

ENSAIOS DE IMPACTO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE CURAUÁ ¹

Sergio Neves Monteiro²
Felipe Perissé Duarte Lopes³

Resumo

Fibras de curauá (*Ananas erectifolius*) estão entre as lignocelulósicas naturais com maior resistência mecânica. Embora estudos já venham sendo realizados, poucas informações existem sobre as propriedades mecânicas de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas e alinhadas de curauá. Assim, o presente trabalho avalia a resistência ao impacto deste tipo de compósito. Corpos de prova na forma de barras de seção quadrada normalizada foram confeccionados com percentuais de até 40% em peso de fibras de curauá alinhadas ao longo de todo o comprimento. As fibras foram embutidas sob pressão em matriz de resina poliéster comercial do tipo ortoftálica misturada com endurecedor para cura à temperatura ambiente por 24 horas. Os corpos de prova foram ensaiados em pêndulo de impacto Charpy e as superfícies de fratura analisadas por microscopia eletrônica de varredura, MEV. A resistência ao impacto, medida pela energia absorvida, aumentou sensivelmente com a quantidade relativa de fibra de curauá reforçando o compósito. Este desempenho pode ser diretamente associado à dificuldade de ruptura imposta pelas fibras bem como ao tipo de trincas resultantes da interação fibra de curauá/matriz de poliéster que ajuda a absorver a energia do impacto, como analisado por MEV.

Palavras-chave: Impacto Charpy; Fibra de curauá; Compósito; Matriz poliéster; Interação fibra/resina.

IMPACT TESTS IN POLYMERIC COMPOSITES REINFORCED WITH CURAUA FIBERS

Abstract

Curaua (*Ananas erectifolius*) are among the strongest natural lignocellulosic fibers. Although studies are being carried out, limited information exists on the mechanical properties of polymeric composites reinforced with continuous and aligned curaua fibers. Thus, the present work evaluates the impact resistance of this type of composite. Normalized square section specimens were fabricated with up to 40 wt.% of curaua fibers aligned along the specimen's length. The fibers were press molded with a commercial orthophtalic type of polyester resin mixed with a hardener for a 24 hours cure at room temperature. The specimens were tested in a Charpy pendulum hammer and the fracture surface analyzed by scanning electron microscopy, SEM. The impact resistance, measured by the absorbed energy, increased significantly with the amount of curaua fiber reinforcing the composite. This performance can be directly associated with the difficult of rupture imposed by the stronger fibers as well as with the type of cracks resulting from the curaua fiber/polyester matrix interaction, which helps to absorb the impact energy, as analyzed by SEM.

Key words: Charpy impact test; Curaua fiber; Composites; Polyester matrix; Fiber/resin interaction.

¹ Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

² PhD, Professor Titular, 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 Estudante de Graduação, LAMAV – CCT/UENF.

INTRODUÇÃO

Questões ambientais estão assumindo cada vez mais um papel de destaque em nossa sociedade, inclusive condicionando o desenvolvimento tecnológico. Na engenharia dos materiais, este papel se traduz na maior importância atribuída aos materiais cuja fabricação envolva baixo consumo de energia, além de poderem ser renováveis e biodegradáveis. Fibras naturais, tanto de origem animal como a seda, quanto de origem vegetal lignocelulósicas, atendem estes requisitos. Ou seja, suas utilizações as caracterizam como ambientalmente corretas em comparação com as fibras sintéticas como o náilon, vidro e carbono. Por esta razão, compósitos reforçados com fibras naturais, sobretudo as lignocelulósicas facilmente cultivadas, têm sido objeto de recentes investigações. Um trabalho de revisão sobre este tipo de compósitos foi publicado ao final da última década por Bledzki e Gassan.^[1] Desde então, centenas de outras publicações foram dedicadas a fibras regularmente cultivadas como a juta,^[2,3] o linho,^[4,5] o sisal,^[6,7] a madeira,^[8,9] o coco^[10,11] e até mesmo fibra de bananeira^[12,13] como exemplos entre muitas outras.

