

# ESTUDO DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS PARA A PRODUÇÃO DE MATERIAIS VÍTREOS

Girley Ferreira Rodrigues<sup>1</sup>Joner Oliveira Alves<sup>2</sup>Jorge Alberto Soares Tenório<sup>3</sup>Denise Croce Romano Espinosa<sup>4</sup>

## Resumo

O presente trabalho tem como objetivo a caracterização dos resíduos provenientes do beneficiamento de mármore e granito, visando o seu reaproveitamento como matérias primas parciais na produção de materiais vítreos. Amostras recolhidas na forma de lama foram secas e, posteriormente, caracterizadas por meio de técnicas microestruturais e de análise química por fluorescência de raios X. Dos resultados obtidos é realizada uma comparação entre os resíduos, com a finalidade de avaliar a melhor composição para a obtenção de materiais vítreos. Os resultados indicam que os resíduos do corte de mármore e de granito podem vir a ser empregados na produção da lã mineral, um material vítreo com grande mercado consumidor.

**Palavras-chave:** Resíduos; Granitos; Mármore; Vidros.

## STUDY OF WASTES FROM ORNAMENTAL ROCKS FOR PRODUCTION OF VITREOUS MATERIALS

### Abstract

This study aims to characterize the wastes from processing of marble and granite, aiming its reuse as partial raw-materials in the production of vitreous materials. Samples collected in the mud appearance were dried and characterized using microstructural techniques and chemical analysis by X-ray fluorescence. Through the results it is elaborated a comparison among the wastes and tried to evaluate the best composition to obtain vitreous materials. The results indicate that the wastes from processing of marble and granite can be used in the production of mineral wool, a vitreous material with large consumer market.

**Key words:** Wastes; Granites; Marbles; Glass.

## I INTRODUÇÃO

A introdução de resíduos no ciclo produtivo para a produção de um novo produto apresenta-se como uma maneira de diminuir o impacto causado pelos resíduos, quando jogados no ambiente e, também, prolongar o uso das reservas de matérias primas naturais. Ao longo de sua existência, o homem sempre utilizou os recursos naturais do planeta e, ao transformar matérias primas de modo a torná-las úteis para a sociedade, produz quantidades apreciáveis de resíduos que acabam por comprometer o meio ambiente.<sup>(1)</sup>

Neste contexto, este trabalho visa obter bases sobre o conhecimento para reutilização de dois rejeitos industriais como matérias primas para serem reintroduzidas no meio produtivo, de forma a diminuir o impacto causado quando estes resíduos são lançados no meio ambiente, e também diminuindo a extração de matéria prima natural. O aproveitamento de rejeitos, total ou parcial, constitui uma vantagem que coloca o fabricante em uma posição fortemente competitiva no mercado, devido não apenas à questão econômica, como também à oportunidade de veiculação deste princípio como marketing ecológico.<sup>(2)</sup>

<sup>1</sup> Doutorando, Universidade de São Paulo – USP, Mestre em Engenharia de Materiais. Av. Prof. Mello Moraes n. 2463, Cep 05508-030, Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: girleyf@gmail.com

<sup>2</sup> Pesquisador, Aperam South America, Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Praça 1º de Maio, n. 09, Cep 35180-018, Centro, Timóteo, MG, Brasil. E-mail: joner.alves@aperam.com

<sup>3</sup> Professor titular, Universidade de São Paulo – USP, Doutor em Engenharia Metalúrgica. Av. Prof. Mello Moraes n. 2463, Cep 05508-030, Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: jtenorio@usp.br

<sup>4</sup> Professora associada, Universidade de São Paulo – USP, Doutora em Engenharia Metalúrgica. Av. Prof. Mello Moraes n. 2463, Cep 05508-030, Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: espinosa@usp.br

As rochas ornamentais têm ilimitadas aplicações. Tal fato decorre do tipo de exploração e de uma combinação de suas qualidades estruturais e estéticas. O principal setor consumidor de rochas ornamentais é a construção civil (revestimentos internos e externos de paredes, pisos e pilares, colunas, soleiras etc), que movimenta elevados volumes no mercado internacional. Outro setor com expressivo consumo é o de revestimento de elementos urbanos (pavimentação de vias, praças, parques, jardins, fontes, bancos ou assentos, calçadas e meios-fios, etc). Independentemente da aplicação, existe uma similaridade quanto ao ciclo produtivo, e que engloba três principais etapas: (i) a mineração (pedreira), (ii) o beneficiamento primário (serraria) e (iii) o acabamento final (polimento e lustre).<sup>(3)</sup>

Neste trabalho são estudados os resíduos de mármore e granito, pois estes englobam a maior parte do consumo interno aparente de rochas ornamentais no Brasil (mármore - 22% e granitos - 50%).<sup>(4)</sup>

