

# ASPECTOS FRACTOGRAFICOS DE COMPÓSITOS POLIÉSTER REFORÇADOS POR FIBRAS PARTICULADAS DE BAMBU E SISAL \*

Moacir Kuwahara<sup>1</sup>

Gerson Cardoso Santos<sup>2</sup>

Pablo Fabricio Castro da Paz<sup>3</sup>

Yan Raphael G. Pereira A. Pinheiro<sup>4</sup>

Victor Silva Teixeira<sup>5</sup>

Deibson Silva da Costa<sup>6</sup>

Roberto Tetsuo Fujiyama<sup>7</sup>

## Resumo

Nesta pesquisa, foi desenvolvido um material compósito com matriz poliéster, reforçadas com fibras de bambu e de sisal. As fibras de bambu foram extraídas do próprio campus da UFPA e as fibras de sisal obtidas no comércio de Belém. As fibras foram submetidas ao equipamento moinho granulador, com a finalidade de otimizar o corte das fibras, visto que, pelo processo manual gasta-se um certo tempo para obter uma quantidade necessária, para fabricação dos compósitos. E os comprimentos obtidos variaram entre 5 a 15 mm. Os compósitos foram produzidos utilizando-se o menor nível possível de processamento tecnológico nas etapas de fabricação. Foram fabricados 8 (oito) corpos de prova para fração mássica definida com a seguinte proporção 3,90%; a fabricação foi realizada por moldagem manual, usando resina poliéster insaturada com a proporção de agente de cura/resina de 0,33%. As fibras de sisal e bambu foram submetidas a ensaio de tração, determinação da massa específica e avaliação microestrutural, por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

**Palavras-chave:** Fibras de sisal; Fibras de bambu; Compósitos.

## ASPECTS FRACTOGRAPHY COMPOSITES REINFORCED POLYESTER FIBER PARTICULATE BAMBOO AND SISAL

### Abstract

In this research, we developed a composite material with polyester matrix reinforced, with bamboo and sisal fibers. The bamboo fibers were extracted from the own campus UFPA and sisal fibers available commercially from Bethlehem. The fibers were subjected to the granulator mill equipment, in order to optimize the cutting of the fibers, since the manual process is spent a certain time to obtain a required amount for the manufacture of composites. The obtained lengths ranging from 5 to 15 mm. The composites were produced using the lowest possible level of technological processes in manufacturing steps. Were made eight (8) specimens for mass fraction defined with the following ratio 3.90%; manufacturing was performed by hand molding using unsaturated polyester resin with the ratio of curing agent / resin 0.33%. The sisal fibers and bamboo were subjected to tensile testing, mass specific determination and microstructural evaluation by electron microscopy (MEV).

**Keywords:** Sisal fibers; Bamboo fibers; Composites.

<sup>1</sup> Mestre, Professor, Faculdade, Faci, DevryBrasil, Belém, Pará, Brasil.

<sup>2</sup> Graduando do Curso de Engenharia de Produção, Faculdade, Faci, DevryBrasil, Belém, Pará, Brasil.

<sup>3</sup> Graduando do Curso de Engenharia de Produção, Faculdade, Faci, DevryBrasil, Belém, Pará, Brasil.

<sup>4</sup> Graduando do Curso de Engenharia de Produção, Faculdade, Faci, DevryBrasil, Belém, Pará, Brasil.

<sup>5</sup> Graduando do Curso de Engenharia Ferroviária e Logística, ITEC, UFPA, Belém, Pará, Brasil.

<sup>6</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia – PRODERNA, ITEC, UFPA, Belém, Pará, Brasil.

