

COMPÓSITOS DE TECIDO DE JUTA REFORÇANDO MATRIZ DE POLIETILENO¹

Sergio Neves Monteiro²

Luiz Augusto Hernandez Terrones³

Amanda Lima Camerini⁴

Lúcio José Terra Petricci³

José Roberto Moraes d'Almeida⁵

Resumo

Compósitos ambientalmente corretos, fabricados a partir de resíduos industriais, estão sendo cada vez mais valorizados tanto como solução para a crescente quantidade de lixo gerada pela sociedade, mas também como uma alternativa mais barata para substituir materiais convencionais, sobretudo à base de madeira, usados em construção civil e mobiliário. No presente trabalho, investigam-se as propriedades de compósitos obtidos com tecidos de sacos de aniagem usados, reforçando matriz de resíduos de polietileno. Placas destes compósitos com até 40% em peso de tecido de juta, retirado dos sacos de aniagem, foram obtidas por moldagem a quente juntamente com partículas de polietileno. Os resultados obtidos mostraram, até 30% de tecido, um expressivo aumento da resistência mecânica dos compósitos em função da fração em peso de tecido de juta. Uma análise de custo/benefício revelou grande potencial para estes compósitos como substitutos de alguns produtos convencionais.

Palavras-chave: Compósitos; Tecido de juta; Matriz de polietileno; Propriedades mecânicas.

JUTE SACKCLOTH REINFORCED POLYETHYLENE MATRIX COMPOSITES

Abstract

Environmentally correct composites fabricated from industrial wastes are being increasingly appraised both as a solution for the great amount of garbage generated by our society as well as a cheaper alternative for conventional materials, mainly those used in civil construction and furniture. In the present work, the properties of composites fabricated from used sackcloth fabric, made of jute fibers, as reinforcement for a polyethylene waste matrix, were investigated. Composite plates with up to 40 wt.% of jute fabric were obtained by hot press molding together with polyethylene particles. The results showed an expressive increase in the composite mechanical strength as a function of the weight percent of jute fabric up to 30%. A cost/benefit analysis displayed a great potential for these composites to replace some commonly used products.

Key words: Composite; Jute sackcloth; Polyethylene; Mechanical properties.

¹ *Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ*

² *PhD, 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 *DSc, LAMAV – CCT/UENF.*

⁴ *Eng. de Materiais, Doutoranda, LAMAV – CCT/UENF.*

⁵ *DSc, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, Rua Marques de São Vicente, 225, 22453-900, Rio de Janeiro, RJ – Brasil.*

INTRODUÇÃO

Atualmente existe uma tendência mundial de valorizar materiais que, além de baixo custo, possam ser ambientalmente corretos. Esta última condição, também referida na língua inglesa como “environmentally friendly” ou seja ambientalmente amigável, refere-se aos aspectos renováveis, biodegradáveis e recicláveis que possam ser apresentados pelo material.

Exemplos típicos de materiais ambientalmente amigáveis, são os compósitos de matriz polimérica reforçados com resíduos de fibras lignocelulósicas como a piaçava⁽¹⁾ e o coco.⁽²⁾ Além de serem amigáveis com o meio ambiente, os compósitos reforçados com este tipo de fibra residual, podem substituir, de maneira economicamente vantajosa, produtos de madeira. No caso de madeiras não cultivadas, isto também ajuda a diminuir a devastação florestal. Pelo fato de ser um rejeito reciclável, as fibras lignocelulósicas residuais tem a vantagem de custos comparativamente baixos que podem fazer uma grande diferença no momento da escolha comercial.

Uma fibra natural lignocelulósica que vem sendo extensivamente utilizada pela nossa sociedade é a juta.^(3,4) Embora poucos resíduos resultem da utilização de fibras de juta, tecidos com malhas grossas destas fibras, são utilizados em muitos países na fabricação de sacos de aniagem para armazenar e transportar produtos como batatas, algodão, carvão, etc. Com o uso prolongado, o saco vai se esgarçando, e acaba imprestável para a finalidade original. Nesta situação, o saco é descartado, sendo lançado ao lixo ou então queimado.