Por outro lado, existe um grupo pouco conhecido de fibras lignocelulósicas que somente agora está sendo investigado. Algumas destas fibras, que também apresentam um grande potencial para uso em compósitos, são típicas de regiões tropicais e, assim, de interesse para países asiáticos, africanos e latino-americanos. No Brasil, exemplos dessas fibras para reforço de compósitos poliméricos são a bucha,^[14] a piaçava,^[15] e o curauá.^[16] No caso da fibra de curauá, a principal vantagem é a sua resistência à tração, da ordem de 500 MPa,^[17] comparável à das fibras de sisal e juta.^[18] Assim, pode-se fabricar peças de compósitos, como painéis para construção civil e mobiliário, reforçando a matriz polimérica com fibras longas e alinhadas de curauá.^[16]

Além de produtos que substituam a madeira, as fibras de curauá podem ser cortadas em menores comprimentos para incorporação em produtos poliméricos especializados como capacete de ciclismo.^[19] Comprimentos até o valor crítico de 10,2 mm, medido em ensaio de pullout,^[20] ainda permite que a fibra de curauá seja considerada longa. Devido a este pequeno valor do comprimento crítico da fibra de curauá, a resistência interfacial fibra/matriz polimérica é baixa, o que a torna muito favorável para uso em compósitos resistentes ao impacto como um capacete de ciclismo.

Um compósito com baixa resistência interfacial possui uma ineficiente transferência de esforços da matriz para a fibra, acarretando, por conseguinte, maior energia para se romper. Isto se deve ao fato de uma grande energia ser despendida para a ruptura da fraca interface. As trincas formadas tendem a se ramificar no processo de arrancamento (pullout) da fibra em relação à matriz.^[21] Um grande número de trincas se traduz em uma maior superfície de fratura, e, conseqüentemente, maior energia associada à tenacidade do compósito. Pelas razões apresentadas, espera-se que compósitos poliméricos reforçados com fibras longas de curaua sejam tenazes. O presente trabalho teve, pois, como objetivo estudar a resistência ao impacto de compósitos de matriz poliéster reforçada com diferentes percentuais de fibras contínuas e alinhadas de curauá.

MATERIAIS E MÉTODOS

As fibras de curauá (*Ananas erectifolius*) foram adquiridas da firma Itauá Agroindustrial que comercializa o produto cultivado no Estado do Pará. As

características desta fibra bem como as propriedades em flexão de compósitos fabricados com estas fibras foram apresentadas e discutidas em recente trabalho.^[16] Após separação, limpeza e secagem à temperatura ambiente, as fibras foram misturadas em quantidades de 0, 10, 20, 30 e 40% em peso com resina poliéster ortoftálica para preparar os compósitos. Placas destes compósitos com 10 mm de espessura foram fabricadas em molde retangular de aço, com dimensões de 152 x 125 mm. As fibras foram mantidas alinhadas ao longo da dimensão de 125 mm.

A resina ainda líquida, acrescida de 0,5% de catalisador à base de metil etil cetona, conforme indicado pelo fabricante, foi vertida sobre as fibras de piaçava dentro do molde. O compósito formado foi deixado curar por 24 horas à temperatura ambiente. Placas de cada compósito foram então cortadas, segundo a direção de alinhamento das fibras em barras medindo 125 x 12,7 x 10 mm que serviram como base para confecção de corpos de prova de ensaio de impacto Charpy, de acordo com a norma ASTM D256, conforme esquematicamente apresentado na Figura 1.

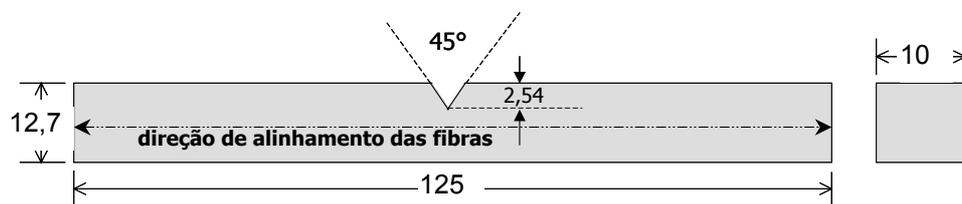


Figura 1 – Esquema do corpo de prova para ensaio de impacto Charpy (dimensões em mm).

