$

Onde:

$\rho_{m\acute{a}x}$  = densidade de massa aparente (kg/m<sup>3</sup>);

m = massa do testemunho (g);

$v$  = volume do corpo de prova ( $\text{cm}^3$ ).

Foram utilizados três corpos de provas para cada traço, estes utilizados também para o ensaio de absorção de água, aproveitando a pesagem das massas. Os corpos foram medidos em suas três dimensões (comprimento, altura e largura), com o auxílio de um paquímetro digital. Para cada dimensão foram realizadas três medições, sendo essas realizadas uma média aritmética para definirmos as medidas que seriam utilizadas para cada corpo de prova. Essas medidas, juntamente com suas massas secas e o resultado da densidade, calculados conforme equação citada.

#### 3.2.3.4 Absorção de Água por Capilaridade

Para análise do ensaio e obter um parâmetro de comparação, seguindo a NBR 13259 (ABNT 2005), após a mistura parar de perder umidade, as amostras passaram pela constância de massa em estufa. A execução é realizada imergindo parcialmente os corpos de prova em água, com uma temperatura de  $23 \pm 2^\circ \text{C}$ . A base dos corpos de prova deve ser colocada sobre suportes, de modo a permitir a passagem da água. De acordo com a norma, a lâmina d'água deve ter altura de  $(5 \pm 1)$  mm, acima da base inferior dos CP's, tomando-se cuidado para não molhar outras superfícies das amostras.

Para cada ensaio, foi calculada o coeficiente de capilaridade, conforme equação 6:

$$C = m_{90} - m_{10} \text{ (Equação 6)}$$

Onde:

$C$  = Absorção de água por capilaridade ( $\text{g}/\text{dm}^2$ );

$m_{90}$  = Massa da amostra após 90 minutos de ensaio (g);

$m_{10}$  = Massa da amostra após 10 minutos de ensaio (g).

Para o cálculo da absorção por capilaridade foi utilizada a Equação 7.

$$At = \frac{Mt - m_0}{S} \text{ (Equação 7)}$$

Onde:

$At$  = absorção de água por capilaridade ( $\text{g}/\text{cm}^2$ );

$Mt$  = massa da amostra em cada tempo (g);

$mo$  = massa inicial da amostra (g);

$S$  = área da seção transversal (cm<sup>2</sup>).

Também foi calculado o índice de absorção de água, pela equação 8.

$$AA = \frac{\mu - ms}{ms} * 100 \text{ (Equação 8)}$$

onde:

$AA$  = é o índice de absorção de água (%);

$\mu$  = a massa úmida (g);

$ms$  = a massa seca (g).

Seguindo as orientações da NBR 15259 (ABNT, 2005), para o ensaio de absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade para a pasta de gesso, foram utilizados três corpos de prova moldados anteriormente, sendo assim confeccionados para esse teste 18 amostras. Para a secagem em estufa foi adotada a temperatura utilizada por Munhoz (2008), de  $55^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , para atingir a constância de massa.

Após a secagem, quando as amostras atingem temperatura ambiente, elas são retiradas da estufa e feita a pesagem, assim determinando a massa seca. Na sequência as amostras são colocadas com a face de 4 cm de dimensão sobre um reservatório com  $5 \pm 1$  mm de lâmina de água, conforme Figura 40.

Figura 40 - Corpos de prova sobre reservatório



Fonte: Do Autor, 2022

Para cada amostra foi determinada a massa aos 10 minutos e aos 90 minutos, juntamente com o índice de absorção de água médio.

### 3.2.3.5 Dureza

A dureza do gesso, pela NBR 13207 (ABNT, 2019), deve ser superior a 20 N/mm<sup>2</sup>. No entanto, resultados experimentais de ensaios de dureza em diversos trabalhos indicam que em algumas situações os valores obtidos, tanto para gesso comercial, quanto para o reciclado, são inferiores aos especificados na norma técnica.

A determinação da dureza da pasta de gesso foi realizada com os procedimentos da NBR 12129 (ABNT, 2019) através de aplicação de força conhecida (500 N), por um tempo de 15 segundos, com uma esfera de aproximadamente 10mm, obtendo assim uma deformação no corpo de prova, essa precisando-se medir sua profundidade.

A dureza pode ser calculada através da Equação 9.

$$D = \frac{F}{\pi * \phi * t} \text{ (Equação 8)}$$

Onde:

F = é a carga conhecida (500N);

O = diâmetro da esfera (mm);

t = medida da profundida (mm).

Foi utilizada a prensa de ensaio EMIC, linha DL30000, com capacidade máxima de carga de 200kN, mesma utilizada nos demais testes, para a penetração da esfera de aço, essa sendo um pouco maior do que a pedida na normativa, pois não se conseguiu uma de exatamente 10 mm. Na Figura 41, podemos ver o tamanho exato da esfera, medida com auxílio do paquímetro digital, pois o seu diâmetro acaba interferindo diretamente nos resultados.

Figura 41 - Diâmetro da esfera de aço utilizada



Fonte: Do Autor, 2022

Para a realização do teste, foi inserido o corpo de prova, juntamente com a esfera em sua face superior. Após, foi aplicado uma força de 500N, essa variando em 2N para mais ou para menos, permanecendo por 15 segundos cronometrados pelo equipamento.

Após o corpo de prova é retirado do equipamento, e assim apresentando uma profundidade deixada pela pressão da esfera. Essa posteriormente foi medida utilizando a haste de profundidade do paquímetro digital. Foram ensaiados dois corpos de provas para cada adição utilizada, sendo que um deles corresponde ao utilizado no ensaio de absorção de água, posteriormente ficando em estufa até fechar os 28 dias de cura, e o outro não tendo sido realizado outros testes, ficando os mesmos 28 dias na estufa.



## 4. RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo apresenta-se os resultados de todos os ensaios realizados, juntamente com suas devidas análises positivas e/ou negativas encontradas, com o propósito do trabalho pré-estabelecido. No primeiro tópico, estão apresentadas as caracterizações prévias do pó de gesso, tanto comercial, quanto o reciclado. Posteriormente, são discutidos os testes da pasta de gesso em estado fresco para todas as adições estabelecidas, e por fim, analisados os ensaios de pasta de gesso no estado endurecido para os mesmos traços. Posteriormente realizado uma análise global do desempenho dos traços perante todos resultados.

### 4.1 PÓ DE GESSO

Nesta etapa foram analisados os resultados dos ensaios para a determinação das características físicas do pó de gesso comercial, juntamente com o pó de gesso reciclado.

#### 4.1.1 Granulometria

Na Tabela 11 a seguir, temos um resumo dos resultados apresentados para os testes de gesso em pó, gesso comercial, resíduos de gesso, além dos resultados disponibilizados pela Empresa fabricante do Gesso Comercial, para fins comparativos.

Tabela 11 - Resumo resultados ensaios

Ensaio	GC Disponível	GC Encontrado	Resíduo Gesso	NBR
Granulometria	98 %	95%	96%	90 %
Modulo Finura	0,98	0,95	0,96	<1,10
Massa Unitária (Kg/m <sup>3</sup> )	644,8	764,00	439,84	600

Fonte: Do Autor, 2022

O ensaio de granulometria do gesso é de fundamental importância, pois é uma das propriedades que mostra a melhor aplicação para o gesso (COSTA, 2013). A granulometria apresenta influência em diversas outras propriedades do gesso, como massa unitária, tempo de pega, consistência normal, dureza, resistência à compressão e aderência.

Nos resultados do ensaio de granulometria, utilizado como base suporte de comparação a peneira n° 400 mesh, o gesso reciclado não apresentou material passante, já com o gesso comercial, obteve-se uma quantidade de 1,04g de material passante. Observou-se que mesmo a 170°C de recalcinação, onde o material torna-se um hemidrato, a diferença no tamanho dos grãos foi insignificante, pois as porcentagens retidas nas peneiras para os tempos em estudo foram próximas. O módulo de finura obtido foi similar ao encontrado por Fernandes (2013), com gesso reciclado, 0,92 para calcinação a 170°C.

Carneiro (1999), comenta que a não representatividade do valor do módulo de finura do agregado, não interfere na aplicação da mesma ideia na avaliação da granulometria do gesso. Ye et al. (2011) mostrou que para um gesso  $\alpha$ , pode-se obter diversas curvas granulométricas diferentes, mas podendo resultar os mesmos módulos de finura. Com isso, temos que analisar a granulometria como um todo, não podendo se fixar somente em seu módulo de finura.

A NBR 13207 (ABNT, 2017) especifica que os gessos para revestimento devem ter, no mínimo, 90% passante na peneira de abertura de 200 mesh. Os resultados também ficaram dentro desse critério, pois ambos apresentaram valores acima do proposto. Assim, tanto o gesso comercial, quanto os resíduos de gesso utilizados neste trabalho, estão de acordo com as normas.

O ensaio de determinação da granulometria executado pelo método manual, favorece a absorção de umidade pelo hemidrato, Devido à demora, o tempo utilizado neste trabalho foi abaixo do solicitado em norma, para evitar possíveis problemas. A absorção de umidade auxilia na união das partículas, formando partículas maiores, podendo muitas vezes gerar resultados superiores aos reais, como o disponibilizado pela empresa produtora do gesso comercial cedido. O ensaio a laser permitiria uma avaliação mais precisa por ser muito mais breve, porém, este não foi realizado, por entender, que só com os ensaios básicos de granulometria, poderíamos chegar em um resultado satisfatório.

O gesso comercial apresentou massa unitária média de 764,00 kg/m<sup>3</sup>, esse valor está dentro do limite especificado pela NBR 13207 (ABNT,2017). O valor também está compatível com os verificados em revisão bibliográfica, pois a grande maioria de autores conseguiram chegar no valor que a norma estabelece. Pesquisadores como Cincotto et al. (1988) também verificaram valores de massa unitária inferiores aos normalizados, em torno de 75% das marcas de gesso, não estavam dentro das normas. Esses valores não

estavam atendendo a NBR 13207 (ABNT, 1994), quando seus testes foram publicados, porém com a nova resolução no ano de 2017, todos ficaram dentro da norma brasileira.

Já para o gesso reciclado, o resultado médio encontrado foi de 439,84 kg/m<sup>3</sup>, não chegando no valor especificado em norma e sendo maior do que outros testes trazem de outros autores. Savi (2012), chegou aos resultados de 328,95 kg/m<sup>3</sup>, comentando que não conseguiu nem 50% do proposto pela NBR 13207 (ABNT,1994). O estudo feito por Fernandes (2013), obteve 454,07kg/m<sup>3</sup>, valor mais próximo do que o encontrado neste trabalho. Uma possível explicação, é a utilização da temperatura no processo, sendo nesse trabalho a temperatura igual a de Fernandes (2013), no entanto, maior do que a utilizada por Savi. Porém, Erbs et al. (2015), afirma que a massa unitária não varia em função da temperatura, pois a diferença de valores que ele encontrou em seus testes, não ultrapassa 0,5%.

Canut (2006) explica que o gesso reciclado é mais propício a formação de aglomerantes nas partículas, assim formando flocos e grumos, com estrutura mais porosa, gerando uma massa unitária menor. O mesmo dito por Trovão (2012), quando há eliminação parcial da água, as ligações tornam-se mais frágeis e os cristais mais porosos, e essa porosidade das partículas é o que pode explicar os baixos valores para a massa unitária. Para um resultado melhor no gesso reciclado, pode-se optar por uma segunda moagem posterior à calcinação do di-hidrato de sulfato de cálcio, ou também uma moagem com algum mecanismo que possibilite a redução de partículas, como por exemplo algum processo mais industrial.

Também há a possibilidade de ambos os gessos terem partículas de outros materiais provenientes de contaminação na jazida, para o comercial, ou da própria retirada do material da plaina, no caso do reciclado. No entanto, essas partículas só poderão ser analisadas microscopicamente, assim como a diferença dos cristais formadores do grão, onde normalmente o reciclado apresenta maior espaçamento, o que forma maiores vazios.

Savi (2012), ressalta que a limitação do valor da massa unitária pela norma brasileira, esteja vinculada à produção de um material mais fino, já que os gessos mais finos produzem maiores valores de massa unitária. A produção de pó de gesso com menor granulometria, parecem ser mais justificáveis, uma vez que a produção do gesso com maior finura faz com que se aumente a superfície específica, que é uma característica importante para a dissolução dos hidratos (GUIMARÃES, 1997).

