



VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA PEDRA SABÃO NA FABRICAÇÃO DE MATERIAL REFRAATÓRIO¹

Ludimila Melo Vieira²

Rômulo Alves dos Santos³

Mirele Bastos Moreira²

Ana Beatriz da Silva⁴

Paulo Santos Assis⁵

Resumo

O uso da Pedra sabão é tradicional na região de Ouro Preto e Mariana, vem sendo utilizada artesanalmente para a fabricação de peças decorativas e utilitárias desde os tempos coloniais. Esse processo é rudimentar e os resíduos gerados são considerados um grave impacto ambiental. Baseado nisto, o objetivo desse trabalho é verificar a possibilidade de utilização desses resíduos na fabricação de refratários, que são materiais cerâmicos capazes de suportar altas temperaturas sem perder suas propriedades físico-químicas, entre elas, resistência, baixa condutividade térmica e elétrica. A metodologia utilizada iniciou-se com uma pesquisa bibliográfica a respeito da caracterização tecnológica do resíduo de Pedra sabão e de materiais refratários, sendo seguida pela parte experimental, que será elaborada através da compactação deste resíduo através da mistura junto ao aglomerante (PVA) sendo aplicada uma pressão de compactação de 300 kgf/cm² para formação de 12 corpos de prova de forma cilíndrica com cerca de 2 cm de raio, onde será levado ao forno em 4 temperaturas diferentes a 400°C, 600°C, 800°C, e 1.000°C permanecendo nestas por 2 horas analisará sua sinterização e posterior calculo de resistência a compressão. Logo depois será feito o cálculo da densidade e de porosidade através do método de B.E.T (Braunauer, Emmet e Teller).

Palavras-chave: Resíduos; Pedra sabão; Refratários.

FEASIBILITY OF USING WASTE FROM SOAPSTONE IN THE MANUFACTURE OF REFRACTORY MATERIAL

Abstract

Use of Soapstone is traditional in the region of Ouro Preto and Mariana, has been used for the manufacture of handmade decorative and utilitarian pieces from the colonial times. This process is rudimentary and waste is considered a significant environmental impact. Based on this, the objective is to verify the possibility of using such waste in the manufacture of refractory, ceramics that are capable of withstanding high temperatures without losing its physical and chemical properties, including resistance, low thermal and electrical conductivity. The methodology began with a literature search about the technological characteristics of the residue of Soapstone and refractory materials, followed by the experimental part, which will be prepared by compacting of the waste by mixing with the binder (PVA) is applied a compaction pressure of 300 kgf / cm² for convection of about 12 specimens of cylindrical shape with about 2 cm in radius, which is in the oven at 4 different temperatures to 400 ° C, 600 ° C, 800 ° C and 1000 ° C remained for these two hours will review its sintering and subsequent calculation of the resistance will be done after compression. After the calculation of density and porosity by the method of BET (Braunau, Emmet and Teller).

Key words: Waste; Soapstone; Refractory.

¹ Contribuição técnica ao 42º Seminário de Aciaria – Internacional, 15 a 18 de maio de 2011, Salvador, BA, Brasil.

² Membro da ABM. Graduando em Engenharia Metalúrgica pela Escola de Minas - UFOP

³ Membro da ABM. Engenheiro Metalurgista pela Escola de Minas-UFOP

⁴ Membro da ABM. Engenheira Civil da Escola de Minas-UFOP, Mestre em Engenharia de Materiais na Redemat. Doutoranda da Redemat

⁵ Membro da ABM. Prof. Titular da Escola de Minas - UFOP, Prof. da Redemat, Prof. Honorário da HUST, China, Pesquisador do CNPq, Membro da Direção da EcoEnviroX. Diretor do Núcleo de Siderurgia, Meio-Ambiente e Energia do DEMET – UFOP.



1 INTRODUÇÃO

A pedra-sabão, também conhecida como esteatito, é uma variedade de esteatita, muito usada em Minas Gerais para esculturas e ornatos arquitetônicos.

