

# AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DO GESSO PELO RESÍDUO FOSFOGESSO COMO INSUMO NA CONSTRUÇÃO CIVIL <sup>1</sup>

Mariana Moreira Cavalcanti Canut <sup>2</sup>  
Abdias Magalhães Gomes <sup>3</sup>  
Wander Luiz Vasconcelos <sup>4</sup>  
Vanusa Maria Feliciano Jacomino <sup>5</sup>

## Resumo

O presente trabalho investiga as propriedades do fosfogesso, um resíduo originário da produção de fertilizante fosfatado, gerado no mundo em larga escala, representando desta forma um grande passivo ambiental para as empresas. O estudo é baseado em vários testes de caracterização físico-química e testes de resistência. Os testes foram realizados objetivando avaliar e comparar as propriedades do resíduo fosfogesso com o gesso natural, a partir de técnicas de instrumentação e análise. Com base nos resultados obtidos foi possível atestar a viabilidade da substituição do gesso pelo resíduo fosfogesso na fabricação de artefatos para a construção civil, após um adequado e apropriado beneficiamento do mesmo.

**Palavras-chave:** Fosfogesso; Gesso; Construção civil

## ASSESSMENT OF THE GYPSUM SUBSTITUTION BY PHOSPHOGYPSUM WASTE AS A CIVIL CONSTRUCTION MATERIAL

## Abstract

This paper investigates the material properties of the phosphogypsum, a fertilizer waste which is produced in a large amount worldwide. There are several important environmental problems to the factories connected to the disposal of phosphogypsum. The study is based on several tests of characterization, physical, chemical and strength tests. All tests were conducted in order to evaluate and to compare the properties between phosphogypsum waste and natural gypsum. By utilizing this byproduct, instrumentation and analyses methods were utilized as well mechanical tests. The results show that phosphogypsum can be a content product for substitution of gypsum, after submitting it to the right beneficial process.

**Key words:** Phosphogypsum; Gypsum; Civil construction

<sup>1</sup> Contribuição técnica apresentada na 61<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

<sup>2</sup> Estudante de mestrado em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais.

<sup>3</sup> Professor adjunto do Departamento de Materiais e Construção da Universidade Federal de Minas Gerais.

<sup>4</sup> Professor adjunto do Departamento de Minas e Metalurgia da Universidade Federal de Minas Gerais.

<sup>5</sup> Professora de pós-graduação do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear de Minas Gerais – CDTN/MG

## 1 INTRODUÇÃO

A rocha fosfática é o recurso natural utilizado na produção do ácido fosfórico o qual pode ser obtido através de processo simples (dihidrato) ou duplo (hemidratado – dihidratado).<sup>(1)</sup> Através dessa produção é gerado o resíduo fosfogesso. A produção anual do fosfogesso no Brasil é atualmente em torno de 9 milhões de toneladas, de cada 1 tonelada de ácido fosfórico produzida de 4 a 6 são o fosfogesso.<sup>(2)</sup> O fosfogesso se destaca pela sua similaridade com o gesso. Além de ser um composto químico com a mesma composição mineralógica da gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), possui as propriedades químicas e físicas similares, exceto algumas impurezas encontradas como fosfatos, matéria orgânica e radionuclídeos.

A concentração de radionuclídeos em amostras de fosfogesso varia largamente em todo o mundo, dependendo da composição da rocha fosfática de extração. No Brasil há maioria do fosfogesso é extraído de fontes fosfáticas de origem ígnea o que possibilita a geração de um fosfogesso com baixa taxa de concentração de  $^{226}\text{Ra}$ .<sup>(3)</sup> O nível de radiação no Brasil, até o presente, segue a faixa utilizada pela USEPA (United State Environmental Protection Agency) que especifica uma faixa que não deve exceder a 20pCi/m<sup>2</sup>.<sup>(4)</sup> Com isso, esse material é viável de utilização na construção civil.

Os benefícios trazidos com o uso do fosfogesso são inúmeros como a substituição do gesso natural evitando a degradação e exploração de reservas naturais de gipsita, dar valor agregado há um passivo ambiental na utilização na construção civil, redução dos custos dos insumos de gesso.

