

# ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DO METAL CONTIDO NO RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE AÇO <sup>1</sup>

Eduardo Junca <sup>2</sup>

Felipe Fardín Grillo <sup>3</sup>

Roberto Graciano Steinkopf Junior <sup>3</sup>

Ramiro Conceição Nascimento <sup>4</sup>

José Roberto de Oliveira, <sup>5</sup>

Jorge Alberto Soares Tenório <sup>5</sup>

## Resumo

Este trabalho tem por objetivo, estudar a viabilidade técnica da utilização da parte metálica, contida no resíduo proveniente do desdobramento de rochas ornamentais nos processos de fabricação de aço. Para isto, foi usado um separador magnético para fazer a separação do metal dos óxidos contidos no resíduo, e após a separação foi feita a caracterização química e física do metal. Pelos resultados da análise química, comprovou-se que o metal obtido é aço, e que no caso do presente trabalho possui a seguinte composição: %C = 0,81; %Si = 0,70; %Mn = 0,69; %P= 0,03; %S= 0,02. Foi também constatado que a pureza do metal é superior a 96%. A caracterização granulométrica, indicou que 100% do metal obtido, está abaixo de 1mm. Este material foi então briquetado, o que resultou em um material com melhores características, tanto de análise química, pureza e granulometria melhores para ser utilizado como fonte de ferro nos processos de fabricação de aço, do que os materiais usados convencionalmente.

**Palavras-chave:** Resíduo de rochas ornamentais; Separação magnética; Briquetagem.

## TECHNICAL FEASIBILITY STUDY OF THE USE OF METAL CONTAINED IN ROCK ORNAMENTAL WASTE IN THE STEEL MANUFACTURING PROCESSES

### Abstract

The aim of this work was to study the use of metal part contained in the residue of ornamental rocks processing in steel manufacturing processes. For this, was used a magnetic separator to made the separation of the metal oxides contained in residues, and after the separation was made a chemical and physical characterization of the metal. Through the results of chemical analysis, was proved that the metal obtained is steel, and in the case of this work has the following composition: %C = 0,81; %Si = 0,70; %Mn = 0,69; %P= 0,03; %S= 0,02. Also, it was found that the metal purity's is more than 96%. The size characterization indicated that 100% of produced metal is below 1mm. With this material were made briquettes which resulted in a material with better characteristics than the conventionally materials, both of chemical analysis, purity and particle size, to be used as a iron source in steel manufacturing processes.

**Key words:** Rock ornamental waste; Magnetic separation; Briquettes.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 40º Seminário de Aciaria – Internacional, 24 a 27 de maio de 2009, São Paulo, SP, Brasil.*

<sup>2</sup> *Mestrando, Universidade de São Paulo (USP).*

<sup>3</sup> *Graduando, Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo (CEFET-ES).*

<sup>4</sup> *Professor, Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo (CEFET-ES).*

<sup>5</sup> *Professor titular, Universidade de São Paulo (USP).*

## 1 INTRODUÇÃO

O resíduo de rochas ornamentais é um sério problema que as empresas do setor vem encontrando, devido principalmente ao local onde este resíduo é descartado, assim ocorrendo problemas com órgãos ambientais e com a população vizinha.<sup>(1)</sup>

