

ESTUDO DO IMPACTO DAS CONDIÇÕES DE CALCINAÇÃO NA RECICLAGEM DO GESSO DE CONSTRUÇÃO

Luis Felipe Yuzo Vasconcellos Oshiro ¹; Heloísa Cristina Fernandes Cordon ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professora da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo

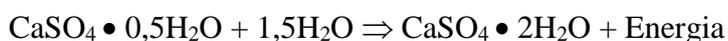
O futuro da construção civil aponta o gesso cada vez mais como protagonista nas obras por possuir características de um material extremamente versátil e de fácil manuseio para seus aplicadores. A alta de seu consumo deve-se muito às suas propriedades e características físicas, além de ser nitidamente econômico para o orçamento. Contudo, ao ser descartado incorretamente, pode promover sérios impactos ambientais. Com isso em mente, inúmeros estudos em relação ao reaproveitamento deste material foram conduzidos, sendo submetido a diferentes tipos de condições de calcinação, variando pressão, temperatura e umidade, que visam avaliar as alterações em suas características físicas e mecânicas após ciclos de reciclagem. Foi proposto então, elaborar um estudo utilizando uma temperatura constante de 130 °C, sem controle de umidade e pressão, a fim de avaliar sua influência nas propriedades do gesso e compará-lo com o projeto anterior de gesso reciclado em autoclave, com mesma temperatura, porém com controle de umidade e pressão. Os resultados do projeto definiram que o Gesso Reciclado em Autoclave Odontológico se sobressaiu em grande maioria dos ensaios como: Cinética de Temperatura, Termogravimetria e Área superficial, levando à conclusão de que o gesso reciclado em autoclave se assemelha mais às características do gesso comercial do que o gesso reciclado em estufa, logo, das amostras estudadas neste projeto, seria a melhor opção.

1. Introdução

Derivado da gipsita, o gesso é um material cuja composição química pode ser representada por sulfato de cálcio, na forma de 3 fases cristalinas com variações em seu nível de hidratação: sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anidrita (CaSO_4), e sulfato de cálcio hemi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$). Através de uma desidratação no tratamento térmico do gesso, pode ser produzido o sulfato de cálcio hemi-hidratado (DOLEZ'ELOVÁ et al., 2018).



Essa reação é chamada de calcinação e é reversível ao entrar em contato com água. O sulfato de cálcio h-hidratado se transforma em sulfato de cálcio di-hidratado em uma reação exotérmica.



Essa reversibilidade na hidratação e desidratação do sulfato de cálcio di-hidratado é exatamente a prova de que sua reciclagem é possível, uma vez que sua composição química não muda (DOLEZĚLOVÁ et al., 2018).

No entanto, o manuseio inadequado deste material pode ser consideravelmente prejudicial ao meio ambiente. Levando em consideração que possui um rápido tempo de pega, deve ser utilizado em um curto espaço de tempo antes que perca sua capacidade de aplicação, o que por conta de fatores como a baixa qualificação da mão de obra, leva o gesso a endurecer antes do previsto tornando-o inútil. Este resíduo ao ser descartado em aterros comuns pode gerar sérios impactos ambientais, contaminando desde o solo até o lençol freático, além produzir gases tóxicos e inflamáveis.

É evidente que as obras são responsáveis por grande parcela da geração de resíduos de gesso no mundo, ainda assim, estão longe de ser as únicas causadoras deste tipo de impacto ambiental. Ao analisar todo o processo da produção do gesso, pode-se concluir que há desperdício de resíduos durante diversas etapas dessa confecção. Durante as 7 etapas do processo completo de reciclagem do gesso surgem dejetos em 3 delas (WEIMANN, et al., 2021).

Estoque → **pré-classificação** → alimentação material → **separação magnética** → Fragmentação → **classificação** → gesso reciclado

Em vista disso, estudos sobre as propriedades do gesso reciclado foram realizados com o objetivo de evitar o seu desperdício, e conseqüentemente sua contribuição para a poluição, nos quais compreendeu-se que a presença de umidade na etapa de calcinação dos processos de reciclagem gera resultados mais próximos dos gessos comerciais, quando comparado a amostras calcinadas em ambiente sem controle de umidade (PILOTTO e CORDON, 2019).