Lã mineral é um nome geral dado para muitos materiais inorgânicos de isolamento feito de fibras. O material é normalmente dividido em diferentes subgrupos dependendo das matérias-primas que são feitos, como: lã de rocha, lã de vidro, lã de escória, etc, e a sua fabricação é feita a partir de vidro, rocha ou outro mineral. Devido às suas características termoacústicas, este material atende aos mercados de construção civil, industrial, automotivo, eletro-eletrônico, entre outros.<sup>(2)</sup>

Sabe-se, da literatura, que estruturas deste tipo podem suportar vários elementos em solução, podendo assim absorver resíduos complexos em sua composição, e por possuírem estrutura vítrea e a vitrificação ser uma tecnologia bem estabelecida e segura para a imobilização de resíduos tóxicos.

A Tabela 1 mostra a composição química (%m) dos componentes presentes nas lãs de rocha e de vidro, conforme apresentado por Luoto et al.<sup>(5)</sup>

Nos estudos de Buck,<sup>(6)</sup> são apresentadas várias propriedades e características sobre as fibras vítreas. Entre elas está a composição química para vários tipos de fibras (cerâmicas refratárias, de vidro, lã de escória e lã de rocha). A Tabela 2 apresenta a faixa de composição química em porcentagem em massa das lãs de vidro e das lãs de rocha.

**Tabela 1.** Composição química (%m) das lãs de rocha e de vidro segundo Luoto et al.<sup>(5)</sup>

Elementos	Lã de rocha	Lã de vidro
SiO <sub>2</sub>	45,9	64,4
TiO <sub>2</sub>	0,9	0,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,9	2,91
FeO	8,2	0,31
MgO	11,6	3,18
CaO	18,5	7,41
Na <sub>2</sub> O	1,8	15,5
K <sub>2</sub> O	0,6	1,42
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	4,9

**Tabela 2.** Composição química (%m) das lãs de rocha e de vidro segundo Buck<sup>(6)</sup>

Elementos	Lã de rocha	Lã de vidro
SiO <sub>2</sub>	45,0 - 52,0	34,0 - 73,0
CaO	10,0 - 12,0	0,0 - 22,0
MgO	8,0 - 15,0	0,0 - 5,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,0 - 13,5	3,0 - 14,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,5 - 6,5	0,0 - 2,0
Na <sub>2</sub> O	0,8 - 3,3	0,5 - 16,0
K <sub>2</sub> O	0,8 - 2,0	0,0 - 3,5
TiO <sub>2</sub>	1,5 - 2,7	0,0 - 0,8
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,0 - 8,5
MnO	0,1 - 0,3	-

Conforme se verifica nas Tabelas 1 e 2, a lã de vidro é constituída principalmente por SiO<sub>2</sub> (sílica) e outros elementos como CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> e B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Também pode ser visto que a lã de rocha é composta principalmente por SiO<sub>2</sub> (sílica), seguida por CaO (cal) e apresentando ainda outros constituintes como MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e TiO<sub>2</sub>.

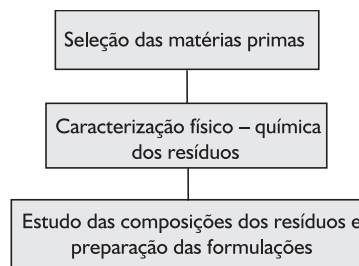
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos experimentais relacionados a este trabalho foram realizados no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). A Figura 1 mostra o fluxograma das atividades desenvolvidas.

Foram utilizados resíduos do corte de granito e de mármore de uma empresa situada no estado do Espírito Santo. A Figura 2 mostra a imagem dos resíduos industriais empregados neste trabalho.

Os resíduos foram secados em uma estufa do tipo FANEM a 90°C por 48 horas. Após esta etapa foram selecionadas diferentes amostras dos resíduos para serem realizadas as análises químicas.

A caracterização química do material foi realizada em um espectrômetro de fluorescência de raios X por dispersão de comprimento de onda, Philips PW2404, e



**Figura 1.** Fluxograma das atividades realizadas.



**Figura 2.** Resíduos industriais empregados neste trabalho: a) granito e b) mármore.

por uma microsonda EDAX para análise espectrométrica de raios X com detector de elementos leves acoplada a um Microscópio Eletrônico de Varredura do tipo Philips XL – 30.

Para a análise microestrutural foi utilizado um Microscópio Eletrônico de Varredura Philips XL – 30. As amostras foram recobertas com filme de ouro.

