

## **ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE UM COMPÓSITO TERMOFIXO NAS PROPRIEDADES DO PVC**

Eliseu William de Souza  
Gerson Marinucci

Av José Odorizzi 1555, Bairro Assunção – São Bernardo do Campo – SP  
eliseu.polimero@usp.br  
marinuci@ipen.br  
SENAI Mario Amato – São Bernardo do Campo – SP  
IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

### **RESUMO**

*O poliéster insaturado aditivado com fibra de vidro, na forma de BMC (composto em forma de massa para moldagem) é o compósito polimérico termofixo mais usado na fabricação de refletores de faróis automobilísticos <sup>(3)(6)</sup>. No presente estudo, foi feita a micronização do BMC e incorporação do mesmo numa formulação do PVC rígido nas proporções de 5 e 10 partes por cem de resina. Foram realizadas avaliações das propriedades de resistência ao impacto, resistência à tração e temperatura de amolecimento Vicat. Os resultados foram comparados com aqueles obtidos de uma formulação convencional de PVC. A incorporação de um compósito termofixo em 5 e 10 partes no PVC é apresentada como uma importante possibilidade de reciclagem, além de melhorar as propriedades mecânicas tais como resistência à tração e resistência ao impacto, sem comprometer significativamente as propriedades térmicas.*

*Palavras chaves: compósito, BMC, PVC rígido, reciclagem.*

### **INTRODUÇÃO**

O automóvel é um produto que tem marcado o desenvolvimento tecnológico ao longo da história e sua importância é destacada em diferentes segmentos da sociedade em muitos lugares do mundo. Um componente que representa a evolução do automóvel é o farol que inicialmente possuía refletores construídos em metal, que apresentava limitações de geometria e repetibilidade <sup>(1)(4)</sup>. Os refletores dos faróis atuais são feitos de BMC, um

compósito polimérico termofixo para moldagem na forma de massa, constituído de poliéster insaturado, carbonato de cálcio, fibra de vidro e aditivos, especificamente desenvolvido para uma nova geração de refletores. A importância desse novo material é muito grande porque elimina as deficiências dos refletores metálicos além de proporcionar aos projetistas uma liberdade muito maior de forma, possibilitando a obtenção de geometrias mais complexas e funcionais além de permitir o desenvolvimento de novos produtos.

A reflexão é possível por conta de uma camada de alumínio que é depositada na superfície do material polimérico, por um processo denominado metalização a vácuo. A camada de metal recebe a aplicação de uma camada de verniz para assegurar a qualidade da reflexão. O fato do BMC ser um material termofixo dificulta sua reciclagem mecânica, e os rejeitos da produção de refletores são destinados aos aterros sanitários, o que compromete o meio ambiente. No presente estudo, o BMC foi micronizado (transformado em pó) com partículas de tamanho reduzido. O pó de BMC foi incorporado ao PVC rígido, um material termoplástico de grande volume de comercialização usado em diferentes segmentos <sup>(2)</sup>.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Moagem e reaproveitamento dos resíduos de BMC**

A dificuldade na reciclagem de materiais termofixos é atribuída à cura que forma uma reticulação (*crosslinking*) entre as macromoléculas e impede uma nova fusão do compósito. Com foco nesse problema, foram feitos estudos utilizando resíduos moídos de BMC para posterior incorporação no PVC. Essa atitude não é recente, uma vez que já existe há algum tempo empresas que realizam a moagem dos materiais termofixos e os incorporam como carga em resinas termofixas.

Os resíduos de BMC podem ser gerados nas diversas etapas do processo de obtenção dos refletores, que podem ser constituídos de rebarbas, peças incompletas, peças com a camada de verniz e peças com verniz e metalizadas.

A moagem dos rejeitos do material termofixo utilizando equipamentos não

convencionais para essa atividade, no caso moinhos destinados ao processamento de material cerâmico, o que de certo modo consistiu numa nova alternativa à moagem de termofixos, portanto uma inovação. Foi utilizado um moinho de bolas, o qual é construído de porcelana, com esferas de diferentes diâmetros colocadas na parte interna. Para se ter melhor aproveitamento do volume do moinho, as peças foram cortadas numa serra de fita.