As pedras-sabão ou pedras-sabões são resistentes, de grande plasticidade, beleza e têm multiplicidade de usos. Sua resistência e sua dureza podem ser comparadas às do mármore, com a vantagem de ser também refratária, suportando temperaturas elevadas. Tais características fazem dela o material perfeito para uso tanto em áreas externas como em ambientes internos. O fácil manuseio e sua baixa dureza geram finos que se transformam em resíduos, e conseqüentemente são problemas ambientais.

A crescente competitividade nos setores cerâmicos e refratários brasileiros tem impulsionado não só a melhoria dos revestimentos refratários existentes, como também o desenvolvimento de materiais que sejam adequados às mais diversas aplicações. A maioria dos materiais refratários tem um elevado custo devido às suas condições de queima, as quais utilizam elevadas temperaturas.

Os refratários são produtos fundamentais para uma vasta gama de indústrias. De modo geral, qualquer processo que envolva altas temperaturas depende do desempenho de refratários. A necessidade de melhoria de processos, o aumento de eficiência e da produtividade resulta em contínuos investimentos para incrementar o nível de qualidade dos produtos refratários. Os refratários são utilizados nas indústrias siderúrgicas. Do cimento, do vidro, petroquímica, e outras onde são necessárias excelentes propriedades térmicas e outras mais específicas como resistência a corrosão, abrasão e choque térmico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo verificar a possibilidade da utilização dos resíduos de pedra sabão servindo de matéria prima na fabricação dos refratários, visando um melhor destino para esses rejeitos, e com isso diminuir o impacto ambiental e redução de custo.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar as características dos resíduos produzidos no beneficiamento de pedra sabão como granulometria, composição química e composição mineralógica;
- Fazer a sinterização do material;
- Analisar as propriedades físicas do material sinterizado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Pedra Sabão

A esteatita, ou pedra-sabão, como é popularmente conhecida, abunda na região do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais. É uma rocha metamórfica, compacta, plástica, untuosa ao tato, encontrada nas tonalidades cinza e creme. É composta



sobretudo de talco, que confere à rocha sua principal característica: a baixa dureza, que facilita o manuseio para esculturas.⁽¹⁾

Na Figura 1 pode-se observar a estrutura cristalina do talco constituída de camadas de silício e magnésio, interligadas por oxigênio. Além disso, verificam-se hidrogênios coordenados aos oxigênios da estrutura e estes se encontram interligados ao magnésio na forma de hidroxila.

