

## Propriedades físicas e mecânicas de espumas de EVA/EPDM

J. B. Azevedo<sup>1</sup>; M. A. Chávez<sup>1</sup>; R. A. C. Junior<sup>1</sup>; R. G. P. Oliveira<sup>1</sup>; M. S. Rabello<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Núcleo de Polímeros,  
Av. Orlando Gomes-1845,Piatã, 41650-010, Salvador- BA,Brasil.

<sup>2</sup>Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, UAEMa/CCT - UFCG  
Rua Aprígio Veloso, 882, CEP 58429-900, Campina Grande - PB

(Recebido em 20/02/2009; revisado em 12/04/2009; aceito em 22/04/2009)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

---

### Resumo:

Espumas poliméricas são materiais constituídos por duas fases, sendo uma fase sólida composta pela matriz polimérica e uma fase gasosa. Estão em ascensão desde a década de 50, onde novas aplicações surgiram devido ao desenvolvimento de novos expansores e processos de fabricação que tornaram os materiais expansíveis bastante utilizados na indústria de calçados, automobilística, etc. Dentre os componentes utilizados nas formulações para obtenção de espumas de EVA, polímeros elastoméricos podem ser adicionados para melhorar as propriedades de elasticidade e resiliência e, desta forma, ampliar o leque de suas aplicações. Dentre os diversos elastômeros disponíveis, a borracha de etileno-propileno (EPDM) apresenta um potencial de aplicação mais elevado, por ser compatível com a resina de EVA já que ambos os polímeros são olefínicos. No presente trabalho misturas de EVA/EPDM foram preparadas em diversas proporções e aditivadas para a obtenção de espumas reticuladas. As composições foram caracterizadas quanto à processabilidade, dureza, densidade, propriedades mecânicas e microscopia eletrônica. Os resultados mostraram que o EPDM tem forte influência no grau de reticulação das espumas, afetando positivamente as propriedades físicas e mecânicas.

Palavras-chave: Espumas poliméricas; EVA; EPDM; propriedades mecânicas.

---

### Abstract:

Polymer foam materials are made of two phases, with a solid phase consisting of polymer matrix and a gas phase. They are on the rise since the 50's, when new applications came to the market, motivated by to the development of new foaming agent and manufacturing process that made the expanding materials widely used in the footwear industry, automobile, etc. Among the components used in the formulations to obtain EVA foam, the elastomers can be added to improve the properties of elasticity and resilience and thus widening the field of applications. Among the various elastomers types, ethylene-propylene rubber (EPDM) has a higher potential of application since it is more compatible to EVA due to their olefin nature. In the current study mixtures of EVA/EPDM were prepared in several proportions and they were compounded to obtain crosslinked foams. The materials were tested for processability, hardness, density, mechanical properties and electron microscopy. The results showed that EPDM has a strong influence on the degree of foam crosslinking, affecting the physical and mechanical properties in a positive way.

Keywords: Polymer foams; EVA; EPDM; mechanical properties.

---

\* E-mail: [marcelo@dema.ufcg.edu.br](mailto:marcelo@dema.ufcg.edu.br) (M. S. Rabello)

## 1. Introdução

As espumas poliméricas têm ganhado bastante espaço no mercado por apresentar boas propriedades mecânicas aliadas à baixa densidade e baixo custo. São constituídos por uma fase sólida de uma matriz polimérica e por uma fase gasosa derivadas de um agente de expansão (ou expansor) [1].

Materiais expandidos que possuem como matriz a resina de EVA, ganharam importância técnica e comercial ao longo dos anos, especialmente motivados pela escassez de matéria-prima na crise do petróleo, em 1973. Este tipo de material celular é um dos mais novos no mercado e tem crescido bastante nas últimas duas décadas. Sua aplicação é voltada principalmente para a indústria de calçados onde são utilizadas em solados, palmilhas e entressolas de tênis [2].