Para a confecção do entalhe com 2,54 mm de profundidade, ângulo de 45° e raio de curvatura de 0,25 mm no fundo do entalhe, Figura 1, utilizou-se uma fresa alemã em aço rápido atendendo à norma DIN 847. Os corpos de prova foram ensaiados em um pêndulo da marca EMIC, em configuração Charpy, pertencente ao Instituto de Xistoquímica da UFRJ. A Figura 2 apresenta uma imagem do pêndulo Charpy utilizado nas medidas de resistência ao impacto dos compósitos estudados.



Figura 2 – Pêndulo de impacto Charpy utilizado no presente trabalho.

A energia de impacto foi obtida em martelos de 2,7 J, para compósitos com 0, 10 e 20% de fibra e 5,4 J para 30 e 40% de fibra. Para cada condição, 10 corpos de prova foram utilizados e os resultados interpretados estatisticamente.

A superfície de fratura dos corpos de prova após o ensaio de impacto foi analisada por microscopia eletrônica de varredura, MEV, em um equipamento Jeol, mod. JSM-460 LV do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, PEMM/COPPE/UFRJ. Amostras cortadas da região de fratura foram metalizadas com ouro e observadas a 15 e 20 kV.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação da energia de impacto Charpy, obtida segundo a norma ASTM D256, com a fração em peso das fibras de curauá nos compósitos está apresentada na Figura 3.

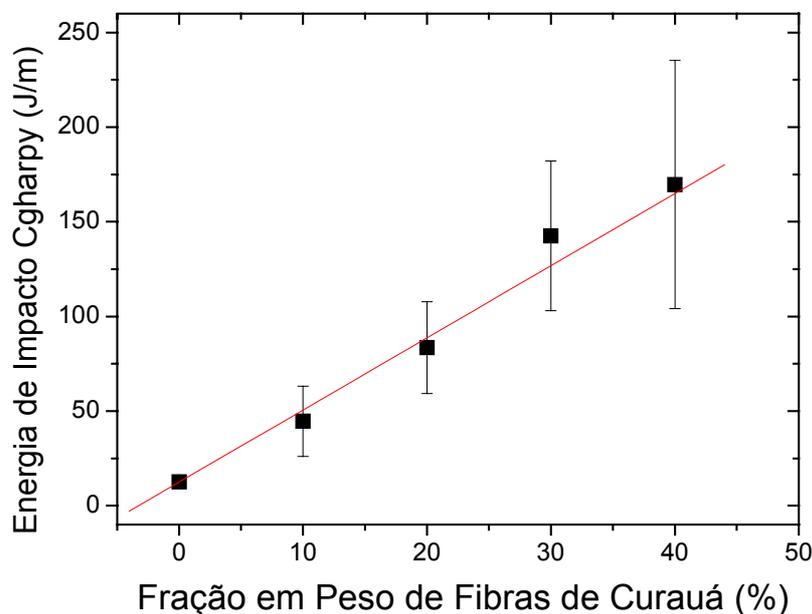


Figura 3 – Variação da energia de impacto Charpy com a fração em peso do reforço de fibras de curauá.

Nesta figura, observa-se que a incorporação de fibra de curauá à matriz de poliéster aumenta significativamente a tenacidade do compósito. Este aumento, dentro dos limites do desvio padrão, pode ser considerado como linear até o máximo de 40% de fibra que ainda foi possível fabricar-se o compósito. É importante também mencionar que, com o aumento da fração da fibra, aumenta também a dispersão dos valores de tenacidade, traduzindo-se em maiores desvios padrão. Este fato é reconhecido como uma característica das fibras lignocelulósicas.^[1]

A curva mostrada na Figura 3 é consistente com resultados da literatura, já que o reforço de fibras, tanto sintéticas^[22] quanto naturais^[17,23] aumenta a tenacidade ao impacto de compósitos com matriz polimérica. A Tabela 1 apresenta valores da tenacidade ao impacto obtida em corpos de prova entalhados para compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras naturais.

Tabela 1 – Valores de tenacidade ao impacto de fibras naturais.

