

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

**Utilização de Resíduos Oriundos do Corte de
Mármore como Carga na Indústria de Papel**

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Dilma Vana Rousseff

Presidente

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Vice-Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Clelio Campolina Diniz

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação

Alvaro Toubes Prata

Secretário-Executivo

Kayo Julio Cesar Pereira

Coordenação-Geral das Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Fernando Antonio Freitas Lins

Diretor

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais

Claudio Luiz Schneider

Coordenador de Processos Minerais

Cosme Antônio de Moraes Regly

Coordenador de Administração

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Coordenador de Apoio Tecnológico às Micro e Pequenas Empresas

Jackson de Figueiredo Neto

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação

Ronaldo Luiz Correa dos Santos

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

ISBN 978-85-8261-025-1

STA - 70

Utilização de Resíduos Oriundos do Corte de Mármore como Carga na Indústria de Papel

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Eng. Químico, D.Sc. em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Pesquisador Adjunto do CETEM/MCTI.

Adriano Caranassios (*in memoriam*)

Eng. de Minas, D.Sc. em Engenharia de Minas, Tecnologista do CETEM/MCTI.

Beatriz Martins Morani

Bolsista de Iniciação Científica. Graduanda em Geologia da UFRJ.

CETEM/MCTI

2014

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Luis Gonzaga Santos Sobral

Editor

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Subeditora

CONSELHO EDITORIAL

Mariza Bezerra de M. Monte (CETEM), Paulo Sergio M. Soares (CETEM), Saulo Rodrigues P. Filho (CETEM), Sílvia Gonçalves Egler (CETEM), Vicente Paulo de Souza (CETEM), Antonio Carlos A. da Costa (UERJ), Fátima Maria Z. Zotin (UERJ), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (PETROBRÁS), Luis Enrique Sánches (EPUSP) e Virginia S. Ciminelli (UFMG).

A Série Tecnologia Ambiental divulga trabalhos relacionados ao setor minerometalúrgico, nas áreas de tratamento e recuperação ambiental, que tenham sido desenvolvidos, ao menos em parte, no CETEM.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Valéria Cristina de Souza

Coordenação Editorial

Valéria Cristina de Souza

Editoração Eletrônica

Andreza Milheiro

Revisão

Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição.

Utilização de resíduos oriundos do corte de mármore como carga na indústria de papel / Roberto Carlos C. Ribeiro, Adriano Caranassios (*in memoriam*) e Beatriz Martins Morani. __Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.

33p. (Série Tecnologia Ambiental, 70)

1. Rochas ornamentais. 2. Resíduos. 3. Indústria de papel. I. Título. II. Série. III. Centro de Tecnologia Mineral. IV. Caranassios, Adriano (*in memoriam*). V. Morani, Beatriz Martins.

CDD – 553.5

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Rochas Ornamentais	9
1.2 O Setor de Mármore	9
1.3 Geração de Reíduos de Mármore	10
1.4 Carbonatos	11
1.5 Papel	12
1.6 Processo de Produção de Papel	12
1.7 Cargas Minerais	14
1.8 Recobrimento	16
1.9 O Setor Produtivo da Indústria de Papel	17
2 OBJETIVO	18
3 EXPERIMENTAL	19
3.1 Origem do Material	19
3.2 Caracterização do Resíduo	19
3.3 Ensaio de Flotação	20
3.4 Determinação do Teor de Alvura	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
4.1 Caracterização do Resíduo	21
4.2 Ensaio de Flotação	25
4.3 Verificação de Alvura	27
5 CONCLUSÕES	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

RESUMO

A ascensão do setor de rochas ornamentais nos últimos anos impulsionou, cada vez mais, o processo de extração e beneficiamento dessas rochas e gerou, conseqüentemente, resíduos sem valor econômico que acabam sendo descartados em locais inadequados, como rios e córregos, causando um grave impacto ambiental. Por essa razão, tem havido uma crescente preocupação nesse sentido, já que a tendência é atingir dimensões intoleráveis para a população, caso não recebam um destino apropriado e não sejam desenvolvidas formas e métodos para seu efetivo aproveitamento. Baseado no exposto, o presente trabalho compreende um estudo realizado em um resíduo oriundo do corte de mármore da Cidade de Cachoeiro de Itapemirim – ES e envolve a purificação do material por meio do processo de flotação inversa dos silicatos, com fins de utilização na indústria do papel. Os resultados indicaram ser possível a redução dos percentuais de ferro e sílica no material a índices inferiores a 0,8 e 0,5%, respectivamente, com recuperação de carbonatos de cálcio e/ou magnésio de 95% e com elevada alvura, em torno de 92%. Com isso, pôde-se concluir que o resíduo oriundo do corte de mármore, após sofrer um processo de flotação, enquadrou-se às exigências da indústria do papel, podendo ser utilizado como carga neste setor.