Foi possível verificar que a granulometria entre as amostras é similar, não ocorrendo grande variação. Isso provavelmente se deve ao resíduo de gesso, após a

secagem, ter passado totalmente pela peneira de 200 mesh, sendo descartada a parte não passante. Com isso, obtivemos um resíduo de gesso muito parecido com o gesso comercial utilizado. Esse resultado pode ser expresso, pois a amostra adquirida para calcinar o gesso reciclado foi recolhida no processo de fundição das placas de gesso, e não do processo de execução de forros em gesso convencional ou reboco em paredes de alvenaria, como proposto em outros estudos. Sendo assim, esse gesso é o mais adequado para a reciclagem, granulometricamente, pois não apresenta nenhum material misturado, o que comumente pode acontecer, uma contaminação com materiais da construção civil ou principalmente a presença de fibras de sisal.

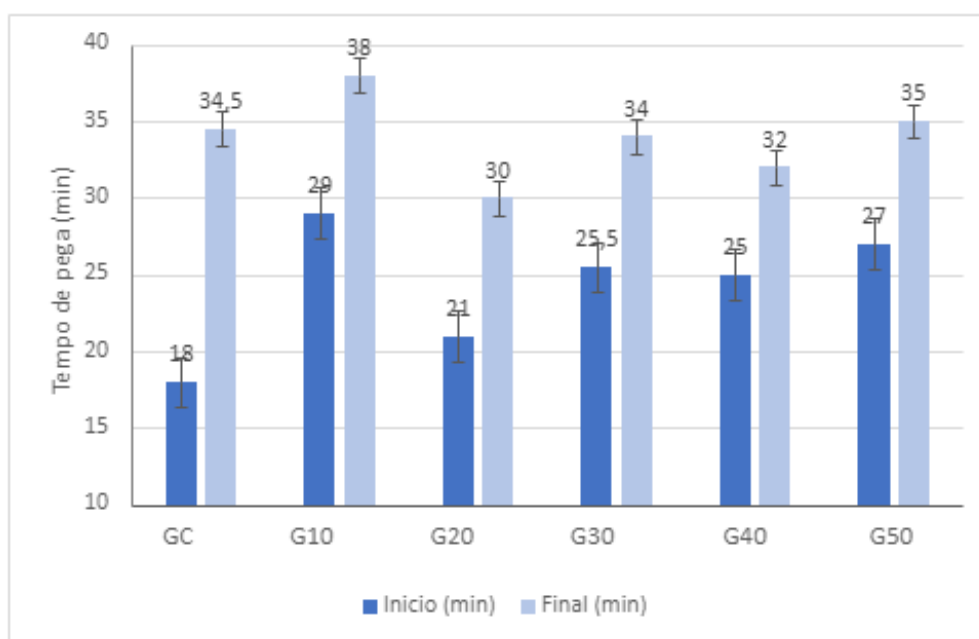
## 4.2 ESTADO FRESCO

Nesta etapa foram analisados os resultados dos ensaios no estado fresco.

### 4.2.1 Tempo de Pega

Conforme visto anteriormente, os tempos de início e fim de pega são relacionados com a velocidade de crescimento dos cristais de gesso, ou seja, com o processo de hidratação do gesso, e têm importante influência nas propriedades mecânicas. Os resultados médios dos traços estudados, para o início e fim de pega estão apresentados na Figura 42.

Figura 42 - Gráfico do início e fim de pega



Fonte: Do Autor, 2022

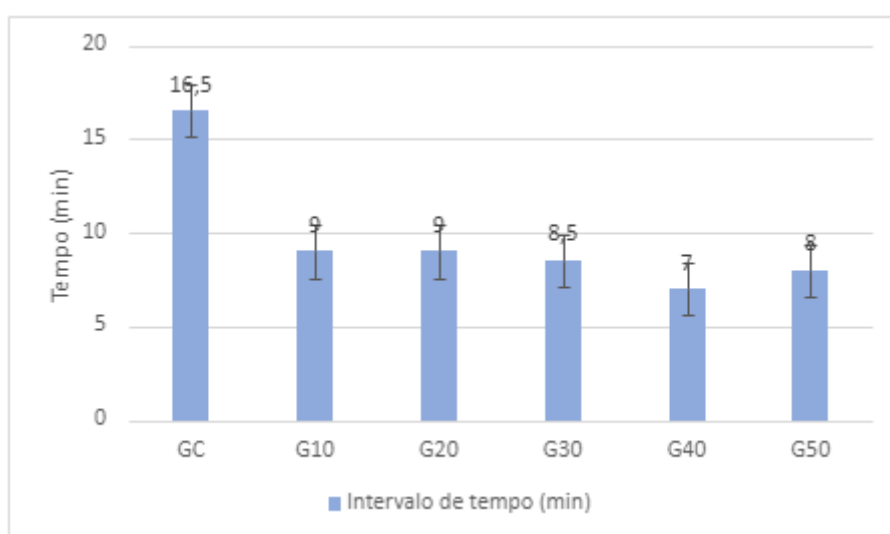
Os tempos de início de pega obtidos se encontraram entre 18 min a 29 min, assim, todas as amostras ficaram dentro da conformidade. Quanto ao tempo do fim de pega, os valores encontrados foram entre 30 min e 38 min. Portanto, a maioria das amostras não atenderam ao critério da de NBR 13207 (ABNT, 2017), ficando somente o traço G10, em conformidade. Porém, este também não estaria dentro da norma de NBR 13207 (ABNT, 1994), que apresentava um limite máximo de 45 min.

Os tempos de início e fim de pega dos gessos estudados foram semelhantes aos encontrados por autores na literatura. Savi (2012), encontrou 14 min o inicial e 27 min para o final, com a relação de água/gesso de 0,80, chegando assim a resultados mais próximos, igualmente encontrados por Fernandes (2013).

As diferenças ocorridas nos tempos de pega são devidas as diferenças da matéria-prima, ao processo de calcinação, tamanho das partículas e à relação água/gesso. John e Cincotto (2007) e Cardoso et al. (2009) acrescentam a influência do procedimento de mistura na pega e no endurecimento de amostras provenientes da mesma matéria-prima.

Os traços que possuíam gesso reciclado tiveram maior lentidão no início de pega quando comparado ao gesso comercial. Sendo quanto maior a porcentagem de resíduo adicionado, maior o tempo inicial de pega. Essa variação chega a ser em média 30% mais demorada do que a de gesso comercial. Somente no traço G10, essa relação não pode ser observada, pois seu início de pega foi bastante demorado, com isso pode ser que tenha tido alguma falha humana na sua execução, ou essa seria a relação máxima, antes de termos a retardação de início de pega. Esse comparativo, pode ser visto, na Figura 43.

Figura 43 - Gráfico do intervalo entre início e fim de pega



Fonte: Do Autor, 2022

Para o ensaio com a utilização de 0% de resíduo na substituição, apresentamos um intervalo de tempo entre o início e o fim de pega, de 16 minutos, sendo este maior que os outros traços estudados. Nos outros traços, observamos que, quanto maior o percentual de substituição, menor o intervalo de tempo entre o início e o fim da pega. Sendo necessário aproximadamente 9 minutos para os traços G10, G20 e G30, e 7 minutos para o G40 e G50, tendo assim, uma aceleração de aproximadamente 44% nos três primeiros traços e de aproximadamente 56% para os dois últimos. Além de precisar de um tempo menor em seu manuseio, o que é bastante procurado em fabricação de artefatos de gesso, pois possibilita diminuir o período improdutivo gerado pela espera da consistência mínima necessária para a condição do início da aplicação. Isso porque nas fábricas de placas e artefatos, leva-se em média 1 minuto de descanso da massa para que seja iniciado o processo de fabricação. Diferentemente do gesso utilizado em obras, pois, na prática, o gesseiro inicia a execução do revestimento antes do início de pega e termina antes do fim de pega.

Segundo John e Cincotto (2007), a presença de di-hidrato atua como acelerador da reação de hidratação, agindo como núcleo de cristalização. Isso acontece também, quando incorporamos resíduos, que já são um di-hidrato, assim, acelerando o processo de endurecimento das pastas de gesso, tornando-se um núcleo de cristalização. O que poderia ser utilizado, para aumentar esse tempo, é a adição de algum aditivo, como o ácido cítrico que apresentou resultados satisfatórios para Hincapié e Cincotto (1997).

Trovão (2012), cita que a incorporação de resíduo adensa a pasta e reduz o tamanho e a quantidade dos poros. Por outro lado, acelera toda a reação, desde a precipitação até o endurecimento por completo, comprometendo assim a trabalhabilidade. Conforme Hincapié & Cincotto (1997), quando há velocidade no crescimento, formam-se cristais bem definidos e em forma de agulha, entrelaçados entre si; quando o crescimento é lento, há formação de cristais arredondados e espessos, que favorecem a queda nas propriedades mecânicas. Entretanto, também há formação de cristais pequenos que ajudam a preencher os vazios e, conseqüentemente, diminuem a porosidade da estrutura.

No início de pega determinado pela agulha de Vicat, por meio do método da NBR 12128 (ABNT, 2017), aproximadamente 10% de di-hidrato está. Assim, o método de calorímetro, apresenta valores menores, pois ele consegue dimensionar antes do que o Vicat, sendo uma porcentagem praticamente nula de formação de di-hidrato (STAV; BENTUR, 1995 1 apud ANTUNES; JOHN, 2000).

Para o fim da pega determinado pela agulha de Vicat, a relação é inversa, isto é, no instante em que ocorre o fim da pega, a pasta está excessivamente rígida, não sendo mais possível a sua utilização por calorimetria (ANTUNES; JOHN, 2000). Com isso o ideal seria utilizar os dois métodos para termos uma variação mais precisa.

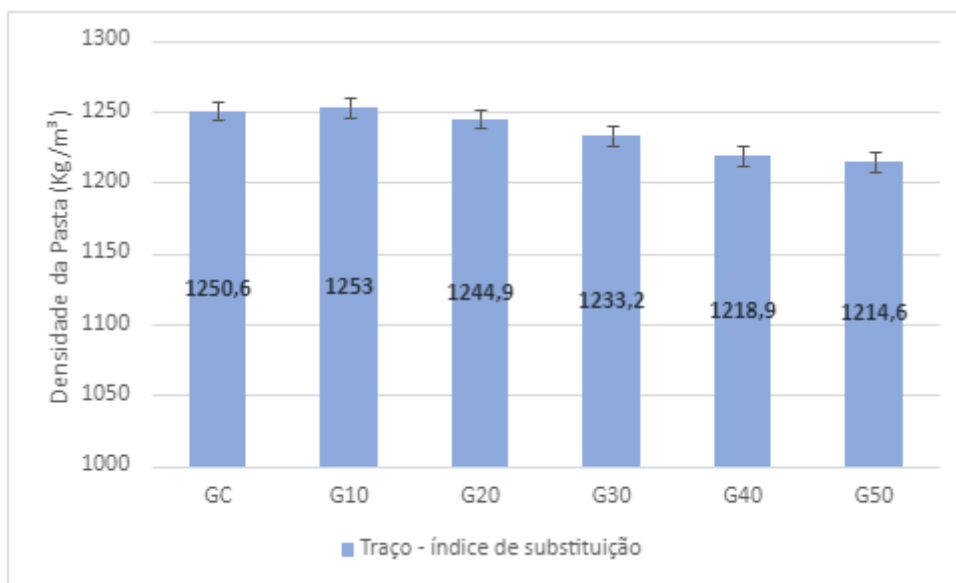
Segundo Antunes (1999), os tempos de pega são utilizados para o controle do processo de fabricação de gesso, sendo este o mais observado neste trabalho, para assim desenvolver trabalhos futuros na execução de artefatos de gesso. Neste sentido, se faz necessário uma investigação, em nível microestrutural, que analise os tamanhos das partículas e a morfologia dos cristais do resíduo de gesso a ser calcinado para geração do gesso reciclado.

Conforme Souza (1998) apud John e Cincotto (2007), o tempo de pega dos gessos brasileiros é curto. Combinado com a ausência de critérios e objetivos para a definição de quantidades de água de amassamento e procedimentos de controle de qualidade de recebimento, tem levado a medidas de perdas de gesso de 30 %.

#### **4.2.2 Densidade da Pasta**

Tendo como base os resultados apresentados vemos que os resultados tenderam a diminuir conforme foi o aumentado o teor de substituição do gesso reciclado. Como se pode observar na Figura 44. Em nenhum dos casos são observadas variações substanciais nas densidades.

