

# POLIÉSTER REFORÇADO COM FIBRAS DE SISAL<sup>1</sup>

Deibson Silva da Costa<sup>2</sup>  
José Manoel Freire Guimarães<sup>3</sup>  
Nelson Ned Nascimento Lacerda<sup>4</sup>  
Roberto Tetsuo Fujiyama<sup>5</sup>

## Resumo

Compósitos de matriz poliéster combinada com fibras de sisal foram fabricados. A matriz de poliéster utilizada foi a tereftálica insaturada e pré-acelerada. As fibras de sisal foram adquiridas no comércio local de Belém do Pará, sendo caracterizadas física, mecânica e microestruturalmente, em seguida foram cortadas manualmente nos comprimentos de 5 mm e 15 mm. Os compósitos foram fabricados por processo simples utilizando moldagem manual e sem pressão. Foram fabricados 10 corpos de prova para cada série de compósitos reforçados com fibras de sisal com comprimentos 5 mm e 15 mm. As propriedades mecânicas foram determinadas por ensaios de tração e as superfícies de fratura dos corpos de prova foram analisadas de forma a se estudar os mecanismos de falha de cada composição fabricada. A morfologia da superfície de fratura foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Foi determinada a massa específica, bem como a fração mássica dos reforços nos compósitos. O resultado de tração da fibra foi 453,62 MPa e massa específica de 1,42 g/cm<sup>3</sup>. Para os compósitos de sisal (5 mm – 5,41%) a tração encontrada foi de 16,98 MPa e os compósitos de sisal (15 mm – 3,90%) a tração foi de 27,05 MPa. A fractografia foi eficiente na determinação das superfícies de falhas.

**Palavras-chave:** Poliéster; Fibras de sisal; Materiais; Meio ambiente.

## POLYESTER REINFORCED SISAL FIBER

### Abstract

Polyester matrix composites combined with sisal fibers were fabricated. The matrix used was a polyester unsaturated terephthalic and pre-accelerated. The sisal fibers were acquired in the local market of Belém of Pará, being characterized physical, mechanical and microstructural then were manually cut in lengths of 5 mm and 15 mm. The composites were produced by manual molding process using simple and without pressure. Were produced 10 samples for each series of composites reinforced with sisal fibers with lengths 5 mm and 15 mm. The mechanical properties were determined by tensile and fracture surfaces of specimens were analyzed to study the failure mechanisms of each composition manufactured. The fracture surface morphology was analyzed by scanning electron microscopy (SEM). Was determined by the specific mass of each series of samples made and the mass fraction of the reinforcements in composites. The results of tensile of the fibers was 453,62 MPa and density of 1,42 g/cm<sup>3</sup>. For composites sisal (5 mm – 5,41%) tensile strength was 16,98 MPa and sisal composite (15 mm – 3,90%) tensile strength was 27,05 MPa. The fractography was efficient in determining the fault surfaces.

**Key words:** Polyester; Sisal fibers; Materials; Environment.

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

<sup>2</sup> Eng. Mecânico. Doutorando. PPGEM, ITEC/ UFPA, Belém, Pará, Brasil. [deibsonsc@yahoo.com.br](mailto:deibsonsc@yahoo.com.br).

<sup>3</sup> Graduando, FEM, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, ITEC / UFPA.

<sup>4</sup> Matemático. Professor, Universidade Federal Fluminense (UFF), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>5</sup> Eng. Mecânico. Dr., Professor Adjunto, PPGEM, ITEC/ UFPA.



## 1 INTRODUÇÃO

Os materiais estão em toda a nossa volta; estão engajados em nossa cultura e presentes em nossa mais ampla existência. Eles têm estado tão intimamente relacionados com a emergência e ascensão do homem, que acabaram por dar nome a Idades da civilização, como a Idade da Pedra, a Idade do Bronze e a Idade do Ferro. Ocorrendo naturalmente ou elaborados pelo homem, os materiais têm se tornado parte integrante de nossas vidas. Eles são, sem dúvida, a substância de trabalho de nossa sociedade; desempenham uma função crucial não somente em nosso desenvolvimento natural de vida, mas, também, no bem-estar e na segurança de nações.<sup>(1)</sup>

Com o passar do tempo novos materiais são desenvolvidos para atender as necessidades do homem. Nesse sentido, os materiais compósitos têm desempenhado um papel importante na evolução dos materiais, por que graças as suas excelentes combinações de propriedades mecânicas têm permitido que a humanidade consiga explorar áreas que antes eram restringidas pelos materiais convencionais.