Palavras-chave

Resíduos de rochas ornamentais, cargas minerais e papel.

ABSTRACT

The rise of the ornamental rocks industry in recent years has increased the process for extracting and beneficiating rocks, generating, therefore, a residue without economic value, which ends up when discarded in non-appropriate places such as rivers and water streams, causing a serious environmental impact. Thus, there has been a growing concern in this sense, once the trend is reaching intolerable dimensions for the population, in case safe measures for appropriate destination and ways for their effective use not being developed. Therefore, this technical contribution aimed at studying the residue arising from the marble cutting from Cachoeiro de Itapemirim City – Espírito Santo State – Brazil and its purification by reverse flotation of silicates, for being used in the paper industry. The results indicated the possibility of reducing its iron and silica contents down to 0.8 and 0.5%, respectively, recovering, additionally, the calcium and/or magnesium carbonates up to 95%, and with high whiteness of around of 92%. Therefore, as a conclusion, the residue arising from the marble cutting operation, after undergoing a purification process, fulfilled the requirements of the paper industry to be used as filler and/or coating.

Keywords

Dimension stones residues, mineral filler, paper.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 | Rochas Ornamentais

As rochas ornamentais e de revestimento abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento, lustro etc. Seus principais campos de aplicação são os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras etc. (Chiod Filho, 2004). São basicamente classificadas em mármore e granito, pois estas duas classes respondem por 90% da produção mundial do setor. Os demais tipos são as ardósias, quartzitos, pedra sabão, serpentinitos, basaltos e conglomerados naturais (Peiter *et al.*, 2001 *apud* Spínola *et al.*, 2004).

Segundo Chiodi Filho (2008), a produção mundial de rochas ornamentais evoluiu de 1,8 milhões de toneladas por ano, na década de 1920, para um patamar de 93 milhões, na década de 2006, classificando o setor de rochas ornamentais como uma das mais importantes áreas emergentes de negócios minero-metalúrgicos.

1.2 | O Setor de Mármore

Comercialmente, são classificadas como mármore todas as rochas carbonáticas capazes de receber polimento. O mármore é uma rocha metamórfica cuja mineralogia principal é a calcita, aragonita e dolomita e em menor quantidade, encontram-se quartzo, pirita, anfibólios, diopsídio, entre outros.

Sua composição química é carbonática (calcítica à magnésiana) e tem textura granoblástica. O metamorfismo que origina essa rocha é o regional e o de contato a partir de calcários e dolomitos. Ambas são rochas sedimentares, sendo a primeira composta essencialmente por calcita, enquanto a outra, sobretudo, por dolomita (Dana,1970).

As rochas mais utilizadas no Brasil são as silicáticas, que abrangem os granitos e corresponderam a cerca de 60% da produção nacional em 2010. No entanto, as rochas carbonáticas, nas quais se incluem os mármore, travertinos e *limestones*, ficaram em segundo lugar e responderam por cerca de 15% no mesmo ano.

Atualmente, a principal utilização do mármore é como material de construção e o resíduo gerado em todo o seu processamento corresponde a um pó muito fino, responsável por graves problemas ambientais (Corinaldesi *et al.*, 2010).

1.3 | Geração de Resíduos de Mármore

O processo de extração e beneficiamento de mármore segue, geralmente, o mesmo princípio de todas as demais rochas ornamentais. Há uma extração dos blocos nas pedreiras, onde se verifica uma grande quantidade de perdas, que são os resíduos grossos, sem condições de serem comercializados. Os blocos são então cortados a úmido e beneficiados em serrarias de rochas ornamentais, onde se observa a formação de uma lama, de granulometria fina, composta, essencialmente, de água, granalha e rocha moída e que, geralmente, é depositada em rios ou córregos próximos às serrarias, causando um grande impacto ambiental, como o

assoreamento de rios, gerando a mortandade de peixes, afetando o gado que consome dessa água e, indiretamente, a população que depende da pesca e do gado (Pinheiro, 1996).

No entanto, a composição dessa lama é de extrema riqueza mineral, uma vez que após a secagem da água e da separação da granalha (ferro), obtém-se um pó de rocha, composto, geralmente, por carbonatos de magnésio e/ou cálcio, que pode ser utilizado em alguns setores da indústria e não ser descartada em rios ou córregos (Carrisso *et al.*, 2005).

