

# CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E MICROESTRUTURAIS DE FIBRAS DE BAMBU E SISAL<sup>1</sup>

Deibson Silva da Costa<sup>2</sup>

Izrael Pinho dos Santos<sup>2</sup>

Léo César de Oliveira Pereira<sup>3</sup>

Nelson Ned Nascimento Lacerda<sup>4</sup>

Roberto Tetsuo Fujiyama<sup>5</sup>

## Resumo

Atualmente nas engenharias de modo geral observa-se uma tendência na busca por materiais procedentes de fontes renováveis. O uso de fibras vegetais reforçando polímeros, por exemplo, representam uma alternativa na substituição parcial de fibras sintéticas, como as de vidro, em compósitos. Neste trabalho busca-se apresentar as características mecânicas e microestruturais das fibras de bambu e sisal, sem qualquer tratamento. Mostrando a relação de sua microestrutura com seu desempenho mecânico. As características mecânicas foram determinadas por ensaio de tração nas fibras; e a caracterização microestrutural foi obtida através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) sendo efetuada antes e depois das fibras serem tracionadas e conseqüentemente fraturadas. Os resultados mostram grande influência das características geométricas da microestrutura das fibras (dimensões, forma e diâmetro) em seu desempenho mecânico, já que dependendo dessas características das fibras, resultarão em produto com maiores ou menores propriedades mecânicas. Foram também determinadas características físicas das fibras, buscando-se conhecer esses parâmetros para melhoria de suas propriedades.

**Palavras-chave:** Caracterização mecânica e microestrutural; Fibras vegetais.

## MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL CHARACTERISTICS OF FIBRE BAMBOO AND SISAL

### Abstract

Currently in engineering in general there is a tendency in the search for materials coming from renewable sources. The use of reinforcing polymers vegetal fibers, for example, represent an alternative in partial replacement of synthetic fibers such as glass composites. This paper seeks to present the mechanical and microstructural characteristics of bamboo and sisal fibers without any treatment. Showing the relationship of their microstructure with its mechanical performance. The mechanical characteristics were determined by tensile testing the fibers, and microstructural analyzes were performed using scanning electron microscopy (SEM) was performed before and after fibers are tensioned and subsequently fractured. The results show great influence of the geometric characteristics of the microstructure of the fiber (size, shape and diameter) in its mechanical performance, since these characteristics depending on the fibers resulting in products with higher or lower mechanical properties. We also determined the physical characteristics of fibers, aiming to meet these parameters to improve their properties.

**Key words:** Mechanical and microstructural characterization; Vegetable fibers.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 67<sup>o</sup> 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.

<sup>3</sup> Graduando, Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM), Instituto de Tecnologia (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

A utilização de fibras vegetais em compósitos reforçados para a construção civil pode ser de grande interesse para os países em desenvolvimento e seria capaz de contribuir para o crescimento de suas infra-estruturas.<sup>(1)</sup>

As fibras vegetais são fibras de baixo módulo de elasticidade e elevada resistência à tração. Seu emprego como reforço proporciona às matrizes cimentícias maior resistência ao impacto, causada por maior absorção de energia, possibilidade de trabalho no estágio pós fissurado e um aumento na capacidade de isolamento termo-acústico.<sup>(2)</sup>

Uma das características muito importantes inerentes as fibras vegetais é a relação entre o comprimento e o diâmetro da fibra que é fator determinante na transferência de esforços para a matriz dos compósitos. Outro ponto interessante é a seção transversal irregular das fibras vegetais, bem como seu aspecto fibrilado, que exercem influência positiva sobre a ancoragem dessas fibras, junto a matrizes frágeis.<sup>(3)</sup>

Nesse contexto duas fibras vegetais merecem destaque, a fibra de sisal e a fibra de bambu. As fibras 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>(4)</sup>

As fibras de bambu ainda são pouco estudadas no Brasil. Derivada de uma das plantas mais abundante na natureza, o bambu que tem rápido crescimento e boas propriedades mecânicas tanto no estado *in natura* como quando utilizado como reforço fibroso de materiais compósitos.

O artigo analisa as características mecânicas e microestruturais das fibras de bambu e sisal com relação à influência das formas e dimensões das fibras nas suas propriedades.