Compósito	Fibra (% em peso)	Martelo	Tenacidade ao Impacto (J/m)	Referência
Curauá/Poliéster	40 (contínua)	Charpy	170	Presente trabalho
Curauá/PP	50 (picada)	Izod	54	[17]
Madeira/PP	50 (picada)	Izod	28	[17]
Coco/PP	50 (picada)	Izod	46	[17]
Linho/PP	50 (picada)	Izod	38	[17]
Juta/PP	50 (picada)	Izod	39	[17]
Sisal/PP	50 (picada)	Izod	51	[17]
Piaçava/Poliéster	40 (contínua)	Charpy	94	[23]

No presente trabalho, utilizando-se fibras contínuas e alinhadas de curauá, os níveis alcançados são bem superiores aos indicados na literatura, ou seja, 54,39 J/m para tenacidade ao entalhe obtida por impacto Izod em compósitos com matriz de polipropileno, PP, reforçada com 50% de fibras picadas de curauá. Obviamente, que tanto o martelo, Izod, quanto a matriz, PP, são diferentes do presente trabalho, porém podem dar uma idéia comparativa da maior tenacidade de compósitos, quando reforçados com fibras contínuas e alinhadas. Em confronto com compósitos de matriz polimérica reforçados com outras fibras naturais picadas,^[17] a Tabela 1 mostra que os valores alcançados para compósitos com fibras contínuas, tanto de curauá na Figura 3 quanto de piaçava,^[23] superam em muito todas as outras. A razão para este desempenho pode ser explicada através das características da fratura.

Yue et al.^[21] sugerem que uma baixa resistência interfacial fibra/matriz contribui para uma ineficiente transferência de esforço da matriz para a fibra, resultando assim em maior energia absorvida no impacto. Por outro lado, existe outro fator que também contribui para a maior tenacidade associada ao reforço de fibras contínuas e alinhadas de curauá na matriz polimérica. Este fato é uma consequência da resistência ao dobramento destas fibras.

Características microestruturais da ruptura dos corpos de prova estão apresentadas na Figura 4. Nesta figura, exemplos típicos das duas partes de corpos de prova rompidos após o impacto Charpy estão relacionados com a percentagem em peso de fibra de curauá no compósito. Observa-se que a incorporação de fibra acarreta um comportamento marcante em relação ao poliéster puro, 0% de fibra. Mesmo com somente 10% de fibra, a área de fratura não é totalmente transversal, pois uma parte acompanha o sentido longitudinal de alinhamento das fibras. Isto indica que as trincas geradas no entalhe pelo impacto, iniciam uma propagação transversal pela matriz, como se espera em polímeros, mas ao esbarrarem nas fibras, tendem a se propagar na interface fibra/matriz. Isto está de acordo com o mecanismo de ruptura em compósitos com fraca resistência interfacial.^[21] Embora pareça paradoxal, uma baixa resistência interfacial acarreta em maior tenacidade, pois gera maior área de fratura e, conseqüentemente, maior energia absorvida no impacto.

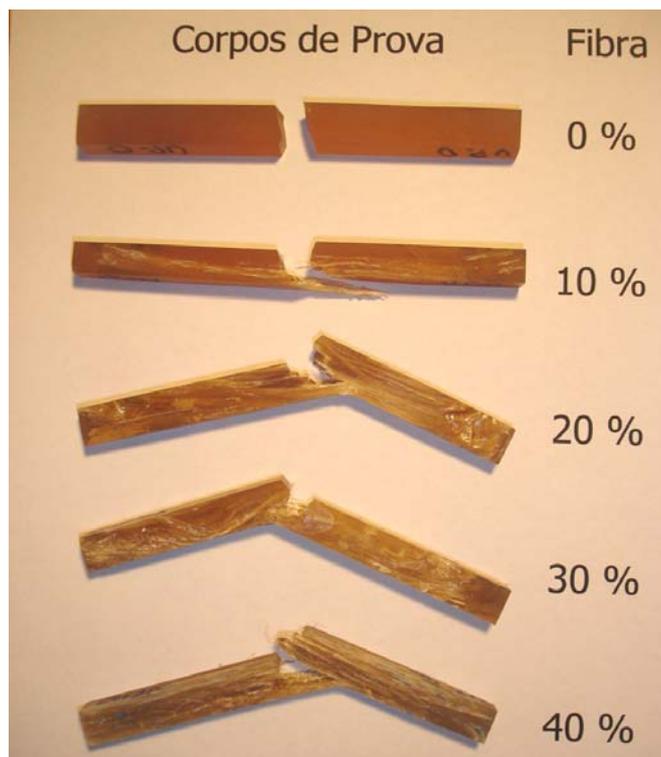


Figura 4 – Corpos de prova típicos de compósitos de matriz poliéster com diferentes frações de fibra de curauá, rompidos por impacto Charpy.