Figura 44 - Gráfico da densidade da pasta de gesso



Fonte: Do Autor, 2022

Begliardo (2015), comenta que essa diminuição se deve a um aumento de porosidade média nas misturas. Esse aumento de porosidade se deve a formação dos cristais diferentes nos resíduos de gesso, conforme comentado no item tempo de pega, explicado por Hincapié & Cincotto (1997).

Begliardo (2015), encontrou densidades médias diferentes, para cada mistura estudada. Porém foram todas inferiores a 1,25 g/cm<sup>3</sup>, transformando para a unidade usada, temos que foram menores que 1250,00 Kg/m<sup>3</sup> e tenderam a diminuir com o aumento do gesso reciclado.

Madariaga (2005), comparou as densidades aparentes relatadas por vários autores para rebocos de construção, com pasta de gesso, preparados com diferentes relações água/gesso, exemplificados na Tabela 12.



Tabela 12 - Comparação de densidades aparentes de diferentes rebocos de construção, segundo diferentes autores (g/cm<sup>3</sup>)

Relación a/y (en peso)	C.S.T.B (1)	Blancher (2)	Sastre (3)	Arredondo (4)	Villanueva (5)	Gonzalez Madariaga (6)
0,6	1,15	1,20	-	1,30	1,10	1,19
0,7	-	-	-	-	-	-
0,8	1,00	1,00	1,25	1,02	1,00	1,16-1,17
1,2				0,79	0,75	0,87-0,91

(Fonte: adaptada de González Madariaga, 2005)

Como se pode observar, os resultados encontrados neste trabalho guardam uma notável correspondência com os valores reportados, levando em consideração a relação água/gesso destacada na Tabela acima. Essa relação interfere diretamente na densidade da mistura, como cita Sánchez (2013), as relações água/gesso, as densidades e porosidades das misturas mostram como o aumento de água necessário para atingir uma pasta de consistência normal levou a uma diminuição da compactação devido a um aumento da porosidade em ambos os tipos de misturas.

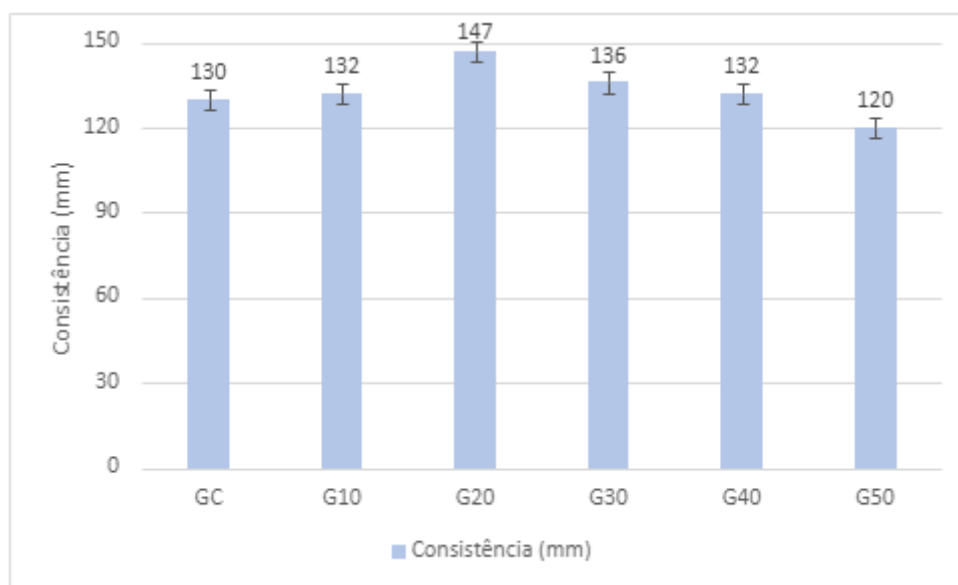
Tagliari (2021), apresentou um resultado de 1516,75 Kg/m<sup>3</sup>, porém sem utilizar as substituições de resíduos, sendo então, somente uma comparação com o nosso gesso comercial, e conseguindo um desempenho positivo de aproximadamente 18%. Obtendo também, um valor bem próximo do citado por Madariaga (2005), onde as densidades podem diferir entre 6 e 16% de outros resultados. Essa variação pode ser devido a diversos motivos, como o processo de fabricação, uso de materiais comerciais adquiridos no varejo, possíveis erros durante a fabricação e manuseio das amostras, características próprias da pedra de origem e a mistura particular de semi-hidratos e hidratos do gesso utilizado em cada caso.

Acredita-se que a densidade da pasta de gesso não representa um grande interesse para as indústrias nacionais, pois existem poucas informações disponíveis sobre essa propriedade, e necessitando inclusive, acessar literaturas internacionais para conseguir dados para se ter alguma comparação.

### 4.2.3 Trabalhabilidade

Foi possível observar que o traço G10 aumentou seu índice de consistência, em relação ao traço comercial. O traço G20, também obteve um aumento em relação a ambos, sendo a maior média medida, 147 mm. Enquanto isso, os traços G30, G40 e G50, obtiveram um valor maior do que o gesso controle, porém foram diminuindo em relação a maior medida, sendo quanto maior a substituição, menor o índice de consistência. Desta forma, conseguimos perceber uma variação próxima de 10% no índice de consistência entre os traços mais longes do G20, e os mais próximos com algo em torno de 7%, isso acaba refletindo também no seu espalhamento, que seria mais significativo nas obras. Essas explicações, podem ser mais bem visualizadas, na Figura 45.

Figura 45 - Gráficos da trabalhabilidade da pasta de gesso



Fonte: Do Autor, 2022

Portanto, a melhor trabalhabilidade ficou representada entre os traços G20 e G30, impossibilitando saber se existiria um melhor resultado entre a substituição de 20 a 30%. Em próximos estudos, seria interessante realizar este teste ao menos, com uma variação menor, a cada 5%.

Cincotto, Agopyan e Florindo (1988), apresentaram resultados menores para o seu gesso controle, tendo obtido uma média de 67 mm, contudo, sua relação água/gesso era metade da utilizada neste trabalho, ou seja 0,40. Já Munhoz (2008), apresentou na sua pasta utilizada abatimento de 16,0cm, ou seja, 160mm, com a relação de 0,80. Com isso, fica verídico a sua afirmação, que quanto maior a relação a/g, maior a porosidade do

material. Conforme Nohier (1986) apud Antunes e John (2000), percebe-se a grande influência da relação a/g na cinética da reação de hidratação, ou seja, no tempo de pega do gesso.

Ao contrário do sugerido por Nita (2004), o aumento da relação água/ gesso para o reciclado, em comparação ao comercial, não foi necessário, em função de uma maior área superficial para absorção de água e reações de hidratação deste material. Os grãos das amostras calcinadas apresentaram diâmetros parecidos com o gesso controle, como evidenciado ao comparar as curvas granulométricas.

John e Antunes (2000) relatou que a consistência da pasta começa a ser alterada no final do período de indução por conta da presença maciça dos núcleos de cristalização que se apresentam em maior quantidade durante o tempo de pega. Assim, a formação da microestrutura cresce progressivamente à medida que adquire resistência mecânica até o seu completo endurecimento.

Trovão (2012), comenta que a incorporação do resíduo de gesso às pastas acelera as reações, pois promove a supersaturação da solução, logo no instante em que o resíduo entra em contato com a água, inicializando a formação dos cristais. Essa solução prejudica a trabalhabilidade e qualidade, inclusive em ensaios laboratoriais na moldagem dos corpos de prova, que podem apresentar falhas em formato de vazio. A trabalhabilidade é de suma importância quando se trata da aplicação de argamassas e pastas de um modo geral, principalmente pelo processo de aplicação se tornar muito mais fácil.

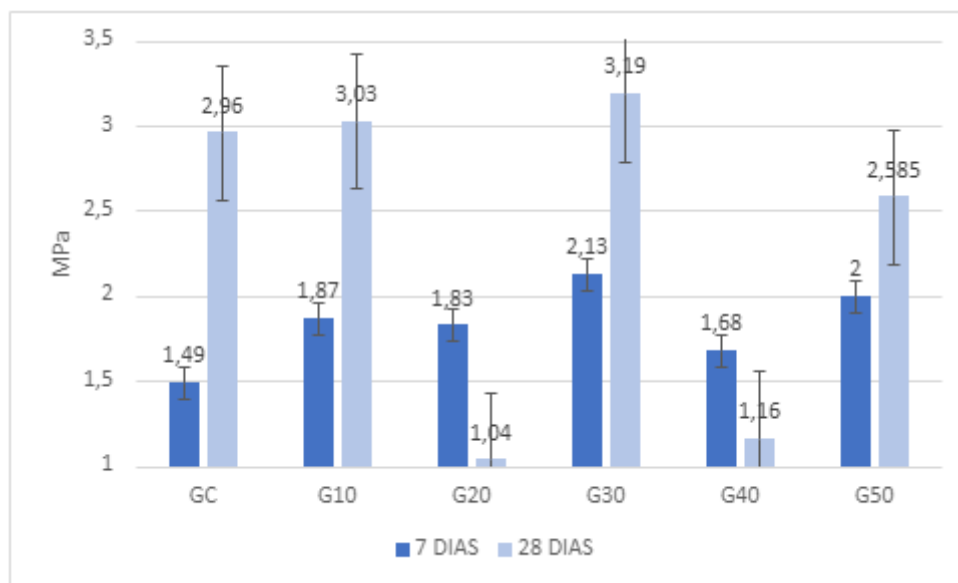
### **4.3 ESTADO ENDURECIDO**

Nesta etapa foram analisados os resultados dos ensaios no estado endurecido.

#### **4.3.1 Resistência à Flexão**

Observou-se que o comportamento do gesso quando solicitado é de não apresentar deslocamento expressivo até o momento da ruptura, o que destaca sua característica de material frágil. Os resultados do ensaio de resistência à flexão, são apresentados na Figura 46, uma comparação entre o todos os traços utilizados, além de um comparativo com os corpos de provas com 7 e 28 dias de idade, respectivamente.

Figura 46 - Comparativo dos valores médios de resistência a flexão para cada traço de pasta de gesso utilizado



Fonte: Do Autor, 2022

Para o traço G20, foi utilizado somente duas amostras, devido a um corpo de provas ter se rompido ainda na estufa. Um corpo de prova do traço G40, também foi desconsiderado na obtenção da média, pois seu resultado apresentou uma resistência muito baixa, podendo ser rompido com a própria força do dedo humano, assim apresentando erro em algum processo anterior.

Após 7 dias de moldagem, os valores ficaram entre 1,49 e 2,13 MPa, uma diferença próxima de 30% entre os traços. Já para o ensaio após os 28 dias, tivemos resultado de 1,04 MPa à 3,03 MPa, havendo um aumento na diferença para cada traço. Acredita-se que algum problema pode ter ocorrido durante o intervalo de 21 dias, pois os traços G20 e G40 tiveram resultados inferiores aos obtidos no teste de 7 dias. O restante dos traços apresentou um aumento de aproximadamente 40% em sua resistência.

Imagina-se que a eventualidade ocorrida nos traços G20 e G40, se deve ao processo do teste de absorção de água a qual foram submetidos. Concluindo-se que não aguentaram o contato e perderam totalmente sua resistência. Ou segundo Fernandes (2013), não necessariamente o valor de resistência à tração na flexão aumenta com o passar dos dias, pois pode ter chegado no seu máximo já nos sete dias.

As resistências obtidas são superiores à verificada por Petrucci (1998) para pastas com fator água/gesso de 1,00, que foi de 1,99 MPa. As amostras de gesso reciclado obtiveram resultados dentro do intervalo sugerido por Savi (2012), isto é, entre 0,7 e 3,5 MPa.

Fernandes (2013), obteve resultados de 1,82 para os corpos de provas a 7 dias e 1,90 com idade de 28 dias, levando em consideração somente a temperatura de 170° C. Considerando a temperatura, esses resultados foram melhores, comparado a outros ensaios onde houve redução de 30% nos resultados paralelamente a redução da temperatura. O que afirma a citação de Soken (2015), que a diminuição da tensão de ruptura está associada a porosidade para maiores porcentagens de resíduo de gesso.