Mesmo em um saco de aniagem já esgarçado, a maioria das fibras de juta permanece ainda formando uma trama. Assim, existe a possibilidade de se usar estes sacos como matéria prima para extração de pedaços de tecido de juta que então poderiam ser aproveitados como reforço de compósito de matriz polimérica. Este tipo de compósito poderia também ter sua matriz feita de um resíduo polimérico, o que o tornaria, por completo, ambientalmente amigável. Entretanto, para que se tenha um compósito suficientemente rígido para competir com produtos convencionais do tipo chapas de aglomerado de madeira, somente um percentual limitado de tecido de juta poderia ser incorporado na matriz polimérica. Isto significa que o custo final do compósito acabaria dependendo mais do seu processamento e da resina polimérica utilizada como matriz.

Em todo o mundo a reciclagem de plásticos é hoje uma prática corrente e até incentivada no sentido de oferecer ganhos às populações de baixa renda, bem como evitar o acúmulo de lixo que acarreta poluição ambiental. No Brasil, em particular, todas as grandes cidades possuem associações de catadores que coletam e reciclam plásticos. Em consequência, diversos reciclados poliméricos, já limpos e classificados, estão disponíveis a um custo comparativamente bem mais barato que as resinas virgens. Dentre estes plásticos reciclados, os mais facilmente encontrados e com menor preço de venda são os polietilenos. Assim, é perfeitamente viável ter-se tanto o tecido usado de juta quanto o polietileno reciclado para a fabricação de compósitos ambientalmente amigáveis e de baixo custo.

Tendo em vista estas considerações, o objetivo deste trabalho foi investigar a viabilidade tecnológica e econômica de se confeccionar compósitos com matriz de polietileno reciclado, reforçada com o tecido de juta proveniente de sacos de aniagem descartados.

MATERIAIS E MÉTODOS

O tecido de juta usado como reforço do compósito foi cortado diretamente de sacos de aniagem comuns que haviam sido descartados. A grossa malha com entrelaçamento quadrado destes sacos, devido ao uso, apresentava um espaçamento máximo de 5 mm entre fios paralelos no entrelaçamento. A Figura 1 ilustra o aspecto típico dos sacos de aniagem utilizados nesta investigação. Peças retangulares do tecido destes sacos foram cortadas no mesmo tamanho do molde usado para fabricar as placas de compósitos. Estas peças de tecido foram, inicialmente, limpas e secas ao ar livre, procurando reproduzir condições de processamento as menos onerosas possíveis.

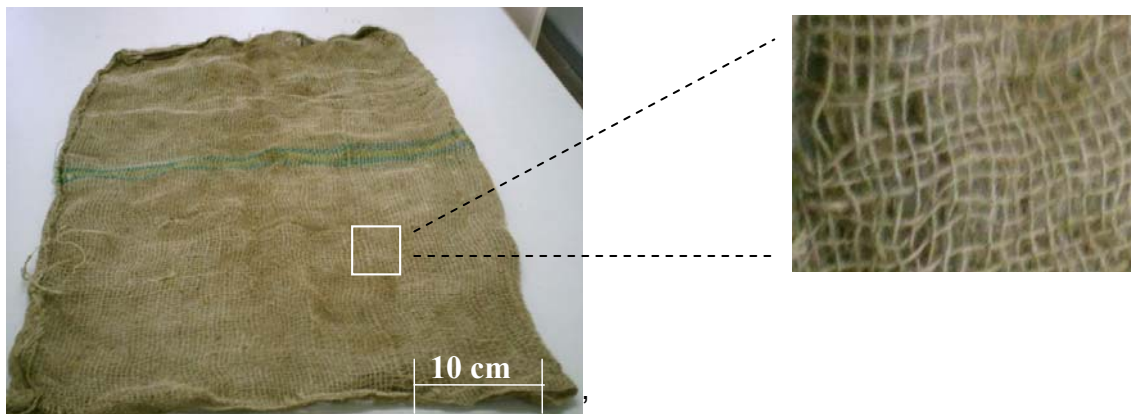


Figura 1. Saco de aniagem cujo tecido foi utilizado como reforço de compósito.

