

RECICLAGEM DO GESSO COM UTILIZAÇÃO DE MICRO-ONDAS NO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO

Camila de Carvalho Correia 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 gesso é um material largamente utilizado na construção civil. Depois dos materiais argilosos, os resíduos de gesso são os maiores poluentes nas construções residenciais devido ao curto tempo útil para utilização após misturado com a água (chamado de tempo de pega) e à mão de obra despreparada para manuseá-lo. Ocorre um grande desperdício desse material sólido urbano depositado em aterros, contaminando o solo e a água e liberando gases tóxicos e inflamáveis na atmosfera. Assim, o interesse pela reciclagem dos resíduos de gesso torna-se importante. É bastante viável reciclá-lo: basta calcinar o material em temperaturas amenas (140°C a 160°C) para que ele volte à sua composição inicial. Entretanto, ainda não existe uma tecnologia de reciclagem consolidada para este material. Esta pesquisa procurou encontrar condições ideais às quais os resíduos devem ser manipulados no forno de micro-ondas, de modo aperfeiçoar a reciclagem deste material e possibilitá-lo tornar-se um bem de consumo futuramente.*

Introdução

A indústria da construção civil é responsável por uma elevada extração de recursos naturais do planeta (GUSMÃO, 2008), sendo a busca por aglomerantes, agregados e demais materiais o motivo da extração, o que, posteriormente, se torna um grande gerador de resíduos. Entre os materiais que têm sua utilização em largo crescimento na construção civil, destaca-se o gesso. Este pode ser considerado o aglomerante mais antigo que se conhece (BERNHOEFT; GUSMÃO; TAVARES, 2005). Nos dias atuais, a utilização desse mineral vem crescendo de forma relevante, especialmente no contexto da construção civil, que tradicionalmente é um grande agente gerador de resíduos. Entre os diferentes segmentos da cadeia produtiva da construção civil, o segmento gesseiro apresenta um grande potencial de contribuição para a sustentabilidade da indústria da construção, devido ao baixo consumo energético do processo de produção e da viabilidade de reciclagem dos resíduos gerados ao longo de sua cadeia produtiva (JOHN; CINCOTTO, 2003, 2007).

O revestimento de gesso pode promover superfícies planas e regulares, possibilitando menores espessuras, pela não necessidade de utilização de agregado. Além disso, o gesso proporciona menor custo e maior produtividade no serviço (ANTUNES, 1999). O gesso para revestimento tem sido visto pelas construtoras como uma alternativa ao sistema convencional de revestimento, por sua qualidade e baixo custo, uma vez que o revestimento em pasta de gesso pode substituir a camada de chapisco, a argamassa (emboço/massa única) e, na etapa de preparação para pintura (nos casos de utilização desse sistema), a massa corrida. Seu endurecimento rápido propicia a diminuição do tempo útil para aplicação do acabamento final, em relação à argamassa produzida à base de cimento. Porém, a precária técnica da mão de obra em aplicá-lo leva a quantidades absurdas de resíduos de gesso gerados.

Apesar de a reciclagem do gesso ser bastante simples e viável, bastando calcinar o resíduo de gesso hidratado a temperaturas amenas para a geração do gesso na forma de hemidrato, a literatura diz que o gesso reciclado apresenta tempo de pega ainda menor, o que levaria a quantidades de resíduos ainda maiores em sua aplicação.

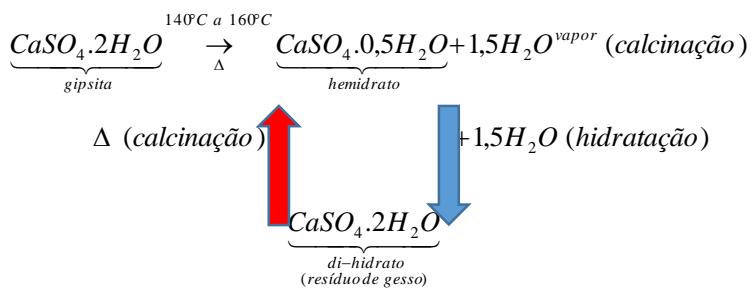


Figura 1 – Reversibilidade das reações de transformação da gipsita em gesso.

