

# APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DA LAVRA DO MÁRMORE BEGE BAHIA NA GERAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS ESPECIAIS

**Camila Maria Rosa Arruda**

Aluna de Graduação de Eng. de Materiais, UFRJ  
Período BIC/CETEM, novembro de 2013 a julho de 2014.

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

**Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**

Orientador, Professor Engenheiro Químico, D. Sc.,

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

## 1. INTRODUÇÃO

A lavra e o beneficiamento de rochas ornamentais no Brasil ainda são processos responsáveis pela geração de uma quantidade significativa de resíduos, que podem acarretar grandes impactos ambientais e gerar graves problemas econômicos para o setor, uma vez que 70%, em massa, é considerado resíduo. O setor de rochas (ABIROCHAS, 2012) tem como grande desafio o reaproveitamento racional desses resíduos, tornando-o um subproduto economicamente viável para sua comercialização. Nesse contexto, surge a indústria polimérica, onde cargas minerais são incorporadas em matrizes poliméricas visando melhorar as propriedades térmicas, mecânicas e termomecânicas, mudando a aparência superficial e as características de processamento, e em particular, reduzir os custos da composição polimérica. O custo da carga e sua influência no preço final do compósito afeta fortemente a sua escolha (RAMOS *et al.*, 2003). Dentre as principais rochas comercializadas no Brasil, destaca-se o mármore Bege Bahia, que se trata de um calcário ornamental, de baixa dureza e fácil corte e beneficiamento; e seus resíduos, geralmente, apresentam granulometria ultrafina (<0,037 mm), composição homogênea, com baixos teores de ferro e sílica, caracterizando-o com grande potencial para aplicação como carga mineral no setor polimérico (VIDAL *et al.*, 2009).

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade técnica e a avaliação da periculosidade e inércia da aplicação do resíduo gerado no corte do Mármore Bege Bahia como carga na matriz do polipropileno para a geração de produtos especiais, como brinquedos e papel braile para utilização de cegos.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1. Origem dos Materiais

O Polipropileno apresenta índice de fluidez 1,5g/10min e densidade de 0,903 g.cm<sup>-3</sup> e foi fornecido pela Suzano Petroquímica (Polibrasil). Já o resíduo, é oriundo do corte do calcário, conhecido comercialmente como Mármore Bege Bahia, da cidade de Ouroândia – BA.

### 3.2. Análise Química do Resíduo

A determinação da composição química do resíduo foi realizada pela Coordenação de Análises Minerais (COAM) do CETEM.

### 3.3. Processamento dos Compósitos

O processamento consistiu, numa primeira etapa, da mistura do polipropileno com o resíduo de calcário, e os compósitos foram processados com 10, 20, 30, 40 e 50%, em massa. Em seguida, a mistura foi extrusada em extrusora dupla-rosca modelo DCT 20. A forma final dos corpos de prova foi obtida pela máquina Injetora *Battenfeld Plus 35*. As nomenclaturas das diferentes composições do resíduo de Bege Bahia (BB) nos compósitos encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1:** Percentual de resíduo em cada compósito.

BB01	BB02	BB03	BB04	BB05	BB06
0	10%	20%	30%	40%	50%

### 3.4. Caracterização dos Compósitos

#### 3.4.1. Determinação da Massa Específica

A densidade dos compósitos foi determinada segundo a norma ASTM D792-13,.

#### 3.4.2. Comportamento Mecânico

O ensaio de tração foi realizado utilizando-se uma máquina de ensaios mecânicos da marca Emic, de acordo com a norma ASTM D 638. O ensaio de impacto, realizado por meio da máquina de teste Izod, de acordo com a norma ASTM D 256 – 05. O ensaio de flexão foi realizado utilizando-se uma máquina universal de ensaios mecânicos da marca Emic, de acordo com a norma ASTM D 790.

