

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

**PCC3556 - Materiais e Componentes,
Reciclagem e Gestão de Resíduos da Construção**

Prof. Dr. Sergio Cirelli Angulo



TRABALHO FINAL

GRUPO 5

Everton Costa (8011111)
Henrique Leal Reis Morello (10706211)
Luiz Fernando Cavalcante Silva (10774382)

São Paulo
Dezembro de 2019

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	2
1.1 OBJETIVO	2
MATERIAIS E MÉTODOS	3
2.1) Processo de Reciclagem - Laboratório da da Engenharia de Minas	3
2.2) Processo de Reciclagem - Calcinação.	4
RESULTADOS	7
CONCLUSÕES	10

1. INTRODUÇÃO

O gesso de construção é obtido pela calcinação de um minério natural, o gipso, que é composto essencialmente da gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). O gesso tem como seu principal constituinte o hemi-hidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) que, em contato com a água, se hidrata, formando novamente a gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Essa reação é responsável pelo endurecimento e pela resistência mecânica da pasta.

O gesso é um material usado na construção civil em todo o mundo e a sua utilização está crescendo devido às suas diferentes aplicações, tais como, revestimentos de paredes e tetos, peças para decoração, placas para forro e placas acartonadas para paredes (drywall). As vantagens da utilização do gesso, na construção civil, são o seu bom desempenho, a fácil aplicação e o acabamento liso. Sua principal desvantagem é a sua incapacidade de se manter intacto quando aplicado em locais sujeitos à umidade, necessitando, assim, atenção especial quanto aos ambientes em que será utilizado. O gesso utilizado na construção civil, como revestimento de paredes, apresenta uma grande perda de material. De acordo com Dias (1994), os valores médios de desperdício desse material, durante a sua aplicação, são maiores do que 45% da quantidade de gesso utilizada. Camarini, Pimentel e Sá (2011), em um estudo para quantificar a quantidade de resíduo gerado durante o processo de aplicação do gesso como revestimento interno de paredes, apontaram uma média de 18% a 35% de resíduo de gesso gerado durante esse processo.

Portanto, devido a esse elevado desperdício e à crescente conscientização sobre a reciclagem de materiais, a manutenção de recursos naturais e a preservação do meio ambiente, os resíduos de gesso da construção apresentam-se como um importante material que pode ser reciclado na cadeia produtiva da construção civil.

Assim, avaliar a viabilidade técnica da utilização do gesso reciclado, como revestimento de paredes ou componentes em obras de construção civil, torna-se um desafio que deve ser enfrentado

1.1 OBJETIVO

Estudar as propriedades do gesso reciclado obtido a partir dos resíduos de gesso provenientes do revestimento de paredes e tetos. Neste estudo são avaliados o tempo de pega e variação de temperatura na cura do gesso reciclado, estabelecida uma finura e temperatura de calcinação embasada na literatura científica existente. Assim como a comparação com o gesso convencional.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1) Processo de Reciclagem - Laboratório da da Engenharia de Minas

Inicialmente, 3.876,8 g de Resíduo de Gesso Hidratado relação A/G (água gesso) 0,44 foi britado por duas vezes em um britador de mandíbula a fim de se obter partículas pouco maiores do que 1 cm para que essas pudessem ser processadas por meio do britador de rolo. O britador de mandíbulas quebra as partículas maiores em menores por meio de compressão e cisalhamento provocados pelo movimento dos dentes e do conflito destes com os materiais.

Em seguida, 3.861,3 g de material britado, ou seja, houve perda de 4% de resíduo na britagem, foi processado no moinho de rolos (Figuras 1 e 2) por três vezes até atingir uma quantidade considerável de partículas menores que 1,18mm. O moinho de rolos utilizado é da fabricante Furlan (Figura 4), trabalha com um rpm de 350 e foi fabricado no ano de 1996. A máquina apresenta dois rolos com uma abertura de dimensão regulável entre eles. Ambos rolos giram em direção a essa abertura, levando as partículas de material para a abertura e as fragmentando em frações menores quando a partícula é maior que a abertura. Entretanto, deve-se atentar para a dimensão adequada da abertura, pois uma dimensão de fresta muito pequena para o tamanho médio de partículas pode provocar giros em falso e perda da eficiência do processo.

Para averiguar a quantidade de material obtida nessa faixa granulométrica a cada passagem do material no equipamento o grupo utilizava a peneira 1,18mm para peneirar todo o material (Figura 3).



