



Polímeros: Ciência e Tecnologia

ISSN: 0104-1428

abpol@abpol.org.br

Associação Brasileira de Polímeros

Brasil

Zimmermann, Matheus V. G.; Turella, Taís C.; Zattera, Ademir J.; Santana, Ruth M. C.  
Influência do Tratamento Químico da Fibra de Bananeira em Compósitos de Poli(etileno-co-acetato de  
vinila) com e sem Agente de Expansão  
Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 24, núm. 1, 2014, pp. 58-64  
Associação Brasileira de Polímeros  
São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47030128010>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Influência do Tratamento Químico da Fibra de Bananeira em Compósitos de Poli(etileno-co-acetato de vinila) com e sem Agente de Expansão

Matheus V. G. Zimmermann, Taís C. Turella, Ademir J. Zattera

*Laboratório de Polímeros, UCS*

Ruth M. C. Santana

*Laboratório de Polímeros, UFRGS*

**Resumo:** Neste trabalho foi avaliada a influência do tratamento alcalino na fibra de bananeira (FB) e seu uso como agente de reforço em compósitos expandidos de poli(etileno-co-acetato de vinila) – EVA. O processo de mistura dos compósitos ocorreu em um misturador de rolos aberto e após conformados e expandidos em uma prensa aquecida com moldes de volumes variáveis. Os compósitos foram avaliados por suas propriedades mecânicas, térmicas e morfológicas. Os resultados indicam que o tratamento alcalino promove a extração de componentes menos estáveis na FB, tais como a lignina, hemicelulose, ceras e óleos de baixo peso molecular. O uso da FB nos compósitos proporciona um decréscimo das propriedades mecânicas de resistência à tração e rasgo em relação ao EVA puro devido a moderadas propriedades de interface polímero-fibra. Nos compósitos expandidos, as propriedades mecânicas decrescem com a diminuição da densidade em função da maior presença de espaços vazios no interior dos compósitos, porém as propriedades mecânicas específicas de resistência ao rasgo apresentaram melhores resultados com 10 pcr de FB em todos os moldes utilizados.

**Palavras-chave:** *Fibra de bananeira, EVA, compósitos expandidos, tratamento químico.*

## Influence of the Chemical Treatment of Banana Fiber on Poly(ethylene-co-vinyl acetate) Composites with and without a Blowing Agent

**Abstract:** In this work the influence of alkaline treatment on banana fiber (BF) and its use as reinforcement agent in expanded composites of poly(ethylene-co-vinyl acetate) – EVA were assessed. The mixing process for the composite was performed in an open roll mill, with composites being then shaped and expanded in a thermal press using variable volume molds. The composites were evaluated as for their mechanical, thermal and morphological properties. The results indicate that the alkali treatment promotes the extraction of less stable BF components such as lignin, hemicellulose, waxes and low molecular weight oils. The use of BF in the composites imparts reduction in mechanical properties of tensile and tear strength compared to neat EVA, owing to the moderate properties of the polymer-fiber interface. In expanded composites, the mechanical properties decreased with the reduction in density due to a higher amount of void spaces within the composites. However, the specific mechanical properties of tear strength showed improved results with 10 phr BF in all molds.

**Keywords:** *Banana fiber, EVA, expanded composites, chemical treatment.*

## Introdução

O interesse no uso de fibras vegetais cresceu significativamente nos últimos anos, devido a suas aplicações no uso como agentes de reforços em compósitos poliméricos, e seu grande potencial na substituição de fibras inorgânicas, como a fibra de vidro. As fibras vegetais trazem como benefícios o fato de proverem de fontes renováveis, sua biodegradação, atoxidade, menor densidade e abrasividade quando comparadas as fibras inorgânicas. O Brasil se destaca como um grande cultivador de bananas, e junto com a Índia e China perfazem os três maiores produtores mundiais de banana. A fibra da bananeira (FB) é extraída do pseudocaule da planta da bananeira, e podem ser extraídos até cinco tipos diferentes de fibras. A

bananeira após dar o fruto deve ser cortada e descartada, e muitas vezes deixada na plantação, levando um tempo considerável para degradar. Devido à alta umidade presente no pseudocaule da bananeira, se descartado incorretamente, esta pode levar a proliferação de fungos junto aos bananais<sup>[1,2]</sup>.

O uso da FB tem sido estudada e proposta como agentes de reforços em compósitos poliméricos por diversos autores<sup>[1-8]</sup>. Becker et al. (2011) avaliaram compósitos poliméricos de polipropileno (PP) reforçados com fibras de bananeira, e relataram a eficiência no uso do agente compatibilizante polipropileno graftizado com anidrido maléico – PPgMA independente da ordem de misturas dos compósitos, com ganhos na estabilidade

**Autor para correspondência:** Ademir J. Zattera, Laboratório de Polímeros – LPOL, Centro de Ciências Exatas e Tecnologias – CCET, Universidade de Caxias do Sul – UCS, CEP 95070-560, Caxias do Sul, RS, Brasil, e-mail: ajzatter@ucs.br; mvzimme@ucs.br

térmica, propriedades mecânicas e melhor interface polímero-fibra<sup>[1]</sup>. Em outras matrizes termoplásticas, tais como poli(cloreto de vinila) – PVC, Balzer et al. (2007) avaliaram o efeito do uso de fibras de bananeira nos compósitos com ganhos consideráveis nas propriedades mecânicas do compósito em relação ao polímero puro, porém com propriedades de interface polímero-fibra moderadas e a ser aprimorado ainda<sup>[2]</sup>.