O polietileno empregado neste trabalho foi obtido na forma de pequenos pedaços reciclados por uma empresa de coleta do lixo no estado do Rio de Janeiro. Estes pedaços já estavam relativamente limpos e pouco contaminados com outros tipos de plásticos.

Placas de compósitos, que serviram como corpos de prova, foram processadas em moldagem por compressão a quente. O procedimento usado neste processamento, iniciou-se com a acomodação de camadas de tecido de juta entremeadas por pedaços de polietileno preenchendo o molde até a fração em peso desejada. Esta fração variou de 0 a 40% de tecido. O molde retangular fechado com dimensões de 114 x 25 x 10 mm foi então submetido a uma temperatura de 160°C sob pressão de 1,7 MPa por uma hora. Após resfriamento, cada corpo de prova foi ensaiado por flexão de três pontos em máquina Instron, modelo 5582 com 10 kN de capacidade. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM D-790, recomendada para plásticos. A relação da distância entre pontos de apoio para a espessura ("span to depth ratio") foi mantida em 9 e a velocidade do ensaio em 1mm/min. Pelo menos três corpos de prova foram ensaiados para cada fração de tecido de juta, garantindo um mínimo de precisão estatística.

A superfície de fratura dos corpos de prova bem como a microestrutura do tecido de juta e das partículas de polietileno foram caracterizadas, após cobertura com ouro, por microscopia eletrônica de varredura, MEV, em microscópio Jeol, modelo JSM-6460 LV operando em um intervalo de voltagem de 15-20 kV para o feixe de elétrons.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta uma micrografia por MEV de detalhe do tecido de juta. Nesta figura pode-se observar que os fios da malha são formados por um trançado grosseiro de fibras de juta com evidências de já ter ocorrido esgarçamento. Os espaços entre as fibras no trançado, por outro lado, podem favorecer a impregnação do tecido pelo polietileno fundido durante o processamento do compósito.

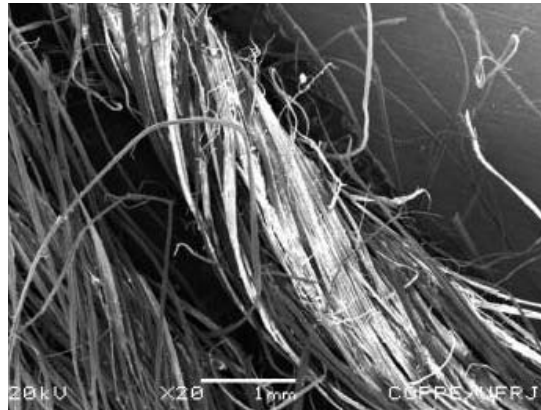


Figura 2. Micrografia por MEV das fibras trançadas de juta formando os fios do tecido.

A Figura 3 exemplifica o aspecto de algumas curvas típicas de carga vs. extensão obtidas de ensaios de flexão em corpos de prova com diferentes frações em peso de tecido de juta. Vale comentar que todas as curvas de flexão, inclusive a correspondente ao polietileno puro, apresentaram alguma extensão plástica antes de ser atingida a carga máxima de resistência do material.