Figura 1 - Britagem



Figura 2 - Rolo



Figuras 3 e 4 - Peneiramento



Após a finalização do processamento por meio do moinho de rolos o material passou pelo moinho de bolas. Tal equipamento é um compartimento em que se coloca o material

junto de esferas de material metálico e que posteriormente é lacrado e colocado em um equipamento que agita o compartimento, provocando o choque das bolas com o material e as bordas do compartimento, reduzindo assim a granulometria média do material.

Como a dimensão do moinho era limitada o grupo utilizou o processo de quarteamento para retirar da amostra que passou pela peneira de 1,18mm uma massa de entrada no moinho de 523,59g. O material ficou por 15 minutos em processamento no moinho e posteriormente foi retirado.

Seguindo as orientações, o grupo buscou peneirar o material proveniente do moinho de bolas em uma peneira com abertura de 75 μ m e após 90 minutos de peneiramento com auxílio de um equipamento de peneiramento mecanizado do laboratório obteve 101,48g de material com granulometria inferior a 200 μ m e 419,09g de material com granulometria superior a 75 μ m. Assim a massa de saída do moinho de bolas foi de 520,57g, resultando em apenas 0,58% de perdas no processo. Como a massa obtida de material fino foi muito pequena em um grande período de tempo e a granulometria do material obtido parecia próxima com a de um gesso comercial o grupo decidiu em calcinar todos os 520,57g de material para realizar os ensaios granulométricos, de fim e início de pega e de calor de hidratação.

2.2) Processo de Reciclagem - Calcinação.

Para a etapa de calcinação foi utilizada como base a tese de doutorado da aluna da Universidade Estadual de Campinas Sayonara Pinheiro, que estruturou e testou nesse trabalho procedimentos e parâmetros para produzir gesso reciclado.

Em sua tese são testados materiais de gesso utilizado britados e moídos em diferentes temperaturas de calcinação e tempos de calcinação em estufa. Ao estudar o trabalho, o grupo percebeu que o material que foi calcinado em uma estufa a 150°C por 1 hora apresentou resultados de início e fim de pega e resistência à compressão muito próximos aos resultados obtidos com um gesso comercial. Por esses motivos e pelo tempo limitado para realizar o trabalho, o grupo optou pela calcinação a 150°C por 1h em uma estufa convencional

Seguindo as recomendações da tese, o grupo utilizou para o processamento uma estufa sem circulação de ar convencional que fica no hall tecnológico com temperatura regulável. Após ligar o equipamento, o grupo esperou a temperatura se estabilizar e colocou o material em um recipiente metálico para a calcinação e cronometrou um tempo de 1h. Após isso, o grupo esperou cerca de 30 minutos para o resfriamento do material antes de

armazená-lo em um saco plástico amarrado com uma fita para que esse seja utilizado nos ensaios posteriores de início de fim de pega além do ensaio de calor de hidratação. Na tese foi estabelecida que a amostra deveria ser separada em bandejas e não deveria ter espessura maior que 1cm para a melhor eficiência do processo, porém, por falta de materiais para atender essa demanda no laboratório, o grupo não controlou a espessura da amostra dentro da estufa.

Para a execução dos ensaios o material calcinado foi quarteado duas vezes para evitar erros amostrais incorporados aos erros experimentais. Dessa forma, parte do que foi quarteado foi enviado para o ensaio granulométrico e a outra parte foi hidratada para a realização dos outros ensaios.

2.3) Ensaios com gesso comercial e reciclado.

A fim de mensurar algumas propriedades importantes o grupo realizou ensaios com o material reciclado e com o gesso convencional disponibilizado no laboratório de materiais de construção, dessa forma seria possível comparar o desempenho dos dois materiais e concluir se o método de reciclagem utilizado foi eficiente ou não.

O grupo realizou os ensaios de determinação de início e fim de pega, normalizados pela ABNT NBR 12128:2019, e o ensaio de estudo do calor de hidratação, que teve como base algumas prescrições do mesmo ensaio para cimento portland especificado na norma ABNT NBR 12006:1990.

Para os dois materiais o primeiro procedimento é a partir da proporção água / gesso pré determinada - nesse caso 0,44 - quantificar em massa a quantidade de aglomerante e água nessas proporções de forma a produzir pasta o suficiente para moldar o tronco de cone para o ensaio de pega e preencher o recipiente na garrafa de isopor até que o termômetro fique imerso na pasta para a medida do calor de hidratação.