As propriedades dos materiais compósitos fibrosos são fortemente dependentes das propriedades da fibra, bem como sobre os seus parâmetros microestruturais, tais como o diâmetro, comprimento, distribuição, fração de volume, arranjo e orientação das fibras nos compósitos, assim como as propriedades de interface entre o polímero e a fibra. Devido às características hidrofílicas das fibras vegetais, seu uso em compósitos poliméricos de matriz predominantemente hidrofóbica pode ocasionar baixo desempenho na interface entre a matriz e a fibra. Esta baixa adesão interfacial está associada a baixa polaridade e afinidade química entre a matriz e a fibra vegetal, o que ocasiona a formação de vazios na interface e iniciação de falhas que comprometem o desempenho mecânico dos compósitos. O aperfeiçoamento da interface polímero-fibra pode ser aprimorado com o uso de agentes compatibilizantes, que tem como função promover ligações químicas covalentes e/ou ligações secundárias do tipo ácido-base ou pontes de hidrogênio entre as fases da matriz e da fibra e podem ainda alterar a energia superficial do reforço para permitir um molhamento eficiente da fibra pela matriz polimérica<sup>[5,9,10]</sup>. Outro processo para promover melhor adesão entre o polímero e a fibra vegetal é o tratamento químico diretamente da fibra vegetal, que traz como consequência a extração de ceras oleofínicas de baixo peso molecular menos estáveis presentes na fibra vegetal<sup>[5]</sup>.

A escolha do tratamento químico utilizado diretamente na FB tem sido tema de muitos trabalhos recentemente, e entre os tratamentos químicos mais estudados destacam-se o tratamento alcalino com diferentes concentrações de hidróxido de sódio (NaOH), a associação de NaOH com cloreto de benzoíla, tratamento com silano, permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) e ácido esteárico. Grande parte dos estudos relata a eficiência do tratamento com NaOH com ganhos nas propriedades mecânicas dos compósitos e o baixo custo deste tratamento<sup>[3,5,6,11]</sup>.

Em geral, compósitos poliméricos são materiais constituídos de duas ou mais fases, sendo geralmente o polímero a fase contínua (matriz) e as fibras o agente de reforço<sup>[12]</sup>. Em compósitos poliméricos expandidos, ou compósitos poliméricos celulares, existe uma terceira fase, que são os espaços vazios compostos de ar no interior das paredes celulares dos compósitos, e são denominados células. São escassos os estudos realizados com estes novos tipos de compósito expandido, e este novo grupo de compósitos pode apresentar características interessantes, tais como a densidade do compósito reduzida, melhores propriedades térmicas, acústicas, resistência ao impacto e absorção de líquidos. O processo de produção de compósitos celulares geralmente está associado com a incorporação de agentes expansores durante o processamento do compósito. Estes agentes

expansores podem ser físicos, que são líquidos de baixo ponto de ebulição, ou químicos que são compostos que se decomponem com a ação do calor e liberam gases como o nitrogênio e CO<sub>2</sub><sup>[12-15]</sup>.

Diante do exposto o objetivo deste trabalho é avaliar a melhor concentração no tratamento a base de NaOH na FB e seu uso em compósitos expandidos, avaliando suas propriedades térmicas, morfologias, físico químicas e mecânicas.

## Experimental

### Materiais

As fibras de bananeira (FB) foram obtidas através da extração do pseudocaucho da bananeira, do tipo prata, coletado no sul do Brasil/RS. A fibra foi submetida à lavagem com solução alcalina de NaOH, nas concentrações de 1, 5 e 10% (m/v), por 1 hora a temperatura de 21 °C. Após as fibras foram enxaguadas com água destilada e seca em estufa a 70 °C por 5 horas e cortadas no tamanho de 2 cm. O poli(etileno-co-acetato de vinila), EVA *grade* 1825, com 18,8% de acetato de vinila (AV), fornecido pela Quattor S.A. O agente compatibilizante PEADgMA, *grade* Polybond 3029, com teor de anidrido maleico de 1,6% em massa, fornecido pela Chemtura. O agente expansor químico azodircarbonamida (ACA) ativado com óxido de zinco (ZnO) fornecido pela Inbra Indústria Química Ltda. O agente reticulante peróxido de dicumila, *grade* DCP 40 SAP e o agente lubrificante (Lub), *grade* Retiflux foram fornecidos pela Retilox Química Especial Ltda.

### Preparação das amostras

O agente compatibilizante PEADgMA foi adicionado ao EVA, 2% em massa, através de uma extrusora monorosca SEIBT, modelo ES35, L/D 20, com perfil de temperatura de 90, 120, 140 e 140 °C e velocidade de rotação da rosca de 60 rpm.