Muitos estudos vêm sendo realizados no intuito do aproveitamento do resíduo oriundo da lavra e do beneficiamento do mármore em diversos setores. Estudos de Topuço *et al.*, (2009), Alyamac e Ince (2009) indicaram a potencialidade de utilização desse tipo de resíduo como carga na geração de cimentos e concretos.

1.4 | Carbonatos

Os carbonatos têm grande importância na economia mundial graças às suas numerosas aplicações, sendo uma delas a sua utilização na indústria de papel e pigmentos. Suas partículas com formas e tamanhos diversos estão entre as cargas com mais utilidade e vantagem na técnica de fabricação de papel (Kroc e Fairchild, 1998). Segundo Carvalho e Almeida (1997), os carbonatos são utilizados na indústria de papel pelas seguintes razões: fácil dispersão; superfície hidrofílica; alto valor de alvura; poder elevado de reforçador, quando utilizado como carga; baixos índices de dureza e abrasão; baixa viscosidade a alto cisalhamento e boa opacidade.

1.5 | Papel

O papel é constituído, essencialmente, por uma folha muito fina e uniforme de pequenas fibras de celulose que estão organizadas segundo um reticulado muito fino. Esta trama de fibras não constitui uma superfície lisa, possuindo numerosos vazios e irregularidades, que são responsáveis pela boa impressão de tinta.

O principal objetivo é produzir uma folha de papel que possua capilares abertos entre as folhas de modo que a tinta, ao atingir a superfície, seja imediatamente absorvida para esses canais. Isto é muito importante em processos de impressão a elevada velocidade, como é o caso do processo de produção de jornais.

As fibras celulósicas apresentam-se, geralmente, transparentes e torna-se necessário fazer com que o papel seja o mais opaco e branco para que a dispersão da luz seja a máxima possível. Isto só é possível quando os canais entre as fibras forem pequenos, numerosos e preenchidos por ar. Uma elevada opacidade é de enorme importância para o papel de impressão, porque impede a passagem de tinta para o outro lado da folha.

Na fabricação de vários tipos de papel é fundamental a aplicação de substâncias minerais responsáveis pelo enchimento e também recobrimento (Velho e Gomes, 1989).

1.6 | Processo de Produção de Papel

O processo de produção do papel conta com cinco etapas principais: captação da madeira, cozimento, branqueamento, secagem e calandragem. Nesse processo, podem-se obter papéis com caráter ácido ou alcalino. Na etapa de

branqueamento, são adicionados minerais com função de carga, e normalmente utiliza-se o caulim, que é compatível com a produção em meio ácido. Já o carbonato de cálcio é requerido no meio alcalino. Na etapa de calandragem, estes minerais também podem ser adicionados ao papel com o intuito de recobrimento (Varela *et al.*, 2006).

Os papéis alcalinos são superiores aos papéis ácidos, pois apresentam maior alvura, maior opacidade e são considerados “ecologicamente corretos”. Os papéis alcalinos não revestidos contêm maior proporção de cargas do que os papéis ácidos e, portanto, são menos absorventes e tendem a ancorar melhor as tintas de impressão, tornando as cores impressas mais saturadas e vívidas (Rossi Filho, 1996 e Murray e Kogel, 2005).

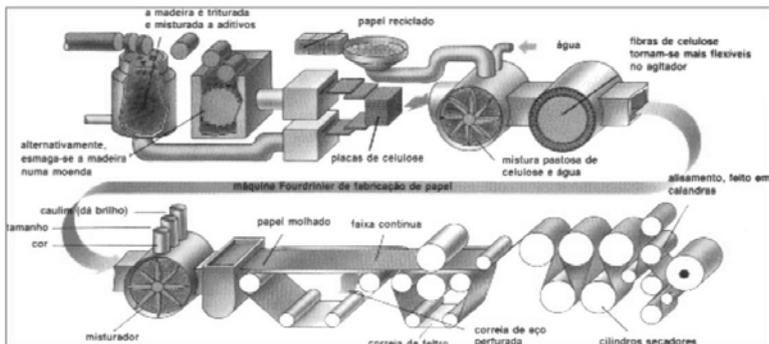


Figura 1. Processo de produção tradicional de papel.

A enorme expansão no setor de pigmentos para impressão em papéis tem gerado estudos para geração de papéis com qualidades cada vez mais especiais, incluindo estudos voltados com a utilização de diferentes cargas minerais na produção de papéis que sejam capazes de maior adesão desses pigmentos.