Nenhuma das amostras atingiu o valor de 3,9 MPa descrito por Cincotto, Agopyan e Florindo (1988). Da mesma forma que outros autores, como, Eires et al. (2007) apresentaram valores próximos de 4,50 MPa, tendo um aumento de 50% em comparativo com nossos resultados. Bauer (2001), encontrou valores próximos a 5,68 MPa. Serna et al. (2012) e Yu (2011) atribuem a baixa resistência ao excesso de água na preparação da pasta, que tende a formar poros após sua cura, reduzindo os valores observados no ensaio de tração e flexão.

Os valores de resistência a flexão, podem ser elevados com o auxílio de alguns aditivos, como por exemplo a fibra de sisal, justamente o que acontece na execução de forros de gesso convencional. Há a junção das placas de 65 cm, com a mistura de pasta de gesso, juntamente com a fibra de sisal, formando textura plana no ambiente. Encontramos valores mais baixos, pois nossos resíduos, também não apresentarem essas fibras, pois ele é proveniente do método de produção, anterior ao de colocação de forros.

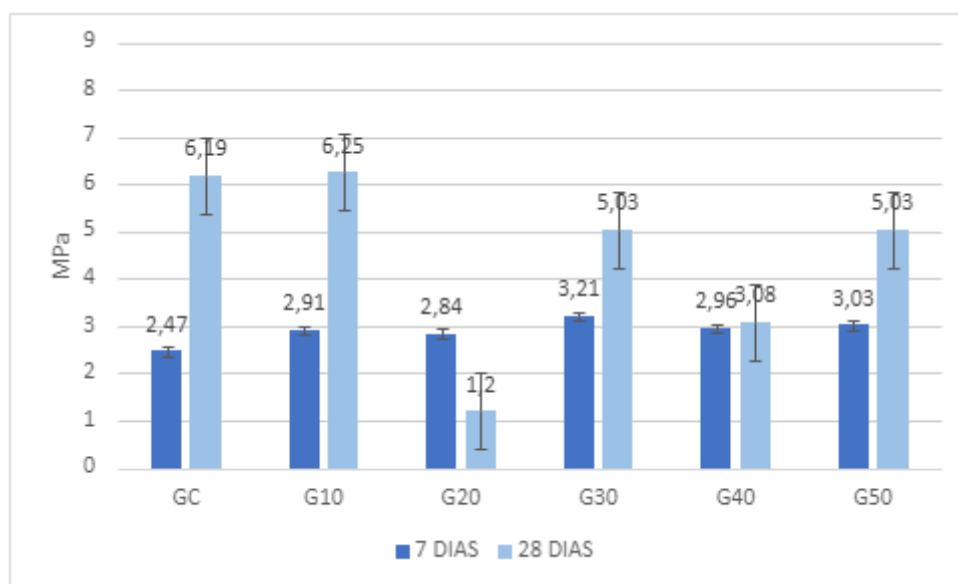
Os resultados obtidos com os corpos de provas de gesso reciclado são compatíveis com os observados para o gesso comercial. No entanto, os fundidos com pastas mistas de gesso reciclado e comercial apresentaram melhores resultados do que os obtidos com os gessos comercial sem misturas, porém ficando abaixo dos valores do fabricante. Não se pode afirmar que os resultados mesmo tendo alguns valores altos, e outros mais abaixo, correspondem a um conjunto de valores que tenha tido alguma anomalia nos processos. Ao invés disso, eles devem ser atribuídos ao número descritivo limitado de amostras testadas, aspecto que seria apurado com o aumento do número de séries de ensaios, de forma a obter um conjunto de valores que permitisse o seu tratamento estatístico descritivo.

### 4.3.2 Resistência à Compressão

Karni e Karni (1995) afirmam que a resistência é resultado dos seguintes fatores: qualidade do material (gesso e aditivos); relação água/gesso; idade do produto, e condições de armazenamento do produto, também durante o endurecimento. Verifica-se que a resistência à compressão alcançada para as pastas dosadas com traços conhecidos, nos sete dias de idade, foi entre 2,47 e 3,21 MPa e para 28 dias os resultantes médios foram entre 1,20 e 6,19 MPa.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão, são apresentados na Figura 47, uma comparação entre o todos os traços utilizados, além de um comparativo com os corpos de provas com 7 e 28 dias de idade, respectivamente.

Figura 47 - Comparativo dos valores médios de resistência a compressão para cada traço de pasta de gesso utilizado e idade diferentes



Fonte: Do Autor, 2022

O traço G20 e G40 realizou-se somente 4 ensaios, pois um de cada traço, não possuía superfície suficiente exigida pelo equipamento para a realização correta do ensaio. Observando o gráfico, é possível concluirmos que a substituição de 10% de resíduo, contribui para o aumento da resistência, porém deve-se controlar o intervalo entre o tempo de início e fim de pega, a fim de não comprometer a trabalhabilidade. Como não foram realizados testes com substituições inferiores a 10%, não conseguimos dimensionar, se esse é o valor máximo de resistência encontrada, ou com teores menores o resultado de resistência aumentaria.

Segundo Trovão (2012), pode-se verificar que a resistência a compressão varia em função do teor do resíduo, apresentando uma influência positiva na incorporação de 5%, e decrescendo à medida que aumenta o seu teor.

As pastas de gesso comercial, ao final dos 28 dias, atingiram marca superior a citada por Bauer (2001), tendo um aumento de praticamente 16% na resistência. Sendo a que mais obteve resultados, ficando bem próximo do traço G10, assim observando que adição de 10% de resíduo, praticamente não mudou os resultados.

O traço de gesso reciclado G10, apresentou resistência superior à 5,2 MPa, que é a resistência estabelecida para os gessos de países como os Estados Unidos, pela C28/C28M-10 (ASTM, 2015). Os traços G30 e G50 ficaram muito próximos do valor citado, portanto, considerados aptos dentro de sua correlação. Já os traços G20 e G40 apresentaram um resultado menor, conforme explicado anteriormente nos resultados de resistência a flexão, devido ao processo de absorção de água.

Conforme visto na Figura 47, houve uma queda de resistência do gesso comercial, para os moldes com substituições de resíduos, porém as variações quando relacionadas ao demais blocos com resíduo não diferiram significativamente. Numericamente, não são valores que influenciaram tanto no resultado esperado, porém visualizamos o não atendimento dos valores mínimos estipulados por norma, até mesmo do gesso comercial utilizado na fábrica. Contudo se fizermos o comparativo da perda de resistência das amostras com incorporação de resíduo em relação as amostras do gesso comercial, temos uma variação insignificante.

Apesar da diminuição da resistência, visualmente, conforme se adicionavam resíduos, os corpos de provas aparentavam mais densidade, e, no ato de rompimento estes não se destruíam com facilidade, somente acabavam apresentando uma fissura, sendo notado que a carga máxima tinha chegado, pelo software apresentar o gráfico em tempo real.

Fernandes (2013) obteve um resultado de 5,88 MPa, onde os parâmetros analisados foram os mais próximos ao deste trabalho. Os valores de Apolinario (2015) e Maia (2019) também ficaram próximos do obtidos, 5,05 MPa e 6,13 respectivamente, para algumas substituições de resíduo.

Em nenhuma das amostras foi verificada a exigência mínima de 8,40 MPa descrito pela NBR 12129 (ABNT, 2017). Mas alguns traços atingiram o valor sugerido por Savi, 2012, acima de 5 MPa. Para o gesso reciclado, também houve divergência nos resultados encontrados pelo mesmo autor, sendo de 4,5 MPa em 7 dias e 9,3 MPa em 28 dias. Já

para o gesso comercial, os valores ficaram bastante parecidos, tendo uma diferença em torno de 11% para ambas as idades dos corpos de prova. É importante observar que as tensões obtidas com 28 dias de idade duplicaram em relação aos valores obtidos com idade de 7 dias.

Coutinho (2006), afirma que o mais correto, é realizar o teste de compressão passados 63 dias, pois o processo de endurecimento do gesso pode durar semanas. No entanto, Munhoz (2008), achou resultados menores em 63 dias do que em 28, em outros casos, os valores foram bem próximos, concluindo-se que os testes podem ser realizados no vigésimo oitavo dia sem prejuízos, pois se consegue valores bem representados para a resistência a compressão.

Os valores comparativos do autor, foram utilizados somente com a mesma temperatura de calcinação, 170° C e relação água/gesso de 0,8, no entanto, segundo Munhoz (2008), aumentar o tempo de calcinação e diminuir a relação água/gesso até encontrar uma boa trabalhabilidade, faz com que o gesso reciclado possa atingir a resistência ideal. Se a relação for inferior a 0,6, há dificuldades com a trabalhabilidade. Para razões maiores que 0,6, tem-se um aumento da porosidade do produto endurecido perdendo resistência mecânica (SILVA, 2010).

A resistência mecânica dos materiais é controlada pela presença de defeitos. Uma importante fonte de defeito, são os vazios de moldagem devido à insuficiência da energia de compactação do produto empregado e complexidade de moldagem. Garantidas as condições de moldagem, atenta-se para a porosidade produzida pela evaporação da massa de água não consumida pela reação de hidratação, responsável por governar a resistência de um determinado gesso (JOHN, CINCOTTO, 2007).

De acordo com Hincapie & Cincotto (1997), a relação do tempo de pega com as propriedades mecânicas do material é de extrema importância. O aumento no tempo de pega inicial, proporciona uma redução nas propriedades mecânicas do gesso, que foi o que aconteceu neste caso, quando adicionado o resíduo na substituição nos traços, o tempo de pega inicial acabou aumentando, assim diminuindo a sua resistência.

Como foi comentado, para aumentar o tempo de pega, seria necessário a adição de algum aditivo, como o ácido cítrico, porém Hincapie e Cincotto (1997), chegou em uma resistência de 24% a menos, do que corpos de prova, sem adição de aditivo. Ficando claro, que se depende muito do destino de utilização da pasta de gesso.

Acerca da influência da granulometria, de acordo com a literatura (Bardella, 2011; Karni, Karni, 1995; Ye et al., 2011), as variações de resistência à compressão, dadas as



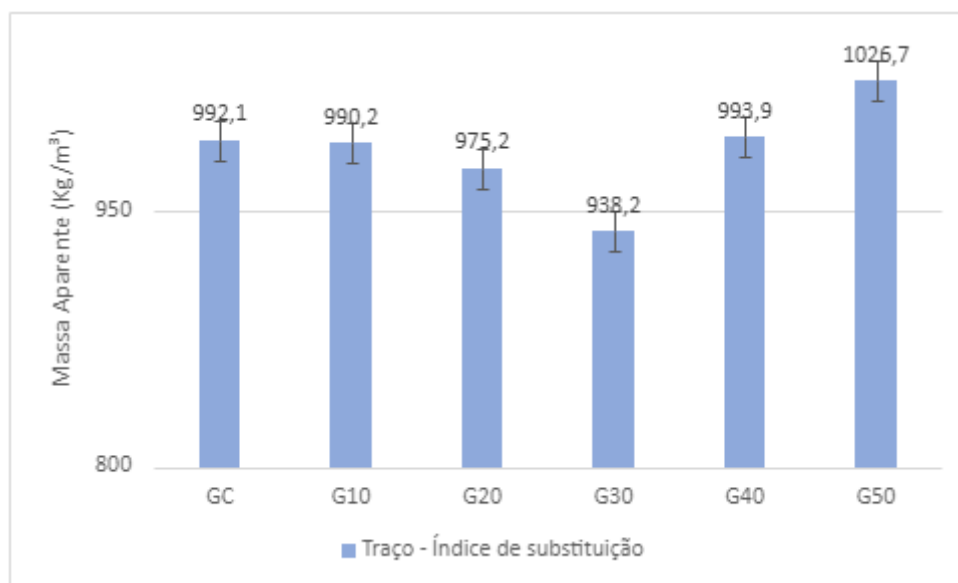
diferenças de granulometria, parecem influenciar apenas as idades iniciais. As distribuições dos gessos dadas pelas curvas granulométricas e as concentrações de diâmetros das partículas de um mesmo tamanho (finura) não apresentam grandes variações e nem são conhecidas detalhadamente de modo a se avaliar a influência na resistência à compressão.

### 4.3.3 Massa Aparente

John e Cincotto (2007) afirmam que a densidade de massa específica não é usualmente determinada para a caracterização de gessos, embora possa auxiliar na determinação da composição das fases do gesso.

