



Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Desenvolvimento de Metodologia para  
Reciclagem do Resíduo de Gesso  
gerado nas Práticas de Processos  
Inorgânicos Experimentais**

Lucas Gomes Padilha Neto

**Projeto de Final de Curso**

Orientador: Marcelo Mendes Viana, D. Sc.

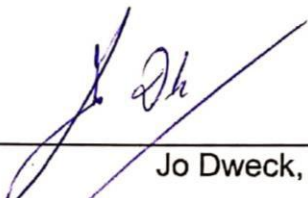
Dezembro de 2019

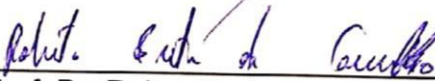
# Desenvolvimento de Metodologia para Reciclagem do Resíduo de Gesso gerado nas Práticas de Processos Inorgânicos Experimentais

Lucas Gomes Padilha Neto

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química,  
como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Químico  
Industrial.

Aprovado por:

  
\_\_\_\_\_  
Jo Dweck, D. Sc.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Roberto Bentes de Carvalho, D. Sc.

  
\_\_\_\_\_  
Caren Vale Ouverney, MSc. Sc.

Orientado por:

  
\_\_\_\_\_  
Marcelo Mendes Viana, D. Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Dezembro de 2019

Padilha Neto, Lucas Gomes.

Desenvolvimento de Metodologia para Reciclagem do Resíduo de Gesso gerado nas Práticas de Processos Inorgânicos Experimentais. Lucas Gomes Padilha Neto. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2019.

(Projeto Final) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Escola de Química, 2019.

Orientador: Marcelo Mendes Viana.

1. Gesso. 2. Calcinação. 3. Hemi-hidrato. 4. Anidrita. 5. Projeto Final. (Graduação – UFRJ/EQ). 6. Marcelo Mendes Viana, D. Sc. Desenvolvimento de Metodologia para Reciclagem do Resíduo de Gesso gerado nas Práticas de Processos Inorgânicos Experimentais. Lucas Gomes Padilha Neto. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2019.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, aos meus familiares por todo o apoio e tempo investido durante esta longa caminhada dentro e fora do curso de Química Industrial, onde dentro dos meus acertos e erros sempre estiveram presentes para que eu pudesse me desenvolver não só academicamente, mas também pessoalmente, assim como, quando em vida, meu avô João Augusto Siqueira Gomes me ensinou.

Agradecer também a todos os amigos que trilharam essa caminhada para conclusão deste curso, não só todos da turma de 2012.2 do curso noturno, mas também a todos os outros que de alguma forma participaram desta caminhada e serão companheiros de profissão desta área que atuaremos.

Aos amigos de longa data Marcus Vinícius, Lucas Silva e Marcelo Pereira que sempre quando necessário, estiveram presentes nos momentos mais complicados como suporte.

Agradecimentos também ao meu orientador, Professor Doutor Marcelo Mendes Viana que me auxiliou durante a realização deste trabalho e aos que se dispuseram a formar essa banca avaliadora do Projeto Final de Curso.

Meus agradecimentos ao Labtech (Laboratório de Tecnologias do Hidrogênio) pela disponibilidade dos equipamentos de Microscopia Eletrônica de Varredura e pela Difração de Raio-X para obtenção dos resultados neste trabalho.

E por último, a você que lê esse trecho que de alguma forma utilizará este material como forma de auxiliar no desenvolvimento de novas pesquisas ou apenas para consulta sobre o tema para interesse próprio.

## RESUMO

Com o acelerado desenvolvimento da sociedade, a geração de resíduos tem sido tema recorrente nas discussões entre especialistas, buscando inovações e utilidades para os principais resíduos gerados, principalmente na área da construção civil. Nesse setor, cerca de 51 a 70% de todos os resíduos sólidos urbanos coletados, sendo o gesso um dos materiais mais utilizados e encaminhados para aterros sanitários. Com o intuito de evitar esse tipo de disposição, este trabalho busca reciclar os resíduos de gesso gerados nas aulas práticas da disciplina de Processos Inorgânicos Experimentais, produzindo gesso reciclado a partir de metodologias baseadas em secagem e calcinação. Os gessos reciclados e sua versão original foram caracterizados por Análise Térmica e Difração de Raios-X (DRX). Seus processos de hidratação foram analisados pelo teste de Vicat e Análise Térmica Diferencial Não Convencional (NCDTA) e aplicados na produção de giz, o qual teve sua superfície analisada por Microscopia eletrônica de Varredura (MEV). Os resultados indicaram que as metodologias utilizadas na reciclagem foram eficientes na eliminação da água de hidratação do resíduo de gesso. Nos testes de Vicat e NCDTA, verificou-se que os gessos reciclados endureciam muito rapidamente em comparação com o original, o que evidenciou a presença de anidrita III em suas composições. A anidrita acelerou a pega dos gessos reciclados, ou seja, a precipitação dos seus cristais de di-hidrato ocorreu rapidamente, conseqüentemente, conforme análise de MEV, a superfície transversal do giz produzido a partir do gesso reciclado se apresentou pouco porosa e com muitos cristais entrelaçados. Esses cristais causaram obstrução da estrutura, o que não conferiu maciez para o material ser utilizado nos quadros negros das salas de aula.

Palavras-chave: Gesso, Calcinação, Reciclagem, Giz, Análise Térmica.

## ABSTRACT

With the rapid development of society, waste generation has been a recurring theme in discussions among experts, seeking innovations and utilities for the main waste generated, especially in the area of construction. In this sector, about 51 to 70% of all urban solid waste collected, the plaster is one of the most used materials and sent to landfills. In order to avoid this kind of disposal, this work seeks to recycle the plaster residues generated in the practical classes of the Experimental Inorganic Processes discipline, producing recycled plaster from methodologies based on drying and calcination. The recycled plaster and its original version were characterized by Thermal Analysis and X-ray Diffraction (XRD). Its hydration processes were analyzed by Vicat test and Non Conventional Differential Thermal Analysis (NCDTA) and applied to chalk production, which had its surface analyzed by Scanning Electron Microscopy (SEM). The results indicated that the methodologies used in the recycling were efficient in eliminating the hydration water of the plaster residue. In the Vicat and NCDTA tests, it was found that the recycled plaster hardened very quickly compared to the original, which evidenced the presence of anhydrite III in their compositions. Anhydrite accelerated the take up of the recycled plaster, that is, the precipitation of its dihydrate crystals occurred quickly, consequently, according to SEM analysis, the transverse surface of the chalk produced from the recycled plaster presented little porous and with many crystals intertwined. These crystals caused structure obstruction, which did not soften the material for use in classroom blackboards.

Keywords: plaster, calcination, recycling, chalk, thermal analysis

# SUMÁRIO

RESUMO.....	v
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
3.1. Aglomerantes.....	5
3.2. Gesso .....	5
3.3. Processo de produção do gesso .....	6
3.3.1. Mineração .....	7
3.3.2. Britagem .....	12
3.3.3. Moagem e Classificação.....	7
3.3.4. Calcinação .....	8
3.3.5. Embalagem.....	10
3.4. Tipos de gesso.....	11
3.5. Hidratação do gesso e sua cinética .....	12
3.6. Reciclagem do resíduo de gesso.....	15
4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	17
4.1. Métodos de reciclagem .....	18
4.2. Caracterizações .....	20
4.2.1. Análise Térmica.....	20
4.2.2. Difração de Raios-X .....	21
4.2.3. Análise Térmica Diferencial Não-Convencional (NCDTA) e Teste Vicat .....	21
4.2.4. Microscopia Eletrônica de Varredura .....	23
4.3. Produção de giz .....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
5.1. Caracterização do gesso original e dos reciclados.....	25
5.1.1. Análise Térmica.....	25
5.1.2. Difração de Raios-X .....	31
5.1.3. NCDTA e Vicat.....	31
5.2. Produção de giz .....	35
5.2.1. Microscopia Eletrônica de Varredura .....	35
6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES .....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41

# LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Forno panela.....	17
FIGURA 2 – Forno marmitta vertical (A) e horizontal (B).....	17
FIGURA 3 – Forno rotativo.....	18
FIGURA 4 – Microscopia Eletrônica de Varredura (A) Alfa hemi-hidrato e (B) Beta hemi-hidrato. .....	20
FIGURA 5 –Modelo teórico para a hidratação do gesso e suas etapas de indução, aceleração e reação lenta.....	23
FIGURA 6 – Fluxograma de reciclagem do gesso .....	25
FIGURA 7 – Fluxograma das principais atividades desenvolvidas nesse trabalho .....	26
FIGURA 8 – Aspecto dos resíduos de gesso gerados nas práticas de PIExp .....	27
FIGURA 9 – Métodos de reciclagem para o RG e seus produtos .....	28
FIGURA 10 – Gesso original utilizado nas práticas de PIExp.....	28
FIGURA 11 – Esquema simplificado do sistema de NCDTA.....	31
FIGURA 12 – Conformação dos gessos forma de silicone para produção de giz .....	33
FIGURA 13 – Curvas TG e DTG para o gesso original hidratado e não hidratado.....	34
FIGURA 14 – Curvas TG e DTG para o gesso original hidratado e não hidratado na base do não hidratado .....	36
FIGURA 15 – Composições do gesso original não hidratado e do gesso reciclado não hidratado .....	37
FIGURA 16 – Curvas TG para os gessos não hidratados .....	38
FIGURA 17 – Curvas DTG para os gessos não hidratados.....	39
FIGURA 18 – Difractogramas de Raios-X para o gesso original e os reciclados não hidratados	40
FIGURA 19 – Curvas de diferença de temperatura para pastas de gesso original analisado utilizando consistências de 0,7, 0,8 e 0,9 .....	41
FIGURA 20 – Curvas de diferença de temperatura para pastas do gesso original e dos reciclados analisados utilizando consistência de 0,8.....	42
FIGURA 21 – Curvas de tempos de pega obtidas pelo aparelho de Vicat para pastas dos gessos original e reciclados analisados utilizando consistência de 0,8 .....	43
FIGURA 22 – Micrografias para a superfície transversal do giz de gesso original (esquerda) e de GR3 (direita) .....	44
FIGURA 23 – Micrografias para a seção transversal do giz de gesso original (esquerda) e de GR3 (direita).....	45
FIGURA 24 – Micrografias para a seção e superfície transversal do giz da Marca Piratininga.	46



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Exigências físicas para as pastas de gesso para construção civil - Tempo de pega .....	21
TABELA 2 – Descrição das pastas de gesso analisadas por NCDTA .....	31

# 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os ambientalistas passaram a se preocupar ainda mais com os riscos ambientais que as indústrias geram à sociedade e às gerações futuras. Através de projetos, leis e medidas, iniciou-se uma conscientização sobre o tema, onde cada vez mais as indústrias buscam formas de reaproveitar os resíduos gerados nas suas operações, evitando o pagamento de multas e despesas a órgãos ambientais e transformando-os em receita, seja vendendo seu resíduo a outras empresas ou reutilizando-os no próprio processo operacional.

A construção civil é uma das maiores responsáveis pela geração de resíduos, devido ao grande volume para disposição final, entre 51 a 70% dos resíduos sólidos urbanos coletados (MARQUES NETO, 2005).

Em meados dos anos 1980, iniciaram-se os estudos de caracterização e quantificação dos Resíduos da Construção Civil (RCC), que auxiliou na década de 1990 a realização de ensaios sobre reciclagem e o surgimento de inúmeras usinas de reciclagem e triagem, sendo a maioria controlada por municipalidades como aponta Pinto (1999).

Os principais instrumentos legais referentes aos RCC's são: as Resoluções CONAMA n° 307/2002, 348/2004 e 431/2011, as Normas Técnicas Brasileiras n°15.112/2004, n°15.113/2004, n°15.114/2004, n°15.115/2004, n°15.116/2004; a Lei 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Decreto Regulamentador n° 7404/2010.

De acordo com o Art. 13 da Lei n° 12.305/2010 e a resolução CONAMA 307/2002, os resíduos de construção civil (RCCs) são aqueles gerados nas construções, em reformas, em reparos e em demolições de obras de construção civil, bem como os resultantes da preparação e escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliças ou metralha (BRASIL, 2002). São definidos e classificados em quatro classes pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n° 307/2002, em função do seu potencial para serem reciclados ou reutilizados.

A Resolução 307/2002 do CONAMA, ainda classifica os Resíduos da Construção e Demolição (RCD) da seguinte forma (BRASIL, 2002):

- Classe A - 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.
- Classe B - Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras, gesso e outros;
- Classe C - Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação;
- Classe D - Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos, lâmpadas fluorescentes, pilhas e baterias ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais, telhas de amianto e outros.

Segundo essa resolução, o resíduo de gesso seria classificado como classe C, o que gerou controvérsia, pois também pode ser utilizado pelas empresas cimenteiras como espessante; como adubo agrícola auxiliando na lixiviação de alumínio do solo; como nutriente, fornecendo cálcio e enxofre para as plantações; dentre outras. Com isso, houve sua alteração, classificando o resíduo de gesso de classe C (não reciclável) para a classe B (reciclável).