Obtidas e separadas as quantidades adequadas o responsável pelo experimento deve iniciar a contagem no cronômetro e polvilhar o material fino sobre a bacia de água por 1 minuto, deixar a mistura descansar por 2 minutos e posteriormente mexer com uma espátula por mais 1 minuto. Após a fase de mistura o tronco de cone deve ser preenchido e sua superfície deve ser regularizada e nivelada com a espátula para que fique lisa e rente a borda do molde.

A partir do molde do corpo de prova deve-se colocá-lo sobre o aparelho de Vicat (Figura 5) e em períodos regulares de tempo em pontos diferentes descer a agulha para verificar se a pega já iniciou. O tempo de início de pega corresponde ao tempo indicado no

cronômetro quando a agulha não penetrar mais até o fundo do corpo de prova e atingir a marca 0 mm na escala de medida, mas sim parar na marcação de 1 mm.

Após a identificação do tempo de início de pega, deve-se continuar perfurando o corpo de prova em intervalos de tempo regulares para a definição do tempo de fim de pega (Figura 6). Por definição da norma, o tempo de fim de pega corresponde ao momento em que a agulha não penetra mais na face do corpo, deixando apenas uma leve impressão superficial. Dessa forma, o tempo de início e fim de pega são obtidos pelo intervalo de tempo entre o primeiro contato do gesso com a água até as duas situações apresentadas anteriormente.

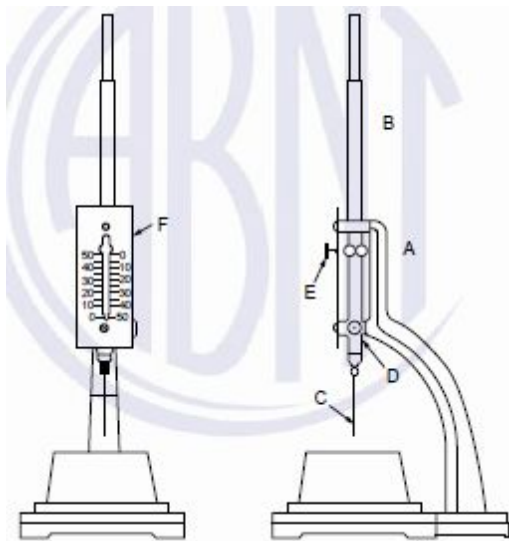


Figura 5 - Equipamento de Vicat



Figura 6 - Corpo de prova

Paralelamente a esse ensaio deve ser controlado o calor de hidratação do gesso. Para tal controle um copo plástico acoplado a um sensor de termômetro é preenchido de pasta até que o sensor esteja dentro da pasta. Posteriormente, para promover isolamento térmico, o copo é colocado em uma garrafa de isopor afastado do fundo e a temperatura é registrada em intervalos constantes de 1 em 1 minuto (Figura 7).

A partir dessa análise é possível desenhar a curva de temperatura do gesso em função do tempo, podendo assim serem extraídas informações relevantes a respeito do processo de hidratação e relacioná-las ao tempo de início e fim de pega.

