

# LAMINADOS HÍBRIDOS DE FIBRAS DE BAMBU E SISAL CONTÍNUAS E ALINHADAS: CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL

D. S. COSTA<sup>1</sup>, W. R. BANNA<sup>1</sup>, D. da S. COSTA<sup>2</sup> e J. A. S. SOUZA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia

<sup>2</sup> Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Faculdade de Engenharia de Minas e Materiais

<sup>3</sup> Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Faculdade de Engenharia Química  
E-mail para contato: deibsonsc@yahoo.com.br

**RESUMO** – Compósitos laminados utilizando fibras naturais são objeto de intensa pesquisa à procura de novas alternativas para a fabricação e desenvolvimento de produtos provenientes de fontes renováveis. As fibras vegetais são pesquisadas para sua aplicação como reforço de materiais compósitos de engenharia em diversos setores da indústria mundial, como naval, aeronáutica e automotiva. Uma gama muito grande de fibras existe na região amazônica que podem apresentar potencial para serem empregadas. Para isso, faz-se necessário o conhecimento das propriedades das fibras e dos compósitos por elas reforçados. Neste trabalho, as fibras de bambu foram extraídas manualmente e a fibra de sisal obtida do comércio local de Belém-PA. Características mecânicas, físicas e microestruturais foram obtidas para as fibras. Na confecção do laminado foi utilizado o método hand lay-up conforme a norma da ASTM 3039, sendo produzidos 12 (doze) corpos de prova. Sendo os compósitos produzidos por lâminas de bambu e lâminas de sisal na forma sobrepostas, incorporadas junto com resina polimérica de poliéster e prensadas em uma prensa hidráulica. A caracterização mecânica consistiu no ensaio de resistência a tração dos compósitos e a caracterização microestrutural incidiu na análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) das superfícies fraturas dos compósitos. Fez-se uma correlação entre os resultados das análises microestrutural e propriedades mecânicas dos compósitos.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, pressões ambientais revigoraram o interesse pelas fibras naturais. No caso de reforço de polímeros, o uso de fibras vegetais representa uma alternativa para a substituição parcial de fibras de vidro (GOMES et al., 2007). De fato, diversos setores começaram a utilizar compósitos reforçados com fibras vegetais, como por exemplo, a indústria automotiva, que as utiliza em painéis internos de portas, painéis dos encostos de bancos e de cabeça, botões, maçanetas, tampas internas do porta-malas e painéis internos do teto em alguns veículos (WUZELLA e KANDELBAUER, 2007).

Fibras vegetais, em comparação com fibras de vidro, são muito eficientes na absorção de som, têm baixo custo, são leves, não estilhaçam em caso de acidentes, são biodegradáveis e podem ser obtidas utilizando-se 80% menos energia que fibras de vidro (TRINDADE et al., 2005). No entanto, problemas de adesão fibra-matriz, de absorção de água e também de propriedades mecânicas variáveis e limitadas vêm dificultando sua utilização em determinados ambientes e situações de carregamento que exijam um melhor desempenho mecânico.

A utilização combinada de fibras vegetais e sintéticas, formando compósitos híbridos, possibilita o incremento significativo das propriedades mecânicas, mantendo algumas das características e vantagens das duas classes de fibras. Pesquisar as possibilidades de combinações destas fibras é importante para que se possa otimizar o desempenho de compósitos híbridos, extraindo ao máximo suas potencialidades. As referências científicas internacionais relacionadas a compósitos poliméricos termorrígidos híbridos bambu/sisal são muito raras atualmente, por isso torna-se importante pesquisar estes materiais, explorando suas potencialidades reais e aplicação industrial (SILVA, 2010).

Segundo Mishra et al., (2007), os materiais compósitos baseados em reforços compostos por dois ou mais tipos de fibras em uma matriz, ou seja, os compósitos híbridos, podem apresentar uma grande diversidade de propriedades e ainda permanece em um estágio preliminar de desenvolvimento. Pesquisas revelam que o comportamento dos compósitos híbridos aparenta ser a simples média ponderada das propriedades dos componentes individuais, podendo, porém apresentar um balanço mais favorável entre as vantagens e as desvantagens inerentes a todos os materiais compósitos.