Para a utilização e aplicação de um resíduo é necessário o estudo exaustivo através de técnicas apropriadas das suas propriedades físico-químicas e mecânicas. No entanto esse trabalho apresenta as técnicas de caracterização utilizadas e sua importância na caracterização e comparação do resíduo fosfogesso e do gesso.

## 2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo o estudo da viabilidade de estudo da substituição total do gesso pelo resíduo fosfogesso na fabricação de artefatos para a construção civil.

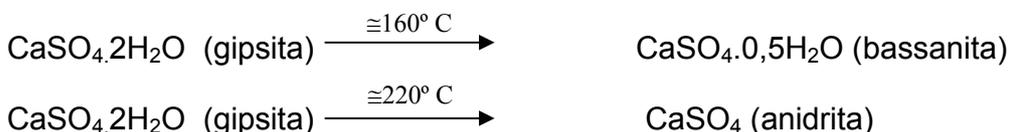
## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Materiais

Os materiais utilizados para a realização do trabalho foram o gesso e o resíduo fosfogesso. O primeiro se destaca por ser um material largamente utilizado na construção civil. Já o fosfogesso é um resíduo largamente gerado nas fábricas de produção de fertilizantes, que tem grande possibilidade de ser utilizado algum dia como insumo na construção civil.

### 3.1.1 Gesso

Bassanita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) é o nome mineralógico do produto comercialmente referenciado como gesso. O gesso é fabricado através da desidratação da gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), que é um sulfato de cálcio dihidratado no seu estado natural. As reações de desidratação da gipsita podem ser observadas a seguir:



O estudo da desidratação da gipsita é de suma importância no processo de beneficiamento do fosfogesso. Devido o processo de fabricação do fosfogesso ser por via úmida esse se trata de um material muito úmido que deve ser submetido a um tratamento térmico adequado.

Para o presente estudo foi utilizado o gesso *Qualigesso 30*, um produto de qualidade e alvura desejáveis para aplicação como insumo na construção civil. Este é considerado um gesso de pega rápida, ideal para a fabricação de pré-moldados tais como: placas, pisos, blocos e divisórias.

### 3.1.2 Fosfogesso

O fosfogesso é um composto químico gerado pelas indústrias de fertilizantes e apresenta a mesma composição mineralógica da gipsita que é um sulfato de cálcio de dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

O fosfogesso utilizado no presente artigo foi coletado na empresa de fertilizante localizada em Uberaba, Minas Gerais, a qual destaca-se por ser a maior produtora de fertilizantes brasileira sendo assim a maior geradora do resíduo fosfogesso, e por estar próxima ao principal centro consumidor de gesso que é a região Sudeste.

O recolhimento do material foi realizado pela própria empresa geradora do resíduo, sendo posteriormente embalado e transportado em sacos de 40kg.

Primeiramente o material foi seco a uma temperatura de  $60^\circ\text{C}$  em estufa, após esta etapa foi peneirado pela peneira de 0,71mm (Tyler 24) e finalmente aquecido a uma temperatura de  $180^\circ\text{C}$ , a qual foi obtida através de referências bibliográficas sobre o gesso e das análises térmicas realizadas.

## 3.2 Métodos

A metodologia de trabalho foi elaborada com a necessidade de caracterização do resíduo fosfogesso. Todas as análises foram realizadas para três tipos de amostras, exceto a análises térmicas e de resistência a compressão que foram realizadas utilizando apenas o gesso natural e o fosfogesso beneficiado:

- fosfogesso “in natura” – sem nenhum tipo de tratamento;
- fosfogesso beneficiado – submetido a peneiramento e tratamento térmico;
- gesso natural – *Qualigesso 30*.

