

AVALIAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL DE COMPÓSITOS DE FIBRAS DE BAMBU¹

Deibson Silva da Costa²
Nelson Ned Nascimento Lacerda³
Roberto Tetsuo Fujiyama⁴

Resumo

O trabalho tem como objetivo principal confeccionar compósitos de fibras de bambu utilizando matriz de poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada na proporção em relação à resina de 0,33% em volume. As fibras de bambu foram extraídas manualmente por fricção e caracterizadas física, mecânica e microestruturalmente. As fibras de bambu foram cortadas nos comprimentos de 5 mm e 15 mm e utilizadas da maneira como extraídas, sem tratamento superficial. Os compósitos foram fabricados por moldagem manual, sem pressão e a temperatura ambiente. Foram fabricados 10 corpos de prova para cada série de compósitos reforçados por bambu, variando-se o comprimento das fibras. As avaliações mecânicas foram analisadas por ensaios de tração e as superfícies de fratura geradas foram avaliadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados de tração das fibras de bambu foram 475,02 MPa e massa específica de 1,35 g/cm³. Os compósitos de bambu de 5 mm a tração foi 17,94 MPa e para os compósitos de bambu de 15 mm a tração foi 24,05 MPa. As análises das superfícies de fraturas tanto das fibras como dos compósitos foram eficientes.

Palavras-chave: Compósitos poliméricos; Materiais; Fibras de bambu.

MICROSTRUCTURAL AND MECHANICS EVALUATION OF COMPOSITE BAMBOO FIBERS

Abstract

The work has as main objective to fabricate composites using bamboo fibers terephthalic unsaturated polyester matrix and pre-accelerated in proportion to the resin 0,33% by volume. The bamboo fibers were manually extracted and characterized by friction physical, mechanical and microstructural. The bamboo fibers were cut in lengths of 5 mm and 15 mm and used in the manner as drawn, without surface treatment. The composites were made by molding by hand without pressure and room temperature. Were produced 10 (ten) samples for each series of reinforced composites bamboo, varying the length of the fibers. The evaluations were analyzed by mechanical tensile tests and fracture surfaces generated were evaluated by scanning electron microscopy (SEM). The results of the tensile strength of bamboo fibers was 475,02 MPa and density of 1,35 g/cm³. The composite bamboo of 5 mm traction was 17,94 MPa to the composite bamboo of 15 mm traction was 24,05 MPa. The analysis of fracture surfaces of both the fibers and the composites were effective.

Key words: Polymer composites; Materials; Bamboo fibers.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Eng. Mecânico, Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - PPGEM, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, ITEC / UFPA; deibsonsc@yahoo.com.br

³ Matemático, Professor, Universidade Federal Fluminense (UFF), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁴ Eng. Mecânico, Dr., Professor Adjunto, PPGEM – ITEC / UFPA.

1 INTRODUÇÃO

A conscientização com relação a questões relacionadas ao impacto ambiental e desenvolvimento sustentável tem levado a renovação no interesse em materiais provenientes de fontes naturais, aumentando a introdução de novas matérias-primas e produtos.⁽¹⁾

O reforço de materiais de construção com fibras vegetais é conhecido há milênios, e o emprego de fibras vegetais como reforço do gesso vem desde o Renascimento. Apesar de um grande número de trabalhos de pesquisa comprovarem a eficiência das fibras vegetais como reforço, o seu emprego na produção industrial é ainda muito pequeno, provavelmente em função de eventuais custos para adaptação do processo produtivo, como também pela falta de informações referentes à disponibilidade de fibras vegetais para o mercado da construção.⁽²⁾

Inseridos neste contexto, o estudo sobre o uso de fibras vegetais como material de reforço em plásticos tem aumentado nas últimas décadas, devido ao seu baixo custo, por ser matéria-prima proveniente de recursos renovável e produzir materiais de com boas propriedades mecânicas. O Brasil tem grande potencial para produzir e comercializar diferentes fibras. Porém, muitas fibras como as de coco, abacaxi, bambu e bananeiras são majoritariamente descartadas, ou seja, correspondem a resíduos agrícolas, sendo que a sua utilização proporcionaria possibilidades de obtenção de recursos à populações de regiões carentes (principalmente do norte e nordeste) em que normalmente são plantadas.⁽³⁾

O Bambu é uma planta abundante em todo o território brasileiro, ocorre nos solos mais inóspitos, com rápido crescimento e com boas propriedades mecânicas tanto no estado *in natura* como também no reforço fibroso de materiais compósitos. Entretanto, apesar do bambu possuir um enorme potencial, ainda são poucos as pesquisas e ações para incorporá-lo como material efetivo de engenharia.