Compósitos híbridos podem ser projetados pela combinação de fibras sintéticas e fibras naturais em uma matriz e pela combinação de duas fibras naturais (às vezes denominadas de biofibras) em uma matriz. A hibridização com fibra de vidro é um método para incrementar as propriedades mecânicas dos compósitos com fibras naturais, sendo que o grau de resistência depende do design e da construção do compósito. É geralmente aceito que as propriedades dos compósitos híbridos são controladas por fatores como a natureza da matriz, o comprimento e a composição relativa dos reforços, a orientação, a interface fibra/matriz, o grau de entrelaçamento entre as fibras, o design da hibridização, entre outros. No trabalho citado, foi avaliado experimentalmente o potencial de reforço obtido com a introdução de fibras vegetais (abacaxi e sisal) formando compósitos híbridos com fibras de vidro em matriz de poliéster. Adicionando-se baixos teores de fibra de vidro às fibras vegetais promoveu-se a performance mecânica do compósito híbrido. A superfície das fibras de sisal também foi modificada com diferentes tratamentos químicos o que proporcionou uma melhora nas propriedades mecânicas dos compósitos híbridos, sendo observado também que nos compósitos híbridos há uma menor absorção de umidade (JOHN e THOMAS, 2008).

Neste contexto, este estudo pretende ampliar o conhecimento científico em materiais compósitos poliméricos com fibras de bambu e sisal, sua produção e caracterização. Assim, pretende-se promover a valorização de matérias-primas nacionais com potencial de aplicação tecnológica, especialmente no setor automotivo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os compósitos laminados híbridos de fibras de bambu e sisal, processou-se por laminação manual (hand-lay-up), impregnado com resina poliéster tereftálica como matriz.

As fibras de bambu foram extraídas e as fibras de sisal adquirida do comércio local, sendo as fibras caracterizadas. De acordo com as normas ASTM 3822 para caracterização mecânica, DNER-ME 084/95 para caracterização física e microscopia eletrônica de varredura (MEV) para caracterização microestrutural e geometria das fibras. A Figura 1 mostra as fibras de bambu e sisal utilizadas na produção dos compósitos.



Figura 1 – (a) Fibras de bambu e (b) Fibras de sisal

Na Figura 2 têm-se as lâminas de bambu e sisal prontas para serem laminadas para confecção dos compósitos. As lâminas tanto de bambu como de sisal foram alinhadas manualmente.



Figura 2 – (a) Lâmina de bambu e (b) Lâmina de sisal

A metodologia empregada para a fabricação dos compósitos laminados híbridos de bambu e sisal foi o procedimento hand-lay-up. Sendo elaboradas 3 (três) lâminas ou camadas, onde 2 (duas) lâminas de fibras de sisal e 1 (uma) lâmina de fibras de bambu. Onde as etapas de fabricação consistiram em vertesse uma camada de pequena espessura de resina poliéster sobre uma lâmina plástica, colocando-se a camada de fibras de sisal e fazendo sua impregnação com a resina, em seguida verteu-se novamente uma pequena camada de resina poliéster, colocando-se a camada de fibras de bambu, novamente aplicou-se uma pequena camada de resina, em seguida colou-se a

camada de fibras de sisal juntamente com a resina poliéster para melhor impregnação e absorção entre fibras/resina. Utilizou-se um rolo metálico para retirada das bolhas, ficando cerca de 1 h para a completa absorção da resina na fibra. Para finalizar colocou-se o laminado em forma de “sanduíche” em uma prensa hidráulica universal com uma carga de 1 kN por 24 h. A fração volumétrica de fibras (bambu e sisal) utilizadas nos compósitos foi de 20% de fibras na matriz. A Figura 3 mostra a laminação do compósito híbrido de bambu e sisal.