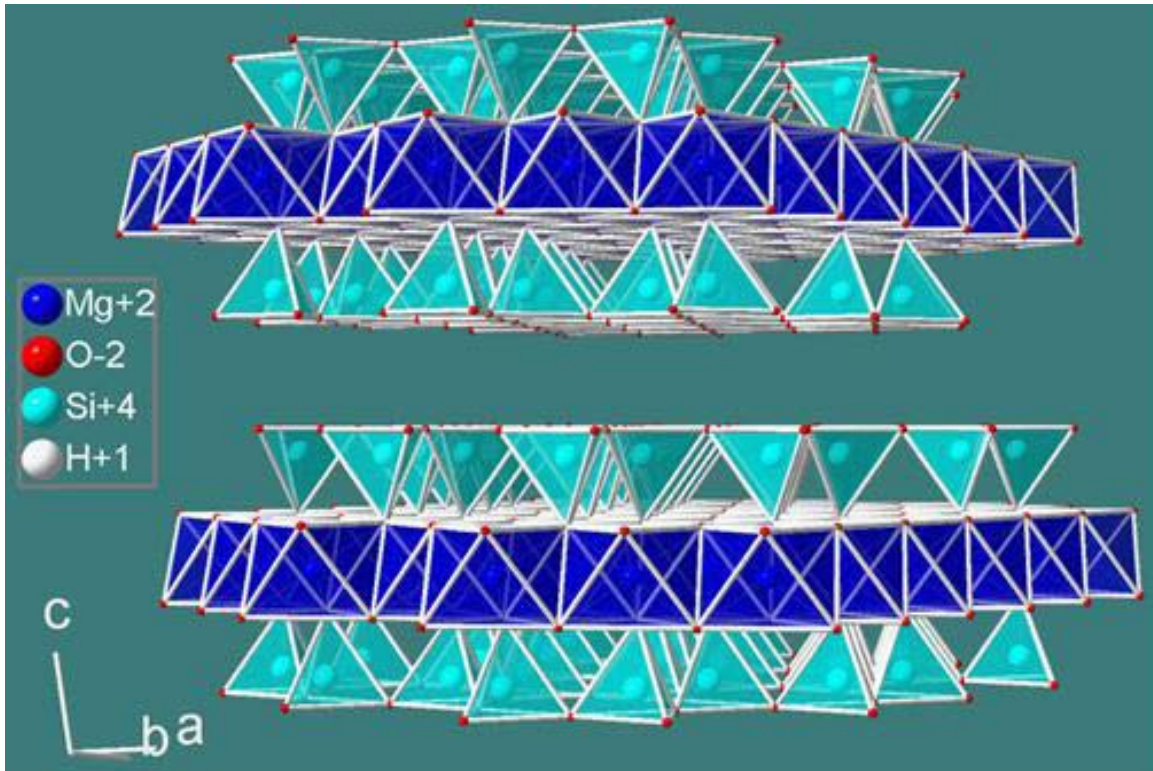


Figura 1: Estrutura cristalina do talco.⁽²⁾

3.1.1 Características físico-químicas

O esteatito é classificado geologicamente como sendo uma rocha metaultramáfica.⁽³⁾ As rochas metaultramáficas caracterizam-se por tipos petrográficos variados em função do grau de transformação metamórfica. Tipos completamente metamorfizados são carbonato-talco-serpentina, tremolitito, clorita xisto, serpentinito e esteatito.⁽⁴⁾

Esteatitos são usualmente formados por diversos minerais geológicos, entre os quais se destacam o talco $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$, a dolomita $CaMg(CO_3)_2$, a actinolita $Ca_2(Mg,Fe^{2+})_5Si_8O_{22}(OH)_2$, e a lorita $(Mg,Al,Fe)_{12}[(Si,Al)_8O_{20}](OH)_{16}$. Também são encontrados no esteatito alguns minerais acessórios como: pirita, FeS_2 ; arsenopirita, $FeAsS$; magnetita, $Fe^{2+}Fe^{3+}_2O_4$; epidoto, $Ca_2(Fe^{3+},Al)_3(SiO_4)_3(OH)$; titanita, $CaTiSiO_5$. Cabe destacar que rochas ultramáficas, como o esteatito, e seus produtos são usualmente enriquecidos com elementos traço, como cromo, níquel e cobalto, se comparadas com outros tipos de rochas.⁽⁵⁾

Durante o metamorfismo do esteatito, elementos podem ser incorporados aos minerais recristalizados, na maioria das vezes na forma de substituições. Pelos seus raios iônicos, valência e distribuição de carga, pequenas quantidades de níquel substituindo magnésio na serpentina; cromo na posição do titânio na titanita; cromo substituindo o ferro, e níquel ou cobalto no lugar do ferro na magnetita; níquel ou cobalto substituindo o ferro na pirita; e cromo, níquel e titânio em cloritas, podem ser



observados. Considerando elementos majoritários, alumínio pode ser encontrado substituindo tanto silício quanto magnésio no talco. Trocas usuais incluem ferro e manganês em dolomitas, substituindo magnésio. Popularmente o esteatito ficou conhecido como talco, um dos seus minerais majoritários.