Foram usados dois recipientes e o tempo de movimentação com o giro dos moinhos foi de 5 h. Após a moagem restaram ainda pedaços grandes os quais foram peneirados numa peneira de malha 20 *mesh*, gerando um pó com uma granulometria reduzida. A maior parte dos pedaços maiores foi moída, porém sobraram alguns pedaços.

Dessa etapa de moagem foram obtidos 1050 g de pó de BMC posteriormente destinado à incorporação de uma formulação de PVC rígido. A idéia da escolha do PVC é justificada pelo fato desse material ser um composto e nessa condição o mesmo passa por um processo de preparação onde são colocados os diferentes componentes da formulação. Além disso, a resina de PVC também é em pó, com partículas de tamanho definido e com porosidade, que favorece a mistura dos aditivos além de facilitar a incorporação com o pó de BMC. Uma justificativa para incorporação dos resíduos de BMC ao composto de PVC é a possibilidade de se preparar diferentes formulações e comparar com uma formulação convencional que tenha alguma carga incorporada como, por exemplo, o carbonato de cálcio.

Foram realizadas moagens dos resíduos de BMC puro (sem verniz e sem metal) e de BMC com verniz e com metal para se conhecer a influência do metal e verniz nas propriedades dos resíduos. Além disso, em cada etapa de produção dos refletores em BMC é possível ocorrer problemas de qualidade das peças e essas serem destinadas aos aterros, porém, existem critérios para de separação dessas peças, ou seja, as peças metalizadas e com verniz são separadas das peças não metalizadas e sem verniz.

### **Incorporação do pó de BMC ao PVC e avaliação de propriedades**

A incorporação do pó de BMC abordada no presente estudo envolveu

diferentes etapas desde a mistura dos resíduos de BMC ao PVC até a obtenção dos corpos de prova.

A homogeneização dos componentes presentes em cada formulação foi realizada num misturador Mecanoplast modelo ML 9. A mistura ocorre com o movimento de uma hélice ilustrada que em alta velocidade homogeneiza o composto e gera atrito entre o material e as partes internas do misturador que por sua vez irá aquecer para que haja melhor incorporação e interação entre os componentes da mistura. Se essa temperatura não for controlada, há risco de fusão ou até mesmo a degradação do composto. A geometria das hélices força um material a gerar um fluxo da extremidade para o centro do misturador garantindo a melhor eficiência na mistura. Com o objetivo de incorporar o BMC e realizar um comparativo de propriedades com outro material foram feitas 6 formulações diferentes de acordo com a Tabela 1.

Tabela1 – Formulações de PVC em partes por cem de resina (PCR) para comparativos de propriedades.

	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3	Formulação 4	Formulação 5	Formulação 6
Resina SP 700 HF	100	100	100	100	100	100
Estabilizante CZ 1820	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Modif. de Fluxo Polaroid K120	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
CaCO <sub>3</sub> Barralev C	5,0	-	-	10,0	-	-
BMC	-	5,0	-	-	10,0	-
BMC + metal	-	-	5,0	-	-	10,0

A resina de PVC SP 700 HF, produzida pela empresa Braskem é usada para compostos de PVC rígido e apresenta um valor K de 57, que é um parâmetro que define indiretamente a massa molecular da resina. O estabilizante térmico CZ 1820 é um aditivo à base de cálcio e zinco que tem por finalidade impedir ou retardar o processo de degradação do PVC. O modificador de fluxo K120 conforme sugere o nome, altera o fluxo do material no momento do processamento, diminuindo turbulências e reduzindo a taxa de cisalhamento do composto no momento do processamento.