Geralmente, os pigmentos sintéticos são produzidos à base de sílica, pois a mesma é responsável pela alta densidade da cor, alta qualidade de imagem e apresenta rápida secagem (Ryu *et al.*, 1999).

1.7 | Cargas Minerais

De maneira geral, as cargas minerais, tais como caulim (Lima e Luz, 1991), dióxido de titânio ou carbonato de cálcio, são incorporadas à massa fibrosa, de modo a reduzir a quantidade de polpa de celulose, além de promover cor e opacidade e têm efeito positivo nas características superficiais do papel, como lisura e receptividade às tintas, além de impermeabilidade. Para tal, as principais exigências para utilização das cargas minerais na produção do papel são granulometria ultrafina, alvura elevada, em torno de 90%, e baixos teores de ferro e sílica, que devem ser inferiores a 1% (Varela *et al.*, 2006 e Wellenkamp, 1999), o que faz com que tenham baixo índice de abrasão.

A Tabela 1 apresenta a quantidade média de carga mineral utilizada na produção de diferentes tipos de papéis (Carvalho e Almeida, 1997).

Tabela 1. Quantidade (%) de carga mineral em diferentes tipos de papéis.

Tipo de papel	(%)
Revistas e jornais	0 – 12
Pasta mecânica, não revestido	0 – 35
Pasta mecânica, revestido	30 – 50
Pasta química, revestido	25 – 50
Pasta química, não revestido	15 – 30

Fonte: Carvalho e Almeida (1997).

Apesar de o caulim ser, ainda, o mineral mais usado na indústria de papel e de sua utilização estar em decréscimo em detrimento do carbonato de cálcio, Andrade *et al.*, (1994) descrevem os principais fatores técnicos e econômicos que vêm contribuindo para a substituição do caulim pelo carbonato de cálcio:

- i) mudança dos processos de produção de papel na rota ácida para alcalina;
- ii) fator econômico (preço);
- iii) tipo de papel final desejado.

Estudos de Yoo *et al.*, (2009) indicaram que a utilização de carbonato de cálcio, oriundo de resíduos de cascas de ovos, pode ser responsável pela melhoria nas qualidades de impressão do papel, pois apresenta melhor reologia durante o processamento.

De acordo com Carvalho e Almeida (1997), o carbonato de cálcio utilizado na indústria de papel apresenta duas origens: o natural, como é o caso dos resíduos oriundos do corte dos mármore, e o precipitado. O carbonato de cálcio natural é formado, essencialmente, por calcita e apresenta partículas maiores do que o carbonato precipitado. O carbonato de cálcio precipitado é oriundo da calcinação do calcário seguido do processo de hidratação, de modo a formar um "leite de cal", o qual é sujeito à recarbonatação e precipitação, podendo formar-se os dois tipos: calcíticos ou aroganíticos.

Durante muito tempo, a utilização do carbonato de cálcio como carga na indústria de papel era bem limitada, pois o processo ocorria em meio ácido e o carbonato apresenta grande instabilidade nesse meio, necessitando de tratamentos

especiais para a sua reciclagem durante o processo. No entanto, a mudança do processo para alcalino eliminou a necessidade desse tratamento, diminuiu custos e permitiu a utilização do carbonato de cálcio (Carvalho e Almeida, 1997).

Além disso, é importante ressaltar que o papel produzido pela rota alcalina não apresenta problemas de amarelamento como ocorria na rota ácida (Luz e Chaves, 2000).

1.8 | Recobrimento

Para ser utilizado como recobrimento, o mineral deve apresentar tamanhos de partículas extremamente baixos, pois ele será responsável pela maciez, brilho e capacidade de impressão. Além disso, a viscosidade do mineral é um parâmetro importante, pois a alta velocidade das máquinas de produção de papel exigirão uma cobertura de baixa viscosidade a alto cisalhamento, evitando-se rasgos e revestimentos não homogêneos (Carvalho e Almeida, 1997).

Segundo Carvalho e Almeida (1997), quando se utiliza o carbonato de cálcio com fins de recobrimento, faz-se necessária a adição de um percentual de caulim, pois o recobrimento apenas com carbonato é muito fosco e não aceito no mercado. Segundo eles, a produção de papel contendo 30% de caulim de alto brilho e 70% de carbonato como recobrimento terá o mesmo efeito que um papel recoberto com 100% de caulim. A diferença é que a utilização do carbonato é responsável pelo barateamento do papel.