O uso de fibras vegetais compósitos envolve todo um apelo ambiental, social e econômico por materiais renováveis e de baixo custo.

Derivados de fibras naturais, como a fibra de sisal, têm como principais produtos os fios biodegradáveis utilizados em artesanato, no enfardamento de forragens e cordas de várias utilidades, inclusive navais. O sisal também é utilizado na produção de estofados, pasta para indústria de celulose, produção de tequila, tapetes decorativos, remédios, biofertilizante, ração animal e adubo orgânico. As fibras naturais já estão sendo utilizadas em algumas aplicações como substitutas das fibras sintéticas, devido ao seu apelo ecológico.<sup>(2)</sup>

Entre as fibras vegetais empregadas como reforço em compósitos formados de uma matriz polimérica, uma das mais citadas na literatura nas últimas décadas é o sisal. O sisal é uma importante fibra cultivada no Brasil, utilizada principalmente em cordoaria e artesanato, mas que pode ter seu valor agregado multiplicado se utilizado como reforço de compósitos poliméricos. O sisal é uma fibra ligno-celulósica leve ( $1 \text{ g/cm}^3$  a  $1,2 \text{ g/cm}^3$ ), atóxica, que apresenta alto módulo e resistência específica custa aproximadamente dez vezes menos que a fibra de vidro e, ao contrário desta fibra inorgânica, causa menos danos por abrasão aos equipamentos e moldes.<sup>(3)</sup> Estes fatores, aliados à alta tenacidade, à resistência à abrasão e ao baixo custo tornam o sisal uma das mais estudadas fibras naturais

Este trabalho analisa as características das fibras e dos compósitos de sisal em diferentes comprimentos de fibras, buscando o domínio do conhecimento dessas propriedades para aperfeiçoá-las e tornar os compósitos dessas fibras naturais vegetais adequados para serem aplicados cada vez mais nos setores das engenharias e indústrias.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

O poliéster utilizado foi a tereftálica insaturada e pré-acelerada na relação de 0,33% (v/v). Adquirida no comércio de Belém-PA. A Figura 1 mostra o poliéster utilizado.

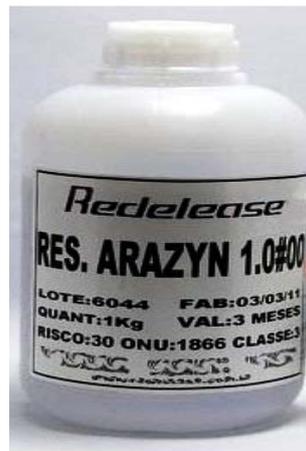


Figura 1. Resina poliéster.

As fibras de sisal da espécie *Agave sisalana* foram obtidas da maneira como extraídas no comércio da cidade de Belém-PA, sem qualquer processo de lavagem ou secagem e em condições. A Figura 2 mostra os feixes de fibras de sisal em seu estado natural.



Figura 2. Feixes das fibras de sisal como adquiridas.

Na Figura 2 temos os feixes de fibras de sisal que serão submetidos aos procedimentos experimentais.

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Fibras de sisal

As fibras de sisal foram cortadas (com tesoura) em dois comprimentos diferentes: 5 mm e 15 mm. Foram retiradas 100 fibras, sem tratamento superficial, como amostras. A Figura 3 apresenta as fibras de sisal cortadas.



Figura 3. Fibras de sisal cortadas.

Na Figura 3 ilustra as fibras de sisal já cortadas para serem caracterizadas e utilizadas na produção dos compósitos.

#### 2.2.1.1 Caracterização das fibras de sisal

A caracterização das fibras de sisal foi à sua resistência à tração e alongamento, segundo a norma ASTM D3822-96;<sup>(4)</sup> massa específica e teor de umidade, de acordo com a norma DNER-ME 084/95;<sup>(5)</sup> diâmetro, aspecto superficial e a sua microestrutura através de microscopia eletrônica de varredura (MEV). A Figura 4 mostra os equipamentos utilizados na caracterização das fibras.