Adaptado: PINHEIRO, 2011

Por ser um material solúvel em água, a presença de gesso em aterros traz problemas em longo prazo devido a lixiviação, podendo afetar a composição e o pH da água e solo (JOHN; CINCOTTO, 2003). Outras condições presentes em aterros sanitários e lixões, tais como umidade, baixo pH e presença de bactérias redutoras de sulfato levam à formação do gás sulfídrico (H_2S) que é tóxico e inflamável (CIWMB, 2001; AHMED *et al.*, 2011).

Em todas as etapas de produção e aplicação do gesso de construção são gerados resíduos, desde a extração da matéria-prima até sua aplicação como material de construção, passando pelas etapas de produção do gesso e beneficiamento de componentes (PINHEIRO, 2011).

Até meados de 2011, os resíduos de gesso provenientes de construção e demolição eram definidos como não recicláveis, pois se enquadravam na classe “C” de acordo com a Resolução 307/2000 do CONAMA (BRASIL, 2002), por se considerar não haver tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitissem sua reciclagem ou recuperação. Com a publicação da Resolução 431/2011 do CONAMA (BRASIL, 2011), o resíduo de gesso tornou-se reciclável, uma vez que sua classificação foi alterada para a categoria “B”.

Entretanto, Pinheiro (2011) salienta que, apesar de ser considerado um resíduo reciclável, são quase inexistentes as usinas de reciclagem de gesso e sua destinação continua sendo um problema, tendo em vista o fato de não ser aceito nos aterros sanitários, pelos motivos expostos anteriormente, e serem raras as áreas de transbordo e triagem apropriadas para sua disposição final.

Como alternativa à calcinação tradicional do gesso é interessante considerar a utilização da energia de micro-ondas no processo de reciclagem.

A energia de micro-ondas é usada há mais de 40 anos no processamento de materiais, em aplicações como processos de secagem de cerâmicas (MENEZES; SOUTO; KIMINAMI, 2007). Vários são os benefícios do uso da energia de micro-ondas, como a redução nos tempos de processamento e economia de energia, o que torna os processos baseados no aquecimento por micro-ondas interessantes para aplicações industriais. A energia de micro-ondas transforma-se em calor dentro do material, resultando, em regra geral, em significante economia de energia e redução do tempo de processamento, fator decisivo para aceitação em muitas aplicações industriais.

No processo térmico convencional, ocorre inicialmente o aquecimento da superfície do material e só em seguida, através de processos de convecção e condução, a energia térmica é transferida para o interior do corpo cerâmico. Em contraste, a energia de micro-ondas é transformada em calor diretamente dentro do material através da interação das moléculas e átomos com o campo eletromagnético, o que possibilita o aquecimento interno e volumétrico do material, provocando a formação de gradientes de temperaturas e fluxos de calor invertidos, comparativamente ao processo de aquecimento convencional. Essas características permitem o aquecimento de peças grandes de maneira rápida e uniforme, sem a geração de elevadas tensões térmicas que podem causar trincas ou danos às peças, de acordo com estudos em cerâmica conduzidos por Menezes, Souto e Kiminami (2007). A Figura ilustra a diferença na forma de aquecimento do forno convencional e do forno de micro-ondas.

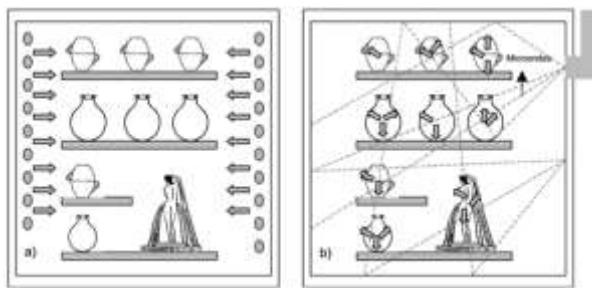


Figura 2 - Padrão de aquecimento em a) forno convencional e b) forno de micro-ondas.