Nesse cenário, o artigo tem como finalidade caracterizar as fibras e os compósitos de bambu, verificando suas propriedades e analisando suas condições de aplicação como material construtivo.

2 MATERIAIS E METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

O polímero utilizado no desenvolvimento do trabalho foi a resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada na proporção de 0,33% (v/v). A resina foi adquirida no comércio de Belém do Pará.

As fibras de bambu foram adquiridas através da extração manual dos bambus plantados no campus da Universidade Federal do Pará. As fibras foram cortadas manualmente (com tesoura) nos comprimentos de 5 mm e 15 mm. As fibras foram utilizadas sem tratamento superficial e em condições ambiente. A Figura 1 mostra a resina poliéster e as fibras de bambu utilizadas no trabalho.



(a)



(b)

Figura 1. Materiais utilizados: (a) Resina poliéster; e (b) fibras de bambu.

Na Figura 1a mostra a resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada; a Figura 1b ilustra as fibras de bambu cortadas nos comprimentos desejados.

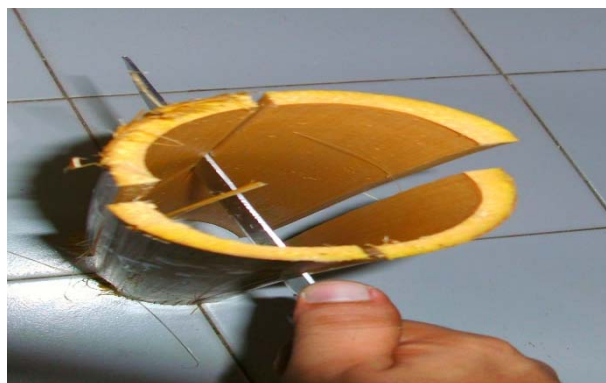
2.2 Metodologia Experimental

2.2.1 Fibras de bambu

Na extração das fibras de bambu não se utilizou aparato tecnológico, sendo a extração puramente manual, simplesmente com auxílio de uma faca e recipiente com água. A Figura 2 mostra a extração das fibras.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2. Extração das fibras de bambu: (a) plantação; (b) corte dos colmos; (c) filetes de bambu; e (d) desfibramento manual.

A Figura 2a mostra a plantações dos colmos de bambu na Universidade Federal do Pará; a Figura 2b mostra o corte (com faca) dos colmos de bambu; a Figura 2c

mostra os filetes de bambu prontos para serem submersos em água; e a Figura 2d ilustra a extração manual das fibras de bambu.

2.2.1.1 Caracterização das fibras de bambu

As fibras de bambu, sem tratamento superficial, foram caracterizadas quanto à sua resistência à tração e alongamento, segundo a norma ASTM D3822-96;⁽⁴⁾ massa específica e teor de umidade, conforme a norma DNER-ME 084/95;⁽⁵⁾ diâmetro, aspecto superficial e a sua microestrutura através de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Foram ensaiadas em tração 100 amostras de fibras de bambu. A Figura 3 mostra os equipamentos utilizados na caracterização das fibras.