<sup>7</sup> Dr. Professor Adjunto, PPGEM, ITEC, UFPA, Belém, Pará, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A aplicação de materiais compósitos vai desde simples artigos utilizados no nosso dia a dia até aplicações para indústrias de ponta. O homem utiliza elementos de reforço para materiais frágeis, melhorando suas propriedades mecânicas desde os tempos remotos. O uso de fibras naturais, tais como palha e crina de cavalo eram usadas como reforço de matrizes de argila e gesso, na composição de materiais de construção, assim como as de asbestos em argila, há 4500 anos [1]. Uma grande variedade de fibras naturais, incluindo sisal, coco, juta, bambu e fibras de celulose, tem sido usadas como reforço de matrizes. Estudos podem ajudar na avaliação das propriedades de engenharia desses materiais, melhorando-os para que se tornem mais duráveis e suas aplicações sejam viáveis e satisfatórias. De acordo com o tipo de componente disperso, os compósitos podem ser classificados em três grupos: particulares (reforçados com partículas), fibrosos (reforçados com fibras) e compósitos estruturais (reforçado com elementos estruturais). O conhecimento da microestrutura, paralelamente ao do comportamento mecânico, tem a finalidade de fornecer subsídios aos projetos de materiais estruturais, para que eles atinjam o melhor desempenho possível em suas diferentes aplicações. Obtendo, desse modo, a resposta para a influência causada pelo tipo de fibra, pelo conteúdo da mesma e pela adesão interfacial fibra/matriz e como esses fatores devem ser corretamente definidos, para uma escolha racional do compósito a ser empregado na prática [2]. O objetivo desta pesquisa foi analisar fractograficamente os compósitos usando resina poliéster reforçada com fibras de sisal e bambu, através de ensaio mecânicos e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A matriz utilizada no material compósito foi a resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada, fabricada pela Royal Polímeros sob a denominação comercial de Denverpoly 754. O agente de cura utilizado foi o peróxido de Mek (Butanox M- 50), na proporção de 0,33% (v/v), proporção esta otimizada, segundo Rodrigues [4].

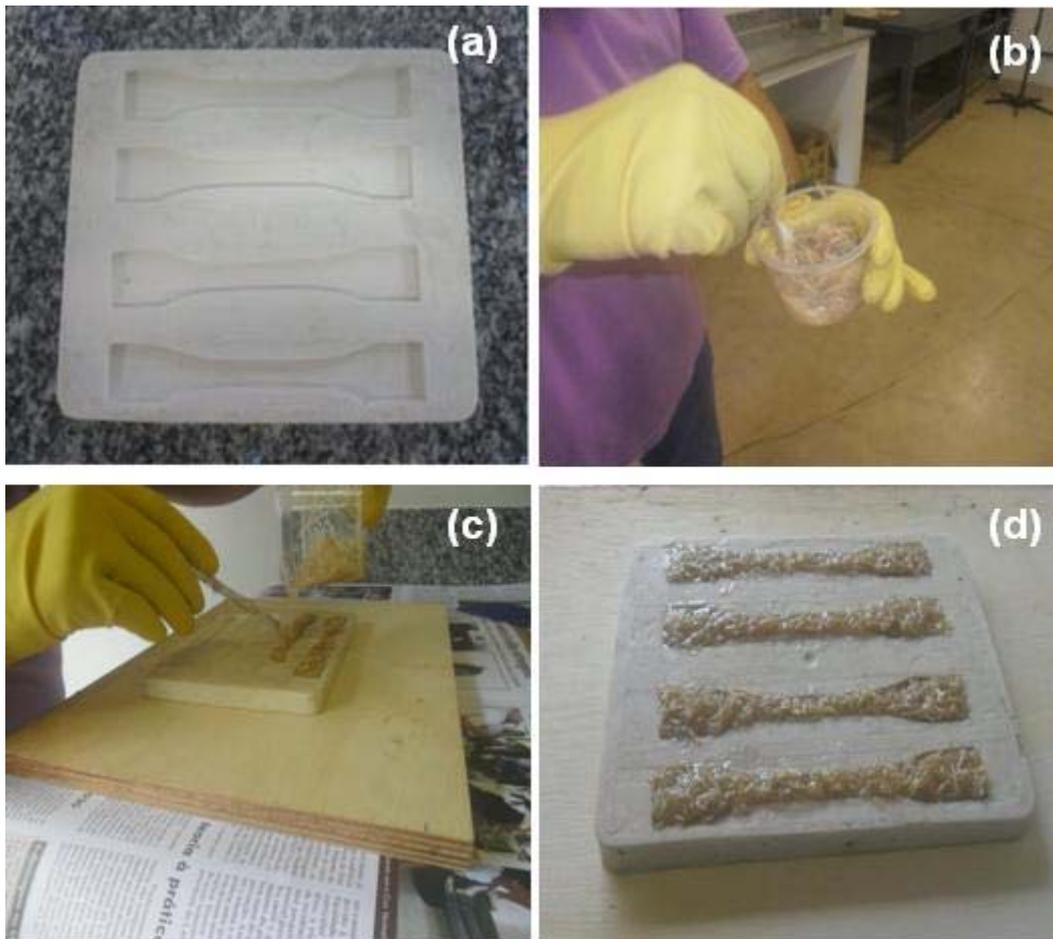
A extração das fibras de bambu foi realizada utilizando-se o menor nível possível de processamento tecnológico. Os colmos de bambu foram colhidos no campus profissional I (um) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

