



COMPORTAMENTO MECÂNICO EM FLEXÃO DE COMPÓSITOS PÓS-CURADOS DE POLIÉSTER INCORPORADOS COM FIBRAS CONTÍNUAS E ALINHADAS DE JUTA¹

Alice Barreto Bevitori²
Isabela Leão Amaral da Silva²
Felipe Perissé Duarte Lopes³
Sergio Neves Monteiro⁴

Resumo

Compósitos ambientalmente corretos, fabricados a partir de fibras naturais, estão entre os mais investigados e aplicados atualmente. No presente trabalho, investiga-se o comportamento mecânico de compósitos de matriz de poliéster reforçados com fibras contínuas e alinhadas de juta, através de testes de flexão. Conjuntos contendo separadamente 0, 10, 20 e 30% em volume de fibras de juta foram alinhados ao longo de toda a extensão de um molde e as placas destes compósitos foram obtidas juntamente com matriz poliéster. Os corpos de prova fraturados foram analisados em MEV e os resultados foram avaliados visando algumas propriedades de flexão com a incorporação de fibra de juta.

Palavras-chave: Compósitos de poliéster; Fibras de juta; Propriedades de flexão.

MECHANICAL BEHAVIOR IN BENDING OF COMPOSITE AFTER HEALED INCLUDED POLYESTER FIBER CONTINUOUS AND ALIGNED JUTE

Abstract

Environmentally correct composites, made from natural fibers, are among the most investigated and applied today. In this paper, we investigate the mechanical behavior of matrix composites of polyester reinforced with continuous fibers and lined jute, through tests of strength. Separate sets containing 0, 10, 20 and 30% by volume of jute fibers were aligned along the entire length of a mold and plates of these composites were obtained with polyester matrix. The fractured specimens were analyzed by SEM and the results were evaluated to show some flexural with the incorporation of jute fiber.

Keywords: Polyester composites; Jute fibers; Bending properties.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Doutorado, Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, CCT/UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, 28015-620, Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil.

³ Mestrando, LAMAV-CCT/UENF

⁴ PhD, Professor Titular, LAMAV – CCT/UENF.



1 INTRODUÇÃO

Ao decorrer dos anos o desenvolvimento mundial vem necessitando de materiais que apresentem custos baixos e que não prejudiquem o meio ambiente. Conflitos relacionados com a utilização de formas não renováveis de energia, estão aumentando o interesse de introduzir ao mercado materiais naturais em substituição aos sintéticos, pois os materiais sintéticos apresentam um maior consumo de energia em sua fabricação.

Aplicações de fibras naturais lignocelulósicas obtidas à base de vegetais e plantas estão recebendo uma elevada atenção como alternativa ambientalmente mais correta para substituir materiais não-recicláveis, que acarretam consumo intensivo de energia, como as fibras de vidro em compósitos.^(1,2) De fato, o mundo vem mostrando uma elevada tendência para substituir a fibra de vidro por fibras naturais em aplicações típicas de compósitos.^(3,4)

A utilização de fibras naturais apresenta várias vantagens em relação à fibra de vidro, como por exemplo, o custo mais barato, e devido às fibras naturais serem mais leves e não abrasivas aos equipamentos de processamento. Entre outras, essa fibra sintética apresenta um risco para a saúde quando inalado e sua produção está associada a emissões de CO₂, principal causador do efeito estufa e responsável pelo aquecimento global. Nenhuma destas deficiências se aplica às fibras lignocelulósicas extraídas de plantas, que são renováveis, biodegradáveis e não favorecem, em média, a emissão de CO₂, por absorverem este gás durante seu ciclo de vida.

A fibra natural lignocelulósica de juta vem sendo extensivamente investigada em várias pesquisas, como compósitos poliméricos, por ela reforçados.^(5,6) Além de não causarem problemas ao meio ambiente, os compósitos reforçados com este tipo de fibra residual, podem substituir produtos de madeira, trazendo várias vantagens, como evitar a devastação florestal. Além disto, estes compósitos poliméricos podem ainda ser utilizados em materiais de construção e peças de automóveis.^(7,8)

Então, para que se tenha um compósito suficientemente rígido para competir com produtos convencionais, como as chapas de aglomerado de madeira, somente um percentual limitado da fibra de juta pode ser incorporado na matriz polimérica.^(9,10) Isto significa que o custo final do compósito acabaria dependendo mais do seu processamento e da resina polimérica utilizada como matriz.

Como já mencionado as fibras juta são utilizadas como reforço de compósitos poliméricos devido à sua força específica relativamente alta, e elevada resistência ao impacto. Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar as propriedades mecânicas de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras contínuas e alinhadas de juta ensaiados em flexão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As fibras de juta investigadas no presente trabalho foram obtidas comercialmente fornecidas pela firma Brasileira Sisalsul. A Figura 1 ilustra uma típica planta de juta e as fibras extraídas do tronco.



Figura 1. (a) Planta típica de juta; (b) fibras extraídas do tronco.

As fibras de juta como recebida foram limpas e secas antes do uso. Os compósitos de 0, 10%, 20% e 30% em volume de fibras de juta alinhadas e contínuas foram fabricados através da acomodação das fibras em molde retangular de 152 x 122 x 10 mm e embebidas com a matriz poliéster preenchendo o molde até a fração de peso desejada, obtendo-se placas que serviram como corpos de prova. A resina líquida comercial de poliéster foi misturada com 0,5% peso do catalisador metil-etil-cetona. Cada placa teve tempo de cura de 24 horas sob pressão de 0,5 MPa e pós-cura de 60°C por 4 horas. Após a cura, a placa foi dividida em seis amostras, sendo cada uma composta de 20 mm de largura. Estas amostras foram ensaiadas por flexão em três pontos em uma máquina Emic, modelo DL10000, com uma taxa de deformação de $1.6 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$, e a relação da distância entre pontos de apoio para a espessura foi mantida em 9 cm e a velocidade do ensaio de 5 mm/minuto.

A resistência à flexão, σ_f , e o módulo de flexão, E_f , foram calculados através das seguintes equações:

$$\sigma_m = \frac{3F_m L}{2bd^2} \quad (1)$$

$$E_m = \frac{L^3 F_m}{4bd^3 e} \quad (2)$$

onde F_m é a força de resistência máxima, L a distância entre apoios, e , a extensão associada com a força máxima, b a largura e d a espessura do corpo de prova.

A superfície de fratura dos corpos de prova foi caracterizada, após cobertura com ouro, por microscopia eletrônica de varredura, MEV, em microscópio Shimadzu, modelo SSX-550 operando em uma voltagem de 15 kV para o feixe de elétrons secundários.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 ilustra o aspecto típico das curvas de força vs. deformação, obtidas nos ensaios de flexão de três pontos, para corpos de prova representativos das diferentes frações de fibras de juta. Nesta figura observa-se que, como esperado, a curva de flexão da resina poliéster pura é linear, correspondendo ao regime elástico até a ruptura, o que caracteriza um comportamento frágil. O mesmo acontece com a maioria das curvas dos compósitos com 10% e 20% de fibras de juta, como exemplificado na Figura 2, que também apresentam características frágeis. Isto significa que, ao se atingir o ponto de máxima resistência, a ruptura é súbita com imediata queda de praticamente toda a carga aplicada.

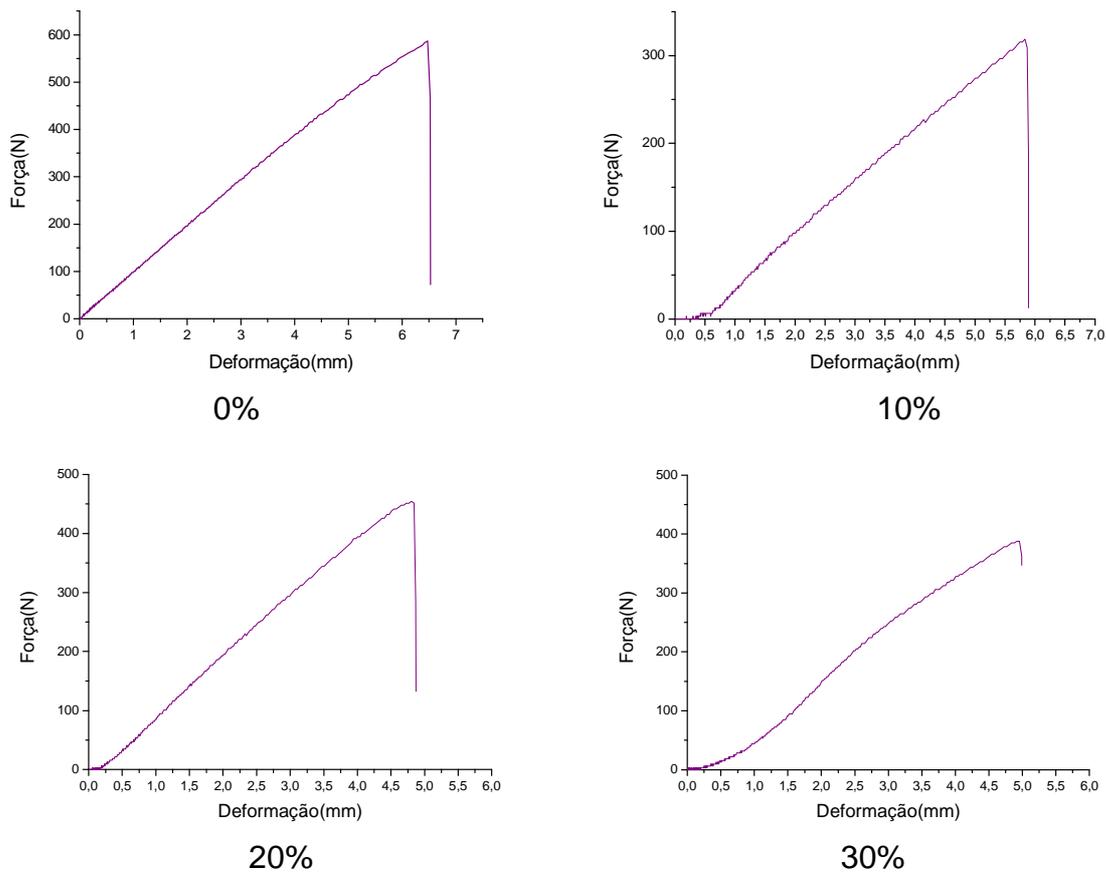


Figura 2 – Curvas de carga vs. deslocamento dos ensaios de flexão de compósitos de matriz poliéster reforçados com diferentes frações de fibras de juta.

Nos compósitos com 30% de fibra, como o exemplo da Figura 2, após um início linear, as curvas apresentam um trecho parabólico com suave inclinação característica de uma certa plasticidade. Além disto, ao se atingir o máximo não ocorre uma fratura súbita e a carga oscila no seu lento decréscimo. Isto se deve à efetiva resistência que o maior número de fibras oferece à propagação de trincas através da frágil matriz de poliéster. Ou seja, com 30% de fibra, não existirá mais um percurso fácil através das fibras que permita uma única trinca propagar-se imediatamente por toda a seção do corpo de prova para súbita ruptura, como acontece com os compósitos com 10% e 20% de fibra na Figura 2. Em conseqüência, a total ruptura dos corpos de prova com 30% de fibra de juta só ocorre após extensa deflexão plástica dos mesmos. Isto está associado a uma elevada tenacidade destes compósitos.

A partir de curvas como as da Figura 2, obteve-se o valor das forças máximas, F_m , e as deformações correspondentes, ϵ , e calculou-se, pelas Eq. [1] e [2], a tensão máxima, σ_m , e o módulo de elasticidade, E_m . A Tabela 1 apresenta as médias da resistência à flexão e módulo de elasticidade, resultantes de compósitos de poliéster com diferentes frações de volumes de fibra de juta.

Tabela 1: Resistência à flexão e módulo de elasticidade para compósitos de poliéster reforçados com fibras alinhadas e contínuas de juta

<i>Fração volumétrica de fibra de juta (%)</i>	<i>Resistência à flexão (MPa)</i>	<i>Módulo de Elasticidade (GPa)</i>
0	62,0 ± 6,0	2,28 ± 0,25
10	53,1 ± 10,7	2,47 ± 0,16
20	34,4 ± 16,3	1,06 ± 0,66
30	10,6 ± 7,3	0,20 ± 0,24

Com base nestes valores, construíram-se os gráficos de variação da resistência à flexão e módulo de elasticidade dos compósitos em função da fração em volume de fibras de juta, como mostrado na Figura 3.

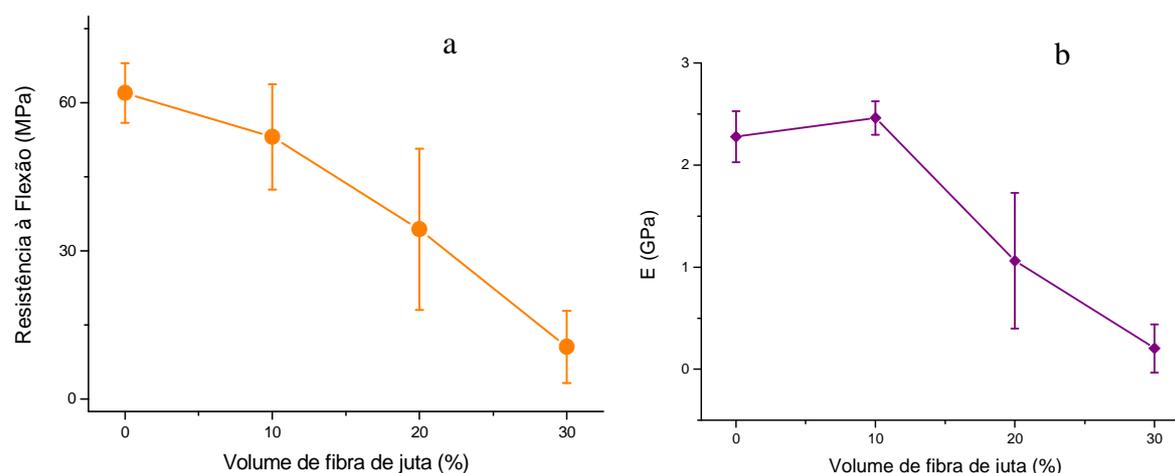


Figura 3 – Variação da resistência à flexão dos compósitos de matriz poliéster com quantidade incorporada de fibras de juta.

No gráfico da Figura 3 (a) nota-se um decréscimo na resistência dos compósitos em relação à resistência da resina poliéster pura, 0% de fibra. Com a incorporação de fibras de juta, a matriz poliéster atinge, em média, resistências inferiores a 60 MPa. É importante mencionar que os valores obtidos podem estar relacionados a uma baixa adesão das fibras à resina, o que ocasiona, em princípio, uma dúvida quanto à eficácia do reforço das fibras de juta na matriz poliéster. Isto sugere que uma investigação, com um número de corpos de prova bem maior do que os seis (para cada fração) do presente trabalho, deva ser realizada.

Esta interpretação dos resultados dos ensaios de flexão na Figura 3 indicaria que as fibras alinhadas de juta não se constituem em efetivo reforço para compósitos com matriz de poliéster. Isto é, à medida que se incorpora fibra à matriz ocorre um decréscimo marcante na resistência, o que pode ser atribuído aos vazios decorrentes do processamento manual que dificulta a impregnação das fibras pela resina.

O módulo de elasticidade (Figura 3 b), aumenta para o compósito de uma fração de volume de 10% e depois diminui para as demais frações volumétricas. Esse comportamento do módulo de elasticidade ocorre, pois as frações de volume de fibra acima de 20% são difíceis de serem processadas para garantir uma estrutura composta sem poros e falhas.^(11,12)

O comportamento na fratura dos compósitos investigados revelou alguns detalhes importantes. A Figura 4 mostra o aspecto visual dos compósitos que foram rompidos em ensaios de flexão. Nesta figura, os principais aspectos a serem observados são a ruptura frágil dos corpos de prova de 0 e 10% de fibra, bem como a aparente não-ruptura das espécies de 20 e 30% de fibra.⁽¹³⁾ Na verdade, até 10% de fibra, a fratura ocorre transversalmente na matriz de poliéster e como as fibras de juta são relativamente poucas não oferecem um obstáculo à propagação de trincas através da matriz. Em contrapartida, para frações volumétricas acima de 20% e 30% de fibra (Figura 4), a fratura ocorre principalmente por delaminação entre as fibras e a matriz.



Figura 4 – Aspecto visual dos corpos de prova rompidos: (a) visão frontal; (b) visão lateral.

A Figura 5 mostra micrografias típicas da ruptura de compósitos de 30% de juta em matriz poliéster, obtidas em MEV. Nesta figura, pode-se notar, com menor ampliação (Figura 5 a), a matriz de poliéster rompida com fibras incorporadas. Com maior aumento (Figura 5 b), pode-se ver com evidência a descolagem fibra / matriz. Esta parece ser uma consequência da tensão interfacial de cisalhamento relativamente baixa associadas à interação das fibras de juta com uma matriz polimérica.

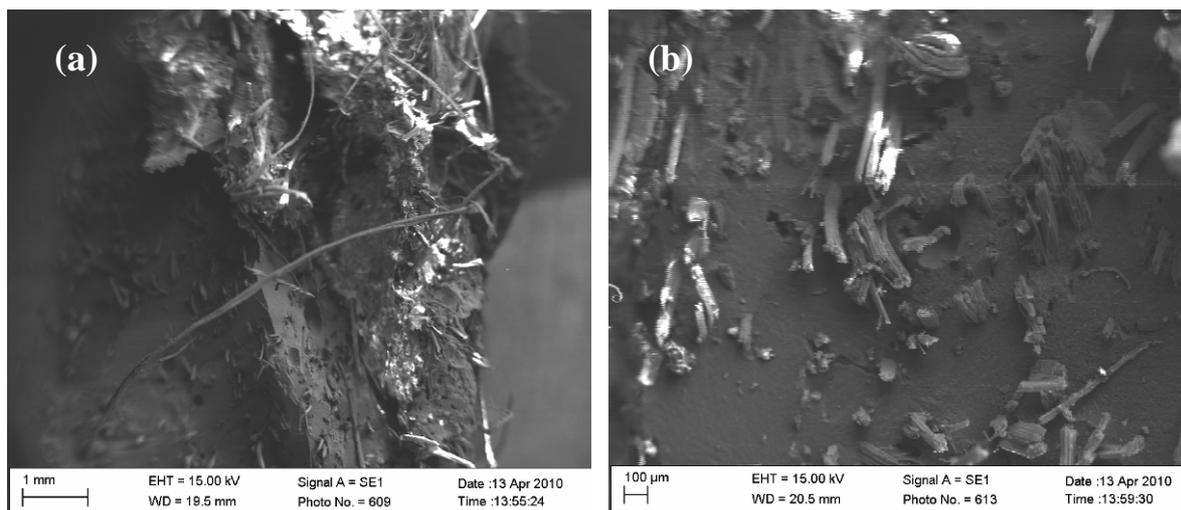


Figura 5 – Micrografia obtida em MEV de compósitos de 30% de fibra de juta reforçados com resina poliéster: (a) 30X e (b) 100X.

5 CONCLUSÃO

Compósitos de matriz poliéster incorporada com fibras alinhadas e contínuas de juta apresentam um decréscimo na resistência à medida que se aumenta a fração volumétrica de fibras. O módulo de elasticidade passa por um máximo para 10% em volume de fibra de juta e depois também decresce.

Incorporações de fibras de juta reduzem a resistência do compósito com matriz poliéster possivelmente devido a dificuldades de processamento manual que não garante boa impregnação das fibras pela resina poliéster.

As fibras de juta, embora tenham elevada resistência mecânica, estão associadas a uma fraca interface com a matriz de poliéster. Isto permite que trincas que esbarram nas fibras prossigam através da sua superfície, contribuindo para a ruptura do compósito.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao suporte financeiro e de bolsas concedidos pelo CNPq, CAPES e FAPERJ.

REFERÊNCIAS

- 1 Aquino, R.C.M.P., D'Almeida, J.R.M., Monteiro, S.N. (2001) Flexural Mechanical Properties of Piassava Fibers (*Attalea funifera*)-Resin Matrix Composites. **Journal of Materials Science Letters**, v. 20, pp. 1017-1019.
- 2 Bledzki, A.K., Gassan, J. (1999) Composites Reinforced with Cellulose-Based Fibers. **Progress in Polymer Science**, v. 24, pp. 201-274.
- 3 Mohanty, A.K., Misra M., Hinrichsen, G. (2000) Biofibers, biodegradable polymers and biocomposites: an overview. **Macromolecular Mat. And Engineering**, 276/277, pp. 1-24.
- 4 Monteiro, S.N., Lopes, F.P.D., Ferreira A.S., Nascimento, D.C.O. (2009) Natural fiber polymer matrix composites: cheaper, tougher and environmentally friendly. **JOM**, 61(1), pp. 17-22.

- 5 Kumar, A.P., Singh, R.P., Sarwade, B.D. (2005) Degradability of Composites, Prepared from Ethylene-Propylene Copolymer and Jute Fiber under Accelerated Aging and Biotic Environments. *Mat. Chemistry and Physics*, v. 92, pp. 458-469.
- 6 Wambua, P., Vangrimde, B., Lomov, S., Verpoest, I. (2007) The Response of Natural Fibre Composites to Ballistic Impact by Fragment Simulating Projectiles. *Composite Structures*, v. 77, pp. 232-240.
- 7 Hill, S. (1997) Cars that grow on trees. *New Scientists*, 153(2067), pp. 36-39.
- 8 Marsh, G. Next step for automotive materials. *Mater. Today*, v. 6, n. 4, p.36-43, 2003.
- 9 Mohanty, A.K., Khan, M.A., Hinrichsen, G. (2000) Influence of Chemical Surface Modification on the Properties of Biodegradable Jute Fabrics-Polyester Amide Composites. *Composites: Part A*, v. 31, pp. 143-150.
- 10 Mohanty, S., Verma, S.K., Nayak, S.K. (2006) Dynamic Mechanical and Thermal Properties of MAPE Treated Jute/HDPE Composites. *Composites Science and Technology*, v. 66, pp. 538-547.
- 11 Monteiro, S.N.; Aquino, R.C.M.P.; Lopes, F.P.D.; Carvalho, E.A.; D'Almeida, J.R.M. Comportamento mecânico e características estruturais de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas e alinhadas de curauá. *Revista Matéria*, v. 11, n. 3, p. 197-203, 2006.
- 12 Agarwal, B.D.; Broutman, L.J. **Analysis and Performance of Fiber Composites**, Nova York: John Wiley & Sons, 1990.
- 13 Ashbee, K.H.G. **Fundamental Principles of Fiber Reinforced Composites**, Lancaster, Inglaterra: Technomic Pub. Co. Inc., 1993