A Tabela 1 apresenta 6 formulações com proporções fixas de resina de PVC, estabilizante térmico e modificador de fluxo, o que variou de uma formulação para outra foram os teores de carbonato de cálcio e de BMC. Às formulações 1 e 4 foi incorporado carbonato de cálcio nas proporções de 5 e de 10 PCR respectivamente, às formulações 2 e 5 o BMC puro com 5 e 10 PCR respectivamente e às formulações 3 e 6 com 5 e 10 PCR de BMC metalizado e com verniz. A comparação de propriedades foi realizada de acordo com as proporções de BMC colocadas no PVC, ou seja, as formulações com 5 PCR foram comparadas entre si assim como as formulações com 10 PCR. O rejeito de peças de BMC pode acontecer em diferentes momentos do processo, esse fato justifica a comparação dos resíduos de BMC com e sem a metalização com alumínio com a camada de verniz.

Os parâmetros do misturador foram os seguintes: 2800 RPM de velocidade das hélices até a mistura atingir 120 °C. A mistura foi conduzida para um resfriador até atingir 40 °C. Cada uma das formulações seguiu o mesmo critério permanecendo após o processo de mistura por um período de 24h a 23 °C para melhor interação entre os componentes da formulação. Passado o período de condicionamento as misturas foram conduzidas para a etapa de preparação de placas para confecção dos corpos de prova. Inicialmente as misturas passaram por uma calandra, que recebe o material em pó e o transforma numa massa fundida. Os parâmetros de processo da calandra foram os seguintes: 25 RPM a 190 °C por 3 minutos. Quando a massa sai da calandra a mesma é conduzida a uma prensa, para formar as placas que serão posteriormente cortadas para obtenção dos corpos de prova. Os parâmetros da prensa são os seguintes: temperatura de 175 °C e pressão de 100 kgf.cm<sup>-2</sup> durante 3 min, após esse tempo a pressão é aumentada para 200 kgf.cm<sup>-2</sup> por um período de 1 min. Após esse período é desligado o aquecimento e acionado o resfriamento das placas até que as mesmas atinjam 40 °C. Após essa etapa as placas moldadas são extraídas. Quando as placas de PVC estão prontas, são cortados corpos de provas de acordo as normas escolhidas para as possíveis caracterizações. Com o intuito de se avaliar a influência do BMC incorporado ao PVC foram realizados ensaios mais comumente empregados na caracterização dos compostos de PVC.

Os ensaios das 6 formulações foram realizados em corpos de prova de acordo com a norma ASTM D 638 numa máquina universal de ensaios MTS modelo Alliance RT/5. Os ensaios para determinação da resistência ao impacto foram realizados segundo a norma ASTM D 256 em corpos de prova tipo Charpy, com martelo de 1 J, num equipamento modelo Ceast Resil 5.5 e os corpos de prova entalhados num entalhador modelo Ceast Notchvis. O ensaio para determinação da temperatura de amolecimento Vicat foi realizado segundo a norma ASTM D 1525. Os ensaios de gelificação e fusão foram realizados num reômetro de torque marca Haake. Foram utilizados 65 gramas de material para cada formulação, velocidade constante de 40 RPM e temperatura de 140 °C.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo foi realizado utilizando seis formulações que estão descritas na Tabela 2 junto com as propriedades obtidas nos ensaios.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios da incorporação de CaCO<sub>3</sub> e BMC ao PVC.

Formulação	Propriedades avaliadas				
	Resistência a tração na ruptura MPa	Desvio padrão	Resistência ao impacto Charpy kJ.m <sup>-2</sup>	Desvio padrão	Temperatura de amolecimento Vicat °C
1 – PVC 5 PCR CaCO <sub>3</sub>	39,98	5,29	2,90	0,14	80,0
2 – PVC 5 PCR BMC	39,97	1,42	2,83	0,13	82,0
3 – PVC 5 PCR BMC + metal	42,10	3,37	2,99	0,23	82,1
4 – PVC 10 PCR CaCO <sub>3</sub>	37,61	3,12	3,12	0,28	81,0
5 – PVC 10 PCR BMC	39,94	1,82	2,86	0,21	80,5
6 – PVC 10 PCR BMC + metal	43,66	3,57	2,99	0,23	82,1