A tendência por um papel com mais brilho, mais claro e mais opaco tem como consequência um aumento do consumo dos minerais responsáveis por estas propriedades, como o caulim e

o carbonato de cálcio. No que concerne à utilização como carga, o carbonato de cálcio passou a dominar o mercado, principalmente pelo baixo custo e maior alvura. No que diz respeito à cobertura, o carbonato de cálcio não tem capacidade de fornecer o brilho ao papel, como ocorre com o caulim (Carvalho e Almeida, 1997).

1.9 | O Setor Produtivo da Indústria de Papel

O setor produtivo brasileiro de papel e celulose contribuiu, de forma relevante, para o desenvolvimento do Brasil, visto que o valor de suas vendas incluiu as atividades integradas de produção florestal e de artefatos de papel. O Brasil é o sétimo maior produtor mundial de celulose e o décimo segundo produto de papel, além de ser um dos quinze maiores mercados consumidores.

O setor conta com alto nível de capacitação técnico-profissional e investe, continuamente, na atualização e na expansão de seu parque produtivo. Isso se reflete na certificação de empresas por conformidade às normas ISO-9000 e 14000, devido à excelente qualidade do produto produzido (Ferreira, 2005).

2 | OBJETIVO

O objetivo principal desse trabalho foi o beneficiamento do resíduo proveniente do corte de mármore com fins de concentração dos carbonatos, isentos de ferro e sílica, e com elevada alvura, visando à sua utilização como carga mineral na indústria de papel. Dessa forma, pretendeu-se reduzir o impacto ambiental causado pelos resíduos das rochas ornamentais e criar um insumo de baixo custo para o setor de produção de papel.

3 | EXPERIMENTAL

3.1 | Origem do Material

O resíduo utilizado neste trabalho se trata de uma lama proveniente do corte de mármore de uma serraria da cidade de Cachoeiro de Itapemirim – ES, que se encontrava em um tanque de decantação da serraria.

3.2 | Caracterização do Resíduo

O material foi seco em estufa e homogeneizado em pilha longitudinal, de onde foram retiradas e catalogadas alíquotas de 1,0 kg.

3.2.1 | Avaliação Microscópica

O resíduo foi sujeito à avaliação microscópica em um microscópio Leica EZ4D, com aumento de 35 vezes e com lâmpadas superiores e inferiores, sendo realizadas análises por reflexão e por refração.

3.2.2 | Análises Química e Mineralógica

As análises mineralógica e química foram realizadas pelo Laboratório de Análises Químicas da Coordenação de Análises Mineraias (COAM), do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM).

3.2.3 | Distribuição Granulométrica

Uma fração de 1kg do material foi submetido a peneiramento à úmido em um equipamento *Pen Vibrat*, Modelo PVA1, série AB01, com as aberturas das peneiras variando entre 0,21 mm

e 0,037mm, por um período de 20 min, em que foram realizadas análises químicas em cada material retido nas peneiras.

3.3 | Ensaio de Flotação

A flotação é um dos processos mais indicados para concentração de carbonatos, pois possibilita a retirada de minerais sem interesse, como o caso da sílica (Wellenkamp, 1999). Dessa forma, realizou-se o processo de flotação, em célula Denver sub-aerada, modelo D-12, do resíduo de mármore, passante na peneira de 0,037 mm, em pH 8,5 e velocidades do rotor, no condicionamento e na flotação, de 1.500 e 1.200 r.p.m., respectivamente, e utilizando-se os parâmetros apresentados na Tabela 2 para cada ensaio.

Tabela 2. Parâmetros utilizados no processo de flotação.

Concentração	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Coletor Ácido Oléico (g/Ton.)	10	100	1000	500
Depressor Romin HFS 4628 (g/Ton)	10	100	1000	500
Espumante MIBIC (g/Ton)	02	03	02	02

3.4 | Determinação do Teor de Alvura

Foram produzidas pastilhas prensadas de resíduo em anéis metálicos que foram submetidas em um equipamento *Color touch*, Modelo ISO, Marca *Technidyne*, para serem avaliados seus teores de alvura. O procedimento foi realizado, além do resíduo sem beneficiamento, para todas as frações granulométricas estudadas, bem como para as frações obtidas no processo de flotação.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 | Caracterização do Resíduo

A Figura 2 apresenta a análise preliminar do resíduo por meio de microscopia, podendo-se observar, possivelmente, a presença de materiais ferrosos, estes, talvez, oriundos da granalha, além de pontos específicos de quartzo e de cristais com a clivagem característica da calcita.



Figura 2. Análise microscópica do material antes do beneficiamento.