A massa aparente dos corpos de provas ensaiados teve em média 992,10 kg/m<sup>3</sup> para a pasta de gesso comercial puro, dando uma diferença de 6% do apresentado pela fabricante. Os traços G10, e G40 não apresentaram variações, G20 e G30 tiveram uma pequena queda em seus valores, sendo de 2% e 5,5% respectivamente. Já o traço G50 apresentou um leve aumento de 3,5% em relação ao gesso comercial. Com isso, os traços de gessos reciclados substituídos, apresentaram pouca variação, da mesma forma em relação as massas dos corpos de prova. Tendo como base os resultados, observamos a Figura 48, os dados mais sucintos.

Figura 48 - Gráfico da massa aparente da pasta de gesso



Fonte: Do Autor, 2022

Gasperin (2020), citou que conforme a substituição gradativa do resíduo, a sua massa diminui, o que não ocorreu em nossos estudos. Os resultados do ensaio

demonstraram que a incorporação de resíduos causa redução na densidade, o que se explica pelo fato do resíduo ser um material mais leve que o gesso comercial. Seguindo com os mesmos resultados na densidade da pasta, em estado fresco, onde a densidade foi diminuindo. Porém, acredita-se que a incorporação tenha um limite, visto que os traços com substituição de 40 e 50% obtiveram um resultado bem próximo ao do gesso comercial, não se excluindo a possibilidade de algum erro durante a execução dos testes, além dos resíduos poderem ter incorporado umidade durante o processo, sabendo que esses foram os últimos a serem moldados, assim ocorrendo preenchimento dos seus vazios com a umidade.

Begliardo (2015) cita que para o gesso comercial, o comum é encontrarmos valores próximos a  $1\text{g/cm}^3$  ou seja,  $1000\text{ Kg/m}^3$ , um valor aproximado do obtido em nossos testes com gesso comercial, havendo uma variação mínima. Este valor, dependendo da porosidade do material, pode ser ainda menor e chegar a  $800\text{ Kg/m}^3$ . Vasconcelos (2015), encontrou densidade de  $818,44\text{ Kg/m}^3$ , somente para o resíduo de gesso.

Serna et al. (2012) e Yu (2011), estudaram a densidade de massa aparente em relação ao índice de água/gesso, e encontrou  $1095\text{ Kg/m}^3$  para uma relação de 0,50, sendo este o valor maior. Para a nossa relação de 0,80, encontrou  $944\text{ Kg/m}^3$ , se aproximando ainda mais do que foi encontrado em nossos resultados. O autor indica que há presenças mais expressivas de poros maiores para quantidade também maiores de água, representada por uma subida acentuada em sua curva na faixa dos poros, com diâmetros 3 a 0,4 mm.

Para Bardella (2011), a variação de massa específica entre os gessos pode ser atribuída ao arranjo dos cristais na massa e a estrutura cristalina que depende das condições de produção do hemi-hidrato. Em alguns estudos, pode ser que os valores obtidos representem a massa específica absoluta, enquanto nos encontrados nos ensaios, referem-se à massa específica aparente.

Gasparin (2020), observou que o resíduo de gesso tem a massa específica menor que o gesso virgem, pelo fato de a massa específica estar relacionada a perda de partículas finas durante o processo de calcinação, e conseqüentemente, afetando no empacotamento de partículas e resultando em uma massa específica menor.

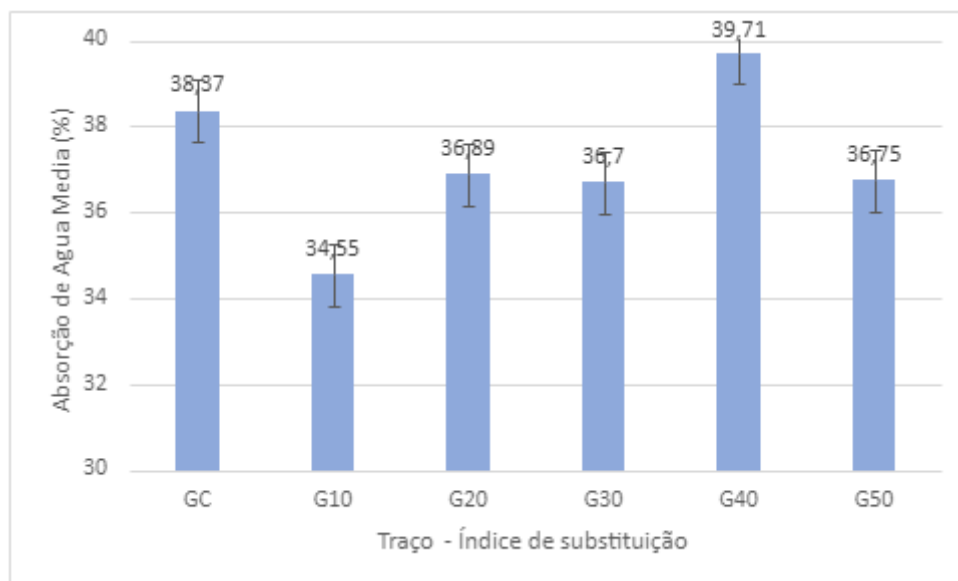
Por outro ponto, podemos concluir que pode se dar pela presença de algum material proveniente de outras rochas, que não seja a gipsita. Isso porque as jazidas,

acabam fazendo divisas com outras rochas, e assim, podendo haver uma contaminação de um material mais denso.

#### 4.3.4 Absorção De Água

Os valores médios de teor de umidade para o gesso comercial foram de 38,37% e 34,55% para o traço G10, sendo essa última, a menor porcentagem encontrada. Para o gesso reciclado, traço G40, encontrou-se o maior índice de absorção, 39,71%. Apresentando então, uma variação de 13% entre os traços de substituição. Retirando os valores extremos dos traços, praticamente não se teve variação entre as misturas de gesso reciclado e comercial. Com isso, indicando que no aspecto de absorção de água, o gesso reciclado apresenta as mesmas características em todos os traços, variando menos que 5% da pasta pura, não apresentando grandes diferenças. Esses valores estão resumidos na Figura 49.

Figura 49 - Gráfico da absorção de água da pasta de gesso



Fonte: Do Autor, 2022

Comparando com os valores encontrados por Knauf (2009) e Eires et al. (2007), os quais apresentaram teores de umidade de 40% e 45%, e por Savi (2012), que obteve 56% de teor de absorção tanto para o gesso comercial quanto para o reciclado. Já para Li (2006), à alta taxa de absorção de água em produtos de gesso natural é em torno de 50%. Sendo assim o teor de umidade encontrado neste trabalho é considerado baixo.

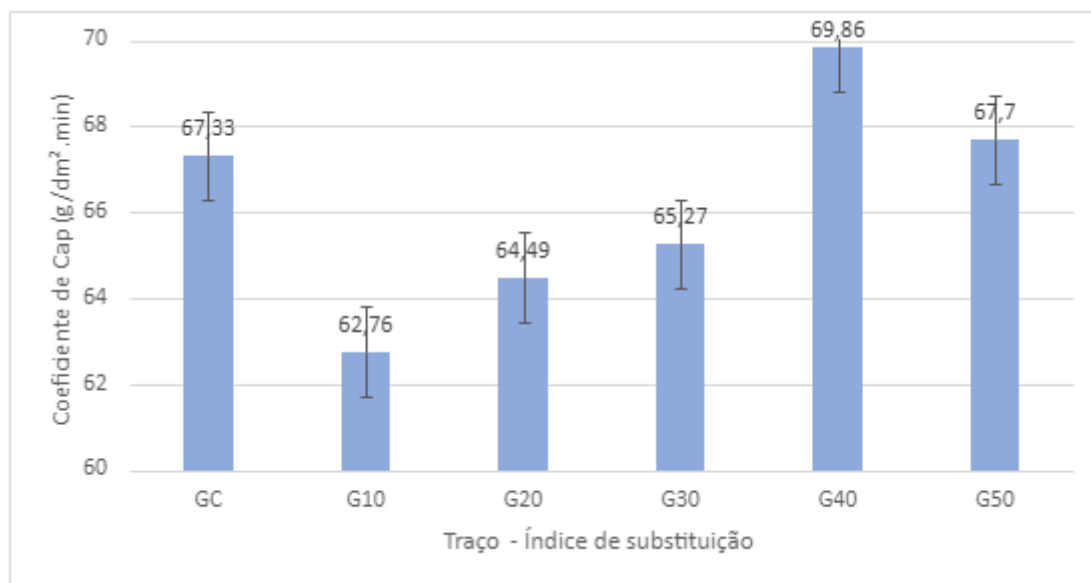
Savi (2012), tinha uma relação de água/gesso 1,0, ou seja, a maior presença de água, levou a um aumento de 18% em relação aos nossos resultados. Já Knauf (2009) e Eires et al. (2007), tinham uma relação de 0,7, ou seja, menor, conseqüentemente deveriam obter valores menores. Munhoz (2008), encontrou resultados de 36,42% para o índice de absorção para o gesso comercial utilizado em seus estudos, com isso ficando bastante próximo dos encontrados. O autor ainda encontrou valores menores de absorção, com o auxílio de aditivos, porém, esses acabaram diminuindo a resistência a compressão. Os corpos de prova de referência GC alcançaram valores de absorção total semelhantes aos obtidos por Silva et al. (2016), algo próximo dos 35,39%.

Assis (2020), em seu ensaio de absorção não demonstrou diferenças consideráveis entre o gesso comercial e o gesso reciclado não calcinado, ambos apresentaram absorção de água da ordem de 40%. Já as amostras de gesso reciclados calcinados apresentaram absorção superior a 45%.

Todos traços mostraram-se praticamente saturados, apresentando um coeficiente de capilaridade e absorção de água da pasta de gesso, extremamente altos, inviabilizando sua utilização em ambientes que fiquem expostos à presença de água. Isso poderia acarretar a perda de suas propriedades iniciais.

Com o coeficiente de capilaridade é possível avaliar a capacidade de penetração da água nos poros da argamassa. Por serem materiais geralmente porosos, espera-se que através dos poros capilares, haja absorção de água. Esse resultado mostra o desempenho e durabilidade das pastas, que influenciam também em sua resistência mecânica, assim, quanto maior o valor do coeficiente, mais poroso é o material (Azevedo, 2018). Na Figura 50, temos os resultados médios, dos coeficientes de capilaridade.

Figura 50 - Gráfico do coeficiente de capilaridade da pasta de gesso

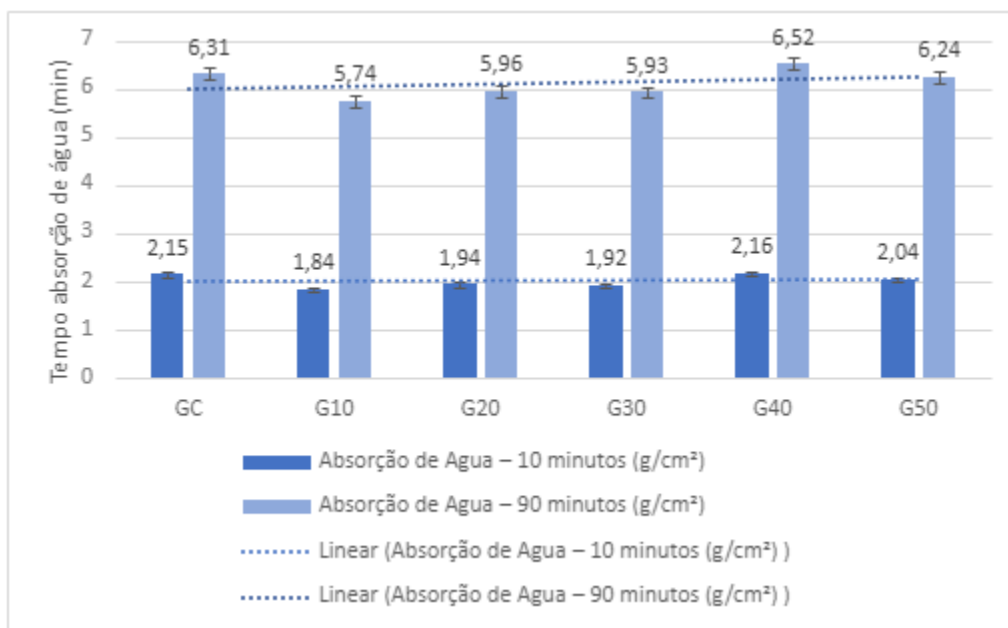


Fonte: Do Autor, 2022

Desta forma, em 10min em contato com a água, o corpo de prova do gesso comercial apresentou 14,50% maior absorção de água por capilaridade se comparada ao corpo de prova do traço G10. Já aos 90min, apresentou um aumento de somente 10,00%. Apesar de apresentar pouca diferença de absorção de água por capilaridade entre os dois traços o gesso comercial provou maior estanqueidade.