Para frações de fibra de curauá de 20, 30 e 40%, Figura 4, muitos corpos de prova nem sequer foram rompidos no impacto. Isto se deve à elevada resistência à tração da fibra de curauá, evitando a ruptura total. Para estas maiores frações de fibra, a parte não rompida do corpo de prova dobrou-se o suficiente para permitir que suas extremidades se soltassem dos batentes do equipamento, Figura 2. Neste caso, o resultado da energia de impacto Charpy não pode ser comparado com outros em que o corpo de prova é totalmente rompido. Entretanto, a não ruptura no impacto indica uma elevada tenacidade do compósito, conforme mostrado na Figura 3.

A análise da microestrutura por MEV na região de fratura resultante do impacto Charpy permitiu melhor compreensão dos mecanismos responsáveis pela elevada tenacidade dos compósitos reforçados com fibras de curauá. Em relação à resina pura, Figura 5, o aspecto da fratura é típico do poliéster. Com menor aumento, Figura 5(a), tem-se uma faixa superior mais marcada e escura, correspondente ao entalhe feito pela fresa. A parte inferior, mais lisa e clara, corresponde à fratura transversal por impacto. Esta fratura, mostrada com maior aumento na Figura 5(b), revela rugosidade associada à propagação da única trinca, nucleada no entalhe, que ocasionou a ruptura. A trinca acarretou também pequenas cavidades, provavelmente resultantes da porosidade causada pelas condições de processamento, como já havia sido sugerido.^[23]

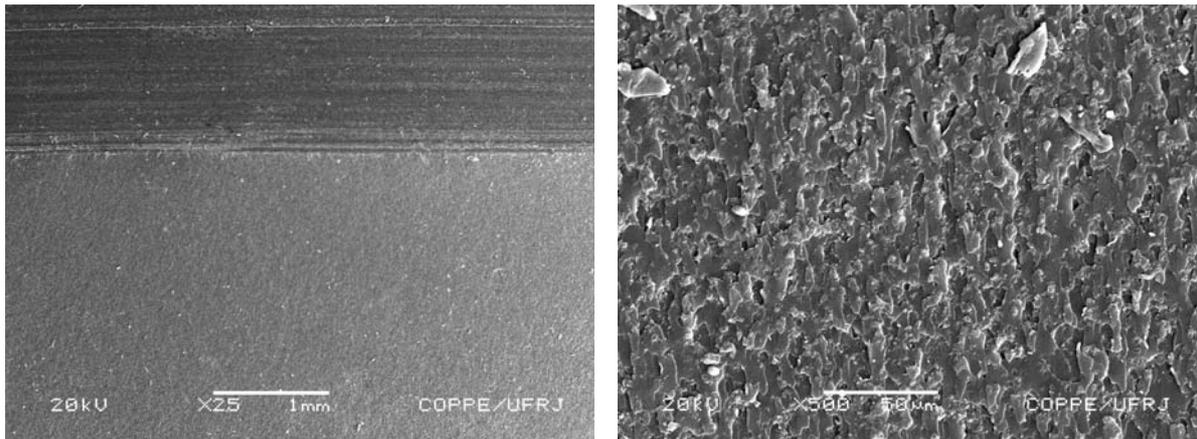


Figura 5 – Fratura por impacto do corpo de prova de resina poliéster pura. (a) visão do entalhe e da superfície transversal de ruptura; (b) detalhe da ruptura.

A Figura 6 apresenta por MEV detalhes da superfície rompida por impacto Charpy de um corpo de prova com 40% em peso de fibras de curauá reforçando matriz poliéster.