As fibras de sisal da espécie *Agave Sisalana* foram obtidas no comércio da cidade de Belém-PA e foram submetidas a um moinho granulador, obtendo-se comprimentos entre 5 mm e 15 mm. As fibras foram utilizadas na forma como foram adquiridas, sem tratamento superficial e em condições ambientais.

Os corpos de prova foram fabricados por moldagem na qual foi utilizado moldes de silicone, sem desmoldante e sem pressão.

As fibras de bambu e sisal passaram por um moinho granulador, onde o comprimento cortado das fibras variou entre 5 mm a 15 mm.

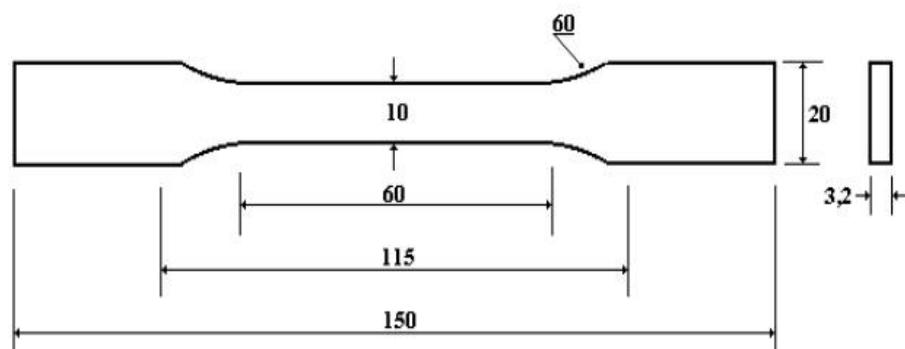
Os compósitos foram fabricados misturando-se as quantidades pré-pesadas de resina, agente de cura e, no caso deste trabalho bambu e sisal, em um recipiente, sendo esta mistura homogeneizada por cerca de 5 (cinco) minutos e vazada, à temperatura ambiente nos moldes. A Figura 1 mostra o processo de fabricação dos corpos de prova.



**Figura 1:** Processo de confecção dos corpos de prova: (a) Molde de silicone utilizado para confecção dos corpos de prova; (b) As fibras sendo misturada com a resina e agente de cura, antes de serem vazadas no molde; (c) A mistura homogeneizada sendo vazada no molde sem pressão; (d) Os compósitos vazados no molde esperando o tempo de cura para serem ensaiados.

