

# ESTUDO DO BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

**Douglas Bortolote Marcon**

Aluno de Graduação de Eng. Minas, 10º período, IFES

Período PIBIC/CETEM: julho de 2013 a julho de 2014

[dmarcon@cetem.gov.br](mailto:dmarcon@cetem.gov.br)

**Francisco Wilson de Hollanda Vidal**

Orientador, Engenheiro Minas, D.Sc.

[fhollanda@cetem.gov.br](mailto:fhollanda@cetem.gov.br)

**Nuria Fernandez Castro**

Co-orientadora, Engenheira de Minas, M.Sc.

[ncastro@cetem.gov.br](mailto:ncastro@cetem.gov.br)

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com ABIROCHAS (2012), no Brasil, são beneficiados mais de 70 milhões de m<sup>2</sup>/ano de chapas de rochas ornamentais. Nestes processos geram-se, aproximadamente, 500 kg/m<sup>3</sup> de resíduos finos na serragem dos blocos e em torno de 100 kg/m<sup>3</sup> no polimento, constituídos principalmente por: água, pó de rocha, granalha, resíduos de lâmina de aço e cal, que atualmente não são aproveitados pela indústria (CAMPOS *et al.*, 2014). Prevendo a possibilidade de valorização da cadeia produtiva e a contribuição com o desenvolvimento sustentável das pequenas e médias empresas do setor de rochas ornamentais, esta pesquisa pretende encontrar uma rota de processamento do resíduo gerado, utilizando técnicas de tratamento de minérios, que permita a obtenção de subprodutos. O aproveitamento deste material pode resultar tanto em ganhos de natureza ambiental, promovendo uma correta destinação, quanto econômicos.

## 2. OBJETIVO

Separar o resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais em subprodutos, tais como: argilas, materiais metálicos e outros produtos como a sílica.

## 3. METODOLOGIA

Realizou-se uma ampla revisão bibliográfica sobre a geração e aproveitamento do resíduo e sobre as técnicas de tratamento de minério a serem utilizadas para o trabalho.

O material utilizado no estudo é oriundo da AAMOL – Associação Ambiental Monte Líbano. Após coletado, o resíduo foi amostrado e encaminhado para caracterização, que consistiu em: análise granulométrica, determinação da densidade ( $\rho$ ), mediante picnometria convencional e picnometria de gás hélio, análises química e mineralógica por Fluorescência de Raios-X (FRX) e Difração de Raios-X (DRX), respectivamente. A análise granulométrica foi realizada por peneiramento a úmido em uma amostra de massa 1.068,35 g, com peneiras de abertura em milímetros (mm): 0,841; 0,420; 0,297; 0,210; 0,149; 0,105; 0,074; 0,053; 0,044 e 0,037.

A seguir, com a finalidade de separar os materiais mais finos, foi empregado um hidrociclone, equipamento que classifica o material em duas frações, uma contendo relativamente maior número de partículas finas (*overflow*), e outra com maior população de partículas grosseira (*underflow*). Outros equipamentos empregados nessa fase foram: um tanque de agitação provido de uma bomba centrífuga, uma peneira de abertura 1,68 mm, um sistema de silo cônico com um agitador, uma bomba centrífuga e um *by pass*, este último utilizado para aliviar a pressão da bomba e controlar a vazão de alimentação do hidrociclone.

Para realização da ciclonagem, fizeram-se quatro testes variando a porcentagem de sólidos e a pressão do bombeamento para a alimentação, selecionando a melhor situação operacional. Feita a seleção, o resíduo foi colocado no tanque, onde se acrescentou água e a agitação do tanque provocou a homogeneização da polpa com a porcentagem de sólido requerida. A polpa foi então bombeada, com auxílio de uma bomba centrífuga e peneirada por uma peneira de abertura 1,68

mm (para evitar entupimentos do hidrociclone) até o silo cônico. Neste, o material permaneceu em constante agitação, criada pelo agitador e auxiliada pela turbulência ocasionada pelo *by pass* no bombeamento da polpa para a alimentação do hidrociclone.