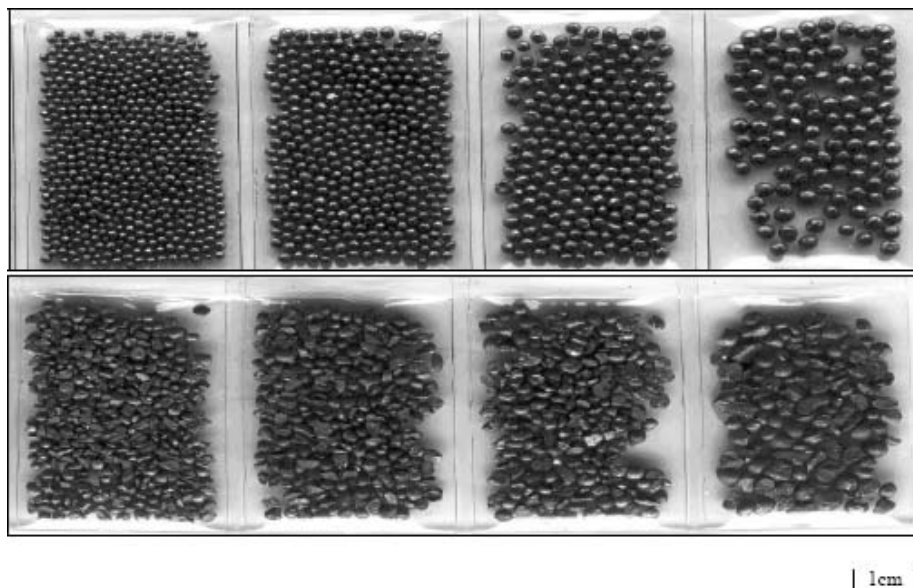
Neste trabalho foi utilizada a parte metálica presente no resíduo de granito proveniente da granalha de aço para a confecção de briquetes visando o seu aproveitamento como sucata de aciaria, criando assim, uma alternativa para o problema encontrado por empresas do ramo com relação à destinação do resíduo gerado na etapa de corte (beneficiamento primário).

O Brasil, nos últimos anos, vem crescendo no cenário de produção de rochas ornamentais. No ano de 2007, o Brasil produziu 7,9 milhões de toneladas de rochas ornamentais.<sup>(2)</sup> Os principais métodos empregados no corte dos blocos é o corte com fio diamantado ou laminas.

Como 20% a 25% dos blocos acabam se tornando rejeito, as empresas vem enfrentando problemas com a destinação do rejeito gerado.<sup>(3,4)</sup> Geralmente, o resíduo é descartado em lugares inadequados como rios, lagos ao mesmo ao redor das empresas, assim, podendo causar problemas de assoreamento dos rios e problemas com a saúde da população que se encontra ao redor das empresas.<sup>(5)</sup>

Os principais constituintes do resíduo descartado é a cal, granalha e pó de rocha. O pó de rocha é procedente do corte do bloco, a cal e granalha são procedentes da polpa abrasiva que é adicionada durante o processo de corte.<sup>(6)</sup> A granalha é o insumo responsável pelo corte das rochas e em algumas empresas, a porcentagem deste material na polpa abrasiva pode chegar a 13,6% em peso.<sup>(7)</sup> São materiais feitos de aço ou de ferro, podem possuir uma forma arredondada ou angular. Normalmente o que é usado no processo de corte é uma mistura das duas formas. As granalhas com forma arredondada têm a função de um rolamento para as laminas. Já as granalhas com forma angular são as responsáveis por romper os cristais da rocha, ou seja, são as responsáveis pelo corte. De acordo com Pontes,<sup>(8)</sup> a granulometria ideal para as granalhas é de 0,7 mm a 1,2 mm, com uma distribuição média de 30% de granalhas da forma esférica e 70% na forma angular. A Figura 1 mostra as granalhas que são usadas no processo de corte das rochas.

Já a sucata de aço para ser utilizada, é preciso ter um controle sobre sua composição química, impurezas e granulometria principalmente. Geralmente estas sucatas antes de sua utilização precisam ser limpas, cortadas e ou prensadas, para que possam ser carregadas nos fornos elétricos ou LD.



**Figura 11:** Granalhas utilizadas no processo de corte de rochas.<sup>(6)</sup>

Como a produção brasileira de chapas ( $m^2/ano$ ) é da ordem de 40.000.000  $m^2/ano$ , e o estado do Espírito Santo responde por 70% da produção, perfazendo um total de 28.000.000  $m^2/ano$ , e a quantidade média gasta de granalha é 1,87  $kg/m^2$ , a quantidade anual de resíduo metálico fino é da ordem de 74.800.000 kg (média nacional). O Espírito Santo gera então um volume de resíduo metálico fino de aproximadamente 52.360.000 kg por ano.<sup>(9)</sup>

Devido a sua composição química, a parte metálica obtida é uma excelente matéria-prima para os processos de fabricação de aço, porém como o aço obtido possui uma granulometria fina, menor que 1 mm, dificulta o manuseio e carregamento desta parte metálica nos processos industriais, como o convertedor e o forno elétrico, sendo assim necessário a sua aglomeração para o seu manuseio. A briquetagem permite a obtenção de uma matéria prima com alto teor de metálico, pureza e uniformidade granulométrica, dispensando qualquer outra etapa de preparação antes de ser carregada.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas para a realização deste trabalho foram:

- Coleta de amostra;
- Separação magnética do resíduo de rochas ornamentais;
- Caracterização química e física da parte metálica separada; E
- Briquetagem da parte metálica.

