

Série

Tecnologia

Ambiental

Aplicação de Resíduos de Mármore na Indústria Polimérica

Larissa Ribeiro de Souza

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Regina Coeli Casseres Carrisso

Luciana Portal da Silva

Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco

Leila Léa Yuan Visconte

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Aplicação de Resíduos de Mármore na Indústria Polimérica

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Luiz Inácio Lula da Silva

José Alencar Gomes da Silva

Vice-Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Sérgio Machado Rezende

Ministro da Ciência e Tecnologia

Luiz Antonio Rodrigues Elias

Secretário-Executivo

José Edil Benedito

Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

José Farias de Oliveira

Diretor

Antônio Rodrigues Campos

Coordenador de Apoio à Micro e Pequena Empresa

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais

Silvia Cristina Alves França

Coordenador de Processos Minerais

José da Silva Pessanha

Coordenador de Administração

Ronaldo Luiz Correa dos Santos

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

Carlos César Peiter

Coordenador de Planejamento, Acompanhamento e Avaliação

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

ISBN 978-85-61121-51-8

STA - 52

Aplicação de Resíduos de Mármore na Indústria Polimérica

Larissa Ribeiro de Souza

Graduanda em Eng. Metalúrgica pelo PEMM/COPPE/UFRJ, Bolsista de Iniciação Científica CNPq do CETEM.

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Eng. Químico, D.Sc. em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química da UFRJ, Pesquisador Adjunto do CETEM.

Regina Coeli Casseres Carrisso

Eng. Metalúrgica pela PUC, D.Sc. em Engenharia Mineral pela USP, Pesquisadora Titular do CETEM.

Luciana Portal da Silva

Química pela UFRGS, D.Sc. em Ciência e Tecnologia de Polímeros pelo IMA/UFRJ, Pesquisadora do IMA/UFRJ e Coordenadora da UEZO.

Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco

Eng. Química pela UFF, Pós-Doutorado pela Lawrence Berkeley National Laboratory, Professora Adjunta do IMA/UFRJ.

Leila Léa Yuan Visconte

Química Industrial pela PUC, Pós-Doutorado pela Université de Le Mans, Professora Adjunta do IMA/UFRJ.

CETEM/MCT

2009

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Luis Gonzaga Santos Sobral

Editor

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Subeditor

CONSELHO EDITORIAL

Marisa Bezerra de M. Monte (CETEM), Paulo Sergio Moreira Soares (CETEM), Saulo Rodrigues P. Filho (CETEM), Sílvia Gonçalves Egler (CETEM), Vicente Paulo de Souza (CETEM), Antonio Carlos Augusto da Costa (UERJ), Fátima Maria Zanon Zotin (UERJ), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (CENPES), Luis Enrique Sánches (EPUSP), Virginia Sampaio 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).

Thatyana Pimentel Rodrigo de Freitas

Coordenação Editorial

Vera Lúcia Espírito Santo Souza

Programação Visual

Larissa Ribeiro de Souza

Editoração Eletrônica

Aplicação de Resíduos de Mármore na Indústria Polimérica /
Larissa Ribeiro de Souza [et al.]. —Rio de Janeiro:
CETEM/MCT, 2009.

36p. (Série Tecnologia Ambiental, 52)

1. Rochas Ornamentais. 2. Resíduos sólidos. I. Centro de
Tecnologia Mineral. II.Souza, Larissa Ribeiro. III. Ribeiro, Roberto
C. C. IV. Carrisso, Regina C. Casseres. V. Silva, Luciana Portal.
VI. Pacheco, Elen B. A. Vasques. VII. Visconte, Leila Lea Y. VIII.
Série.

CDD – 553

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Mercado Externo	9
1.2 Mercado Interno	12
1.3 Polipropileno	15
1.4 Resíduo	16
1.5 Plásticos e Borrachas Aditivados por Cargas Minerais	18
2 OBJETIVO	21
3 EXPERIMENTAL	22
3.1 Origem dos Materiais	22
3.2 Tratamento dos Resíduos de Mármore	22
3.3 Processamento dos Compósitos de Polipropileno e Resíduos de Mármore	22
3.4 Análise Química do Resíduo de Mármore	23
3.5 Determinação da Densidade	23
3.6 Realização dos Ensaio Mecânicos	23
3.7 Realização dos Ensaio de Alterabilidade	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1 Processamento dos Compósitos de Polipropileno e Resíduos de Mármore	25
4.2 Análise Química do Resíduo de Mármore	25
4.3 Densidade	26

4.4 Resistência à Flexão	27
4.5 Resistência ao Impacto Izod a 23 °C	28
4.6 Alterabilidade	29
5 CONCLUSÕES	30
6 AGRADECIMENTOS	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

RESUMO

No Brasil, a extração de rochas ornamentais como o mármore aumenta, expressivamente, a fim de atender à demanda da construção civil e exportações. Por não serem degradáveis, resíduos oriundos do corte de mármore geram impactos negativos, como por exemplo, o assoreamento de rios e poluição visual.

Para diminuir esses efeitos prejudiciais, foram processados, via extrusão, compósitos constituídos por resíduos de mármore e o polímero polipropileno (PP). O objetivo desse projeto é avaliar as propriedades mecânicas (resistência ao impacto e à flexão) e de alterabilidade (exposição à névoa salina, umidade e raios UV) de compósitos feitos por esses materiais. Nesse sentido, utilizou-se 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70%, em massa, de resíduo de mármore.

Resultados preliminares indicaram acentuadas resistências à alterabilidade. Quando comparado ao PP puro, os compósitos apresentaram um aumento bastante expressivo na resistência ao impacto e à flexão, principalmente nos compósitos com teores compreendidos entre 20 e 60% em massa de mármore.