Essas diferenças foram diminuindo, conforme o teor de substituição aumentava, até que no traço G40, houve uma maior absorção que no gesso referência, sendo nos 10 min, uma diferença insignificante e nos 90 min de apenas 3,5%. Com isso, sendo o traço que mais se aproximou do traço GC no ensaio de absorção por capilaridade, ficando em um igualmente com o traço G50, que obteve uma diferença menor não significativa para o gesso comercial. Essas diferenças nos traços, e na capilaridade a 10 min e 90 min, estão resumidos na Figura 51. Por apresentarem maior porosidade, conforme explicado anteriormente, os traços com substituição de gesso apresentaram os maiores valores de absorção por capilaridade.

Figura 51 - Gráfico de comparação de absorção de água de 10 min e 90 min



Fonte: Do Autor, 2022

Verificou-se que com a substituição dos resíduos, houve uma diminuição do coeficiente em até 40%, pois o resíduo age no preenchimento dos vazios, culminando em menos acúmulo e transporte de água e CO<sub>2</sub>, favorecendo a durabilidade. Em 50%, os coeficientes se aproximam do valor da pasta de referência (AZEVEDO, 2018). Acima dessa porcentagem, tudo indica que tenha um aumento além do traço referência, conforme ocorre em outros materiais, porém não foram efetuados testes com substituições maiores.

Concomitante a isso, em seu estudo, Tiggemann (2016) relata que quanto maior a absorção de água por capilaridade, menor é a resistência do material. Isso ocorre devido à quantidade de poros ser maior onde ocorre maior absorção de água. A afirmação de Tiggemann (2016) vai de encontro à esta pesquisa, pois o corpo de prova do traço G40, apresentou maior absorção de água por capilaridade e conseqüentemente menor resistência a compressão e flexão aos 28 dias de idade, sabendo que estes ensaios foram executados, após o ensaio de absorção.

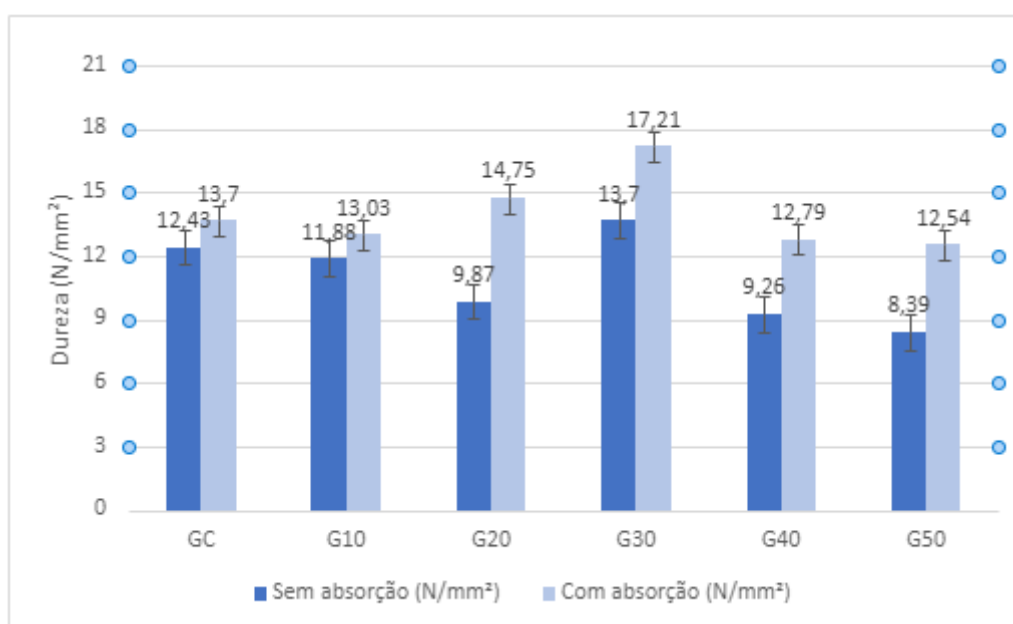
Morsy et al. (2017), onde adições superiores a 5% de gesso causaram aumento da absorção capilar. Este aumento ocorreu devido a conversão dos hidratos metaestáveis em estáveis, precedidos pela liberação de água para o andamento do processo de hidratação com as fases cristalinas remanescentes, resultando na redução de volume de sólidos. Segundo os autores, a adição do gesso também altera os tamanhos dos poros, resultando em argamassas com um maior número de poros de menores diâmetros, devido à presença dos cristais de gesso hidratado em forma de agulha.

#### 4.3.4 Dureza

De acordo com Dias e Cincotto (1995), a importância da determinação da dureza se justifica pela necessidade de se avaliar as qualidades mecânicas do revestimento e a sua capacidade de receber acabamentos como pinturas especiais ou componentes colados. Para Ribeiro (2011), tem como objetivo avaliar as resistências às deformações permanentes diretamente relacionadas com a força de ligação dos átomos em cada amostra em separado.

Os valores de dureza apresentaram valores inferiores ao preconizado pela NBR 13270 (ABNT, 2017), tanto para os traços de gesso reciclado, quanto para o gesso de referência comercial. Diferente do valor disponibilizados pela empresa fabricante, valor solicitante ao da normativa. Na Figura 52, apresentando os resultados graficamente, fazendo um comparativa com os corpos de provas, que passarão pelo ensaio de absorção, e os que não passaram, com idade de 7 dias.

Figura 52 - Gráfico da dureza da pasta de gesso



Fonte: Do Autor, 2022

Para o gesso comercial apresentaram valores de dureza médio 12,43 N/mm<sup>2</sup> antes do ensaio de absorção de água e 13,70 N/mm<sup>2</sup> após o ensaio. Os traços de gesso reciclado apresentaram dureza média de 10,62 N/mm<sup>2</sup>, sem passar pela absorção e média de 14,06 N/mm<sup>2</sup> após o ensaio. Seguindo esses resultados a afirmação trazida por Tiggemann (2016), no item anterior, acaba não valendo para a propriedade de resistência mecânica da dureza, uma vez que os resultados apresentados, foram melhores para os ensaios

executados após os testes de absorção de água por capilaridade. Contudo, os resultados indicam que a dureza do gesso reciclado é compatível com a do gesso comercial, tendo uma leve diminuição nos traços G10, G40 e G50, tendo o menor, uma redução de 8,5%. Porém nos traços G20 e G30, apresentaram aumento de 7% e 21%, respectivamente.

Fernandez (2013), apresentou resultados semelhantes aos deste trabalho. Para o Gesso Referência, obteve uma dureza de 13,35 N/mm<sup>2</sup>, E para o gesso reciclado, utilizando a mesma temperatura de 170°C de calcinação, chegou a 13,95 N/mm<sup>2</sup>. Assim ficando bem próximo aos resultados apresentados, também tendo um aumento com a substituição de gesso reciclado, mesmo em seu caso sendo somente 5% de resíduo.

Savi (2012), conseguiu uma dureza de 30,99 N/mm<sup>2</sup> para o gesso comercial e de 31,20 N/mm<sup>2</sup> para o gesso reciclado, porém com uma relação de água/gesso de 0,7, ou seja, menor presença de água em sua mistura. O autor também obteve resultados, para uma relação de 1,0, porém ocorreu uma diminuição considerável, chegando a 11,97 e 11,08, para gesso comercial e reciclado, respectivamente. Assim, ele afirma que a diferença mais significativa na propriedade da dureza, está com a relação de água/gesso. A quantidade de água excedente evapora e confere porosidade ao gesso, o que aumenta a sua capacidade de deformação (HINCAPIE et al.,1996 apud BARDELLA, 2011).

Como nosso valor para este índice não foi alterado no estudo, os valores encontrados foram bastantes parecidos, sendo assim, as substituições dos resíduos de gesso, em qualquer porcentagem presente neste trabalho, não interferem diretamente no resultado de dureza.

Porém, Trovão (2012), comenta que a substituição de resíduos, tem influência significativamente nesta propriedade. Pois, em sua análise estatística, apresentou 9% de variância, enquanto o permitido seria de 5%. Como explicação, cita que varia em função do teor de resíduos, pois com o aumento da substituição o fato da moldagem fica prejudicado, gerando uma aceleração no processo de hidratação, e não permitindo um acabamento superficial adequado aos corpos de prova. A autora conclui que só seria possível fazer a mistura com os teores, sem prejudicar a dureza, fazendo a adição de algum aditivo plástico, trazendo melhor resultado para a dureza, inclusive maior que a referência.

Ferreira (2018), não conseguiu obter os resultados de dureza, pois a relação de água/gesso utilizada foi de 0,48, assim levou à confecção de material excessivamente rígido com alta resistência mecânica e baixa resistência à deformação, que, durante o ensaio de penetração da esfera, resultou no rompimento dos corpos de prova. Tendo



assim, mais uma afirmação que o maior influenciador da dureza, seja a relação utilizada. Porém não existem estudos, onde comprovam o melhor índice para obter o maior resultado da propriedade.

Para John e Cincotto (2007), há também uma relação entre dureza e resistência à compressão, onde à medida que se aumenta a dureza, tem-se também um aumento da resistência a compressão. A comparação entre resultados de dureza e compressão não conduz a conclusões consistentes, uma vez que, existem vários fatores intervenientes. Além disso, os resultados de dureza e resistência à compressão dos gessos não apresentaram, em sua maioria, diferenças estatisticamente significativas, o que impede a visualização de uma relação entre essas duas variáveis. Bardella (2011) provou que a variação da relação água/gesso afetou significativamente os valores encontrados para todas as propriedades mecânicas analisadas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os objetivos do presente trabalho foram atingidos, visto que houve a possibilidade de produção de todos os ensaios com a incorporação de resíduos, e suas específicas substituições, sem que houvesse grandes perdas das características necessárias do produto, potencializando o uso do resíduo na própria fonte geradora. De uma forma mais detalhada se concluir:

- Com relação às características físicas

Foi possível verificar, que a granulometria entre as amostras de gesso comercial e reciclado são similares, não ocorrendo grandes variações. A massa unitária do pó de gesso, entre as características ensaiadas nesta pesquisa, é a que apresentou maior variação em relação aos valores do gesso comercial para o gesso reciclado.

- Com relação às propriedades no estado fresco

As pastas de gesso reciclado, apresentaram melhor trabalhabilidade até o índice de substituição de 40%, conferindo-lhe maior fluidez e deixando-a com aspecto próximo do obtido com o gesso puro. Apresentaram um comportamento um pouco distinto, como foi o caso dos tempos de pega, onde houve diminuição nos intervalos iniciais e finais, além da obtenção de maior consistência. Para a densidade da pasta, não houve diferença significativas, dependendo o índice de substituição.

Assim para o estado fresco, pode-se utilizar o traço G10, que foi o que se portou melhor entre todos os índices de substituições. Os outros percentuais poderiam ser utilizados nos quesitos de trabalhabilidade e densidade da pasta, porém sendo reprovados no tempo de final de pega.

- Com relação às propriedades no estado endurecido

Os corpos de provas, produzidos com gesso reciclado, obtiveram características mecânicas, compatíveis com as do gesso comercial. Pela semelhança nos resultados, evidenciou-se que as pastas contendo o resíduo de gesso mesmo se tratando de um material reciclado, possui comportamentos de massa específica, dureza, compressão, flexão e absorção de água muito similares ao gesso comercial.

Em relação à resistência à compressão, flexão e dureza dos traços, verificou-se que os valores variaram conforme a idade do corpo-de-prova aumentando a sua resistência dos 7 para os 28 dias. Também se tem variação no índice de substituição, sendo percebido que até a porcentagem de 30% ocorre pouca mudança nas resistências,

comparado com o gesso comercial, porém com uma maior adição de resíduo, esse valor já começa a cair drasticamente. Porém os resultados obtidos para a compressão e dureza, que são valores estabelecidos por norma, não foram encontrados em nenhum dos traços, nem mesmo do gesso comercial.