É fundamental destacar a importância de se reciclar esse tipo de material em prol da sustentabilidade e a proteção do meio ambiente, a pretexto de a construção civil ser um dos setores que mais geram detritos e resíduos poluentes. Portanto, este trabalho se torna significativo por investigar quais condições de calcinação em ambientes úmidos, ajudam a otimizar o processo de reciclagem do gesso de construção e evitar perdas.

2. Materiais e Métodos

2.1 Materiais

Este projeto consiste em 4 variações de uma amostra de gesso comercial para um melhor entendimento das suas características em relação aos seus métodos de reciclagem, ou seja, suas etapas de calcinação serão distintas. Começando pelo Gesso Comercial (GC) que foi adquirido no comércio de construção civil da Grande São Paulo, também foi utilizado o Gesso Hidratado (GH), que é o resultado da hidratação do gesso comercial, simulando o resíduo, que foi então moído e peneirado para obter seu pó, outra amostra utilizada foi o Gesso Reciclado em Autoclave Odontológica

(GRAO), obtidos a partir do Estudo das Propriedades do Gesso sob Diferentes tipos de Calcinação, publicado nos anais do 11º seminário Mauá (PILOTTO e CORDON, 2019), e por fim o Gesso Reciclado em Estufa (GRE) sem controle de pressão e umidade.

2.2 Métodos

O material foi caracterizado quanto às suas propriedades físicas de densidade, granulometria, área superficial específica, pasta de consistência normal e cinética de temperatura. Após as caracterizações, o material foi hidratado e então moído para posterior processo de calcinação sem controle de umidade e de pressão em uma estufa convencional e a uma temperatura constante de 130 °C, durante o período necessário para atingir sua composição inicial anterior à hidratação, o que foi verificado através de ensaios de umidade. As amostras recicladas foram então submetidas aos mesmos ensaios realizados para a amostra comercial para avaliação do impacto das condições de calcinação sobre as propriedades do material. Ao final, os resultados são comparados àqueles obtidos em projeto anterior desenvolvido por Pilotto e Cordon (2019) para a mesma amostra de gesso submetida a calcinação em autoclave à mesma temperatura de 130 °C.

2.2.1 Determinação da Massa Unitária

Utilizando a norma NBR 12127 (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017a), o material foi inserido dentro de um recipiente cilíndrico, com o volume conhecido e mediu-se sua massa inicial e final. O cálculo da massa unitária é encontrado pela razão entre massa da amostra em pó e o volume ocupado. Este procedimento foi repetido 2 vezes com peneira de abertura 2mm. A configuração do ensaio está apresentada na Figura 1.



Figura 1 – Ensaio de massa unitária do gesso.

2.2.2 Produção do Gesso Di-Hidratado (resíduo)

Para a produção do gesso di-hidratado foram utilizados os resultados de Pasta de Consistência Normal do projeto referenciado anteriormente (PILOTTO; CORDON, 2019) no qual, o gesso comercial foi inicialmente hidratado seguindo os requisitos da NBR 12128 (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017b), onde utilizou-se uma relação de 50% água/gesso para a produção da pasta de gesso. Previamente peneirado em malha de espaçamento 2mm, o gesso,

foi polvilhado em água durante 60s, deixado em repouso por 120s e misturado por mais 60s. Totalizando 4min. Em bandejas metálicas forradas com plástico, a pasta foi despejada de maneira homogênea garantindo uma secagem uniforme, sempre com a ajuda de uma espátula. Após descanso de 5 dias, o gesso seco foi retirado da bandeja, golpeado com um martelo de forma manual e então levado para o moinho de martelos elétrico. O processo pode ser observado na Figura 2.



Figura 2 – Da esquerda para a direita: pasta de gesso endurecida na forma, resíduo de gesso triturado com martelo e resíduo de gesso em pó após moagem, respectivamente.