Na verificação do percentual de sólido, utilizou-se de uma Balança de Marcy. Para o controle da pressão, ajustaram-se as aberturas da alimentação do hidrociclone e do *by pass*, até obter a pressão requerida, sendo esta visualizada com a leitura de um manômetro. Estas atividades desenvolveram-se nas dependências do IFES campus Cachoeiro de Itapemirim.

Realizada a separação dos finos do material, parte do *overflow* foi coletado e depositado em uma caixa de um metro cúbico. O *underflow* foi colocado em dez tambores, sendo cinco utilizados para o ensaio de beneficiamento e os outros mantidos como réplica.

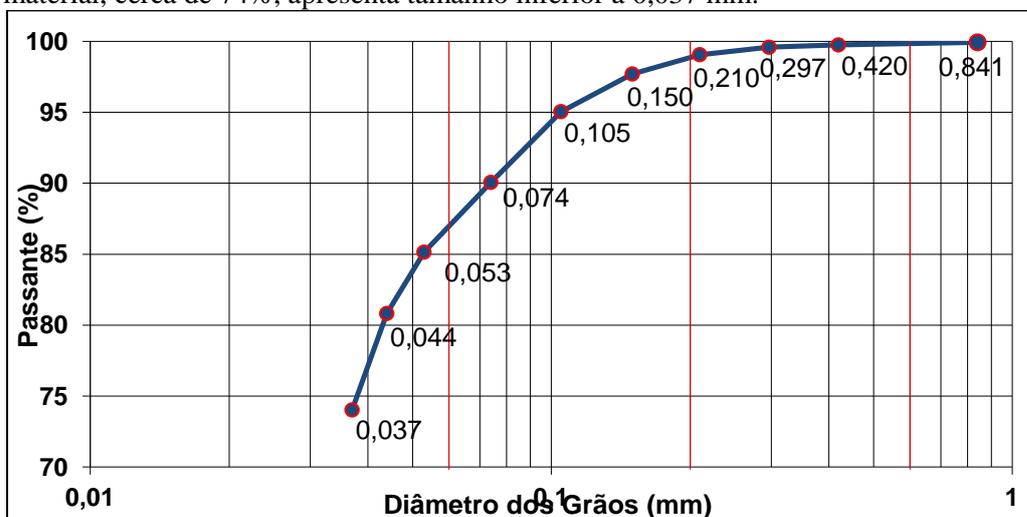
O *underflow* foi submetido a concentração por espirais, com base, principalmente, na necessidade de recuperar a parte metálica do resíduo (granalha e fragmentos de lâminas) e levando em consideração que, segundo Chaves e Chaves Filho (2013), a espiral é o equipamento de concentração de menor custo de capital e manutenção, construído com material leve e durável, demanda de pequenos espaços para sua instalação e substitui com sucesso as mesas vibratórias.

Os ensaios nas espirais concentradoras foram realizados na usina piloto do CETEM, no Rio de Janeiro. Utilizou-se da espiral: MD- *Spiral Concentrator*, modelo HG11, com 14 voltas e dupla alimentação; um tanque de preparação de polpa com capacidade de 0,3 m<sup>3</sup>; uma bomba centrífuga munida de um sistema de *by pass*, para alimentação da espiral; e um silo cônico, com uma bomba centrífuga, na parte inferior da espiral, para manter o circuito fechado até o processo entrar em regime contínuo. Então, foram definidas as aberturas dos primeiros coletores que são os que direcionam o fluxo de pesados para orifícios na borda interna das seções da espiral. Da mesma forma ajustaram-se os coletores na parte inferior das espirais para permitir uma melhor separação do material pesado residual. No total foram gerados quatro produtos: O **Concentrado 1** — material pesado recolhido nos primeiros coletores; **Concentrado 2** — pesados coletados no final da espiral; **Misto** — material intermediário entre o Concentrado 2 e o Leve; **Leve** — material rico em minerais leves.