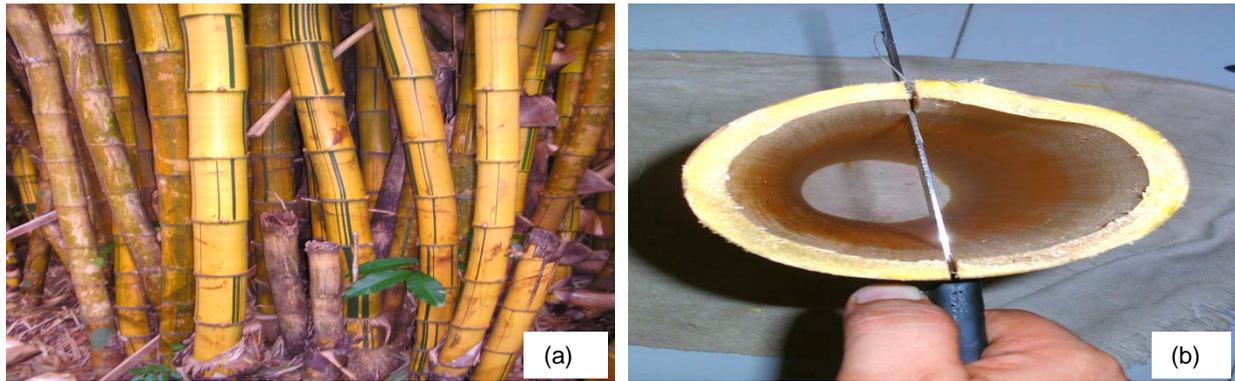
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

#### 2.1.1 Fibras de bambu (*Bambusa vulgaris*)

As fibras de bambu da espécie *Bambusa vulgaris cv vittata* foram extraídas manualmente das plantas de bambu localizadas no campus da Universidade Federal do Pará (UFPA). Retira-se a planta de bambu, ou seja, os colmos de bambu das touceiras em seguida dividiram-se os colmos (com faca) em internós, para deixá-los na forma de lâminas, e então as lâminas são passadas em um laminador manual, tomando-se o cuidado para não esmagar ou quebrar as fibras, nessa etapa o objetivo é apenas que através da laminação, haja a descompactação das fibras da lignina, para então, no processo seguinte seja facilitada a retirada das fibras. Em todas as etapas do processo de extração faz-se o uso somente de água.

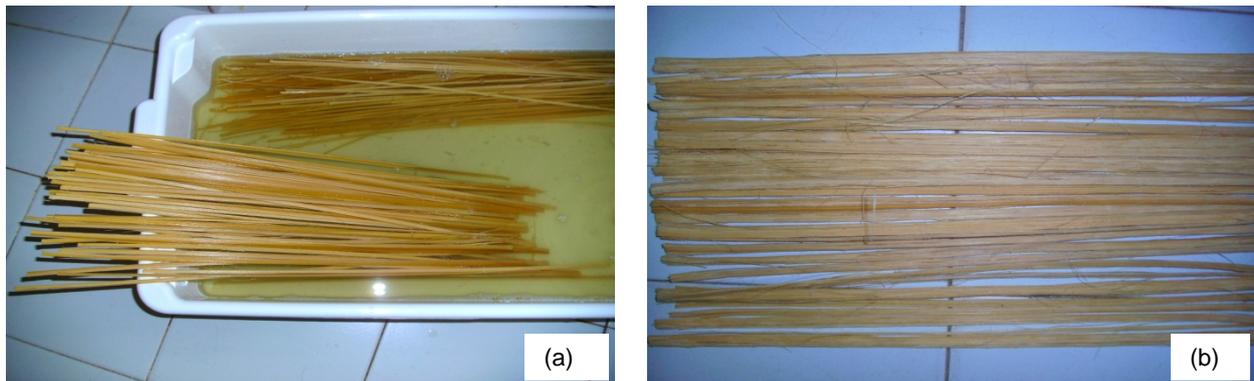
A Figura 1 mostra as touceiras de onde foram retirados os colmos para obter as fibras e o corte de um internós.



**Figura 1.** (a) Touceiras da planta de bambu; e (b) corte dos internós em forma de lâminas.

Na Figura 1a temos as touceiras com as plantas de bambu de onde foram retirados os colmos de bambu, e na Figura 1b temos o corte dos internós sendo cortados em forma de lâminas para o processo seguinte.