A plasticidade do material, refletida na baixa dureza, característica marcante destas rochas, se deve especialmente à composição mineralógica apresentada. Entre os diversos tipos de rochas, o esteatito se destaca por possuir o menor grau na classificação da Escala de Dureza de Mohs, escala arbitrária onde os minerais são classificados conforme sua dureza relativa entre um e dez. Essa característica permite que a rocha seja facilmente riscada, inclusive com a unha, garantindo seu emprego tanto na forma artesanal como industrial.⁽⁶⁾

3.1.2 Aplicações do esteatito

Além da baixa dureza, a facilidade de extração estimulou o emprego da pedra-sabão na confecção de peças artesanais, como objetos de arte e utensílios culinários. Acredita-se que os indígenas que ocupavam a região do Sudeste do Brasil foram os primeiros indivíduos no continente sul-americano a usar a pedra-sabão esculpida na forma de utensílio para o contato com alimentos.⁽³⁾

Até hoje em determinadas cidades do Sudeste brasileiro, especialmente as próximas às jazidas de esteatito, como em Ouro Preto (MG, Brasil), é tradicional o emprego de utensílios confeccionados em pedra-sabão no preparo culinário de alimentos. Outro provável fator que influenciou nesta tradição, foi o clima da região que favorece temperaturas baixas especialmente à noite, uma vez que a pedra-sabão possui a característica de baixa condutância térmica, mantendo o alimento aquecido por longos períodos.⁽³⁾

A aplicação do esteatito como artesanato foi observada desde o século XVII. O nome "pedra-sabão" foi conferido à rocha pelos artistas da época barroca, dos quais o mais conhecido é Antônio Francisco Lisboa, o "Aleijadinho", devido à pequena dureza apresentada. Nas igrejas de Ouro Preto e em Congonhas (MG, Brasil), são encontradas diversas obras esculpidas em pedra-sabão, muitas das quais foram tombadas como patrimônio histórico mundial. Na atualidade, os produtos confeccionados em pedra-sabão vão desde utensílios, como as "panelas de pedra" até obras de arte, voltadas para o comércio local e para exportação.⁽³⁾

3.1.3 O resíduo da pedra sabão

O trabalho artesanal desenvolvido por uma das comunidades em Ouro Preto gera grande quantidade de poeira mineral, cuja inalação e contato epidérmico, podem ocasionar problemas respiratórios e dermatológicos, respectivamente. E geralmente é descartado em mananciais e nas proximidades de rios, gerando problemas ambientais.

Adicionalmente, o esteatito pode conter asbestos (amianto), em sua composição; fibra, que é potencialmente cancerígena. Estudos realizados na localidade detectaram a possível presença de asbestos na poeira mineral, e também demonstraram que os níveis de particulado gerado pela produção artesanal estão acima do recomendado pelas normas da Fundacentro.⁽¹⁾



3.2 Sinterização

A sinterização é um processo no qual pós com preparação cristalina ou não, uma vez compactados, recebem tratamento térmico, no qual a temperatura de processamento é sempre menor que a sua temperatura de fusão. Este processo cria uma alteração na estrutura microscópica do elemento base. Isto ocorre devido a um ou mais métodos chamados "mecanismos de transporte": estes podem ser consecutivos ou concorrentes. Sua finalidade é obter uma peça sólida coerente.

Durante o processo ocorrem várias reações no estado sólido do elemento que são ativadas termicamente. Algumas podem ocorrer espontaneamente quando a base atinge uma temperatura determinada. Um fator determinante nessas reações é a quantidade de fundentes a qual é usada no processo. O fenômeno da sinterização, diz respeito às inúmeras teorias existentes, e pode ser explicado da seguinte maneira:

Adesão inicial das partículas, cujos pontos de contato aumentam com a temperatura sem que, nessa fase inicial, ocorra qualquer contração de volume e apenas com pequena influência na difusão superficial: à medida que aumenta a temperatura, ocorre um aumento da densidade, acompanhado de esferoidização e progressivo fechamento dos vazios; finalmente, mediante uma difusão nos contornos dos grãos, desaparecem os últimos vazios arredondados e isolados.

Na realidade, o processo de sinterização se baseia na ligação atômica entre a superfície de partículas vizinhas.

3.3 Aglomerante (PVA – Acetato de Polivinila)

PVA é um polímero sintético. Ele é preparado pela polimerização do Acetato de polivinila. A parcial ou completa hidrólise deste polímero é usada para preparar o álcool de polivinila. O PVA é vendido como uma emulsão em água, como um adesivo para materiais porosos, como a madeira. De fato é muito usado para colar derivados da madeira. A "cola branca" ou cola escolar e a "cola amarela" usada para colar madeira são exemplos de aplicações do PVA.