2.2.3 Ensaio de Consistência da Pasta - Mini Slump

Para este ensaio utilizou-se uma relação de 50% água/gesso para a produção da pasta de gesso. Este ensaio, por sua vez, avalia a fluidez da pasta de gesso através de seu peso próprio, com a amostra sendo depositada em um recipiente tronco-cônico. Apoiado em uma placa de vidro com uma folha de papel milimetrado embaixo, o molde foi completamente preenchido durante o intervalo de 60s, e retirado lentamente de forma vertical a fim de observar seu espalhamento na forma, no qual foi marcado seu diâmetro com a ajuda de um paquímetro.

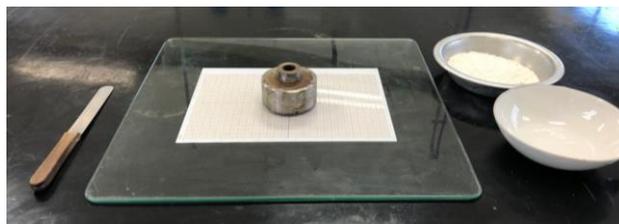


Figura 3 – Ensaio de mini slump.

2.2.4 Ensaio de Determinação da Umidade

A umidade foi determinada com o aparelho MOC63u da SHIMADZU CORPORATION (Figura 4), que mede o percentual de água presente na amostra. No ensaio, aproximadamente 2 g do material foram distribuídos sobre um recipiente de alumínio durante 10 minutos a 160 °C.



Figura 4 - Equipamento MOC63u.

2.2.5 Área superficial específica pelo método de BET

Este ensaio foi realizado com o aparelho Quantachrome Nova 2200. A amostra é submetida a temperatura criogênica constante através do Nitrogênio líquido em um ambiente com vácuo, onde o equipamento de manifold medirá a diferença de pressão do equipamento resultando no volume que não foi adsorvido pela amostra. Com isso estabelece uma relação de Volume por diferença de pressão, no qual é encontrada a Área Superficial.

2.2.6 Distribuição granulométrica

O tamanho das partículas foi analisado por Difração a laser conforme a ISO 13320, no qual utiliza como princípio a teoria do cálculo de Mie, onde o índice de refração é usado no comprimento de onda específico do material como um dos principais parâmetros para calcular a distribuição de tamanho da partícula.

2.2.7 Termogravimetria (TGA)

Este ensaio tem como objetivo avaliar a variação mássica do material em relação à variação de temperatura. A amostra é colocada em uma balança que mede sua massa do início ao fim do ensaio, à medida que aumenta a temperatura.

2.2.8 Ensaio de Densidade Real por Picnometria a Gás

Este ensaio tem como objetivo avaliar a densidade real do material em questão. O resultado é colhido pela comparação da variação de pressão do gás utilizado entre uma câmara de volume conhecido, e outra com a amostra.

2.2.9 Cinética de Hidratação

Para este ensaio foram preparadas as amostras de Gesso Comercial (GC), Gesso Hidratado (GH) e Gesso Reciclado em Estufa (GRE) em recipientes de isopor para que não ocorresse troca de calor

com o meio externo. Para este ensaio, em proporções reduzidas, ser viável, determinou-se que a relação água/gesso utilizada seria de 0,8. Sendo assim, foram utilizados 27,8g de gesso e 22,2g de água. Com os valores estipulados, as pastas foram preparadas no mesmo instante, nos quais os gessos foram despejados durante 20s, permaneceram em repouso por 40s e misturados por 30s. Ao fim do procedimento foi inserido rapidamente os data-loggers de temperatura na pasta e então colocados na caixa.