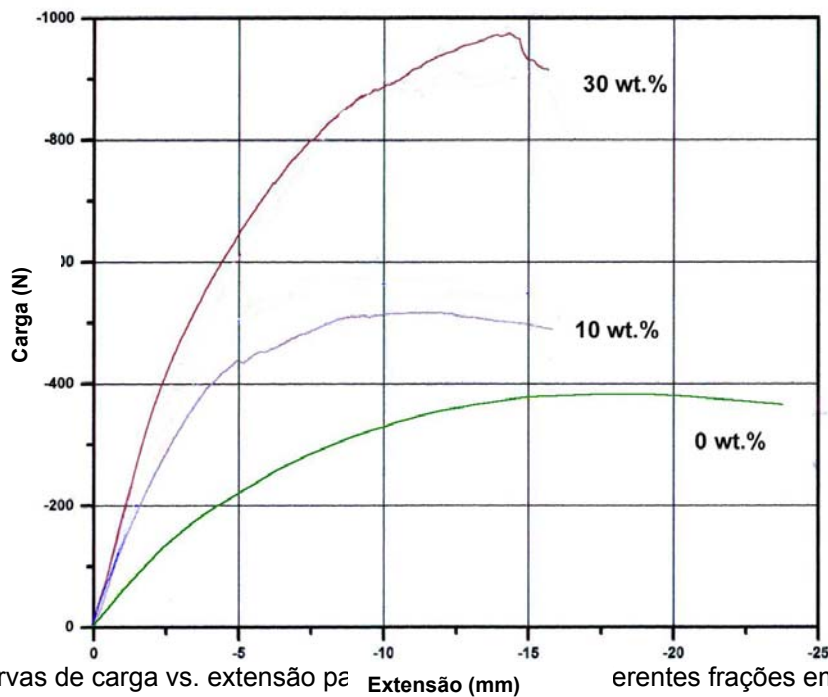


Figura 3. Curvas de carga vs. extensão para diferentes frações em peso de tecido de juta.

A extensão plástica dos compósitos indica que o tecido de juta acompanha, até certo ponto, a deformação da matriz de polietileno. Isto pode ser sinal de um razoável acoplamento entre a fibra e o polietileno.

A partir do valor da carga máxima de curvas como as da Figura 3, calculou-se a resistência mecânica, também conhecida como módulo de ruptura à flexão, do compósito através da equação:

$$\sigma_r = \frac{3LQ}{2bd^2} \quad [1]$$

onde **Q** é o valor da carga máxima, **L** a distância entre apoios, **b** a largura e **d** a espessura do corpo de prova. Tendo em vista os valores conhecidos da geometria do corpo de prova e das condições de ensaio, a Eq. [1] simplifica-se para:

$$\sigma_r \text{ (MPa)} = 54 \times 10^{-3} Q \text{ (N)} \quad [2]$$

Baseado na Eq. [2] e nos resultados das curvas como as da Figura 3, apresenta-se na Figura 4 a variação da resistência à flexão dos compósitos com matriz de polietileno em função da quantidade em peso de tecido de juta usado como reforço.

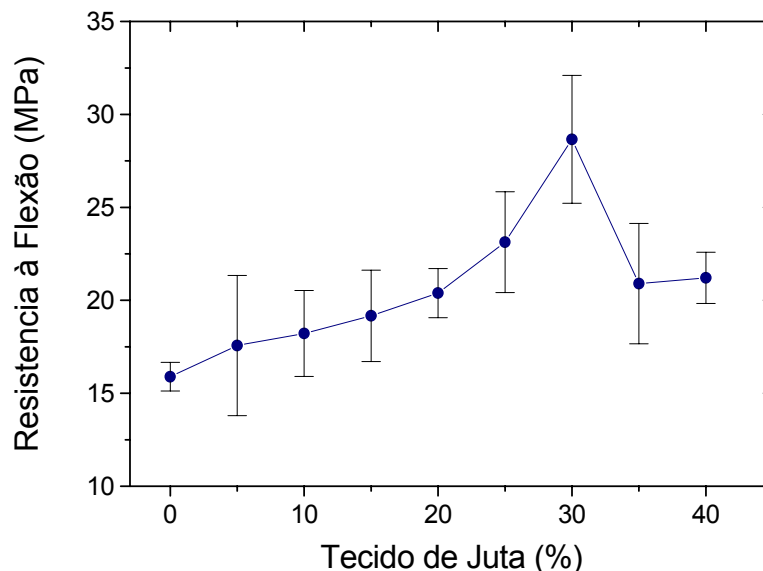


Figura 4. Variação da resistência à flexão com fração em peso de tecido de juta.

