

## APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO MÁRMORE BEGE BAHIA NO SETOR POLIMÉRICO

R. C. C. Ribeiro<sup>1</sup>, F. W.H. Vidal<sup>1</sup>, M. G. Oliveira<sup>2</sup> e C. M. R. Arruda<sup>1</sup><sup>1</sup>Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequenas Empresas, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM<sup>2</sup>Instituto nacional de Tecnologia – INT

rcarlos@cetem.gov.br

Artigo submetido em outubro/2012 e aceito em dezembro/2012

## RESUMO

Os resíduos de serrarias do mármore Bege Bahia apresentam, geralmente, granulometria ultrafina e baixos teores de ferro e sílica, caracterizando-o com elevado potencial para aplicação como carga mineral, uma vez que não há necessidades de altos custos com seu beneficiamento. Baseado nisto, o objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade de utilização do resíduo do mármore Bege Bahia como carga em materiais poliméricos. Dessa forma, foram processados compósitos constituídos de polipropileno e resíduo, que pôde ser incorporado em até 50%, em massa. Foram realizados ensaios mecânicos e de alterabilidade. Os

resultados indicaram que a adição de apenas 20%, em massa, de resíduo foi capaz de reduzir a deformação de ruptura do compósito de 300% para 30% e aumentar a rigidez de 800 MPa para 1300 MPa. Os resultados de alterabilidade indicaram que os compósitos não sofreram alterações após exposição à névoa salina e SO<sub>2</sub>. Tais resultados foram possíveis graças ao alto teor de cálcio (49%) e baixos teores de sílica (5%) e ferro (0,3%) deste tipo de resíduo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mármore Bege Bahia, resíduos de rochas, compósitos poliméricos.

## UTILIZATION OF BEIGE BAHIA MARBLE WASTE IN POLYMERIC INDUSTRY

## ABSTRACT

The residues from sawmills Bege Bahia marble are generally of ultrafine particle size and low levels of iron and silica, characterized with high potential for use as a mineral filler, since there is no need for high cost of its recovery. The objective of this study was to observe the application of Bege Bahia marble residue as filler in polymeric materials. Thus, they were processed composite consisting of polypropylene and residue which could be incorporated up to 50% by weight. Mechanical assays were performed and modifiability.

The results indicated that the addition of only 20% by weight of residue was able to reduce the deformation of the composite to break of 300% to 30% and increase the stiffness of 800 MPa to 1300 MPa. The results indicated that alterability composites did not change after exposure to salt spray and SO<sub>2</sub>. These results were possible thanks to the high calcium content (49%) and low concentrations of silica (5%) and iron (0.3%) this type of waste.

**KEY-WORDS:** Beige Bahia marble, composites, mineral rock residue.

## APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO MÁRMORE BEGE BAHIA NO SETOR POLIMÉRICO

### INTRODUÇÃO

#### Mármore Bege Bahia

O mármore bege Bahia, como é conhecido comercialmente no setor de rochas ornamentais, é uma rocha calcária abundante na região do rio Salitre, que é tipificada na formação Caatinga, de ambiente continental, e provém de alterações de calcários de formação salitre (Ribeiro & Magalhães, 2003) (Magalhães, 2008).

A extração desse mármore se concentra no pólo industrial entre as cidades de Ourulândia e Jacobina, e o desdobramento dos blocos ocorre em teares diamantados, além de se observar a utilização de talha-blocos para o aproveitamento de pequenos blocos para produção de ladrilhos (Vidal et al., 2009).

#### Resíduos de Rochas Ornamentais

Segundo a ABIROCHAS (2009), o Brasil é o sexto produtor mundial de rochas ornamentais, com uma produção anual de cerca de oito milhões de toneladas, onde o parque industrial brasileiro é basicamente constituído de aproximadamente 1.600 teares de lâminas convencionais. Arelada a essa produção observa-se a geração de uma quantidade significativa de resíduos grosseiros (casqueiros e sobras de chapas e ladrilhos) e de resíduos finos na forma de lama, geralmente composta por água, pó de rocha e algum abrasivo (granalha) (Silva, 1998). No caso do resíduo bege Bahia não são detectados abrasivos visto que o processo é essencialmente em teares diamantados o que facilita sua aplicação como carga mineral (Vidal, 2009).

#### Cargas Minerais na Matriz Polimérica

A utilização de cargas minerais na indústria polimérica tem como objetivo a redução de custos para o setor, pois elas preenchem vazios de plásticos e borrachas, tornando viável sua produção. Com o aprimoramento do uso dessas técnicas, pode-se observar que, mais do que o simples enchimento, as cargas possibilitariam mudanças importantes nas propriedades dos materiais poliméricos, como o controle de densidade, melhoria nos efeitos óticos, controle da expansão térmica, retardamento de chama, modificações no que se refere às propriedades de condutividade térmica, resistência elétrica e susceptibilidade magnética, além de melhora de propriedades mecânicas, tais como a dureza e a resistência ao rasgo (Lima, 2007).

### OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi analisar as possíveis melhoras das propriedades do polipropileno com a incorporação de diferentes percentuais de finos da serragem do mármore Bege Bahia, visando à produção de compósitos de baixo custo que possam ser utilizados como mobiliário escolar e urbano ou dormentes.

### EXPERIMENTAL

#### Origem dos Materiais

O PP apresenta índice de fluidez 2,16 Kg/230°C e densidade de 0,903 g/cm<sup>3</sup> e foi fornecido pelo Instituto Nacional de Tecnologia - INT. Já o resíduo é oriundo da lavra do

mármore bege Bahia, da cidade de Ourolândia – BA, que foi peneirado até a obtenção de uma granulometria inferior a 0,037 mm.

### **Análise Química do Resíduo**

A determinação da composição do resíduo foi realizada pela coordenação de análises minerais (COAM) do CETEM.

### **Processamento do Compósito**

O processamento dos compósitos foi realizado por meio da extrusora dupla-rosca modelo DCT 20, utilizando-se uma velocidade de 200 r.p.m., com zonas de temperaturas compreendidas entre 165°C e 230°C. Os teores de resíduo utilizados foram: 0, 5, 10, 20, 30, 40 e 50, em massa. Acoplada à extrusora, encontram-se uma calibradora com sistema de refrigeração e uma calandra, para resfriar uniformemente e puxar o material. Na Tabela 1 encontram-se as composições e nomenclaturas de cada um dos compósitos processados.

**Tabela 1. Composição dos compósitos.**

Composição	PP (g)	PP-MA (g)	Bege Bahia (%)	Irganox 1010 (g)
BB001	400	0	0	4
BB002	400	0	10	4
BB003	400	0	20	4
BB004	400	0	30	4
BB005	400	0	40	4
BB006	400	0	50	4
BB007	360	40	0	4
BB008	360	40	10	4
BB009	360	40	20	4
BB010	360	40	30	4
BB011	360	40	40	4
BB012	360	40	50	4

\*PP-MA – Trata-se de um compatibilizante de Polipropileno grafitizado com anidrido maléico.

\*\*Irganox – Trata-se de um anti-oxidante

### **Realização de Ensaios de Caracterização dos Compósitos**

#### **Determinação da Densidade**

A densidade dos compósitos foi determinada segundo a norma ABNT 08/98 por meio da verificação da variação da água em uma proveta após a adição do compósito.

#### **Comportamento Mecânico**

O comportamento mecânico do compósito foi determinado por meio do ensaio de

tração, utilizando-se uma máquina universal de ensaios mecânicos da marca Emic, modelo DL3000. O ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM D 638, a temperatura de 23 °C e velocidade de 50mm/min.

### **Realização de Ensaio de Alterabilidade**

#### **Ensaio de Exposição à Névoa Salina (ABNT/NBR 8094/83)**

Para o ensaio de exposição à névoa salina, os compósitos foram pesados e mediu-se sua cor. Após esta etapa, os mesmos foram condicionados em câmara sob a ação de spray salino por 6 h e secagem por 12 h, totalizando 18 h (1 ciclo). Durante o ciclo, a temperatura da câmara climática foi mantida em  $(40 \pm 5)$  °C. Passados 30 ciclos, os corpos-de-prova foram pesados e observaram-se alterações visuais.

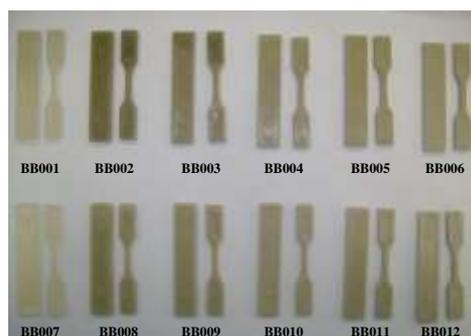
#### **Ensaio de Exposição ao SO<sub>2</sub> (ABNT/ NBR 8096/83)**

Inicialmente procedeu-se a lavagem e secagem dos compósitos em estufa por 24 h à 70°C, pesou-se e realizou-se a verificação da cor. Os mesmos foram colocados na câmara, suspensos e atrelados aos suportes por meio de fios de nylon, ajustou-se a temperatura para 40°C e adicionou-se o SO<sub>2</sub>. Devido a presença de água na câmara, há formação de um ambiente ácido, capaz de atacar os compósitos e simular o efeito da chuva ácida. Os compósitos ficaram em exposição a este ambiente durante 8 h. Passado este tempo, desligou-se o aparelho, abriu-se a câmara para ventilação do seu interior, permanecendo, assim, por 16 h.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **Processamento do Compósito de Polipropileno e Mármore Bege Bahia**

A Figura 1 apresenta os perfis de fita obtidos no processamento dos compósitos por extrusão, onde se verificou que foi possível a realização do processamento com até 50%, em massa, do resíduo bege Bahia.