### 2.1 Coleta de Amostra

Foi coletada para a realização deste trabalho uma quantia de aproximadamente 500 kg de resíduo de granito procedente da etapa de desdobramento dos blocos. Nesta etapa de desdobramento é utilizada granalha de aço para efetuar o corte dos blocos de granito. As amostras foram estocadas em tonéis para que não houvesse perdas e contaminação. A Figura 2 apresenta o resíduo coletado para a realização do trabalho.



**Figura 2:** Amostra do resíduo de granito utilizado.

## **2.2 Separação Magnética do Resíduo de Rochas Ornamentais**

Após a chegada do resíduo foi feito o quarteamento do material para a realização dos testes de separação magnética. Após o quarteamento, foi determinada a umidade de cada amostra. Para isso, foi utilizado um analisador de umidade por infravermelho. A figura 3 ilustra o analisador de umidade por infravermelho utilizado nas análises. A determinação da umidade tem o intuito de se adicionar água ao resíduo para a obtenção de uma polpa com 70% em peso de água e 30% em peso de resíduo.



**Figura 3:** Medidor de umidade por infravermelho.

Determinada a umidade, o resíduo foi levado para a realização dos testes de separação magnética num separador magnético a úmido. A Figura 4 apresenta o separador magnético a úmido utilizado. Após a separação, a parte metálica foi encaminhada à secagem para as etapas subseqüentes de caracterização.



**Figura 4:** Separador magnético a úmido.

A não utilização de um separador magnético a seco se deve a parte de óxido (não metálica) fica impregnada juntamente com a parte metálica, algo que não acontece com o separador magnético a úmido devido justamente ao uso de água que acaba proporcionando o desprendimento da parte não metálica da metálica, e melhorando a separação e diminuindo o teor de impureza contida na parte metálica, portanto, o separador a úmido tem alta. As Figuras 5 e 6 ilustram o separador magnético a úmido operando.



**Figura 5 :**Separador magnético a úmido iniciando a operação.



**Figura 6** Separador magnético a úmido operando.

### **2.3 Caracterização Química e Física da Parte Metálica Separada**

Após a separação magnética a úmido, foi feita a caracterização da parte metálica obtida. A caracterização envolveu análise química, difração de raio x, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise granulométrica. Para isso, a parte metálica separada foi quarteada em alíquotas de 20 gramas e encaminhada aos devidos laboratórios para a realização das análises.

### **2.4 Briquetagem da Parte Metálica**

Após a caracterização, o material metálico proveniente da separação magnética foi enviado para a fabricação dos briquetes. Foi utilizada uma briquetadeira de rolos similar à apresentada na Figura 7.



**Figura 7:** Briquetadeira de rolos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Análise Química da Parte Metálica

Foi realizada a análise química no laboratório do CEFET-ES da parte metálica obtida na separação magnética do resíduo de granito. A Tabela 1 apresenta os valores obtidos na análise química da parte metálica do resíduo.

**Tabela 1:** Análise química da parte metálica

Elemento	(%) em peso
C	0,81
Si	1,00
Mn	0,69
P	<0,05
S	<0,05

A Tabela 2 apresenta a faixa de composição química das granalhas utilizadas para o processo de corte de blocos de rochas ornamentais.