3.4 Refratários

Uma classe importante dos materiais cerâmicos utilizados em larga escala é a cerâmica refratária. As propriedades típicas desses materiais incluem a capacidade de resistir a temperaturas elevadas sem fundir ou decompor, e a capacidade de permanecer inertes quando expostos a ambientes severos. A habilidade para proporcionar isolamento térmico é com frequência uma consideração importante. Os materiais refratários são comercializados em uma grande variedade de formas, mas os tijolos são a forma mais comum. Dentre as aplicações típicas, podem ser citados revestimentos de fornos para refino de metais, fabricação de vidro, tratamento térmico metalúrgico e geração de energia.

O desempenho de uma cerâmica refratária depende em grande parte da sua composição. Com base nisso, existem vários tipos como argila refratária, sílica, refratários básicos e refratários especiais. Para muitos materiais comerciais, os ingredientes brutos consistem tanto em partículas grandes como em partículas finas, as quais podem possuir composições diferentes. Através da queima, as partículas finas são normalmente envolvidas na formação de uma fase de ligação, que é responsável pela maior resistência do produto refratário; e que pode ser



predominantemente vítrea ou cristalina. A temperatura de serviço é normalmente inferior àquela na qual a peça refratária foi queimada.

Por definição, refratário é um produto ou material, em geral não-metálico, tendo como propriedade fundamental a capacidade de resistir a altas temperaturas. Essa capacidade é normalmente referenciada como refratariedade. Um material cerâmico pode ser classificado como refratário, desde que, a uma temperatura de aproximadamente 1.500°C, não ocorra a sua deformação ou fusão. Geralmente, produtos cerâmicos são constituídos de fases cristalinas, vítreas e poros. A formação da microestrutura das fases é influenciada pelo tipo de matéria-prima, processo de fabricação, condições de queima e resfriamento, como também de condições de processo industrial no qual o produto será usado. A microestrutura de um produto refratário determina amplamente suas propriedades e comportamento, especialmente em relação à sua temperatura de uso. Também é estreitamente relacionada com a resistência ao ataque da escória, choque térmico e propriedades mecânicas. Durante o processo de fabricação de refratários, os silicatos desenvolvem-se ligando fases em contornos de grãos que freqüentemente dominam o seu processo de fratura a temperaturas elevadas.

Até o século XVI os refratários eram obtidos de certas argilas mescladas com rochas silicosas como arenitos ou micaxistos, ou essas mesmas rochas lavradas com formatos que permitissem sua aplicação na construção dos fornos. No Brasil, a pedra sabão foi mais um produto que pode ser adicionado a esse elenco, permitindo a construção dos primeiros altos-fornos e forjas catalã para produção de ferro gusa. Frederico Varnhagen, (1782-1842), foi o construtor do primeiro alto-forno para fabricação de gusa no Brasil. Foi nomeado pelo rei de Portugal, em 1814 como diretor das obras da Real Fábrica de São João de Ipanema, para aproveitamento do minério de ferro da região de Sorocaba, e a primeira corrida ocorreu em 1818. O forno de Varnhagen em Araçoiaba foi revestido com blocos de arenito lavrados. Em Minas Gerais forjas catalã e pequenos fornos, eram revestidos com pedra sabão.⁽⁷⁾

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente projeto de pesquisa foi utilizado pó da pedra-sabão (PPS) como matéria prima para formação do corpo de prova em forma de pastilhas, oriundos da região de Ouro Preto. Foi usada a seguinte metodologia:

- *Amostragem* – o seguinte procedimento foi realizado através de recolhimento do pó de pedra sabão proveniente do beneficiamento da mesma para produção de peças artesanais oriundas do distrito de Santa Rita de Ouro.
- *Dosagem e mistura* – Depois de recolhido o material ele foi peneirado a 400# utilizando somente o produto passante e posteriormente adicionado ao aglomerante (PVA) com diluição de 1% (para cada 100 ml de água aquecida aproximadamente a 100° utilizou-se 1 grama do aglomerante) a mistura foi efetuada numa proporção de 135 g de PPS para 41 ml de solução. Essa foi à melhor composição determinada entre o aglomerante e o PPS para a obtenção de corpos verdes com boa textura e melhor aglomeração, o PVA tem a finalidade à aglutinação influenciando desta forma a resistência do material resultante. Logo em seguida depois de misturado o pó e homogeneizado manualmente foi levado à estufa a aproximadamente 100°C durante 48 horas para secagem antes da formação do corpo de prova (pastilhas).
- *Formação das Pastilhas* – Para a formação de cada pastilha foi utilizada cerca de 8 gramas do material através de sua compactação. As massas foram submetidas à compactação por prensagem uniaxial com ação única do pistão superior. As



medidas de carga aplicada à massa de pó em função do deslocamento do pistão foram realizadas numa máquina universal de ensaios utilizada para compactação do Laboratório de Ensaios Mecânicos da Escola de Minas - UFOP. As massas foram compactadas numa matriz cilíndrica de aço inoxidável de diâmetro interno de aproximadamente 20 mm. A pressão de compactação aplicada foi de aproximadamente 300 kg/cm².

- *Queima* – A etapa de queima foi feita em Forno elétrico, (Linn Elektro Therm com controlador até 1200°) com temperaturas de queima de 400°, 600°, 800° e a 1.000°, sendo que a taxa de aquecimento foi de 5°C/mim para todas as temperaturas desejadas. Foram levados 3 corpos de prova para diferentes temperaturas onde estes permaneceram ao forno elétrico desde a temperatura ambiente até a temperatura desejada permanecendo nesta por 2 horas e resfriando gradativamente dentro do forno após o seu desligamento completando o ciclo térmico. O objetivo dessa queima é reduzir a porosidade do corpo aumentando a sua densidade, tornando o material mais estável e resistente a altas temperaturas.
- *Ensaios de Resistência à Compressão* – Neste ensaio, a amostra é colocada em uma prensa. Nela, recebe uma carga gradual até atingir sua resistência máxima (carga de compressão até o seu rompimento). Este valor é dividido pela área do topo da amostra (cm²) obtendo-se então a resistência em kgf/cm². Utilizou-se para tal finalidade equipamento do laboratório de ensaios mecânicos da Escola de Minas – UFOP.
- *Cálculo de Porosidade e Densidade Real através do método B.E.T* - A densidade real das amostras, parâmetro necessário de entrada no ensaio B.E.T., foi determinada em um Multiplicômetro a gás, marca Quantachrome. Trata-se de um equipamento para medir o volume real de material sólido em pó, empregando como fluido o gás hélio, que em virtude de sua dimensão atômica, garante penetração em poros da ordem de 1 Å. Todos os parâmetros correlatos à porosidade e superfície específica foram determinados em um aparelho NOVA 1000, marca Quantachrome, que utiliza o princípio da adsorção de um gás na superfície do sólido, através da técnica B.E.T. No presente estudo foi utilizado o gás nitrogênio. Foram obtidos os parâmetros de volume de poros e micro poros, distribuição de tamanho de poros, tamanho máximo de poros e superfície específica, para valores progressivos de pressão relativa no intervalo de 0,05 a 0,98. Esses equipamentos pertencem ao Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola de Minas/UFOP.
- *Análise Macroscópica* - Esta análise teve o intuito de observar os constituintes do corpo de prova, granulometria e a possível alteração de sua estrutura com aumento da temperatura (400°C, 600°C, 800°C e 1.000°C). Utilizando para tal procedimento, microscópio ótico (Leica - modelo DMR) com um aumento de 40X acoplado a uma câmera fotográfica. Estes equipamentos são pertencentes ao Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola de Minas/UFOP.
- *Caracterização Mineralógica* – Os resultados desta caracterização foram baseados em certificados de análises emitidos pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e do projeto IDEAS II⁽⁸⁾ a partir da caracterização mineralógica de fragmentos de rocha, provenientes do distrito de Santa Rita de Ouro Preto.