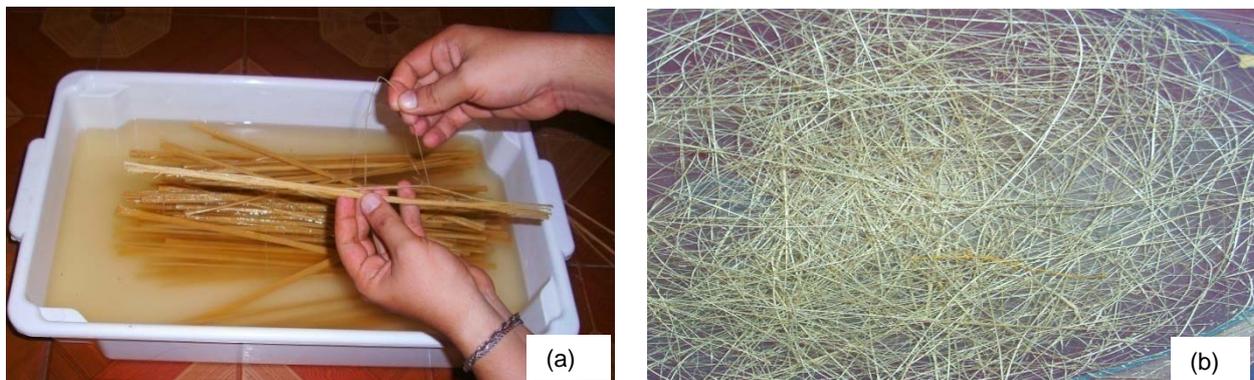
A Figura 2 ilustra essas lâminas de bambu prontas para serem submetidas a laminação manual e temos também as lâminas após serem passadas pelo laminador.



**Figura 2.** (a) Lâminas de bambu submersas em água; e (b) lâminas de bambu após a laminação.

Na Figura 2a mostra as lâminas de bambu submersas em água para serem amaciadas e ficarem maleáveis para o processo de laminação; na Figura 2b temos as lâminas depois de passadas pelo laminador manual e prontas para serem desfibradas manualmente.

A Figura 3 apresenta o desfibramento manual das fibras de bambu e as fibras de bambu extraídas.



**Figura 3.** (a) Desfibramento manual das fibras de bambu; e (b) fibras de bambu após a extração.

A Figura 3a mostra a extração das fibras de bambu manualmente; a Figura 3b ilustra as fibras de bambu, sem tratamento, que serão usadas no procedimento de caracterização.

### 2.1.2 Fibras sisal (*agave sisalana*)

As fibras de sisal da espécie *Agave sisalana* foram obtidas no comércio da cidade de Belém-PA, sem qualquer processo de lavagem ou secagem e em condições ambientais. A Figura 4 mostra os feixes de fibras de sisal como adquiridas.



Figura 4. Feixes das fibras de sisal.

Na Figura 4 temos os feixes de fibras de sisal que serão submetidos aos procedimentos experimentais, sem qualquer tratamento.

## 2.2 MÉTODOS

### 2.2.1 Caracterização das fibras de bambu e sisal

As fibras de bambu e sisal, sem tratamento superficial, foram caracterizadas quanto à sua resistência à tração e alongamento, segundo a norma ASTM D3822-96;<sup>(5)</sup> massa específica e teor de umidade, conforme a norma DNER-ME 084/95;<sup>(6)</sup> diâmetro, aspecto superficial e a sua microestrutura através de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Foram ensaiadas em tração 32 amostras, sendo 16 de fibras de bambu e 16 de fibras de sisal. Para os ensaios de tração das fibras utilizou-se o que chamamos de Tab's.

Os Tab's são dispositivos de papel kraft colados com cianoacrilato (SuperBonder da Loctite) que serve como suporte de acoplamento da fibras nas garras da máquina, tendo como função principal proteger as pontas das fibras das garras da máquina sem que haja dano as fibras. Os Tab's são utilizados conforme recomendação da norma ASTM D3822-96.<sup>(5)</sup> A Figura 5 mostra os Tab's com a fibra e esquematicamente com suas medidas.