Evidencia-se a viabilidade de utilização de resíduos de mármore como fontes de matéria-prima. É, portanto, sugerida a aplicação desses compósitos em produtos ecológica e economicamente viáveis, como, por exemplo, pisos, tijolos, bancos, mesas, eletrodutos, cercas, limitador de vagas para carros e aviões, corrimãos etc.

Palavras-chave

compósito, mármore, resíduo, polipropileno

ABSTRACT

In Brazil, the extraction of ornamental rocks, as marble, expressively grows to attend the demand of civil construction and exportations. Residues from marble extraction causes negative environmental impacts create, for instance, problems in water streams, siltation, lack of oxygen, high turbidity and, consequently, damaging the region's fauna and flora. It can also create an unpleasant visual pollution.

Applying the process of extrusion, composites made of polypropylene (PP) and marble residues were manufactured. The goal of this project is to evaluate the mechanical (impact and flexure resistances) and weather agents exposure (cyclic salt fog, humidity and UV rays) properties of these composites. The percent of marble residues mixed to polypropylene matrix were: 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 and 70%.

Preliminary experiments indicated an accentuated increase of resistance regarding weather agents exposure properties, as well as a significant enhancement in the impact and flexure resistances; compared to pure PP. These results endorse the viability of utilization of composites made of marble residues and polypropylene. As applications in ecological and economical viable products, it can be quoted, flooring, brakes for parked cars and airplanes, bricks, fences, tables, benches, hand rails etc.

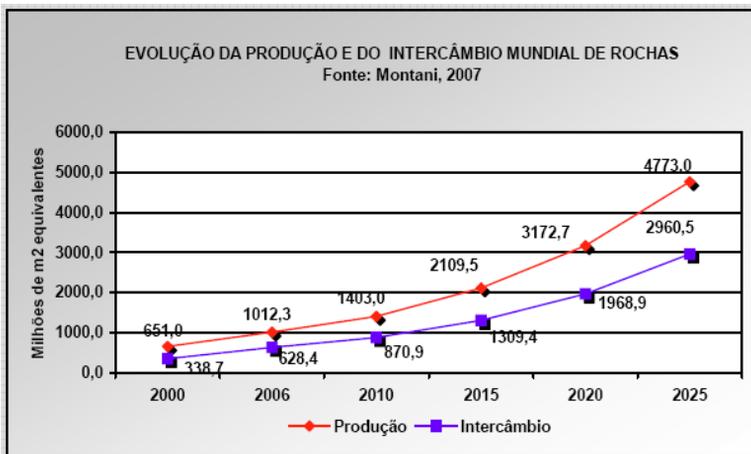
Keywords

composite, marble, residues, polypropylene

1 | INTRODUÇÃO

1.1 | Mercado Externo

De acordo com a publicação “O Potencial Chinês para as Exportações Brasileiras no Setor de Rochas Ornamentais”, ABIROCHAS (2008), a produção mundial de rochas ornamentais e de revestimento evoluiu de 2 milhões t/ano, na década de 1920, para um patamar atual de 100 milhões t/ano. Cerca de 45 milhões de toneladas de rochas brutas e beneficiadas foram comercializadas no mercado internacional em 2007, como podemos verificar na Figura 1.1. Prevê-se que em 2025 a produção mundial de rochas ornamentais ultrapassará a casa dos 400 milhões t/ano, multiplicando-se por cinco o atual volume físico das transações internacionais.

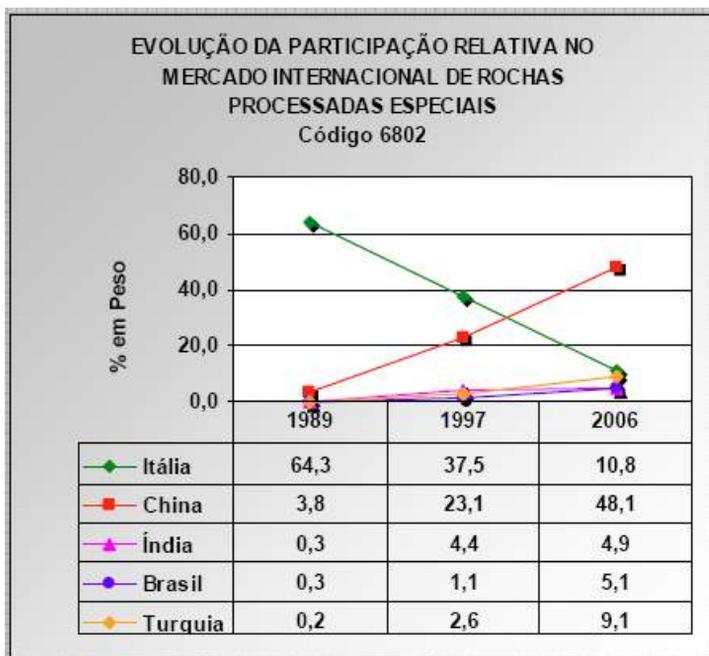


Fonte: Montani, 2007.

Figura 1.1 - Evolução da produção e do intercâmbio mundial de rochas.

As atividades de beneficiamento industrial estão, cada vez mais, se aproximando dos países produtores de matéria-prima, incrementando-se, assim, as exportações de rochas processa-

das, acabadas e semiacabadas, com maior valor agregado. Neste sentido, China, Índia e Brasil, além da Turquia e, possivelmente, o Irã consolidarão os grandes pólos minerindustriais de rochas no século XXI (Figura 1.2).