Fonte: MENEZES; SOUTO; KIMINAMI, 2007

Existem basicamente três tipos de materiais que interagem com as micro-ondas de diferentes formas: o primeiro tipo de material é chamado de transparente ou isolante, o segundo de condutor ou opaco e o terceiro de amortecedor ou não homogêneo. Segundo Menezes, Souto e Kiminami (2007), os materiais transparentes às micro-ondas permitem a total passagem das ondas através de si, sem perdas significativas de energia; materiais opacos refletem as ondas eletromagnéticas, sendo os metais os principais representantes dessa categoria. Os materiais não homogêneos podem não aquecer uniformemente. Isto é, algumas partes dos materiais aquecem mais rapidamente do que outras.

A aplicação industrial mais comum de secagem por micro-ondas é a de aquecimento, e entre as aplicações de aquecimento, nas mais utilizadas estão materiais como papel, tinta, couro, madeira, compensado, plásticos, gesso, borracha, produtos farmacêuticos e alimentícios.

Embora seja mais comum, tanto em residências como na indústria, observar os fornos convencionais de micro-ondas que são basicamente uma caixa de metal, este tipo de aplicador das micro-ondas não é o mais eficiente. Aplicadores de micro-ondas de modelo contínuo podem ser desenvolvidos tipicamente para cada aplicação (LEAL, 2012).

O esquema simplificado do sistema de aquecimento por forno de micro-ondas é formado, basicamente, por quatro componentes: fonte de energia, magnetron, aplicador e forno.

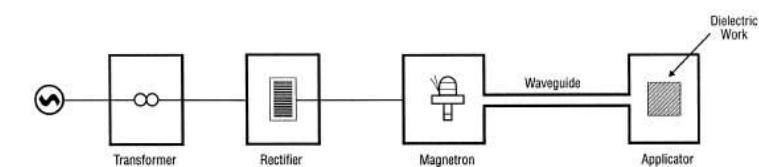


Figura 3 – Diagrama simplificado do sistema de aquecimento por micro-ondas.

Fonte: HAQUE, 1998

De acordo com Cook (1986) *apud* Haque (1999), Schiffmann (1987) *apud* Haque (1999) e Doelling *et al.* (1992) *apud* Haque (1999), a energia de micro-ondas pode ser usada na secagem de vários tipos de materiais e produtos de diversas áreas, como agricultura, química, têxtil, papel e outras. Segundo Haque (1999), secagem é a remoção do solvente fisicamente adsorvido em outras substâncias, já a desidratação é definida pela remoção da água ligada quimicamente a uma substância, como ocorre na reação do di-hidrato para geração de anidrita.

Se o material for transparente às micro-ondas, como é o caso do gesso, pode-se adicionar carbono, magnetita ou carbeto de silício, que auxiliam no aquecimento do sistema, volatilizando o solvente.

O desenvolvimento de uma tecnologia de secagem do gesso por micro-ondas é de grande importância, uma vez que é crescente o interesse na utilização de energia de micro-ondas nos processamentos dos materiais, em virtude do potencial para a diminuição nos

custos de produção, com economia de energia e redução no tempo do processamento (MENEZES; SOUTO; KIMINAMI, 2007).

Material e Métodos

Neste trabalho foi utilizado apenas um tipo de gesso: gesso de construção (denominado GC). O gesso foi obtido na forma de hemidrato e então hidratado, com diferentes relações de água/gesso (40%, 50% e 60%). O procedimento de hidratação se deu de acordo com a norma NBR 12128 (ABNT, 1991). Deve-se colocar a quantidade de água necessária num recipiente, polvilhar o gesso durante 1 minuto, esperar 2 minutos e misturar durante 1 minuto.

Após completa secagem, o gesso foi moído em moinho de martelos. Posteriormente, foi desidratado com o auxílio dos equipamentos: estufa e forno de micro-ondas, para a comparação dos dados e análise do método mais eficiente. As análises foram realizadas observando a quantidade de perda de água em porcentagem de massa.