Assim sendo, no contexto de reciclagem do gesso, esse trabalho visa diminuir o descarte de resíduos de gesso (gesso hidratado, ou seja,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) os quais são gerados nas aulas de Processos Inorgânicos Experimentais (PIExp). Para isso, serão propostas metodologias de reciclagem, através das quais foram produzidos diferentes tipos de gessos reciclados que foram caracterizados quanto à composição e comportamento da hidratação. Além disso, o gesso reciclado foi aplicado na produção de giz de quadro negro.

Levando em consideração a reciclagem, diminuiu-se a necessidade de extração de novas matérias-primas para produção do gesso por mineração, uma atividade ultra impactante. Além disso, menos resíduos serão dispostos em aterros sanitários visto que serão utilizados novamente.

## 2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal desenvolver metodologias para a reciclagem do resíduo de gesso (gesso hidratado) gerado nas aulas práticas da disciplina de PExp.

Os objetivos específicos foram:

- Investigar a influência da secagem e calcinação do gesso gerados nas práticas de PExp;
- Caracterizar o gesso original e suas versões recicladas por Análise Térmica (TG e DTG) e Difração de Raios-X;
- Investigar a hidratação do gesso e suas versões recicladas por Análise Térmica Diferencial Não Convencional (NCDTA) e Vicat;
- Produzir giz utilizando o gesso reciclado.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1. Aglomerantes

Os aglomerantes são materiais que têm como objetivo unir os grãos dos agregados, sendo utilizados na obtenção de pastas, argamassas e concretos.

Os principais aglomerantes usados são o cimento, cal aérea, cal hidráulica e o gesso.

A classificação dada aos aglomerantes quimicamente ativos é definida por:

- Hidráulico Simples: reagem na presença de água, sendo constituído por um único aglomerante, podendo ser misturado a outras substâncias, em pequenas quantidades, com a finalidade de regular o tempo de pega;
- Hidráulico Composto: reagem na presença de água, sendo aglomerantes simples, com adição de materiais com propriedades cimentícias como a Pozzolana, Escórias, etc;
- Misto: mistura de dois ou mais aglomerantes;
- Aéreos: endurecem pela ação química do CO<sub>2</sub> com o ar.

Além dos quimicamente inertes, como a argila e o betume.

### 3.2. Gesso

O gesso é um dos materiais de construção mais antigos fabricados pelo homem. Sua obtenção consiste no aquecimento a uma temperatura não muito elevada, por volta de 160 °C, e uma posterior cominuição de um mineral em abundância na natureza: a gipsita.

A partir das descobertas arqueológicas, na Síria e Turquia, identificou-se o uso de gesso em ruínas que remontam a 8.000 anos antes de Cristo, há evidências que o homem tenha descoberto o gesso, bem como a sua reação característica com a água, ao fazer fornos escavando solos repletos de gipsita (BAUER, 2001).

É encontrado em praticamente todo o mundo, e ocorre no Brasil em terrenos cretáceos de formação marinha, principalmente na região nordeste, sua cor geralmente é branca, mas impurezas pode conferir a ele tons acinzentados, amarelados, rosados ou marrons.

O material evoluiu muito ao longo do tempo sendo muito utilizado em várias áreas. Na Europa e nos Estados Unidos este material representa um papel importante na construção, onde vem se adaptando as novas formas e tendências construtivas.

No Brasil o seu emprego limitava-se, servindo apenas para execução de decoração interna em edifícios de acabamento esmerado.

Nos últimos anos a indústria da construção tem utilizado o gesso de forma mais significativa, seja em substituição do reboco convencional ou da massa corrida em pinturas ou em rebaixamento de tetos, na execução de molduras com os mais variados detalhes ou, no uso de blocos de gesso e painéis acartonados para substituição das alvenarias convencionais.

### ***3.3. Processo de produção do gesso***

O gesso é caracterizado, referente à sua composição química, como sulfato de cálcio hemi-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ). Para sua produção, é utilizado como matéria-prima a gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), um mineral compacto que possui baixa dureza, pouco solúvel em água e muito solúvel em ácido clorídrico (HCl). No estado natural, o sulfato de cálcio também pode ser encontrado totalmente desidratado, na forma de anidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) e, raramente, na forma hemi-dratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ).

No Brasil, o depósito mais importante de gipsita está localizado em Pernambuco, na região do Araripe, situada no limite dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, onde se localiza o Polo Gesseiro do Araripe. Segundo Oliveira et al. (2012) e Peres et al. (2008), essa região possui a melhor qualidade de gipsita do mundo, devido ao elevado teor de pureza do minério.

O Polo Gesseiro do Araripe é responsável por produzir cerca de 1,45 milhões de toneladas de gipsita, representando 89% da produção brasileira. Desse percentual, cerca de 33% da produção são destinadas ao uso de cimenteiras, abastecendo as fábricas do Nordeste Brasileiro, colaborando com 19,3% da produção nacional de cimento. As etapas de fabricação do gesso são divididas em: mineração, britagem, homogeneização, moagem, classificação, calcinação e embalagem.

### **3.3.1. Mineração**

A extração do minério de gipsita é realizada a céu aberto e em forma de bancadas. Na operação de desmonte são utilizados normalmente marteletes para perfuração, cargas explosivas de média potência, bombas d'água, pás carregadeiras, etc. Após o desmonte, os blocos maiores são fragmentados até possuir um peso de aproximadamente 40 Kg. Esses fragmentos são então transportados para o pátio de estocagem das calcinadoras para o beneficiamento de acordo com o processo de produção (SINDIGESSO).

### **3.3.2. Britagem**

Existem tipos de britagem que são classificadas em: compressão e impacto. Os britadores por compressão têm como característica esmagar o material até quebrá-lo e os por impacto utilizam o princípio do rápido impacto para despedaçar o material.

Na exploração de gipsita, geralmente, utilizam-se os britadores de mandíbula, que utilizam a compressão, e os de martelos, que utilizam o impacto. Após a britagem, o material é armazenado e homogeneizado em silos para a próxima etapa do processo (SINDIGESSO).

### **3.3.3. Moagem e Classificação**

A moagem é a sequência natural da etapa de britagem, na qual ocorre uma fragmentação mais fina dos minérios não cominuídos de forma adequada. Nesse processo, as partículas são reduzidas pela combinação de impacto, compressão, abrasão e atrito para posterior classificação e concentração. Na moagem, são utilizados moinhos cilíndricos ou de martelo. Geralmente, para cominuição da gipsita utiliza-se os moinhos de martelo (SINDIGESSO).



### 3.3.4. Calcinação

A etapa fundamental na fabricação do gesso é a calcinação, pois além da pureza da gipsita, é necessária uma temperatura adequada para garantir que não produza subprodutos indesejáveis no processo. Para essa etapa, existem diferentes tipos de fornos de calcinação. Cada um com uma característica peculiar, sendo 4 tipos: panela, marmita, rotativo e marmita giratório.

#### A. Forno Panela

Fornos que se caracterizam pela forma de panelões de aço, circulares e abertos, com grande diâmetro e de pequena altura, conforme a Figura 1. Normalmente estão sobre uma fornalha de alvenaria, no qual a lenha é usada para combustão. Ocorre a queima junto a mistura de gipsita, dificultando o controle da calcinação e obtendo gesso sub e super calcinado (calcinação heterogênea). Devido a isso, tem entrado em extinção no Polo Gesseiro de Araripe.

Nesses fornos, as pás agitadoras realizam a homogeneização da calcinação e, os controles de temperatura e do tempo de residência do material do forno são realizados empiricamente através da observação visual.



Figura 1: Forno panela.

Fonte: <http://pt.slideshare.net/prismatica/introduo-Ao-gesso>.

## B. Forno Marmita

Esses equipamentos são caracterizados pelo formato de cubas fechadas, nos quais o calor presente na parte inferior é gerado pela queima de óleo BPF ou lenha (Figura 2). A temperatura pode ser controlada por pirômetros e um sistema de palhetas internas garante a homogeneidade do material. Assim como o forno panela, pode ocorrer a calcinação heterogênea.



Figura 2: Forno marmita horizontal.

Fonte: Supergesso S/A – Araripina/PE.

## C. Forno Rotativo

O forno rotativo é mais moderno e possui como característica o formato de um tubo giratório constituído de aço e material refratário com grande extensão e pequena inclinação (Figura 3). Nesse equipamento, o minério entra em contato direto com a chama que sai do maçarico. O minério calcinado percorre, por ação da gravidade, toda a extensão do forno e o seu tempo de residência é controlado pela velocidade de rotação do tubo.

O processo possui melhor controle de calcinação por proporcionar uma queima mais uniforme (calcinação homogênea), gerando um produto de melhor qualidade, sem contaminação e com um controle mais efetivo da temperatura, tendo maior produtividade.



Figura 3: Forno rotativo.

Fonte: Djfornos.

#### D. Forno Marmita Giratório

O forno de marmita giratório apresenta o formato de um tubo giratório de aço e material refratário, tendo a sua extensão dependente do volume de produção. Em alguns casos, possui controle automatizado seguindo instruções rigorosas pré-estabelecidas através de computadores.

Nesse equipamento, o minério não entra em contato direto com a chama e, em alguns casos, apresenta um controlador de tempo, temperatura e de perda de massa. Também pode haver controle de pressão interna, no qual o material permanece na cuba, tendo sua descarga em estado intermitente.

Existem alguns parâmetros na calcinação que afetam de forma direta o produto final produzido. A temperatura e a pressão são parâmetros muito importantes nesta etapa do processo.

### **3.3.5. Embalagem**

Após a calcinação, o gesso é devidamente embalado para posterior distribuição ao mercado consumidor. Para sua aplicação na construção civil, a hidratação do gesso é realizada.

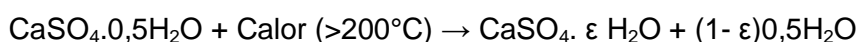
### 3.4. Tipos de gesso

As diferentes temperaturas de calcinação geram reações de desidratação da gipsita também distintas com produto final variado. Essas reações são demonstradas pelas equações a seguir:

- Formação do hemi-hidrato (Gesso)

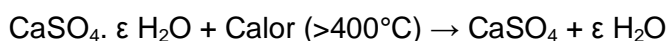


- Formação da Anidrita III



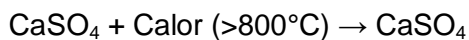
Composto solúvel que possui grande instabilidade, ocorrendo a transformação em hemi-hidrato com a umidade de ar com tempo de pega rápido.

- Formação da Anidrita II



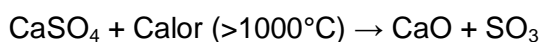
Composto insolúvel que possui maior estabilidade do que a anidrita III com tempo de pega mais lento.

- Formação da Anidrita I



Composto inerte que possui maior resistência à hidratação.

- Formação da CaO



Formação de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico.

A pressão é o outro fator que afeta diretamente na etapa de calcinação podendo ocorrer sob pressão atmosférica ou em autoclaves. Quando sob pressão atmosférica, ocorre a formação do hemi-hidrato beta e quando em autoclaves, onde a calcinação é realizada sob pressão de vapor de água maior que a atmosférica, ocorre a formação do hemi-hidrato alfa.

O hemi-hidrato beta possui como características específicas a rápida liberação da água de cristalização, a formação de cristais irregulares (heterogêneos), a

formação de sólidos porosos e possui um menor custo para sua produção, fazendo com que seja bastante utilizado na construção civil.

O hemi-hidrato alfa possui uma liberação mais lenta da água de cristalização, tendo uma desidratação mais uniforme, formação de cristais mais homogêneos e de material menos poroso. Apesar de conferir maior resistência mecânica, esse método apresenta alto custo de produção. Esse material possui aplicações mais nobres, como na odontologia e ortopedia.

Conforme a Figura 4, através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), é possível observar que o hemi-hidrato alfa forma cristais prismáticos devido à liberação mais lenta da água de cristalização, diferentemente do hemi-hidrato beta que forma cristais irregulares e porosos.

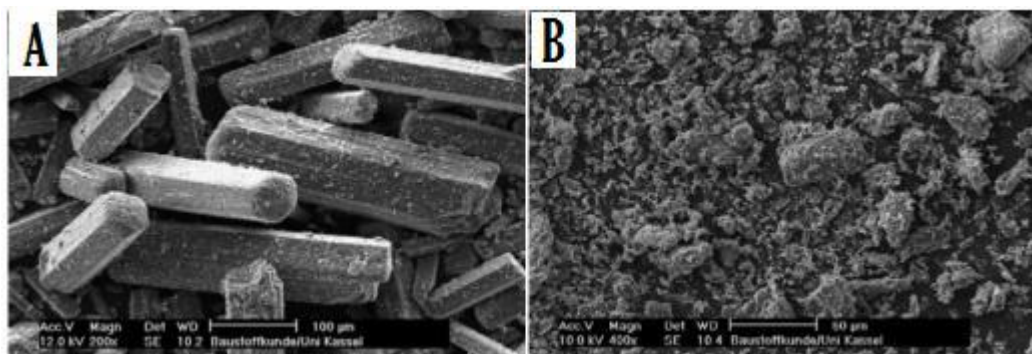


Figura 4: Microscopia Eletrônica de Varredura (A) Alfa hemi-hidrato e (B) Beta hemi-hidrato.

Fonte: Adaptado de Singh e Middendorf (2007).

