

# RESÍDUO DO CORTE DE GRANITO: INOVAÇÃO TECNOLÓGICA PARA A DESTINAÇÃO FINAL

Joner Oliveira Alves<sup>1</sup>

Eduardo Junca<sup>2</sup>

Denise Crocce Romano Espinosa<sup>2</sup>

Jorge Alberto Soares Tenório<sup>2</sup>

## Resumo

O mercado de beneficiamento do granito é uma das mais promissoras áreas de negócio do setor mineral, apresentando um crescimento médio da produção mundial em torno de 6% ao ano. A extração do granito gera rejeitos na forma de pó de rocha na faixa de 20% a 25% em massa do total beneficiado. O pó de granito deve ser manipulado com atenção, pois pode causar assoreamento de rios e riscos à saúde humana. Este trabalho apresenta duas rotas para a destinação final deste resíduo: o processo de vitrificação visando a produção de fibras para isolamento termo-acústico e a separação magnética para a recuperação da granalha de aço. Os resultados demonstraram que as formas de tratamento apresentadas são economicamente e ecologicamente viáveis, uma vez que representam uma redução de custos na disposição do resíduo, além de proporcionar a produção de novos materiais com valor comercial.

**Palavras-chave:** Granito; Reciclagem; Lã mineral; Granalha de aço.

## GRANITE CUTTING WASTE: TECHNOLOGICAL INNOVATION FOR THE FINAL DESTINATION

### Abstract

The granite processing market is one of the most promising business areas of the mineral sector, with an average growth of the world production of about 6% per year. The granite extraction generates residues in the form of powder rock of 20-25 wt.% of the total benefited. The granite dust must be carefully managed since it can cause siltation of rivers and human health risks. This paper presents two routes for the final destination of this waste: the vitrification process aiming the production of fibers for thermo-acoustic insulation, and the magnetic separation in order to recover the steel grit. Results showed that the forms of treatments presented are economically and ecologically viable since they represent a cost reduction in the waste disposal, and also provide the production of new materials with commercial value.

**Keywords:** Granite; Recycling; Mineral wool; Steel grit.

## I INTRODUÇÃO

Durante a etapa de corte, aproximadamente 20% a 25% dos blocos se tornam rejeitos que é constituído de água, cal, granalha de aço ou ferro fundido e rocha moída. Os resíduos são geralmente estocados em locais a céu aberto ou em alguns casos, são jogados em rios sem nenhum tipo de tratamento ocasionando problemas de assoreamento, contaminando as águas de rios e córregos e podendo até mesmo contaminar reservatórios naturais de água [1,2].

A etapa de corte pode ser efetuada de três maneiras básicas: tear de lâminas, o talha-bloco de disco diamantado e o fio diamantado. No primeiro método, é empregado granalha de aço para efetuar o corte dos blocos. Nos dois

últimos, este abrasivo não é necessário, uma vez que o elemento abrasivo é o diamante [3,4]. A Figura 1 apresenta uma área de corte da indústria de granito.

O granito é constituído principalmente por  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ , porém, estes valores são diferentes dependendo do tipo de granito. A Tabela 1 apresenta algumas composições típicas de granito.

O resíduo de granito possui alto teor de sílica, portanto uma nova rota para o seu aproveitamento pode ser a sua utilização como subproduto para a produção de lã de vidro, material que necessita de uma alta quantidade de sílica em sua composição [7,8]. Devido às suas características termo-

<sup>1</sup>Instituto SENAI de Inovação em Tecnologias Mineraias, Belém, PA, Brasil. E-mail: [joner.alves@cni.org.br](mailto:joner.alves@cni.org.br)

<sup>2</sup>Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, SP, Brasil.

**Tabela I.** Composições típicas de granitos [5,6]

Composição	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	P.F.
Peso (%)	35,5	8,22	6,63	0,96	3,44	6,59	12,62	3,15	14,5
Peso (%)	68,01	14,99	3,67	0,54	4,82	0,73	2,28	1,65	2,86

**Figura 1.** Processo de extração do granito.

acústicas, a lã de vidro atende aos mercados de construção civil, industrial, automotivo, entre outros. Outras importantes qualidades deste material são a não propagação de chamas, a não emissão de fumaças tóxicas e elevada resistência ao fogo [9, 10].