Foram avaliadas as resistências à tração, resistência ao impacto e a temperatura de amolecimento Vicat por serem as propriedades relacionadas às solicitações mais comuns para as diversas aplicações dos materiais termoplásticos. Considerando a dispersão dos valores dada pelo desvio padrão da resistência a tração e impacto, corpos-de-prova de PVC com a incorporação de BMC em proporções de 5 e 10 partes não apresentaram redução dessas propriedades quando comparadas com PVC e carga de carbonato de sódio, o mesmo ocorrendo com a temperatura de amolecimento VICAT. A diferença

entre o maior e o menor valor foi de apenas 2,1 °C, que mostra que o BMC não exerceu influência nessa propriedade para os teores de 5 e de 10 PCR.

Nos ensaios de gelificação as formulações com o BMC gelificam em um tempo menor do que as que contém CaCO<sub>3</sub>, e desse modo fica evidente a vantagem que o BMC oferece, pois favorece a aceleração da densificação e do processo de plastificação do PVC em temperaturas típicas de processamento.

Tabela 3 – Tempo e temperatura obtidos no ensaio de gelificação.

Formulação	1	2	3	4	5	6
Tempo (min)	2,15	2,01	0,98	2,50	2,68	0,98
Temperatura (°C)	161	162	154	162	159	162

## CONCLUSÃO

A incorporação do BMC na formulação de PVC quando comparada com carga de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) no PVC, embora não tenha promovido um aumento dos valores das propriedades avaliadas, resultou numa grande vantagem competitiva, isso porque a incorporação de cargas ao PVC normalmente implica numa redução das propriedades dessa resina termoplástica. Essa conclusão é justificada pelos resultados de resistência à tração, resistência ao impacto e temperatura de amolecimento Vicat, cujos valores ficaram muito próximos do PVC com carga de CaCO<sub>3</sub>. O uso de equipamentos não convencionais para moagem de BMC é uma alternativa que aponta para novas possibilidades para a reciclagem de materiais termofixos.

## REFERÊNCIAS

- 1- ARTEB, Centro Tecnológico. **A História da Iluminação Veicular**. Encarte comemorativo 70 anos. São Paulo, 2004.
- 2 - ORMANJI, Wagner, RODOLFO Jr., Antonio; NUNES, Luciano Rodrigues; **Tecnologia do PVC – 2ª. Ed.**, São Paulo: Braskem, 2006

3- European Alliance for SMC - **Bulk Moulding Compound**

Disponível em: <<http://www.smc-alliance.com/publications/bulk.pdf>>.

Acesso em: 12 set 2007.

4 - MARTINS, Eduardo Reginato, **Comparação entre os desempenhos de faróis automotivos convencionais e aqueles que empregam diodos emissores de luz**. São Paulo, 2005, 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) ), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005

5- MAZUMDAR, Sanjay K., **Composites manufacturing – materials, product and process engineering**, Florida CRC Press, 2002

6 - MONK, J. F.; MORGAN, L. S., **The manufacture of a new generation of headlamp reflectors**, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 1985 vol. 199 pt 3, pp 181-188

**STUDY OF INCORPORATION OF A COMPOSITE THERMOSET ON  
PROPERTIES OF PVC**

**ABSTRACT**

The unsaturated polyester additive glass fiber in the form of BMC (composed in the form of bulk molding) is the most thermosetting polymer composite used in the manufacture of reflectors of automobile headlights. In this study, we conducted the micronization of BMC and the incorporation of even a rigid PVC formulation in proportions of 5 and 10 parts per hundred resin. We evaluated the properties of impact resistance, tensile strength and softening temperature. The results were compared with those obtained from a conventional formulation of PVC. The incorporation of a thermoset composite in 5 parts in PVC is shown as an important recyclability, and improves the mechanical properties such as tensile strength and impact resistance, without significantly compromising the thermal properties.

Keywords: composite, BMC, rigid PVC, recycling