### **3.5. Hidratação do gesso e sua cinética**

O gesso, quando hidratado, passa por um processo tornando maleável por certo tempo e em seguida ocorre o endurecimento da pasta. Esse fenômeno é explicado pela reação de hidratação, processo em que ocorre liberação de calor (MUNHOZ & RENÓFIO, 2006). O gesso sendo um aglomerante, quando entra em contato com a água de amassamento, possui um tempo limitado para trabalhabilidade, tempo esse menor que outros aglomerantes como o cimento, por exemplo.

Esse tempo de início e final do endurecimento é chamado de tempo de pega e é importante para mensurar o uso de pessoal e equipamentos para a realização das tarefas no processo industrial. O tempo de pega é influenciado diretamente pela

cinética da reação que apresenta comportamento diferenciado nos gessos comerciais e reciclados.

O tempo de pega do gesso pode ser modificado, dependendo da necessidade de sua aplicação. Alguns fatores que variam esse tempo são: o aumento da temperatura de calcinação, da granulometria (BAUER, 2001) e da quantidade de água de amassamento (PETRUCCI, 1998) aumentam o tempo de pega. O incremento da energia de amassamento (MAGNAN, 1973 apud ANTUNES, 1999) e o aumento do tempo de mistura (RIBEIRO, 2006) reduzem o tempo de pega do gesso. Alguns aditivos controladores de pega também interferem na velocidade da reação. Os tempos de pega do gesso são limitados pela NBR 13.207:1994, segundo a Tabela 1.

Tabela 1: Exigências físicas para as pastas de gesso para construção civil - tempo de pega.

Classificação do gesso	Tempo de pega (minutos)	
	Início	Fim
Gesso fino para revestimento	> 10	> 46
Gesso grosso para revestimento	> 10	> 45
Gesso fino para fundição	4 - 10	20 - 45
Gesso grosso para fundição	4 - 10	20 - 45

Fonte: NBR 13207:1994.

A determinação do tempo de pega do gesso é descrita pela NBR 12.128 (ABNT, 1991b). Nessa norma os tempos avaliados são o de início e o de fim de pega, sendo os resultados expressos em minutos e segundos, contados a partir da mistura do gesso com a água.

O início de pega é estabelecido pelo tempo decorrido, desde o instante em que o gesso entra em contato com a água, até o momento em que a agulha do aparelho não consiga mais perfurar o fundo da pasta, permanecendo aproximadamente a 1 mm do vidro. O fim de pega é o tempo decorrido até o instante em que a agulha do aparelho não deixa mais impressão sobre a superfície da pasta (ALMEIDA et al., 2016).

Nos dias atuais, um modelo de hidratação do gesso que é muito bem aceito e difundido é o dado pela teoria da cristalização, a qual considera quatro etapas (JOHN; CINCOTTO, 2007; PINHEIRO, 2011):

- i. Fase de dissolução: onde inicialmente é formado um sistema iônico saturado de íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , proveniente da dissolução dos hemi-hidratos. Atingida a concentração de saturação, há a formação de microcristais de di-hidratos, pouco estáveis e de baixa solubilidade, conhecidos como hidratos primários;

- ii. Fase de indução: durante este período, os hidratos primários se estabilizam, constituindo os núcleos de cristalização;
- iii. Fase de crescimento dos núcleos de cristalização: é o período em que os íons, a partir de uma solução supersaturada, vão se depositando sobre os núcleos de cristalização, proporcionando o crescimento de cristais em forma de agulhas, que se entrelaçam e precipitam. Nesta etapa as reações são altamente exotérmicas;
- iv. Fase de redução das reações: compreende a etapa em que ocorre a redução gradativa dos constituintes anidros e da velocidade das reações de hidratação.

Segundo Pinheiro (2011), a determinação da quantidade de calor liberada pelas reações de hidratação do gesso é feita por meio de ensaios calorimétricos, que revelam a cinética das reações. Neles, os resultados são representados por curvas calorimétricas que possibilitam a identificação das diferentes etapas do mecanismo de hidratação (JOHN; CINCOTTO, 2007).

O modelo teórico da curva calorimétrica com as etapas (indução, aceleração e reação lenta) da cinética da reação de hidratação é apresentado na Figura 5.

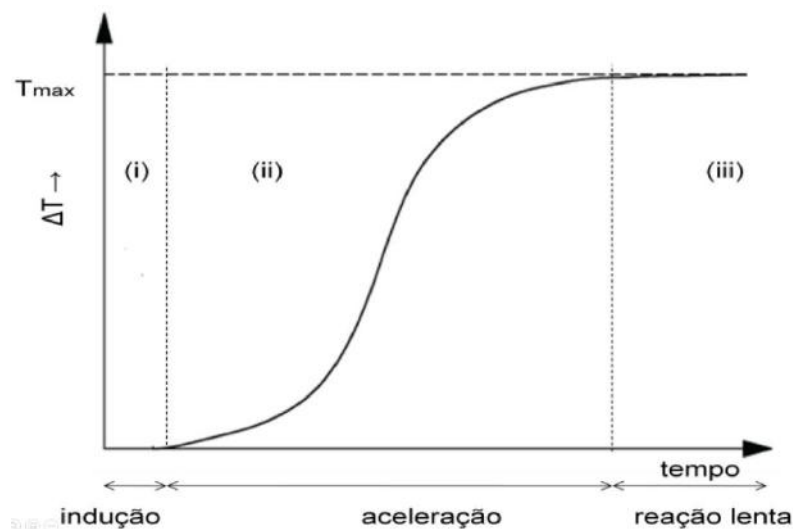


Figura 5: Modelo teórico para a hidratação do gesso e suas etapas de indução, aceleração e reação lenta.

Fonte: Pinheiro (2011).

Segundo John e Cincotto (2007), a cinética das reações de hidratação do gesso depende das frações e da reatividade dos seus constituintes. O hemi-hidrato e

as anidritas possuem velocidades de reação diferentes, sendo altamente reativa a anidrita III, seguida pelo hemi-hidrato, a anidrita II e a anidrita I.

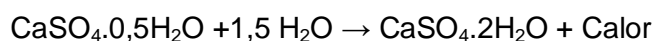
A anidrita III, altamente reativa, se transforma imediatamente em hemi-hidrato, contribuindo para a elevação da temperatura. É representada por um pico anterior à etapa de indução. A presença da anidrita III acelera o tempo inicial de pega, reduzindo o período de indução do mecanismo de hidratação das pastas de gesso (JOHN; CINCOTTO, 2007; TYDLITÁT; et al., 2011).

A anidrita III é um intermediário entre os hemi-hidratos e a anidrita II. Sua fórmula  $\text{CaSO}_4 \cdot \varepsilon \text{H}_2\text{O}$  indica que ela contém uma proporção fraca e variável de água adsorvida ( $0.06 < \varepsilon < 0.11$ ). É instável e ávida de água; sua transformação em hemi-hidrato é bastante rápida, mesmo na presença de ar pouco úmido (PINHEIRO, 2011).

### **3.6. Reciclagem do resíduo de gesso**

A principal matéria-prima na reciclagem do gesso é a gipsita residual, originada do subproduto dos processos industriais, principalmente da produção do ácido fosfórico, do ácido fluorídrico e do dessulfogesso. A principal vantagem deste processo é a redução do consumo da gipsita natural das jazidas e redução dos problemas ambientais de lixiviação. Porém a contaminação da gipsita residual com outros rejeitos, principalmente nas obras, torna inviável o seu processo de reciclagem, sendo destinado aos aterros sanitários.

A reciclagem do gesso se baseia na reversibilidade da reação de hidratação, onde a recalcação altera a estrutura cristalina, deformando-a tornando assim o gesso reciclado mais solúvel (reativo), reduzindo assim o seu tempo de pega quando reaplicado. Geralmente, utiliza-se uma mistura entre o gesso reciclado e o gesso natural ou uso de aditivos para aumentar o tempo de pega.



As aplicações do gesso reciclado são diversas: correção de solos na agricultura; aditivos para compostagem; absorventes de óleo e secagem de lodo de esgoto (JOHN; CINCOTTO, 2003). O principal desafio para a utilização do gesso reciclado em cada tipo de aplicação é o custo do transporte da gipsita, onde na região de Araripina-PE a gipsita natural é abundante e com baixo custo, cotada a U\$ 4,17/ton no ano 2000 (LYRA SOBRINHO, 2001), além da recalcação da gipsita residual que gera custos devido à etapa de aquecimento.



Atualmente, existem muitas pesquisas referentes ao método de reciclagem do gesso (Figura 6) usado na construção civil e foram descobertos três usos sustentáveis neste processo de reciclagem: a indústria cimenteira, a agricultura e a indústria de transformação de gesso. O sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), fosfogesso ou gesso agrícola é um produto resultante do processo de fabricação do ácido fosfórico (ARAÚJO et al., 2013, p.30).

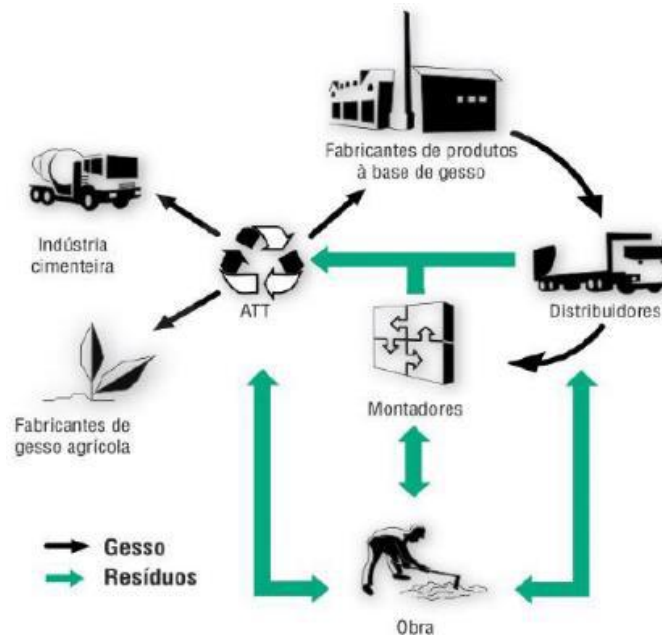


Figura 6: Fluxograma de reciclagem do gesso.

Fonte: Associação Brasileira do Drywall (2002).

A reciclagem do gesso residual tornou-se também um atrativo para as indústrias desse segmento, devido aos custos com a destinação adequada de boa parte do resíduo para aterros sanitários. Observou-se uma oportunidade de transformação em uma fonte de faturamento, seja comercializando o produto com outras empresas ou reutilizando no próprio processo industrial. De qualquer forma, a reutilização desses resíduos necessita de uma projeção sobre os indicadores, reduzir os custos com o consumo de energia, reduzir a geração de resíduos, poluição e analisar todo o ciclo de vida do material (ALVES, 2004).

No Canadá, a empresa *New West Gypsum Recycling* atua desde 1986 na reciclagem de placas de gesso acartonado. A empresa disponibiliza de um equipamento móvel que pode ser transportado para diversas localidades, fazendo com que o material seja reutilizado como aglomerante na produção do gesso acartonado.

As empresas em países de primeiro mundo utilizam cerca de 22% de gesso reciclado sem prejuízo no desempenho, sendo uma tecnologia aprovada no mercado externo. Porém é uma tecnologia bastante onerosa, precisando também de uma mão de obra para limpeza do produto após moagem e calcinação a baixas temperaturas (ALVES,2004).

## 4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O fluxograma da Figura 7 apresenta as principais atividades desenvolvidas nesse trabalho, as quais envolveram o desenvolvimento de métodos de reciclagem para os resíduos de gesso gerados nas práticas de PIExp. Esses resíduos foram caracterizados e reciclados, produzindo diferentes tipos de gesso, os quais também foram caracterizados e comparados com o gesso original quanto a composição e mecanismos de hidratação. Para finalizar utilizou-se o gesso reciclado para produzir giz de quadro negro, o qual teve a superfície e seção transversal investigada.

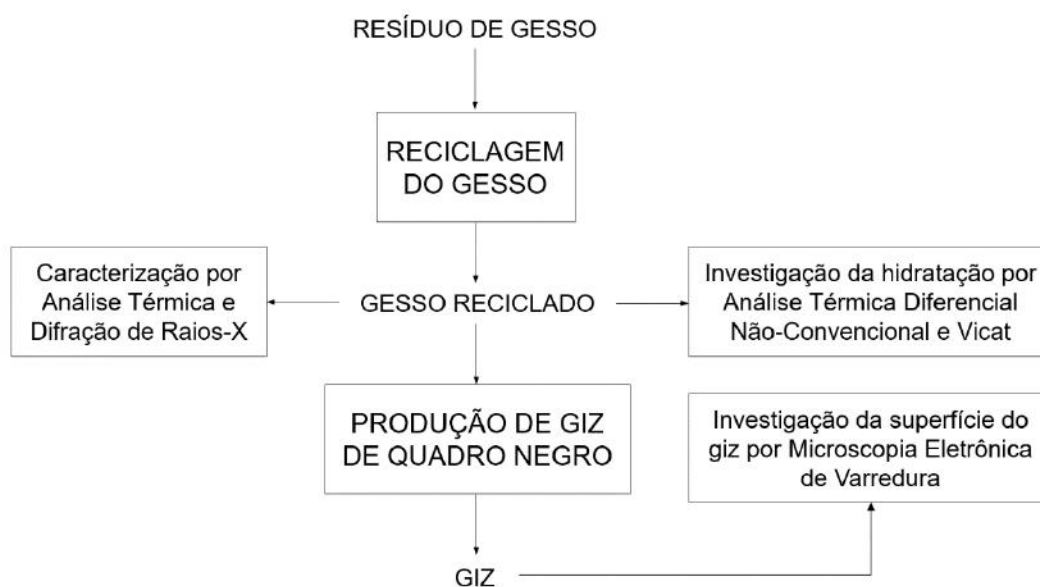


Figura 7: Diagrama das principais atividades desenvolvidas nesse trabalho.