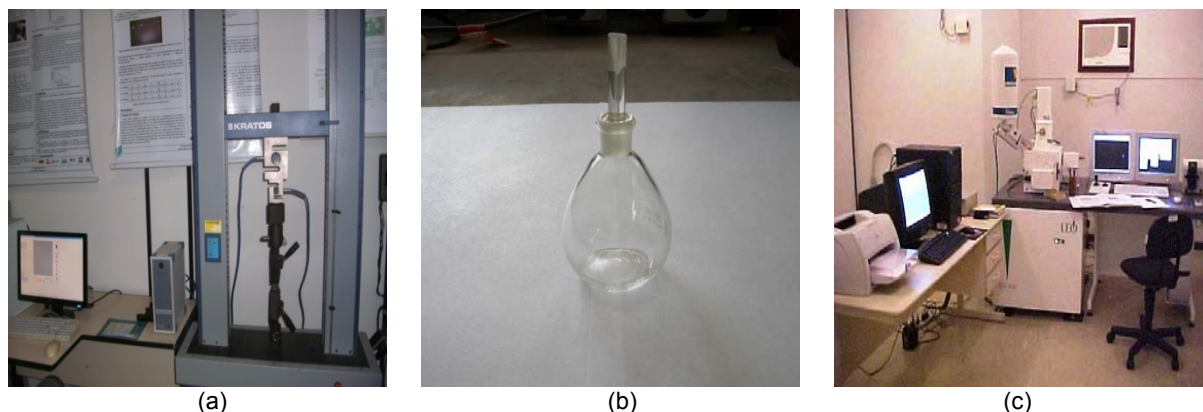


Figura 3. Caracterização das fibras de bambu: (a) máquina de ensaio de tração, (b) picnômetro; e (c) microscopia eletrônica de varredura (MEV).

A Figura 3a apresenta a máquina universal de ensaio de tração marca Kratos modelo IKCL3 com sistema de aquisição de dados, com célula de carga 5 kN, a uma velocidade de 0,5 mm/min e comprimento útil para medição entre garras de 15 mm. Utilizada para determinação da resistência a tração e alongamento das fibras. A Figura 3b mostra o picnômetro utilizado para determinação da massa específica e teor de umidade das fibras. A Figura 3c ilustra o microscópio eletrônico de varredura (MEV) utilizado para obtenção dos aspectos superficiais, microestruturas e regiões fraturadas das fibras.

2.2.2 Confeccões dos compósitos de bambu

Os corpos de prova foram fabricados por moldagem manual utilizando-se moldes de silicone, sem desmoldante e sem pressão. Os comprimentos e as frações mássicas de fibras dos compósitos de bambu foram baseados na literatura pesquisada.⁽⁶⁾

A determinação das frações mássicas se deu pelo enchimento total dos moldes vazios com as fibras de 5 mm e 15 mm, sem compactação ou pressão das fibras nos moldes, depois pesadas e determinadas as frações para cada comprimento de fibra.

Foram fabricadas duas séries de 10 corpos de prova (CP`s) para cada comprimento de fibras de 5 mm e 5,41% de fração mássica de fibras e para o comprimento de fibras de 15 mm e 3,90% de fração mássica de fibras, para ensaio de tração com as proporções de agente de cura/resina de 0,33% (v/v), misturando as quantidades pré-pesadas de resina, agente de cura e fibras de bambu, em um becker, sendo a mistura homogeneizada por cerca de 5 minutos e vazadas à temperatura ambiente nos moldes.

2.2.2.1 Caracterização dos compósitos de bambu

Os compósitos de bambu foram caracterizados mecanicamente através de ensaios de tração de acordo com a norma ASTM D 638M⁽⁷⁾ e seguiram as medidas como demonstrado esquematicamente na Figura 4.

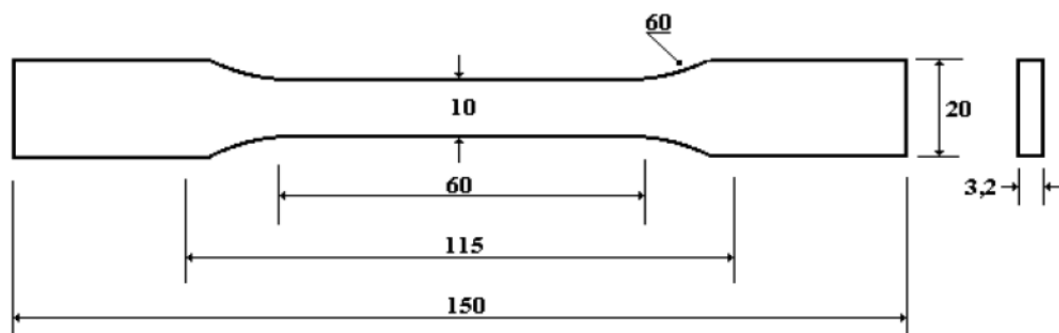


Figura 4. Dimensões (em mm) dos corpos de prova para ensaio de tração (sem escala).

Os ensaios de tração dos compósitos foram realizados em máquina universal marca EMIC, modelo DL500 com sistema de aquisição de dados, com carga máxima de 5 kN, adotando velocidade de 5 mm/min e comprimento útil para medição entre garras de 60 mm. Foram ensaiados 20 amostras de compósitos.