4.1.1 | Análises Química e Mineralógica

A Tabela 3 apresenta os resultados da análise química realizada com o resíduo de mármore. Observa-se um alto teor de cálcio, com valores em torno de 55%, o que confirma a presença de calcita previamente observada na avaliação microscópica. Verifica-se, também, que os teores de sílica e

ferro encontram-se com valores em torno de 10,5 e 8,7%, respectivamente. Tais valores indicam que o resíduo necessita de um beneficiamento para retirada do ferro e da sílica, para que o mesmo possa ser enquadrado às normas requeridas para utilização como carga na indústria de papel, que exige índices inferiores a 1% desses compostos.

Em relação aos resultados de análise mineralógica, pode-se verificar na Figura 3 o difratograma da amostra de resíduo, em que se verifica picos específicos da calcita, corroborando os resultados de análise química, que já indicavam um alto teor de cálcio. Além disso, verificam-se picos de quartzo e feldspato, também evidenciados pelos teores de silício na análise química.

Tabela 3. Análise Química do Resíduo.

Composição	Concentração
Al ₂ O ₃	1,36
CaO	54,96
Fe ₂ O ₃	8,70
MgO	24,48
SiO ₂	10,50

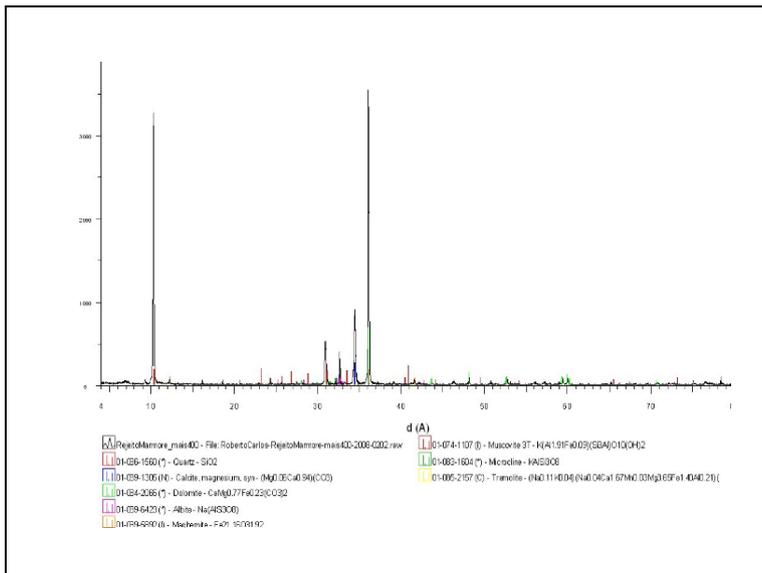


Figura 3. Difratoograma de Raios-X do resíduo.

4.1.2 | Análise Granulométrica

Em relação aos resultados de distribuição granulométrica, na Tabela 4 verifica-se que a maior retenção de material encontrava-se abaixo de 0,037 mm, chegando a um valor de 66,5%, em massa, o que indica as características ultrafinas, exigidas pelas indústrias de papel.

Tabela 4. Distribuição Granulométrica do Resíduo de Mármore.

Resíduo de Mármore (massa inicial: 1136,79 g)					
Tyler	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	Retenção (%)	Acumulado (%)	Passante (%)
65	0,210	13,61	1,22	1,22	98,78
80	0,177	2,67	0,24	1,46	98,54
100	1,149	5,33	0,48	1,93	98,07
150	1,105	34,15	3,06	4,99	95,01
200	0,075	55,55	4,97	9,96	90,04
270	0,053	64,21	5,75	15,71	84,29
375	0,044	111,37	9,97	25,67	74,33
400	0,037	87,01	7,79	33,46	66,54
- 400	-0,037	743,67	66,54	100,00	--
Massa Final	--	1117,57	100,00	--	--
Perda	--	19,22	1,69	--	--

Na Tabela 5 verifica-se o comportamento da composição química em cada fração granulométrica estudada, onde se observa uma redução gradativa dos teores de ferro, chegando-se a valores em torno de 0,83% no material com tamanho de partícula inferior a 0,037 mm. Observa-se, também, o aumento da concentração de cálcio, chegando a teores em torno de 43%, também na granulometria abaixo de 0,037 mm.

Tabela 5. Composição Química das frações granulométricas do resíduo.