O EVA é um copolímero de caráter elastomérico formado pelo encadeamento de seqüências aleatórias de unidades repetitivas derivadas da polimerização do eteno e acetato de vinila. As espumas obtidas com esta resina são encontradas no mercado com densidades variando de 90 e 350 Kg/m<sup>3</sup>. A densidade de uma espuma está diretamente associada com sua expansão durante a fabricação e se constitui na principal propriedade que determina seu campo de aplicação [2,3].

As espumas de EVA, comercializadas tanto na forma de placas quanto de peças injetadas, são constituídas essencialmente da matriz polimérica, expansor, ativador, lubrificante, plastificantes, elastômeros, cargas e pigmentos. Elastômeros como borracha natural, SBR e NBR podem ser utilizados em formulações de espumas de EVA com o objetivo de ampliar as propriedades de elasticidade e resiliência nos produtos. A resiliência é uma propriedade que depende da porcentagem de moléculas tipicamente elastoméricas, que estão dispersas na espuma e, assim, a adição de elastômero afetará diretamente nesta propriedade[2].

Vários estudos já foram realizados com a adição de diversos tipos de elastômeros em materiais expandidos obtidos a partir de EVA. Entre os elastômeros estudados estão a borracha natural, o policloropreno, a borracha nitrílica, entre outros [4-6].

Entre os diversos elastômeros a borracha de etileno-propileno (EPDM) pode ser bastante compatível com a resina de EVA já que ambos os polímeros são olefínicos e conseqüentemente

compatíveis [7]. O EPDM já é bastante utilizado em produtos de polietileno e polipropileno, com o intuito de melhorar as propriedades de flexão dos produtos obtidos com estes polímeros [8].

Estudos realizados por Cardello [7] mostram que a mistura de EVA com EPDM pode prejudicar a densidade de reticulação e deformação permanente. O caráter mais elástico, transferido ao composto/produto com o uso de um polímero amorfo é também alcançado com o uso de um tipo de EVA contendo maior teor de acetato de vinila, já que um EVA com maior concentração de acetato de vinila é menos cristalino [7].

Muito embora as perspectivas de utilização industrial de misturas de EVA com EPDM sejam muito amplas e alguns trabalhos tenham sido desenvolvidos na caracterização dessa mistura [8-10], poucos trabalhos foram identificados na literatura técnica tratando da combinação destes dois copolímeros na forma expandida. Recentemente, Liu & Lin [11] mostraram que blendas ternárias de EVA com EPDM e poli(cloropreno) poderiam ser produzidas por injeção na presença de agentes químicos de expansão e de agentes de cura. De qualquer forma, o sistema EVA/EPDM com agentes de expansão ainda é muito pouco entendido e investigações complementares são desejáveis. Neste sentido, o seguinte trabalho avaliou as propriedades físico-mecânicas de espumas de EVA obtidas com diferentes concentrações de EPDM.

## 2. Materiais e métodos

As formulações utilizadas neste trabalho são típicas para obtenção de espumas de copolímero etileno-acetato de vinila (EVA) com média densidade, aplicadas industrialmente para os componentes de calçados obtidas através do processo de compressão. Foram estudadas as propriedades físico-mecânicas destes materiais com diferentes concentrações de terpolímeros etileno-propileno-dieno (EPDM).

### 2.1. Materiais

Os materiais e as composições utilizadas na produção das espumas poliméricas EVA/EPDM estão descritos na Tabela 1. Foram utilizadas composições utilizando apenas EVA como polímero e com a adição de 15 a 50% de EPDM. O EVA utilizado foi produzido pela Politeco com teor médio de acetato de vinila. O EPDM foi produzido

pela Dow Química, com a relação 50/45/5 de etileno, propileno e norboreno respectivamente.

Tabela 1: Materiais utilizados para obtenção de espumas de EVA/EPDM.