A seguir, os materiais, equipamentos e métodos utilizados serão descritos em detalhes.

## 4.1. Métodos de reciclagem

Nas aulas práticas de PExp o gesso (hemi-hidrato ou  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) é misturado com água em diferentes moldes. São feitas as determinações requeridas e o material formado (Figura 8), composto majoritariamente por  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  é descartado, sendo encaminhado para disposição final ambientalmente adequada, terminando o seu ciclo de vida no aterro sanitário.



Figura 8: Aspecto dos resíduos de gesso gerados nas práticas de PExp.

Como o resíduo de gesso (RG) descartado é majoritariamente di-hidrato, procederam-se três diferentes métodos de reciclagem, baseados em aquecimento dinâmico e isotérmico em diferentes temperaturas, para promover a formação de hemi-hidrato. Dessa forma, o gesso reciclado poderá ser reutilizado nas práticas novamente. Os métodos de reciclagem utilizados foram:

- Método 1: Secagem do RG em estufa a  $105^\circ\text{C}$  por 48h, produzindo o gesso reciclado que será identificado como GR1. Este quando hidratado será identificado como GRH1;
- Método 2: Secagem do RG em estufa a  $105^\circ\text{C}$  por 48h, seguido de calcinação a  $180^\circ\text{C}$  por 120 minutos. Será produzido gesso reciclado que será identificado como GR2. Este quando hidratado será identificado como GRH2;

- **Método 3:** Secagem do RG em estufa a 105°C por 48h, seguido de calcinação a 200°C por 120 minutos. Será produzido gesso reciclado que será identificado como GR3. Este quando hidratado será identificado como GRH3;

A Figura 9 apresenta os métodos de reciclagem para o resíduo de gesso e os gessos reciclados formados e suas respectivas siglas.

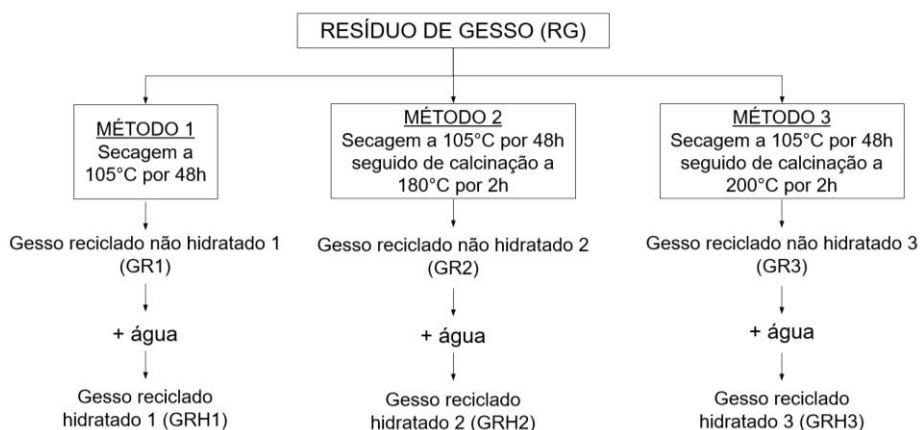


Figura 9: Métodos de reciclagem para o RG e seus produtos.

O gesso original utilizado nas práticas de PIExp, o qual era o Gesso Fortaleza do grupo Bostik, conforme mostra a Figura 10, foi utilizado como base comparativa em relação aos diferentes tipos de gessos reciclados citados na Figura 9.



Figura 10: Gesso original utilizado nas práticas de PIExp.

Fonte: Bostik (2019).

Em seguida, as versões não hidratadas e/ou hidratadas dos gessos reciclados e do gesso original foram caracterizadas por técnicas específicas que serão descritas a seguir.

## **4.2. Caracterizações**

### **4.2.1. Análise Térmica**

As análises térmicas foram realizadas no Laboratório de Análise Térmica do Departamento de Processos Inorgânicos da Escola de Química. Foram analisados os diversos tipos de gesso não hidratados e hidratados, onde foram utilizados os seguintes parâmetros: razão de aquecimento de 10°C/min da temperatura ambiente até 1000°C ou 270°C, vazão de 100 mL/min de N<sub>2</sub> como gás de arraste, massa de aproximadamente 10 mg de amostra e cadinhos de alumina. As análises para o gesso original foram realizadas até 1000°C, já as análises para os gessos reciclados foram realizadas até 270°C, visto que os dados necessários de perda de água de hidratação podem ser obtidos até essa faixa de temperatura.

A necessidade de analisar as amostras não hidratadas e hidratadas deve-se à utilização de uma metodologia proposta por Geraldo et al. (2017), a qual requer analisar o gesso não hidratado e também sua versão hidratada, para então determinar os seus teores de hemi-hidrato (CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O), di-hidrato (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) caso exista, e outros. Nessa metodologia três fatos são importantíssimos:

1. O gesso não hidratado original possui determinado percentual de hemi-hidrato e di-hidrato;
2. A diferença entre as massas secas iniciais de um gesso não hidratado e de seu produto hidratado, representa a água que reagiu com o hemi-hidrato no gesso não-hidratado, o que permite determinar estequiometricamente seu o teor de hemi-hidrato;
3. Da diferença entre o total de água combinada perdida pelo gesso não hidratado e aquela perdida somente pelo hemi-hidrato na amostra, pode-se determinar a perda de água do di-hidrato presente no gesso não hidratado e, conseqüentemente, seu conteúdo.

Assim sendo, utilizando as curvas TG e DTG obtidas para as versões hidratadas e não hidratadas de cada tipo de gesso, foram obtidas suas calculadas suas e comparadas suas composições.

#### **4.2.2. Difração de Raios-X**

As análises de Difração de Raios-X (DRX) foram realizadas no Laboratório de Tecnologia do Hidrogênio da Escola de Química da UFRJ, utilizando um difratômetro da Rigaku, modelo Miniflex II, com tubo de raios X de Cu e monocromador, para análise de estrutura cristalina.

O ensaio foi realizado pelo método do pó (Powder Diffraction), operando com as seguintes condições: raio X de 40 kV/20 mA; varredura de 5° a 80° 2 $\theta$ ; step de 0,02°. A interpretação qualitativa do difratograma gerado por esta análise foi efetuada no software MDI Jade 5, usando a base de dados PDF02 (ICDD, 2006) para comparação com o resultado obtido.

Foram analisados o gesso original e os reciclados não hidratados visando verificar a presença de hemi e/ou di-hidrato cristalinos em suas composições.

#### **4.2.3. Análise Térmica Diferencial Não-Convencional (NCDTA) e Teste Vicat**

A utilização da técnica de NCDTA teve como objetivo verificar a evolução da hidratação das pastas de gesso original e dos gessos reciclados em condições semi-adiabáticas. Os dados de tempo de início e fim de pega, medidos pelo aparelho de Vicat, com base nas recomendações da NBR 12.128 (ABNT, 1991b), serão utilizados na interpretação dos dados obtidos por NCDTA.

Nessas medições será utilizado o aparelho de Vicat, o qual possui uma agulha que penetra na pasta sob ação da gravidade. Os resultados são expressos em minutos, contados a partir da mistura do gesso com a água até o instante em que a agulha do aparelho de Vicat estacione a 1 mm da base do equipamento no início de pega, até o instante em que a agulha não deixe mais impressões na superfície das pastas, o que refere-se ao final da pega.

A técnica de NCDTA foi desenvolvida por Dweck et al. (2003), como uma forma alternativa para o acompanhamento da hidratação no cimento. No caso desse trabalho

utilizaremos a mesma técnica para investigar reações da mesma natureza, ou seja, reações exotérmicas de hidratação, no entanto, para o gesso.

No NCDTA é calculada uma diferença de temperatura (DTA) entre uma amostra e um referencial inerte (o inerte refere-se a uma pasta de gesso endurecida com mais de 28 dias). O calor gerado pelas reações de hidratação do gesso provoca uma diferença de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) que é medida a partir de simples termopares em contato com a amostra e o referencial, estes posicionados dentro de um recipiente com isolamento semi-adiabático, conforme o sistema da Figura 11.

O sistema do NCDTA consiste em dois copos principais, um contendo material de referência inerte e o outro a pasta a ser estudada. Cada copo é isolado por um copo externo de poliestireno e tem uma pequena entrada na qual um termistor com resolução de  $0,03^{\circ}\text{C}$  é introduzido para medir as temperaturas da referência e da amostra ( $T_r$  e  $T_a$ ). A aquisição dos dados de temperatura é realizada por um controlador e uma interface, acoplados a um computador para medir a diferença de temperatura entre amostra e referência em tempo real.

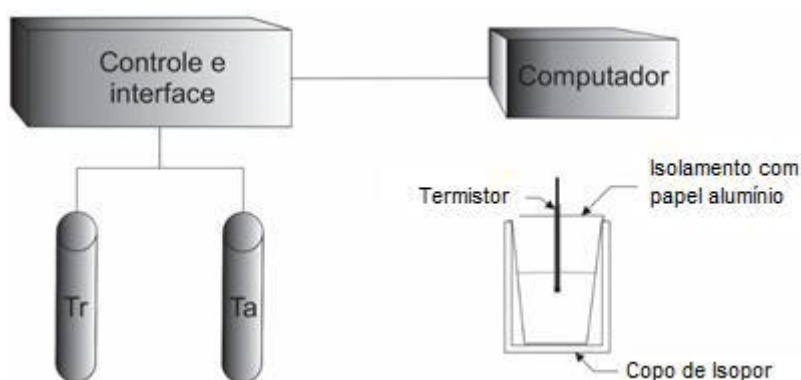


Figura 11: Derivação do esquema simplificado do sistema de NCDTA.

Fonte: Neves Junior et al., (2017).

Nos procedimentos por NCDTA, foram elaboradas em triplicata as pastas de gesso descritas na Tabela 2, o que totalizou 24 análises.

Tabela 2: Descrição das pastas de gesso analisadas por NCDTA.

Tipo de gesso	Massa de gesso (g)	Massa de água (g)	Razão água/gesso
Gesso original	30	21	0,7
Gesso original	30	24	0,8
Gesso original	30	27	0,9
GRH1	30	24	0,8
GRH2	30	24	0,8
GRH3	30	24	0,8

Na embalagem do gesso original, a razão água/gesso apresentada no modo de uso de acordo com a embalagem é de 0,85. Foram testadas pastas de gesso original com razões de 0,7-0,8-0,9 e todos os gessos reciclados foram analisados na razão 0,8.

Na montagem do sistema NCDTA, as massas de gesso foram inseridas em copos previamente contendo as quantidades calculadas de água para propiciar razão água/gesso requerida. Em sequência, realizou-se a homogeneização manualmente por 30 segundos, fechou-se cada copo e introduziu-se o termistor na posição vertical através do buraco no centro da tampa de cada copo.

Antes de inserir o termistor, a superfície externa do mesmo foi protegida com um filme plástico de poliestireno. Os dados de temperatura foram coletados durante as primeiras 4 h de hidratação, tanto para as pastas elaboradas, quanto para pasta endurecida de gesso original com razão água/gesso igual a 0,8, que foi utilizada como referência.

- Cálculo da diferença de temperatura

A diferença de temperatura ( $T_a - T_r$ ), entre a amostra e a referência medida em tempo real durante a análise NCDTA, é devida aos efeitos exotérmicos das reações de hidratação do gesso que ocorrem e que são diretamente proporcionais a taxa de calor gerado num dado tempo  $t$ .

Por questões práticas, neste trabalho será assumido que a capacidade calorífica das pastas de gesso não muda significativamente, ou seja, que seus diferentes componentes tenham valores similares de calor específico ( $c_p$ ).

Os resultados das análises NCDTA serão expostos na forma de curvas de diferença de temperatura em função do tempo. Como a massa de gesso utilizada em todos os testes foi a mesma, a normalização quanto à massa não será realizada. Deste modo, pelo perfil das curvas de diferença de temperatura será verificado o comportamento da hidratação de cada tipo de gesso.

#### **4.2.4. Microscopia Eletrônica de Varredura**

As análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foram realizadas no Laboratório de Tecnologia do Hidrogênio da Escola de Química da UFRJ, utilizando um microscópio eletrônico de varredura de bancada da marca Hitachi, modelo TM3030Plus Tabletop Microscope.



Essas análises foram realizadas para verificar as características morfológicas das superfícies e seções transversais de amostras de giz de quadro negro, conforme será detalhado a seguir no item 4.3.

### **4.3. Produção de giz**

O resíduo de gesso hidratado gerado nas práticas de PIExp já foi utilizado outrora como giz em algumas salas de aula da Escola de Química, no entanto o material era muito duro e difícil de ser riscado. Visando investigar essa questão foram produzidos dois tipos de giz utilizando o gesso original e o GR3. A mistura água/gesso utilizada foi de 0,8, a qual foi conformada em forma de silicone conforme a Figura 12 apresenta.