Para a questão de massa aparente, os resultados obtidos, não tiveram uma variação significativa, sendo assim o resíduo acaba não interferindo diretamente nesta propriedade. Na absorção de água, também obtivemos variações insignificantes entre os índices de substituição, porém para o coeficiente de capilaridade os traços G40 e G50 apresentaram resultados parecidos com o gesso referência, tendo assim uma maior estanqueidade que os índices de menores substituição.

Assim para o estado endurecido, pode-se utilizar os traços G10, G20 e G30, que foi o que se portou melhor entre todos os índices de substituições, nas questões de resistências mecânicas, o mais procurado neste trabalho. Ressalva-se que os traços G40 e G50, em estudos futuros, podem ser um bom índice para a questão estanqueidade de água.

Avaliando as propriedades das pastas de gessos estudadas neste trabalho, com suas devidas substituições, temos os resultados que o traço G10, apresentou mais compatibilidade com o gesso comercial referência, do que os outros índices de substituições. O mesmo apresentou melhor desempenho nas propriedades em estado fresco e endurecido, sendo assim, a melhor porcentagem de substituição para uma relação de água/gesso 0,8 e temperatura de calcinação de 170°C. Porém deve-se ressaltar que os traços G20 e G30 apresentaram resultados próximos, sendo assim, podendo ter uma avaliação mais profunda em outros estudos, com uma temperatura e/ou relação água/gesso diferentes que a utilizada.

Sendo assim, levando em consideração os ensaios, e o traço G10, citado como o melhor anteriormente, sua utilização do gesso reciclado seria em indústrias de grande porte, que possuam equipamentos adequados, ou em indústrias que produzam em grande escala, principalmente painéis em gesso acartonado/drywall, o ramo que mais está crescendo atualmente no mercado gesseiro. Para as pequenas indústrias, que normalmente fazem esses processos de forma mais artesanal, o ideal seria analisar a aquisição de equipamentos para realização da moagem, e principalmente, da calcinação. E utilizar o gesso reciclado em pastas mistas com o gesso comercial, como foi executado neste trabalho.

## 5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se, ainda, para futuras pesquisas, a realização da Microscopia eletrônica de varredura (MEV), observando a morfologia da microestrutura das diferentes misturas de gesso. Assim podendo acompanhar as fases de crescimento dos cristais e a forma de ocorrência, ou não, do encontro dos grãos cristalizados.

Pode-se também realizar análises químicas, como forma de dimensionar as reações entre os componentes durante o estado fresco e endurecido, e seus compostos formados.

Por apresentarem potencial para serem empregados ao uso pretendido, sugere-se, para trabalhos futuros, a confecção de painéis de gesso com as outras composições que também apresentaram bons resultados em relação à impermeabilidade e resistência à compressão, de modo a verificar seu desempenho físico, mecânico e durável. Focando, inclusive, em um controle de qualidade desses materiais, para assim evitar o desperdício grandioso que acontece em nosso presente.

Sugere-se que fossem feitos ensaios com dosagens diferentes, como por exemplo, com índice de substituição a cada 5% de diferença, ou uma relação de água/gesso com números quebrados, e não com múltiplos de 0,1. Além de se calcinar amostras com temperaturas superiores, chegando próximas ou ultrapassando os 400° C, pois é onde ocorre a mudança química das moléculas de gipsita. Todos esses fatores, executando uma análise estatísticas no final, para assim obtermos parâmetros mais expressivos sobre a influência de cada componente.

Utilização de um equipamento que amplie a escala e acelere os processos realizados nas primeiras etapas, principalmente para a primeira calcinação, como um forno maior, moagem com alguma serie de cilindros para obter grãos menores e facilitar o peneiramento, não tendo tantas perdas relativas, pelo tamanho da partícula.

Além da realização de um levantamento de custo para fabricação, para ver se a substituição do gesso, é economicamente viável. Inicialmente tentar com que o processo de reaproveitamento do material seja realizado de forma que se consuma um mínimo de energia, e com menor perda de material possível.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 12127: Gesso para Construção - Determinação das Propriedades Físicas do Pó, Rio de Janeiro, 2017.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 12128: Gesso Para Construção - Determinação das Propriedades Físicas da Pasta, Rio de Janeiro, 2017.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 12129: Gesso Para Construção - Determinação das Propriedades Mecânicas, Rio de Janeiro, 2019.

ABNT- Associação Brasileira de Normas NBR 12130: gesso para construção: determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 12775: Placas lisas de gesso para forro - Determinação das dimensões e propriedades físicas. Rio de Janeiro. 1992.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13207: Gesso para a construção civil. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 13867: Revestimento interno de paredes e tetos com pastas de gesso - Materiais, preparo, aplicação e acabamento. Rio de Janeiro, 1997

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 14715: Chapas de gesso acartonado - Requisitos. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 14716: Chapas de gesso acartonado - Verificação das características geométricas. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 14717: Chapas de gesso acartonado - Determinação das características físicas. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ABNT- Associação Brasileira de Normas NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABERLE, T.; HERSCHKE, L.; EMMENEGGER, P. et al. 10th Global Gypsum Conference & Exhibition. New approaches to increase water resistance of gypsum-based building materials. Paris, 2010.

ABRASGESSO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA DRYWALL. Números do segmento. São Paulo, 2012.

ABRECON. Brasileiro produz por ano meia tonelada de resíduos de construção civil. In: Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição. São Paulo, 2012.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil 2017.

ABREU, E.M.X.; BARROS, J.V.; FERREIRA, R.A.S.; YADAVA Y.P.; SILVA, C. L. de; SOUZA, D.P.F. de Análise microestrutural do efeito de diferentes pós hemidratado no desempenho dos moldes de gesso. João Pessoa: Anais do 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2003.

ABREU, E. M. X.: Estudo da influência de diferentes gessos produzidos na região Nordeste do Brasil para a fabricação de moldes utilizados na indústria de louças sanitárias, 2005.

AGOPYAN, A. K.; CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M.; CARBONE, C.. Análise reológica de pastas para revestimentos à base de gesso por squeeze-flow. VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, In: Anais, ANTAC, Florianópolis, 2005.

ANTUNES, Rubiane Paz do Nascimento; JOHN, Vanderley Moacyr. Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso. 1999. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ANTUNES, R. P. N. e JOHN, V. M. O conceito de tempo útil das pastas de gesso. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP - Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 2000.

APOLINARIO, G. M. Reutilização do resíduo de gesso da construção civil. Trabalho de conclusão de curso. UNIJUÍ Universidade Regional Do Noroeste Do Estado Do Rio Grande Do Sul. Ijuí – RS, 2015.

ASCON – Associação das empresas de construção civil da região dos vinhedos, Bento Gonçalves, 2020.

ASSIS, M.S.; SILVA, M.A.; CORTEZ, F.L.C.; ASSUNÇÃO, M.S.L.; Influência da calcinação e da granulometria na fabricação de blocos de gesso reciclado. Terceiro congresso sul-americano de resíduos sólidos e sustentabilidade. Rio Grande do Norte, 2020.

AZEVEDO, A.R.G.; Desenvolvimento de placas cimentíciaa reforçadas com incorporação do lodo primário da indústria de papel de ceclulosa. Tese de Doutorado, 2018.

BALTAR, C.A.M.; BASTOS, F. F., Luz, A. B., Rochas e Minerais Industriais, Gipsita, CETEM, Rio de Janeiro, 2005

Bardella, P.S. “Recycled Plaster: Physical and Mechanical Properties”, Int. Conf. Technol. Archit. Structure, Xian 1 (2011)

BAUER, L. A. F. Materiais de construção. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1994

BAUER, L. A. F. Materiais de Construção. Vol. 1, 5. ed. revisada. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. (1979). 2001.

Begliardo, H., Sánchez, M., Panigatti, M., Garrappa, S., Stellón, O., Fornari, J., & Keller, S. Reutilización de Residuos de Placas de Yeso. Congreso Argentina y Ambiente. Mar del Plata, 2012.

Begliardo, H. Reutilización y valoración del yeso residual de construcciones. Santa Fe, 2015.

BERNHOEFT, LUIZ: Caracterização das propriedades físicas de mecânicas de argamassa com gesso reciclado. Dissertação (Pós-graduação) – Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco. Recife, 2010.

BETSUYAKU, Renato Yochio. Construção de eco tijolos com adição de areia diatomácea. Dissertação de Mestrado. Centro Universitário de Volta Redonda , Volta Redonda, Rio de Janeiro, 2015.

BEZERRA, M. S.. Relatório Técnico 34 Perfil da Gipsita. Ministério de Minas e Energia - MME. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - SGM. 2009.

BIGOLIN, Morgane Indicadores de desempenho para blocos de concreto: uma análise de requisitos mais sustentáveis para a produção a partir de RCD, Porto Alegre, 2013

- BRASIL. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos,
- CAMARINI, G. et al. Effect of Citric Acid on Properties of Recycled Gypsum Plaster to Building Components. *Construction and Building Materials*, , 2016.
- CAMPBELL, S. *Lead by Example. Walls and Ceilings*, 2003.
- CANUT, M. M. C. Estudo da Viabilidade do Uso do Resíduo Fosfogesso como Material de Construção. Dissertação de Mestrado em Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2006.
- CARDOSO, F. A. et al. Squeeze Flow as a Tool for Developing Optimized Gypsum Plasters. *Construction and Building Materials*, 2009.
- CARNEIRO, A. M. P. Contribuição ao Estudo da Influência do Agregado nas Propriedades de Argamassas Compostas a Partir de Curvas Granulométricas. (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- CARNEIRO, A. P.; QUADROS, B. E. C.; OLIVEIRA, A. M. V.; BRUM, I. A. S.; SAMPAIO, T. S.; ALBERTE, E. P. V. e COSTA, D. B.. *Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção - Características do Entulho e do Agregado Reciclado. (Coletânea)*. Editora UFBA, Salvador. 2001.
- CARVALHO, M. T. M.; LELES, M. I. G. e TUBINO, R. M. C. TG and DSC Studies on Plaster Residues as Recycled Material. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2008.
- CHANDARA C. AZIZLI K.A.M., AHMAD Z.A.,SAKAI E. Use of waste gypsum to replace natural gypsum as set retarders in portland cement . *Waste Management* 29, 2009.
- CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V e FLORINDO, M. C. *Tecnologia de Edificações - O gesso como material de construção - propriedades físicas e mecânicas. 2ª parte (Coletânea)*. IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. Pini Editora. 1988.
- CIWMB (California Integrated Waste Management Board) *Drywall Recycling*, 2001.
- CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 348 de 17 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA no 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Brasília, 2004
- CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 448 de 19 de Janeiro de 2012. Altera os arts. 2o, 4o, 5o, 6o, 8o, 9o, 10 e 11 da Resolução no 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. Brasília, 2012.
- CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N°307, de 5 jul. 2002; estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, 2002.



CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N°431, de 24 mai. 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. Brasília, 2011.

COSTA, J. E. B. Análise CoMParativa Entre as Propriedades do Gesso Obtido de Rejeito da Produção de Sal e Gessos Comerciais. 79 f. Natal, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

CORTE, Peter Jessé Dalla. Gerenciamento dos resíduos da construção civil no canteiro de obras. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do PaMPa – UNIPAMPA, 2017.

COUTINHO, J.S. Materiais de Construção 2 – 1ª Parte – Ligantes e Caldas. Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO DE MINÉRIO – DNPM: Gipsita. Sumário Mineral, 2012.

DIAS, A.M.N.; CINCOTTO, M.A. Revestimento à base de gesso de Construção. São Paulo: EPUSP, 1995.

DOMÍNGUEZ, L. V.; SANTOS, A. G. Manual do gesso. Tradução de Paulo Mariano Lopes, 2001.

DRYWALL - Associação Brasileira do Drywall. São Paulo, 2009.

DRYWALL - Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas de Drywall . Resíduo de gesso na construção civil - Coleta, armazenagem e destinação para reciclagem. São Paulo, 2009.

DRYWALL - Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall. Resíduos de Gesso na Construção Civil - Coleta, armazenagem e destinação para reciclagem, 2011.

EIRES, R.; JALALI, S. e CAMÕES, A. Novos materiais de construção à base de gesso e desperdícios industriais. Congresso Construção 2007 - 3.º Congresso Nacional. Coimbra. 2007.

ERBS, A.; NAGALLI, A.; MYMRINE, V.; CARVALHO, K. Q. Determination of physical and mechanical properties of recycled gypsum from the plasterboard sheets. Cerâmica, São Paulo, 2015.