A análise térmica diferencial (DTA) e de termogravimetria (TGA) foram realizadas de modo a observar o comportamento dos materiais com o aumento de temperatura. DTA mostra as reações entálpicas, endotérmicas ou exotérmicas, do material com o aumento da temperatura. As reações entálpicas podem ocorrer devido à mudança de fases, desidratação, oxidação a outras reações químicas ocorridas com o material durante o processo de aquecimento.<sup>(5)</sup> Já a análise de TGA mede a variação de massa (perda ou ganho) do material devido ao aumento da temperatura. Através dessas análises foi possível estabelecer uma temperatura ideal para o beneficiamento do fosfogesso. O equipamento utilizado foi NETZSCH modelo STA409EP, os ensaios foram executados em cadinho de platina, com uma massa de amostra em torno de 10 mg em atmosfera dinâmica de N<sub>2</sub> (25 ml/ min<sup>-1</sup>) e taxa de aquecimento de 10 °C/ min.

A granulometria a laser é um método muito usado para identificar o tamanho das partículas e a distribuição granulométrica de um material. A solução foi agitada e dispersa por um agitador, sendo a contagem efetuada via microcomputador. Para este ensaio foi utilizado o equipamento CILAS 1064.

A picnometria a hélio (He) foi realizada com o intuito de estabelecer a densidade real dos materiais a serem estudados. Esse ensaio foi realizado através do Multipycnometer da marca QUANTACHROME.

A análise de Fluorescência de raios X é uma análise não destrutiva que define os elementos químicos dos materiais. Esse ensaio foi realizado com o equipamento da marca PHILIPS modelo PW-2500. Já a análise de difração de raios X tem como intuito avaliar a mineralogia do material. Para isso foi utilizado o equipamento da marca PHILIPS modelo PW-3710 (radiação CuK, corrente de 30mA, 40kV e varredura com passo de 0,060 e tempo de coleta de 1,0 segundo por passo).

A adsorção é dessorção física (Método BET) é utilizada para medir a área superficial específica dos materiais, média de tamanho de poros bem como forma das partículas dos materiais.<sup>(6)</sup>

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é uma importante análise óptica que permite analisar a morfologia do material em escala microscópica com aumento de até 300.000x. Esse ensaio foi realizado utilizando o equipamento JCO, JSM- 5410. As análises mecânicas foram realizadas através de testes de compressão de divisórias de gesso e fosfogesso 7,5 cm x 50 cm (largura x altura). As divisórias são vendidas no mercado nacional e são utilizadas como vedação de estruturas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análises Térmicas

Através da análise térmica e comparação entre as duas amostras foi possível observar a o processo de desidratação do gesso (Figura 1(a)) e do fosfogesso (Figura 1(b)).