Após a realização dos ensaios mecânicos, as superfícies de fratura dos corpos de prova foram analisadas de forma a se estudar os mecanismos de falhas de cada composição fabricada. A morfologia das superfícies de fratura foi analisada por microscopia eletrônica de varredura.

A Figura 5 mostra todas as etapas de fabricação e caracterização dos compósitos de bambu.

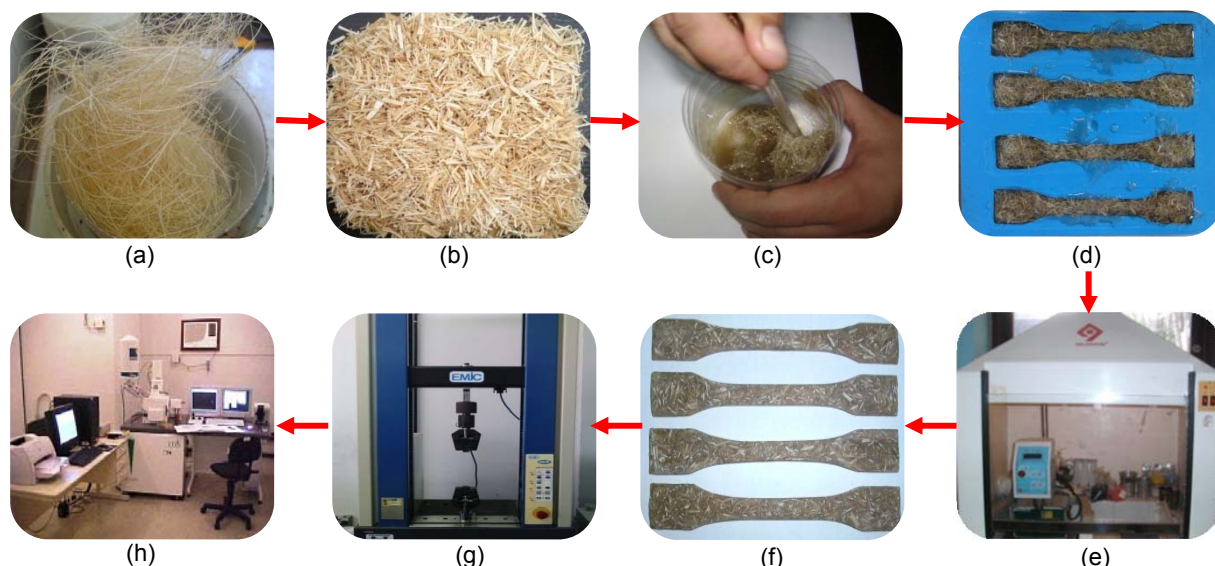


Figura 5. Etapas de fabricação e caracterização dos compósitos de bambu: (a) Fibras de bambu; (b) Fibras cortadas; (c) Homogeneização fibra/resina; (d) Compósito no molde de silicone; (e) Compósitos na capela; (f) Compósitos lixados; (g) Máquina de ensaio de tração; e (h) Microscópio eletrônico de varredura.

A Figura 5a mostra as fibras de bambu extraídas manualmente; a Figura 5b mostra as fibras de bambu cortadas nos comprimentos desejados (5 mm e 15 mm); a Figura 5c ilustra a homogeneização fibra/resina; a Figura 5d mostra os molde de

silicone utilizado para fabricação dos compósitos; a Figura 5e ilustra a capela utilizada para a cura dos compósitos; a Figura 5f mostra os compósitos lixados para ensaio de tração, seguindo os procedimentos metalográficos; a Figura 5g ilustra a máquina de ensaio de tração para caracterização mecânica dos compósitos; a Figura 5h mostra o microscópio eletrônico de varredura (MEV), utilizado para obtenção das morfologias da superfície de fratura dos compósitos de bambu.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização das Fibras de Bambu

As fibras de bambu foram caracterizadas quanto à sua resistência à tração, alongamento, diâmetro, massa específica, teor de umidade, aspecto superficial e a sua microestrutura. Os resultados da caracterização mecânica e física das fibras estão demonstrados na Tabela 1. As fibras foram caracterizadas sem tratamento superficial.