Foram realizadas cinco amostragens dos produtos e da alimentação, ao longo do processo. As amostras obtidas foram misturadas e homogeneizadas pelo método de pilha cônica, formando uma amostra representativa de cada produto. Para verificar a eficiência da concentração do resíduo executaram-se ensaios em meio denso ( $\rho = 2,96 \text{ g/cm}^3$ ), sendo possível verificar o percentual de minerais pesados ( $\rho > 2,96$ ) presentes na amostra inicial e nos produtos gerados pós-tratamento.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a curva granulométrica do resíduo. Observa-se que a maior proporção do material, cerca de 74%, apresenta tamanho inferior a 0,037 mm.



**Figura 1:** Curva granulométrica do resíduo. Fonte: Elaboração do autor.

A Tabela 1 exibe a composição química do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais. Nota-se uma grande concentração de óxido de alumínio, possivelmente proveniente das argilas presentes no resíduo. O ferro, provavelmente, é oriundo da granalha e fragmentos de lâminas.

**Tabela 1:** Análise química do resíduo.

Elementos	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PPC*
% Massa	3,6	1,7	16,0	63,3	0,35	4,0	3,8	0,57	5,0	1,25

Fonte: Elaboração do autor. \*PPC. Perda por calcinação

Nas análises mineralógicas por DRX, foi possível determinar que o resíduo é composto por minerais como: Quartzo, Microclina, Muscovita, Albita, Hornblenda, Augita e Anortita.

Na separação dos finos do resíduo, o melhor resultado obtido foi com uma polpa com 30% de sólidos ( $\rho = 2,71 \text{ g/cm}^3$ ) e pressão de alimentação de 10 PSI. Houve a necessidade de ser criterioso com estas duas variáveis, pois influenciam diretamente na taxa de alimentação do hidrociclone. A vazão de sólidos foi calculada mediante amostragem em tempos determinados. Alcançou-se uma vazão de 874.80 kg/h, e foram processados um total de 4.413,85 kg de resíduo. Ao final do processo obtiveram-se 1.910,45 kg no *underflow* e 2.503,40 kg no *overflow*.

Como demonstrando na análise granulométrica, o resíduo inicialmente apresentava 25,98% de partículas de tamanho superior a 0,037mm. Após separação dos finos, com a ciclonagem, este percentual passou para 59,75%, no *underflow*. No *overflow*, este percentual foi igual a 3,18%.

As faixas granulométricas usuais para concentração em espirais são de 2 a 0,074 mm. No entanto Arenare *et al.*(2000) *apud* Chaves e Chaves Filho (2013), propõem que esse limite se estenda até 0,037 mm para minério de ferro. Devido às características do resíduo e com o objetivo de separar a parte metálica, neste estudo trabalhou-se na faixa de 0,037 mm a 0,841 mm.

Nos ensaios de espirais concentradoras são comuns faixas de percentagem de sólido entre 20 e 30%. Por essa ótica os testes foram realizados com 25% de sólidos ( $\rho = 2,84 \text{ g/cm}^3$  após classificação). Na Tabela 2 pode-se verificar o balanço de massa do beneficiamento realizado.

**Tabela 2:** Balanço de massa do ensaio de concentração em espiral concentradora.

	VAZÃO DE SÓLIDO (kg/h)					Média	Des. Padrão
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5		
Alimentação	1.246,52	1.298,35	1.182,81	1.272,58	1.211,11	<b>1.242,27</b>	46,34
Concentrado 1	78,99	84,51	79,48	104,65	100,98	<b>89,72</b>	12,22
Concentrado 2	40,45	42,49	41,65	47,33	49,95	<b>44,37</b>	4,07
Misto	126,40	144,59	137,52	134,53	129,34	<b>134,48</b>	7,13
Leve	1.000,68	1.026,76	924,16	986,07	930,84	<b>973,70</b>	44,69

Fonte: Elaboração do autor.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos com os ensaios em meio denso.