Materiais	Grade	Teor (phr <sup>(1)</sup> )
EVA	3019 PE	100; 85; 75; 70; 50
EPDM	NORDEL IP 4570	0; 15; 25; 30; 50
Agente de expansão	AZDN T 88 (Inbra)	7
Agente de reticulação	Peróxido de dicumila (Akzo)	1,2
Lubrificante	Estearina	1,5
Carga	CaCO <sub>3</sub> precipitado (1,4 - 2,2 $\mu$ m)	15

<sup>(1)</sup> partes do componente por 100 partes da matriz

## 2.2. Métodos

### Preparação das espumas

Para obtenção das espumas poliméricas seguiu-se uma metodologia padrão para todas as formulações. Inicialmente os componentes foram pesados em balança analítica, em seguida realizou-se a mistura em um misturador de rolos da marca Cope a uma temperatura de 90°C, suficiente para plastificar o EVA e promover a mistura deste com os elastômeros (EPDM e EVA) e os demais componentes (aditivos).

Primeiramente foi plastificado o EVA e então adicionado o EPDM em diferentes concentrações para as formulações estudadas. Sequencialmente foi adicionado à carga até completa homogeneização, seguida pela adição do lubrificante. Adicionou-se então o agente de reticulação e o expansor. Nesta etapa a mistura não ultrapassou 5 minutos para que não ocorresse reticulação e expansão prematura do composto.

Passada a etapa de mistura, as lâminas foram cortadas, utilizando um gabarito circular, resfriadas e deixadas em repouso em temperatura ambiente para posterior processo de reticulação e expansão. A prensagem foi realizada em prensa hidráulica da marca Advanced. Utilizou-se uma temperatura de 170°C, obtida por aquecimento elétrico, pressão de 60 kgf/cm<sup>2</sup>, velocidade de abertura de 200 mm/seg. O lay-out e dimensões do molde utilizado na compressão estão ilustrados na

Figura 1.

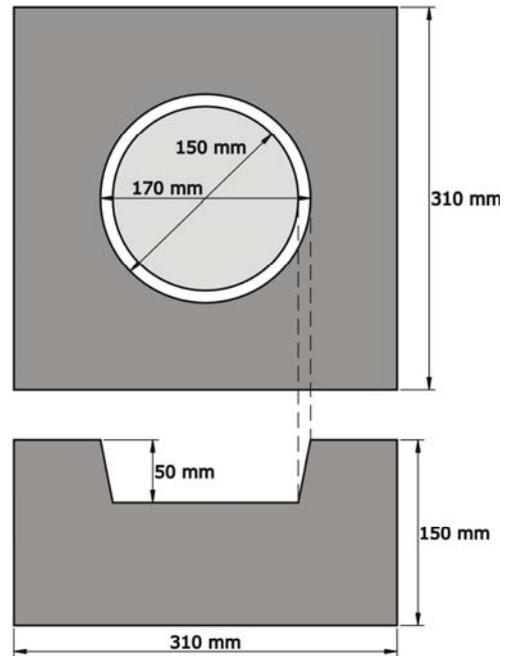


Figura 1. Dimensões molde utilizado para obtenção das espumas.

O tempo de prensagem foi determinado através de estudo reológico em reômetro de torque tipo Monsanto, marca Rheotec, com temperatura de ensaio de 170°C, conforme exemplo mostrado na Figura 2. A Tabela 2 indica os tempos de reticulação utilizados durante a etapa de prensagem nas formulações das espumas EVA/EPDM.

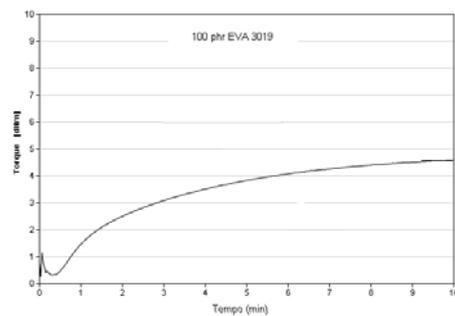


Figura 2. Exemplo de uma curva reométrica mostrando a evolução do torque com o tempo.

Tabela 2: Tempo de reticulação utilizados na etapa de prensagem das espumas EVA/EPDM.