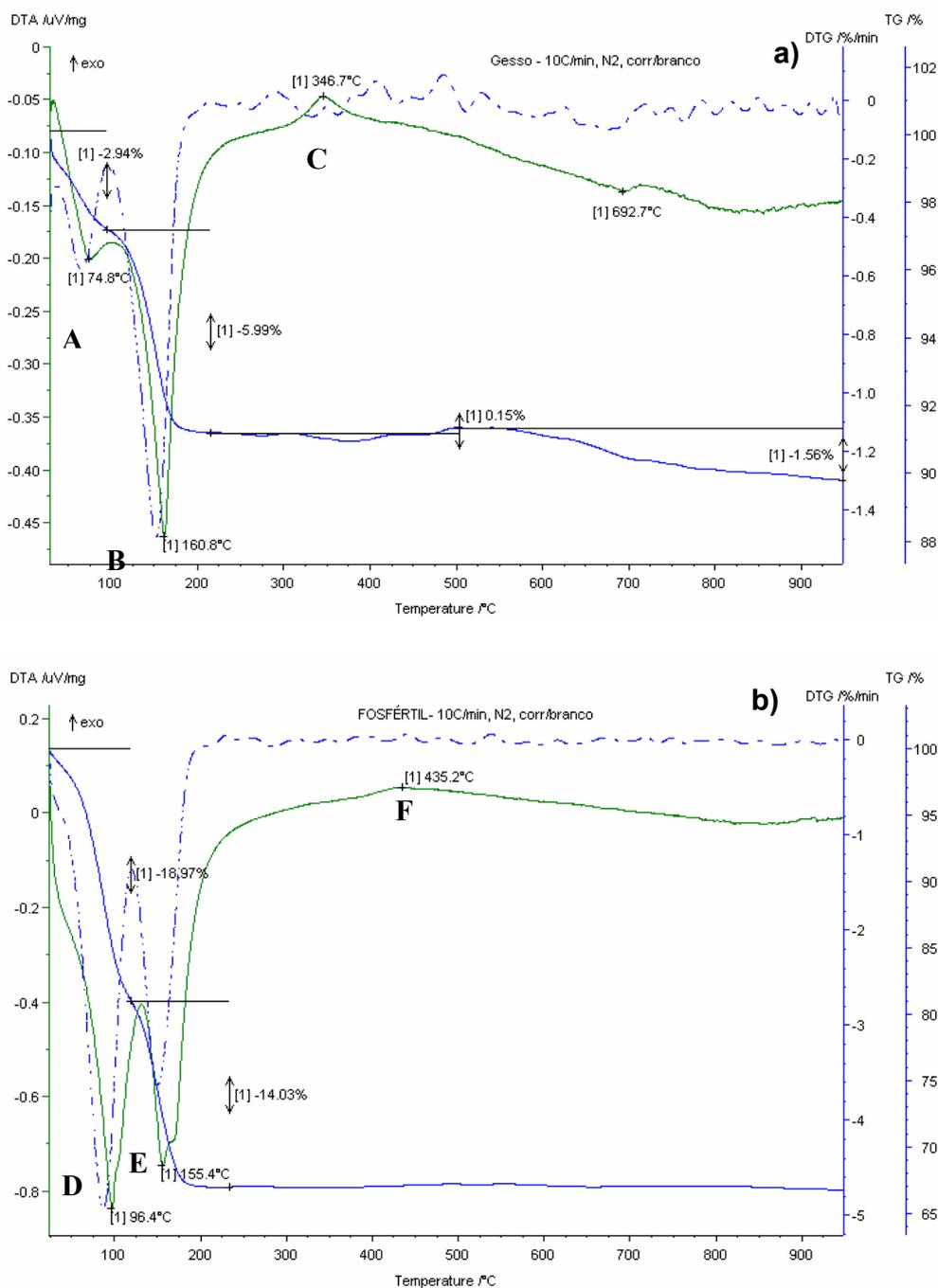


Figura 1. Análises térmicas (a) gesso e 1(b) fosfogesso.

O gesso por ser um hemidrato (Figura 1(a)), já submetido a um processo de desidratação, apresenta na análise de DTA um pequeno pico (A=74,8°C) representando a perda de água livre e um pico maior (B=160,8°C) correspondente à reação endotérmica de formação da anidrita (CaSO<sub>4</sub>). Já na Figura 1(b) corresponde a desidratação do fosfogesso “in natura”, “D” (96,4°C) representa a perda de água livre e “E” (155,4°C) perda de parte da água estrutural e formação do hemidrato (CaSO<sub>4</sub>.0,5H<sub>2</sub>O). O pico exotérmico “C” e “F” deve-se à transformação da anidrita instável (anidrita III) em anidrita estável (anidrita II). A perda de massa de como pode ser observada foi de aproximadamente de 9% e 33% no gesso e fosfogesso respectivamente, dada pela curva de termogravimetria e se dá devido à perda de a água livre e/ou estrutural ou de algum composto dos materiais analisados.

Com os resultados de análise térmica foi possível estabelecer a temperatura em que irá ser realizado o tratamento térmico do fosfogesso, pois devido à quantidade de água envolvida no processo de formação desse rejeito, este deve passar por um tratamento térmico. Este então foi aquecido em estufa à temperatura de 180°C durante 60 minutos para a realização dos demais ensaios posteriormente.

#### 4.2 Granulometria a Laser

A partir da Tabela 1, é possível analisar os resultados obtidos para os diâmetros D<sub>10</sub>, D<sub>50</sub> e D<sub>90</sub> das amostras de gesso e fosfogesso.