FERNANDES, Carlos Alberto Hermann. Avaliação da viabilidade técnica da utilização de resíduos de gesso de construção para uso em placas ou moldes para forro. Seminário de Pesquisa - Extensão e inovação do IFSC. Florianópolis, Santa Catarina, 2013.

FERREIRA, E. M.; CRUVINEL, K. A. S. Utilização do gesso de entulho na produção de cimento. Enciclopédia Biosfera. Goiânia, 2014.

FERREIRA, F. C. Estudo de caracterização do gesso para revestimento produzido no polo gesso do Araripe – UFPE, 2017.

FILHO. A.A.Q. NETO A.A.A. DANTAS J.O.C. GIPSITA. DNP Sumário Mineral, 2014.

FRANCHETTI, S. M. M. e MARCONATO, J. C. A Importância das Propriedades Físicas dos Polímeros na Reciclagem. Química Nova na Escola, n. 18. 2009.

GARG M. JAIN N. Waste gypsum from intermediate dye industries for production of building materials. Construction and Building Materials 24, 2010.

GRAM, H. E. e GUT, P. Directives pour le controle de qualite. SKAT, St. Gallen, Suisse et BIT. Genève. Suisse. Série Pedagogique TFM/TVM: Outil 23. 1994.

GREGG, S. J. e WILLING, E. G. J. The Dehydration of Gypsum. Part III. A Study of the Process of Dehydration and Rehydration of Gypsum by Adsorption Methods. National Coal Board Central Research Establishment. University College Exeter. Stoke Orchard. Nr. Cheltenham, Glos. 1951.

GUIMARÃES, J. E. P. A Cal: Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil. Editora PINI. São Paulo. 1997.

HABITARE. Habitare: resultados de iMPacto (1995) ,2007.

HADDON, C. L. The Mechanism of setting of calcium sulphate cements. Faraday Society. 1924.

HARADA, E. e PIMENTEL, L. L. Estudo da viabilidade de reaproveitamento de gesso - queima lenta. Anais do XIV Encontro de Iniciação Científica da PUC-Campinas, 2009.

HINCAMPIÉ HENAO, A. M. e CINCOTTO, M. A.. Seleção de Substâncias Retardadoras do Tempo de Pega do Gesso de Construção. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP - Departamento de Engenharia de Construção Civil. ISSN 0103-9830. BT/PCC/184. São Paulo. 1997.

IBRACON – Instituto brasileiro de concreto. Estudo de reaproveitamento de resíduos de construção e demolição. São Paulo, 2021.

IWASAKI, K. A.; CAMARINI, G. Influência das temperaturas de calcinação e da água de amassamento na reciclagem dos resíduos de gesso. In: XVIII CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNICAMP, 2011

JOHN, V. M. e CINCOTTO, M. A.. Alternativas de Gestão dos Resíduos de Gesso. Universidade de São Paulo - Escola Politécnica. São Paulo. 2003.

JOHN, V. M. Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção - Aproveitamento de Resíduos Sólidos como Materiais de Construção. (Coletânea). Editora UFBA. Salvador. 2001.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. Gesso de Construção Civil. In: GERALDO CEHELLA ISAIA (São Paulo) (Org.). *Materiais De Construção Civil e princípios de ciência e engenharia de materiais: Aglomerantes Minerais*. São Paulo: Ibracon, 2007.

JOHN, VANDERLEY M.; CINCOTTO, M. A. *Alternativas De Gestão Dos Resíduos De Gesso*. Universidade de São Paulo - Escola Politécnica, p. 1-9, 2003.

KARNI, J; KARNI, E'Yal. *Gypsum in construction: origin and properties*. Materials and structures, Haifa, Israel, 1995.

KNAUF - Ficha técnica - Placas de gesso laminado Knauf,

KOCHEM, K. *Potencialidades De Logística Reversa Do Resíduo De Gesso Da Indústria Da Construção Civil*. Dissertação Programa de pós-graduação em tecnologias ambientais. UTFPR, Medianeira, 2016

LAVOISIER A. *Men. Math. Phys*, 1978

LI, J.; LI, G; YU, Y. *The influences of gypsum water-proofing additive on gypsum crystal growth*. Materials Letters. 2006.

LIMA, K. D. S., CAMARINI, G. *Influência da temperatura e do tempo de calcinação na reciclagem dos resíduos de gesso*. XVIII Congresso Interno de Iniciação Científica da Unicamp. 2011.

LIMA, R. S e LIMA, R. R. R. *Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil*. Série de Publicações Temáticas do CREA-PR, 2011.

LYRA SOBRINHO, A. C. P.; AMORIN NETO, A. A e DANTAS, J. O. C. *Gipsita*. Sumário Mineral. Ministério das Minas e Energia - Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), 2011.

MAEDA, F. M; SOUZA, U. E. L. *Previsão da produtividade da mão-de-obra na execução de revestimento interno em gesso*. Boletim técnico, n. 332. Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2003.

MADARIAGA, F. *Caracterización de mezclas de residuos de poliestireno expandido (EPS) conglomerados con yeso o escayola. Su uso en la construcción*. (Tesis doctoral), Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, (2005).

MAIA, C; JESUS, S; FARINHA, C.B; BRITO, J; VEIGA, R. *Rendering mortars with incorporation of very fine aggregates from construction and demolition waste*. Construction and Building Materials, v. 229, 2019.

MANUAL DO GESSO. Espanha: Oficinas Gráficas D. Bosco. 1a Ed. 2001. Traduzido por: Paulo Mariano Lopes, 2002.

MARCONDES, F. C. S. *Sistemas logísticos reversos na indústria da construção civil: estudo da cadeia produtiva das chapas de gesso acartonado*. 2007. Dissertação (Mestrado)

– Curso de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MARVIN, E. Gypsum Wallboard Recycling and Reuse Opportunities in the State of Vermont. Vermont Agency of Natural Resources. 2000

MATOS, L.L. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. Tese - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.

MEDINA N.F. OLIVARES H.F., ARROYO X., AGUILERA A., FERNANDEZ F. Characterization of a more sustainable cement produced with recycled drywall and plasterboards as set retarders. *Construction and Building Materials*, 2016.

MELO, Daniele de Castro Pessoa de. Processo de calcinação da gipsita/resíduo em um forno rotativo contínuo para a produção de gesso beta reciclável. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2012.

MILITO J. A. Avaliação do desempenho de aglomerante a Base de gesso com Cimento Portland de alto forno e sílica ativa. Tese (doutorado) Campinas, 2007. Unicamp.

MORSY, M. S.; AL-SALLOUM, Y. A.; ALMUSALLAM, T. H.; ABBAS, H. Mechanical Properties, Phase Composition and Microstructure of Activated Metakaolin-Slaked Lime Binder. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2017.

MOTTA, M. P. Gerenciamento dos resíduos da construção civil: Um estudo de caso no município de Guaíra/PR, 2021, UNIPAR.

MUNHOZ, F. C. e RENÓFIO, A. Uso da Gipsita na Construção Civil e Adequação para P+L. XIII SIMPEC. Bauru. 2006

MUNHOZ, F. C. Utilização do gesso para fabricação de artefatos alternativos, no contexto de produção mais limpa. 2008. 164p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

NASCIMENTO, F.J.F. PIMENTEL L. L. Reaproveitamento de Resíduos de Gesso. Anais do XV encontro de Iniciação Científica da PUC. Campinas, 2010.

NETO, J.C.M. Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil. São Carlos, 2005.

NITA, C.; PILEGGI, R. G.; CINCOTTO, M. A.; JOHN, VANDERLEY M. Estudo da Reciclagem do Gesso de Construção. São Paulo, SP: I Conferência Latino Americana de Construção Sustentável - X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2004.

NOLHIER, M. Contruire en plâtre. L'Harmattan. Paris. 1986

OLIVEIRA, M. E. D., SALES R.J.M., OLIVEIRA L.A.S., CABRAL A.E.B. Diagnóstico da geração e da composição dos RCD de Fortaleza/CE, 2011.

OLIVEIRA, F. M. C.; BORGES, L. E. P. ; MELO, E. B.; BARROS, M. L. S. C. . Características Mineralógicas e Cristalográficas da Gipsita do Araripe. Holos (Natal Online), , 2012.

PERES, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A. O gesso – produção e utilização na construção civil. Recife: Bagaço, 2001.

PETRUCCI, E.G.R. Concreto de cimento Portland. 10 ed. Porto Alegre – Rio de Janeiro: Globo, 1983.

PINHEIRO, Sayonara Maria de Moraes. Gesso reciclado: Avaliação de propriedades para uso em componentes. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, 2011.

PINTO, Tarcisio de Paula. Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção - Gestão de Resíduos de Construção e Demolição em Áreas Urbanas - Da ineficácia a um modelo de gestão sustentável. (Coletânea). Editora UFBA. Salvador. 2001.

Plano de Resíduos da cidade de Bento Gonçalves (2014).

RAIJ, B. van. Gesso na agricultura. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008.

RIBEIRO, A. S. Produção de gesso reciclado a partir de resíduos oriundos da Construção Civil. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana. Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2006.

RIBEIRO, C.C. PINTO J.D.S. STARLING. T. Materiais de construção civil. Belo Horizonte, 2002.

ROCHA, J. C. e JOHN, V. M. Utilização de Resíduos na Construção Habitacional. Coletânea Habitare. Porto Alegre. 2003.

SÁNCHEZ, M., Begliardo, H., Casenave, S., Garrappa, S., & Denardi, M. Componentes de suelo cemento utilizando barros de excavación para pilotes como material de baja resistencia controlada (mbrc). 11° Congreso Binacional de Metalurgia y Materiales, SAM/CONAMET. Rosario, 2011.

SAVI, OLINDO: Produção de placas de forro com a reciclagem de gesso. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana. Maringá, 2012.

SCHMITZ, I.B.T.A. Estudo da Reciclagem da Pasta de Gesso para Construção Civil. Relatório (pesquisa) – Universidade de Pernambuco Recife. 2008.

SERNA, A., Del Río, M., Palomo, J., & González, M. Improvement of gypsum plaster strain capacity by the addition of rubber particles from recycled tyres. Construction and Building Materials, 2012.

SILVA, M. G. S. Desenvolvimento de compósitos a base de gesso e pó de fibras de coco. Dissertação de mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE. 2010.

SILVA, R. M. S. Gesso. Universidade Federal de Alagoas. 2003.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO GESSO DO ESTADO DE PERNAMBUCO – SINDUSGESSO (Brasil). Consumo de gesso no Brasil, 2007.

SINDUSGESSO (Brasil) (Org.) - SINDUSGESSO - Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco, 2011.

SINDUSCON-MG. Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil. Superintendência da Prefeitura de Belo Horizonte. Emitido em 2005.

SOBRINHO, C.W.P. Influência da adição de resíduos de Gesso nas Propriedades Mecânicas das pastas para revestimento. Artigo publicado ENARC. Feira de Santana. 2009.

SOUZA, U. E. L. Alternativas Para a Redução de Desperdício de Materiais nos Canteiros de Obras, Relatório FINEP. 1998,

SPECK, J.A. Análise do desempenho de placas cimentícias através da adição de fibras e telas, visando a redução de deformações térmicas e patologias. Tese (Mestrado). Porto Alegre, 2014. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Supergesso S.A. Industria e comercio de gessos especiais, Araripina, 2021.

TAGLIARI, A. Análise coMParativa da resistência de aderência em revestimentos argamassados e em pasta de gesso aplicados em diferentes substratos cerâmicos. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil – Universidade de Caxias do Sul, Bento Gonçalves, 2021.

TIGGEMANN, Tiago Guilherme. Argamassas industrializadas para revestimento utilizadas na cidade de Lajeado/RS: Comportamento em diferentes substratos. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2016.

TROVÃO, A. P. M. Pasta de gesso com incorporação de resíduo de gesso e aditivo retardador de pega. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro tecnológico, Vila Velha, 2012.

VASCONCELOS, G. et al. Mechanical behavior of gypsum and cork based composite material. Materials Science Forum, Zurich, 2013.

YE, Q. et al. Effect of Particle Size Distribution on the Hydration and Compressive Strength Development of  $\alpha$ -Calcium Sulfate Hemihydrate Paste. Powder Technology, 2011.

YU, Q.L.; BROUWERS, H.J.H. Microstructure and mechanical properties of hemihydrate produced gypsum: An insight from its hydration process. *Construction and Building Materials*, 2011.