Na estufa analisou-se o comportamento do gesso para os tempos de 15min, 30min, 1h e 1h30 e temperaturas 140°C, 150°C e 160°C. No forno de micro-ondas analisou-se o comportamento do gesso sob potências que variavam entre 500 W e 900 W e tempos até que as variações de massas em grama ocorressem na segunda casa decimal.

Porém, como visto nos ensaios preliminares, o forno de micro-ondas não aqueceu o gesso devidamente, uma vez que o gesso em pó é transparente às micro-ondas, e não gerou perda de massa. Então, foram feitos estudos com gesso em pasta (logo após ser misturado com a água), como um método alternativo de desidratação. Também foi estudado o gesso em pasta na estufa para possíveis comparações. Como o material do recipiente utilizado interfere nos resultados, foi utilizado cadrinho de porcelana em todos os experimentos (estufa e micro-ondas).

1. Desidratação no forno de micro-ondas

Foi utilizado forno de micro-ondas com cavidade convencional adaptada para laboratório.



Figura 4 – Forno de micro-ondas utilizado. (Acima do forno localiza-se o visor que mostra as potências de “ida” e de “volta”. Abaixo do forno localiza-se a balança).

Foi feita uma pasta de gesso e colocada dentro do forno de micro-ondas antes do seu endurecimento. Analisou-se o comportamento do gesso submetido a potências que variavam entre 500 W e 900 W e tempos até que as variações de massas em grama ocorressem na segunda casa decimal.

Foram obtidas 3 amostras de 100g cada de GC através dos procedimentos citados. As análises foram realizadas observando a quantidade de perda de água em porcentagem de massa. Foi possível analisar as condições ideais que o GC deve ser submetido para ser reciclado no forno com êxito, como:

- i. Potência absorvida pelo gesso;
- ii. Relação água/gesso;

- iii. Tempo necessário até que as variações de massas em grama ocorressem na segunda casa decimal;

Com os valores de “potência absorvida” nas Figuras 10, 11 e 12 é possível observar quando o gesso está absorvendo mais energia. Se a “potência absorvida” possui um valor alto, significa que o gesso está absorvendo bastante calor, caso contrário o gesso está absorvendo pouco calor.

No início do experimento observa-se vapor saindo do forno de micro-ondas, o que significa que a água presente no gesso atingiu a temperatura de ebulição. Esse momento ocorre nos primeiros minutos, o gesso absorve bastante calor, perde bastante água e a sua massa varia acentuadamente. Com o decorrer do tempo fica mais difícil retirar a água presente no gesso, por isso a variação de massa passa a ser menor e a “potência de volta” passa a ser maior.

A balança que media os valores de massa possui erro de $\pm 3\text{g}$, pois observou-se que a massa variava no máximo 3g .

A potência incidida no gesso varia bastante a cada segundo, os valores tabelados foram das maiores potências encontradas a cada minuto.

O gesso no forno de micro-ondas demorou cerca de 30 minutos até que a desidratação se estabilizasse e a variação de massa em gramas ocorresse na segunda casa decimal.

Ao fim do experimento, quando retiramos o recipiente com o gesso, observamos que o gesso já se encontra endurecido, com bolhas e buracos devido a evaporação da água.

2. Desidratação na estufa

A estufa de laboratório utilizada possui 147 l de capacidade e controle eletrônico de temperatura (até 250 °C). O gesso foi submetido a uma combinação de temperaturas e tempos de exposição diferentes para análise da melhor condição de desidratação na estufa, nos seguintes procedimentos:



Figura 5 – Estufa utilizada na desidratação dos gessos GC.

Realizaram-se ensaios com gesso seco e gesso em pasta na estufa. Foram obtidas 36 amostras de 80g cada de GC seco através dos procedimentos citados, e 9 amostras de gesso GC em pasta; estes últimos foram analisados somente para a temperatura de 140°C. Foi possível analisar as condições ideais que o GC deve ser submetido para ser reciclado na estufa com êxito, como:

- i. Tempo;
- ii. Temperatura;
- iii. Relação água/gesso.

Resultados e Discussão

As massas iniciais das Figuras 6, 7 e 8 são iguais a 80g.