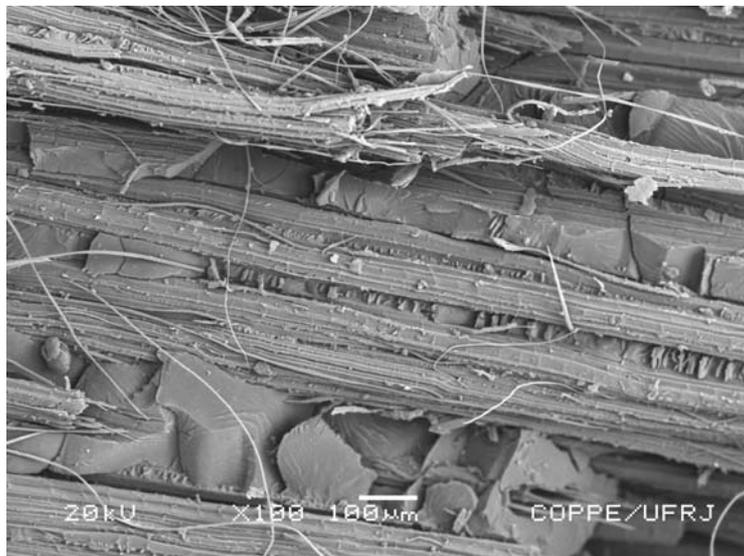


Figura 6 – Fratura por impacto do corpo de prova do compósito com 40% em peso de fibra de curauá.

É importante notar que a Figura 6, observada na região em que a fratura propagou-se longitudinalmente seguindo a interface fibra/matriz, mostra evidências de descolamento interfacial. Este comportamento corrobora o mecanismo de ruptura através de trincas que se propagam preferencialmente entre a fibra e a matriz devido à fraca resistência interfacial.^[21] A maior área longitudinal de ruptura dos compósitos como consequência do reforço das fibras contínuas e alinhadas de curauá, justifica a elevada energia absorvida no impacto, bem como seu aumento com a fração de fibra.

CONCLUSÕES

Compósitos constituídos de fibras contínuas e alinhadas de curauá reforçando matriz poliéster, curada à temperatura ambiente, apresentam um significativo

aumento na tenacidade ao entalhe, medida em ensaios de impacto Charpy, em relação à resina poliéster pura.

Dentre estes compósitos, quanto maior a fração de fibra incorporada até 40% em peso, maior a tenacidade ao entalhe. Parte deste aumento na tenacidade é devido à baixa tensão interfacial entre a fibra de curauá e a resina poliéster. Isto acarreta maior energia absorvida no impacto em decorrência da propagação longitudinal de trincas na interface fibra/matriz, gerando maior área de ruptura em relação a uma fratura transversal que ocorra na matriz rompendo as fibras.

Para frações de fibra de curauá superiores a 10% em peso, o aumento da tenacidade ao entalhe pode também, em parte ser devido à energia despendida em se dobrar as fibras que não são rompidas após o impacto do martelo Charpy.

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 do MEV do PEMM/COPPE/UFRJ.

REFERÊNCIAS

- 1 BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. Composites Reinforced with Cellulose-Based Fibres. **Prog. Polym. Sci.**, v. 24, p. 221-274, 1999.
- 2 KUMAR, A.P.; SINGH, R.P.; SARWADE, B.D. Degradability of composites prepared from ethylene-polypropylene copolymer and jute fiber under accelerated aging and biotic environments. **Mater. Chem. and Phys.**, v. 92, p. 458-469, 2005.
- 3 DOAN, T.-T.-L.; GAO, S.-L.; MÄDER, E. Jute/polypropylene composites. I. Effect of matrix modification. **Compos. Sci. Technol.**, v. 66, p. 952-963, 2006.
- 4 CANTERO, G.; ARBELAIZ, A.; LHANO-PONTE, R.; MONDRAGON, I. Effects of fibre treatment on wettability and mechanical behaviour of flax/polypropylene composite. **Compos. Sci. Technol.**, v. 63, p. 1247-1254, 2003.
- 5 VAN DE WEYENBERG, I.; IVENS, J.; DE COSTER, A.; KINO, B.; BATENS, E.; VERPOEST, I. Influence of processing and chemical treatment of flax fibres on their composites. **Compos. Sci. Technol.**, v. 63, p. 1241-1246, 2003.
- 6 JOSEPH, P.V.; JOSEPH, K.; THOMAS, S. Short sisal fiber reinforced polypropylene composites: the role of interface modification on ultimate properties. **Compos. Interf.**, v. 92, n. 2, p. 171-205, 2002.
- 7 FUNG, K.L.; LI, R.K.Y.; TJONG, S.C. Interface modification on the properties of sisal fiber-reinforced polypropylene composites. **J. Appl. Polym. Sci.**, v. 85, p. 169-176, 2002.
- 8 ALBANO, C.; ICHAZO, M.; GONZALEZ, J.; DELGADO, M.; PALEO, R. Effects of filler treatments on the mechanical and morphological behavior of PP + wood flour and PP + sisal fiber. **Mater. Research Innovat.**, v. 4, p. 284-293, 2001.
- 9 CHUAI, C.; ALMDAL, K.; POULSEN, L.; PLACKETT, D. Conifer fibers as reinforcing materials for polypropylene-based composites. **J. Appl. Polym. Sci.**, v.80, p. 2833-2841, 2001.
- 10 ROUT, J.; TRIPATHY, S.S.; MISHRA, M.; MOHANTY, A.K.; NAYAK, S.K. The influence of fibre surface modification on mechanical properties of coir-polyester composites. **Polym. Composites.** V. 22, p 468-472, 2001.