Figura 12: Conformação dos gessos em forma de silicone para produção de giz.

Esses dois tipos de giz foram comparados com o giz branco da marca Piratininga, utilizando análise de MEV de suas superfícies e seções transversais (giz fraturado). Utilizou-se o giz da marca Piratininga porque é do tipo empregado atualmente nos quadros negros da Escola de Química.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Caracterização do gesso original e dos reciclados

#### 5.1.1. Análise Térmica

Inicialmente serão expostos os procedimentos de cálculo para determinação da composição do gesso original, visando expor com detalhes a metodologia empregada. A composição dos gessos reciclados será calculada pela metodologia exposta e serão feitas comparações.

- Cálculo da composição do gesso original

A Figura 13 apresenta as curvas TG e DTG para o gesso original não hidratado e hidratado.

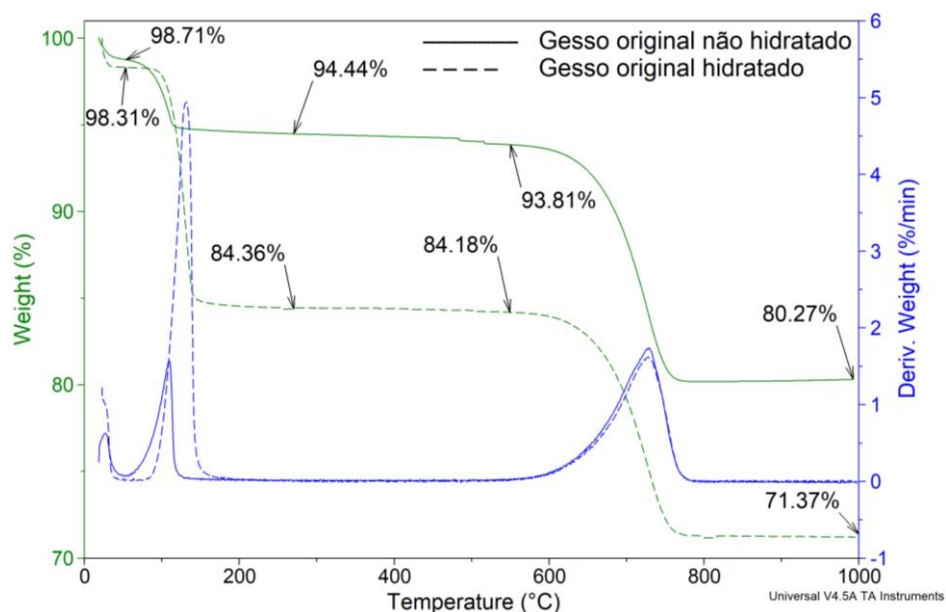


Figura 13: Curvas TG e DTG para o gesso original hidratado e não hidratado.

Conforme podemos observar, as duas curvas TG exibem uma perda de água livre inicial, seguida da perda de água de hidratação que se finaliza em

torno de 250°C, quando se forma a anidrita. A perda de água de hidratação deve-se à presença de hemi-hidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) e di-hidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) no gesso original não hidratado e de somente di-hidrato no gesso hidratado. Essas perdas de água são caracterizadas pelo respectivo pico em ambas as curvas DTG. Nota-se para o gesso original hidratado uma maior perda de água de hidratação na curva TG e um maior pico DTG respectivo, quando comparado com o gesso não hidratado, o que diferencia claramente as duas amostras.

Na faixa de temperatura antes de 850°C nota-se a decomposição do carbonato de cálcio existente no gesso, a qual também é caracterizada pelo respectivo pico DTG. O  $\text{CaCO}_3$  encontrado no gesso deve-se às impurezas do mineral gipsita ou ao uso do carbonato como aditivo (PINHEIRO, 2011).

Os valores numéricos marcados nas curvas TG dos gessos (Figura 13) se referem a massa seca (ms), massa depois da água de hidratação ( $\text{mdH}_2\text{O}$ hidra), massa antes de decompor o carbonato ( $\text{maCaCO}_3$ ) e massa calcinada (mc), no sentido da esquerda para direita.

Visando determinar os componentes principais existentes no gesso original (teores de  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCO}_3$  e impurezas), as curvas TG e DTG das amostras hidratadas foram correlacionadas com as curvas TG e DTG das amostras não hidratadas, utilizando um método desenvolvido por Dweck et al. (2009).

Esse método leva em consideração que a massa calcinada (massa a 1000°C) do gesso hidratado e do gesso não hidratado possui praticamente a mesma composição, o que permite uma comparação direta entre as amostras.

Assim sendo, as curvas TG e DTG do gesso hidratado foram convertidas para a base do gesso não hidratado. Para correlacionar as curvas TG e DTG das amostras hidratadas para suas respectivas bases não hidratadas, elas foram multiplicadas por um fator F, o qual é expresso na Equação 1.

$$F = \frac{\text{mc da amostra não hidratada a } 1000^\circ\text{C}}{\text{mc da amostra hidratada a } 1000^\circ\text{C}}$$

Equação 1

mc- massa calcinada

A Figura 14 apresenta as curvas TG e DTG do gesso original hidratado e não hidratado já transformadas para mesma base, ou seja, na base do gesso não hidratado.

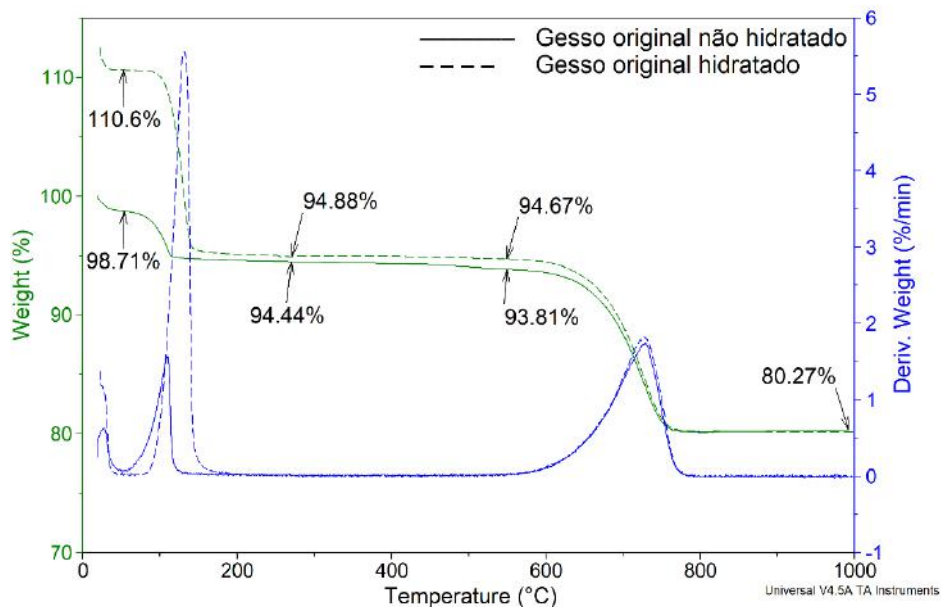
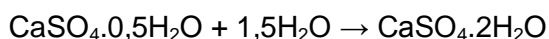


Figura 14: Curvas TG e DTG para o gesso original hidratado e não hidratado na base do não hidratado.

Conforme podemos verificar, a massa inicial do gesso original hidratado é maior em função do processo de hidratação. Utilizando a diferença entre os valores de massa seca da amostra hidratada e não hidratada, calculamos a quantidade de hemi-hidrato na amostra por estequiometria:

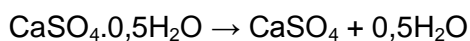


145,15 g ---- 27 g

% hemi-hidrato ---- (110,57% - 98,71%)

Logo, a quantidade de hemi-hidrato no gesso original é de 63,76%.

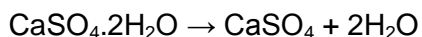
Observando a curva TG do gesso original não hidratado (Figura 13), verifica-se que sua quantidade de água de hidratação é de 4,27%, o qual é proveniente tanto do di-hidrato quanto do hemi-hidrato. Como a quantidade de hemi-hidrato na amostra não hidratada é conhecida, calculamos a quantidade de água que somente ele perdeu e, por diferença, calculamos a quantidade de água perdida pelo di-hidrato:



145,15 g ----- 9 g

63,76% ----- % perda de água do hemi-hidrato

Logo a quantidade de água perdida somente pelo hemi-hidrato é de 3,95% e por diferença a quantidade de água perdida pelo di-hidrato é de 0,32%. Por estequiometria calculamos a quantidade de di-hidrato no gesso original não hidratado:



172,17 g ----- 36 g

% di-hidrato ----- 0,32%

Logo a quantidade de di-hidrato no resíduo de gesso não hidratado é de 1,52%.

Para calcular a quantidade de  $\text{CaCO}_3$  no gesso original foram utilizados os dados da curva TG, referentes a perda de  $\text{CO}_2$  na faixa de temperatura antes de  $850^\circ\text{C}$ . Assim, utilizando os dados da Figura 14, o gesso hidratado apresentou 32,73% de  $\text{CaCO}_3$  e o não hidratado 30,77, computando um valor médio de 31,76%.

Conhecidos os percentuais de  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCO}_3$ , por diferença de 100% foi obtida a quantidade de impurezas/inertes presentes no gesso original que corresponde a 2,97%.

Para todos os gessos reciclados foram realizados os mesmos procedimentos de cálculo utilizando suas respectivas curvas TG e DTG das amostras hidratadas e não hidratadas, obtendo os seus percentuais de hemi-hidrato, di-hidrato,  $\text{CaCO}_3$  e inertes. A Figura 15 apresenta as composições do gesso original e dos gessos reciclados.

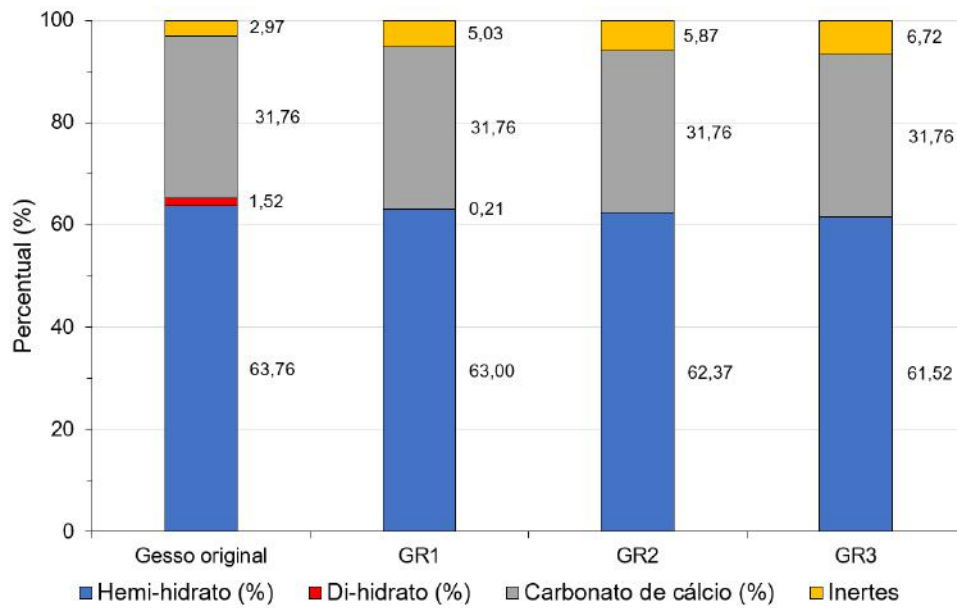


Figura 15: Composições do gesso original não hidratado e do gesso reciclado não hidratado.

De acordo com a Figura 15, os gessos reciclados apresentaram composição muito parecida com o gesso original, indicando que os três métodos de reciclagem testados foram eficientes na perda da água de hidratação do resíduo de gesso gerado nas aulas práticas de PIExp, tornando-o reaproveitável.

Ressalta-se que nos cálculos foi utilizada metodologia de Geraldo et al. (2017), na qual supõe-se que a amostra de gesso não hidratada possui majoritariamente hemi-hidrato e di-hidrato. A presença de anidrita III, por exemplo, não é considerada, o que será discutido no item 5.1.3 a respeito da hidratação dos gessos.

Por análise térmica notou-se uma similaridade das curvas TG e DTG do gesso original não hidratado com as dos gessos reciclados não hidratados, conforme é apresentado nas Figuras 16 e 17.