O processo de incorporação da FB (10 pcr) ao EVA/PEADgMA ocorreu através de um moinho de rolos aberto, desenvolvido pela Universidade de Caxias do Sul (UCS), previamente aquecido na temperatura de 85 °C no cilindro posterior e 65 °C no cilindro anterior para que não ocorresse adesão da banda no cilindro anterior. O processo de mistura dos compósitos expandidos, utilizando o moinho de rolos aberto, consistiu em adicionar sequencialmente cada um dos componentes da formulação na seguinte ordem e concentração, em partes por cem de resina (pcr): EVA / PEADgMA (98 / 2 pcr), FB (0, 10, 20 e 30 pcr), lub (1 pcr), ativador ZnO (1 pcr), ACA (2 pcr) e DCP (2 pcr). O tempo médio de mistura foi de 10 a 12 minutos.

Após a mistura, os compostos de EVA foram conformados em pré-formas através de uma prensa aquecida, marca Schulz, com temperatura de 115 °C, por 5 minutos e 5 toneladas de fechamento, utilizando um molde vazado na dimensão de 140×160×3 mm. O peso médio da pré-forma foi de 80 ± 2 g. Para produção dos compósitos expandidos, a pré-forma foi colocada em moldes para expansão, com dimensões do molde A

de 150×170×6 mm e do molde B de 150×170×12 mm. A expansão ocorreu livre de pressão a temperatura de 175 °C. O tempo de permanência da amostra na termoprensa foi de 20 e 40 minutos para o molde A e B, respectivamente.

### Caracterização

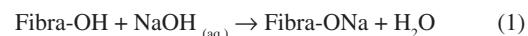
A FB antes e após o tratamento alcalino foi caracterizado por perda de massa, espectroscopia por transformada de Fourier (FTIR) utilizando um equipamento THERMO SCIENTIFIC, modelo NICOLET iS10, utilizando pastilhas de KBr. As amostras foram avaliadas na região de 4000 – 400 cm<sup>-1</sup>, com resolução de 4 cm<sup>-1</sup>. As propriedades térmicas das FB foram avaliadas por termogravimetria (TGA) utilizando um equipamento SHIMADZU, modelo TGA-50, com taxa de aquecimento de 10 °C·min<sup>-1</sup>, e rampa de aquecimento de 0 a 600 °C, sob atmosfera de N<sub>2</sub> (50 mL·min<sup>-1</sup>). A morfologia da FB, dos compósitos e dos compósitos expandidos foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando um equipamento SHIMADZU, modelo superscan SS-550, revestidas com Au. O software utilizado para medição do tamanho das células nos compósitos celulares foi o Image Tools for Windows, versão 3.00. Os ensaios mecânicos usados foram o de resistência ao rasgo e tração, utilizando um equipamento universal de ensaio, marca EMIC DL2000, conforme norma ASTM D624-00 e ASTM D638-10, respectivamente. A velocidade do ensaio foi de 500 mm·min<sup>-1</sup> e célula de carga de 20 kN. O modelo de corpo de prova adotado para o ensaio de resistência ao rasgamento foi do tipo C e para o ensaio de tração foi adotado o corpo de prova de modelo tipo IV. Os ensaios foram realizados em cinco corpos de prova para cada amostra. Outro ensaio de dureza (medida na superfície da amostra – pele) foi realizado com um durômetro TECLOCH, modelo GS 702, Tipo A, conforme norma ASTM 2240-05. O ensaio foi realizado em 10 pontos diferentes dos compósitos.

## Resultados e Discussão

### Influência do tratamento químico na FB

O tratamento químico com NaOH traz como consequências na FB a extração de componentes menos estáveis, tais como ceras e óleos de baixo peso molecular, assim como a probabilidade da remoção parcial da hemicelulose e lignina, dependendo das condições do tratamento<sup>[16]</sup>. Uma forma de avaliar a remoção desses componentes da fibra vegetal após tratamento químico é através de ensaio gravimétrico pela perda de massa após o tratamento químico na fibra. A fibra tratada com 1% de NaOH perdeu 21,43% de massa após o tratamento. A fibra tratada com 5% de NaOH perdeu 41,43% e a fibra tratada com 10% de NaOH perdeu 58,0% de massa. Observa-se uma maior perda de massa com o aumento da concentração da solução alcalina de NaOH no tratamento da FB. Esta perda de massa está associada com a maior concentração de NaOH possibilitar maior solubilização dos componentes menos estáveis da FB. A ação do tratamento alcalino também altera o caráter

hidrofílico da fibra de bananeira, e pode ser representado pelo seguinte mecanismo de reação<sup>[5,11]</sup>:

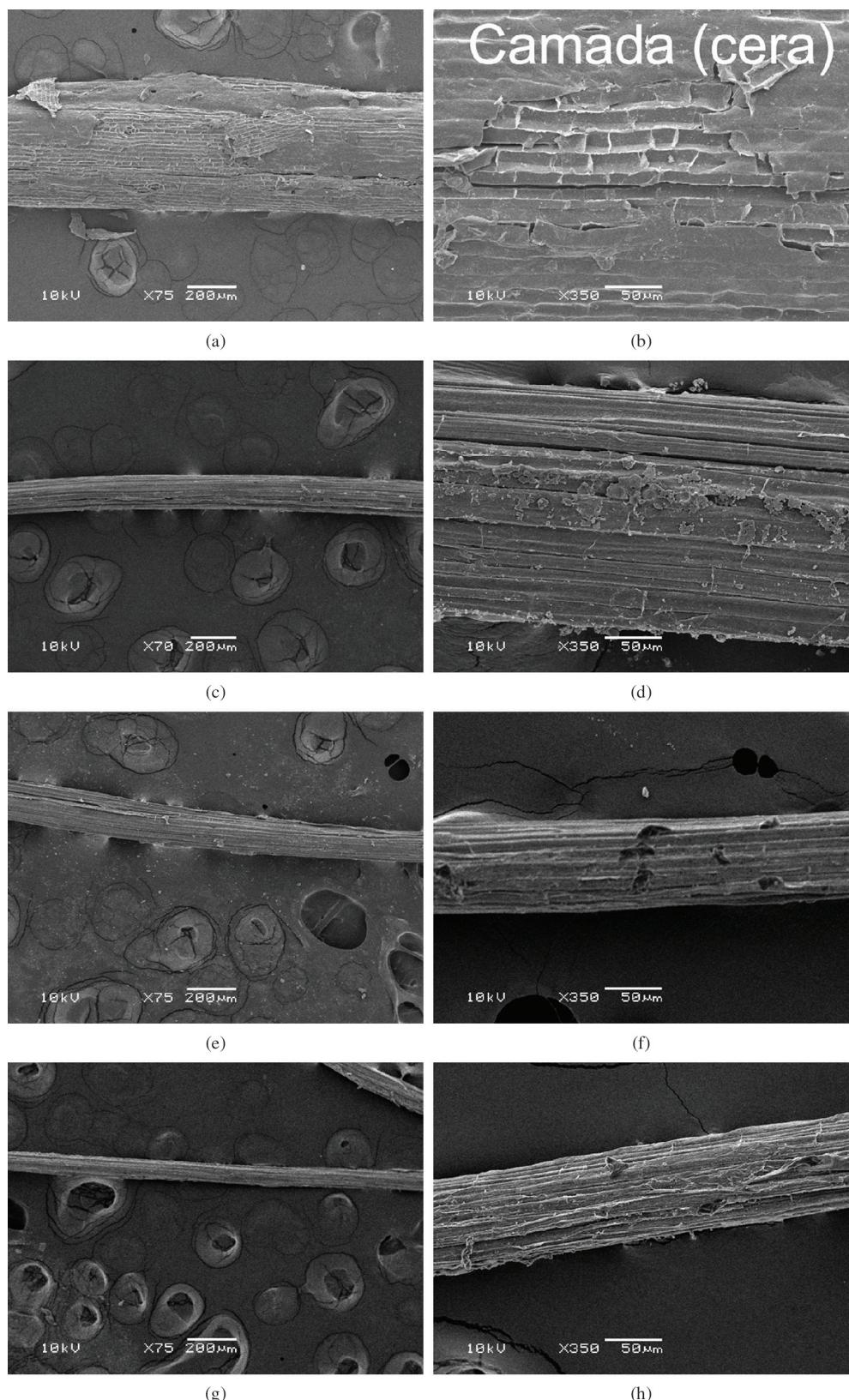


A morfologia das FB antes e após o tratamento químico com a solução de NaOH é apresentado na Figura 1. Observa-se na Figura 1a uma camada superficial envolvendo a FB não tratada, provavelmente composta por ceras de baixo peso molecular, melhor visualizada na maior ampliação da Figura 1b. De acordo com Paul et al. (2010), estas ceras são compostas por diversos tipos de alcoóis e formam uma camada de proteção nas fibras que conferem um caráter oleofílico e hidrofóbico na superfície da fibra, o que dificulta a sua adesão ao polímero<sup>[6]</sup>. Após o tratamento com a solução de NaOH, observa-se a ausência desta camada (cera) na superfície da fibra com redução do diâmetro da fibra com o aumento do teor de NaOH e formação de fibrilas (separação em fibras de menor diâmetro) que pode ser atribuído à possível remoção parcial de hemicelulose e lignina que atuam como cementadores nas fibras vegetais<sup>[5,16]</sup>.