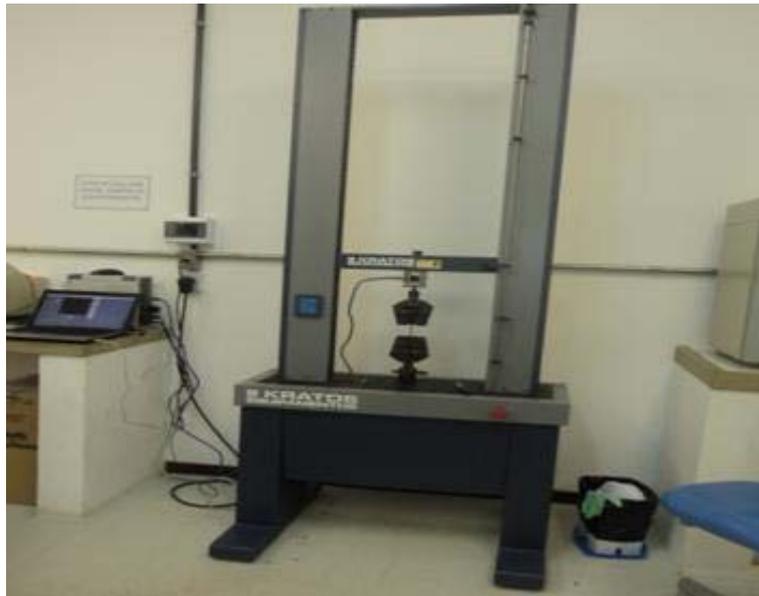
A fração mássica de cada tipo de reforço utilizado na fabricação dos corpos de prova desta pesquisa foi definida pela capacidade volumétrica do molde em acomodar o reforço sem pressão ou compactação e na ausência da matriz. Para cada tipo de reforço, fibras de bambu e sisal de 5 a 15 mm, os moldes de silicone para ensaio de tração foram encheidos com o reforço até o limite de sua capacidade volumétrica, sem pressão ou vibração mecânica. Em seguida, cada reforço foi devidamente pesado e o valor da massa obtida, convertida em fração mássica.

Os ensaios de tração foram realizados de acordo com a norma ASTM D 638M [3] e as dimensões usadas são demonstradas esquematicamente na Figura 2.



**Figura 2:** Dimensões (mm) dos corpos de prova para cada ensaio de tração [3].

Foram fabricados 8 (oito) corpos de prova a partir de moldes de silicone para os ensaios com matriz reforçada com fibras de bambu parte basal, parte intermediária, parte topo e sisal. Os ensaios de tração dos compósitos foram realizados em máquina universal marca KRATOS modelo IKCL3 com sistema de aquisição de dados, com célula de carga de 5 kN, adotando velocidade de 5 mm/min e comprimento útil para medição entre garras de 60 mm. A Figura 3 ilustra a máquina de ensaio utilizada para a realização dos ensaios de resistência à tração das fibras e dos compósitos de bambu e sisal.



**Figura 3:** Máquina de ensaio de tração Dimensões (mm) dos corpos de prova para cada ensaio de tração.

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 fabricadas. A microestrutura das fibras foi analisada fractograficamente com auxílio da microscopia eletrônica de varredura, a Figura 4 mostra o equipamento, adequado para obter imagem de superfície analisada, revelando a topografia das fibras.



**Figura 4:** Equipamento de microscopia eletrônica de varredura (MEV)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

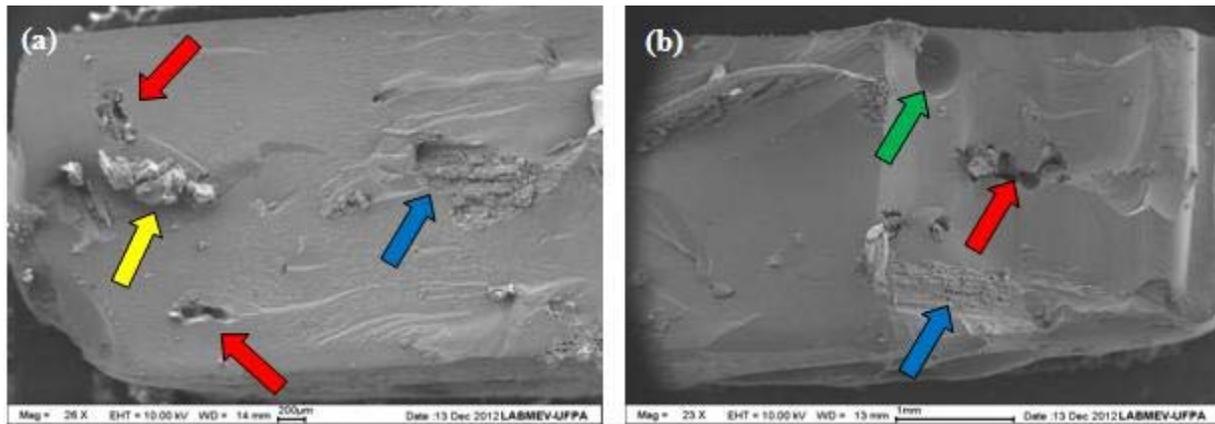
A Tabela 1 mostra, os resultados comparativo obtidos no ensaio de tração para os compósitos reforçados, com fibras de bambu parte basal, bambu parte intermediária, bambu parte topo e sisal de comprimentos variando entre 5 a 15 mm, na fração mássica de 3,90% dispostas aleatoriamente.