Tabela 1. Resultados da caracterização das fibras de bambu

Material	Resist. Tração (MPa)	Alongamento (%)	Diâmetro (mm)	Massa Específica (g/cm ³)	Teor de Umidade (%)
Fibra de Bambu	475,02* (± 72,65)	6* (± 3,08)	0,245* (± 0,005)	1,35* (± 0,01)	12* (± 0,5)

* valores médios

Os resultados encontrados na Tabela 1 estão dentro da média dos valores obtidos por outros pesquisadores.⁽⁸⁾

As fibras de bambu apresentaram seção em forma elíptica; porém, consideraram-se as fibras de seção circular para a medida do seu diâmetro.

A resistência a tração das fibras de bambu estão superior a média encontrada por outros autores, como pode ser observado na Tabela 2 que apresenta uma comparação entre as fibras vegetais que já são bastante empregadas em materiais compósitos e a fibra de bambu.

Tabela 2. Comparativo entre algumas fibras vegetais empregadas em compósitos e a fibra de bambu

Fibra	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)	Massa específica (g/cm ³)
Sisal ²	347 - 378	4,9 – 5,4	1,37
Coco ²	95 - 118	-	1,17
Bambu	475,02*	6*	1,35*
Juta ²	230	3,7 – 6,5	-
Malva ²	160	5,2	1,40
Piaçava ²	143	6	1,05

As fibras de bambu apresentaram microestruturas peculiares típicas de fibras vegetais, mostrando vazios, microcavidades, fibras elementares, cavidades, irregularidades etc. A Figura 6 mostra a caracterização microestrutura da fibra de bambu.

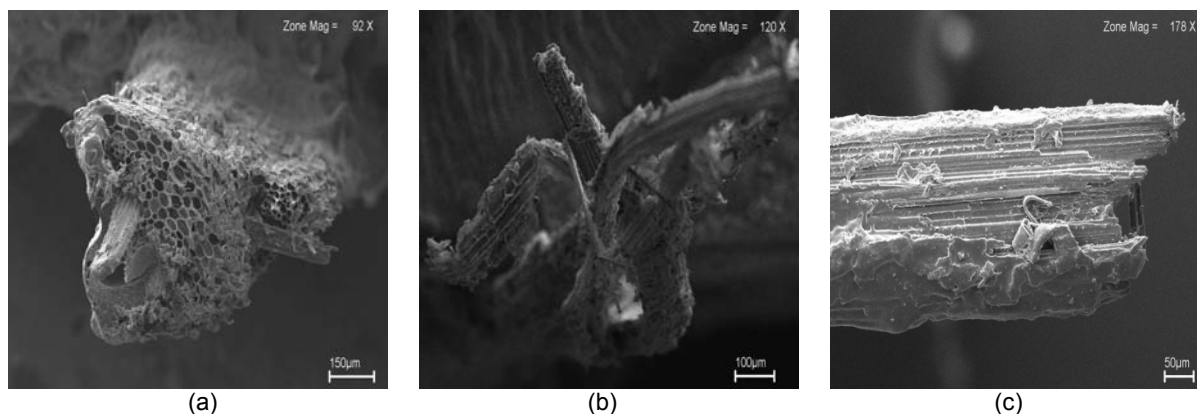


Figura 6. Microscopia eletrônica de varredura: (a) Fibra de bambu em forma elíptica apresentando vazios e microcavidades; (b) Aspecto da região de fratura da fibra de bambu após ensaio de tração, ilustrando o rompimento das fibras elementares; (c) Aspecto superficial da fibra bambu, ilustrando irregularidades e cavidades superficiais.

Na Figura 6a temos a fibra de bambu em forma elíptica apresentando vazios e microcavidades; a Figura 6b mostra a imagem da região de fratura da fibra de bambu após ensaio de tração, ilustrando o rompimento das fibras elementares; a Figura 6c ilustra o aspecto superficial da fibra bambu, ilustrando irregularidades, cavidades e resíduos superficiais.

3.1 Caracterização dos Compósitos de Bambu

A Tabela 3 mostra os resultados da caracterização mecânica dos compósitos de bambu com seus comprimentos do reforço e suas frações mássicas.