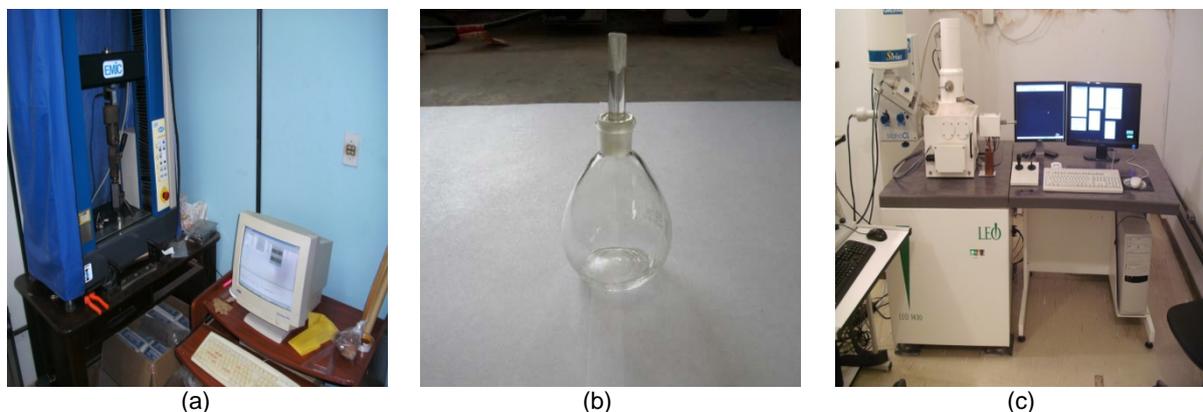


Figura 4. Caracterização das fibras de sisal: (a) máquina de ensaio de tração; (b) picnômetro; e (c) microscopia eletrônica de varredura (MEV).

A Figura 4a temos máquina de tração marca EMIC modelo DL500 com célula de carga 5 kN, velocidade de 0,5 mm/min e comprimento útil para medição entre garras de 15 mm, utilizada para caracterização mecânica das fibras. A Figura 4b mostra o picnômetro utilizado para determinação da massa específica e teor de umidade das fibras. A Figura 4c ilustra o microscópio eletrônico de varredura (MEV) utilizado para obtenção das microestruturas das fibras.

### 2.2.2 Confeções dos compósitos de sisal

Os compósitos de sisal foram fabricados por moldagem manual utilizando-se moldes de silicone, sem desmoldante e sem pressão. A Figura 5 mostra os moldes de silicone utilizados.



Figura 5. Moldes de silicone.