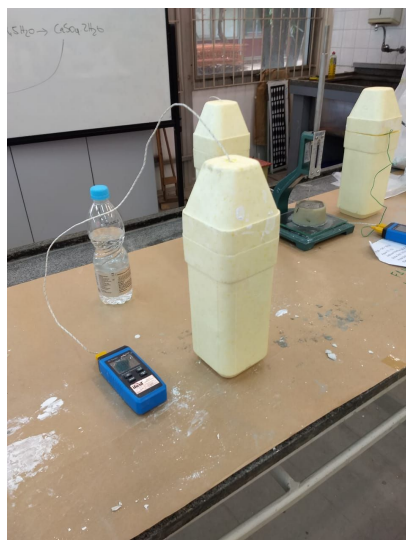


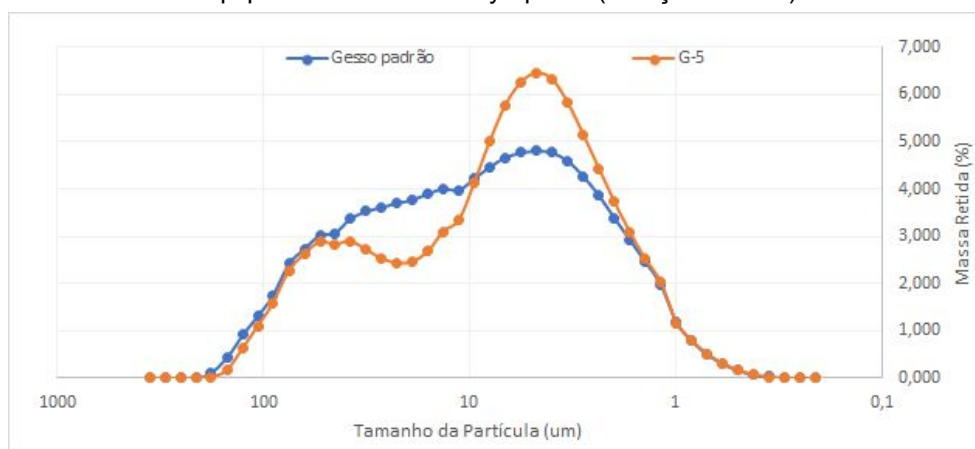
Figura 7 - Ensaio de calor de hidratação

Algumas recomendações da norma não foram executadas pelo grupo por falta de tempo e equipamentos. Podemos citar no ensaio de determinação do início e fim de pega não foi feito o peneiramento da amostra com mais de 3Kg por uma peneira de malha de 2mm, pois não havia essa massa de material e a peneira não estava disponível no momento dos ensaios. Além disso, a relação água gesso e a composição foram pré determinadas e, por isso, não foi realizado o ensaio de determinação da consistência normal como especificado na norma e a temperatura da sala e a umidade do ar não foram controladas para observar se seus valores estavam dentro dos padrões exigidos na norma.

3. RESULTADOS

As amostras, em pó, enviadas para ensaios de granulometria e massa específica retornaram os seguintes resultados:

Gráfico 1: Granulometria dos pós de gessos padrão e reciclado (G-5) feita com o equipamento Helos da Sympatec (difração a laser)



A massa específica do pó de gesso reciclado foi definida pelo equipamento AccuPyc 1340 da Micromeritics (picnômetro de gás), tendo seu valor como 2529 kg/m³, que é coerente com o valor encontrado por BARDELLA(2011) para gesso reciclado calcinado a 150°C.

A granulometria mostra que a finura dos grãos reciclados está de acordo com o tamanho de partículas do gesso padrão, sendo um pouco mais finas, mas os dois atendem ao requisito granulométrico da NBR 13207:2017, em que, tanto para gesso para fundição quanto gesso para revestimento devem ter mais de 90% de resíduos passantes nas peneiras de 290 um e 210 um, o que pode ser visto no gráfico 1, já que as 0% de massa foram retidas nessas peneiras (Figura 8)

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

Figura 8: Requisitos do gesso para construção civil (granulometria seca)
Fonte: NBR13207:2017

Já para os ensaios com os corpos de teste, os resultados para o gesso padrão, com relação água/gesso de 0,44 foram:

Início de pega: 17 min; Fim de pega: 31 min.

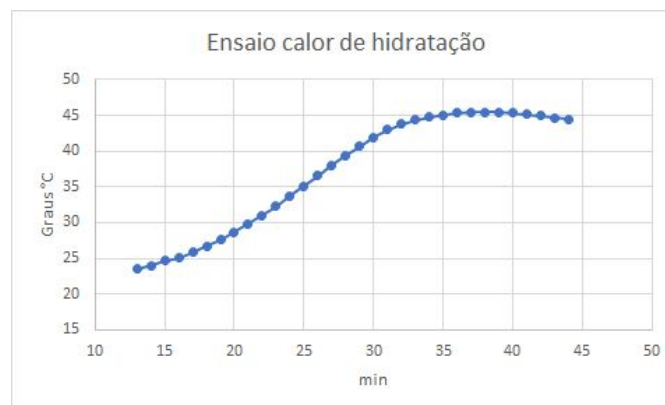


Gráfico 2: Ensaio calor de hidratação gesso padrão 0,44

Os tempos de pega não estão de acordo com a norma para gesso na construção civil que constam na NBR13207:2017. Porém estão próximos ao gesso para revestimento sem aditivos (Figura 9).