**Tabela 1:** Resultados da comparação da caracterização mecânica dos compósitos de frações mássicas de 3,90%

Reforço	Fração Mássica (F <sub>M</sub> ) %	Reforço	Resist. Tração ( $\sigma$ ) (MPa) Média (Desvio Padrão)
Bambu basal	3,90		12,88 ( $\pm$ 0,90)
Bambu intermediária	3,90		14,19 ( $\pm$ 2,55)
Bambu topo	3,90		14,60 ( $\pm$ 1,12)
Sisal	3,90		16,23 ( $\pm$ 3,64)

Os resultados comparativos dos compósitos de fibras de bambu parte basal, bambu parte intermediária, bambu parte topo e sisal de frações mássicas 3,90%, mostra que os compósitos de sisal obteve uma pequena diferença na resistência a tração de 16,23 MPa.

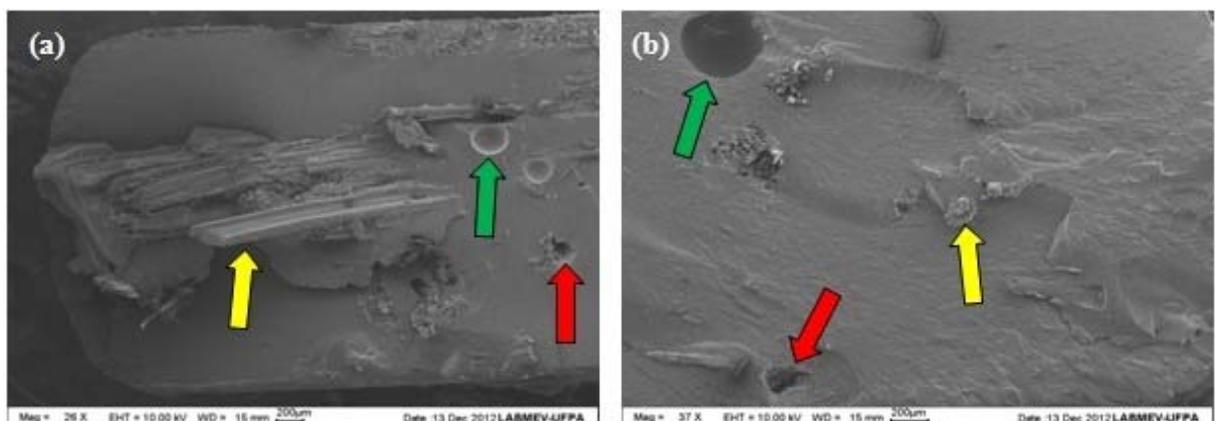
A Figura 5 mostra uma avaliação das superfícies de fratura, dos compósitos de matriz poliéster, reforçados com fibras de bambu parte basal de fração mássica de 3,90%, através da microscopia eletrônica de varredura.



**Figura 5:** Microscopia eletrônica de varredura da superfície de fratura do compósito de matriz poliéster reforçado com fibras de bambu parte basal de fração mássica de 3,90%. A seta vermelha indica fibras que sacaram da matriz (pull out), a seta azul indica o descolamento transversal de uma fibra da matriz, a seta amarela indica o rompimento da fibra da matriz e a seta verde ilustra o aparecimento de bolha.