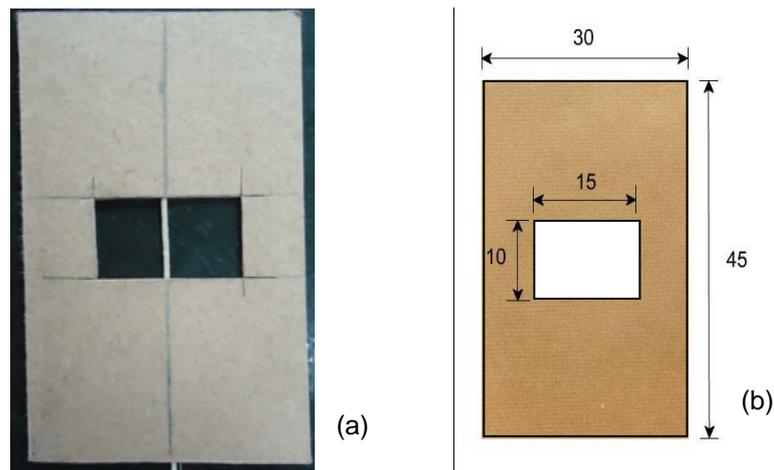


Figura 5. (a) Tab's com a fibra; e (b) Tab's esquematicamente com suas medidas.

Na Figura 5a temos a fibra nos Tab's utilizados para os ensaios de tração; na Figura 5b mostra os Tab's esquematicamente com suas medidas.

A Figura 6 mostra as fibras de bambu e sisal cortadas para determinação da massa específica e teor de umidade das fibras.



Figura 6. (a) Fibras de bambu; e (b) fibras de sisal ambas cortadas.

Na Figura 6a temos as fibras de bambu; a Figura 6b apresenta as fibras de sisal. As fibras foram cortadas para a determinação da massa específica e teor de umidade.

A massa específica das fibras foi determinada pelo método do picnômetro observando o volume de água deslocado. Para a determinação do teor de umidade foram utilizadas 3 gramas de cada fibra, sendo determinada pela Equação 1.

$$T \% = \frac{M_1 - M_2}{M_1} * 100 \quad (1)$$

Onde ( $T \%$ ) corresponde ao teor percentual de umidade, ( $M_1$ ) a massa inicial antes da secagem ( $M_2$ ) a massa final após a secagem.

A Figura 7 mostra os equipamentos utilizados para a caracterização das fibras.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 7.** Caracterização das fibras: (a) Máquina de ensaio de tração; (b) picnômetro; (c) estufa; e (d) microscopia eletrônica de varredura (MEV).

A Figura 7a 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 10 mm, utilizada para caracterização mecânica das fibras. A Figura 7b mostra o picnômetro utilizado para determinação da massa específica das fibras. A Figura 7c ilustra a estufa utilizada na secagem das fibras, marca Quimis modelo MD1.4 para determinação do teor de umidade. A Figura 7d mostra o microscópio eletrônico de varredura (MEV) utilizado para obtenção das microestruturas das fibras.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Caracterização das Fibras de Bambu

Os resultados da caracterização mecânica com relação aos diâmetros das 16 amostras de fibras de bambu estão demonstrados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Resultados da caracterização mecânica e diâmetros das fibras de bambu

Fibra de Bambu	Diâmetro (mm)	Resist. Tração (MPa)
Fibra 01	0,244	401,755
Fibra 02	0,345	452,888
Fibra 03	0,215	869,252
Fibra 04	0,325	609,937
Fibra 05	0,221	540,543
Fibra 06	0,245	533,239
Fibra 07	0,405	288,533
Fibra 08	0,245	259,315
Fibra 09	0,236	624,547
Fibra 10	0,241	650,113
Fibra 11	0,24	668,375
Fibra 12	0,245	756,030
Fibra 13	0,192	829,077
Fibra 14	0,241	350,623
Fibra 15	0,248	306,795
Fibra 16	0,3646	573,414
<b>Média</b>	<b>0,265</b>	<b>544,652</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>± 0,059</b>	<b>± 189,573</b>

Os resultados da Tabela 1 mostram a variação da propriedade mecânica de tração da fibra em função da sua geometria (diâmetro). Confirmando a grande variabilidade dessas propriedades nas fibras de mesma espécie ou ao longo do comprimento da mesma.

Neste trabalho a variação da resistência a tração das fibras de bambu entre os valores máximo e mínimo encontrados ficaram em 235%, o que já era de se esperar pelo fato de se tratar de fibras vegetais, já que é típico das fibras apresentarem grande variação de suas propriedades em função das suas dimensões e formas.