**Tabela 1.** Diâmetro mediano das amostras de gesso e fosfogesso.

| <b>Amostra</b>         | <b>D 10% (µm)</b> | <b>D 50%(µm)</b> | <b>D 90%(µm)</b> |
|------------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Gesso                  | 2,0               | 23,4             | 60,0             |
| Fosfogesso “in natura” | 5,8               | 30,7             | 65,0             |
| Fosfogesso beneficiado | 6,2               | 25,7             | 62,5             |

Os resultados obtidos pelo ensaio de granulometria a laser, indicam que 50% da amostra analisada de gesso e fosfogesso estão abaixo de 31µm (Tabela 1). Estes materiais são considerados de granulometria fina por possuírem partículas com diâmetros menores que 65 µm.

### 4.3 Picnometria a Hélio

Os resultados da análise de picnometria utilizando o gás hélio podem ser analisados através do gráfico a seguir. (Figura 2).

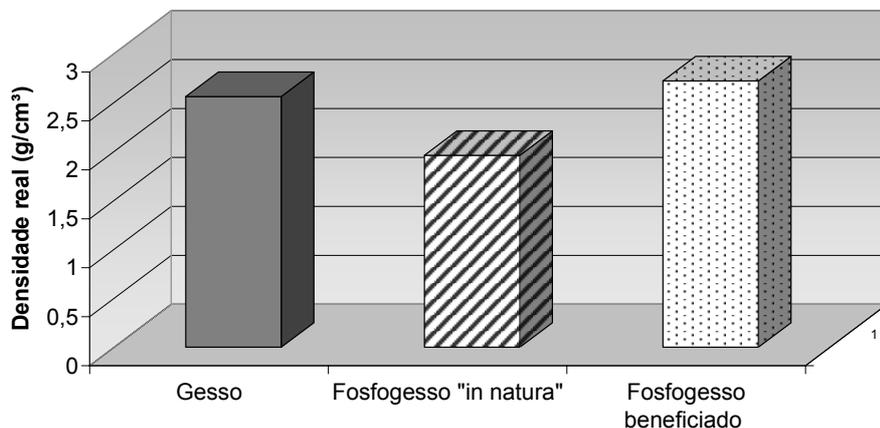


Figura 2. Densidade real das amostras de gesso e fosfogesso.

Após o beneficiamento do fosfogesso pode-se observar o aumento da densidade real, aproximando assim da densidade real do gesso natural.

### 4.4 Difração de Raios- X

A difração de raios X possibilitou a análise mineralógica das amostras de gesso e fosfogesso (Figura 3).

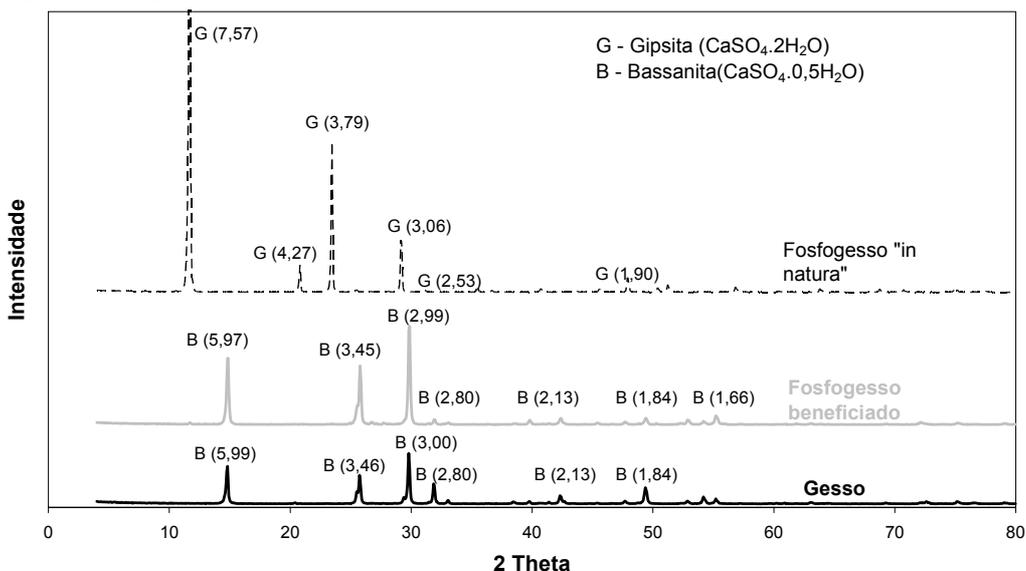


Figura 3. Espectro de difração de raios X para as amostras de gesso e fosfogesso.