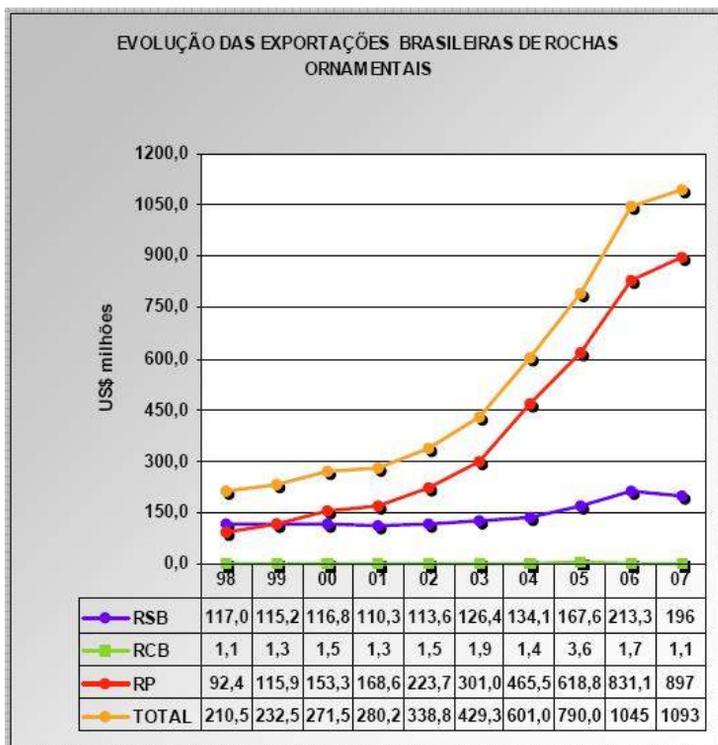
Fonte: ABIROCHAS, 2008.

Figura 1.2 - Evolução da participação relativa no mercado internacional de rochas processadas especiais.

Globalmente, as atuais transações comerciais do setor estão movimentando de US\$ 80 bilhões a US\$ 100 bilhões/ano, incluindo-se, nestas transações, os negócios com máquinas, equipamentos, insumos e serviços. O vigoroso crescimento do mercado internacional caracterizou os últimos 25 anos como a “nova idade da pedra”, transformando o setor de rochas em

uma das mais importantes áreas emergentes de negócios mi-neroindustriais.

A Figura 1.3 comprova que, nesse período, o Brasil experi-mentou um notável adensamento de atividades em todos os segmentos da cadeia produtiva de rochas, graças, sobretudo, à sua excepcional geodiversidade de granitos e materiais simila-res. Os principais avanços conquistados foram decorrentes do aumento das exportações das rochas processadas, superando-se as expectativas nas vendas de ardósia, quartzito e pedra-sabão (ABIROCHAS, 2008).



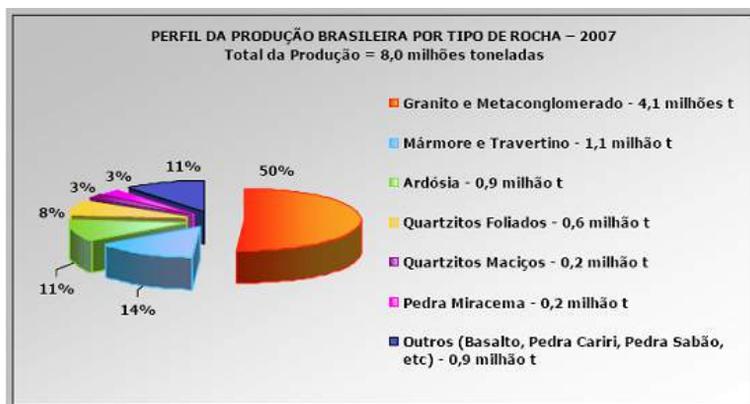
Fonte: ABIROCHAS, 2008.

Figura 1.3 - Evolução das exportações brasileiras de rochas ornamentais.

No ano de 2006, o Brasil já se colocou como o quarto maior produtor e exportador mundial de rochas em volume físico, o segundo maior exportador de granitos brutos, o quarto maior exportador de rochas processadas especiais e o segundo maior exportador de ardósias. Mais importante, no ano de 2007, o Brasil tornou-se o maior fornecedor dos EUA, em valor e volume físico, superando a própria Itália.

1.2 | Mercado Interno

A Figura 1.4 mostra que a produção brasileira de 2007 atingiu cerca de 8 milhões de toneladas, envolvendo 1.200 variedades comerciais de rochas, extraídas em 1.800 frentes ativas de lavra. No mesmo período, as exportações de rochas somaram US\$ 1,093 bilhão, com vendas para mais de 120 países, em todos os continentes, e participação de 82% de produtos beneficiados no total do faturamento dessas exportações. Estima-se que, entre negócios realizados nos mercados interno e externo, o setor brasileiro de rochas ornamentais tenha movimentado transações comerciais de US\$ 4,5 bilhões em 2007.



Fonte: ABIROCHAS, 2008.

Figura 1.4 - Perfil da produção brasileira por tipo de rocha – 2007.

Existem cerca de 11.300 empresas ligadas à cadeia produtiva do setor de rochas no Brasil, quase todas de pequeno e médio porte, que são responsáveis por 140 mil empregos diretos e 420 mil empregos indiretos.

Na Figura 1.5, estão classificados os principais estados brasileiros produtores de rochas ornamentais, da seguinte forma: Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Bahia, São Paulo, Ceará e Paraíba, sendo que somente os três primeiros estados são responsáveis por quase 90% da produção nacional.