Outras aplicações típicas do resíduo de granito proveniente do corte são em argamassas, concretos asfálticos, blocos e revestimentos cerâmicos, cerâmicas vermelhas e telhas [11-15]. Porém, nestas aplicações, o ferro presente na lama é prejudicial, uma vez que quando o ferro que se encontra na forma metálica oxida, ocasiona uma expansão dentro do material provocando o aparecimento de fissuras nas peças acabadas [16]. Assim, uma saída para este problema é a remoção do ferro metálico.

Este trabalho apresenta duas rotas para a destinação final destes resíduos: o processo de vitrificação visando à produção de fibras para isolamento termo-acústico no qual se utilizou a lama procedente do corte com fio diamantado e a separação magnética para a recuperação da granalha de aço no resíduo proveniente do corte com tear de laminas.

## 2 MATÉRIAS E MÉTODOS

A seguir são apresentadas separadamente as metodologias utilizadas para cada meio de reaproveitamento do resíduo de granito.

### 2.1 Confecção da Lã de Vidro

As matérias-primas utilizadas neste trabalho foram: 700 g de resíduo de corte do granito (proveniente de uma indústria situada em Cachoeiro do Itapemirim - ES), 300 g de bórax (16,25% de Na<sub>2</sub>O, 36,51% de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e 47,24% de H<sub>2</sub>O), 110 g de sílica (SiO<sub>2</sub>), 45 g de carbonato de cálcio

(53,0% de CaO e 44,0% de CO<sub>2</sub>) e 20 g de óxido de magnésio (MgO).

Para a pesagem dos materiais foi utilizada uma balança da empresa Marte modelo AS 5500C, com menor divisão de 0,001 g. A homogeneização dos componentes da mistura foi realizada em um agitador do tipo Eirich (com 10 min de funcionamento).

A fusão das matérias-primas foi realizada no forno a arco elétrico do tipo Detroit, que se encontra no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da USP. O material foi aquecido durante 50 min, posteriormente, foram adotadas três temperaturas de vazamento do material (1.400°C, 1.450°C e 1.500°C), visando uma aproximação do procedimento realizado nas indústrias produtoras da lã de vidro.

A lã de vidro é um material predominantemente amorfo, portanto um resfriamento rápido é necessário. Neste trabalho o material fundido, foi vertido diretamente do forno em um recipiente contendo água à temperatura ambiente. Neste procedimento procurou-se depositar o mínimo de material possível no recipiente, fazendo com isso uma tentativa de aproximação da técnica *Melt Spinning*, utilizada na produção da lã.

### 2.2 Separação Magnética

A separação magnética foi efetuada em três etapas. Na primeira etapa (separação magnética de alta intensidade) foi utilizada uma matriz ferromagnética do tipo Jones utilizado apenas o campo magnético remanescente do equipamento.

A segunda etapa (separação magnética com imã de terras raras) foi feita manualmente.

Por fim, a terceira etapa (separação magnética com um imã ferrítico) também foi efetuada manualmente. O material magnético obtido nesta etapa foi denominado

concentrado ferroso. Este material foi quarteadado em quatro amostras de aproximadamente 20 g e encaminhado para a realização da caracterização através de: análise química, difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura e análise granulométrica.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com as técnicas propostas para o reaproveitamento do resíduo de granito estão dispostos a seguir.

**Tabela 2.** Composição química do produto formado (em % de peso)

	TIMA	Lã Produzida
SiO <sub>2</sub>	55,0-70,0	63,1
CaO	5,0-13,0	10,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0-7,0	6,2
MgO	0,0-5,0	3,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1-0,5	0,9
Na <sub>2</sub> O	13,0-18,0	14,1
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,0-12,0	0,9
Outros	---	1,9



**Figura 2.** Amostra do material formado.

### 3.1 Produção da Lã de Vidro

#### 3.1.1 Aspectos físicos do material formado

O material adquiriu propriedades semelhantes aos vidros: translúcidos, frágeis e quebradiços à temperatura ambiente. Quanto a coloração, o material apresentou uma cor verde (Figura 2). Pode-se concluir que esta coloração possui origem no teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2,29%) encontrado no resíduo empregado de granito.