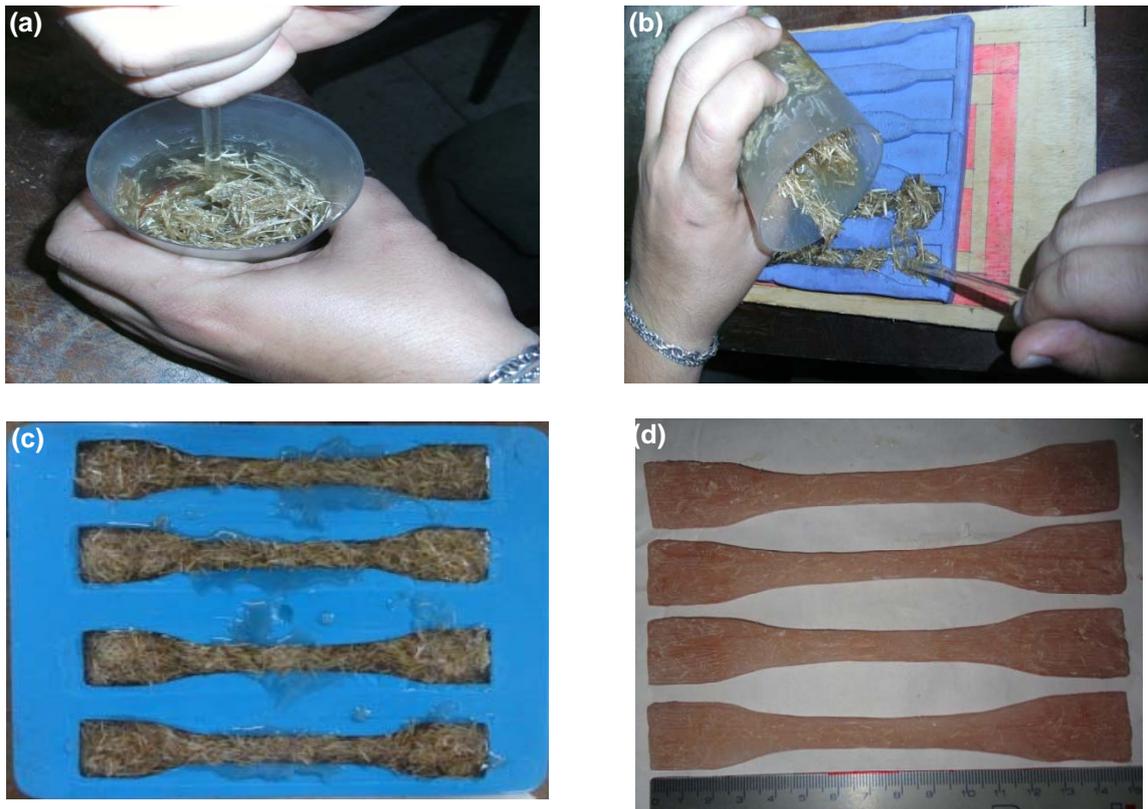
Os comprimentos e as frações mássicas (5 mm e 5,41%) e (15 mm e 3,90%) dos compósitos de sisal foi de acordo com a literatura estudada.<sup>(6)</sup>

Pois, sabe-se que quando aumentamos os comprimentos das fibras nos moldes (compósitos) haverá a tendência de aumento de sua resistência mecânica. Por isso, houve a variação do comprimento de 5 mm e 15 mm.

As frações mássicas foram determinadas através do enchimento total dos moldes vazios com as fibras de 5 mm e 15 mm, sem compactação ou pressão das fibras nos moldes, sendo depois pesadas e determinadas suas frações mássicas para cada comprimento de fibras.

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.

A Figura 6 mostra as etapas de produção dos compósitos de sisal.

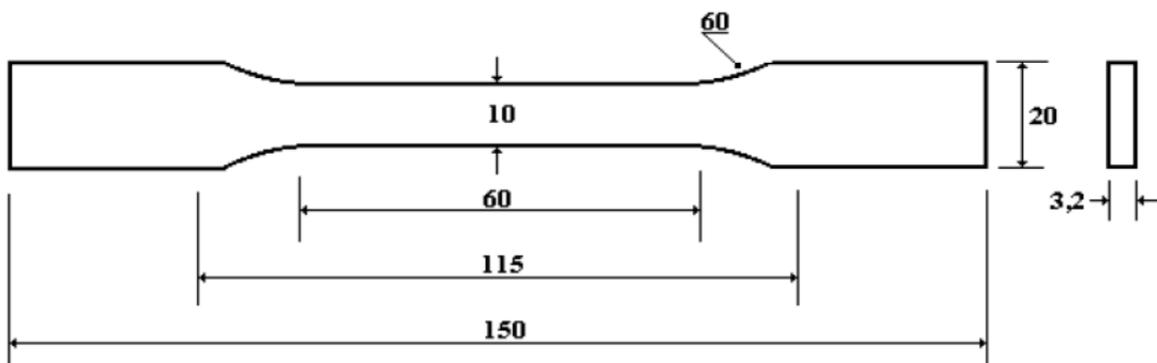


**Figura 6.** Etapas de fabricação: (a) mistura fibra/resina; (b) vazamento da mistura (fibra/resina) nos moldes e (c) moldes totalmente preenchidos e (d) compósitos de sisal fabricados.

Na Figura 6a temos a mistura fibra/resina por cerca de 5 minutos; a Figura 6b mostra o vazamento da fibra/resina nos moldes de silicone; na Figura 6c temos os moldes totalmente enchidos para sua cura; e a Figura 6d apresenta os compósitos de sisal devidamente lixados e pronto para serem ensaiados.