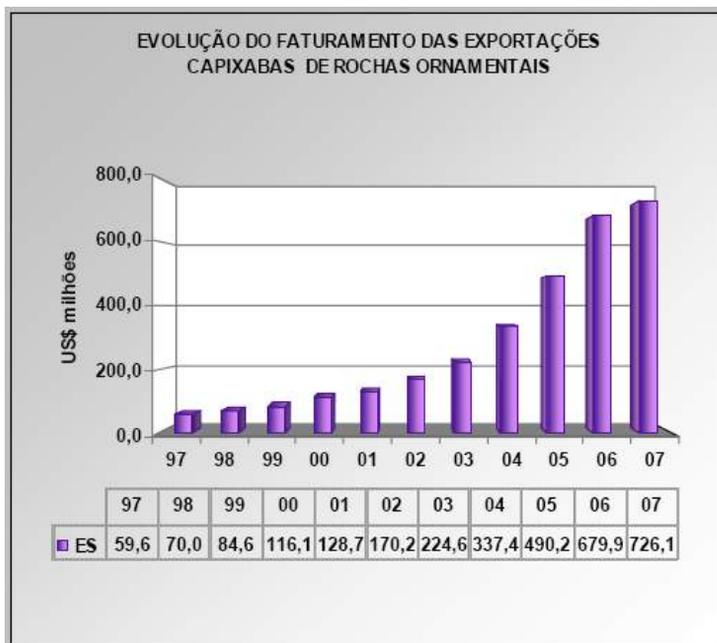
PRINCIPAIS ESTADOS EXPORTADORES DE ROCHAS ORNAMENTAIS – BASE 2007					
Estado	Valor Exportado US\$ milhão	Perfil do Faturamento		Participação Brasil	Variação 2007/2006
		Rochas Brutas	Rochas Processadas		
Espírito Santo	726,1	13,9%	86,1%	66,4%	+6,8%
Minas Gerais	211,3	25,1%	74,9%	19,3%	+13,0%
Rio de Janeiro	33,8	0,2%	99,8%	3,1%	-18,2%
Bahia	19,0	91,1%	8,9%	1,7%	-31,9%
São Paulo	25,8	4,6%	95, %	2,4%	+4,2%
Ceará	11,2	24,1%	75,9%	1,0%	-10,8%
Paraíba	9,9	48,1%	51,9%	0,9%	+9,7%
Total	1.037,10	-	-	94,8%	-

Fonte: ABIROCHAS, 2008.

Figura 1.5 - Principais estados exportadores de rochas ornamentais – ano base 2007.

As exportações capixabas de rochas ornamentais somaram US\$ 726,1 milhões em 2007, o que corresponde à comercialização de 1,44 milhão de toneladas. O Espírito Santo continua, dessa forma, liderando as exportações setoriais, respondendo por 66,4% do faturamento e 57,6% do volume físico do total brasileiro. As rochas processadas, representadas, sobretudo,

por chapas polidas de granito, compuseram 86% das exportações do estado. A Figura 1.6 apresenta a evolução do faturamento das exportações capixabas de rochas ornamentais.



Fonte: ABIROCHAS, 2008.

Figura 1.6 - Evolução do faturamento das exportações capixabas de rochas ornamentais.

A ABIROCHAS (2008) registrou em sua publicação “Rochas Ornamentais no Século XXI” que a Câmara de Comércio Exterior (CAMEX) selecionou 55 setores industriais, sendo 10 prioritários, entre os quais se encontra o de rochas ornamentais, que teria um grande potencial exportador. Esta mesma publicação compara as exportações de rochas ornamentais com as *commodities* mais tradicionais do setor mineral, a saber, ferro e ouro, indicadas pela Tabela 1.1.

Tabela 1.1. Comparação das *commodities* mais tradicionais do setor mineral com as exportações de rochas ornamentais.

FERRO	OURO	ROCHAS ORNAMENTAIS
US\$ 22/ton	US\$ 93/ton	US\$ 185/ton

Valor base de minério: US\$ 22/t;

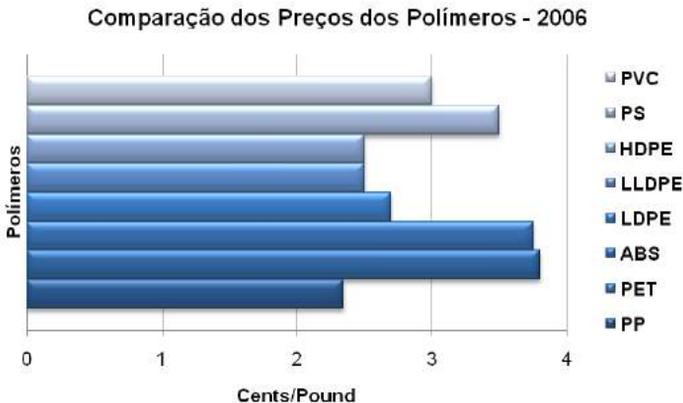
Valor base de US\$ 9,3/g em minério com teor de 10 g/t;

Valor médio de US\$ 500/m³ no mercado internacional (densidade = 2,7t/m³)

Entretanto, a alta escala de produção do setor de rochas, poderá resultar na ampliação e geração de outros problemas paralelos, mais precisamente inerentes às questões ambientais. Para se produzir, por exemplo, 3.059 milhões de toneladas de rocha em um ano, seriam necessários remover, pelo menos, 7.140 milhões de toneladas a mais de material em forma de resíduo, considerando uma recuperação na lavra de 30% (MATTA, 2003).

1.3 | Polipropileno

O polipropileno origina-se de uma resina termoplástica produzida a partir do gás propileno, que é um subproduto do refino do petróleo. Em seu estado natural, a resina é sólida, semi-translúcida, leitosa e de excelente coloração, podendo posteriormente ser aditivada ou pigmentada. Suas principais características são: baixo custo dentre os plásticos (Figura 1.7), fácil usinagem, coloração e moldagem, regular resistência ao atrito, elevada resistência química e a solvente, boa estabilidade térmica, alta resistência ao entalhe, baixas densidade e absorção de umidade e significativa resistência ao impacto (MANO, 1991).