### 3.5 Avaliação da toxicidade do resíduo

#### 3.5.1 Determinação da Classe do Resíduo

A periculosidade de um resíduo é classificada em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podendo apresentar risco à saúde humana e ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada. Utilizou-se a norma NBR 10.004/04, para classificar o resíduo e os compósitos do mármore Bege Bahia em classe I ou II, pela periculosidade e inércia. O resíduo foi submetido a ensaios de solubilização e lixiviação e os extratos resultantes foram submetidos a análise química. O mesmo procedimento foi realizado com os compósitos. Os resultados foram comparados com os limites máximos estabelecidos nos anexos G e H da norma.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análise Química do Resíduo

A avaliação do resíduo por FRX determinou teores de 43,5% de CaO, cerca de 8% de MgO, 0,5% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5,4% de SiO<sub>2</sub> e cerca de 43% de perda ao fogo, uma vez que se trata de um calcário calcítico.

### 4.2 Classificação do Resíduo

Após os ensaios de solubilização e lixiviação do resíduo verificou-se a solubilidade de alguns elementos acima do estabelecido pela norma NBR 10004/04, classificando tal resíduo como Classe II A – não perigoso e não inerte. Segundo a norma, o teor de alumínio do solubilizado deveria ser inferior a 0,2 ppm e o valor encontrado foi de 1,0 ppm. Os demais elementos encontravam-se dentro dos limites estabelecidos na norma. No que concerne ao ensaio de lixiviação, todos os elementos também se encontram nos limites estabelecidos.

### 4.3 Caracterização dos Compósitos

#### 4.3.1. Determinação da Massa Específica

Os valores de massa específica obtidos para o PP puro (0%) foi em torno de  $0,9 \text{ g.mL}^{-1}$ , compatível com o valor da literatura,  $0,920 \text{ g.mL}^{-1}$  (MANO, 1991). Observou-se também que há pouca variação na massa específica com o aumento percentual de resíduos, pois com 10 e 20% o valor da massa específica foi de  $1 \text{ g.mL}^{-1}$  e com 30, 40 e 50% a massa específica aumentou para  $1,1 \text{ g.mL}^{-1}$ .

#### 4.3.2. Comportamento Mecânico

De acordo com os ensaios de tração é possível obter alguns parâmetros. O primeiro a ser analisado será a Tensão de Escoamento do material, como pode ser visto na Figura 1. A tensão de escoamento é a tensão máxima que o material suporta ainda no regime elástico de deformação. Dessa forma, verifica-se que a presença dessa carga é responsável por fazer com que os compósitos suportem menos tensão. Na Figura 2 observa-se que a deformação específica na ruptura do polipropileno isento de carga mineral é alta, chegando-se a valores em torno de 300% e com a adição do resíduo verifica-se a estabilização mecânica do material, uma vez que a deformação específica diminui gradativamente, chegando-se a valores em torno de 10%.

Na Figura 3 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. Na Figura 4, correspondente ao ensaio de Impacto Izod, verifica-se também que a adição do resíduo é responsável pela estabilização mecânica do material, uma vez que com a adição de carga os valores de resistência ao impacto se mantêm em torno de  $20 \text{ J/m}$ .

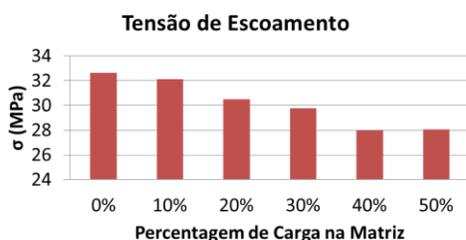


Figura 1: Tensão de Escoamento.

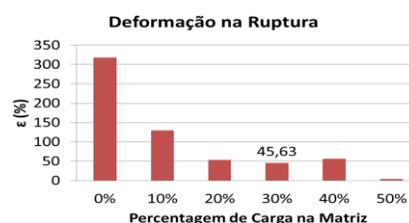


Figura 2: Deformação Específica de Ruptura.