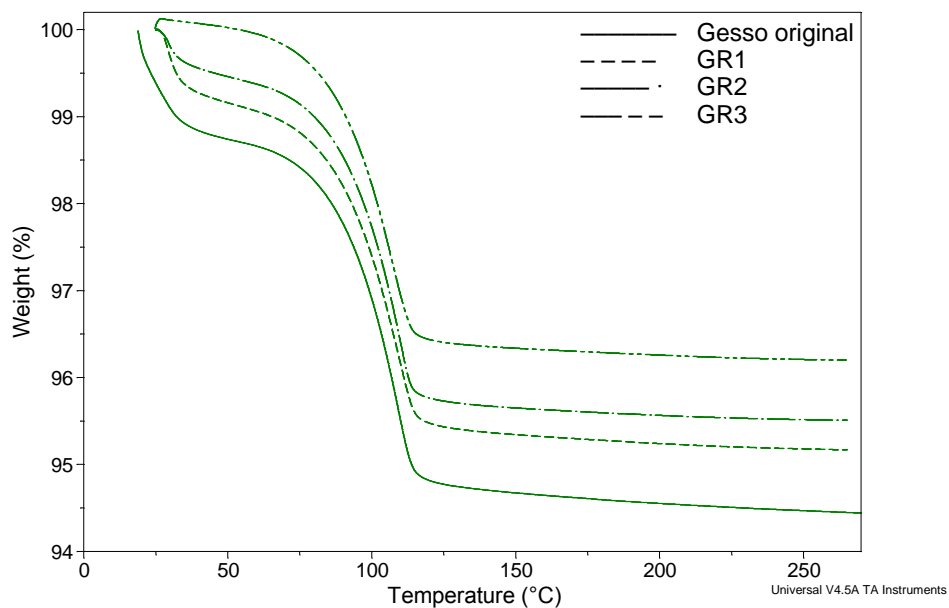


Figura 16: Curvas TG para os gessos não hidratados.

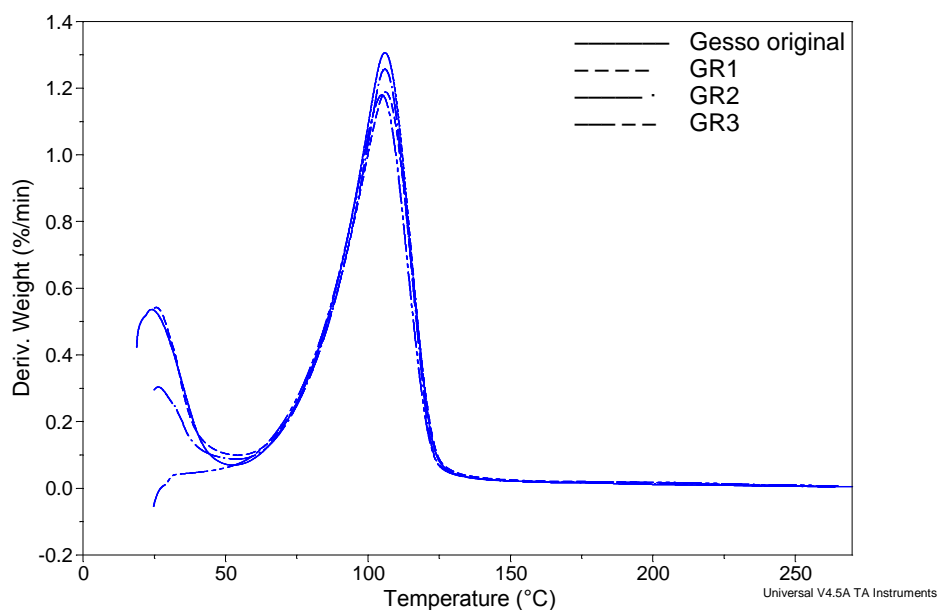


Figura 17: Curvas DTG para os gessos não hidratados.

De acordo com as Figuras 16 e 17, as curvas TG e DTG para os gessos se comportaram de modo diferente na etapa de perda de água livre, sendo notada perda de água em alguns casos e em outros não. Já na etapa de perda da água de hidratação, o aspecto das curvas DTG praticamente foi o mesmo, o que pode ter gerado uma perda de massa na curva TG muito parecida.

Assim sendo, por análise térmica, os gessos reciclados apresentaram perfil semelhante de curvas TG e DTG, assim como de composição.

### 5.1.2. Difração de Raios-X

Os difratogramas de raios-X para o gesso original e os reciclados não hidratados são apresentados na Figura 18.

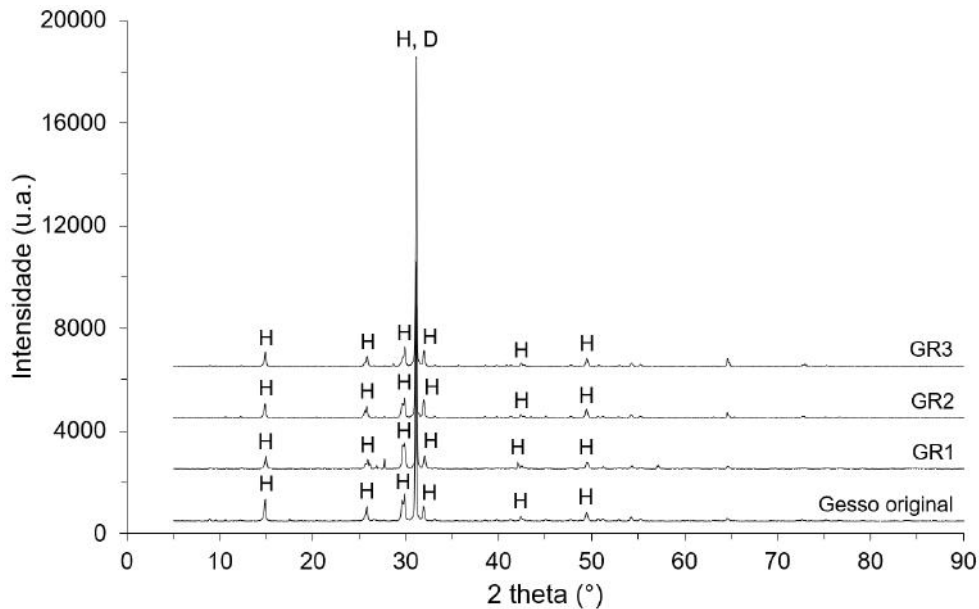


Figura 18: Difratogramas de Raios-X para o gesso original e os reciclados não hidratados.

Conforme pode ser verificado, as fases cristalinas identificadas para todos os gessos não hidratados foram possivelmente a de hemi-hidrato e dolomita, ou seja, todos os reciclados apresentaram as mesmas fases cristalina do gesso original, indicando que os três métodos de reciclagem foram eficientes no quesito de eliminação de água de hidratação.

Quanto à identificação da dolomita, a perda de  $\text{CO}_2$  identificada no item anterior provavelmente vem desse mineral. Como a dolomita pura,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , perde 47,73% em massa de  $\text{CO}_2$  ao decompor em uma única etapa, o seu percentual nos gessos será menor do que aqueles calculados para o  $\text{CaCO}_3$ .

### 5.1.3. NCDTA e Vicat



A Figura 19 apresenta as curvas de diferença de temperatura para as pastas de gesso original produzidas utilizando razões água/gesso de 0,7, 0,8 e 0,9. Essas curvas se referem aos valores médios, uma vez que fez-se triplicata para cada razão.

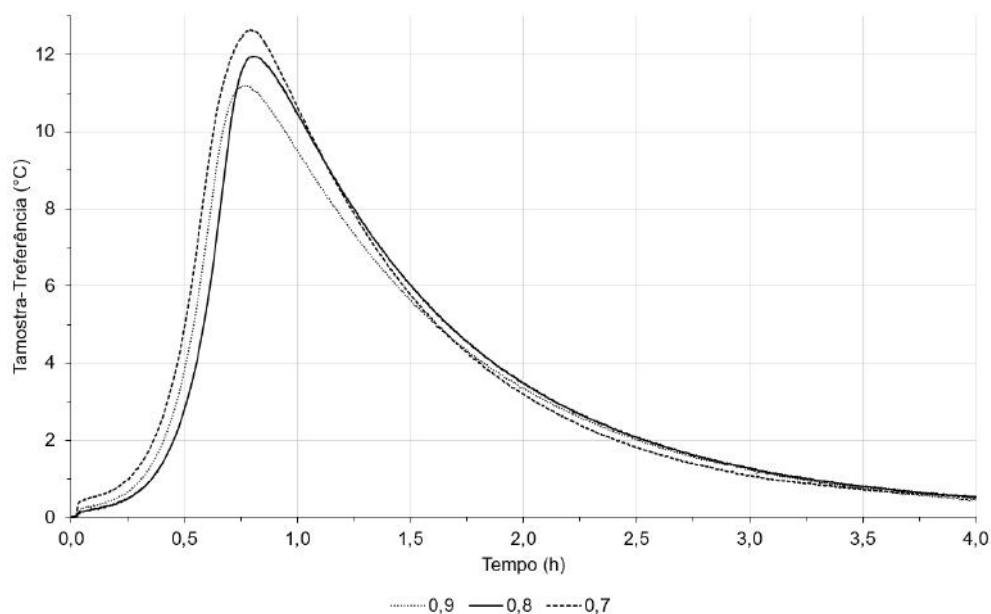


Figura 19: Curvas de diferença de temperatura para pastas de gesso original analisado utilizando consistências de 0,7, 0,8 e 0,9.

De acordo com a Figura 19, verifica-se que quanto maior foi a relação água/gesso, maior foi a distância entre as partículas na pasta, o que propiciou menores velocidades de reação e liberação de calor. O menor pico de diferença de temperatura (em torno de 0,75 horas) verificado para o caso de maior razão água/gesso confirma essa afirmação.

Numa pasta de gesso, a relação com água pode variar entre 0,6 e 0,8, ou até mais. Se a relação for inferior a 0,6 a trabalhabilidade é comprometida. Para razões maiores que 0,6, tem-se um aumento da porosidade do produto final endurecido contribuindo para menor resistência mecânica (BARDELLA, 2011).

No item 5.2 será proposta a utilização do gesso reciclado na produção giz de quadro negro, sendo necessário um material poroso para que o produto final (giz) seja riscado com facilidade e de modo macio. Deste modo, os gessos reciclados foram investigados utilizando-se a razão água/gesso de 0,8.

A Figura 20 apresenta as curvas de diferença de temperatura para as pastas de gesso original e reciclados, produzidas utilizando razão água/gesso 0,8. Essas curvas se referem aos valores médios, uma vez que se fez triplicata para cada caso.

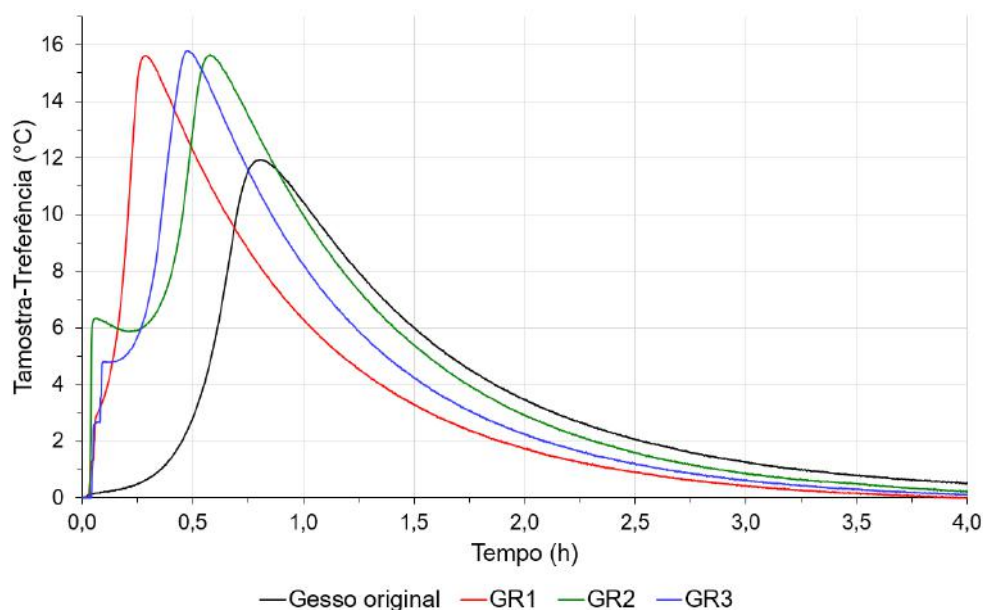


Figura 20: Curvas de diferença de temperatura para pastas do gesso original e dos reciclados analisados utilizando consistência de 0,8.

Pela Figura 20, verifica-se que todas as pastas de gesso reciclado apresentaram velocidades de reação e taxas de liberação de calor maiores que a do gesso original, o que pode ser verificado pela altura máxima atingida nos picos das curvas de diferença de temperatura.

A diferença no comportamento da hidratação dos gessos reciclados em relação ao original indica a presença de anidrita III nos reciclados, a qual quando misturada com água transforma-se imediatamente em hemi-hidrato, contribuindo para elevação da temperatura, representada por um pico anterior à etapa de indução, o que aconteceu em todas as pastas de gesso reciclado.

Na fase de aceleração, o hemi-hidrato formado pela hidratação da anidrita juntamente com o hemi-hidrato presente originalmente nos gessos reciclados reagem com água para formar o di-hidrato, gerando o segundo pico nas curvas de diferença de temperatura.

A presença de anidrita III nos gessos reciclados promoveu a geração de pastas com menores tempos de indução, o que acelerou a pega, ou seja, a precipitação dos cristais de di-hidrato, o que fez com que endurecessem antes do gesso original.

A Figura 21 apresenta as curvas de tempo de pega obtidas pelo aparelho de Vicat para pastas de gesso original e dos reciclados na consistência de 0,8. Essas curvas se referem aos valores médios, uma vez que fez-se triplicata para cada caso.