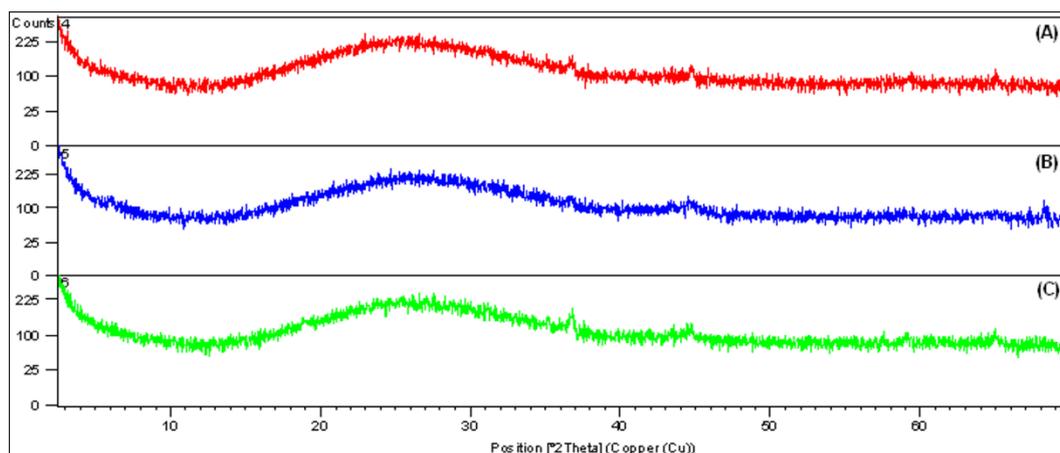
#### 3.1.2 Análise química do material formado

A Tabela 2 mostra as composições químicas do produto formado e da faixa estabelecida pela *Thermal Insulation Manufacturers' Association* – TIMA [17] para a lã de vidro. Pode-se observar que as proporções dos elementos majoritários se encontram dentro da faixa de composição da lã de vidro.

#### 3.1.3 Difração de raios-X do material formado

Os espectros de difração de raios-X do produto obtido para as diferentes temperaturas de vazamento são mostrados na Figura 3. Através da análise desta figura pode-se notar que as curvas exibidas apresentaram picos largos, o que caracteriza a condição amorfa do material. Foram observados pequenos picos cristalinos, entretanto, devido a baixa intensidade destes, o material pode ser considerado predominantemente amorfo. Os picos apresentados representam o espinélio (MgO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 1ª fase a precipitar durante o resfriamento da lã de vidro.

Uma justificativa para os picos apresentados encontra-se no fato do resíduo empregado possuir uma alta concentração de alumina (19,27%), o que fez com que o produto apresentasse baixa fluidez, gerando certa dificuldade no processo de resfriamento e fazendo com que amostras com dimensões maiores fossem coletadas. Sendo



**Figura 3.** Espectros de difração de raios-X do produto obtido para as diferentes temperaturas de resfriamento: (a) 1.400°C; (b) 1.450°C; e (c) 1.450°C.

assim, foi fornecido um maior tempo para a cristalização do material, possibilitando o aparecimento da primeira fase cristalina, o espinélio.

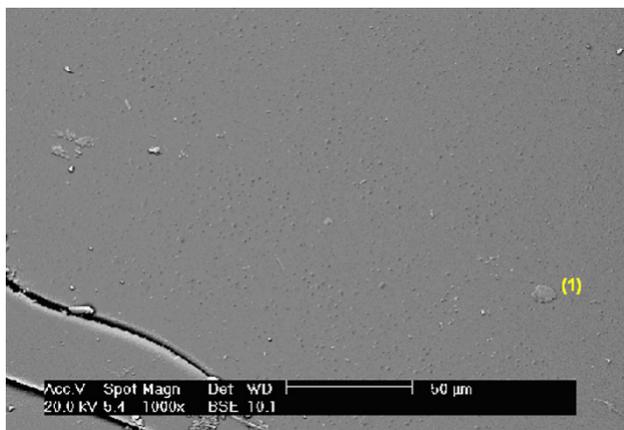
### 3.1.4 Análise microestrutural do material formado

A imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura do material formado está disposta na Figura 4. Comprovando os resultados apresentados na difração de raios-X foram encontrados traços do espinélio como fase secundária. A identificação desta fase foi possível através do mapeamento da composição química por EDS. Trata-se de um pequeno grupo de partículas com dimensões de aproximadamente  $2\ \mu\text{m}$ , localizada na região marcada com "(1)".

## 3.2 Recuperação da Granalha de Aço

### 3.2.1 Análise química

Foi realizada análise química para quantificação do teor de Fe metálico através da técnica de titulometria. Foi encontrado um teor de Fe metálico de aproximadamente



**Figura 4.** Imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura do produto obtido: (1) - fase secundária encontrada (espinélio).

93%, sendo o restante, em sua maior parte, sílica (decorrente do quartzo).

### 3.2.2 Microscopia eletrônica de varredura

A Figura 5a apresenta a imagem obtida pelo microscópio eletrônico de varredura na amostra de concentrado ferroso. Análises de EDS foram realizadas de várias regiões do espectro. A Figura 5b apresenta o espectro de EDS do concentrado ferroso.

A análise do espectro comprova a presença predominante do Fe metálico no concentrado ferroso, uma vez que o principal componente do concentrado ferroso é o Fe procedente da granalha de aço.

Pode-se notar também a existência de picos de baixa intensidade de manganês, alumínio, cálcio, potássio e silício o que comprova a eficiência da separação magnética.

### 3.2.3 Difração de raios-X

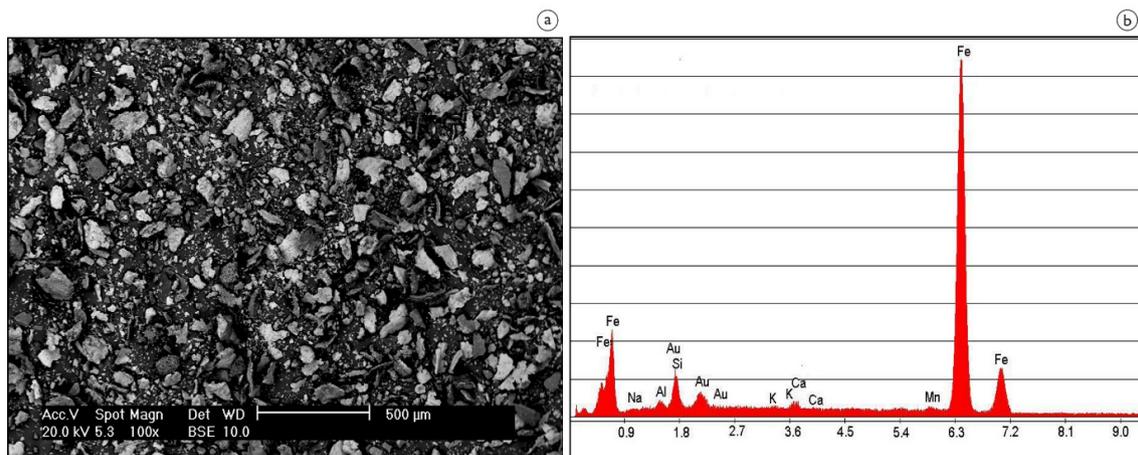
A Figura 6 apresenta o difratograma do concentrado ferroso obtido na separação magnética.

Pelo difratograma apresentado na Figura 6, pode-se observar a presença de picos de Fe e um pico de baixa intensidade de quartzo. O difratograma comprova que o principal constituinte do concentrado ferroso obtido é o Fe metálico e comprova também a principal impureza presente é o  $\text{SiO}_2$  decorrente do quartzo.

### 3.2.4 Análise granulométrica

A Figura 7 apresenta a análise granulométrica do concentrado ferroso.