Pode-se observar a coincidência dos picos do gesso com o fosfogesso após o beneficiamento. Isso se dá devido à perda de água e conseqüente mudança de fase gipsita do fosfogesso “in natura” para bassanita do fosfogesso beneficiado.

#### 4.5 Fluorescência de Raios X

Através de fluorescência de raios X, determinou-se os principais elementos químicos que compõem as amostras (Tabela 2).

**Tabela 2.** Fluorescência de raios X nas amostras de gesso e fosfogesso

| <b>Amostras</b>        | <b>Elementos Altos</b> | <b>Elementos Médios</b> | <b>Elementos Baixos</b> | <b>Traço</b>                                  |
|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|---|
| Gesso                  | S,O                    | Ca                      |                         | Si, Al, Mg, K, Zn, Cu, Fe, Mn, Sr             |
| Fosfogesso “in natura” | S, O                   | Ca                      | P                       | Si, Al, Mg, Na, Fe, Ce, Ti, La, K, Sr, Zr, Pr |
| Fosfogesso Beneficiado | S, O                   | Ca                      | P                       | Si, Al, Mg, Na, Fe, Ce, Ti, La, Sr, Pr        |

Os elementos identificados na fluorescência de raios X para as duas amostras de fosfogesso, foram basicamente os mesmos, diferenciando apenas alguns elementos encontrados em traços e a presença de fósforo (P). A incidência do elemento químico fósforo se dá devido à presença deste elemento na produção de fertilizantes.

#### 4.6 Dessorção Física (Método BET)

Os resultados das análises de dessorção física podem ser observados na Tabela 3.

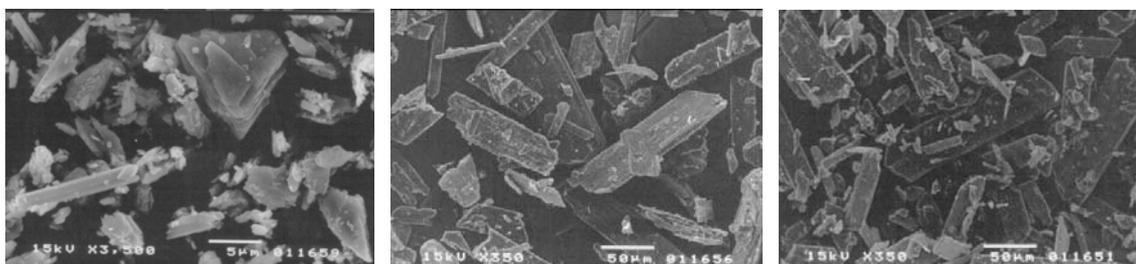
**Tabela 3.** Resultado do Método BET para as amostras de gesso e fosfogesso

| <b>Amostra</b>         | <b>Área Superficial Específica (m<sup>2</sup>/g)</b> | <b>Volume Total de Poros (cc/g)</b> | <b>Diâmetro Médio de Poros (Å)</b> |
|------------------------|--|-------------------------------------|------------------------------------|
| Gesso                  | 2,8  | 0,01                                | 97                                 |
| Fosfogesso “in natura” | 17,5   | 0,05                                | 107                                |
| Fosfogesso beneficiado | 10,5   | 0,06                                | 236                                |

A área superficial específica das partículas de gesso é aproximadamente 4 vezes menor que a do fosfogesso beneficiado. Após o beneficiamento do fosfogesso houve um aumento do volume total e o diâmetro médio isso pode ter ocorrido devido à perda de água ou algum outro componente do fosfogesso quando este é submetido a tratamento térmico.

#### 4.7 Microscopia Eletrônica de Varredura

A morfologia das partículas, das amostras de gesso e fosfogesso, foi analisada através das fotomicrografias abaixo (Figura 3(a) a Figura 3(c)).