Fonte: Conferência Anual Mundial de Petroquímica, 2006.

Figura 1.7 - Comparação dos Preços dos Polímeros.

Compósitos formados por resíduos que antes seriam descartados e um dos polímeros mais baratos do mercado viabilizam a criação de um material acessível a todos.

1.4 | Resíduo

O resíduo gerado pela indústria das rochas ornamentais, cerca de 200.000 t/ano, pode ser subdividido em material grosso e material fino. O resíduo grosso é constituído de fragmentos maiores que areia fina, incluindo placas defeituosas ou quebradas, pedaços de rochas e/ou minerais e aparas de blocos. O resíduo fino é composto pela lama gerada pelo corte dos blocos, polimento das placas e acabamento das peças (MOTHÉ FILHO, 2002).

O descarte do resíduo tem sido um problema para os empresários do setor, conforme apresentado na Figura 1.8. Eles encontram dificuldades para depositá-lo de forma adequada, pois dependem da existência de um local disponível e, em alguns casos, precisam pagar para depositar o resíduo em terreno

alheio. Cada caminhão de entulho retirado custa cerca de quinze reais. No passado, esse resíduo era jogado diretamente nos rios, causando problemas no fluxo hídrico, assoreamento, desoxigenação, turbidez e destruição das condições biológicas naturais.



Fonte: MOTHÉ FILHO, 2005.

Figura 1.8 - Acúmulo de resíduos de forma aleatória em primeiro plano e plano de fundo. Serraria no bairro Aeroporto, Cachoeiro de Itapemirim.

A Figura 1.9 retrata o córrego dos Monos, afluente do rio Itapemirim, parcialmente soterrado pelos resíduos descartados em suas margens. Também foi constatado que um pequeno arroio que existia no vale do Morro Grande foi soterrado.

Equacionar o contínuo desenvolvimento do setor, sem que haja impacto sobre o meio ambiente, é uma prioridade (MOTHÉ FILHO, 2005). Por essa questão, surge a necessidade de se desenvolver pesquisas que visem à utilização desses resíduos de forma ecológica e ambientalmente correta.



Fonte: MOTHÉ FILHO, 2005.

Figura 1.9 – Margens do Rio dos Monos assoreadas pelo descarte de resíduo. Bairro Aeroporto, Cachoeiro do Itapemirim.

1.5 | Plásticos e Borrachas Aditivados por Cargas Minerais

Segundo Rabello (2000), com a crise do petróleo nos anos 60 e 70, os materiais poliméricos atingiram preços exorbitantes. Para reduzir um pouco os custos de fabricação, os fabricantes de peças adotaram um procedimento antigo como meio de viabilização econômica: o uso de cargas minerais de baixo custo como aditivos em plásticos e borrachas com fins não reforçantes.

A necessidade despertou um maior interesse pelo uso técnico de cargas, levando a grandes desenvolvimentos nesta área, de modo que hoje as cargas se constituem no aditivo mais empregado nos plásticos, em termos percentuais de consumo. Dentre

as cargas utilizadas encontram-se: calcário (calcita, dolomita), filito, mica (muscovita, flogopita, biotita), sílica (quartzo, zeólita), talco, pirofilita (agalmatolito), gesso, barita, wolastonita, esmec-tita (bentonita, montmorilonita, hectorita, saponita) e ilita.

A visão de servir apenas como enchimento ficou ultrapassada pela possibilidade de grandes alterações nas propriedades dos materiais, caso sejam adicionadas cargas corretas em concentrações apropriadas. As cargas minerais têm sido utilizadas em misturas com os mais variados tipos de polímeros, misturas estas chamadas de compósitos, com a finalidade de baratear custos e, mais particularmente, agregar melhorias às características físicas e químicas das peças fabricadas.

As indústrias químicas têm procurado desenvolver novos tipos de polímeros. A disputa torna-se acirrada devido à existência de um grande mercado consumidor. As empresas tentam, então, atender às mais diversas necessidades de tipos e características físicas e químicas dos materiais e peças fabricados pelas indústrias consumidoras. No Brasil, as cargas minerais ainda são utilizadas pelas indústrias, na sua maioria, em misturas com os polímeros.

O entendimento das propriedades intrínsecas das cargas minerais e dos polímeros, da influência da tensão superficial na interação entre eles, o desenvolvimento de novos equipamentos de medida da tensão superficial e de agentes de tratamento superficial visando melhorar a compatibilidade de energia entre a carga mineral e o polímero, tudo isso tem contribuído para uma melhor compreensão e previsão das propriedades de compósitos e nanocompósitos. Várias pesquisas têm sido desenvolvidas nesta direção, com o intuito principal de comparar o efeito do uso, em polímeros, de cargas minerais diversas, tratadas e não tratadas superficialmente com agentes químicos, como silanos e ácidos graxos. As características físicas e

químicas dos produtos dessas misturas, como alongamento, tensão de ruptura, deformações ao calor etc., são medidas e definidas, constatando-se modificações nessas propriedades quando comparadas com as mesmas propriedades para os polímeros puros (LIMA, 2007).

Uma pesquisa bibliográfica foi realizada e foram encontrados alguns trabalhos nessa área.

Tawfik e Eskander, por exemplo, desenvolveram um concreto polimérico constituído por mármore e politereftalato de etileno (PET) reciclado. Eles investigaram a resistência a ataques químicos desse compósito e comprovaram uma ótima resistência a uma solução com 20% Na_2CO_3 . Juntamente, por meio de ensaios, observaram que o compósito com PET reciclado possui maior elasticidade quando comparado ao compósito com PET virgem.