Podemos observar que as fibras vegetais (bambu) apresentaram uma grande variação nos diâmetros medidos entre fibras da mesma espécie, bem como variação nos diâmetros medidos ao longo de seu próprio comprimento, fato este explicado pelo fato das fibras não terem suas seções transversais perfeitamente circulares.

A Tabela 2 mostra os resultados da média de massa específica e teor de umidade encontrada para as fibras de bambu.

**Tabela 2.** Massa específica e teor de umidade das fibras de bambu

Fibra	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de Umidade (%)
<b>Bambu</b>	<b>1,35* (± 0,01)</b>	<b>12* (± 0,5)</b>

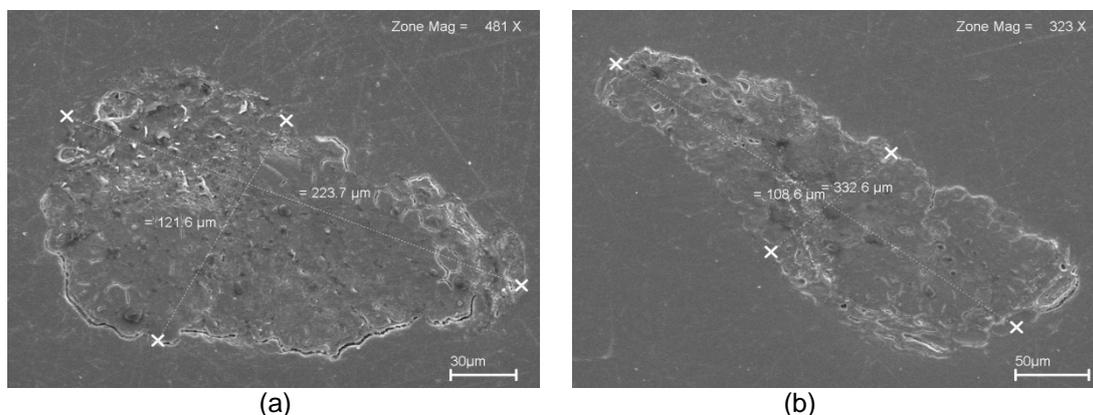
\* valores médios

Na Tabela 2 os resultados de massa específica e teor de umidade foram considerados a média, devido ao fato da variação entre os resultados delas ter sido pequena.

Na caracterização microestrutural através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) o objetivo foi de se comprovar a variação da sua geometria (dimensões,

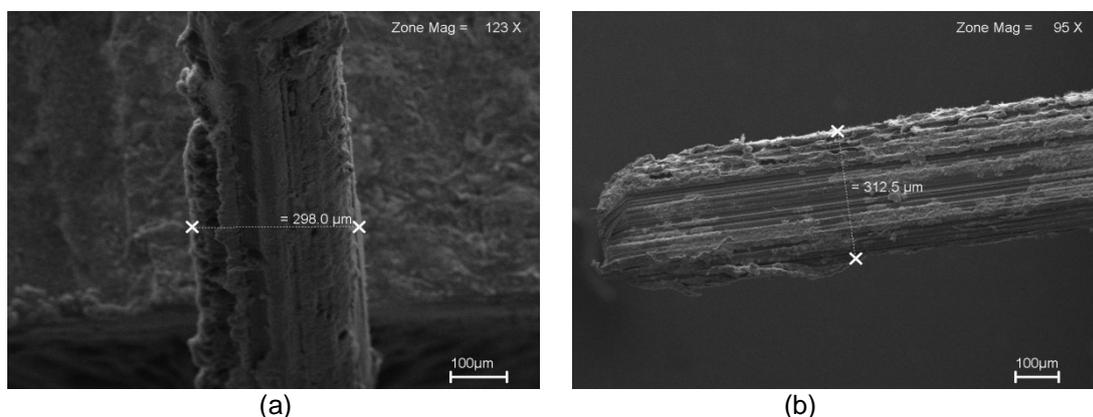
diâmetros e formas) das fibras, tanto de uma fibra para outra como ao longo do comprimento da mesma fibra.

A Figura 8 mostra as medidas das seções transversais das fibras de bambu que foram embutidas em matriz acrílica e medidas.



**Figura 8.** Microscopia eletrônica de varredura: (a) e (b) fibras de bambu embutida em matriz acrílica para verificação de suas seções transversais e suas respectivas medidas.