Tabela 3. Resultados da caracterização mecânica dos compósitos de bambu

Reforço	Fração Mássica do Reforço (F_M) %	Resistência a Tração (σ) (MPa)
Sem reforço	0,0	35,25 (\pm 3,65)
Bambu 5 mm	5,41	17,94 (\pm 1,98)
Bambu 15 mm	3,90	24,05 (\pm 1,86)

Os dados indicam que a resistência do compósito produzido aumentou com o aumento do comprimento da fibra, confirmando o que tem sido reportado por outros pesquisadores.⁽⁸⁾

Apesar da melhoria das propriedades do compósito com o aumento do comprimento da fibra, o compósito reforçado com fibras de 15 mm obteve desempenho mecânico 26% superior ao compósito reforçado com fibras de 5 mm, o que provavelmente ocorreu pela concentração de tensão que ocorre nas pontas das fibras, nucleando trincas.

Nos compósitos com fibras curtas (5 mm), a maior concentração de tensão ao longo da interface fibra/matriz ocorre nas extremidades das fibras e quanto menor o comprimento das fibras, maior o número destas extremidades, o que causa a depreciação das propriedades mecânicas de tração do compósito.⁽⁸⁾

As variáveis (comprimento e fração mássica das fibras) são de grande influência nas propriedades mecânicas dos compósitos fabricados. Porque quando se aumenta o comprimento das fibras nos compósitos, há um aumento em sua resistência mecânica. Já a fração mássica foi determinada através do enchimento dos moldes vazios. Mas, o aumento ou diminuição da fração mássica de fibras nos compósitos irão incrementar sua resistência mecânica. O que se busca é o melhor

balanceamento dessas duas variáveis (comprimento e fração mássica) para obter-se a sinergia das propriedades dos compósitos.

Na caracterização microestrutural dos compósitos de bambu, a análise foi efetuada para determinação dos mecanismos de falhas dominantes nas regiões fraturadas dos compósitos. Na Figura 7 temos os aspectos das regiões fraturas dos compósitos reforçados pro fibras de bambu (5 mm e 15 mm) com suas respectivas frações mássicas e seus mecanismos de falhas predominantes.