### 2.2.2.1 Caracterização dos compósitos de sisal

Os compósitos de sisal foram caracterizados mecanicamente através de ensaios de tração conforme a norma ASTM D 638M<sup>(7)</sup> e com as medidas mostradas na Figura 7.



**Figura 7.** 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 carga máxima de 5 kN, adotando velocidade de 5 mm/min e comprimento útil para medição entre garras de 60 mm. Foram

ensaiadas um total de 20 amostras. A Figura 8 mostra a máquina de ensaio de tração dos compósitos de sisal.



**Figura 8.** Máquina de ensaio de tração dos compósitos.

Após a realização da caracterização mecânica, as superfícies de fraturas dos compósitos foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) para se estudar os mecanismos de falhas que ocorreram.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Caracterização das Fibras de Sisal

As fibras de sisal 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.

**Tabela 1.** Resultados da caracterização das fibras de sisal

Material	Resist. Tração (MPa)	Alongamento (%)	Diâmetro (mm)	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de Umidade (%)
<b>Fibra de Sisal</b>	<b>453,62 (± 91,98)</b>	<b>5,5 (± 2,02)</b>	<b>0,250 (± 0,032)</b>	<b>1,42 (± 0,01)</b>	<b>13,10 (± 0,5)</b>

Os resultados das caracterizações mecânica e física das fibras de sisal encontrados foram semelhantes ou superiores aos resultados encontrados por outros pesquisadores.<sup>(6)</sup> Sendo que estas fibras (sisal) já são bastante estudadas e pesquisadas como reforço de compósitos.

Na Tabela 2 temos uma comparação dos resultados da fibra de sisal encontrada neste trabalho com os resultados encontrados por outros pesquisadores.

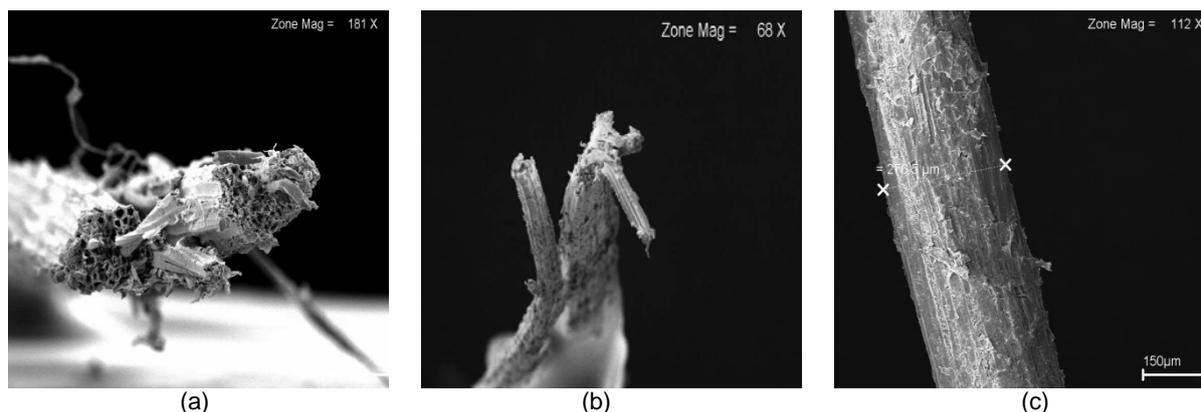
**Tabela 2.** Comparativo entre resultados das propriedades físicas e mecânicas da fibra de sisal deste trabalho com os resultados encontrados por outros pesquisadores

Fibra	Resist. Tração (MPa)	Alongamento (%)	Diâmetro (mm)	M. Específica (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Sisal</b>	<b>453,62 (± 91,98)</b>	<b>5,5 (± 2,02)</b>	<b>0,250</b>	<b>1,42</b>
Sisal <sup>(8)</sup>	218,3 (± 51,30)	7,07(±3,95)	0,482	1,591
Sisal <sup>(9)</sup>	176 (± 63,36)	2,2 (±0,04)	0,194	-
Sisal <sup>(10)</sup>	268,1(± 61,20)	2,08 (±1,23)	0,223	-

Os resultados demonstrados na Tabela 2 mostram que a resistência mecânica da fibra de sisal estudada neste trabalho foi em média de 50% superior aos resultados encontrados por outros autores, confirmando seu emprego como compósito.