Nas Figuras 8a e 8b pode-se observar que temos as fibras de bambu embutida em matriz acrílica sendo efetuadas as medidas nas seções transversais das fibras que apresentaram formatos (elíptica) e diâmetros variados. A Figura 9 tem as microestruturas das seções longitudinais das fibras que foram medidas através do MEV.



**Figura 9.** Microscopia eletrônica de varredura: (a) e (b) fibras de bambu com suas seções longitudinais e suas respectivas medidas.

Nas Figuras 9a e 9b temos as fibras de bambu sendo analisadas ao longo de suas seções longitudinais que demonstraram formas e diâmetros variáveis.

### 3.2 Caracterização das Fibras de Sisal

Os resultados da caracterização mecânica com relação aos diâmetros das 16 amostras de fibras de sisal estão demonstrados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Resultados da caracterização mecânica e diâmetros das fibras de sisal

Fibra de Sisal	Diâmetro (mm)	Resist. Tração (MPa)
Fibra 01	0,191	305,169
Fibra 02	0,221	392,861
Fibra 03	0,215	494,584
Fibra 04	0,325	336,738
Fibra 05	0,221	385,846
Fibra 06	0,245	291,138
Fibra 07	0,405	477,046
Fibra 08	0,235	354,277
Fibra 09	0,236	361,292
Fibra 10	0,241	498,092
Fibra 11	0,243	308,677
Fibra 12	0,245	680,492
Fibra 13	0,155	217,477
Fibra 14	0,241	424,430
Fibra 15	0,248	455,999
Fibra 16	0,175	613,845
<b>Média</b>	<b>0,240</b>	<b>412,372</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>± 0,057</b>	<b>± 121,252</b>

Na Tabela 3 mostra novamente a alta variabilidade das propriedades mecânicas de tração da fibra em função da sua geometria (diâmetro). De maneira análoga o que ocorreu com as fibras de bambu, as variações entre os valores máximos e mínimos alcançados na resistência atração das fibras ficou em 245%.

Demonstrando assim de uma maneira geral que as fibras de natureza vegetal apresentam uma alta variabilidade de suas propriedades em função das dimensões, formas e diâmetros; sejam fibras da mesma espécie ou outras fibras vegetais. Isso ocorre porque as fibras vegetais em geral são de natureza anisotrópica, ou seja, suas propriedades mudam com relação a sua forma ou direção. Influenciando diretamente as propriedades dos materiais por elas (fibras vegetais) produzidas.

Na Tabela 4 apresenta os resultados médios de massa específica e teor de umidade encontrada para as fibras de sisal.

**Tabela 4.** Massa específica e teor de umidade das fibras de sisal

Fibra	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de Umidade (%)
<b>Sisal</b>	<b>1,42* (± 0,01)</b>	<b>13,10* (± 0,5)</b>

\* valores médios

Os resultados médios de massa específica e teor de umidade encontrados na Tabela 4 foram considerados os valores médios, devido não terem existido uma diferença significativa dos resultados encontrados entre elas (fibras).

Com relação a caracterização microestrutural das fibras de sisal realizada através de microscopia eletrônica de varredura (MEV). As fibras de sisal foram analisadas transversalmente e medidos os seus diâmetros. A Figura 10 mostra as medidas transversais das fibras de sisal.

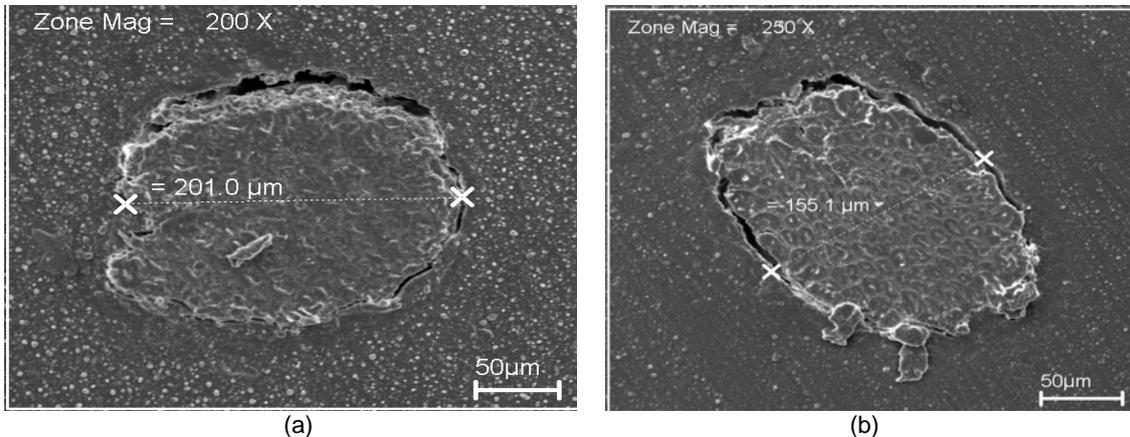


Figura 10. (a) e (b) Fibras de sisal medidas transversalmente.