**Figura 1. Corpos de prova ordenados segundo sua composição (%) de resíduo.**

### **Análise Química**

A análise química indicou que o principal elemento do resíduo é o cálcio (48,85%), sendo encontrado naturalmente como carbonato de cálcio e que os teores de sílica (5,13%) e óxidos de ferro (0,34%) são extremamente baixos, caracterizando a alta qualidade do resíduo para aplicação como carga mineral. Tal fato está relacionado com o processo de desdobramento das placas, que não utiliza granalha, daí o baixo valor de ferro e da composição da rocha, que apresenta pequeno teor de sílica. No entanto, esse dois elementos,

que geralmente oneram as práticas de beneficiamento de alguns resíduos, estão em concentrações muito baixas, caracterizando a viabilidade de utilização desse resíduo, rico em cálcio, como carga no setor polimérico.

## Realização de Ensaios de Caracterização dos Compósitos

### Determinação da Densidade

Na Figura 2 estão apresentados os resultados de densidade dos compósitos em estudo. Os valores de densidade determinados para o PP puro (BB 001 e BB007) foi em torno de 0,9 g/mL, compatível com o valor da literatura, 0,920 g/mL (Mano, 1991). Observou-se também que após a adição de 20% em massa de resíduo bege Bahia houve um aumento considerável na densidade, chegando-se a valores em torno de 1,7 g/mL, indicando o efeito da carga mineral na matriz polimérica.

### Comportamento Mecânico

Na figura 3 verifica-se a tensão de escoamento dos compósitos gerados. A tensão de escoamento é a tensão máxima que o material suporta ainda no regime elástico de deformação. Dessa forma, verifica-se que o aumento do percentual de carga mineral na matriz polimérica é capaz de diminuir a tensão de escoamento, indicando que a presença dessa carga é responsável em fazer com que os compósitos suportem menos tensão, como se observa nos compósitos BB002 à BB 006, onde a tensão diminui de 32 MPa para 26 MPa. No entanto, quando se verificam os valores de tensão dos compósitos que apresentam o compatibilizante PP-MA (BB007 a BB012) observa-se que o aumento de carga mineral não é capaz de diminuir essa tensão indicando a boa atuação do compatibilizante (PP-MA) entre a carga mineral e o polímero.

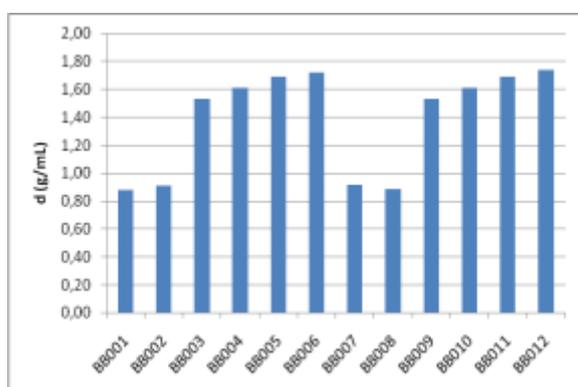


Figura 2. Densidade ( $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) dos compósitos.

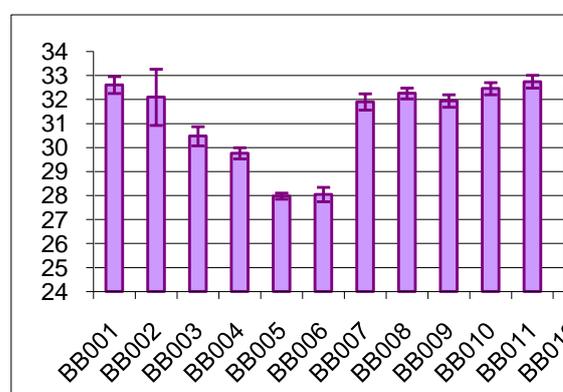


Figura 3. Tensão de Escoamento dos compósitos.

Na figura 4, observa-se que a deformação específica na ruptura do polipropileno isento de carga mineral é alta, chegando-se a valores em torno de 300% para o BB001 e 350% para o BB007. Verifica-se também que a adição do resíduo é responsável pela estabilização mecânica do material, uma vez que a deformação específica diminui gradativamente, chegando-se a valores em torno de 10% para os compósitos que apresentavam 50% em massa de resíduo, que são BB006 e BB012. A atuação benéfica do compatibilizante PP-MA pode ser verificada já nos compósitos contendo 20%, em massa de resíduo (BB009), que

apresentaram uma diminuição mais significativa na deformação da ruptura, se comparada ao compósito com o mesmo percentual de resíduo, porém sem a presença do compatibilizante (BB003). A função do compatibilizante é facilitar a interação entre a carga mineral e o polímero, e isso pôde ser verificado nos compósitos que o apresentava em sua composição.