3. Resultados e Discussões

Para identificar se os processos de reciclagem alteram as propriedades e as características do material obtiveram-se os resultados a seguir:

3.1 Propriedades físicas do pó

Tabela 1 – Resultados de Massa Unitária e Massa Específica

Amostra	Massa Unitária (kg/m ³)	Massa Específica (kg/m ³)
GC	796,39	2572
GH	714,68	2277
GRE	768,92	2509
GRAO	483,61	2775

Com os resultados apresentados na Tabela 1 acima, pode-se perceber que o GRE obteve valores mais próximos da massa unitária do GC do que os demais. Já as medidas da massa específica foram obtidas pela técnica de picnometria a gás e apresentaram semelhança, com exceção do GH.

Tabela 2 – Área superficial específica

Amostra	Área superficial (m ² /g)
GC	5,943
GH	18,467
GRE	6,403
GRAO	5,699

Com os resultados obtidos do ensaio de BET (Tabela 2) percebe-se que a área superficial das amostras recicladas e a comercial apresentaram pouca variação entre si, com exceção do GH que obteve um resultado divergente com as demais, provavelmente por conta da umidade presente.

3.2 Processo de Reciclagem

Para o processo de reciclagem, primeiramente realizou-se um estudo sobre a perda de massa durante a calcinação da amostra. Portanto foram separadas bandejas com 50g cada e observou seu comportamento até que sua perda se encontrasse praticamente nula.

Tabela 3 – Perda de Massa com Ensaio de Calcinação

Amostra	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de massa (%)	Tempo (Min)
GH	50	39,96	20,7	105



Figura 5 – Preparação para a calcinação do gesso hidratado.

Para a execução deste ensaio, foi determinado que o procedimento seria repetido até que as amostras apresentassem perda de massa estabilizada, no qual o valor esperado era no mínimo 15%. Então a amostra foi levada para a estufa e aquecida a 130 °C com intervalos de 30 min até que sua massa permanecesse constante. O processo levou aproximadamente 105 min onde foi atingida uma perda de massa de 20%.

Com o resultado do ensaio com massa de 50g foi possível determinar o tempo necessário para que a calcinação do material ocorresse por completo, sendo assim, o tempo de 105 min foi utilizado para a produção de lotes maiores.

3.3 Cinética de temperatura

O ensaio de cinética de temperatura consiste em avaliar o comportamento da curva de hidratação de uma amostra em relação ao tempo decorrido e os resultados para as amostras GC, GRE e GRAO estão exibidos no gráfico da Figura 6 a seguir.

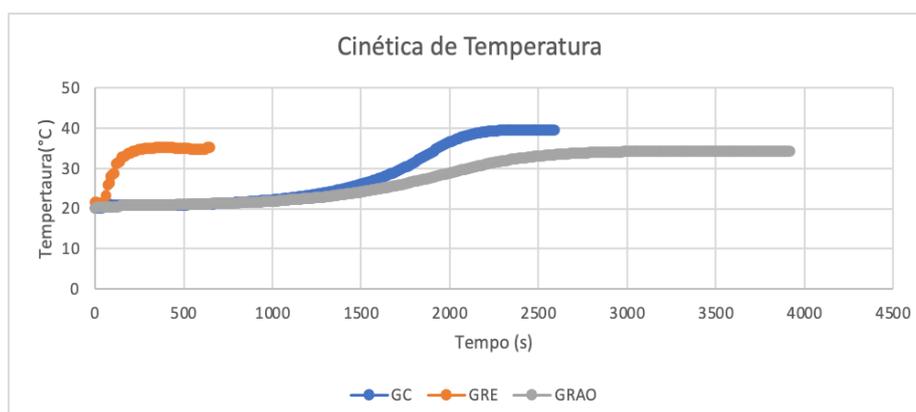


Figura 6 – Cinética de temperatura.

Ao analisar o gráfico das temperaturas em função do tempo, percebe-se uma diferença dos comportamentos para cada amostra devido ao seu tipo de reciclagem. A curva de hidratação do GRAO se aproximou bem mais do comportamento do GC, atingindo seu pico de temperatura 20 min após o pico do GC e com apenas 5 graus de diferença. Em contrapartida, o GRE apresentou um comportamento extremamente diferente, alcançando seu pico de temperatura nos primeiros minutos de ensaio.

Tabela 4 – Temperatura máxima obtida no ensaio de cinética de temperatura.