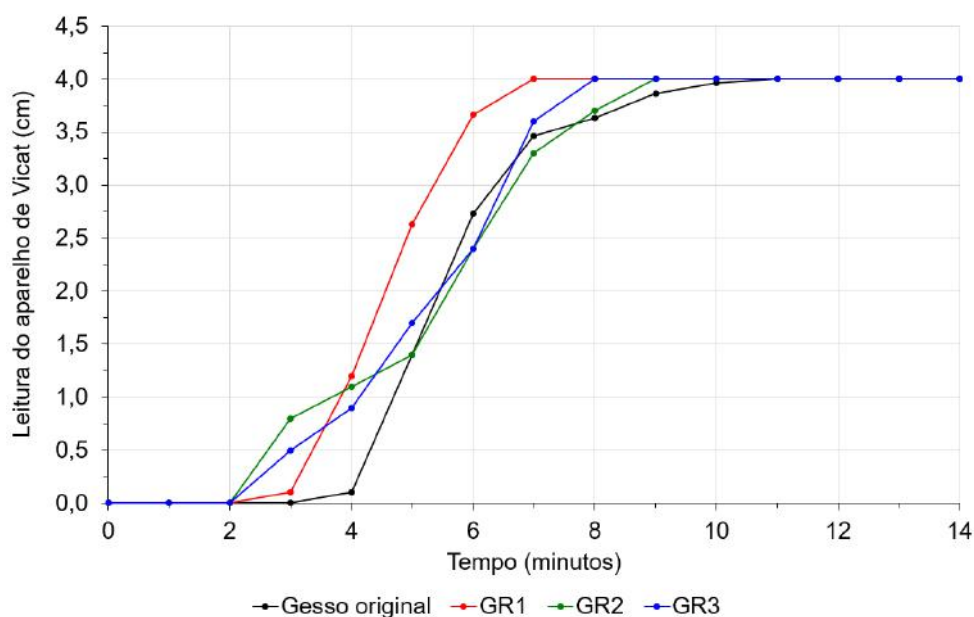


Figura 21: Curvas de tempos de pega obtidas pelo aparelho de Vicat para pastas dos gessos original e reciclados analisados utilizando consistência de 0,8.

Conforme pode ser verificado pelas curvas de tempos de pega, o gesso original inicia sua pega em torno de 4 minutos e finaliza em torno de 11 minutos. Para os casos de GR1, GR2 e GR3 os tempos de início e final da pega respectivos são: 3 e 7 minutos, 3 e 9 minutos e 3 e 8 minutos.

Por Vicat verificou-se que o tempo de pega para os gessos variaram, do maior para o menor valor de tempo, do seguinte modo: gesso original, GR2, GR3 e GR1. Observando a Figura 20 fica evidente que o endurecimento das pastas de gesso segue a mesma ordem verificada pelo teste de Vicat, ou seja, por possuir menor tempo de pega, a pasta GR1 endurecerá primeiro, seguido da GR3, GR2 e por último a pasta de gesso original.

O GR3, por ter sido calcinado em temperatura maior (200°C) que o GR2 (180°C), apresentou maior percentual de anidrita III (acelera a pega), endurecendo antes do GR2, conforme mostram as Figuras 20 e 21. Nessa mesma linha de pensamento, o GR1 possivelmente endureceria por último, visto que foi submetido

somente até 105°C na secagem, gerando menos anidrita III, o que não aconteceu. O GR1 foi o gesso reciclado que endureceu primeiro provavelmente porque foi a último a ser calcinado, embalado e guardado, não dando tempo necessário para parte de sua anidrita reagir com água por contaminação da umidade do ar, o que provavelmente aconteceu com GR2 e GR3 que foram calcinados e guardados em datas anteriores.

## 5.2. Produção de giz

### 5.2.1. Microscopia Eletrônica de Varredura

As Figuras 22 e 23 apresentam as micrografias para a superfície e seção transversal do giz produzido pelo gesso original e pelo GR3.

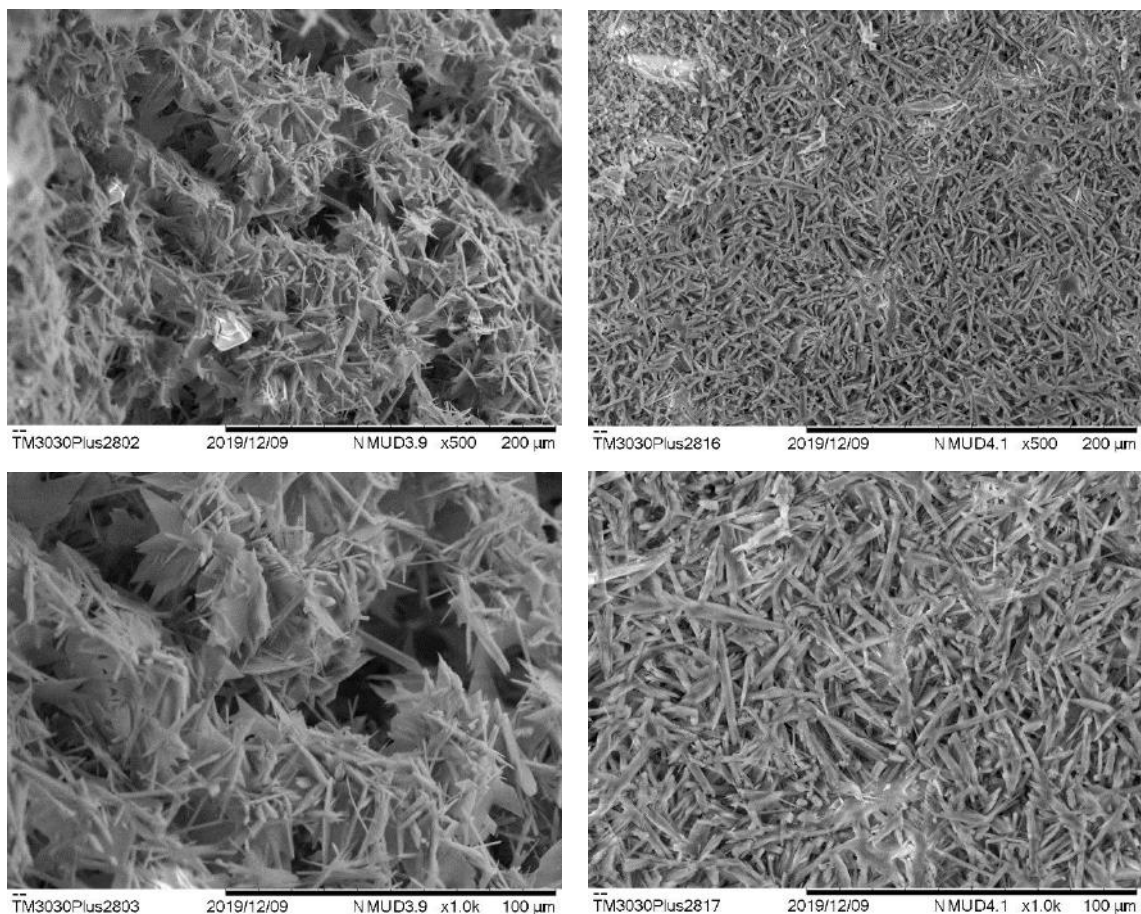


Figura 22: Micrografias para a superfície do giz de gesso original (esquerda) e de GR3 (direita).

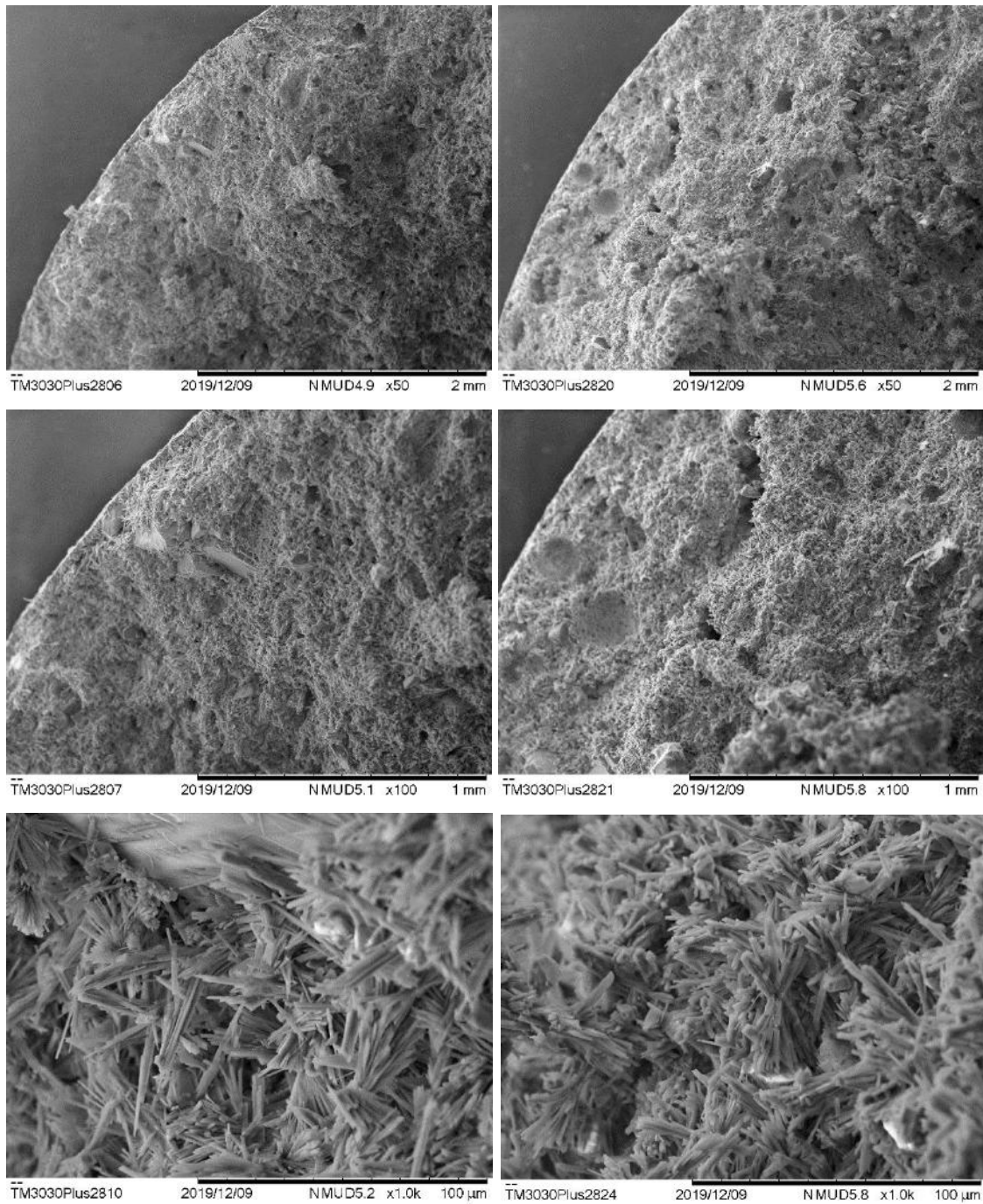


Figura 23: Micrografias para a seção transversal do giz de gesso original (esquerda) e de GR3 (direita).

Conforme podemos verificar pela Figura 22, o giz de gesso original possui superfície muito mais porosa do que o giz de GR3, e por esse motivo pode ser riscado com mais facilidade. O GR3 apresentou superfície com cristais que se entrelaçavam muito mais, o que tornou o material muito menos poroso e com maior resistência a ser riscado.

Pela análise da seção transversal (Figura 23), verificou-se que o giz de gesso original é poroso assim como o giz de GR3. No entanto, a estrutura do segundo apresentou orifícios que se formaram provavelmente devido à presença de bolhas, causadas por gases que inicialmente não conseguiram escapar do meio. Esse pode ter sido o motivo pelo qual endureceu muito mais rapidamente que o gesso original.

Para ter uma base comparativa com giz comercial, a Figura 24 apresenta as micrografias para a superfície (esquerda) e a seção transversal (direita) do giz da marca Piratininga, a versão comercial que é utilizada na EQ.