Proporção EVA/EPDM	Tempo de reticulação (min)
100/0	15,0
85/15	8,5
75/25	8,5
70/30	8,5
50/50	7,0

### Propriedades físicas mecânicas

As propriedades físicas e mecânicas analisadas neste trabalho são importantes do ponto de vista tecnológico principalmente da definição da aplicação do material expandido. Realizaram-se ensaios de densidade, resiliência, dureza e tração.

A densidade dos corpos de prova foram medidas segundo norma ASTM D 388 seguindo princípio de Arquimedes. Os ensaios de resiliência foram realizados segundo norma DIN 53512, utilizando um resiliômetro da marca MAQTEST. A dureza das amostras foram medidas segundo norma ASTM 2240, em equipamento da marca Wulstest. Realizou-se medidas na superfície da espuma (dureza externa) e no interior da espuma após corte de sua secção transversal (dureza interna).

As espumas foram submetidas a ensaio mecânico de tração em uma máquina universal de ensaios da EMIC, modelo DL2000, seguindo norma ASTM D412-06, sendo os corpos de prova obtidos através do corte da espuma com auxílio de um cunho. Analisou-se o módulo elástico, a tensão na ruptura e o alongamento das espumas até a ruptura do material.

### Caracterização morfológica

A morfologia das amostras (recobertas com ouro) foi caracterizada através de microscopia eletrônica de varredura visualizando-se a sua parte interna. Utilizou-se um equipamento da marca Shimadzu, modelo SSX-550, com voltagem aplicada de 5 a 15 KV.

### 3. Resultados e discussão

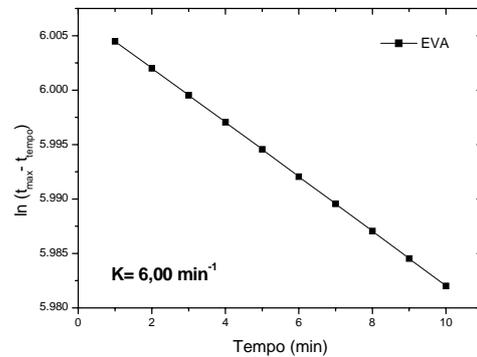
A equação cinética que descreve o processo de reticulação pode ser obtido através dos valores de torque e tempo dos reogramas gerados nos ensaios em reômetro de disco oscilatório [12]. Se o processo for considerado como uma reação de primeira ordem, este pode ser expresso pela equação abaixo:

$$\ln(t_{\max} - t_{\text{tempo}}) = K.t + \ln(t_{\max} - t_{\min})$$

onde  $t_{\max}$ ,  $t_{\text{tempo}}$ ,  $t_{\min}$  e  $K$  são, respectivamente, torque máximo, torque no tempo de cura  $t$ , torque mínimo e constante cinética de vulcanização.

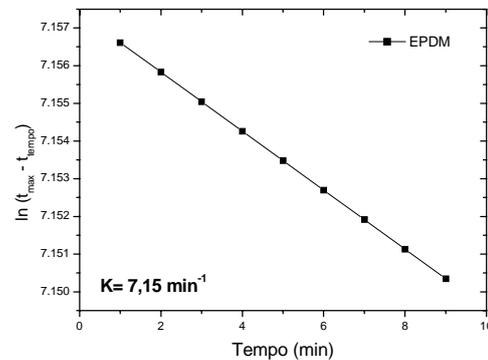
A partir dessa equação construiu-se os gráficos do  $\ln(t_{\max} - t_{\text{tempo}})$  contra o tempo. Observa-se

através das Figura 3 e Figura 4 uma relação linear, indicando que a reticulação das formulações com 100 phr de EVA e 100 phr de 100 EPDM seguem



uma cinética de primeira ordem.

Figura 3. Gráfico de  $\ln(t_{\max} - t_{\text{tempo}})$  em função do



tempo de mistura do EVA na análise reométrica.

Figura 4. Gráfico de  $\ln(t_{\max} - t_{\text{tempo}})$  em função do tempo de mistura do EPDM na análise reométrica.