Frações	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
+ 0,210	24,33	22,05	5,58	20,90	6,99
- 0,210 +0,177	14,70	26,90	7,22	21,30	7,78
-0,177 +0,149	12,90	26,10	7,40	23,10	8,40
-0,149 +0,105	8,13	29,06	8,40	23,40	6,90
-0,105 +0,075	4,66	31,80	9,90	22,00	5,54
- 0,075 +0,053	2,80	34,54	10,50	20,30	4,20
-0,053 +0,044	1,70	35,00	10,20	14,40	3,50
-0,044 +0,037	1,50	37,60	10,80	15,8	3,10
-0,037	0,83	42,00	14,00	8,80	1,80

Tais resultados serviram de base para utilização do material abaixo de 0,037 mm no processo de flotação, uma vez que os teores de ferro já estavam enquadrados às normas exigidas pelas indústrias de papel, sem a necessidade de se realizar um processo de separação magnética, o que poderia encarecer o processo; além disso, essa faixa foi escolhida devido à alta concentração de carbonato de cálcio presente nessa fração, bem como pela maior proporção do resíduo, cerca de 66,5%, está enquadrado nessa fração (Tabela 5).

4.2 | Ensaios de Flotação

A Tabela 6 apresenta os resultados da composição química dos materiais concentrados e rejeitados no processo de flotação, de acordo com os parâmetros estabelecidos e apresentados na Tabela 2. Como os teores de ferro já estavam

enquadrados às exigências da indústria de papel, os resultados foram expressos apenas com base nos teores de cálcio e magnésio, que compõem os carbonatos, e nos teores de sílica. Pode-se verificar que o material concentrado no ensaio 3 apresentou o melhor desempenho, pois possuía um teor de sílica de 0,49%, compatível com as exigências das indústrias de papel, além da elevada recuperação de carbonatos, que chegou a valores em torno de 95%. Os ensaios 1 e 2 apresentaram elevados teores de sílica no material concentrado e baixa recuperação de carbonatos, não enquadrando o material às normas requeridas. Em relação ao ensaio 4, verificou-se uma boa recuperação dos carbonatos; porém, o teor de sílica no concentrado, mesmo tendo uma queda, se comparado ao material original, não se enquadrou às exigências que são menores de 1%. Tal resultado pode estar relacionado com a concentração inadequada do depressor.

Tabela 6. Composição química dos materiais concentrados e rejeitados no processo de flotação.

Ensaio	Concentrado (flotado)			Resíduo (não-flotado)		
	CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
1	55,2	31,8	12,7	56,1	23,4	19,3
2	49,8	39,9	8,8	47,2	18,9	33,5
3	56,7	38,2	0,49	29,9	21,9	47,8
4	54,9	39,6	2,8	29,9	23,7	44,2

O quartzo, quando em granulometria muito fina, torna-se muito difícil de ser removido no beneficiamento do carbonato de cálcio, contribuindo, dessa forma, para aumentar a sua abrasividade.

4.3 | Verificação de Alvura

O valor da alvura do resíduo sem beneficiamento foi da ordem de 84%, chegando a valores em torno de 87% no material inferior a 0,037mm. Após o processo de flotação desse material, verificou-se uma elevação da alvura para valores em torno de 90% nos quatro ensaios de flotação, porém o ensaio 3 apresentou um material concentrado com alvura em torno de 92%, comprovando ser este o ensaio com as melhores condições para o processo de flotação.

5 | CONCLUSÕES

Conclui-se que o resíduo oriundo do corte de mármore, após passar por um processo de beneficiamento, apresentou redução dos teores de ferro, que originalmente eram de 8,7% no resíduo, para 0,83%, apenas por meio de peneiramento e que o teor de SiO_2 , que era da ordem de 10,5%, para valores em torno de 0,5%, por meio de flotação em pH 8,5 e concentração de coletores e depressoires de 1000 g/t. Tais condições adequam o resíduo para utilização nas indústrias de papel, onde é empregado para recobrir a camada porosa deixada pela celulose, contribuindo, ainda, para a diminuição do impacto ambiental causado pelo depósito inadequado de resíduos de mármore tornando-se um insumo de baixo custo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALYAMAC, K. E. e INCE, R. A., Preliminary concrete mix design for SCC with marble powders. *Construction and Building Materials*, 23, 2009, 1201 – 1210.
- ANDRADE, M. L. A.; CUNHA, L. M. S.; VIEIRA, J. R. M. MARTINS, A. K.; ALBUQUERQUE, R. D. (1994). Caulim. Sistema BNDES: Área de Operações Industriais, Relatório Setorial, p. 28-31.
- CARRISSO, R. C. C., CARVALHO, M. R. C. e VIDAL, F. W. H., Avaliação de Granitos Ornamentais do Sudeste Através de suas Características Tecnológicas, V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife – PE, 2005.
- CARVALHO, E. A. e ALMEIDA, S. L. M. Caulim e carbonato de cálcio: competição na indústria de papel, *Série Estudos e Documentos*, nº 41, Rio de Janeiro: CETEM, 1997.
- CHIOD FILHO, C., Situação atual e perspectivas brasileiras no setor de rochas ornamentais e de revestimento, Anais do III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 15 a 18 de novembro, Natal, RN, 2008.
- CHIOD FILHO, C., Conheça as Rochas Ornamentais, Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, 2004.
- CORINALDESI, V., MORICONI, G. E NAIK, T. R., Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete, *Construction and building materials*, 24, 2010, 113-117.
- DANA, J. D. Manual de Mineralogia, vols. 1 e 2, EDUSP, São Paulo, 1970.
- FERREIRA, G. E., A indústria química e o setor de papel e celulose: evoluções recentes, Relatório interno do Cetem, 2005.