Na Figura 10 temos as fibras de sisal embutidas sendo realizadas as medidas das mesmas no sentido transversal para verificação da variação das suas dimensões e formas.

A Figura 11 apresenta uma comparação entre as medidas das seções transversal e longitudinal das fibras de sisal.

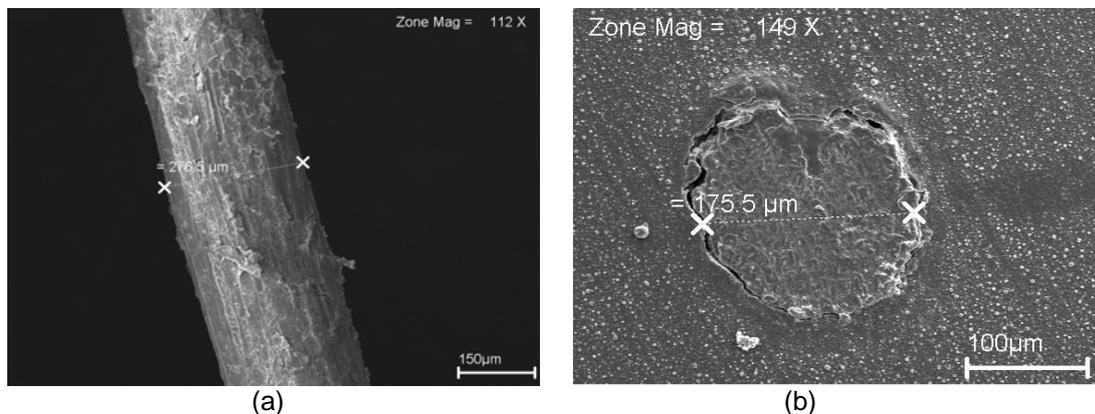


Figura 11. (a) Fibras de sisal medida no sentido transversal; e (b) fibra de sisal medida no sentido longitudinal.

Na Figura 11a temos a medida transversal da fibra e na Figura 11b apresentamos a medida longitudinal das fibras.

Na comparação entre as medidas transversal e longitudinal do diâmetro das fibras verificamos uma variação significativa entre elas, comprovando assim, as variações das propriedades.

#### 4 CONCLUSÕES

As caracterizações mecânicas das fibras de bambu e sisal demonstraram que a variação entre os valores máximos e mínimos obtidos foi semelhante. As fibras de bambu alcançaram valores máximos de tração superiores aos das fibras de sisal.

Os diâmetros das fibras de bambu e sisal foram semelhantes, porém os diâmetros tiveram grandes influências nas propriedades mecânicas das fibras.

A caracterização microestrutural, tanto das fibras de bambu como de sisal, confirmaram as variabilidades das suas formas e dimensões, o que interferiram diretamente nas propriedades das mesmas.

### 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 SWAMY, R. N. **Vegetable fibre reinforced cement composites - a false dream or a potential reality?** In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VEGETABLE PLANTS AND THEIR FIBRES AS BUILDING MATERIALS, Salvador. London, Chapman and Hall, 1990.
- 2 AGOPYAN, V.; SAVASTANO JÚNIOR, H. Uso de materiais alternativos a base de fibras vegetais na construção civil: experiência brasileira. In: SEMINÁRIO IBEROAMERICANO DE MATERIALES FIBRORREFORZADOS, 1., y reunión proyecto PIP VIII.5 Cyted, 3., Cali. Universidade del Valle, Cali, 1997.
- 3 SAVASTANO JÚNIOR, H.; AGOPYAN, V. **Microestrutura x desempenho dos compósitos reforçados com fibras vegetais.** In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1996, Sao Paulo. Anais... São Paulo: Epusp/Antac, 1997. p.153-8.
- 4 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.
- 5 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.
- 6 Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (1995). **DNER-ME 084/95**. Agregado miúdo – determinação da densidade real.