Através do coeficiente angular obtidas nas curvas acima é possível determinar a constante cinética de reticulação ( $K$ ) [12]. Observou-se que para a formulação com EPDM houve um aumento nesta constante (7,15 contra 6,0), confirmando o comportamento já observado pelo maior valor de torque máximo, ou seja, o uso de EPDM nas formulações de compostos expansíveis torna a reticulação mais rápida.

A Figura 5 representa a variação de densidade em função da concentração de EPDM nos compostos expansíveis obtidos.

Observa-se que a densidade, para a maioria das espumas, aumenta com o aumento da concentração de EPDM. Na espuma de 50 phr de EPDM observa-se um acréscimo na densidade de aproximadamente 120% em relação à formulação sem EPDM da sua composição.

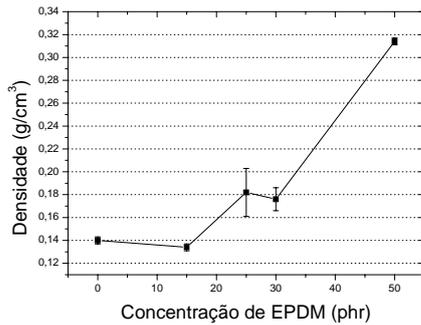


Figura 5- Densidade das espumas de EVA em função da concentração de EPDM.

O uso de borracha EPDM em mistura de EVA aumenta o número de reticulações [7]. Isso ocorre certamente pela presença do grupo dieno (norborneno), que possui ligação insaturada favorecendo as reações com os agentes peróxido.

Na Figura 6 observa-se os valores de dureza interna e externa para os compostos expansíveis em função da concentração de EPDM.

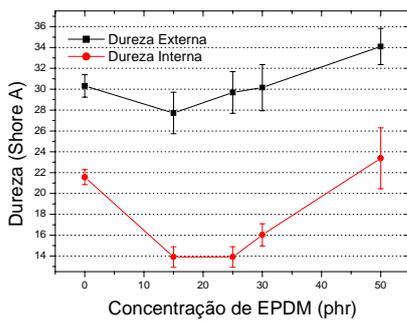


Figura 6 – Dureza interna e externa das espumas de EVA em função da concentração de EPDM.

Observa-se que as medidas de durezas externas são maiores em todas as concentrações quando comparadas as medidas de durezas internas. Este comportamento é explicado pela formação de uma pele mais densa e dura na superfície da espuma durante o processo de expansão por compressão. A pele fica junto ao molde, a uma temperatura mais elevada do que o resto da espuma, o que aumenta o grau de reticulação inibindo a expansão e consequentemente aumentando a dureza [2]. Pela compressão exercida pelo molde ocorre também colapso das células, aumentando a densidade.

Tanto na dureza externa como na interna, observa-se maiores valores de propriedade para formulação obtida com maior concentração de EPDM. Estudos realizados por Zattera et al [13] mostraram que o EVA expandido, como

conseqüência do processo de reticulação, apresenta maior dureza, rigidez e módulo elástico quando comparado com os EVA virgens (sem reticular). Este mesmo comportamento pode ser associado aos compostos obtidos com maior concentração de EPDM.

A Figura 7 mostra o módulo elástico das espumas de EVA em função da concentração de EPDM utilizada nas formulações. Na Figura 8 têm-se a tensão de ruptura das espumas de EVA em função da concentração de EPDM.

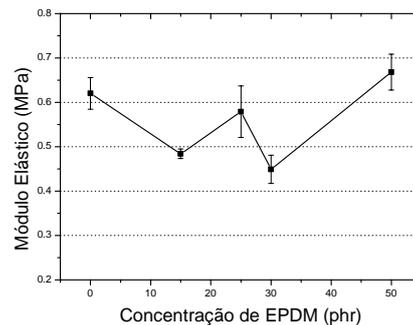


Figura 7- Módulo elástico das espumas de EVA em função da concentração de EPDM.