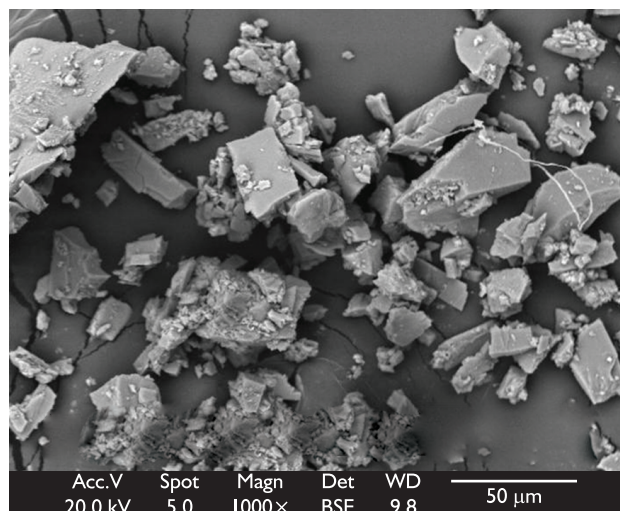
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Morfologia dos Resíduos

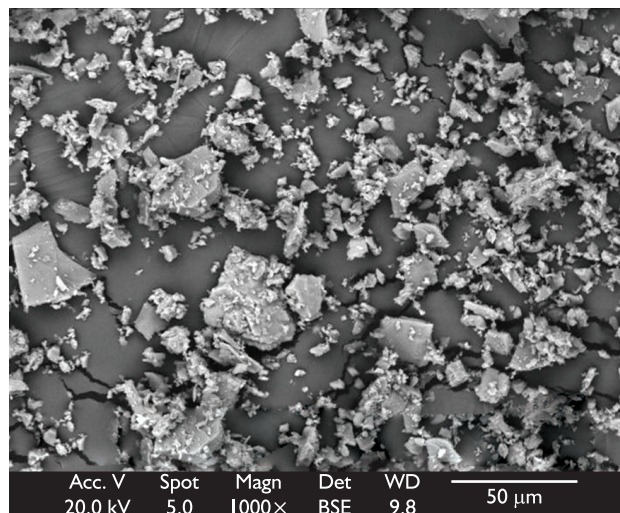
Os resíduos do corte de mármore e granito, quando na forma de pó, apresentam partículas com morfologia irregular de formato angular. Essa morfologia deve-se ao processo de corte/serragem dos blocos de rochas ornamentais.

A Figura 3 mostra a imagem obtida pela técnica de microscopia eletrônica de varredura do resíduo do corte de mármore.

A imagem MEV do resíduo do corte de granito é exibida na Figura 4.



**Figura 3.** Imagem obtida pela técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura dos resíduos do corte de mármore (aumento de 1.000x).

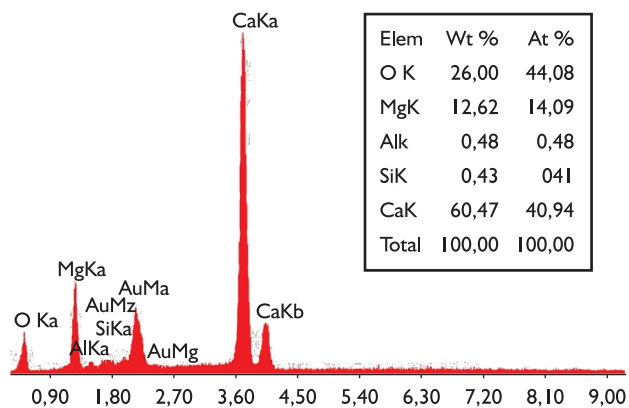


**Figura 4.** Imagem obtida pela técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura dos resíduos do corte de granito (aumento de 1.000x).

#### 3.2 Análise Química

A Figura 5 apresenta os resultados da análise química do resíduo do corte de mármore realizada por microsonda eletrônica de energia dispersiva.

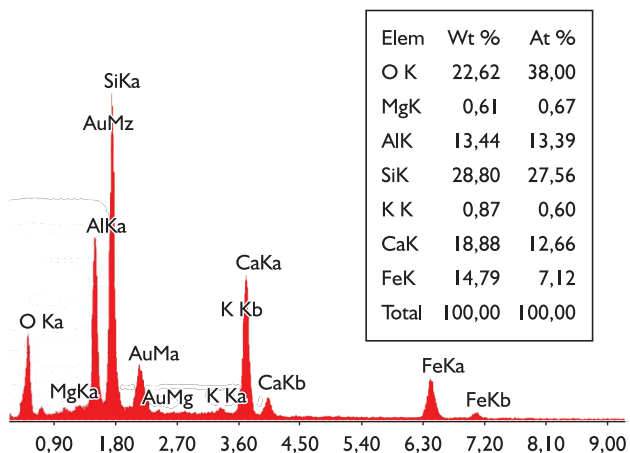
Por meio da análise do gráfico da Figura 5 pode-se notar que o resíduo do corte do mármore apresenta, em maiores concentrações, os elementos Ca (60,47%), O (26,00%) e Mg (12,62%). Em menores concentrações aparecem outros elementos, como o Al (0,48%) e o Si (0,43%).