Na figura 5 pode-se verificar o módulo de elasticidade dos compósitos. O módulo de Young ou módulo de elasticidade é um parâmetro mecânico que proporciona uma medida da rigidez de um material sólido. Dessa forma, verifica-se que os materiais de polipropileno isentos de carga mineral (BB001 e BB007) apresentam os menores valores de módulo de elasticidade, em torno de 800MPa, e que a adição de carga é capaz de aumentar esse valor para 1300MPa para todos os compósitos, indicando o aumento de rigidez do material sólido.

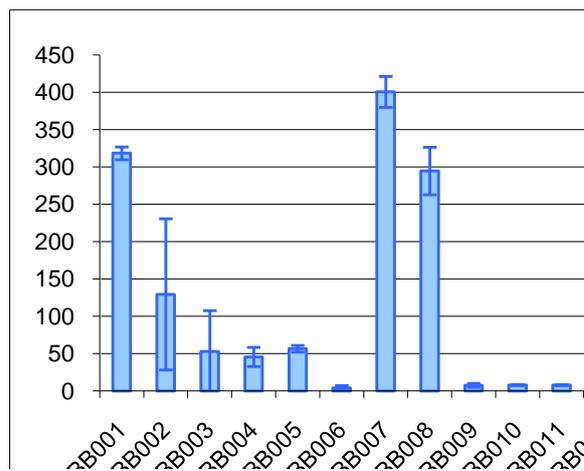


Figura 4 Deformação de ruptura (%)

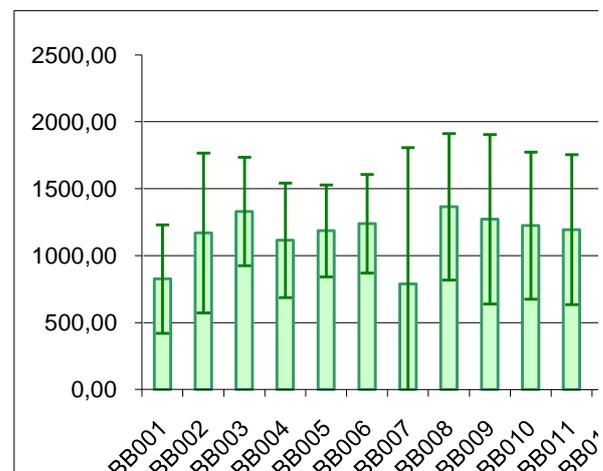


Figura 5. Módulo Elástico (MPa).

### Realização de Ensaios de Alterabilidade

Após a exposição dos compósitos às câmaras de Névoa Salina e SO<sub>2</sub>, não houve alteração visivelmente significativa em termos de cor, textura, peso e brilho.

### CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o resíduo do mármore bege Bahia pode ser utilizado como carga mineral na produção de compósito de polipropileno, chegando-se a 50% em massa, e que o emprego do compatibilizante contribui muito para a melhora do potencial mecânico do material. Além disso, produziu-se um material com elevada resistência mecânica e estável ação de intemperismo como salinidade e chuva ácida. Dessa forma, recomenda-se seu uso em mobiliários escolares, urbanos e até mesmo em substituição de dormentes das linhas ferroviárias.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABIRROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, Informe 18/2009, São Paulo, São Paulo (Brasil).
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8094/83: Ensaio de Corrosão por Exposição à Névoa Salina. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8096/83. Ensaio de Corrosão por Exposição ao Dióxido de Enxofre. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.
4. LIMA, A. B. T., Aplicações de Cargas Minerais em polímeros. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Universidade de São Paulo, São Paulo (Brasil). 2007.
5. MAGALHÃES, A.C.F. Mármore Bege Bahia: dos tempos pretéritos ao panorama atual. III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais – VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Natal-RN, 2008.
6. MANO, E. B. Polímeros como Materiais de Engenharia. ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo, Brasil, 1991.
7. RIBEIRO, A. F. e MAGALHÃES, A. C. F. Caracterização Geológica-Econômico do Mármore Bege Bahia. IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Fortaleza – CE, 2003. p. 63-67.
8. SILVA, S. A. C., Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito: Estudo do Potencial de Aplicação na Fabricação de Argamassa de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES. 1998.
9. VIDAL, F. W. H., RIBEIRO, L. D., ALVES, E., BARRETO, E., PINHO, R., Apoio técnico ao arranjo produtivo do mármore bege-Bahia. Relatório de Andamento de Realizações, Salvador – BA, 2009. Escreva o texto utilizando esta formatação que a diagramação da revista realizará o enquadramento em suas normas.