As propriedades das fibras vegetais (sisal) dependem muito da região de onde foram extraídas, como por exemplo, tipo de solo, métodos de extração (manual ou mecânica), condições climáticas e outros fatores que irão influenciar diretamente nas suas propriedades de uma maneira geral, mas principalmente na sua resistência mecânica. Fato que explica a alta resistência das fibras de sisal encontradas neste trabalho com relação a outros pesquisadores.

As fibras de sisal foram caracterizadas macro e microestrutural. A Figura 9 mostra a caracterização da microestrutura da fibra de sisal.



**Figura 9.** Microscopia eletrônica de varredura: (a) fibra de sisal apresentando os lumens com vazios entre as microfibrilas; (b) fibra de sisal após o ensaio de tração, mostrando as microfibrilas rompidas; e (c) superfície da fibra de sisal, apresentando irregularidades e resíduos de lignina.

Na Figura 9a temos a fibra de sisal apresentando lumens com vazios entre as microfibrilas; a Figura 9b mostra a fibra de sisal com as microfibrilas rompidas após ensaio de tração; a Figura 9c ilustra a superfície da fibra de sisal com irregularidades e resíduos de lignina.

### 3.2 Caracterização dos Compósitos de Sisal

A Tabela 3 mostra a caracterização mecânica dos compósitos de sisal com seus comprimentos do reforço e suas frações mássicas.

**Tabela 3.** Resultados da caracterização mecânica dos compósitos de sisal

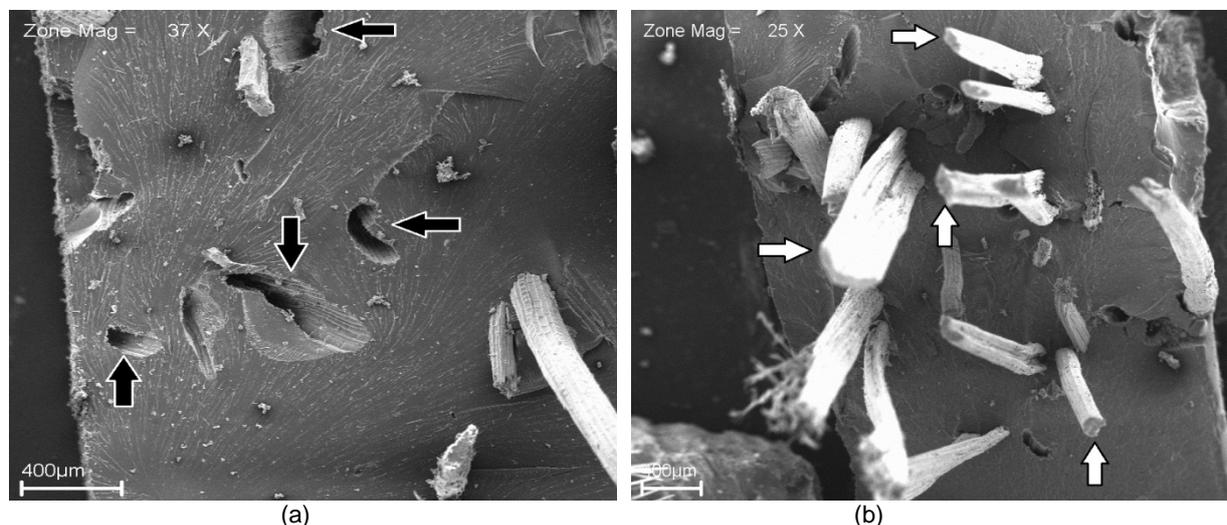
Reforço	Fração Mássica do Reforço (F <sub>M</sub> ) %	Resistência a Tração (σ) (MPa)
<b>Sisal 5 mm</b>	<b>5,41</b>	<b>16,98 (± 1,37)</b>
<b>Sisal 15 mm</b>	<b>3,90</b>	<b>27,05 (± 2,49)</b>

Os resultados mostram que a resistência do compósito produzido aumentou com o aumento do comprimento da fibra. O compósito obteve uma melhoria significativa das suas propriedades mecânicas com o aumento do comprimento da fibra, o compósito reforçado com fibras de 15 mm obteve desempenho mecânico 38% superior ao compósito reforçado com fibras de 5 mm.