Hristova, Valeva e Ivanova desenvolveram um compósito feito de poliéster (PE) e mármore. Eles verificaram que, conforme aumenta a quantidade de carga mineral, aumenta a resistência à deformação elástica do compósito.

2 | OBJETIVO

O objetivo geral desse trabalho é verificar a possibilidade de se utilizar resíduos oriundos do corte de mármore como carga mineral na indústria polimérica. Dessa forma, a reciclagem do resíduo é uma alternativa que possibilita designar-lhe uma função de matéria-prima, agregar valor aos produtos, gerar novos empregos e minimizar os impactos negativos no meio ambiente.

3 | EXPERIMENTAL

3.1 | Origem dos Materiais

O polipropileno utilizado apresenta índice de fluidez 12g/10 min (2,16 kg/230°C) e densidade de 0,903 g/cm³.

Os resíduos de mármore estudados são oriundos de uma serraria da cidade de Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo.

3.2 | Tratamento dos Resíduos de Mármore

Os mesmos foram peneirados até a obtenção de uma granulometria inferior a 0,037 mm. Após o peneiramento, foram secos em estufa a 70°C, por 24 horas, e foram, em seguida, desagregados.

3.3 | Processamento dos Compósitos de Polipropileno e Resíduos de Mármore

O processamento dos compósitos foi realizado por meio da extrusora dupla-rosca, modelo DCT 20, 20 mm, marca Teck Trill, com L/D=36, utilizando-se uma velocidade de 200 r.p.m., com zonas de temperaturas compreendidas entre 165°C e 230°C. Os teores de mármore utilizados foram: 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70%, em massa. Acoplada à extrusora, encontram-se uma mesa calibradora com sistema de refrigeração e uma calandra, para resfriar, uniformemente, a fita e puxar o material extrusado, respectivamente. Foram obtidos perfis planos, semelhantes a fitas.

Para melhor identificar as fitas extrudadas foram utilizados sais inorgânicos capazes de pigmentar os compósitos.

3.4 | Análise Química do Resíduo de Mármore

As amostras foram preparadas por prensagem do material a 20 ton por 3 minutos (amostragem a cargo do solicitante).

As pastilhas prensadas foram analisadas em espectrômetro de fluorescência de raios X BRUKER-AXS, modelo S4- Explorer, equipado com tubo de Rh.

Para obtenção da análise química semiquantitativa, o espectro gerado a partir da amostra foi avaliado pelo *software* Spectra plus v.1.6, no modo *standardless method*, sem curva de calibração específica.

3.5 | Determinação da Densidade

A densidade dos compósitos foi determinada segundo a norma ABNT 08/98. A partir das fitas obtidas da extrusora, foram confeccionados corpos de prova.

3.6 | Realização dos Ensaios Mecânicos

3.6.1 | Ensaio de Flexão

Para a determinação do módulo no ensaio de flexão, foi utilizada a máquina universal de ensaios mecânicos da Instron, modelo 4204. O ensaio de flexão em três pontos foi realizado de acordo com a norma ASTM D790, em temperatura de 25 °C e velocidade de 1mm/min.

3.6.2 | Ensaio de Resistência ao Impacto Izod a 23 °C

O ensaio de resistência ao impacto do PP e dos compósitos foi realizado a partir da mediana dos resultados de energia cinética absorvida para romper cada corpo-de-prova. Foram utiliza-

dos 10 corpos de prova, que foram entalhados e analisados segundo a norma ASTM D256, utilizando o martelo de 2J.

3.7 | Realização dos Ensaios de Alterabilidade

3.7.1 | Ensaio de Exposição à Névoa Salina

Para o ensaio de exposição à névoa salina, os corpos de prova foram pesados e seu brilho, medidos. Após esta etapa, os mesmos foram condicionados em câmara sob a ação de *spray* salino por 6 horas e secagem por 12 horas, totalizando 18 horas (1 ciclo). Durante o ciclo, a temperatura da câmara climática marinha foi mantida em 40 ± 5 °C. Passados 30 ciclos, os corpos de prova foram pesados e mediu-se o brilho novamente, obtendo-se, deste modo, o seu peso e brilho final. O ensaio baseou-se na norma ABNT/NBR 8094/83.

3.7.2 | Ensaio de Exposição aos Raios Ultravioletas

No ensaio de exposição aos raios UV, mediu-se o brilho inicial dos corpos de prova. Em seguida foram colocados na câmara de Ultravioleta. Ao final de 50 ciclos, realizou-se a medição do brilho. Foram observadas possíveis alterações superficiais em comparação ao corpo de prova padrão, de acordo com a norma ASTM G 53/96.

3.7.3 | Ensaio de Exposição à Umidade

Para o ensaio de exposição à umidade, os corpos-de-prova foram pesados e mediu-se o seu brilho inicial. Ao fim dos 30 ciclos, de 24 horas cada, os corpos de prova ensaiados foram secos. Em seguida, foram feitas as medições de brilho e a pesagem final, segundo a norma ABNT/NBR 8095/83.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 | Processamento dos Compósitos de Polipropileno e Resíduos de mármore

A Figura 4.1 apresenta os perfis de fita obtidos no processamento dos compósitos por extrusão, no qual se verificou que foi possível a realização do processamento com até 60% em massa de resíduo, indicado pela fita verde clara. A tentativa de utilização de 70% em massa de resíduo na matriz do PP não foi realizada com sucesso, pois a extrusão desse compósito não permitiu a obtenção de uma fita com perfil homogêneo, limitando o teor de resíduo em 60% em massa. Isso se explica pelo alto teor de carga na matriz polimérica, que dificultou o processamento do referido compósito.