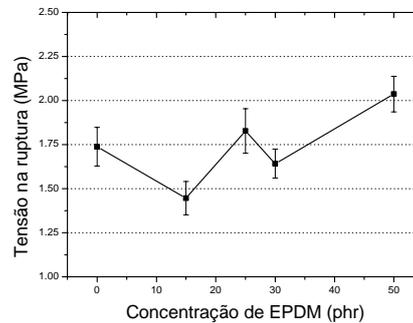


Figura 8 - Tensão na ruptura das espumas de EVA em função da concentração de EPDM.

Tanto o módulo elástico como a tensão na ruptura apresentam uma mesma tendência, com um valor máximo das propriedades para uma determinada concentração de EPDM. Este comportamento foi verificado em outros estudos com espumas de EVA/NR [14], onde observou-se que as propriedades mecânicas são função das fases presentes na mistura entre o polímero e o elastômero e da reticulação de cada um consigo mesmo e com a outra fase.

Na avaliação da dureza também se observou a mesma tendência citada acima, isto pode indicar que existe uma concentração ótima de EPDM ao

qual proporciona valores adequados para as propriedades.

A Figura 9 apresenta os resultados obtidos da deformação específica na ruptura das espumas de EVA em função da concentração de EPDM. Os resultados obtidos mostram um aumento crescente nesta propriedade com o aumento da concentração de EPDM nas espumas. Este comportamento pode ser atribuído à presença da fase elastomérica nas espumas, que promove uma maior elasticidade.

A Figura 10 mostra as micrografias de MEV dos compostos de EVA sem a adição de EPDM e com 15 e 50 phr de EPDM. Pode-se observar que todas as amostras de espumas apresentaram células fechadas. À medida que foi acrescentado o EPDM na formulação observou-se que as células ficaram maiores, este comportamento pode ser atribuído ao fato de ter sido introduzido na matriz de um polímero de maior elasticidade o que facilita a expansão do material e conseqüentemente o aumento no tamanho das células. Para a formulação com 50 phr de EVA e 50 phr de EPDM observam-se células com maior uniformidade e parede das células mais espessas o que pode justificar os resultados observados nas propriedades mecânicas analisadas para esta formulação quando comparada com as demais.

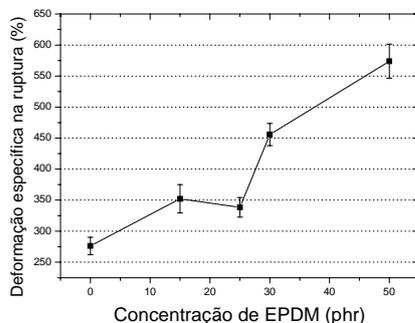


Figura 9 - Deformação específica na ruptura das espumas de EVA em função da concentração de EPDM.

#### 4. Conclusões

O estudo realizado apresentou as seguintes conclusões:

- As propriedades físicas de densidade, resiliência e dureza apresentaram maiores valores para as espumas onde as formulações possuem maior concentração de EPDM, estando este comportamento associado ao grau de reticulação sofrido por estes materiais;