**Figura 3.** Fotomicrografia das amostras de: (a) gesso , (b) fosfogesso “in natura”, (c) e fosfogesso beneficiado.

Com as fotomicrografias de aumento de 3500x para as amostras gesso (Figura 3(a)) e 350x para o fosfogesso (Figura 3(b) e Figura 3(c)), foi possível observar que as formas das partículas podem ser definidas como regulares e de pequeno tamanho. Observa-se também que as partículas de gesso (Figura 3 (a)) são menores que a do fosfogesso, foi necessário assim um aumento de 10x a mais que as amostras de fosfogesso, confirmando assim os ensaios de adsorção e dessorção física (Método BET) e granulometria a laser. A morfologia das partículas do fosfogesso não foi alterada com o beneficiamento, conforme pode-se observar nas figuras 3(b) e 3(c).

#### 4.8 Resistência à Compressão

Na Tabela 4, são expressos os resultados de resistência à compressão das divisórias de 7,5 cm x 50 cm (espessura x altura) confeccionadas com gesso e fosfogesso.

**Tabela 4.** Resultados de resistência a compressão das divisórias de fosfogesso e gesso

| Placas     | 1       | 2       | 3       | Média    |
|------------|---------|---------|---------|----------|
| Fosfogesso | 5,2 MPa | 4,9 MPa | 5,3 MPa | 5,13 MPa |
| Gesso      | 7,1 MPa | 6,8 MPa | 6,7 MPa | 6,86 MPa |

Os ensaios de resistência mecânica mostram que a resistência à compressão das divisórias confeccionadas com o resíduo fosfogesso foi de apenas 30% menor que a do gesso natural. Sendo assim, é viável a utilização de divisórias de vedação confeccionadas com o resíduo fosfogesso na construção civil.

### 5 CONCLUSÕES

A transformação de um resíduo em um produto comercialmente viável significa simultaneamente grande oportunidade para aumentar a tão almejada sustentabilidade social e ambiental, e principalmente porque se direciona à melhoria de condição de vida da nossa população tão carente de recursos,

através do emprego de materiais de construção cada vez mais acessíveis e baratos. Neste sentido, o desenvolvimento do presente trabalho, focado na caracterização das propriedades físico-químicas, morfológicas e mecânicas do resíduo fosfogesso se reveste de suma importância, como forma de geração de estudos preliminares que viabilize e suporte novos projetos de pesquisa.

Foi possível observar através da caracterização do resíduo fosfogesso e do gesso “in natura” comumente utilizado na construção civil que:

- a partir das análises térmicas e de difração de raios X foi possível concluir que o beneficiamento do fosfogesso é uma etapa de suma importância na viabilização de seu aproveitamento como substituto do gesso “in natura” utilizado nas construções;
- foram observados traços de impurezas nas análises químicas realizadas no fosfogesso, mas por serem de baixa proporção e incidência, possivelmente não irão interferir na qualidade do produto final;
- os resultados obtidos no ensaio de compressão podem ser considerado satisfatório, na medida que viabiliza o uso do resíduo fosfogesso como substituto do gesso na construção civil.

## REFERÊNCIAS

- 1 SINGHT, M. GARG, M. **Relationship between mechanical properties and porosity of water-resistant gypsum binder**. Cement and Concrete Research, vol. 26.n3. 1996. p.449-456.
- 2 AQUINO, P.E. A Produção de Ácido Fosfórico e a Geração de Fosfogesso. 22 p. 2005. Disponível em:< <http://www.fosfogesso.eng.ufmg.br>>. Acesso em: 21 jan. 2006.
- 3 JACOMINO, V. M. F. **Relatório Técnico Científico por Missão**. Belo Horizonte: CDTN/CNEN, 2002. p.1-17.
- 4 United State Environmental Protection Agency. Disponível em <http://www.epa.gov/radiation/neshaps/subpartr/subpartr.htm#sec206>. Acesso em 26 de set. 2005.
- 5 PADILHA, A.F., AMBROZIO FILHO, F. **Técnicas de Análise Microestrutural**. 1ª.ed. São Paulo: Hemus Editora Ltda, 1985.190 p.
- 6 BRANDÃO, P. R. G. **Métodos de Instrumentação e Análise**. Curso de pós graduação em Engenharia de Minas e Metalúrgica da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, 2001. 127 p.