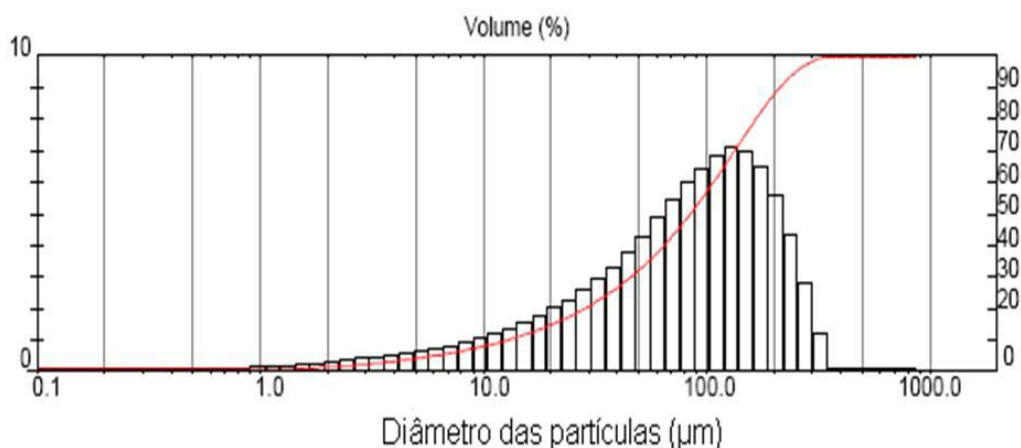
**Tabela 2:** Faixa de composição química da granalha

Elemento	(%)
C	0,75 – 1,20
Si	0,40 – 1,20
Mn	0,60 – 1,20
P	0,05 máx
S	<0,05

Comparando o resultado obtido na tabela 1 com a composição química da tabela 2, nota-se que a parte metálica obtida na separação está dentro da faixa de composição química da granalha. Na Análise química foi encontrado 2,46% de impurezas, em sua maior parte de SiO<sub>2</sub> proveniente do resíduo, podendo assim ser briquetado e aproveitado em siderúrgicas.

#### 3.2 Análise Granulométrica da Parte Metálica

A Figura 8 apresenta o resultado da distribuição granulométrica da parte magnética do resíduo.

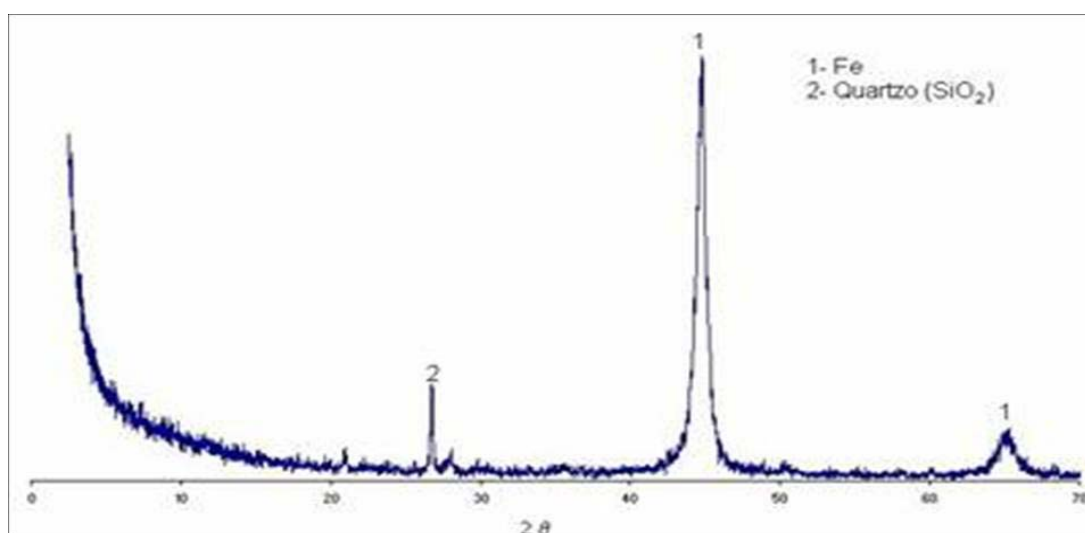


**Figura 8:** Distribuição granulométrica da parte magnética do resíduo de granito.

Pode-se observar que 100% das partículas estão situadas abaixo de 1 mm, sendo assim, muito fina para a sua utilização em aciaria, sendo então necessária sua aglomeração.