**Tabela 3:** Ensaios em meio denso realizados no resíduo e produto da concentração.

	LÍQUIDO DENSO ( $\rho = 2.96 \text{ g/cm}^3$ )			
	Afundado	Flutuado	- 0.037mm	Total
Resíduo original	5,79%	23,79%	70,42%	100 %
Underflow/alimentação espiral	16,05%	48,32%	35,63%	100%
Concentrado 1	69,90%	19,89%	10,22%	100%
Concentrado 2	41,06%	43,17%	15,78%	100%
Misto	12,33%	72,19%	15,48%	100 %
Leve	3,45%	52,63%	43,92%	100%

Fonte: Elaboração do autor.

Verificam-se resultados satisfatórios de concentração das espirais, tendo em vista que o **Concentrado 1**, apresentou um percentual de pesados de aproximadamente 70%. Nota-se também que o **Leve** teve sua concentração de pesados reduzida em relação ao resíduo original, chegando-se a valores de 3,45%.

O presente estudo ainda não foi finalizado, serão realizados testes de análise química em todas as etapas de tratamento do resíduo, a fim de quantificação das alterações dos teores minerais ao longo do processo de concentração. Pretende-se utilizar métodos de separação magnética de tratamento para individualização da parte metálica dos **Concentrados 1 e 2** e estudar formas de aplicações dos produtos gerados.

## 5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que a rota de beneficiamento com a classificação do resíduo utilizando o hidrociclone e a concentração em espiral se mostrou satisfatória.

A classificação proporcionou um enriquecimento de 2,3 vezes a quantidade de partículas de tamanho superior a 0,037 mm, devido à diminuição da argila presente no resíduo e adequou o mesmo para as operações posteriores de tratamento, além de promover uma pré-concentração dos elementos pesados, ainda na etapa de classificação. Isto mostra que a maioria dos elementos pesados, que são formados principalmente pela parte metálica do resíduo, encontram-se nas faixas granulométricas mais grosseiras.

Quanto a concentração em espirais, obteve-se o enriquecimento de pesados de 4,36 e 2,56 vezes em relação à alimentação (*underflow* do ciclone) do Concentrado 1 e do Concentrado 2, respectivamente. Calculando o enriquecimento destes dois produtos com relação ao resíduo original chegamos aos valores de 12,07 e 7,09 vezes.

Em relação ao Misto e Leve, nota-se que são produtos ricos em minerais leves. Todavia, o Misto necessita de passar por uma operação de *scavenger*, para recuperar seu percentual de pesados.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradeço à AAMOL por ter cedido o resíduo, ao apoio da CATE e COPM nos ensaios, em especial a Carlos Alberto Santos e Michelle Santos e Leonardo Cattabriga. Também agradeço a todos do NR-ES, especialmente a Nuria Castro, Davi de Souza, Dghean Fazolo, Thalissa Altoé, Elton Santos, Pedro Vale e Flávio da Silva, pelo apoio e dedicação ao trabalho. Aos técnicos do laboratório de mineração do IFES, ao Eng. de Produção Geverson Barbosa por sua ajuda e transferência de seu conhecimento e ao CNPq pela bolsa concedida.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Situação Brasileira do Setor de Rochas Ornamentais. São Paulo, 2012.

CAMPOS, A. R. de et al. RESÍDUOS: TRATAMENTO E APLICAÇÕES INDUSTRIAIS. In: VIDAL, Francisco W. H.; CARVALHO, Hélio A. A.; CASTRO, Nuria F. (Ed.). **TECNOLOGIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS: Pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. 2014.

CHAVES, A. P.; CHAVES FILHO, R. C.. **Separação densitária**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 6 v. (Teorias e práticas do tratamento de minérios).