Amostra	Temperatura Máxima (°C)
GC	39,6
GRE	35,3
GRAO	34,3

Ainda considerando a Tabela 4, podem ser destacadas as temperaturas máximas de cada método de reciclagem juntamente das suas respectivas funções. O GRAO obteve um comportamento similar de reação de hidratação ao do GC, com uma pequena diferença de temperatura máxima e ambos progredindo de forma gradual até estabilizar em seu ápice. Já o GRE nota-se um comportamento completamente diferente, onde tem-se uma reação muito mais veloz e com o ângulo de sua curva consideravelmente mais acentuado.

3.4 Consistência da Pasta por Mini-Slump

O resultado do ensaio de consistência por mini-slump dá-se pela medição do diâmetro médio da amostra, o qual não foi possível determinar para as amostras do GRE e GRAO, apenas para gesso comercial que apresentou diâmetro de 11,37cm.



Figura 7 - Resultados dos ensaios de mini slump, da esquerda para a direita: Gesso Comercial, Gesso Reciclado em Estufa e Gesso Reciclado em Autoclave Odontológica, respectivamente.

Pode-se perceber que tanto o GRE quanto o GRAO chegaram próximos da consistência do GC. Portanto, os resultados deste ensaio foram inconclusivos por conta da velocidade da reação das amostras recicladas, nos quais sua secagem precoce tornou impossível inserir a amostra dentro do recipiente cônico.

3.5 Termogravimetria (TGA)

Para os ensaios de termogravimetria as amostras apresentaram um comportamento bastante similar em relação a suas curvas, na qual o GRE obteve a maior temperatura e a maior variação mássica que o GRAO.