Figura 4.1 - Corpos de prova (fitas) ordenados segundo sua composição de resíduo de mármore.

4.2 | Análise Química do Resíduo de Mármore

A Tabela 4.2 comprova que o principal componente do resíduo é o cálcio, sendo encontrado, naturalmente, como carbonato de

cálcio (calcita). O segundo principal componente é o magnésio, encontrado como carbonato de magnésio (dolomita). Esses resultados são compatíveis aos encontrados na literatura (VARELA, PETTER & WOTRUBA, 2006).

Tabela 4.2 - Análise química do resíduo de mármore (< 0,037 mm).

Óxidos	Concentração (%)
Al ₂ O ₃	0,29
CaO	35,31
MgO	16,80
SiO ₂	1,37
Perda ao fogo	46,15
	99,92

4.3 | Densidade

A densidade determinada do PP puro foi 0,945 g/cm³, compatível com o valor da literatura, 0,920 g/cm³ (MANO, 1991). Observou-se, também, que, após a adição de 30% em massa de resíduo, houve um aumento considerável da densidade, que permaneceu constante até a utilização de 60% em massa de carga. A Figura 4.2 apresenta os resultados de densidade dos compósitos.

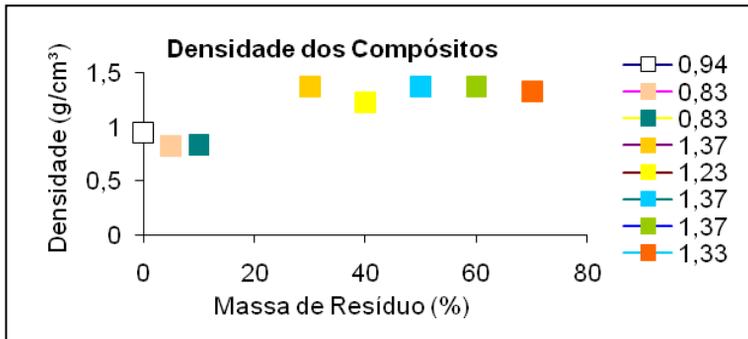


Figura 4.2 - Densidade dos compósitos de resíduo de mármore e polipropileno.

4.4 | Resistência à Flexão

A Figura 4.3 apresenta o crescimento da resistência à flexão, à medida que aumenta a incorporação do resíduo de mármore na matriz do PP. Com 40% em massa desse resíduo, por exemplo, observa-se um aumento de 50% dessa propriedade, em relação ao polímero puro. Já com 60% em massa, observa-se um ganho da propriedade de quase três vezes o valor obtido para o PP puro, indicando que o resíduo de mármore é bastante eficaz na melhoria da propriedade de módulo de flexão do PP.

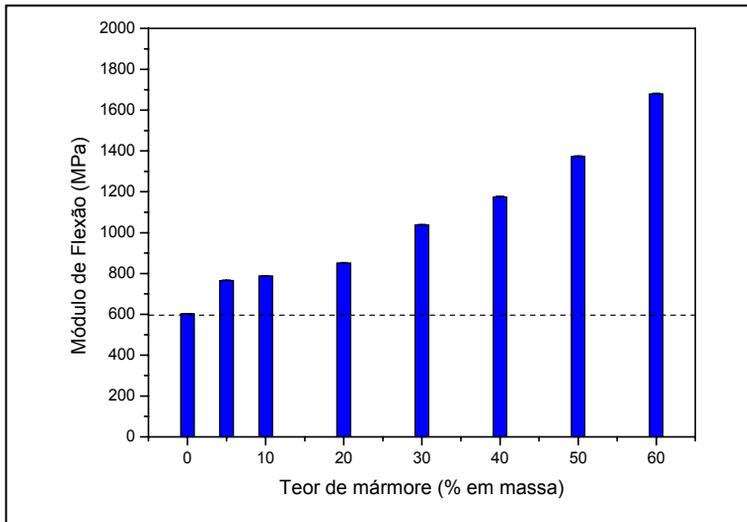


Figura 4.3 - Resultados de módulo de flexão dos diferentes compósitos.

4.5 | Resistência ao Impacto Izod a 23°C

Os resultados de resistência ao Impacto Izod a 23°C, obtidos para os compósitos de PP com resíduos nos teores de 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50 e 60% em massa foram bastante satisfatórios e estão indicados na Figura 4.4. Determinou-se que a aplicação de resíduo de mármore na matriz de polipropileno proporciona um aumento bastante expressivo e crescente na resistência ao impacto, principalmente nos teores de 20 a 50% em massa. O resultado mais considerável foi obtido com 50% de resíduo, o qual apresentou um aumento de mais de 400% na resistência ao impacto comparado ao PP puro. A partir de 60% em massa de resíduo, observou-se uma queda nessa propriedade, possivelmente, pela baixa homogeneização do compósito. Contudo, essa propriedade ainda mostrou-se superior em comparação ao valor obtido para o PP puro, o que, em termos ambientais, é bastante interessante.

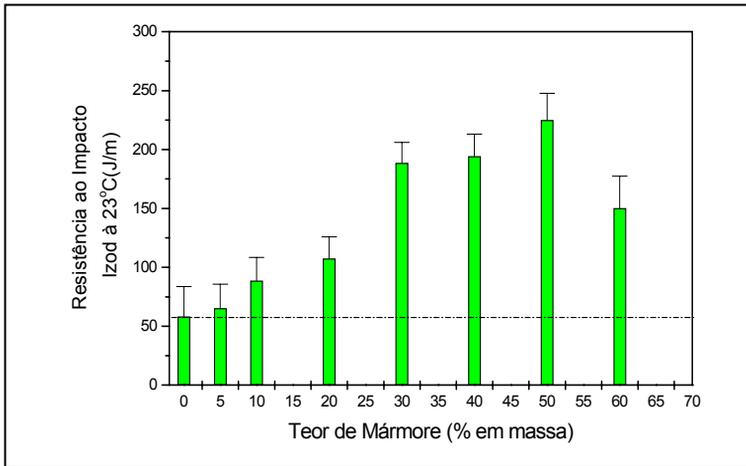


Figura 4.4 - Resultados de resistência ao impacto dos diferentes compósitos.