Alguns pontos valem ser mencionados em relação aos resultados da Figura 4. O valor da resistência à flexão do polietileno reciclado, correspondente à condição de 0% de tecido de juta, é da ordem do que indica a literatura⁽⁵⁾ para a resistência mecânica do polietileno de baixa densidade. Isto significa que, embora se trate de um plástico reciclado, o polietileno utilizado nesta investigação apresenta resistência comparável à de resinas virgens. Outro ponto relevante é que, até 30% de incorporação, o tecido usado de juta causa um expressivo reforço na matriz de polietileno. Pode-se notar na Figura 4 que, introduzindo-se tecido de juta, a resistência à flexão do compósito aumenta quase exponencialmente com a fração em peso. Para frações de tecido de juta acima de 30% observa-se uma sensível queda na resistência. Entretanto, até 40% ainda ocorre um efetivo reforço relativamente à matriz de polietileno. Incorporações ainda maiores tornam cada vez mais difícil o processamento do compósito. A razão para este efetivo reforço

causado pelo tecido de juta pode ser melhor compreendida através da análise do comportamento em fratura dos compósitos.

A Figura 5 ilustra, por micrografias de MEV, o aspecto típico da superfície de fratura de corpos de prova com: (a) 0% e (b) 30% em peso de tecido de juta. No caso do corpo de prova constituído inteiramente de polietileno reciclado, Figura 5(a), a fratura apresenta marcas características do processo de ruptura esperado para este polímero. Já no compósito com 30% de tecido de juta, Figura 5(b), ocorre uma participação marcante das fibras no processo de ruptura.

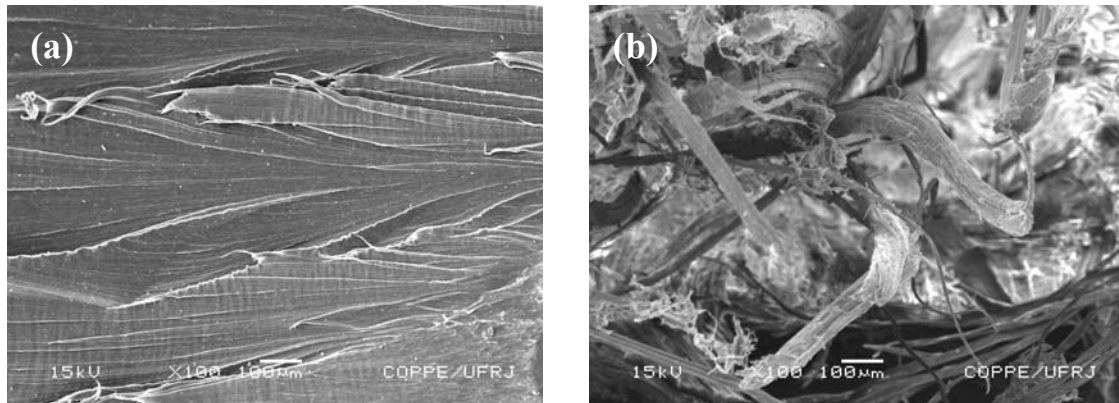


Figura 5. Micrografias da superfície de fratura de corpos de prova ensaiados em flexão: (a) polietileno puro; (b) compósito com 30% de tecido de juta.

Tendo em vista o comportamento microestrutural mostrado na Figura 5, percebe-se que o tecido de juta contribui de maneira efetiva para aumentar a resistência da matriz de polietileno. O entrelaçamento do tecido de juta ajuda a prender a matriz relativamente macia de polietileno. Além disso, pela Figura 5(b), nota-se que as fibras de juta estão aparentemente bem aderidas à superfície de ruptura do polietileno. Em consequência, até 30%, quanto maior for a quantidade de tecido de juta, mais eficiente torna-se o mecanismo de transferência de esforços da matriz para a fibra. Isto resulta em um aumento aproximadamente exponencial, Figura 4, da resistência à flexão com a fração de fibra de juta no compósito. Também é importante mencionar que o maior reforço acarretado pelo tecido deve-se ao fato da juta ser uma das mais resistentes fibras lignocelulósicas que pode alcançar até 900 MPa.^(6,7)

Para quantidades de tecido de juta acima de 30%, já não ocorre uma impregnação tão eficiente do polietileno fluidizado a quente. Assim, muitos vazios ficam formados no compósito. Isto contribui para o decréscimo na resistência à flexão observado na Figura 4.