Figura 3 – (a) Laminação manual das camadas de bambu e sisal e (b) Compósito laminado híbrido depois da laminação

Fabricou-se 2 (dois) laminados híbrido de bambu e sisal de onde retiraram-se 12 (doze) corpos de prova de acordo com as medidas da norma ASTM 3039. Para caracterização mecânica que consistiu em ensaio de tração uniaxial para verificação da resistência mecânica, alongamento e força dos compósitos. Os ensaios de tração tanto dos compósitos como das fibras de bambu foram realizado em uma máquina universal de ensaio de tração da marca kratos com célula de carga de 5 kN e velocidade de ensaio de 5 mm/min, sem extensômetro. Sendo que a análise de superfície de fratura dos compósitos foi verificada por microscopia eletrônica de varredura.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a caracterização mecânica e física das fibras de bambu e sisal.

Tabela 1 – Caracterização das fibras de bambu e sisal

	Resistência a Tração (MPa)	Alongamento (%)	Diâmetro (mm)	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de Umidade (%)
Fibra Bambu	547,04 (±105,81)	5,25 (±2,22)	0,85 (±0,005)	1,35 (± 0,01)	10 (± 0,5)
Fibra Sisal	453,62 (±91,98)	5,50 (±2,02)	0,25 (±0,032)	1,38 (± 0,01)	12 (± 0,5)

Os resultados das caracterizações das fibras de bambu e sisal estão dentro ou acima dos valores encontrados por outros pesquisadores (CARVALHO, 2005); (SILVA, 2003); (SILVA e BELTRÃO, 1999) e (SAVASTANO JUNIOR, 2000).

A caracterização microestrutural das fibras de bambu e sisal estão mostrados na Figura 4.

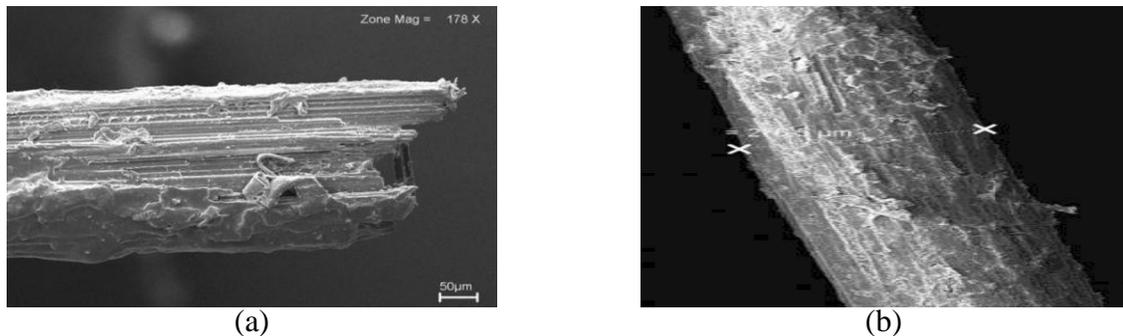


Figura 4 – (a) Aspecto superficial da fibra de bambu e (b) Aspecto superficial da fibra de sisal

A caracterização da microestrutura das fibras mostrou as características particulares das fibras, sendo em (a) análise superficial das fibras de bambu, evidenciando resíduos ou lignina provenientes do processo de extração, microcavidades, vazios, entrâncias e outros. Porém, verifica-se a robustez dessa fibra em relação a fibra de sisal (b). Em (b) tem-se a características superficiais das fibras de sisal, onde se observa poucas microcavidades, relevos e reentrâncias e outros. Nota-se também um melhor acabamento natural da geometria da fibra.

Na caracterização dos compósitos laminados híbridos de bambu e sisal obtiveram-se os resultados mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização dos compósitos laminados híbridos de bambu e sisal

	Resistência a Tração (MPa)	Alongamento (%)	Força (N)	Fração Volumétrica de Fibras (%)
Compósitos Laminados Híbridos Bambu/Sisal	31,54 (±3,24)	3,68 (±0,58)	323,21 (±78,75)	20 (±1)

Para os ensaios de tração uniaxial dos compósitos laminados híbridos de bambu e sisal. As fibras ficam dispostas na direção do carregamento, por se tratar de compósitos laminados com fibras alinhadas e contínuas. O que teoricamente resultaria em compósitos com maiores resistências. Os compósitos laminados híbridos de bambu e sisal apresentaram resultados satisfatórios. Pois,

esperavam-se resultados pelo menos 100% maiores dos encontrados. Esses resultados relativamente abaixo dos esperados podem ser creditados por uma série de fatores que interferem diretamente nas propriedades dos compósitos; dentre as quais se podem dar ênfase na acentuada diferença de diâmetro entre as fibras de bambu e sisal que é de 300% aproximadamente. Logo, essa diferença fez com que não houvesse uma boa compactação, disposição e impregnação entre as fibras. Fazendo com que possivelmente ficassem as fibras sobrepostas, agindo com um concentrador de tensões e nucleação de trincas. Depreciando assim a resistência dos compósitos.