1.1. Ensaios com gesso seco na estufa

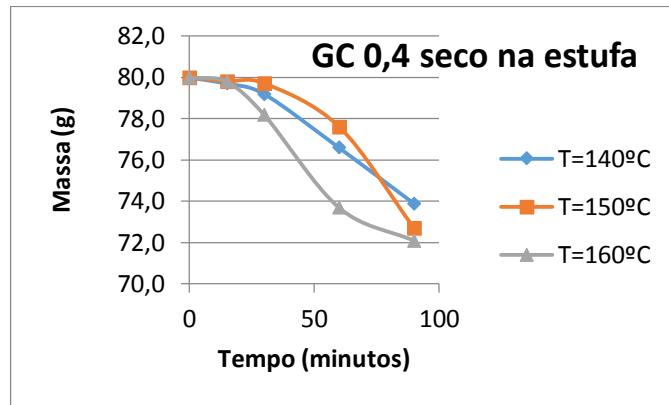


Figura 6 – análise da perda de massa de água do gesso GC 0,4 variando o tempo e a temperatura.

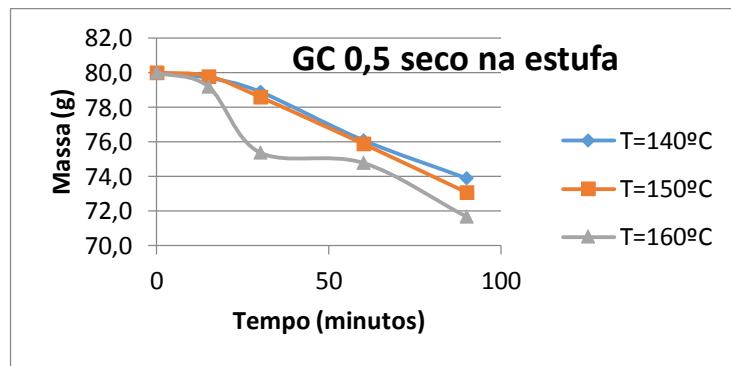


Figura 7 – análise da perda de massa de água do gesso GC 0,5 variando o tempo e a temperatura.

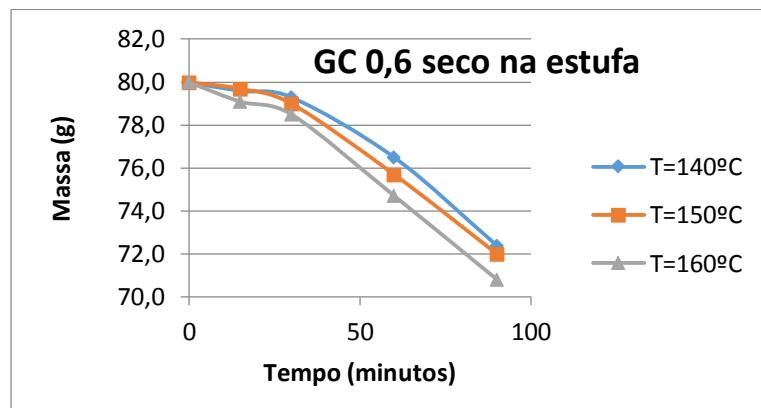


Figura 8 – análise da perda de massa de água do gesso GC 0,6 variando o tempo e a temperatura.

1.2. Ensaios com gesso em pasta na estufa

As massas iniciais da Figura 9 são: para o GC 0,4 m=347,5g; para o GC 0,5 m=370,9g e para o GC 0,6 m=381,8g.

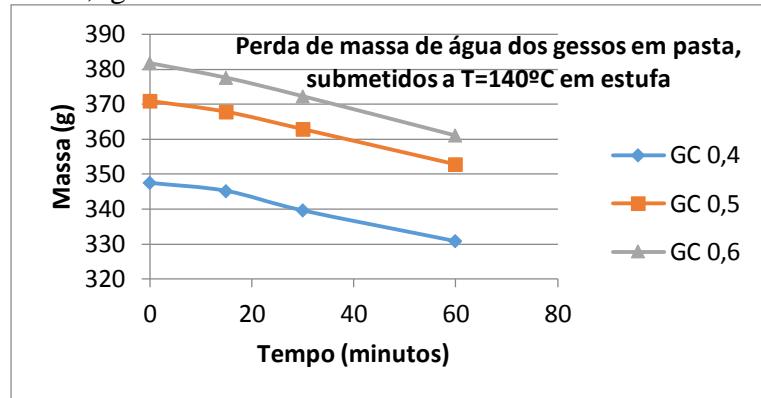


Figura 9 – análise da perda de massa de água dos gessos variando o tempo na temperatura de 140°C.