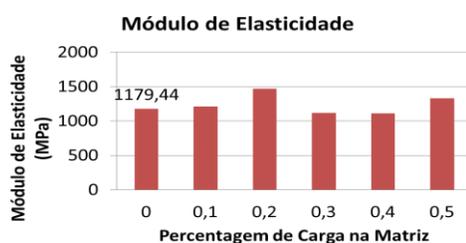


Figura 3: Módulo Elástico.

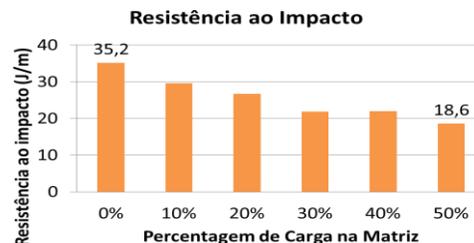
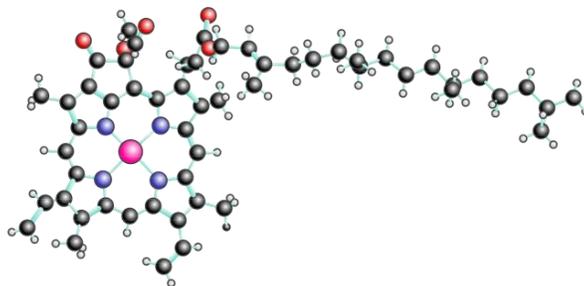


Figura 4: Resistência ao Impacto.

#### 4.3.3 Verificação da periculosidade e inércia do compósito

Após a adição do resíduo na matriz do PP para formação do compósito e esse compósito ser lixiviado e solubilizado, os resultados de análise química não indicaram a solubilização ou lixiviação de nenhum de seus elementos, principalmente do alumínio, classificando o material como Classe II B – não perigoso e inerte. Tal fato pode ser explicado por meio de modelagem molecular. Na Figura 5, observa-se um fragmento da molécula do polipropileno com a interação intermolecular carbonatos (em vermelho) e também com o alumínio (em rosa), que é um elemento altamente polarizante, que realiza uma interação eletrostática com a longa cadeia do polipropileno, enovelando-a e aumentando a resistência mecânica do compósito e tornando o material como inerte. O alumínio se complexa de tal forma à cadeia do PP que não é capaz de ser retirado em condições normais.



**Figura 5:** Estrutura do Polipropileno enovelada pela presença do alumínio e dos carbonatos

Após a confirmação técnica de que os compósitos não eram perigosos e eram inertes, foram processados brinquedos e papel em braile para utilização por pessoas cegas, aproveitando as características de cada um dos compósitos, contendo diferentes percentuais de cargas.

## 5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que os resíduos de calcário podem ser utilizados como carga mineral na produção de compósito de polipropileno, chegando-se a 50% em massa. Além disso, é possível verificar que o aumento de carga não altera sua massa específica, o compósito apresenta alta resistência e não apresenta periculosidade, já que o elemento que era responsável pela sua classificação como não inerte, o alumínio, foi encapsulado pela estrutura do polipropileno.

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro, ao Cetem e ao INT pela infraestrutura e à D. Sc. Márcia Gomes de Oliveira e ao tecnólogo Renato Barros.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 10004/04, Resíduos Sólidos – Classificação, 2004.
- ABIRROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, Informe 11/2012, São Paulo, São Paulo (Brasil).
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D792-13: Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement.
- 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. Filadélfia: ASTM, 1984.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D792-13: Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement .
- MANO, E. B. Polímeros como Materiais de Engenharia. ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo, Brasil,1991.
- RAMOS, S. M. L. S., CARVALHO L. H., Spieth, e., RIVADULA, R. S. M., Efeitos da estabilização do Polipropileno nas propriedades térmicas, mecânicas e termo-mecânicas de compósitos de Polipropileno/Atapulgita. Revista Polímeros, 2003.
- 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.