Um aspecto importante a ser mencionado diz respeito ao potencial que os compósitos de tecido usado de juta reforçando matriz de polietileno reciclado apresentam para substituir materiais tradicionalmente utilizados em construção civil e mobiliário. Este potencial baseia-se, em primeiro lugar, no desempenho mecânico que naturalmente se espera de compósitos poliméricos reforçados com fibra de juta. Para ilustrar a relevância comparativa deste desempenho, a Tabela 1 destaca a resistência à flexão de compósitos reforçados com fibra de juta, inclusive a deste trabalho, em confronto com outros materiais convencionais.

Tabela 1. Resistência à flexão de compósitos de juta e de outros materiais convencionais.

Material	Fração em Peso (%)	Resistência à Flexão (MPa)	Referência
Tecido de Juta / Polietileno Reciclado	30	28,66	Este trabalho
Fibra Alinhada de Juta / Poliéster	44	89	(8)
Fibra Alinhada de Juta / Epóxi	33	150	(9)
Fibra Picada de Juta / Poliestireno	30	55	(10)
Madeira Compensada	-	15-21	(11)
Painel de Madeira de Baixa Densidade	-	5-10	(12)
Painel de Gesso	-	9-11	(13)

Em segundo lugar, o custo corrobora o potencial específico dos compósitos investigados no presente trabalho. Embora não seja possível ter-se com precisão o custo total destes compósitos, é possível se fazer uma estimativa que permita compara-los com outros materiais. Assim, a Tabela 2 apresenta esta estimativa de custo, levando-se em conta os seguintes parâmetros:

- a) Custo do polietileno reciclado: R\$ 1,00 / kg;
- b) Custo do saco usado de juta: até agora nulo;
- c) Custos de processamento e adicionais : R\$ 0,20 / kg
- d) Lucro de 30% sobre o valor final.

Na Tabela 2 também estão apresentados os preços no comércio, referentes a fevereiro de 2006, de outros materiais. Além disto, a Tabela 2 em sua última coluna apresenta uma relação entre a resistência mecânica e o custo, cujo valor, quanto mais elevado, corresponderia a uma melhor relação benefício/custo para o material.

Tabela 2. Preço para comercialização dos compósitos juntamente com o preço de venda (Fevereiro/2006) de outros materiais.

Material	Preço (R\$/kg)	Resistência / Preço (MPa/R\$/kg)
Polietileno reciclado	1,56	10,2
Compósito 30% saco de juta	1,17	24,5
Compósito 40% saco de juta	1,04	20,4
Madeira compensada	1,82	11,5
Painel de baixa densidade	1,53	6,5
Painel de gesso	0,83	13,3

Tendo em vista os resultados apresentados na Tabela 2, vale a pena acrescentar os seguintes comentários. Em termos de preço, os compósitos com matriz de polietileno reciclado, reforçada com tecido de juta de sacos descartados, são competitivos em confronto com materiais convencionais para a construção civil e mobiliário. Na verdade, somente o painel de gesso é mais barato que os compósitos investigados. Mesmo assim, dentro dos parâmetros propostos, a partir da incorporação de 57% de tecido de juta, o que não foi feito neste trabalho, o compósito tornar-se-ia mais barato que qualquer material convencional.

Em termos da relação resistência mecânica/preço, o compósito com 30% de tecido de juta é insuperável comparativamente a qualquer outro material convencional. Além disso, nunca é demais lembrar que estes compósitos são ambientalmente amigáveis e relativamente impermeáveis.