Com base na microscopia eletrônica de varredura, a Figura 5 (a) mostra a superfície de fratura dos compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de bambu parte basal, onde nota-se que a presença de fibras sacadas pull out representado pelas (setas vermelhas), percebe-se fibras rompidas representado pelas (setas amarelas) e também fibra rompida representado pela (seta azul); Na Figura 5 (b) apresenta a superfície de fratura dos compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de bambu parte basal, nota-se também a presença de fibras sacadas pull out (setas vermelhas), o descolamento de fibra da matriz (seta azul) e percebe-se o surgimento de bolha (seta verde), mostrando assim a baixa adesão ocorrida entre a fibra e a matriz.

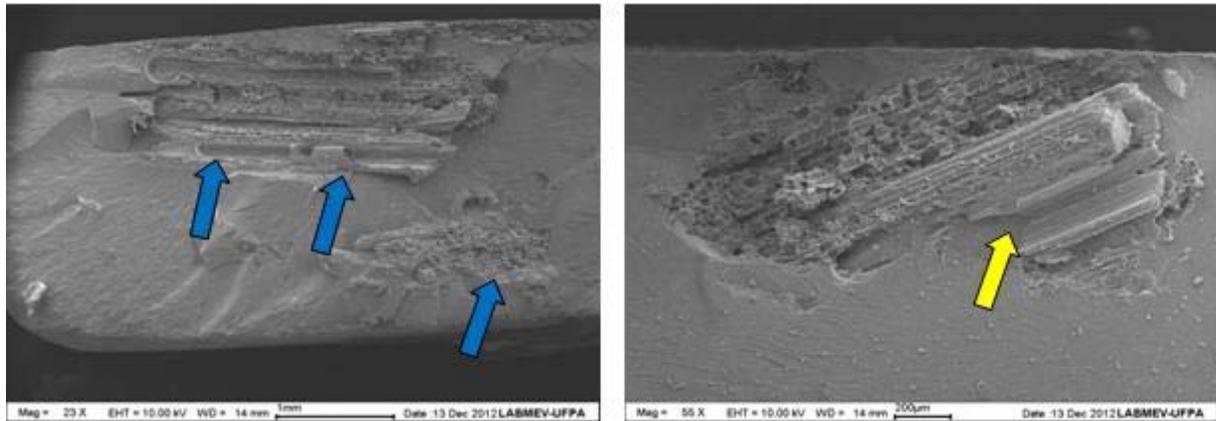
A Figura 6 mostra a micrografia dos compósitos de matriz poliéster, reforçados com fibras de bambu parte intermediária de fração mássica de 3,90%.



**Figura 6:** Microscopia eletrônica de varredura da superfície de fratura do compósito de matriz poliéster reforçado com fibras de bambu parte intermediária de fração mássica 3,90%. A seta vermelha indica fibras que sacaram da matriz (pull out), a seta amarela indica o rompimento de uma fibra da matriz e a seta verde o surgimento de bolhas na matriz.

A Figura 6 (a) ilustra a superfície de fratura dos compósitos de matriz poliéster reforçadas com fibras de bambu parte intermediária, onde percebe-se a presença de algumas falhas no compósito pull out e bolha (seta vermelha e verde) respectivamente, porém a presença de fibras rompidas na direção transversal do carregamento (seta amarela); na Figura 6 (b) mostra a superfície fraturada dos