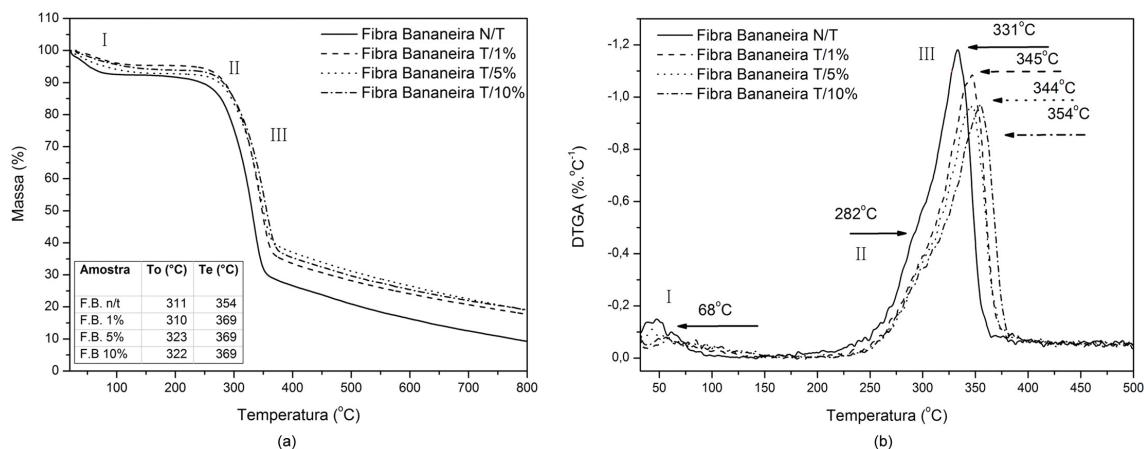
A Figura 2 apresenta os termogramas da fibra de bananeira antes e após o tratamento alcalino. A degradação da FB ocorre em três estágios, sendo que o primeiro, entre 60 a 100 °C refere-se à evaporação da água e extractos das fibras, o segundo estágio, observado somente na FB não tratada, ocorre entre 170 a 300 °C, está relacionado à despolimerização da hemicelulose e quebra das ligações glicólicas da celulose. O terceiro estágio, entre 300 a 380 °C, está relacionado à decomposição da celulose e dos subprodutos formados no segundo estágio<sup>[17]</sup>. A menor estabilidade térmica da FB não tratada está associado a maiores concentrações de hemicelulose, ceras e outros componentes de menor massa molar, que possuem temperatura de decomposição menor em relação à celulose. Após o tratamento químico, partes desses componentes são extraídos da fibra, promovendo uma maior estabilidade térmica, verificada pelo aumento da temperatura de início (To) e final (Te) de degradação do estágio III na decomposição da FB e observada através do deslocamento para a direita da temperatura do pico da DTG nas FB tratadas, resultado atribuído a maior concentração de celulose remanescente nas FB tratadas<sup>[18]</sup>.

Para confirmar a remoção dos componentes de menor massa molar na FB, foi realizada a análise por infravermelho e na Figura 3 são apresentados os espectros de infravermelho da FB antes e após o tratamento alcalino. A FB é composta basicamente por alcenos, ésteres, aromáticos, cetonos e álcoois com diferentes grupos funcionais de oxigênio. A presença da banda 3400 cm<sup>-1</sup> relaciona-se a presença do grupamento OH. A banda 2920 cm<sup>-1</sup> está relacionada com ao grupo C-H, a banda em 1635 cm<sup>-1</sup> está relacionado ao estiramento do grupo C=C do anel benzênico e a banda 1058 cm<sup>-1</sup> é relacionada ao estiramento do grupo C-O-C<sup>[16]</sup>.

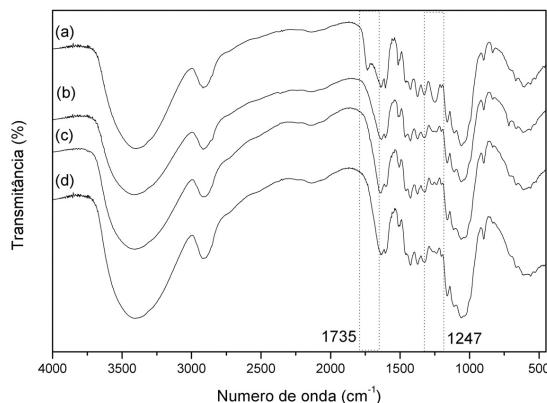
O efeito mais notável do tratamento alcalino na FB nos espectros de FTIR é a ausência dos picos 1735 e 1247 cm<sup>-1</sup>, os quais estão relacionados com a presença da carbonila (C=O) e ácidos carboxílico (COOH),



**Figura 1.** Morfologia da FB, com ampliação de 75 x e 350 x, da (a) e (b) FB n/t; (c) e (d) FB t. 1%; (e) e (f) FB t. 5% e (g) e (h) FB t. 10%.



**Figura 2.** Resultados da análise termogravimétrica da Fibra de bananeira antes após o tratamento alcalino. (a) TGA e (b) DTG. Legenda: To (temperatura de início da degradação), Te (temperatura final de degradação).



**Figura 3.** Espectros de FTIR da FB (a) não tratada, (b) 1%, (c) 5% e (d) 10% de NaOH.

respectivamente. Ambos os grupos são estão presentes na composição da hemicelulose e lignina<sup>[6]</sup>.

A influência do tratamento químico das FB nas propriedades mecânicas dos compósitos é apresentada na Tabela 1. A presença da FB no EVA aumenta a rigidez do compósito, conforme observado pelo aumento do módulo elástico, porém reduz a resistência à tração e rasgo quando comparadas ao EVA puro. Os compósitos produzidos com a FB tratada com 1% e 5% de NaOH apresentaram propriedades mecânicas semelhantes entre eles e com pequeno acréscimo em comparação ao compósito produzido com a FB não tratada. Porém, o compósito produzido com a FB tratada com 10% NaOH apresentou um decréscimo da resistência à tração, assim como a de resistência ao rasgo quando comparado aos demais compósitos com as FB tratadas, evidenciando um limite de concentração de NaOH no tratamento alcalino, e altas concentrações de NaOH proporcionam efeitos degradativos na FB, como corroborado pela perda de massa de 58% da fibra após tratamento.

Em geral as propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com fibras são influenciadas pela adesão interfacial entre a matriz polimérica e a fibra utilizada, e quanto maior a adesão da fibra ao polímero, maior a

homogeneidade e a resposta mecânica do compósito<sup>[19]</sup>. A Figura 4 ilustra a micrografia da fratura criogênica do compósito produzido com a FB tratada com 1% de NaOH, onde observa-se que os compósitos apresentaram regiões onde houve uma variação da eficiência de adesão, com boas e pobres propriedades de adesão interfacial polímero-fibra, mesmo com a adição do agente compatibilizante e tratamento químico da FB e pode estar relacionado com o decréscimo das propriedades mecânicas de tração e rasgo dos compósitos em relação ao EVA puro. Todos os compósitos produzidos com FB apresentaram o mesmo comportamento de interface.

#### Caracterização dos compósitos e compósitos celulares de EVA produzidos com a FB, tratada com 1% NaOH, com diferentes teores de fibra

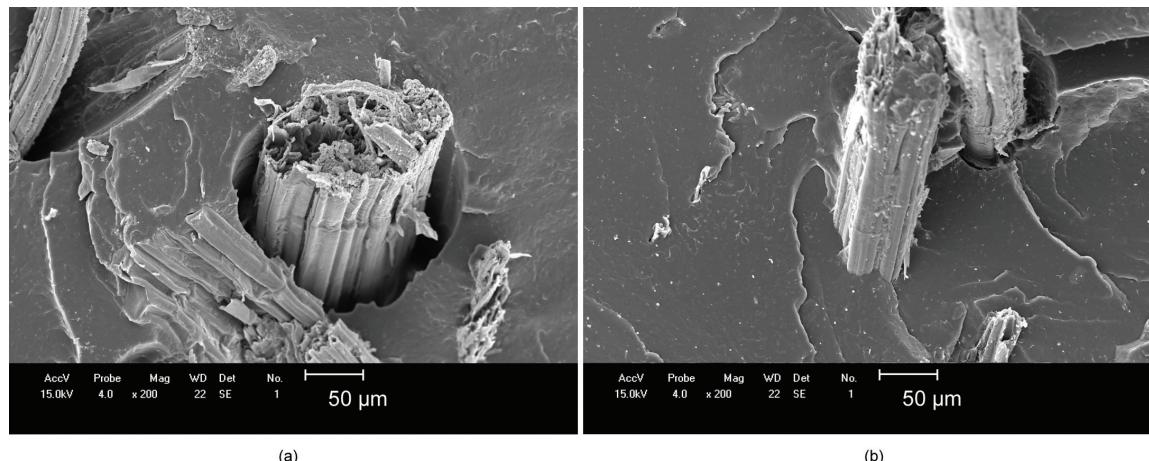
A morfologia de uma espuma é um parâmetro importante uma vez que a maioria das propriedades, tais como as mecânicas, dependem da organização, distribuição e dimensão das células. Em geral nos materiais celulares, conforme se distribui a estrutura celular, diferentes propriedades podem ser obtidas, entre estruturas de células abertas e fechadas. Espumas de células abertas possuem a capacidade de absorver líquidos e em geral, menores densidades, enquanto espumas de células fechadas possuem uma resistência mecânica e capacidade de isolamento térmico e acústico maior em relação às espumas de células abertas<sup>[20]</sup>.

As imagens da Figura 5 mostram a morfologia dos compósitos de EVA com 30 pcr de FB, nos 3 moldes utilizados no processamento. O molde de expansão tem influência direta na capacidade de expansão, densidade e morfologia celular do compósito expandido. O compósito produzido com o molde A apresenta em geral menor quantidade de células por micrografia, ao passo que os compósitos produzidos com o molde B apresentaram maior quantidade de células e maior tendência de formação de células abertas.

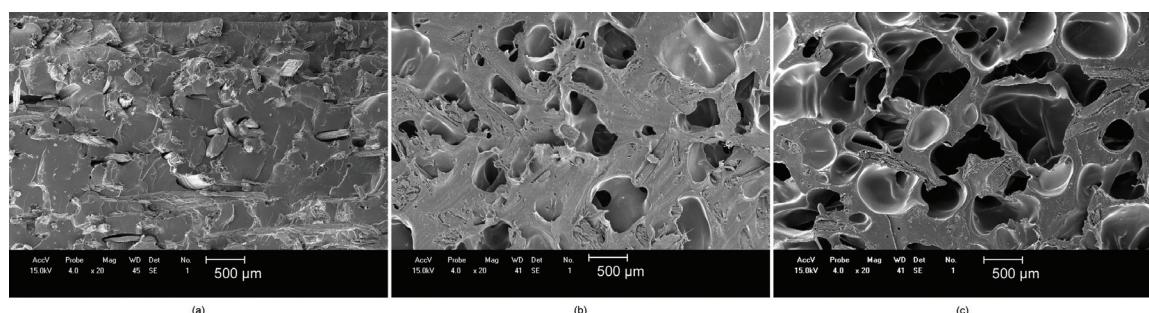
As propriedades físicas e mecânicas dos compósitos estão apresentadas na Tabela 2. A densidade aparente é um parâmetro que caracteriza a razão entre o conteúdo sólido e gasoso em uma espuma, e tem influência direta

**Tabela 1.** Propriedades mecânicas de tração e rasgo dos compósitos com 10 pcr de FB.

Amostra	Resistência à Tração (MPa)	Módulo Elástico (MPa)	Resistência ao Rasgo (N.mm <sup>-1</sup> )
EVA	11,61 ± 0,75	42 ± 4,3	68,73 ± 2,43
EVA/FB n/t	7,92 ± 0,90	198 ± 68,7	57,71 ± 3,02
EVA/FB t.1%	8,09 ± 0,73	282 ± 64,61	63,35 ± 3,56
EVA/FB t.5%	8,02 ± 0,63	224 ± 77,4	63,18 ± 2,74
EVA/FB t.10%	6,49 ± 0,29	185 ± 95,0	58,89 ± 1,30



**Figura 4.** Microscopia de MEV do EVA/FB, tratado com 1% NaOH, com ampliação de 200 x.



**Figura 5.** Microscopia de MEV do (a) EVA/FB 30, (b) e-EVA/FB 30 – molde A e (c) e-EVA/FB 30 – molde B, com ampliação de 20 x.

**Tabela 2.** Propriedades físicas e mecânicas do EVA, compósitos e dos compósitos expandidos com diferentes moldes.

Amostras	Densidade (g.cm <sup>-3</sup> )	Resistência ao Rasgo (N.mm <sup>-1</sup> )	Resistência específica ao Rasgo (g.cm <sup>-3</sup> ) / (N.mm <sup>-1</sup> )	Dureza na pele (Shore A)
EVA	0,905 ± 0,01	74,8 ± 3,3	82,7 ± 3,70	77,6 ± 1,7
e-EVA*	0,436 ± 0,02	27,1 ± 3,1	62,1 ± 7,16	35,0 ± 4,4
e-EVA**	0,336 ± 0,03	21,7 ± 1,6	64,6 ± 4,82	25,3 ± 5,3
EVA/FB 10	0,880 ± 0,02	80,1 ± 4,2	91,0 ± 4,88	85,7 ± 2,7
e-EVA/FB 10*	0,681 ± 0,06	53,4 ± 10,5	83,9 ± 10,9	71,2 ± 5,1
e-EVA/FB 10**	0,285 ± 0,02	23,3 ± 1,9	81,9 ± 6,91	39,5 ± 9,1
EVA/FB 20	0,900 ± 0,01	74,7 ± 4,6	83,0 ± 5,17	90,8 ± 2,4
e-EVA/FB 20*	0,623 ± 0,02	38,0 ± 4,3	60,9 ± 6,90	79,4 ± 1,6
e-EVA/FB 20**	0,505 ± 0,09	21,1 ± 3,0	41,9 ± 6,09	65,5 ± 3,4
EVA/FB 30	0,914 ± 0,01	62,8 ± 2,7	68,7 ± 2,98	92,5 ± 1,4
e-EVA/FB 30*	0,693 ± 0,05	36,7 ± 4,7	53,0 ± 6,87	81,3 ± 2,5
e-EVA/FB 30**	0,739 ± 0,08	30,4 ± 2,5	41,1 ± 3,29	69,7 ± 2,6

\*Molde (a), \*\*Molde (b), e = expandido.

nas propriedades físicas, mecânicas, térmica, acústicas e elétricas<sup>[20]</sup>. Observa-se que o volume do molde tem influência na densidade aparente do compósito expandido em função da maior presença de espaços vazios na estrutura do compósito expandido. Os compósitos expandidos produzidos com FB tiveram maior densidade com o aumento do teor de fibra no molde B, devido a fato da fibra de bananeira aumentar a viscosidade da massa polimérica e restringir sua expansão. Já com o molde A não se observa variação significativa da densidade com o aumento do teor de fibra.

A resistência ao rasgo e a dureza estão relacionadas com a densidade do compósito, e observa-se que estas diminuem com a diminuição da densidade em função da presença de espaços vazios facilitarem a ação mecânica do rasgo e diminuição da dureza. As propriedades mecânicas de resistência ao rasgo específica em geral decrescem com o aumento do teor de FB, em função da maior densidade destes com o aumento do teor de FB e diminuição do tamanho das células. A dureza aumenta com o aumento do teor de FB em função da sua medição na pele (ou casca) ser uma região mais condensada de polímero e fibra em relação ao núcleo poroso. Essa região ocorre em função do molde restringir a expansão do compósito expandido e com isso proporcionar a condensação de regiões poliméricas em função da pressão exercida pelo gás proveniente do agente expansor. Quanto menor a capacidade de expansão, maior será a espessura dessa pele e consequente maior poderá ser a dureza no compósito. O aumento do teor de FB restringe a mobilidade do compósito e proporciona também aumento da dureza.

As melhores propriedades de resistência ao rasgo concentraram-se nos compósitos produzidos com 10 pcr de FB, principalmente levando em consideração a propriedade mecânica específica de resistência ao rasgo. As propriedades mecânicas de resistência ao rasgo da amostra EVA/FB com tratamento de 1% de NaOH na fibra expostas na Tabela 2 são superiores as propriedades expostas na Tabela 1 em função de nesta etapa de processamento estar presente na composição das amostras o peróxido de dicumila como agente reticulante, e sua presença proporciona ligações cruzadas na matriz polimérica o que aumenta as propriedades mecânicas do compósito.

## Conclusão

O tratamento alcalino proporciona na FB a extração de componentes menos estáveis, como a hemicelulose, lignina, ceras e óleos de baixo peso molecular, porém altas concentrações de NaOH podem causar efeitos degradativos na FB, o que ocasiona a perda nas propriedades mecânicas de resistência a tração dos compósitos. As micrografias eletrônicas de varredura mostram que os compósitos apresentam regiões de interface polímero-fibra com boas e pobres propriedades de adesão e pode estar relacionado com o decréscimo das propriedades mecânicas de resistência ao rasgo e tração dos compósitos em relação ao EVA puro. Em geral, as propriedades mecânicas dos compósitos expandidos decrescem com a diminuição da densidade em função da

maior presença de espaços vazios no interior do compósito. Nas propriedades mecânicas específicas de resistência ao rasgo, as melhores propriedades situaram-se com 10 pcr de FB em todos os moldes utilizados.

## Referências Bibliográficas

1. Becker, D.; Balzer, P. S.; Kleinschmidt, A. C. & Soldi, V. - Polímeros, **21**, p.7 (2011).
2. Balzer, P. S.; Vicente, L. L.; Briesemeister R.; Becker, D.; Soldi, V.; Rodolfo Junior, A. & Feltran, M. B. - Polímeros, **17**, p.1 (2007).
3. Haneffa, A.; Bindu, P.; Aravind, I. & Thomas, S. - J. Compos. Mater., **42**, p.1471 (2008).
4. Dikobe, D. G. & Luyt, A. S. - J. Appl. Polym. Sci., **103**, p.3645 (2007).
5. Paul, S. A.; Boudenne, A.; Ibos, L.; Candau, Y.; Joseph, K. & Thomas, S. - Compos. Part A, **39**, p.1582 (2008).
6. Paul, S. A.; Joseph, K.; Mathew, G. D. G.; Pothen, L. A. & Thomas, S. - Compos. Part A, **41**, p.1380 (2010).
7. Ibrahim, M. M.; Dufresne, A.; El-Zawawy, W. K. & Agblevor, F. A. - Carbohyd. Polym., **81**, p.811 (2010).
8. Liu, H.; Wu, Q. & Zhang, Q. - Technology, **100**, p.6088 (2009).
9. Poletto, M.; Junges, J.; Zattera, A. J.; Forte, M. M. C. & Santana, R. M. C. - "Efeito do tipo de óleo natural como agente compatibilizante nas propriedades mecânicas e térmicas de compósitos de PPr/pó de madeira", in: 11º Congresso Brasileiro de Polímeros - CBPol, p.2048-2053, Brasil, 16-20 Out (2011).
10. Catto, A. L. & Santana, R. M. C. - "Evaluation of coupling agent in load/matrix interaction: mechanical and morphological properties", in: IX Simpósio Argentino de Polímeros, SAP-2011, p.53-58, Bahia Blanca, Argentina, 15-18 Nov (2011).
11. Li, X. & Tabil, L. G.; Panigrahi, S. - J. Polym. Environ., **15**, p.25 (2007).
12. Zhang, H.; Risvi, G. M. & Park, C. B. - Adv. Polym. Tech., **23**, p.263 (2004).
13. Bledzki, A. & Faruk, O. - Compos.ites: Part A, **37**, p.1358 (2006).
14. Rizvi, G. M.; Park, C. B.; Lin, W. S.; Guo, G. & Pop-Iliev, R. - Polym. Eng. Sci., **43**, p.1347 (2003).
15. Pothen, L. A.; Thomas, S. & Groeninckx, G. - Compos. Part A, **37**, p.1260 (2006).
16. Barreto, A. C. H.; Costa, M. M.; Sombra, A. S. B.; Rosa, D. S.; Nascimento, R. F.; Mazzetto, S. E. & Fechine, P. B. A. - J. Polym. Environ., **18**, p.523 (2010).
17. Deepa, B.; Abraham, E.; Cherian, B. M.; Bismarck, A.; Blaker, J. J.; Pothen, L. A.; Leao, A. L.; Souza, S. F. & Kottaisamy, M. - Bioresour. Technol., **102**, p.1988 (2011).
18. Chattopadhyay, S. K.; Khandal, R. K.; Uppaluri, R. & Ghoshal, A. K. - J. Appl. Polym. Sci., **17**, p.1731 (2010).
19. Gwon, J. G.; Lee, S. Y.; Chun, S. J.; Doh, G. H. & Kim, J. H. - Compos. Part A, **41**, 1491 (2010).
20. Carvalho, G. & Frollini, E. - Polímeros, **9**, p.66 (1999).

Enviado: 07/12/12

Reenviado: 22/01/13

ACEITO: 23/01/13