

ENSAIOS DE IMPACTO IZOD EM COMPÓSITOS DE MATRIZ EPÓXI REFORÇADOS COM FIBRAS DE BANANEIRA¹

Foluke Salgado de Assis²
Frederico Muylaert Margem³
Rômulo Leite Loiola⁴
Sergio Neves Monteiro⁵

Resumo

Fibras de bananeira estão entre as lignocelulósicas naturais com grande potencial de resistência para utilização em compósitos poliméricos. O presente trabalho avalia a resistência ao impacto deste tipo de compósito. Corpos de prova do tipo Izod normalizados foram confeccionados com frações de até 30% em volume de fibras de bananeira alinhadas ao longo do comprimento. As fibras foram embutidas sob pressão em matriz de resina epóxi curadas à temperatura ambiente por 24 horas. Os corpos de prova foram ensaiados em pêndulo de impacto Izod e as superfícies de fratura analisadas por microscopia eletrônica de varredura. A resistência ao impacto aumentou linearmente com a quantidade relativa de fibra de bananeira reforçando o compósito. Este desempenho foi associado à dificuldade de ruptura imposta pelas fibras bem como ao tipo de trincas resultantes da interação fibra de bananeira/matriz de epóx que ajuda a absorver a energia do impacto.

Palavras-chave: Fibra de bananeira; Compósito; Matriz epóxi; Ensaio de impacto Izod.

IZOD IMPACT TESTS IN EPOXY MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH BANANA FIBERS

Abstract

Banana fibers are among the lignocellulosic natural fibers with great potential for use in polymer composites. This study evaluates the impact resistance of this type of composite. Specimens were made with up to 30% in volume of banana fibers aligned along the length in an Izod normalized mold. The fibers were embedded with epoxy resin and cured at room temperature for 24 hours. The specimens were tested in izod impact pendulum and the fracture surfaces examined by scanning electron microscopy. The impact resistance increased linearly with the relative amount of banana fiber reinforcing the composite. This performance was associated with the difficulty of breaking imposed by the fibers as well as the type of cracks resulting from the interaction banana fiber / epoxy matrix that corroborate the energy absorption at the impact test.

Keywords: Banana fiber; Composite; Epoxy matrix; Izod impact tests.

¹ Contribuição técnica ao 68^o Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil. Campos dos Goytacazes

² Estudante de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Bolsista de Iniciação Científica, Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF. Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

³ Engenheiro Eletricista. Pós-doutorando, Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

⁴ Técnico em Eletromecânica. Técnico do Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

⁵ Engenheiro Metalúrgico. Professor Titular, Instituto Militar de Engenharia, IME, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Fibras naturais lignocelulósicas tais como o algodão, linho, juta, rami e bananeira já há muito tempo vem sendo usadas na fabricação de produtos têxteis. No entanto, o desenvolvimento de fibras sintéticas no século XX trouxe novas opções para a indústria têxtil com vantagens em relação às fibras naturais. Em particular, a fibra de bananeira foi amplamente afetada pelas fibras sintéticas, como nylon e rayon, usadas principalmente na fabricação de cordas e carpetes. De fato, a utilização de fibra de bananeira entrou em forte declínio, o que contribuiu para diminuir as culturas destas plantas e aumentar incertezas para aqueles que vivem da mesma. Uma vez que a fibra de bananeira possui resistência mecânica relativamente elevada, entorno de 700 a 800 MPa, e rigidez mecânica de 27 a 32 GPa,⁽¹⁾ a mesma se torna uma possível alternativa na aplicação como reforço em matrizes poliméricas.

A incorporação de fibras de bananeira em matrizes poliméricas de compósitos foi investigada⁽²⁻⁴⁾ e verificou-se apresentar propriedades significativas. Estas propriedades estão diretamente relacionadas com a microestrutura da fibra, bem como as características físicas e químicas presentes em qualquer fibra lignocelulósicas.⁽⁵⁻⁷⁾ Entre essas características estão o baixo custo e a leveza. Além disso, ao contrário das fibras de vidro,⁽⁸⁾ as fibras lignocelulósicas são relativamente lisas e os procedimentos de processamento geram menos desgaste aos equipamentos. A questão ambiental é outro ponto a favor das fibras naturais, que são renováveis, recicláveis, biodegradáveis e neutras em relação às emissões de CO₂, fator considerado nos dias de hoje o principal responsável pelo aquecimento global.^(9,10)

O objetivo deste estudo foi uma avaliação preliminar, por meio de testes de Izod a energia de impacto, em conjunto com as características microestruturais associadas com a fratura de compósitos com matriz de epóxi incorporadas com fibras de bananeira contínuas e alinhadas. Estas fibras de bananeira contínuas tinham pelo menos 15 vezes o comprimento crítico necessário para garantir uma maior eficácia do reforço de um compósito.⁽¹¹⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Fibras extraídas do caule da planta de banana, da família *Musa Balbisiana* ilustrado na Figura 1, foram fornecidos como conjunto por um grupo de artesãos com base na Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF). A Figura 1 ilustra o aspecto das fibras de bananeira utilizadas.



Figura 1. Pseudocaule de banana (a) com um diâmetro médio de 15 cm X 30cm (b); secos ao sol durante cerca de uma semana (c) e no grupo de fibras após a trituração (d).

Inicialmente, com fibras foram aleatoriamente retiradas do feixe para uma avaliação estatística do diâmetro, como mostrado no histograma da Figura 2. A partir deste histograma um diâmetro médio de 0,2 mm foi obtido.

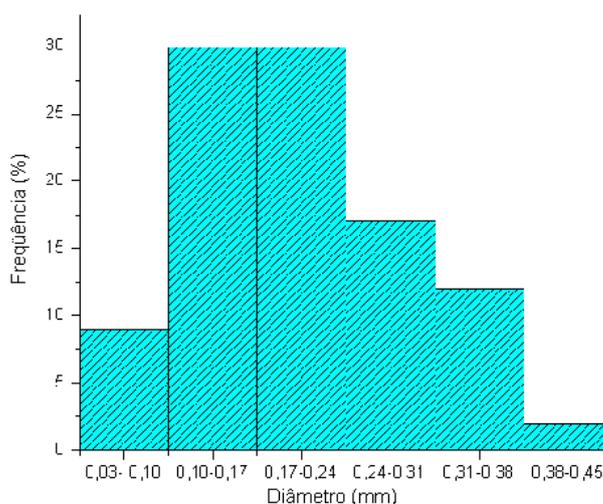


Figura 2. Distribuição estatística das fibras de bananeira.

Após a separação, a limpeza e secagem à temperatura ambiente, as fibras de bananeira foram misturadas em quantidade de 0, 10, 20 e 30% em resina de epóxi insaturado para preparar os compostos. As placas dos compósitos com espessura de 10 mm foram fabricadas num molde de aço retangular com dimensões 152 X 125 mm. As fibras foram mantidas alinhadas ao longo da dimensão de 125 mm, que corresponde ao comprimento final das amostras de teste. O processo de fabricação dos corpos de prova foi da seguinte forma: a resina epóxi, comercial do tipo éter diglicidílico do bisfenol A (DGEBA) endurecida com trietileno tetramina (TETA) na proporção estequiométrica de 13 partes de endurecedor para 100 partes de resina ainda liquido, foi vertida para as fibras de banana no interior do molde. O composto, assim formado, foi deixado pra curar durante 24 horas à temperatura ambiente. A placa de cada composto diferente foi então cortada de acordo com a direção do alinhamento das fibras em barras medindo 10 x 125 x 12,7 mm. Estas barras foram

utilizadas para preparação das amostras para ensaio de impacto Izod, de acordo com a norma ASTM D256.⁽¹²⁾

As amostras foram testadas em um impacto pêndulo Pantec com configuração Izod. A energia de impacto foi obtida utilizando um martelo de 11 J de energia para os compósitos com 0, 10, 20 e 30% de fibras. Para cada condição, em relação a uma fração de volume de fibras de 10 corpos de prova foram utilizadas e os resultados foram estatisticamente interpretados.

A superfície de fratura dos espécimes após o teste de impacto foi analisada por microscopia eletrônica de varredura, MEV, em um SSX-550 Shimadzu modelo do equipamento, operando com elétrons secundários em uma tensão de aceleração de 15 kV.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os resultados dos valores de impacto Izod de energia com os seus respectivos desvios padrão para epóxi puro e de compósitos com diferentes frações de volume de fibras de bananeira.

Tabela 1. Energia de Impacto Izod de matriz epóxi reforçado com fibras de bananeira

Fibras de bananeira (vol%)	Energia (J/m)
0	23,6 ± 6,7
10	52,7 ± 11,3
20	111,8 ± 10,8
30	167,5 ± 16,72

Com os resultados obtidos da Tabela 1, a Figura 3 mostra o gráfico com a variação de energia de Impacto Izod com a variação fração de volume de fibras de bananeira.

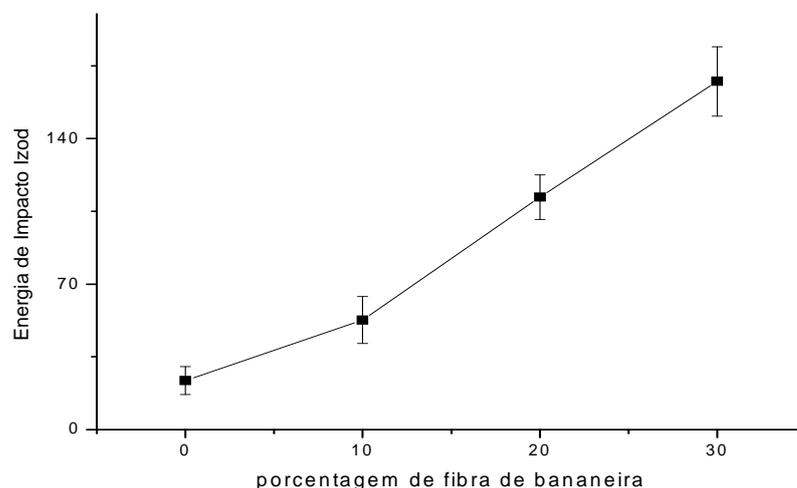


Figura 3. Energia de Impacto Izod em função da quantidade de fibras de bananeira.

Nesta figura deve notar-se que a incorporação de fibra de banana na matriz de epóxi, aumenta significativamente a tenacidade ao entalhe Izod do compósito. Os valores mostrados na Figura 3 são consistentes com os resultados apresentados na literatura para as fibras sintéticas,⁽¹³⁾ bem como para as fibras lignocelulósicas,^(14,15) em que a incorporação de fibras aumenta substancialmente a tenacidade dos

compósitos de matriz de polímero. A Tabela 2 compara os valores de energia de impacto Izod de compósitos poliméricos com diferentes fibras lignocelulósicas.

Tabela 2. Energia de Impacto Izod em compósitos reforçados com fibras naturais

Compósitos	Quantidade de fibras (%)	Energia de Impacto Izod (J/m)	Referencia
Banana/Epóx	30 (alinhada)	167,5	Esse artigo
Ramie/ Poliéster	30 (alinhada)	538	(14)
Coco/ Poliéster	30 (alinhada)	121	(16)
Curaua/ Poliéster	30 (alinhada)	190	(15)
Sisal/ Poliéster	30(alinhada)	2956	(17)

A Figura 4 mostra que, macroscopicamente, a incorporação de fibra de banana provoca um comportamento muito diferente em comparação com o epóxi puro (0% de fibra). Para fibras de frações 10, 20 e 30%, na Figura 4, as amostras não foram ainda completamente quebradas com o impacto. Isto é devido à característica relativamente elevada resistência à tração da fibra de bananeira, o que evita um colapso total. Por estas frações maiores de fibra, o espécime é dobrado suficientemente para permitir que o martelo de continuar a sua trajetória, enquanto a parte superior do espécime dobrado permaneceu ligada à outra parte, sem separação. A não ocorrência de ruptura no momento do impacto indica uma elevada tenacidade do compósito. Caso ocorresse a ruptura total, a energia absorvida seria ainda maior.

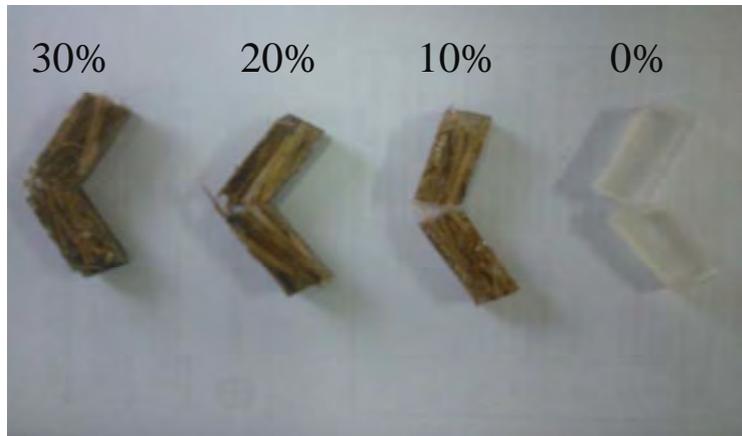


Figura 4. Aspectos macroestruturais dos compósitos de epóxi reforçados com diferentes frações de volume de fibra de bananeira.

A análise MEV da microestrutura na região de fratura resultante impacto Izod, Figura 5 permitiu uma melhor compreensão dos mecanismos responsáveis pela resistência da fibra de bananeira, em comparação com a resina pura. Em relação à resina pura, Figura 5, a aparência fratura é típica de ruptura de epóxi. Nesta figura, a banda lateral mais escura no lado direito corresponde ao sulco feito pelo dispositivo de corte. A parte esquerda, mais suave e mais clara, corresponde à fratura por impacto transversal.

O aspecto geral de MEV da superfície de ruptura por impacto Izod de uma amostra com 30% em volume de fibras de reforço de fibras de bananeira mostra que foram para fora da matriz de epóxi. Algumas fibras foram puxadas para fora a partir

da matriz por propagação de fissuras através da superfície devido à tensão interfacial relativamente baixo. A propagação da fissura longitudinal resulta em dois aspectos favoráveis para aumentar a energia absorvida durante o impacto. Em primeiro lugar, as zonas longitudinalmente separadas são maiores do que o corte através da matriz. Isto está associado com uma energia mais elevada e, por conseguinte, uma maior resistência ao impacto.⁽¹⁴⁻¹⁹⁾ Segundo, as fibras de bananeira, sendo mantidos intactos, impedem a separação da amostra em duas partes (Figura 4), também contribui para aumentar a resistência ao impacto.

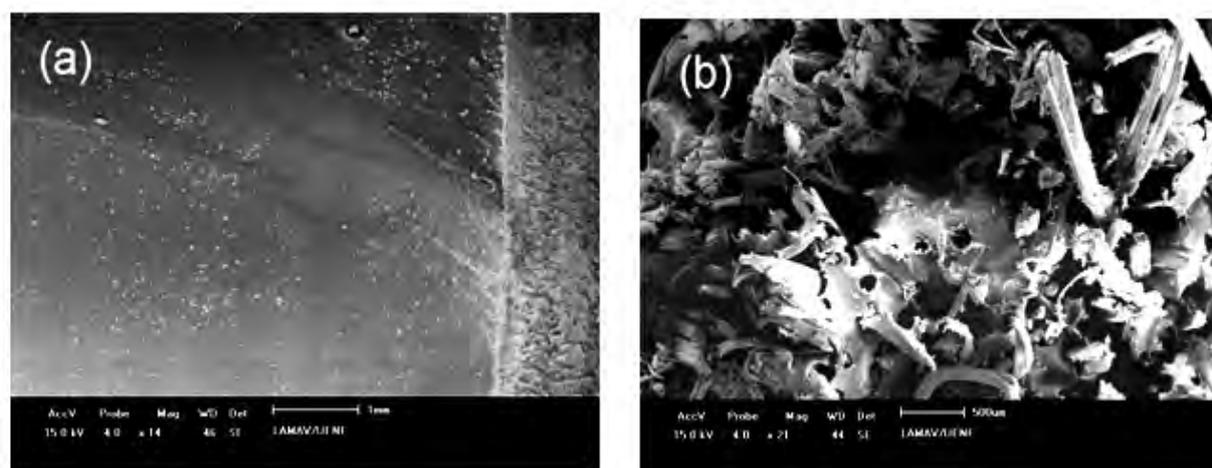


Figura 5. Superfície de Impacto fraturada da (a) espécie de resina epóxi pura e (b) composto com 30% em volume de fibras de bananeira.

4 CONCLUSÕES

- Compósitos feitos de fibras contínuas e alinhados de fibras de bananeira utilizadas como reforço de matriz epóxi mostrou um aumento quase linear na energia, medida por testes de impacto Izod, em comparação com o epóxi puro.
- A incorporação de 30% de fibra de banana na matriz de epóxi melhora significativamente a tenacidade do compósito, 167,5 J / m, em comparação com a resina de epóxi puro, com 23,6 J / m.
- Juntamente com a retenção de algumas fibras de bananeira inteiras em cima do impacto, os resultados baixos de resistência interfacial em maior energia absorvida devido à propagação de fissuras na interface fibra / matriz, permitindo a formação de uma maior área de fratura longitudinal em relação a uma fratura transversal, que deve ocorrer na matriz para quebrar as fibras.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Faperj, CNPq e Capes.

REFERÊNCIAS

- 1 SATYANARAYANA, K.G.; GUIMARÃES, J.L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. Composites: Part A, v.38, p. 1964-1709, 2007.

- 2 PAUL, S.A. et al. Effect of fiber loading and chemical treatments on thermophysical properties of banana fiber polypropylene commingled composite materials. *Composites: Part A*, v.39, p. 1582-1588, 2008.
- 3 ZAINUDIN, E.S. et al. Thermal degradation of banana pseudo-stem filled unplasticized polyvinyl chloride (UPVC) composites. *Mater. Design*, v. 30, p. 557-582, 2009.
- 4 IBRAHIM, M.M. et al. Banana fibers and microfibrils as lignocellulosic reinforcement in polymer composites. *Carbohydrate Polym.* V. 81, p. 811-819, 2010.
- 5 SATYANARAYANA, K.G. et al. Fabrication and properties of natural fibre-reinforced polyester composites. *Composites*. V. 17, p. 329-274, 1999.
- 6 BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose-based fibers. *Prog. Polym. Sci*, v.24, p. 221-274, 1999.
- 7 PEIJS, T. Natural Fibers Based Composites. *Mater. Technol.* v.15, p. 281-285, 2000
- 8 WAMBUA P.; IVENS. I.; VERPOEST, I. Natural fibers: can they replace glass and fiber reinforced plastic?" *Composites Science and Technology*, v. 63, p. 1259-1264, 2003.
- 9 MOHANTY, A.K.; MISRA, M.; DRZAL, L.T. Sustainable biocomposites from renewable resources: Opportunities and challenges in the green materials world. *J. Polym. Environ.* v. 10, p. 19-26, 2002.
- 10 MONTEIRO, S.N. et al. Natural fiber polymer matrix composites: Cheaper tougher and environmentally friendly. *JOM*, v. 61, p. 17-22, jan. 2009.
- 11 MONTEIRO, S.N. et al. Tenacidade ao entalhe por impacto charpy de compósitos de poliéster reforçados com fibras de piaçava. *Rev. Mater.*, v.11, 2006, p.204-210.
- 12 NORMA ASTM D256. Disponível em: <www.astm.org/standards/D256.htm>. Acesso em: 4 fev. 2013
- 13 INÁCIO, W. P., LOPES, F. P. D., MONTEIRO, S. N., Charpy toughness behavior of continuous sisal fiber reinforced polyester matrix composites, In: Mineral, Metals & Materials Characterization symposium – TMS conference, Seattle, EUA, March, p. 1-8, 2010.
- 14 LEÃO, A.L.; TAN, I.H.; CARASCHI, J.C. Curaua fiber – A tropical natural fiber from Amazon – Potential and applications in composites. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED COMPOSITES, Hurghada, Egito, Maio, 1998, p. 557-564.
- 15 MONTEIRO, S.N.; MARGEM, F.M.; SANTOS JUNIOR., L.F.L.; Ensaio de impacto Izod em compósitos poliméricos reforçados com fibras de rami. In: 18^o Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, CBECIMAT 2008, Porto de Galinhas, PE, November, 2008, p. 1-12.
- 16 MONTEIRO, S.N.; FERREIRA, A.S.; LOPES, F.P.D. Izod impact energy of polyester matrix composites reinforced with aligned curaua fibers. In: Mineral, Metals & Materials Characterization Symposium – TMS Conference, San Francisco, EUA, March 2009. p. 1-8.
- 17 MONTEIRO, S.N. et al. Characterization of the impact resistance of coir fiber reinforced polyester composites, In: Mineral, Metals & Materials Characterization Symposium – TMS Conference, New Orleans, LA, USA, March, 2008, p. 1-6.
- 18 MONTEIRO, S.N.; PEREIRA, A.C.; INÁCIO, W. P.; Izod impact energy of polyester matrix composites reinforced with aligned sisal fibers. In: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, São Paulo, SP, Julho, 2011, p. 1-12.
- 19 YUE, C.Y.; LOOI, H.C; QUEK, M.Y. Assessment of Fiber-Matrix Adhesion and Interfacial Properties Using the Pullout Test. *Int. J. Adhesion and Adhesives*, v. 15, 1995, p. 73-80.