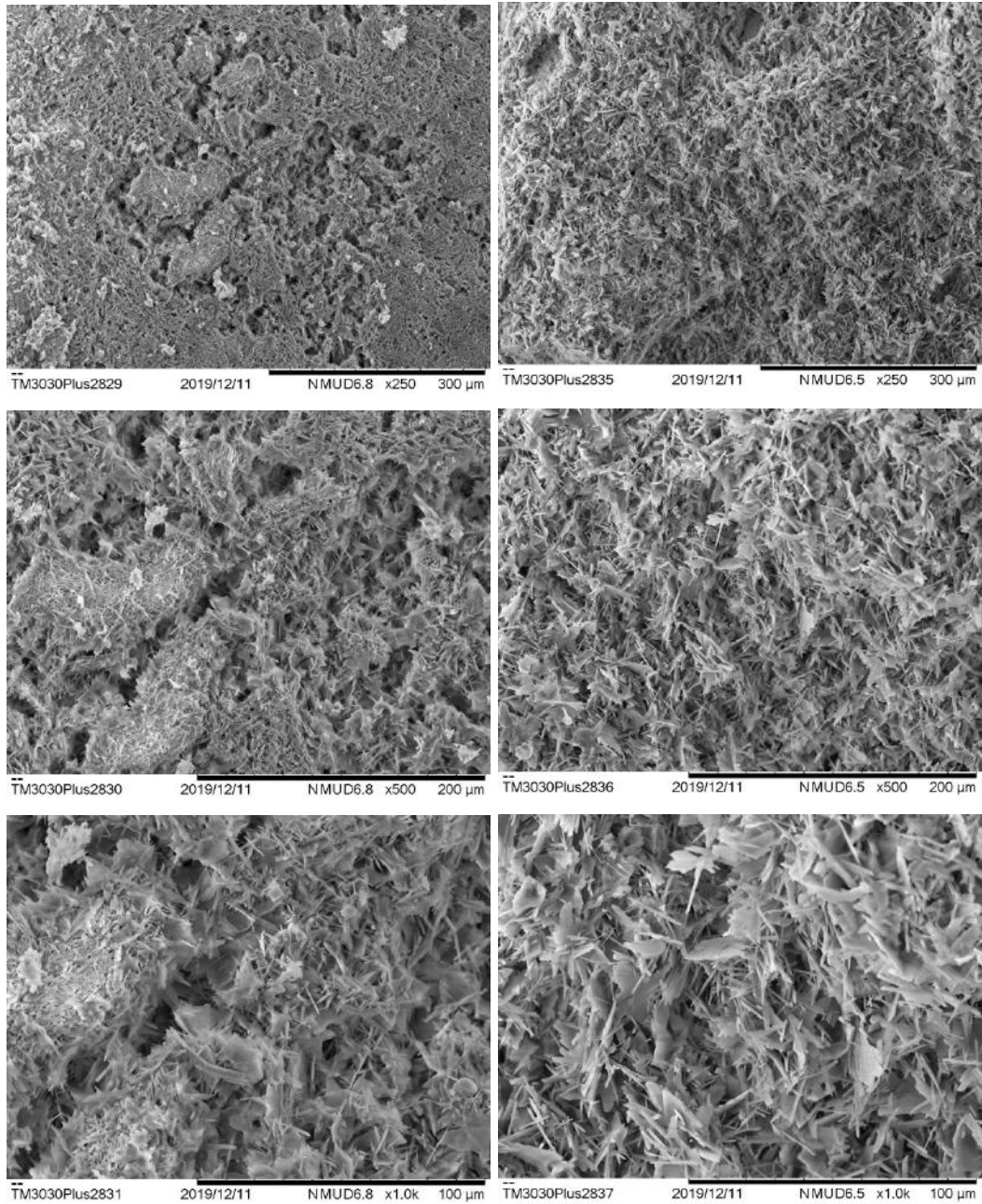


Figura 24: Micrografias para a seção e superfície transversal do giz da Marca Piratininga.

Pelo que pode ser verificado na Figura 24, o giz comercial possui aspecto mais parecido com o giz de gesso original, o qual constitui-se basicamente de hemi-hidrato. Este em contato com água, forma lentamente cristais bem definidos, o que não ocorre com os gessos reciclados, os quais possuem anidrita III, a qual promove altas taxas de hidratação e um endurecimento rápido das pastas, gerando cristais que se entrelaçam de tal modo que a porosidade da superfície e seção transversal do material são menores.

Assim sendo, de acordo com as caracterizações e informações obtidas, visando produzir giz com os gessos reciclados recomenda-se estabilizar os gessos reciclados por um período de 12 horas em ambiente com 80% de umidade relativa para transformar o seu percentual de anidrita III em hemi-hidrato (JOHN & CINCOTTO, 2007; PINHEIRO, 2011) e utilizar razão água/gesso igual a 0,8 para proporcionar alta porosidade no giz.

## 6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Na realização deste trabalho, realizamos a caracterização do gesso original e dos diferentes métodos de reciclagem do gesso utilizado nas aulas práticas da disciplina de PExp através das metodologias de Análise Térmica e Difração de Raios-X. Obteve-se como resultado uma composição dos gessos reciclados obtidos pelos métodos de reciclagem propostos muito parecidos com o gesso original. Para isso a formação da anidrita foi desconsiderada nos cálculos utilizados e com formação da fase cristalina para o gesso não hidratado semelhante aos do gesso original, o que garante uma eficiente eliminação da água de hidratação nas metodologias empregadas para reciclagem.

No processo de investigação da hidratação do gesso original e suas versões recicladas, realizaram-se os métodos de Análise Térmica Diferencial Não-Convencional (NCDTA) e Vicat, onde tivemos como resultado para o gesso original no NCDTA que uma maior relação de água/gesso aumenta a distância entre as partículas na pasta. Tal fato ocasiona uma menor velocidade de reação e liberação de calor, sendo escolhido por isso o gesso com consistência intermediária (0,8) para estudo das versões recicláveis. Como resultado, obteve-se para todas essas versões, uma maior velocidade de reação e de taxa de liberação de calor quando comparado ao gesso original devido à presença de anidrita III nos reciclados. Quando misturada com água funciona como um agente acelerador do endurecimento do gesso, provocando menor tempo de pega se comparado ao gesso original o que é evidenciado na análise de Vicat. Nessa análise, os gessos reciclados que possuíam em sua composição maiores quantidades de anidrita III tiveram seu tempo de pega reduzido quando comparados entre si e ao gesso original.

Para a produção do giz para quadro negro utilizando-se gesso reciclado, a partir da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), comparou-se o giz obtido pelo gesso reciclado (GR3) com o giz comercial e com o giz a partir do gesso original. O giz original possuía uma superfície mais porosa quando comparado ao giz GR3, uma vez que o giz GR3 apresentou maior entrelaçamento entre seus cristais reduzindo a sua porosidade e aumentando sua resistência a ser riscado. Além disso, esse giz apresentou alguns orifícios ocasionados pela presença de bolhas de gases que não escaparam durante o processo de endurecimento.

O giz de gesso original quando comparado ao giz comercial apresentou maior similaridade estrutural, devido à presença majoritária em sua composição de hemi-hidrato que em contato com a água forma lentamente cristais bem definidos quando



comparado ao giz GR3 que possui anidrita III, promovendo altas taxas de hidratação e endurecimento rápido.

Com todos esses estudos realizados, visando a produção de giz a partir dos gessos reciclados, sugere-se a estabilização dos gessos reciclados por um período de 12 horas em ambiente com 80% de umidade relativa para transformação do seu percentual de anidrita III em hemi-hidrato, utilizando 0,8 como razão água/gesso para proporcionar alta porosidade ao giz.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Carlos Eduardo T., QUELHAS, Osvaldo L.G., A ecoeficiência e o ecodesign na indústria da construção civil. Uma abordagem a prática do desenvolvimento sustentável na gestão de resíduos com uma visão de negócios. Latec/UFF, 2004.

ANTUNES, R. P. N. Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso. Dissertação de Mestrado em Engenharia pela Escola Politécnica. São Paulo. 1999.

Anuário Estatístico: Setor Transformação Não Metálicos/ Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. 2006 – Brasília: SGM, 2017 – 27,3 cm 89 p. Anual 1. Não Metálicos – Estatística – Tratamento, processamento de minerais. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL. Resíduos de gesso na construção civil: coleta, armazenagem e reciclagem. São Paulo/SP: Agns, 2012.

LYRA, Antônio C., O Mercado de Gipsita e Gesso no Brasil, Prossiga, 2001.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12127, “Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas do pó”, Rio de Janeiro, (1991).

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 12128, “Gesso para construção: determinação das propriedades físicas da pasta”, Rio de Janeiro, RJ (1991b).

ARAÚJO, A. P. B; FERNANDES, A. L. T. O passivo ambiental do fosfogesso gerado nas indústrias de fertilizantes fosfatados e as possibilidades de aproveitamento.

BARDELLA, P. S. Análise das Propriedades de Pastas de Gesso de Construção Reciclado. Universidade Estadual de Campinas. Tese (Doutorado). Campinas, 2011.

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

Bostik Smart Adhesives. Gesso para áreas internas, cor branca e para aplicação sobre: alvenaria, emboço curado, paredes e tetos, 2019. Disponível em: [https://www.bostik.com/pt-BR/brasil/products/facavocemesmo\\_gesso](https://www.bostik.com/pt-BR/brasil/products/facavocemesmo_gesso), acesso dia 05/06/2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 307, de 5 de Julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República. Brasília/DF 17 de Julho de 2002. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em: 21 Fev. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 431 de 24 Revista Brasileira de Ciências Ambientais – Número 31 – Março de 2014 9 ISSN Impresso 1808-4524 / ISSN Eletrônico: 2176-9478 de Julho de 2011. Altera o art. 3o da Resolução no 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. Diário Oficial da República, Brasília 25 de julho de 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>. Acesso em 21/02/2011.

Daniele Martins de Almeida, Rubya Vieira de Mello Campos, Tânia Maria Coelho, Sidnei Coutinho. Comparação entre o método Vicat e o método do Calorímetro para determinação do tempo de pega do gesso reciclado. X Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial. Disponível em: [http://www.fecilcam.br/anais/x\\_eepa/data/uploads/9-engenharia-de-sustentabilidade/9-06.pdf](http://www.fecilcam.br/anais/x_eepa/data/uploads/9-engenharia-de-sustentabilidade/9-06.pdf), acesso em 22/10/2019.

DJ FORNOS. DJ fornos industriais, 2019. Forno rotativo para fundição. Disponível em: < <http://www.djforneos.com.br/forno-rotativo-fundicao>>. Acesso em: 10 de out. de 2019.

DWECK, J., FERREIRA DA SILVA, P., SILVA ADERNE, R., BÜCHLER, P.M., CARTLEDGE, F.K. Evaluating cement hydration by non-conventional DTA; An Application to Waste Solidification, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 71, n. 3, 2003, p. 821-827.

DWECK, J., DA CUNHA, A. L. C.; PINTO, C. A.; GONÇALVES, J. P.; BUCHLER, P. M., 2009. Thermogravimetry on calcined mass basis – hydrated cement phases and

pozzolanic activity quantitative analysis. J. Therm. Anal. Calorim. 97, 85–89.  
doi:10.1007/s10973-008-9761-0

ENCICLOPÉDIA BIOSFERA - Centro Científico Conhecer, Goiânia/GO, v. 9, n.16;  
p.29-53, 2013.

Ferreira, Fernanda Cavalcanti. Estudo de caracterização do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Recife, 2017.

Geraldo, R. H., Pinheiro, S. M. M., Silva, J. S., Andrade, H. M. C., Dweck, J., Gonçalves, J. P., & Camarini, G. (2017). Gypsum plaster waste recycling: A potential environmental and industrial solution. Journal of Cleaner Production, 164, 288–300.  
doi:10.1016/j.jclepro.2017.06.188.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **Reciclar para Construir**: alternativas de Gestão do Resíduo de Gesso. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

LE PLÂTRE – Physico-chimie Fabrication – Emplois – Syndicat National des Industries du Plâtre – EYROLLES-1982 – Paris – FRANCE

LOUREIRO, F. E. L.. O gesso nos agrossistemas brasileiros . In: FERTILIZANTES AGROINDUSTRIA E SUSTENTABILIDADE, 2009, Rio de Janeiro. CETEM/MCT. 2009. p.445-478.

MAGNAN, M. Mecanisme et cinétique de l'hydratation du plâtre. Revue des Matériaux de Construction. n. 671, p. 28-31, 1973.

MARQUES NETO, José da Costa. Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil. São Carlos: Rima, 2005. 162 p.

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

OLIVEIRA, F. M. C.; BORGES, L. E. P.; MELO, E. B.; BARROS, M. L. S. C. Características mineralógicas e cristalográficas da gipsita do Araripe. Revista HOLOS, Natal/RN, ano 28, v. 5, p. 71 – 82, 2012.

PERES, L. S.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A. Gesso: produção e utilização na construção civil. Recife/PE: SEBRAE, 2008.

PETRUCCI, E. G. R. Materiais de Construção , 11<sup>a</sup> ed. Editora Globo. São Paulo. 1998.

Pinheiro, S. M. M. Gesso Reciclado: Avaliação de propriedades para uso em componentes. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP, 2011.

PINTO, Tarcísio de Paula. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.189f.

RIBEIRO, A. S. Produção de gesso reciclado a partir de resíduos oriundos da Construção Civil. 2006. 105 pg. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana. Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. Março de 2006.

Rodrigo H. Geraldo, Sayonara M.M. Pinheiro, Jefferson S. Silva, Heloysa M.C. Andrade, Jo Dweck, Jardel P. Gonçalves, Gladis Camarini, Gypsum plaster waste recycling: a potential environmental and industrial solution, *Journal of Cleaner Production* (2017), doi: 10.1016/j.jclepro.2017.06.188.

SINDIGESSO - Sindicato da Indústria de Gesso, Decorações, Estuques e Ornatos do Estado de Goiás, 2019. Disponível em: <<http://www.sindicatodaindustria.com.br/publicacoes/2014/05/72,38326/a-producao-do-gesso.html>>. Acesso em 10 de out de 2019.

TYDLITÁ, V.; MEDVED, I.; CERNÝ, I. Determination of a partial phase composition in calcined gypsum by calorimetric analysis of hydration kinetics. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 109(1), 57–62, 2011. doi:10.1007/s10973-011-1334-y.

Vratislav Tydlitát,Igor MedveĎ,Robert Ā erný, Determination of a partial phase composition in calcined gypsum by calorimetric analysis of hydration kinetics,J Therm Anal Calorim (2012) 109:57–62,doi: 10.1007/s10973-011-1334-y.