**Figura 5.** Análise química do resíduo do corte mármore obtida por microsonda eletrônica.

A análise química do resíduo do corte de granito realizada por microsonda eletrônica por energia dispersiva está apresentada na Figura 6.

O gráfico da Figura 6 mostra que o resíduo do corte de granito apresenta em maiores concentrações os elementos: Si (28,80%), O (22,62%) e Ca (18,88%); em menores concentrações aparecem os elementos: Fe (14,79%), Al (13,44%), K (0,87%) e Mg (0,61 %).



**Figura 6.** Análise química do resíduo do corte granito obtida por microsonda eletrônica.

A composição química obtida por fluorescência de raios X do resíduo de corte do granito é mostrada na Tabela 3. O material possui, aproximadamente, 66% de sílica ( $\text{SiO}_2$ ); portanto, esse resíduo possui proximidade com a matéria-prima utilizada para a produção de materiais vítreos.

A Tabela 4 mostra a composição química obtida pela técnica de fluorescência de raios X (% m) do resíduo do corte de mármore.

Observando a Tabela 4, nota-se que o resíduo do corte de mármore é composto principalmente por  $\text{CaO}$  (58,3 %) e  $\text{MgO}$  (31,1 %).

A partir da comparação dos resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4, afirma-se que o resíduo de granito possui alta sílica, podendo ser uma fonte desse componente para a produção de materiais vítreos. Para o resíduo de mármore afirma-se que ele é rico em Ca, podendo substituir esse componente nas matérias primas aplicáveis na produção de vidros.

**Tabela 3.** Composição química do resíduo de corte do granito empregado no trabalho

Elementos	% em massa
$\text{SiO}_2$	66,32
$\text{Al}_2\text{O}_3$	19,27
$\text{CaO}$	4,48
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2,29
$\text{MgO}$	1,58
$\text{Na}_2\text{O}$	1,28
Outros	4,78

**Tabela 4.** Composição química do resíduo de corte do mármore empregado no trabalho

Elementos	% em massa
$\text{SiO}_2$	3,43
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,28
$\text{CaO}$	58,30
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,22
$\text{MgO}$	31,10
$\text{Na}_2\text{O}$	0,42
Outros	6,42

Ambas as composições dos resíduos possuem paridade com as composições das lãs minerais; portanto, podem ser utilizados como matérias primas parciais na fabricação desse material.

## 4 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados neste trabalho evidenciam que os resíduos apresentam partículas pequenas não sendo necessário realizar a sua cominuição para servirem como matéria-prima para a fabricação de materiais vítreos. A composição química indica que os resíduos do corte de mármore e de granito podem ser usados para a fabricação de lãs minerais, substituindo as matérias primas convencionais utilizadas no processo de fabricação desse produto. Sendo assim, pode-se afirmar que existe a viabilidade do reaproveitamento dos resíduos do corte de mármore e granito, transformando-os em subprodutos, gerando uma economia para o setor vidreiro e fornecendo um destino adequado para os resíduos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Capes, à USP e à Redemat.

## REFERÊNCIAS

- 1 PONTES, I. F.; VIDAL, F. W. H. Valorização de resíduos de serrarias de mármore e granito e sua aplicação na construção civil. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5., 2005, Recife, PE. *Anais...* Rio de Janeiro: CETEM, 2005. p. 117-27.
- 2 ALVES, J. O. *Processo de reciclagem da escória de aciaria e do resíduo de corte do granito visando a produção de lâ mineral*. 2008. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, 2008.
- 3 PONTES, I. F. *Aproveitamento de finos gerados nas serragens de mármore e granitos*. 2001. 150 p., Tese (Doutorado em Engenharia de Minas) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- 4 CHIODI FILHO, C. A cadeia produtiva de rochas ornamentais. In: SEMINÁRIO NACIONAL PREVENÇÃO E CONTROLE DA EXPOSIÇÃO AOS AGENTES AMBIENTAIS EM MARMORARIAS: DA PESQUISA À PRÁTICA, 2008, São Paulo, SP. Disponível em: <<https://www.fundacentro.gov.br/dominios/CTN/anexos/CID%20CHIODI.pdf>>. Acesso em: 1 julho 2011.
- 5 LUOTO, K. et al. Dissolution of short and long rockwool and glasswool fibers by macrophages in flowthrough cell culture. *Environmental Research Section*, v. 78, p. 25-37, 1998.
- 6 BUCK, R. L. *Man-made vitreous fibers*. Norfolk: Navy Environmental Health Center, 1997. (Technical Manual NEHC-TM6290.91-1, Rev. A).

Recebido em: 01/12/09

Aceito em: 16/06/2011