### 3.3 Difração de Raio X da Parte Metálica

A Figura 9 apresenta o espectro de difração de raio X da parte magnética do resíduo de granito. Pode-se observar a predominância de picos de ferro. O espectro vem a comprovar que o ferro obtido na separação apresenta pouca contaminação e sendo possível sua utilização em aciaria. O pico de quartzo presente no espectro é decorrente do resíduo de granito, uma vez que o quartzo é o principal constituinte do granito.

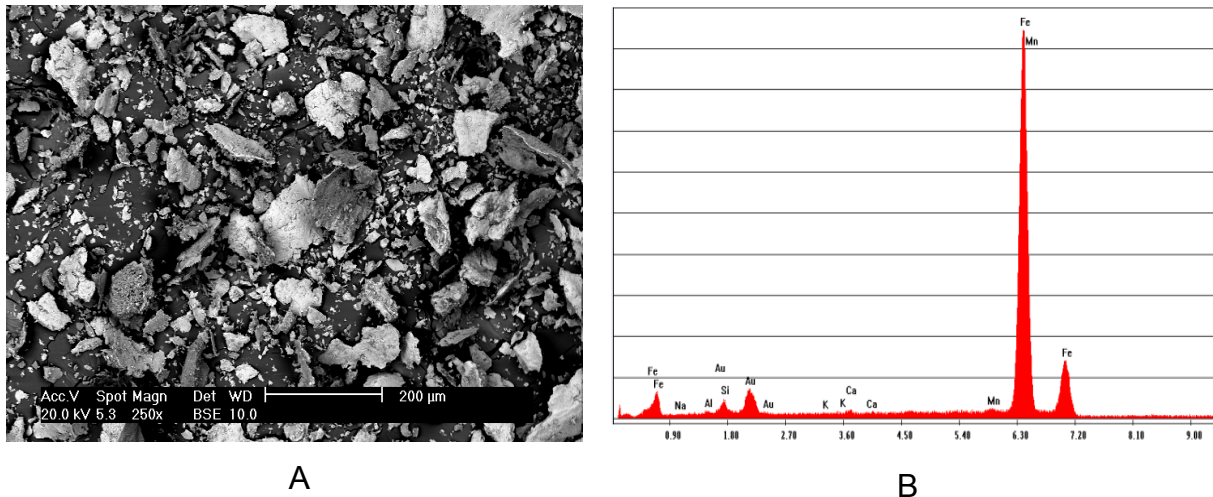


**Figura 9:** Espectro de difração de raio X da parte magnética do resíduo de granito.

### 3.4 Microscopia eletrônica de varredura

A Figura 10A apresenta a imagem obtida pelo microscópio eletrônico de varredura nas amostras da parte metálica do resíduo de granito. Ao mesmo tempo em que as imagens foram feitas, análises de EDS foram realizadas. Pelos espectros de EDS presente na figura 10B pode-se observar a predominância de ferro na parte metálica, confirmando assim pouca presença de impurezas.

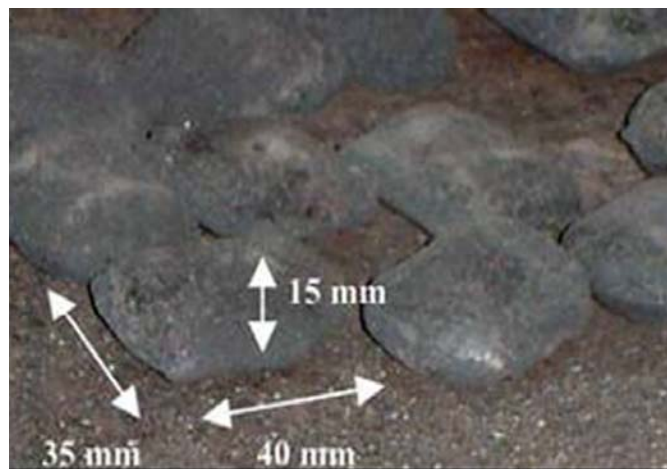




**Figura 10:** A) Imagem de elétrons retro-espalhados da parte metálica do resíduo de granito. B) Espectro de EDS da parte metálica do resíduo de granito.