- 11 MONTEIRO, S.N.; TERRONES, L.A.H.; CARVALHO, E.A.; D'ALMEIDA, J.R.M. Efeito de interface fibra/matriz sobre a resistência de compósitos poliméricos reforçados com fibras de coco, **Revista Matéria**, v. 11, n. 4, p. 395-402, 2006.
- 12 POTHAN, L.A.; GEORGE, J.; THOMAS, S. Effect of fibre surface treatment on the fibre-matrix interaction in banana fibre reinforced polyester composites, **Compos. Interf.**, v. 9, n. 4, p. 335-353, 2002.
- 13 POTHAN, L.A.; THOMAS, S. Polarity parameters and dynamic mechanical behaviour of chemical banana fibre reinforced polyester composites, **Compos. Sci. Technol.**, v. 63, p. 1231-1240, 2003.
- 14 BOYNARD, C.A.; MONTEIRO, S.N.; D'ALMEIDA, J.R.M. Aspects of Alkali Treatment of Sponge Gourd (*Luffa cylindrica*) Fibers on the Flexural Properties of Polyester Matrix Composites. **J. Appl. Polym. Sci.** v. 87 p.1927-1932, 2003.
- 15 DE DEUS, J. F.; MONTEIRO, S.N.; D'ALMEIDA, J.R.M. Effect of Drying, Molding Pressure and Strain Rate on the Flexural Mechanical Behavior of Piassava (*Attalea funifera*) Fiber-Composite Materials. **Polymer Test.** v. 24, p. 750-755, 2005.
- 16 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.
- 17 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, Egypt, May, 1998, p. 557-564.
- 18 BALEY, C.; D'ANSELME, T.; GUYADER, J. **Composites**, v.37, p. 28-35, 1997.
- 19 DE ARAUJO, C.R.; PERLAZA, L.C.; MOTHE, C.G. Thermal Properties of Commercial and Castor Oil Polyurethane Composites with Curaua Fiber. **Natural Polym. and Composites**, v. 4, p. 547-550, 2002.
- 20 MONTEIRO, S.N.; D'ALMEIDA, J.R.M. Ensaio de pullout em fibras lignocelulósicas – Uma metodologia de análise. **Revista Matéria**, v. 11, n. 3, p. 189-196, 2006.
- 21 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.
- 22 FU, S.Y.; LAUKE, B.; MÄDER, E.; HU, X.; YUE C.Y. Fracture Resistance of Short-Glass-Fiber-Reinforced and Short-Carbon-Fiber-Reinforced Poly-propylene under Charpy Impact Load and its Dependence on Processing. **J. Mater. Process. Technol.**, v. 89/90, p. 501-507, 1999.
- 23 MONTEIRO, S.N.; AQUINO, R.C.M.P.; LOPES, F.P.D.; CARVALHO, E.A.; D'ALMEIDA, J.R.M. Tenacidade ao entalhe por impacto Charpy de compósitos de poliéster reforçados com fibras de piaçava. **Revista Matéria**, v. 11, n. 3, p. 204-210, 2006.