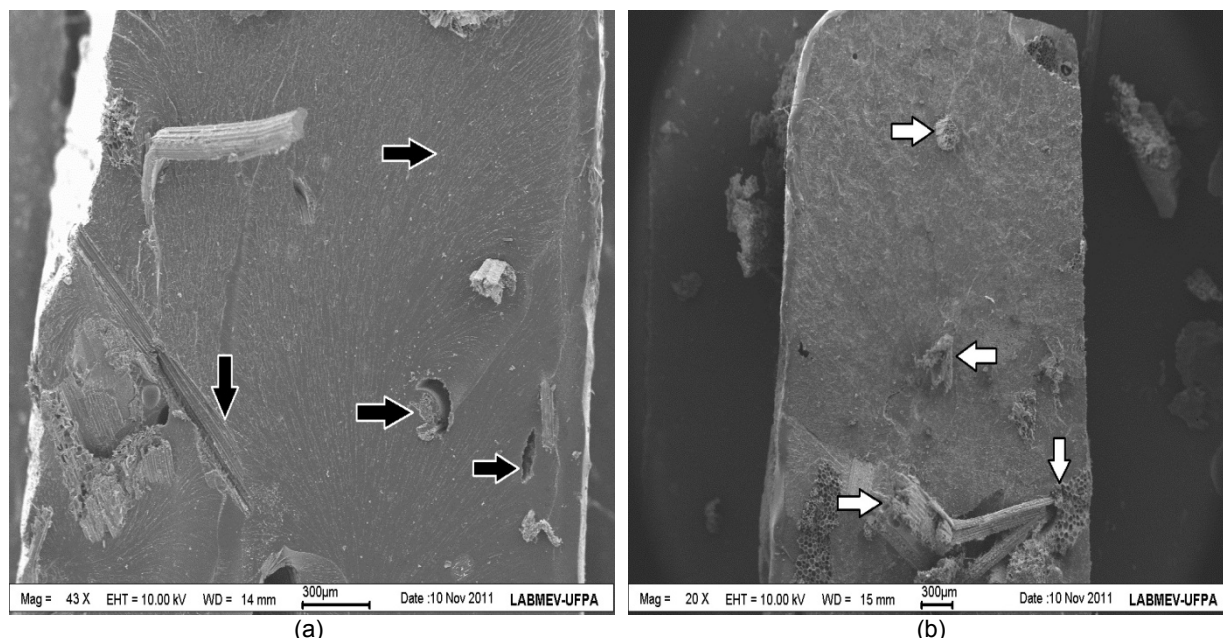


Figura 7. Microscopia eletrônica de varredura dos compósitos: (a) Superfície de fratura de compósito reforçado com fibras de bambu de 5 mm e 5,41% de fração mássica de fibras. As setas pretas indicam o *pull out* (sacaram) das fibras da matriz e as estrias da irradiação de trincas; (b) superfície de fratura de compósito reforçado com fibras de bambu de 15 mm e 3,90% de fração mássica de fibras. As setas brancas indicam a predominância de fibras rompidas.

A Figura 7a mostra o compósito com fibras de bambu de 5 mm e 5,41% de fração mássica de fibras, onde podemos observar que o mecanismo de falhas predominantes foram o *pull out* (sacaram) das fibras da matriz e estrias na superfície do compósitos (setas pretas) evidenciando nucleação de trincas, mostrando uma ineficiência da adesão na interface fibra/matriz, o que resultou na diminuição da resistência mecânica dos compósitos com relação aos compósitos de bambu de 15 mm.

A Figura 7b apresenta o compósito com fibras de bambu de 15 mm e 3,90% de fração mássica de fibras, onde verificamos uma predominância da presença de fibras rompidas (setas brancas), evidenciando a eficiência da adesão fibra/matriz. O que resultou no aumento da resistência mecânica dos compósitos.

4 CONCLUSÕES

As fibras de bambu apresentaram resistência mecânica superior às fibras vegetais pesquisadas.

Os compósitos de bambu de 5 mm e 5,41% apresentaram resultados de resistência mecânica superior aos encontrados na literatura. Porém, os compósitos de bambu de 15 mm e 3,90% foram os que apresentaram maior resistência mecânica entre os

compósitos fabricados. Demonstrando assim a influência dos comprimentos das fibras nas propriedades mecânicas dos compósitos.

Na análise das superfícies fraturadas dos compósitos; nos compósitos de menores resistências mecânica os mecanismos de falhas predominantes foram o *pull out* (sacaram as fibras) e a irradiação de trincas. Nos compósitos de maiores resistências mecânica os mecanismos de falhas foi o rompimento das fibras.

Os resultados encontrados tanto para caracterização das fibras como para os compósitos de bambu foram bastante aceitáveis, tornando-os os mesmos como uma opção de materiais ecologicamente corretos e com características adequadas para serem utilizados.

Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa de pós-graduação concedida, e ao Laboratório de Engenharia Mecânica (Labem) da Universidade Federal do Pará pelas realizações dos experimentos deste trabalho e ao Itgam – Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia.

REFERÊNCIAS

- 1 GEORGE, J.; SREEKALA, M. S.; THOMAS, S. A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastic composites. **Polymer Engineering and Science**, v. 41, n. 9, p. 1471-1485, 2001.
- 2 SAVASTANO JUNIOR, H. **Materiais à Base de Cimento Reforçados com Fibra Vegetal: Reciclagem de Resíduo Para a Construção de Baixo Custo**. 152 f. Tese (Livre Docência em Engenharia Civil – Materiais e Componentes de Construção) - Universidade de São Paulo, 2000.
- 3 RAZERA, I. A. T. **Fibras Lignocelulósicas como Agente de Reforço de Compósitos de Matriz Fenólica e Lignofenólica**. 189 f. Tese (Doutorado em Ciências – (Físico-química)) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- 4 ASTM D 3822 – 1996, “**Standard Test method for Tensile Properties of Single Textile - Fibers**”, Annual Book of ASTM Standards”, American Society for Testing and Materials, 1996.
- 5 Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (1995). **DNER-ME 084/95**. Agregado miúdo – determinação da densidade real.
- 6 RODRIGUES, J. da S. **Comportamento Mecânico de Material Compósito de Matriz Poliéster Reforçado por Sistema Híbrido Fibras Naturais e Resíduos da Indústria Madeireira**. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.
- 7 ASTM D 638 - 1989, “**Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (metric)**”, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 1989.
- 8 SILVA, R. V. **Compósito de Resina Poliuretano Derivada de Óleo de Mamona e Fibras Vegetais**. 2003. 157 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2003.