2.2. Ensaios com gesso em pasta no forno de micro-ondas

Massas iniciais: Figuras 10: m=348,09g; Figura 11: m=369,49g; Figura 12: m=359,37g.



Figura 10 – curva da variação de massa em gramas no tempo para o GC 0,4 no forno de micro-ondas, indicando a potência absorvida pelo GC em alguns pontos.



Figura 11 – curva da variação de massa em gramas no tempo para o GC 0,5 no forno de micro-ondas, indicando a potência absorvida pelo GC em alguns pontos.



Figura 12 – curva da variação de massa em gramas no tempo para o GC 0,6 no forno de micro-ondas, indicando a potência absorvida pelo GC em alguns pontos.

Conclusões

O gesso seco na estufa obteve maior perda percentual de massa no maior tempo, que foi de 1h30min. A temperatura de 160 °C foi a que mais favoreceu a perda de massa. A relação água/gesso que mais influenciou para a perda de massa foi a do GC 0,6 com aproximadamente 10,5% de perda de água, sendo esse o melhor resultado obtido na estufa.

O gesso em pasta na estufa obteve maior perda percentual de massa no maior tempo de ensaio, que foi de 1h. Também obteve melhores resultados para a temperatura de 160 °C e relação água/gesso de 0,6. Aparentemente o gesso em pasta teve resultados um pouco maiores comparados aos resultados do gesso seco. Para o tempo de 1h, T=140°C e GC 0,6, o gesso em pasta perdeu 5,448% de água e o gesso seco perdeu 4,375%. Porém, não podemos afirmar que o gesso em pasta é mais eficiente comparado ao seco, em termos de desidratação, porque o gesso seco perdeu massa na evaporação da água enquanto endurecia, o que não foi controlado.

O gesso GC em pasta no forno de micro-ondas obteve os melhores resultados nos maiores tempos: para o GC 0,4 tempo de 26 minutos e para os GC 0,5 e 0,6 tempo de 30 minutos. A relação água/gesso de maior influência também ocorreu para o GC 0,6, com 17,33% de perda de água.

É possível observar que a desidratação no forno de micro-ondas é mais vantajosa do que a desidratação na estufa. O gesso em pasta colocado minutos no forno de micro-ondas obtém resultados mais eficientes do que horas na estufa. Para o tempo de 26 minutos o GC 0,4 perde 11,51%, o GC 0,5 perde 13,72% e o GC 0,6 perde 17,26% de água. Enquanto isso, na estufa submetidos às melhores condições (temperatura de T=160°C e tempo de 1h30min) o GC 0,4 perde 9,875%, o GC 0,5 perde 10,375% e o GC 0,6 perde 11,500%. Essa discrepância ocorre porque o aquecimento no forno de micro-ondas é mais rápido e uniforme. Na estufa, ocorre inicialmente o aquecimento da superfície do material e só em seguida, através de processos de convecção e condução, a energia térmica é transferida para o interior do corpo cerâmico. Em contraste, a energia de micro-ondas é transformada em calor diretamente dentro do material através da interação das moléculas e átomos com o campo eletromagnético, o que possibilita o aquecimento interno e volumétrico do material de maneira mais eficiente quando comparada ao forno convencional.

Porém, não se pode afirmar que o di-hidrato se transformou em hemidrato e que a reciclagem do gesso obteve sucesso. O GC 0,4, por exemplo, deveria ter apresentado perda maior que 40%, uma vez que esses 40% são a água da hidratação. Como apresentou apenas 11,51% concluímos que ainda há água presente em sua composição e que o forno de micro-ondas não conseguiu retirar tampouco a água da hidratação nem a água presente no gesso.