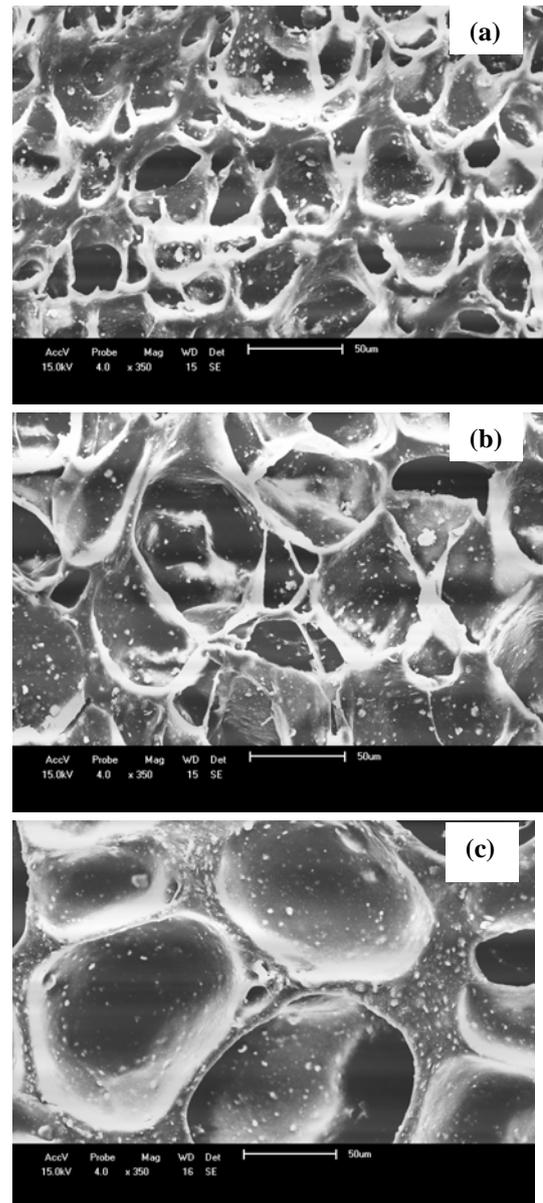


Figura 10-Micrografias de espumas de EVA. (a) Formulação com 100 phr de EVA; (b) Formulação com 85 phr de EVA e 15 phr de EPDM; (c) Formulação com 50 phr de EVA e 50 phr de EPDM.

- Os resultados apresentados nas propriedades de dureza, resiliência, módulo elástico e tensão na ruptura apresentaram mesma tendência, podendo ser a indicação da existência de uma formulação com concentração ótima de EPDM;
- A presença da fase elastomérica resultou no aumento da deformação específica das espumas obtidas com todas as concentrações de EPDM estudadas;
- Através da análise morfológica pode-se observar que com a adição de EPDM nas

formulações obtêm-se espumas com células maiores e mais uniformes.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao SENAI CIMATEC, a Continental do Brasil e ao Departamento de Química da UFBA.

### Referências

- [1] Rabello, M.S. *Aditivação de Polímeros*, Artliber, São Paulo, 2000.
- [2] Alpire-Chávez,M., *Influência do carbonato de cálcio nas propriedades físicas de espumas de EVA*. Dissertação de Mestrado, Ciência e Engenharia de Materiais, CCT/UFMG, 2007.
- [3] Alpire-Chávez,M.; Azevedo, J. B.; Rabello, M. S. Anais no 9º Congresso Brasileiro de Polímeros, Campina Grande, 2007.
- [4] Koshy, A T., Kuriakose, B., Thomas, S. - *Polym Degrad Stab*, 36, 137, 1992.
- [5] Kundu, P.P., Banerjee, S., Tripathy, D. K – *Int Journal Polymer Mater*, 32, 125, 1996.
- [6] Varghese H., Bhagawan S. S., Someswara Rao S., Thomas S. - *European Polymer Journal*,31, 957, 1995.
- [7] Cardello, M. A. *Diretrizes na Reticulação e Expansão do EVA no Processo de Injeção Direta*. Borracha Atual. Ed. 50, 2005.
- [8] Acharya,H, Kuila,T, Srisvastava,SK, Bhowmick,AK, *Polym. Comp.* 29, 443, 2008.
- [9] Misha,S, Balakrishnan,S, Chandra,R, *J. Appl. Polym. Sci.* 70, 1929, 1998.
- [10] Rai,I, Khastgir,D, *Plast. Rubb. Compos. Proc. Appl.* 22, 305, 1994.
- [11] Soares, B. G., Oliveira, M.G. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 12, 11, 2002.
- [12] Zattera, A., Bianchi, O., Zeni, M., Ferreira, C. A., *Polímeros* 15, 73, 2005.
- [13] Rivera, D.A., Corrales, H. F. Z. *Revisa Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 37, 82, 2006.