### 3.5 Características do Briquete Produzido

Após a caracterização física e química da parte magnética do resíduo de granito, foram produzidos os briquetes. A Figura 11 ilustra os briquetes produzidos a partir da parte magnética do resíduo de granito.



**Figura 11:** Briquetes fabricados com a parte metálica do resíduo de granito.

A vantagem da utilização dos briquetes em relação às sucatas são que os materiais convencionalmente, usados para este fim, precisam ser beneficiadas (cortadas, limpas e prensadas) antes de serem usadas, para os briquetes, estes processos são dispensados. Além disso, os briquetes apresentam outras vantagens no que diz respeito à uniformidade química e granulométrica, ou seja, há pouca variação desses parâmetros. A Figura 12 mostra um exemplo de sucata que é utilizada em fornos elétricos a arco (FEA).

Como citado por Grillo, Steinkopf Junior e Oliveira<sup>(9)</sup> a quantidade anual de resíduo metálico é da ordem de 74.800.000 kg no Brasil, sendo que Espírito Santo gera então um volume de resíduo granulado metálico de aproximadamente 52.360.000 kg por ano. Com base nisto pode se estimar que aproximadamente esta mesma quantidade de briquetes de aço possa ser fabricado.



**Figura 12:** Exemplo de sucata utilizada em FEA.

## 4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, no presente trabalho pode-se concluir que:

- Pelas análises de difração de raio X, microscopia eletrônica de varredura, EDS e química, pode-se dizer que a separação magnética foi bem sucedida devido a baixa presença de óxido na composição da parte magnética (> 3%).
- Para o reaproveitamento da parte metálica presente no resíduo de granito é necessário a sua aglomeração devido ao material ser de granulometria fina, abaixo de 1 mm.
- Os briquetes produzidos não necessitam de beneficiamento, ao contrario da sucata, que necessita de vários processos para o seu reaproveitamento, além de que os briquetes apresentam uma uniformidade de composição química e granulométrica.

## Agradecimentos

FAPES - Fundação de Apoio à Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, FAPESP – Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro recebido e a USP – Universidade de São Paulo.

## 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. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2005-101-00.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2008.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2007. São Paulo: ABIROCHAS, 2008. 20p. Disponível em: <[http://www.ivolution.com.br/news/upload\\_pdf/5978/Retrospectiva\\_2007.pdf](http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/5978/Retrospectiva_2007.pdf)>. Acesso em: 5 mar. 2008.

- 3 FORMIGONI, G.E.; BLEGGI, M.A.E.; SILVA, L.F.; EGERT, P.; SILVA, H.R.T. Aproveitamento de resíduos: reciclagem de rochas naturais. Unisul. Artigo. Disponível em: <<http://junic.unisul.br/2007/JUNIC/pdf/0120.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2008.
- 4 MOURA, W.A.; GONÇALVES, J.P.; LEITE, R.S. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecções de lajotas para piso. **Sitientibus**, n. 26, p.49-61, jan.– jun. 2002. Disponível em: <<http://www.uefs.br/sitientibus/pdf/26/utilizacaodoresiduodecortedemarmore.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2008.
- 5 RIBEIRO, K.F.S. et al. Utilização do resíduo de granito em massas cerâmicas empregadas na obtenção de revestimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICAS, 51., 2007, Salvador. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/51cbc/artigos/51cbc-14-12.pdf>>. Acesso em: 6 mar. 2008.
- 6 COIMBRA FILHO, C.G. **Relação entre processo de corte e qualidade de superfícies serradas de granitos ornamentais**. 2006. 168p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, 2006.
- 7 SAMPAIO, J.A.; WELLANKAMP, F.J.; COSTA, I.L.S. **Mármore**. Rio de Janeiro: Mármore Salviano; 2002. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-171-00.pdf>>. Acesso em: 6 mar 2008.
- 8 PONTES, I.F. **Aproveitamento de finos gerados nas serragens de mármore e granito**. 2000. 150p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- 9 GRILLO, F.F.; STEINKOPF JUNIOR, R.G.; OLIVEIRA, J.R. **Estudo da separação da parte metálica presente no resíduo gerado no desdobramento de rochas ornamentais para produção de briquetes**. 2008. Trabalho (Conclusão de Curso) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo, Vitória, 2008.