No forno de micro-ondas a potência incidida no gesso varia bastante, mas concluímos que quanto maior a potência incidida maior será o calor absorvido pelo gesso e mais intensa será a desidratação.

A temperatura mais eficiente na estufa foi de T=160°C, pois o gesso está submetido ao maior calor que fará com que a água presente no gesso evapore.

A relação água/gesso que mais influenciou para a perda de massa, em todos os casos, foi do GC 0,6, isso porque este gesso possui maior quantidade de água em sua composição (60g de água a cada 100g de gesso GC).

Segundo os dados experimentais obtidos nesta pesquisa, o melhor resultado de desidratação do gesso ocorreu quando submetemos o GC ao forno de micro-ondas, à potência incidida máxima de aproximadamente 900 W e a um tempo de aproximadamente 30 minutos.

Referências Bibliográficas

ANTUNES, R. P. N. **Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso.** 1999. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Gesso para construção civil – Determinação das propriedades físicas da pasta.* Rio de Janeiro: ABNT, 1991. (NBR 12128).

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. **Rochas e Minerais Industriais.** Ministério da Ciência e Tecnologia, Centro De Tecnologia Mineral, 2005.

BERNHOEFT, L. F. **Caracterização de propriedades físicas e mecânicas de argamassa com gesso reciclado.** 2010. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife.

BERNHOEFT, L., GUSMÃO, A., TAVARES, Y. **Influência da adição de resíduo de gesso no calor de hidratação da argamassa de revestimento interno,** 2011.

(http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212011000200013&lng=en&nrm=iso).

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2002) Resolução CONAMA nº. 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2002. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. (2011) Resolução CONAMA nº. 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução no 307, de 5 de julho de 2002, do CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial.

CIWMB (California Integrated Waste Management Board) **Drywall Recycling.** 2001. Disponível em: (<http://www.calrecycle.ca.gov/Publications/Detail.aspx?PublicationID=375>).

GUSMÃO, A. D. **Manual de Gestão dos Resíduos da Construção Civil.** Camaragibe, PE: CSS, 2008.

HAQUE, K. E. **Microwave energy for mineral treatment processes – a brief review.** *Int. J. Miner. Process.*, 1999.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301751699000095>).

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. *Reciclagem de resíduos da construção*. In: SEMINÁRIO RECICLAGEM DE RESÍDUOS DOMICILIARES, São Paulo. Disponível em: www.reciclagem.pcc.usp.br . Acesso em: 12 ago. 2003.

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

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. Gesso de construção civil. In: ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil**. São Paulo: Ibracon, 2007.

KOJIMA, Y., YASUE, T. Synthesis of large plate-like gypsum dihydrate from waste gypsum board. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 26, p. 777–783, 2006.

KURESKI, R. *et al.* O macrossetor da construção civil na economia brasileira em 2004. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 2008.

LEAL, BRUNO. **Contribuição ao estudo da Secagem com micro-ondas de carbonato de cálcio precipitado**, 2012. São Caetano do Sul.

(file:///C:/Users/Usuario/Downloads/contribuicao-ao-estudo-da-secagem-com-micro-ondas-de-carbonato.pdf).

LYRA SOBRINHO, A C P; AMARAL, A.J.R.; DANTAS, J.O.C.; DANTAS, J.R.A. **Gipsita**. Balanço Mineral Brasileiro. 2001. Brasília. Disponível em: (<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/gipsita.pdf>).

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.

MELO, D. C. P. **Estudo teórico-experimental da desidratação da gipsita para obtenção de um gesso beta reciclável**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Departamento de Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

MENEZES, R., SOUTO, P., KIMINAMI, R. **Microwave sintering of ceramics. Part I: fundamental aspects**, v.53, 2007. Laboratório de Desenvolvimento e Processamento de Materiais em Microondas – LaDProM. Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de S. Carlos.
(http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132007000100002&lang=pt).

PINHEIRO, S. M. M. **Gesso reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes**. 2011. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas.