

COMPÓSITOS DE FIBRAS DE COCO EM MATRIZ EPOXÍDICA ENSAIADAS POR IMPACTO IZOD ¹

Lucas Lopes da Costa ²

Sergio Neves Monteiro ³

Helvio Pessanha Guimarães Santafé Júnior ⁴

Resumo

Fibras naturais podem aumentar consideravelmente a resistência ao impacto da matriz polimérica de compósitos. No presente trabalho investigou-se a resistência ao impacto Izod de compósitos de matriz epoxídica reforçadas com fibras de coco alinhadas de forma contínua. Corpos de prova com até 30% em volume de fibra foram produzidos por prensagem a frio em mistura com resina epóxi. Após cura, os corpos de prova entalhados foram ensaiados em pêndulo de impacto com configuração Izod. Os resultados mostraram um expressivo aumento na energia absorvida no impacto com a fração de fibras de coco. A análise por microscópio eletrônico de varredura constatou que a maior tenacidade destes compósitos é devida à fraca interface entre a fibra e a matriz epóxi. Isto provoca o descolamento ao longo da superfície das fibras, longitudinalmente à direção do impacto, acarretando maior área de fratura e conseqüente maior energia absorvida.

Palavras-chave: Fibra de coco; Ensaio de impacto Izod; Compósito de matriz epóxi; Fratura por MEV

IZOD IMPACT TESTS OF EPOXY MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH COIR FIBER

Abstract

Natural fibers may considerably increase the impact resistance of polymeric matrix composites. In the present work, the Izod impact resistance of epoxy matrix composites reinforced with continuous and aligned fibers extracted from the husk of the coconut fruit, also known as coir fibers, was investigated. Composite specimens with up to 30% in volume of coir fibers were room temperature press molded in a mixture with epoxy resin. After cure, the notched specimens were impact tested in a pendulum with Izod configuration. The results showed a significant increase in the impact absorbed energy with the incorporated fraction of coir fiber. A scanning electron microscopy analysis revealed that the higher toughness attained by these composites is due to the weak fiber/matrix interface. This causes a longitudinal debonding along the fiber's surface, which is perpendicular to the impact direction. As a consequence, a greater fracture area is produced and a related higher energy is absorbed.

Key words: Coir fiber; Izod impact test; Epoxy matrix composite; SEM fractograph.

¹ *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Graduando, 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. sergio.neves@ig.com.br*

³ *PhD, Professor Titular, LAMAV – CCT/UENF.*

⁴ *M.Sc., Doutorando, LAMAV – CCT/UENF.*

1 INTRODUÇÃO

Nestas últimas décadas, compósitos reforçados com fibras sintéticas foram amplamente utilizados nos mais diversos setores industriais.⁽¹⁾ Dentro de muitos exemplos, destacam-se o uso: de fibras de vidro em matriz poliéster para embarcações leves; o emprego de fibras de carbono em matriz grafítica para componentes estruturais de aeronaves e fibras de aramida em matriz epoxídica para proteção balística.⁽²⁾ As fibras sintéticas, entretanto, são relativamente caras e difíceis de serem recicladas. Além disso, o consumo de energia associado à fabricação e processamento das fibras sintéticas faz com que estas fibras sejam responsáveis por emissão de gases, sobretudo o CO₂, causadores do efeito estufa e mudanças climática. Ainda que os compósitos de fibras sintéticas continuem sendo empregados em setores tecnologicamente avançados como aviões militares e foguetes espaciais, seu emprego em produtos mais simples é atualmente questionado.⁽³⁾

Fibras naturais obtidas de diversos vegetais e com características lingocelulósicas estão substituindo com sucesso as fibras sintéticas, sobretudo a fibra de vidro, como reforço de compósitos com matriz polimérica utilizados em componentes convencionais particularmente na indústria automobilística.⁽⁴⁻⁷⁾ Estes compósitos com fibras naturais lignocelulósicas apresentam importantes vantagens relacionadas com as características da própria fibra.⁽⁸⁾ De fato, as fibras lignocelulósicas são biodegradáveis, renováveis e facilitam a reciclagem do material para produção de energia térmica. Por outro lado, compósitos de fibra de vidro não podem ser queimados para servir como combustível em geração de energia.⁽⁵⁾ Adicionalmente, o menor custo e algumas propriedades, como a tenacidade das fibras lignocelulósicas, tornam seus compósitos poliméricos mais competitivos que os similares reforçados com fibras sintéticas.^(6,8,9)

A fibra extraída da camada externa do coco é um exemplo típico de fibra lignocelulósica já utilizada em materiais compósitos para componentes automobilísticos, especialmente painéis e estofamentos internos.^(10,11) Embora a fibra de coco não cause reforço as matrizes poliméricas em relação a esforços de flexão⁽¹²⁻¹⁴⁾ sua influência é marcante na resistência ao impacto⁽¹⁵⁻¹⁸⁾. Investigando compósitos com 50% das fibras curtas de coco incorporados em matriz de polipropileno, Leão, Tan e Caraschi⁽¹⁵⁾ obtiveram resistência ao impacto Izod sem entalhe de até 90,34 J/m. Por outro lado, fibras contínuas de coco acarretam resistências ao impacto Charpy, com entalhe, de 306,4 J/m para 40% de incorporação em matriz poliéster⁽¹⁶⁾ e 241,2 J/m para 30% de incorporação em matriz de epóxi⁽¹⁷⁾. Em recente trabalho sobre impacto Izod,⁽¹⁸⁾ obteve-se 121J/m para 40% de incorporação em matriz poliéster. Além disso, este excepcional valor na tenacidade provocou aumento linear com a fração de coco incorporada.

Tendo em vista o fato da resistência ao impacto ser uma importante propriedade para componentes internos de automóveis, sobretudo no caso de uma colisão, o presente trabalho dá continuidade à investigação em compósitos epoxídicos de fibra de coco ensaiadas por impacto Izod.

Como já comentado, resultados de impacto Izod existem para compósitos de matriz termoplástica, polipropileno⁽¹⁵⁾ com fibras de coco picadas e curtas, entretanto, poucos trabalhos abordam fibras longas, contínuas e alinhadas. Lembrando ainda que as características de fixação e localização do impacto Izod diferem significativamente do impacto Charpy, recentemente investigado em fibras contínuas de coco⁽¹⁶⁾, este trabalho vem acrescentar resultados ainda não

conhecidos da tenacidade Izod ao entalhe em compósitos com matriz epoxídica termorígida, reforçada com fibras contínuas de coco.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho foram utilizadas fibras de coco de um mesmo lote de 5 kg cedidos pela empresa do Rio de Janeiro, Coco Verde Reciclado.⁽¹⁹⁾ Informações adicionais sobre estas fibras estão apresentadas em outras publicações.⁽¹⁶⁻¹⁸⁾ Vale ressaltar que o comprimento médio dessas fibras, 178,8 mm, é suficientemente para que possam ser consideradas longas e contínuas.⁽¹⁾ Fibras ainda mais longas foram selecionadas do lote e passaram por um processo de limpeza com água e secagem em estufa a 60°C. Placas de compósitos com dimensões de 152 x 125 x 10 mm foram fabricadas dentro de moldes de aço, onde inicialmente as fibras de coco eram posicionadas de maneira mais alinhada e uniforme possível. As quantidades de fibras colocadas de cada vez variaram de 10%, 20% e 30% em volume. Resina epóxi do tipo éter diglicídico do bisfenol-A (DGEBA) ainda fluida, mas já acrescentada ao endurecedor trietileno tetramina em 13 partes para 100 de resina, ou seja, razão estequiométrica phr = 13, foi vertida sobre as fibras de coco no molde com a tampa fechada aplicando-se uma pressão de 50 kPa. Cada placa assim fabricada foi curada por 24 horas na temperatura ambiente antes de ser retirada do molde. Uma placa foi fabricada somente com resina epóxi DGEBA/TETA, seguindo o mesmo procedimento, para se investigar também a condição de 0% de fibra. A partir das barras cortadas, foram confeccionados corpos de prova Izod dentro do padrão exigido pela norma ASTM D-256,⁽²⁰⁾ ou seja, dimensões de 60,25 x 12,7 x 10 mm com entalhe central em ângulo de 45° com profundidade de 2,54 mm e, na sua ponta, raio de curvatura de 0,25 mm, conforme esquematizado na Fig 1.

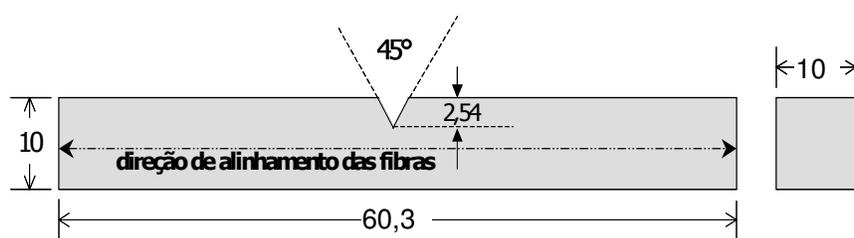


Figura 1. Esquema do corpo de prova padrão Izod para ensaios de impacto Izod segundo a norma ASTM D 256 (dimensões em mm)

Os corpos de prova foram ensaiados de acordo com os procedimentos para impacto Izod estabelecidos pela norma.⁽²⁰⁾ Os ensaios foram conduzidos em pêndulo EMIC do laboratório de Xistoquímica do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Nestes ensaios utilizou-se o martelo do pêndulo de 2,7J, para atender os requisitos de escala recomendados pela norma. A Figura 2 ilustra o martelo Izod em posição para romper um corpo de prova.

A exemplo do que ocorreu em outros ensaios similares,⁽¹⁶⁻¹⁸⁾ nem todos os corpos de prova sofreram ruptura total, particularmente aqueles com frações de 20% e 30% de fibras. Mesmo com martelos de maior potência, a parte superior destes corpos de prova, não era separada da parte inferior que estava engastada. Em qualquer dos dois casos, ruptura total ou somente parcial, foram retiradas amostras da superfície de fratura para observação por microscopia eletrônica de varredura

(MEV). Essas amostras foram inicialmente metalizadas com ouro e então analisadas em um microscópio JEOL modelo 6460 LV do programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFRJ, utilizando elétrons secundários acelerados a 15kV.



Figura 2. Ilustração do pêndulo de impacto com martelo Izod em posição para romper um corpo de prova.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias e desvios padrão dos resultados de ensaios de impacto Izod em dez corpos de prova para cada fração incorporada de fibras de coco estão listados na Tabela 1. Nesta tabela observa-se que a incorporação da fibra de coco até 20% aumenta substancialmente a tenacidade ao entalhe do compósito. Entretanto para 30% de fibra nenhum incremento ocorre na resistência ao impacto que, no intervalo de desvios padrão, permanece por volta de 20 a 40 J/m.

Tabela 1. Energia de impacto Izod de compósitos de matriz epóxi reforçadas com fibras longas e alinhadas de coco

Fração em volume das fibras de coco (% em volume)	Energia de impacto Izod (J/m)
0	$8,5 \pm 1,7$
10	$21,5 \pm 11,2$
20	$32,3 \pm 13,1$
30	$30,1 \pm 8,6$

Com base nos resultados da Tabela 1, a Figura 3 mostra o gráfico de variação da energia de impacto Izod com a fração em volume das fibras longas e alinhadas de coco que reforçam os compósitos de matriz epóxi. O aumento na tenacidade de compósitos poliméricos reforçados de forma contínua e alinhados com fibras longas lignocelulósicas tem sido confirmado em diversas publicações recentes, tanto com fibras de coco⁽¹⁶⁻¹⁸⁾ quanto com outras lignocelulósicas.⁽²¹⁻²³⁾ Este aumento foi atribuído, sobretudo à baixa resistência interfacial entre a fibra hidrofílica e a matriz hidrofóbica, como sugerido por Yue, Looi e Quek.⁽²⁴⁾

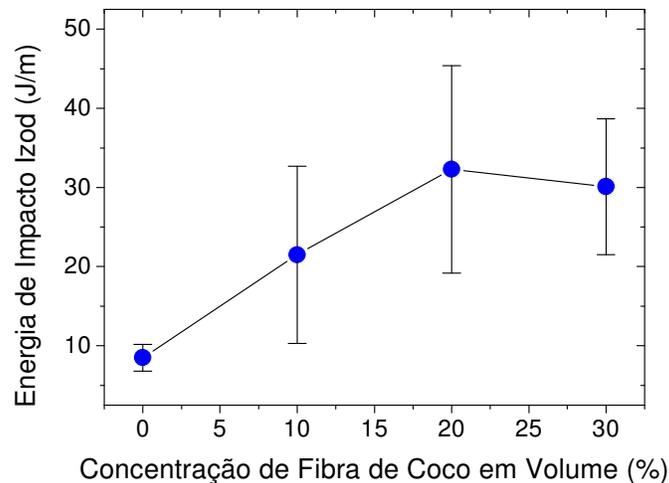


Figura 3. Variação da energia de impacto Izod com a fração em volume de fibras longas e alinhadas de coco.

Sem fibras para reforço, uma frágil resina polimérica rompe-se transversalmente ao comprimento do corpo de prova mostrado na Figura 1, por uma trinca nucleada no entalhe. À medida que aumenta a quantidade incorporada de fibras longas, a primeira trinca nucleada no entalhe tem dificuldade em propagar-se até a outra extremidade do corpo de prova. O obstáculo oferecido pelas fibras acarreta outras trincas que se propagam pela fraca interface longitudinal fibra/matriz aumentando a área de fratura. Maior área de fratura está associada à maior energia absorvida no impacto e conseqüentemente, maior tenacidade do compósito.⁽²⁴⁾

Outro mecanismo que também contribui para o aumento da tenacidade destes compósitos é a dificuldade de se romper a fibra lignocelulósica devido à sua flexibilidade. Na verdade constatou-se que, para maiores frações dessas fibras, é comum os corpos de prova tanto Izod⁽¹⁸⁾ quanto Charpy^(16,17,21,22) não se romperem após o ensaio. Situação similar ocorre para os compósitos do presente trabalho. Como pode ser observado através do aspecto macroestrutural dos corpos de prova após o impacto Izod (Figura 4), para 20% e 30% de fibra de coco não ocorreu separação total das duas partes. Isto significa que, ao atingir o corpo de prova, o martelo com 2,7 J de potência não consegue romper todas as fibras mesmo estando o corpo de prova engastado na base do equipamento (Figura 2). Assim, ao ser atingida, a parte superior do corpo de prova se dobra totalmente permitindo ao martelo continuar sua trajetória sem arrancá-la da parte inferior engastada. A flexibilidade e complacência (*compliance*) das fibras de coco, como na maioria das fibras lignocelulósicas, é responsável por este comportamento. Para o corpo de prova de epóxi pura, 0% na Figura 4, a frágil ruptura transversal é total. Com somente 10% de fibra, a trinca iniciada no entalhe consegue propagar-se com facilidade rompendo as poucas fibras existentes. A ruptura continua sendo frágil e transversal (Figura 4), mas algumas trincas já se propagam pela fraca interface longitudinal entre a fibra e a matriz o que aumenta comparativamente (Figura 3), a energia absorvida. A existência de um maior volume de fibras longas, 20 e 30% dificulta a propagação transversal da primeira trinca nucleada no entalhe. Neste caso, as muitas trincas propagam-se longitudinalmente pelas fracas interfaces fibra/matriz aumentando ainda mais a resistência ao impacto (Figura 3), permitindo que os corpos de prova não se rompam (Figura 4).

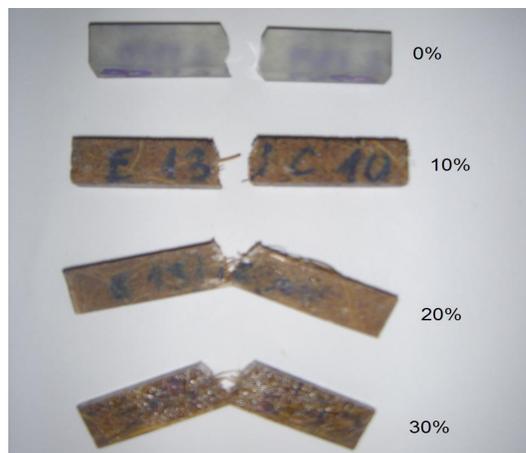


Figura 4. Aspectos macroestruturais da ruptura por impacto Izod de compósitos de matriz epóxi com diferentes frações em volume de fibras de coco.

Melhor compreensão dos mecanismos associados à ruptura por impacto Izod dos compósitos reforçados com fibras longas de coco pode ser obtida pela observação da fratura dos corpos de prova. A Figura 5 mostra por MEV a superfície de fratura de um corpo de prova de epóxi pura após impacto Izod. Com menor aumento (Figura 5a), logo abaixo da faixa horizontal superior, correspondente ao entalhe com marcas de fresagem, observa-se a superfície relativamente lisa provocada pela trinca que se propagou a partir do entalhe e rompeu transversalmente o corpo de prova de maneira frágil. Com maior aumento (Figura 5 b), notam-se as marcas típicas de propagação da trinca pela epóxi pura, bem como pequenos vazios atribuídos ao processamento manual do compósito.

Para um corpo de prova compósito com 30% de fibra de coco, a Figura 6 mostra aspectos fractográficos típicos. Com menor aumento, Figura 6(a) observam-se fibras de coco projetando-se da matriz epoxídica. Isto indica que além de ocorrer propagação da trinca pela matriz houve também propagação pela fraca interface fibra/matriz o que acarretou o descolamento das fibras. Com maior aumento (Figura 6 b), observam-se detalhes da separação entre uma fibra e a matriz epoxídica. A maior superfície de fratura decorrente dessa propagação longitudinal pela interface fibra/ matriz é o principal mecanismo⁽²⁴⁾ responsável pelo aumento (Figura 3), da tenacidade dos compósitos.

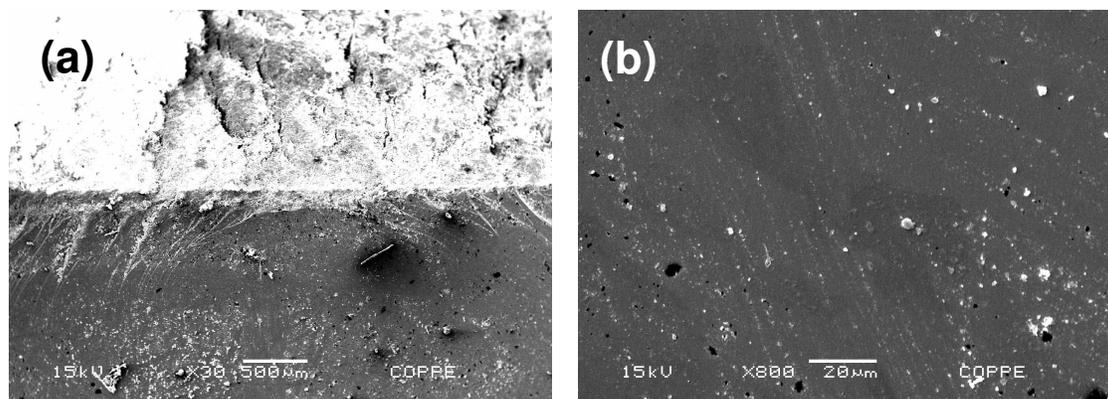


Figura 5. Superfície de fratura de um corpo de prova de pura resina epóxi rompido por impacto Izod. (a) baixo aumento (30x) e (b) maior aumento (800x).

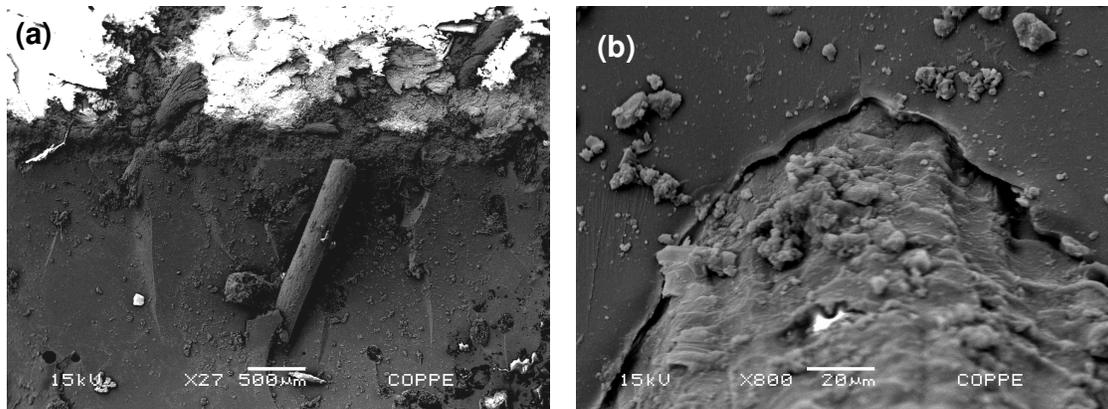


Figura 6. Superfície de fratura de um corpo de prova composto com 30% em volume de fibra de coco em matriz epóxi, rompida por impacto Izod. (a) baixo aumento (27x) e (b) maior aumento (800x).

4 CONCLUSÕES

A introdução de fibras longas de coco aumenta substancialmente a tenacidade ao entalhe de compósitos epoxídicos ensaiados em um pêndulo Izod.

O aumento na tenacidade até valores de aproximadamente 40 J/m para 20% e 30% de fibra é principalmente devido à maior área de fratura gerada por trincas que se propagam longitudinalmente na fraca interface entre fibras de coco e a matriz epoxídica.

Para estes compósitos com 20% e 30%, a flexibilidade das fibras permite grande dobramento evitando a total separação dos corpos de prova em duas partes. Isto também contribui para o aumento da tenacidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPERJ, CNPq, CAPES e Fenorte/Tecnorte. É também motivo de agradecimento a permissão para uso do equipamento de impacto, por parte da Prof^a Regina Sandra Veiga Nascimento do Instituto de Química da UFRJ, bem como ao Prof. Luiz Henrique de Almeida pela utilização do MEV do PEMM/COPPE/UFRJ.

REFERÊNCIAS

- 1 CALLISTER Jr., W.D. Materials Science and Engineering – An Introduction, 5^a Edição, Nova York : John Wiley & Sons, 2000.
- 2 MONTEIRO, S.N. Polymer Matrix Composites: New fibers offer new Possibilities. JOM v. 61, n. 1, p.16, jan. 2009.
- 3 WAMBUA P.; IVENS I.; VERPOEST I. Natural fibers: can they replace glass and fibre reinforced plastics? Composites Science and Technology, v. 63, p. 1259-1264, 2003.
- 4 MARSH, G. Next step for automotive materials. Mater. Today, v. 6, n. 4, p. 36-43, (2003)
- 5 ZAH, R.; HISCHIER, R.; LEÃO, A.L.; BROWN, I. Curaua fibers in automobile industry – A sustainability assessment. J. Cleaner Production, v. 15, p. 1032-1040, 2007.
- 6 MONTEIRO, S.N.; LOPES, F.P.D.; FERREIRA, A.S.; NASCIMENTO, D.C.O. Natural fiber polymer matrix composites: Cheaper tougher and environmentally friendly. JOM, v. 61, p. 17-22, jan. 2009.
- 7 Disponível em www.mercedes-benz.com.br, Acesso em: 05 fev. 2009.
- 8 BLEDKI, A.K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose-based fibres. Prog. Polym. Sci, v. 24, p. 221-274, 1999.

- 9 SATYANARAYANA, K.G.; SUKUMARAN, K.; KULKARNI, A.G.; PILLAI, S.G.K.; ROHATGI, P.K. Fabrication and properties of natural fibre-reinforced polyester composites. *Composites*. v. 17, p. 329–333, 1986.
- 10 Disponível em www.poematec.com.br, Acesso em: 03 fev. 2009.
- 11 Disponível em http://www.mecanicaonline.com.br/2005/01_janeiro/engenharia/daimler_chrysler_meio_ambiente.htm, Acesso em: 03 fev. 2009.
- 12 MONTEIRO, S.N.; TERRONES, L.A.H.; LOPES, F.P.D.; D'ALMEIDA, J.R.M. Mechanical Strength of Polyester Matrix Composites Reinforced with Coconut Fiber Wastes, *Rev. Mater.*, v.10, n. 4, p.571-576, 2005.
- 13 MONTEIRO, S.N.; TERRONES, L.A.H.; LOPES, F.P.D.; D'ALMEIDA, J.R.M., Structural characteristics and properties of coir fiber wastes reinforced polymeric composites, In: III INTERNATIONAL CONGRESS ON MATERIALS, Cartagena, Colombia, 2005, p. 1-6.
- 14 SANTAFE JR., H.P.G.; MONTEIRO, S.N.; COSTA L.L. Compósitos de Resina Epóxi Incorporada com Fibras de Coco - Propriedades Mecânicas e Características da Fratura. In: 63º CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS – ABM, Jul. 2008, Santos, Brasil, p. 1-10.
- 15 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, 1998, Hurghada, Egito, p. 557-564.
- 16 COSTA L.L.; MONTEIRO, S.N.; SANTAFÉ JR., H.P.G.; LOPES, F.P.D.; SANTOS JR., L.F.L. Caracterização da Resistência ao Impacto Charpy de Compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de coco. In: 63º CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS – ABM, Jul. 2008, Santos, Brasil, p. 1-10.
- 17 COSTA L.L.; SANTAFÉ JR., H.P.G.; MONTEIRO, S.N. Tenacidade ao Impacto Charpy de compósitos epoxídicos reforçados com fibra de coco. In 18º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, CBCIMAT-2008, Nov. 2008, Porto de Galinhas, PE, Brasil, p. 1-12.
- 18 MONTEIRO S.N.; COSTA, L. L.; LOPES, F.P.D; TERRONES, L.A.H.; Characterization of impact resistance of coir fiber reinforced polyester composites. In: CHARACTERIZATION OF MINERALS METALS & MATERIALS – TMS CONFERENCE, Mar. 2008, New Orleans, EUA, p. 1-6.
- 19 Disponível em <http://www.cocoverderj.com.br> Acesso em maio 2008.
- 20 ASTM D 256, Standard test method for impact resistance of plastic and electrical insulating materials. EUA: ASTM, Setembro, 1984, p.81-102.
- 21 MONTEIRO, S.N.; LOPES, F. P. D. Ensaio de impacto em compósitos poliméricos reforçados com fibras de curauá. In: 62º CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS – ABM, julho de 2007 - Vitória, ES, p. 871-879.
- 22 FERREIRA, A. S.; MONTEIRO, S.N.; LOPES, F.P.D.; AQUINO, R.C.M.P. Análise da resistência ao impacto Charpy de compósitos com fibras alinhadas de Curauá reforçando matriz de resina epóxi. In: 63º CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS – ABM, Jul. 2008, Santos, Brasil, p. 1-19
- 23 MONTEIRO S.N.; MARGEM, F.M.; SANTOS JR., L.F.L. Ensaio de impacto em compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de Rami. In: 63º CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS – ABM, Jul. 2008, Santos, Brasil, p. 1-10.
- 24 YUE, C.Y.; LOOI, H.C; QUEK, M.Y. Assessment of fibre-matrix adhesion and interfacial properties using the pullout test. *Int. J. Adhesion and Adhesives*, v. 15, p. 73-80, 1995.