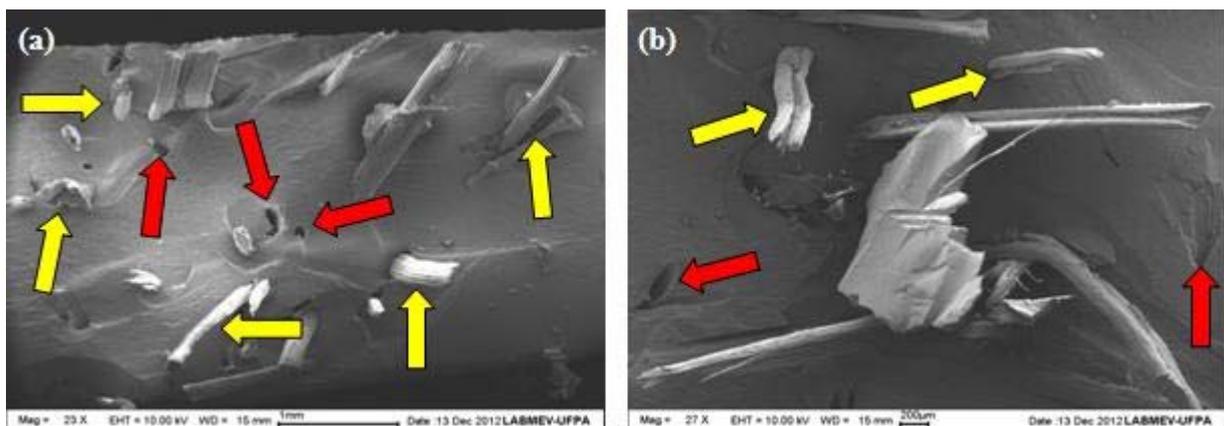
compósitos de matriz poliéster reforçadas com fibras de bambu parte intermediária, pode-se observar que a presença também do pull out (seta vermelha), o aparecimento de bolha (seta verde) e o rompimento de fibra da matriz (seta amarela). A Figura 7 mostra a micrografia dos compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de bambu parte topo de fração mássica de 3,90%.



**Figura 7:** Superfície de fratura de compósito poliéster reforçado com fibras de bambu parte topo de fração mássica 3,90%. A seta azul indica o descolamento das fibras e a seta amarela indica rompimento de uma fibra da matriz

Com base na microscopia eletrônica de varredura, a Figura 7 (a) mostra a superfície de fratura dos compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de bambu parte topo, onde o mecanismo de predominância observado foi o descolamento das fibras da matriz, representado pelas (setas azuis); na Figura 7 (b) apresenta a superfície de fratura dos compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de bambu parte topo, nota-se a presença de fibra rompida, representado pela (seta amarela).

A Figura 8 mostra a micrografia dos compósitos de matriz poliéster, reforçados com fibras de sisal de fração mássica de 3,90%.



**Figura 8:** Superfície de fratura de compósito poliéster reforçado com fibras de sisal de fração mássica 3,90%. A seta vermelha indica fibras que sacaram da matriz (pull out) e a seta amarela indica o rompimento de uma fibra da matriz

Na Figura 8 (a) mostra a superfície de fratura dos compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de sisal, onde o mecanismo de predominância observado foi o rompimento de fibras da matriz, representado pelas setas amarelas, observa-se a presença de arrancamento de fibras da matriz pull out indicado pelas setas

vermelhas; na Figura 8 (b) apresenta a superfície de fratura dos compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de sisal, nota-se também fibras rompidas, representado pelas setas amarelas.

#### 4 CONCLUSÃO

Os compósitos de fibras de sisal de fração mássica 3,90% teve resistência mecânica superior aos compósitos de fibras de bambu de mesmas frações mássicas. As fibras de sisal apesar de terem sido utilizadas in natura na caracterização das mesmas apresentaram bons níveis de resistência à tração, compatíveis com os encontrados na literatura. A utilização dos reforços sem tratamento mostrou-se viável. A caracterização mecânica das fibras de bambu mostrou que estas, apesar de não terem sofrido qualquer tratamento, apresentaram bons níveis de resistência à tração, física e microestrutural. O método de microscopia eletrônica de varredura foi satisfatório indicando falhas dominantes em cada compósito fabricado, e mostrando as características das superfícies de fraturas dos compósitos. A pesquisa proporcionou uma opção de materiais compósitos reforçados por fibras vegetais, além do que podem ajudar população local de onde as fibras são extraídas, e também pode ajudar na preservação do meio ambiente.

#### Agradecimentos

A Faculdade Faci-DevryBrasil e ao laboratório de Materiais compósitos do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Peres, M. N. P. B. Compósitos de argamassa de cimento reforçado por fibra de sisal com entalhe definidos: caracterização mecânica e mecanismo de falha. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Federal do Pará, 2010.
- 2 Andrade, S. M. C. Avaliação de Polietileno Reciclado carregado com Fibra de Palma para confecção de Módulo. 30f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.
- 3 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (Metric). ASTM D 638, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2003.
- 4 Rodrigues, J. S. Comportamento Mecânico de Material Compósito de Matriz Poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.