- KROC, V. J. e FAIRCHILD, G. H. Carbonato de cálcio precipitado na forma de aglomerados de partículas de calcita, processo para preparação do mesmo e papel de alta opacidade e resistência. BRASIL, 13/01/98. Rep. Federativa do Brasil – Instituto Nacional da Propriedade Industrial, 1998.
- LIMA, R. M. F. e LUZ, A. B. Caracterização tecnológica de caulim para a indústria de papel. *Série Tecnologia Mineral*, nº 48. Rio de Janeiro: CETEM, 1991.
- LUZ, A. B. e CHAVES, A. P. Tecnologia do caulim: ênfase na indústria de papel. *Série Rochas e Minerais Industriais*, nº 1. Rio de Janeiro: CETEM, 2000.
- MURRAY, H. H. e KOGEL, J. E. Engendered Clay Products for the Paper Industry. *Applied Clay Science*, vol. 29, issue 3-4, Jun 2005, pgs 199-206.
- PINHEIRO, A. L. Metodologia de especificação e aplicação das rochas ornamentais. *Monografia de fim de curso*, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 1996.
- ROSSI FILHO, S. Papéis - Colagem alcalina. *Revista Abigraf*, 1996.
- RYU, R. Y., GILBERT, R. D. E KHAN, S. A., Influence of cationic additives on the rheological, optical and printing properties of ink-jet coatings, *Tappi Journal*, 82, 11, 1999, 128-134.
- SPÍNOLA, V. GUERREIRO, L. F.; BAZAN, R. A Indústria de Rochas ornamentais. *Estudo de Mercado 02/04*. Desenhahia, Bahia, set. 2004.
- TOPOÇU, IB., BILIR, T. e UYGUNOGLU, T., Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete, *Construction and Building Mater*, 23, 2009, 1947-1953.
- VARELA, J. J. PETTER, C. O., WOTRUBA, H. Product Quality Improvement of Brazilian Impure Marble. *Minerals Engeneering*, vol. 19, issue 4, April 2006, pags. 355-363.

- VELHO, J. A. G. L. e GOMES, C. S. F., Matérias primas minerais alternativas do caulino para carga e cobertura do papel, Revista da Universidade de Aveiro, vol. 4, Fasc. 2, 1989.
- WELLENKAMP, F. J. Beneficiamento de Calcários do Estado do Espírito Santo. *Relatório Interno*, Cetem, Rio de Janeiro – RJ, 1999.
- YOO, S., HSIEH, J. S., ZOU, P. e KOKOSZKA, J., Utilization of calcium carbonate particles from eggshell waste as coating pigments for ink-jet printing paper, *Bioresource Technology*, 100, 2009, 6416-6421.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2010, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 200 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

STA-69–Ecotoxicologia de Metais em Solos: Conceitos, Métodos e Interface com a Geoquímica Ambiental.

Ricardo Gonçalves Cesar, Zuleica Carmen Castilhos, Ana Paula de Castro Rodrigues, Edison Dausacker Bidone, Sílvia Gonçalves Egler e Helena Polivanov, 2014.

STA-68–Recuperação de Metais Contidos em Catalisadores de Craqueamento Catalítico Esgotados. Flávio de Almeida

Lemos e Ivan Ondino de Carvalho Masson, 2013.

STA-67–Logística Reversa: Instrumento da Gestão Compatilhada na Atual Política Nacional de Resíduos Sólidos. Eraldo José Brandão e Luis Gonzaga Santos

Sobral, 2012.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ

Geral: (21) 3865-7222

Biblioteca: (21) 3865-7218 ou 3865-7233

Telefax: (21) 2260-2837

E-mail: biblioteca@cetem.gov.br

Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOVAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.