CONCLUSÕES

- Compósitos de tecido de juta, proveniente de saco de aniagem descartado, reforçando matriz de polietileno reciclado, apresentam um grande potencial para uso em construção civil e mobiliário.
- Até 30% de tecido de juta, a resistência mecânica aumenta significativamente, atingindo um valor máximo que é praticamente o dobro do polietileno sem reforço. Acima deste percentual, ocorre queda na resistência, porém ainda com valores associados a um efetivo reforço até 40% de tecido de juta.
- A microestrutura revelou que o entrelaçamento do tecido de juta e a efetiva aderência do polietileno às fibras contribuem para o desempenho mecânico do compósito. Para quantidades relativamente grandes de fibra de juta, acima de 30%, o processamento empregado gerou vazios que diminuíram a resistência mecânica sem, contudo, comprometer o efeito de reforço.
- Uma avaliação preliminar do possível preço de comercialização dos compósitos investigados, baseada em parâmetros propostos para os custos de material, fabricação e outros adicionais, mostrou vantagens comparativamente a materiais convencionais, inclusive aqueles à base de madeira.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do CNPq, CAPES, FAPERJ e FAPERJ. É também motivo de agradecimento a permissão para utilização do MEV do PEMM/COPPE/UFRJ bem como a colaboração prestada por Márcia Soares Sader e Felipe Sabatino Gonçalves Vieira.

REFERÊNCIAS

- 1 AQUINO, R.C.M.P.; D'ALMEIDA, J.R.M.; MONTEIRO, S.N. Flexural Mechanical Properties of Piassava Fibers (*Attalea funifera*)-Resin Matrix Composites. **J. Mater. Sci. Letters**, v. 20, p.1017-1019, 2001.
- 2 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, 2005, Cartagena, Colombia, 1 CD, p. 1-6.
- 3 BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. Composites Reinforced with Cellulose-Based Fibres. **Prog. Polym. Sci**, v.24, p.221-274, 1999.
- 4 D'ALMEIDA, J.R.M.; MONTEIRO, S.N. Compósitos Reforçados por Fibras Naturais – Oportunidades e Desafios. In: 58° CONGRESSO ANNUAL DA ABM, 2003, Rio de Janeiro, Brasil, 1CD, p. 1-10.
- 5 CALLISTER JR., W.D. **Materials Science and Engineering – An Introduction**, Nova York: John Wiley & Sons, 1994, cap. 17, p. 769.
- 6 BLEDZKI, A.K., REIHAME, S.; GASSAN, J. Properties and Modification Methods for Vegetable Fibers for Natural Fiber Composites, **J. Appl. Polym. Sci.**, v. 59, p. 1329-1336, 1996.
- 7 BAILEY, C.; D'ANSELME, T.; GUYADER, J. Mechanical Properties of Natural Fibers, **Composites**, (em francês) v. 37, p. 28-34, 1997.
- 8 MOHANTY, A.K.; MISRA, M. Studies on Jute Composites – A Literature Review, **Polym. Plast. Technol. & Eng.**, v. 34, p. 729-792, 1995.
- 9 SHAH, A.N.; LAKKAD, S.C. Mechanical Properties of Jute Reinforced Plastics, **Fiber Sci.& Technol.**, v. 15, p. 41-46, 1981.
- 10 SNIJDER, M.H.B.; REINERINK, E.J.M.; BOS, H.L. Polypropylene and Polystyrene Reinforced with Annual Plant Fibers: Screening and Coupling Agents, In: 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NATURAL POLYMERS AND COMPOSITES, 1998, Atibaia, SP, Brasil, p.135-138.
- 11 CARTER, G.F.; PAUL, D.E. **Materials Science and Engineering**, Metals Park, USA: ASM International, 1991, p. 281.
- 12 YOUNGQUIST, J.A. **Encyclopedia of Composite Materials and Components**, New York, USA: John Wiley & Sons, 1983, p. 661.
- 13 MONTEIRO, S.N.; D'ALMEIDA, J.R.M.; PETRUCCI, J.L.T. Estudo Comparativo do Desempenho de Painéis Compósitos à Base de Resíduos Poliméricos, In: 60° CONGRESSO ANUAL DA ABM, 2005, Belo Horizonte, Brasil, 1CD, p. 1-9.