O histograma mostra que a granulometria do concentrado ferroso está situada entre  $0,36\ \mu\text{m}$  a  $477,0\ \mu\text{m}$ , sendo 50% das partículas menores do que  $84\ \mu\text{m}$ . Assim, para o reaproveitamento deste material é necessária a sua aglomeração, principalmente pelas indústrias siderúrgicas.



**Figura 5.** (a) imagem obtida pelo microscópio eletrônico de varredura; e (b) espectro de EDS do concentrado ferroso.

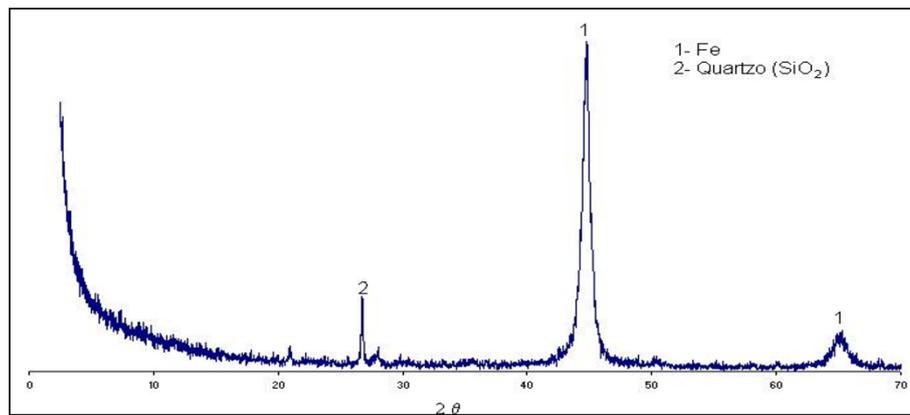


Figura 6. Difratograma do concentrado ferroso.

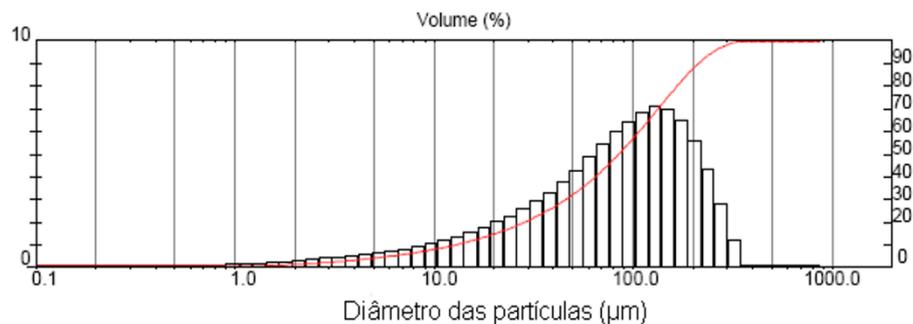


Figura 7. Distribuição granulométrica do concentrado ferroso.

## 4 CONCLUSÕES

A utilização do resíduo de corte do granito como matéria-prima principal para a produção da lã de vidro é viável, porém é necessário a adição de outros elementos que possam aumentar a fluidez do produto final. A separação magnética mostrou-se viável para a obtenção um novo subproduto, o concentrado ferroso, que apresentou um teor de ferro metálico de 93% e granulometria inferior  $477,0 \mu\text{m}$ , sendo necessária a aglomeração deste material

para sua reutilização. Portanto, as rotas de reaproveitamento do resíduo de granito estudadas possuem condições de serem empregadas em ambiente industrial, proporcionando uma economia no processo de deposição deste resíduo e a geração de renda através dos materiais produzidos.

## Agradecimentos

Projetos desenvolvidos com o suporte da FAPESP, Fundação Gorceix e CAPES.