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

Figura 9: Requisitos do gesso para construção civil (tempo de pega)
Fonte: NBR13207:2017

O curva do ensaio de calor de hidratação do gesso padrão está coerente com as presentes em Bardella (2011)

As comparações entre os ensaios com corpos moldados não puderam ser feitas pois o corpo moldado de gesso reciclado não teve início e fim de pega em 72h. Isso gerou uma discussão sobre possíveis motivos para a não hidratação do gesso reciclado. Em consulta a outros colegas, ao professor e a teses sobre gesso reciclado, alguma hipóteses surgiram.

As primeiras considerações vêm da literatura, “É importante destacar, também, que o endurecimento do gesso será afetado por diferentes fatores, tais como: (...) tempo de calcinação, finura e forma dos grãos.” (BARDELLA, 2011). Assim, as primeiras suspeitas caíram sobre a granulometria e a massa específica, mas após os resultados e a coerência dessa com a literatura e com o gesso padrão, essa hipótese foi descartada. Com isso, entrou em pauta a questão da calcinação como o fator para a não hidratação.

O primeiro fator discutido em relação a problema com calcinação teve relação com o tempo e a temperatura, acreditava-se que o tempo de 1h ou a temperatura de 150°C tenham sido insuficientes, essa hipótese é menos provável pois outros dois grupos de teste obtiveram o mesmo resultado falho com calcinações de 180°C durante 4h (Grupo 1) e 200°C durante 1h (Grupo 2), essa baixa probabilidade também é corroborada pela literatura pois houveram testes com sucesso, usando essas mesmas temperaturas e tempos em Pinheiro (2011).

Então, o professor Sérgio Cirelli Angulo apontou um possível problema na calcinação, a espessura da camada de gesso dentro da mufla que, como apontada nos procedimentos, não foi controlada de acordo com a metodologia usada em Pinheiro (2011), em bandejas com espalhamento homogêneo, controle de massa e altura máxima de 1cm, pois a mufla disponível era muito pequena e a calcinação foi feita em pequenas tigelas cerâmicas com uma grande camada espessa de gesso. Essa hipótese tem coerência pois esse procedimento foi repetido não só pelo grupo desse trabalho, mas também pelos grupos 1 e 2 anteriormente citados. Além disso, em ERBS (2015) ocorreu o mesmo problema para gessos calcinados a 160 °C, 180 °C e 200 °C nos tempos de 8h e

semelhante, com um falso início de pega e sem fim de pega, nas mesmas temperaturas mas com tempo de 1h. No procedimento usado por ERBS (2015) há o uso de bandejas para calcinação, com massa controlada, mas não há citações sobre espalhamento homogêneo com altura máxima e o registro fotográfico mostra uma grande camada de gesso presente no recipiente.



Figura 10: Grande camada de gesso calcinado em bandeja
Fonte: ERBS (2015)

Por fim, Bardella (2011) diz que no processo de calcinação industrial, em que há equipamento especializado e maior controle, surge uma porcentagem de material que não sofreu calcinação (di hidratado), logo, considerando as condições de laboratório e a falta de cuidado com certos procedimentos, pode-se supor que houve uma grande porcentagem de material não calcinado após a calcinação, impedindo a hidratação e consequentemente endurecimento do gesso reciclado.

4. CONCLUSÕES

Nessa pesquisa buscou-se testar as propriedades do gesso reciclado comparando com o gesso comercial.

Algumas limitações experimentais podem ser apontadas para não se comprovar experimentalmente o que outras contribuições científicas sugerem, como o ensaio não ter sido realizado imediatamente após calcinação (umidade em contato com o gesso). O espalhamento do material não ter sido suficiente na estufa durante a calcinação (camada de aproximadamente de 1cm), havendo perda menor de umidade do que o necessário. E uma possível granulometria inadequada.

5. REFERÊNCIAS

BARDELLA, Paulo Sérgio. **Análise das Propriedades de Pastas de Gesso de Construção Reciclado**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12006:1990**. Cimento – Determinação do calor de hidratação pelo método da garrafa de Langavant. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **NBR 12128:2019**. Gesso para construção civil — Determinação das propriedades físicas da pasta de gesso. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 13207:2017**. Gesso para construção civil - requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

ERBS, Alexandre. **Determinação das propriedades físicas e mecânicas do gesso reciclado proveniente das chapas de gesso acartonado**. 2015. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

PINHEIRO, Sayonara Maria de Moraes. **Gesso reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2011.