5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização do pó de pedra sabão pode ser mostrada abaixo:

Composição mineralógica (% volumétrica): 87,9% esteatita, 8,7% dolomita, 3,2% clorita e 0,2% minerais opacos;

Estrutura: compacta, fina com cristais de dolomita dispersos de 2 a 8 mm de diâmetro (em algumas variedades, esses cristais estão ausentes);

Densidade aparente (método proveta): 2,79g/cm³;

Resistência ao impacto: altura de ruptura 57 cm;

Resistência ao fogo: sem perturbação até 440 ° C;

Sua resistência e dureza podem ser comparadas os dos mármore, com a vantagem de ser refratária, suportando temperaturas elevadas.

Os resultados acima descritos são baseados em certificados de análises emitidos pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Após a caracterização, foram confeccionados compósitos usando o material base a pedra sabão e mistura de aglomerantes. Após a padronização dos dados experimentais nas proporções e quantidades já descritas, a Tabela 1 mostra os resultados preliminares obtidos. O processo queima do pó de Pedra sabão teve uma massa inicial do corpo “verde” com o peso de 8 gramas, onde foram utilizados três corpos de prova para cada temperatura (400°C, 600°C, 800°C e 1.000°C) sendo que a taxa de aquecimento foi de 5°C/mim para todas as temperaturas desejadas com um tempo de encharque de 2 horas e pesando-os em seguida.

Tabela 1: Queima do pó de Pedra sabão

Amostras	Massa após a queima (g)	Resistência à Compressão (kgf/cm ²)
Estado de Entrega	“verde”: (8,0 gramas)	0,7
1 – 400°C	8,00	2,86
2 – 400°C	7,90	3,82
3 – 400°C	8,00	6,3
4 – 600°C	7,90	7,96
5 – 600°C	7,80	7,96
6 – 600°C	8,00	8,28
7 – 800°C	7,70	90,12
8 – 800°C	7,70	98,72
9 – 800°C	7,50	103,50
10 – 1000°C	7,50	382,16
11 – 1000°C	7,40	500,00
12 – 1000°C	7,60	421,97

- **Análise Macroscópica**

Macroscopicamente, os compósitos estudados apresentam cor acastanhada composta principalmente de talco, carbonato e clorita, a cor acastanhada pode indicativo de ser provenientes de rochas intemperizadas devido aos óxidos e hidróxidos de Fe apresentando poros macroscópicos e cavidades resultantes da lixiviação de carbonato e opacos. A Figura 2 mostra os corpos de prova depois de levado a queima às temperaturas referidas, onde pode ser observado a diferença de coloração e melhor aglomeração a partir de 800° (a mudança da coloração é um indicativo que ocorreu a sinterização).



Figura 2: corpos de prova depois de levado a queima nas temperaturas referidas

- Cálculo de Porosidade e Densidade Real através do método B.E.T (Braunauer, Emmet e Teller)

Os resultados dos parâmetros avaliados pelo ensaio de adsorção de nitrogênio, método B.E.T. são apresentados na Tabela 2. Densidades reais calculadas pelo método picnômetro.

Observa-se que as densidades do pó de pedra sabão antes do tratamento e depois do tratamento apresentaram variações pequenas, (2,667 g/cm³ para 2,669 g/cm³). Já para valores superfície específica B.E.T. (9,046 m²/g para 6,034 m²/g), volume de microporos (0,00439 cm³/kg a 0,00292 cm³/kg), área de microporos (12,430 m²/g para 8,273 m²/g), volume total de poros (0,02450 cm³/kg para 0,01841 cm³/kg), apresentaram variações significativas.

No entanto, a análise estatística comparativa mostrou que as variabilidades das amostras do pó de pedra sabão antes e depois do tratamento (como compósitos) apresentaram pouca variação de densidade, e que para o pó de pedra sabão depois do tratamento apresentou uma redução da superfície específica BET da ordem de 33%, de 34% em volume de microporos, de 33% área de microporos, de 25% em volume total de poros. Baseado nestes valores existe indicativo de que o pó de pedra sabão depois de ser tratada, apresentando uma redução significativa de porosidade, é também um indicativo da ocorrência da sinterização (além da mudança de coloração retratada anteriormente).