4.6 | Alterabilidade

Resultados preliminares não apresentaram variações significativas de perda de brilho ou massa nos compósitos gerados. Tal fato revela a potencialidade de utilização desses compósitos como materiais de revestimento interno e externo. No entanto, existe a necessidade de todos os ciclos dos ensaios serem concluídos, o que representa mais um mês de exposição a esses ambientes.

5 | CONCLUSÕES

Pode-se concluir que existe a possibilidade de incorporar até 60% em massa de resíduo em compósitos do polipropileno nas condições utilizadas.

Os compósitos processados apresentaram um aumento na resistência ao impacto e módulo de flexão, quando comparados ao PP puro.

Ensaio preliminares revelaram elevada resistência a intempéries, como chuva, raios ultravioletas e salinidade.

Sendo assim, sugere-se a utilização dos compósitos produzidos em algumas aplicações, tais como: pisos, quebra-molas, cercas, corrimãos, eletrodutos, antiderrapantes de escadas, limitador de vagas para carros e aviões, entre outros.

6 | AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

Ao IMA (Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano) da UFRJ pela infraestrutura fornecida.

À empresa Ipiranga Petroquímica S.A. pelo PP cedido.

Às empresas Tribel, Koleta Ambiental S.A. e CRR.

Ao técnico Elton Souza dos Santos pelo monitoramento das câmaras de alterabilidade e ao bolsista Thiago Santiago Gomes pelo auxílio na preparação dos corpos de prova e análise das propriedades mecânicas dos compósitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D256: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. Philadelphia: ASMT, 1993.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D790: Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. Filadelfia: ASTM, 1984.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. G 53-96: Standard Practice for Operating Light-and Water Exposure Apparatus (Fluorescent UV - Condensation Type) for Exposure of Nonmetallic Materials. Philadelphia: ASTM, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. ABIROCHAS e Catálogo de Rochas Ornamentais do Brasil. ABIROCHAS/CETEM, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. O Potencial Chinês para as Exportações Brasileiras no Setor de Rochas Ornamentais. Informe 14/2008. Belo Horizonte, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 08/98: Determinação da Densidade Relativa. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8094/83: Ensaio de Corrosão por Exposição à Névoa Salina. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8095/83: Ensaio de Corrosão por Exposição à Umidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

HRISTOVA J., VALEVA V. & IVANOVA J. Aging filler effects on the creep model parameters of thermoset composites. Composites Science and Technology, v. 62, p. 1097-1103, 2002.

- LIMA, A. B. T. Aplicações de Cargas Minerais em Polímeros. São Paulo: Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Universidade de São Paulo, (Dissertação de Mestrado), 2007.
- MANO, E. B. Polímeros como Materiais de Engenharia. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1991.
- MOTHÉ FILHO, H. F. M. O Resíduo da Indústria de Mármore e Granito: Problemas e Soluções. Revista Universidade Rural: Série Ciências da Exatas e da Terra, Seropédica, RJ: EDUR, v.24, nº 1-2, p. 12-27, jan-dez., 2005.
- MOTHÉ FILHO, H. F. M. POLIVANOV, H., BARROSO & E. V., MOTHÉ, C. G. Thermal and mechanical study from granite and marble industry reject. Thermochimica Acta, n. 392-393, p. 47-50, 2002.
- MATTA, P.M. Indústria de Rochas Ornamentais: Resíduos x Produção Limpa. Bahia: Departamento Nacional de Produção Mineral – BNPM/BA. Salvador, 2003.
- RABELLO, M. Aditivção de Polímeros. Editora Artliber. São Paulo, 2000.
- TAWFIK, M. E. & ESKANDER S. B. Polymer Concrete from Marble Wastes and Recycled Poly(ethylene terephthalate). Journal of Elastomers and Plastics, v. 38, n. 65, 2006.
- VARELLA, J. J., PETTER, C. O. & WOTRUBA H. Product quality improvement of Brazilian impure marble. Mineral Engineering, v. 19, n. 4, p. 355-363, 2006.

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 2007, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, cerca 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-51 – Utilização da fibra da casca de coco verde como suporte para a formação de biofilme visando o tratamento de efluentes. Bianca de Souza Manhães de Azevedo, Andréa Camardella de Lima Rizzo, Selma Gomes Ferreira Leite, Luis Gonzaga dos Santos Sobral, Danielle Reichwald, Gustavo Mendes Walchan, 2008.

STA-50 – Biorremediação de solo impactado com óleo cru: avaliação da potencialidade da utilização de surfatantes. Valéria Souza Millioli, Luis Gonzaga Santos Sobral, Eliana Flávia Camponese Sérvulo e Denize Dias de Carvalho, 2008.

STA-49 – Remoção de óleo e arsênio de efluente industrial utilizando xisto retornado. Patrícia Ferreira Prado, Cláudia Duarte da Cunha, Selma Gomes Ferreira Leite e Fernando Jorge Santos Oliveira, 2008.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ
Geral: (21) 3867-7222
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.



Missão Institucional

A missão do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é desenvolver tecnologia para o uso sustentável dos recursos minerais brasileiros.

O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m² de área construída, que inclui 22 laboratórios, 3 usinas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 37 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 720 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.