## REFERÊNCIAS

- 1 Mothé Filho HF, Polivanov HC, Mothé G. Reciclagem dos resíduos sólidos de rochas ornamentais. Anuário do Instituto de Geociências. 2005;28(2):139-151.
- 2 Junca E, Oliveira JR, Espinosa DCR, Tenório JAS. Iron recovery from the waste generated during the cutting of granite. International Journal of Environmental Science and Technology. 2015;12(2):465-472. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-013-0418-6>.
- 3 Rodrigues GF, Alves JO, Tenorio JAS, Espinosa DCR. Estudo de resíduos de rochas ornamentais para a produção de materiais vítreos. Tecnológica em Metalurgia, Materiais e Mineração. 2011;8(3):203-207. <http://dx.doi.org/10.4322/tmm.2011.032>.
- 4 Alves JO, Espinosa DCR, Tenorio JAS. Recovery of steelmaking slag and granite waste in the production of rock wool. Materials Research. 2015;18(1):204-211. <http://dx.doi.org/10.1590/1516-1439.324414>.
- 5 Pontes IF, Vidal FWH. Valorização de resíduos de serrarias de mármore e granito e sua aplicação na construção civil. In: Anais do 5º Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste; 2005; Pernambuco, Brasil. Rio de Janeiro: CETEM; 2005. p. 117-125.

- 6 Melo RM. Utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha. In: Anais do 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais; 2006; Foz do Iguaçu, Brasil. Foz do Iguaçu: CBECIMAT; 2006. p. 2229-2240.
- 7 Alves JO, Espinosa DCR, Tenorio JAS. Recycling of steelmaking slag aiming at the production of thermo-acoustic insulation. In: Proceedings of the 138th TMS Annual Meeting & Exhibition; 2009; San Francisco, USA. Warrendale: EPD Congress; 2009. p. 921-925.
- 8 Rodrigues GF, Alves JO, Tenorio JAS, Espinosa DCR. Fabricação de lã de rocha a partir da escória da produção de ligas FeSiMn. *Cerâmica*. 2012;58(348):529-533. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132012000400019>.
- 9 Marabini AM, Plescia P, Maccari D, Burrigato F, Pelino M. New materials from industrial and mining wastes: glass-ceramics and glass- and rock-wool fibre. *International Journal of Mineral Processing*. 1998;53(1-2):121-134. [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-7516\(97\)00062-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-7516(97)00062-8).
- 10 Ueda M, Murase F, Takahashi F, Matsumoto T. An optical system for measuring the eccentricity of glass wool pipe - for industrial use. *Optics and Lasers in Engineering*. 1999;31(6):493-50. [http://dx.doi.org/10.1016/S0143-8166\(99\)00030-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0143-8166(99)00030-5).
- 11 Silva SAC. Caracterização do resíduo da serragem de blocos de granito: Estudo do potencial de aplicação na fabricação de argamassas de assentamento e de tijolos de solo-cimento [dissertação de mestrado]. Vitória: Núcleo de Desenvolvimento em Construção Civil (NDCC), Universidade Federal do Espírito Santo; 1998. p. 159-179.
- 12 Borges AC, Gadioli MCB, Pinto LAB, Oliveira JR. Mixture of granite waste and ld steel slag for use in cement production. *Materials Science Forum*. 2012;727-728:1535-1540. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.727-728.1535>.
- 13 Menezes RR, Ferreira HS, Neves GA, Ferreira HC. Uso de rejeitos granitos como matérias-primas cerâmicas. *Revista Cerâmicas*. 2002;48:92-101.
- 14 Vieira CMF, Monteiro SN. Incorporation of solid wastes in red ceramics: an updated review. *Matéria*. 2015;14(3):881-905.
- 15 Menezes RR, Ferreira HS, Neves GA, Lira HL, Ferreira HC. Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles. *Journal of the European Ceramic Society*. 2005;25(7):1149-1158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2004.04.020>.
- 16 Junca E. Estudo da separação e aproveitamento da parte metálica e dos óxidos presentes no resíduo gerado no corte de rochas ornamentais [dissertação de mestrado]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2009. p. 80.
- 17 Thermal Insulation Manufacturers' Association - TIMA. Man-made vitreous fibers: nomenclature, chemical and physical properties. Stamford: Owens-Corning Fiberglass, IPCS-WHO; 1991.

Recebido em: 8 Jan. 2015

Aceito em: 13 Fev. 2015