Tabela 2. Resultados dos parâmetros avaliados pelo ensaio de adsorção de nitrogênio – Método B.E.T.

Nome da amostra	Densidade (g/cm ³)	Superfície específica BET (m ² /g)	Volume de microporos (cm ³ /kg)	Área de microporos (m ² /g)	Tamanho médio dos microporos (nm)	Volume total de poros (cm ³ /kg)	Diâmetro máximo de poros (Å)	Diâmetro médio de poros (Å)
PPS Não tratada	2,667	9,046	0,00439	12,430	4,715	0,02450	1328,80	108,40
PPS Tratada	2,699	6,034	0,00292	8,273	5,093	0,01841	1293,80	122,10



6 CONCLUSÕES

Com este estudo foi possível constatar que o pó de Pedra sabão é um material grande potencialidade de ser agregado como matéria prima na fabricação de refratários, especialmente quanto à resistência ao desgaste por abrasão, ao choque (lareiras, churrasqueiras, peças cerâmicas para uso elétrico, entre outros) e obteve um aumento significativo de resistência a compressão quando submetidos às temperaturas a partir de 800°C.

Foi possível constatar um indicativo de sinterização do pó de Pedra sabão junto ao aglomerante (PVA) obtendo um material com resistência máxima de 500 kgf/cm².

Assim, além do ponto de vista econômico em se utilizar um resíduo encontrado em abundância no estado de Minas Gerais, este estudo mostra uma alternativa atraente para minimizar os problemas ambientais causados pelo descarte do pó em mananciais e proximidades de rios, agregando valor ao resíduo.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a FAPEMIG e CNPq por ajudar o professor na pesquisa realizada. Gostaria de expressar os agradecimentos a Profa. Maria Aparecida e Prof. Leonardo Barbosa pelo apoio no laboratório, bem como a técnicos do DEMET que nos auxiliaram no projeto em tela.

REFERÊNCIAS

- 1 Castilhos, Z.C.; Araújo, P., Campos, C.B.P., Brandão L.P.; Zamboni, W., Morais, F., Middea, A, Bezerra, O.;Portugal, A. Clean technologies for soapstone handcraft in a rural área of Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil. In: 8th INTERNATIONAL CONFERENCE – CLEAN TECHNOLOGIES FOR THE WORLD MINING INDUSTRY, 2008.Santiago, Chile.
- 2 Conceição, Marcell do Nascimento. Estudos Preliminares da Utilização de Resíduos Oriundos do Beneficiamento da Pedra Sabão em Pavimentação Asfáltica, **XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM**. Disponível em: Acesso em: 20 Setembro, 2010.
- 3 Quintaes, K. D., A influência da composição do esteatito (pedra-sabão) na migração de minerais para os alimentos - Minerais do esteatito, **Cerâmica**, vol.52, no.324, São Paulo, Oct./Dec., 2006.
- 4 Evangelista, H. J.; Silva, M. E. Rochas metaultramáficas de Lamim, sul do Quadrilátero Ferrífero, MG: contribuição ao conhecimento do protólito da pedra-sabão. **Rev. Esc. Minas**, vol.58, no.1, Ouro Preto, Jan./Mar., 2005.
- 5 W. A. Deer, R. A. Howie, J. Zussman, **An Introduction to the Rock Forming Minerals**, Longman Press, Essex ,1966.
- 6 M. B. Perrin, **An Introduction to the Chemistry of Rocks and Minerals**, John Wiley & Sons, New York ,1975.
- 7 **Togni, Aníbal Camillo. A Indústria de refratários no Brasil**, Associação Brasileira de Cerâmicas. Disponível em: Acesso em: 10 Janeiro, 2011.
- 8 CARVALHO, C. R. ; IDEAS . Projeto IDEAS. TV Minas e TV Cultura dentro do programa Minas faz Ciência divulgado pela FAPEMIG, Belo Horizonte, 01 jul. 1999.