Pois, quanto maior o comprimento da fibra, menor será o número de pontas dessas fibras, imediatamente menor será a possibilidade de nucleação de trincas no compósito, atuando de maneira positiva nas propriedades mecânicas do compósito. Vale citar ainda que com aumento do comprimento de fibras no compósito, tem-se a melhora do efeito de alinhamento das fibras conseguido nos compósitos.<sup>(9)</sup>

A variação desses dois parâmetros (comprimento e fração mássica das fibras) são de crucial importância para a determinação das melhores propriedades desejadas para os compósitos produzidos. Pois, podem ter sinergia nas propriedades dos compósitos.

A análise microestrutural dos compósitos de sisal foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) para determinação dos mecanismos de falhas dos compósitos. Na Figura 10 temos os aspectos das regiões fraturas dos compósitos reforçados por fibras de sisal de 5 mm e 15 mm.



**Figura 10.** Microscopia eletrônica de varredura dos compósitos: (a) Fratura de compósito reforçado com fibras de sisal de 5 mm e 5,41% de fração mássica. As setas pretas indicam o pull out (sacaram) das fibras da matriz; e (b) Fratura de compósito reforçado com fibras de bambu de 15 mm e 3,90% de fração mássica. As setas brancas indicam as fibras rompidas.

Na Figura 10a temos o compósito com fibras de sisal de 5 mm e 5,41% de fração mássica de fibras, onde observamos pelas setas pretas que as falhas dominantes foram o *pull out* (sacaram) das fibras da matriz, provando a não tão boa adesão fibra/matriz, o que prejudica suas propriedades mecânicas de tração.

A Figura 10b mostra o compósito com fibras de sisal de 15 mm e 3,90% de fração mássica de fibras, onde conferimos pelas setas brancas a presença de fibras rompidas, mostrando a boa ancoragem fibra/matriz. O que resultou no aumento da resistência mecânica dos compósitos. Elevando a resistência mecânica de tração dos compósitos.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados das fibras de sisal de resistência mecânica deste trabalho foram acima de outros encontrados por outros pesquisadores. A caracterização microestrutural das fibras foi eficaz, identificando suas peculiaridades.

Na caracterização mecânica dos compósitos de sisal de 5 mm e 15 mm. Os compósitos de sisal de 15 mm apresentaram maior resistência mecânica. Foi constatada a grande influência dos comprimentos de fibras na resistência mecânica dos compósitos.

Na caracterização microestrutural dos compósitos de sisal foram determinadas suas principais características apresentadas com relação sua resistência mecânica.

Os resultados encontrados tanto da fibra como dos compósitos de sisal foram bons, sendo de acordo ou melhores que encontrados na literatura pesquisada, justificando assim o porquê já são bastante aplicados como materiais de engenharia.

#### 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 Itegam – Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia.

#### REFERÊNCIAS

- 1 COHEN, MORRIS. **Ciência e engenharia dos materiais**: Os materiais em nosso cotidiano. Disponível em: <<http://pgmat.br.tripod.com/materiais.htm>>. Acesso em: 7 abr. 2011.
- 2 JOSHI, S. V.; DRZAL, L. T.; MOHANTY, A. K.; ARORA, S. Are natural fibre composites environmentally superior to glass fibre reinforced composites? **Composites Pat A**, v. 35, p. 371-6, 2004.
- 3 GASSAN, J.; BLEDZKI, A. K. Composites reinforced with cellulose based fibres. **Progress in Polymer Science**, v. 24, p. 221–274, 1999.
- 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 CARVALHO, R. F. **Compósitos de fibras de sisal para uso em reforço de estruturas de madeira.** 119 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- 9 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.
- 10 SILVA, O. R. R. F.; BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio do sisal no Brasil.** Brasília: Embrapa-SPI, 1999.