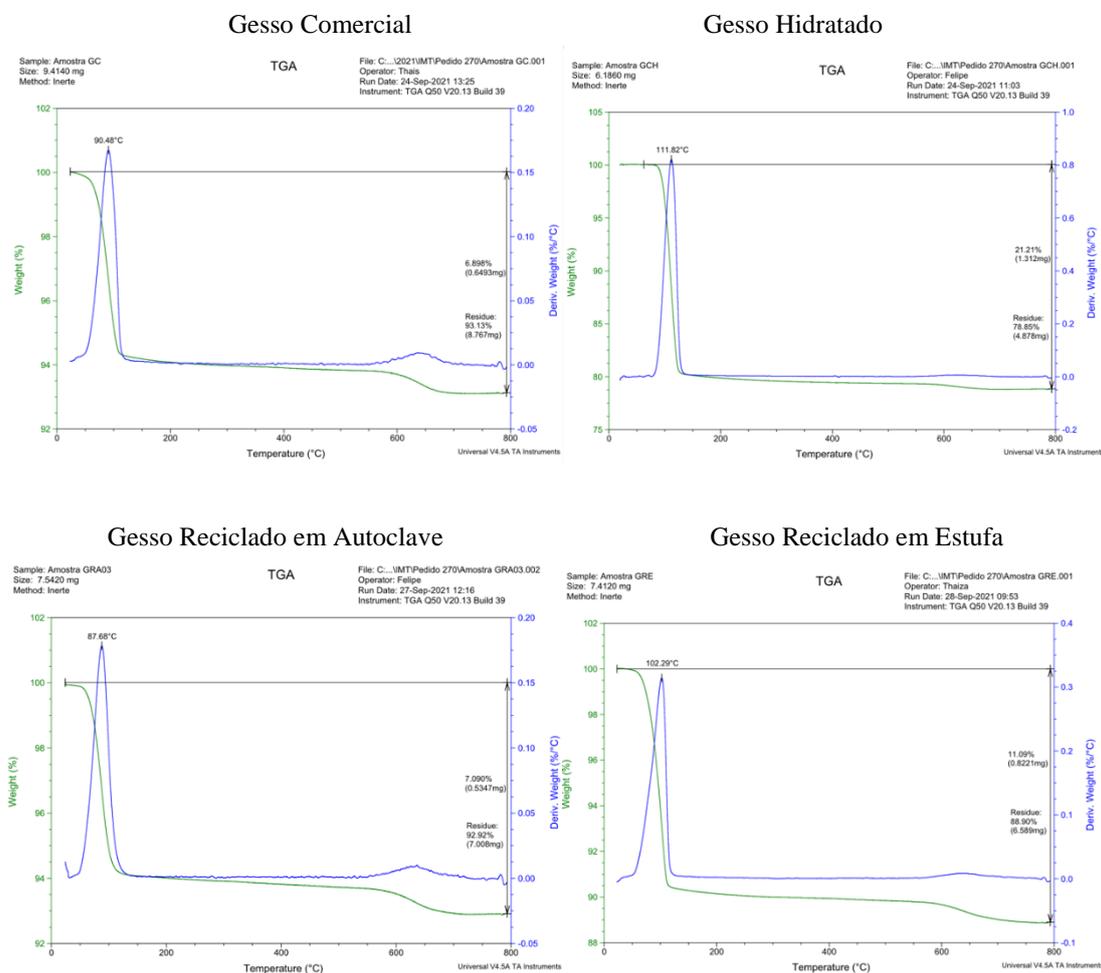


Figura 8 - Resultados dos ensaios de termogravimetria

Com os resultados dos ensaios percebe-se que as 4 amostras apresentaram seu pico de variação mássica na faixa entre 90 e 100 °C, no entanto, a porcentagem de massa alterada entre elas diferiu consideravelmente. Em ordem crescente, temos o GC que perdeu, em miligramas, por volta de 6,9% de massa, seguido do GRAO (7,1%), GRE (11,1%) e GH (21,21%).

Outro dado que se pode notar está na temperatura de maior alteração mássica, no qual o GRAO foi a amostra que mais se aproximou do GC.

Conclusões

O Gesso Reciclado em Estufa não apresentou características satisfatórias para este tipo de material reciclado ser recomendado para algum uso em obra. Apesar de sua massa específica e sua massa unitária estarem bem próximas do material base, Gesso Comercial, sua cinética de hidratação e seu ensaio de consistência mini-slump saíram demais do comportamento desejado. Talvez um estudo com

uma relação água/gesso diferente dos usados neste projeto possam apresentar resultados mais promissores.

Em relação ao Gesso Reciclado em Autoclave Odontológica, quando comparados a trabalhos anteriores, os resultados provaram que seu comportamento é mais constante do que o Gesso Reciclado em Estufa para diferentes relações água/gesso. A amostra em questão, apresentou resultados consistentes para massa específica, área superficial, cinética de temperatura e termogravimetria. Apenas o teste de mini-slump não foi possível executar por conta da sua pasta secar antes do ensaio. Portanto seria válido aprofundar estudos em cima deste material.

Referências Bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: Agregado graúdo - determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água, Rio de Janeiro. ABNT, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12127 - Gesso para construção civil — Determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro. ABNT, 2017a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12128 - Gesso para construção civil — Determinação das propriedades físicas da pasta de gesso. Rio de Janeiro. ABNT, 2017b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12129 - Gesso para construção civil — Determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro. ABNT, 2017c.

PILOTTO, Diego; CORDON, Heloísa Cristina Fernandes. Estudo das propriedades do gesso reciclado sob diferentes tipos de calcinação. In: 11º Seminário Mauá de Iniciação Científica, São Caetano do Sul. Anais... São Caetano do Sul: 2019.

DOLEZ`ELOVÁ, Magdaléna; SCHEINHERROVÁ, Lenka; KREJSOVÁ, Jitka; VIMMROVÁ, Alena. Effect of high temperatures on gypsum-based composites. Elsevier **Construction and Building Materials**, 168 (2018) 82–90.

WEIMANN, Karin; ADAM, Christian; BUCHERT, Matthias; SUTTER, Juergen. Environmental Evaluation of Gypsum Plasterboard Recycling. **Minerals** 2021,11, 101.

<https://doi.org/10.3390/min11020101>