Outra consequência dessa discrepância dos diâmetro das fibras é a adesão fibra/matriz. Sendo as fibras de bambu robusta com maior absorção e adesão de resina, pois, maior área de contato na interface fibra/matriz; e a fibras de sisal de menor diâmetro e mais refinada, logo com menor área de contato na interface fibra/matriz. Na Figura 5 mostra o gráfico carga x deslocamento dos compósitos laminados híbridos de bambu e sisal.

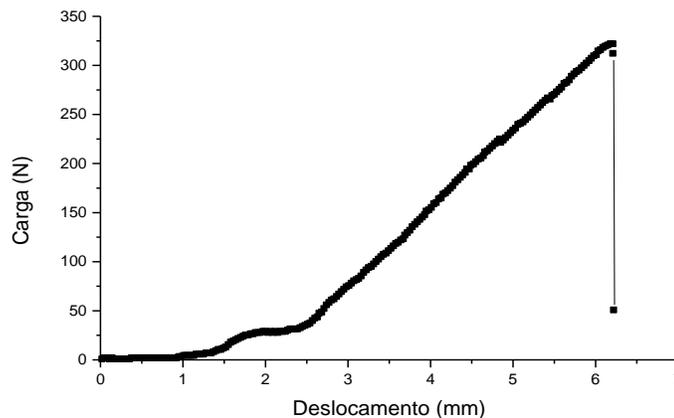


Figura 5 – Gráfico carga x deslocamento dos laminados híbridos de bambu e sisal

Na caracterização mecânica dos compósitos laminados híbridos de bambu e sisal, apesar do método de fabricação ser manual, os resultados foram similares aos encontrados por (TITA et al., 2002); (FERREIRA et al., 2006); (SANTIAGO et al., 2007) e (RAJULU et al., 2003). Através da caracterização mecânica dos compósitos laminados híbridos de bambu e sisal apresentaram um satisfatório desempenho mecânico quando comparados com outros compósitos híbridos. Na Figura 6 têm-se a análise das superfícies longitudinal e fraturadas dos compósitos laminados híbridos de bambu e sisal por microscopia óptica.

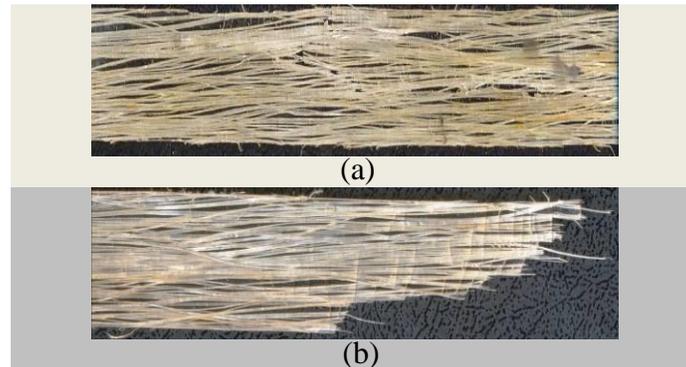


Figura 6 – (a) Seção longitudinal do laminado de bambu e sisal e (b) Região fraturada do laminado de bambu e sisal

A Figura 6 mostra a região longitudinal e fraturada dos compósitos laminados híbridos por microscopia óptica, onde temos: (a) nota-se a disposição e acomodação das fibras dentro da matriz, não apresentando uma boa uniformidade, disposição e acomodação das fibras, pois, nota-se pela imagem a presença de vazios, espaçamentos entre fibras, defeitos provenientes do processo de fabricação. Não há boa impregnação entre as fibras e a resina, provavelmente as fibras ficaram sobrepostas uma sobre as outras. Fatores que contribuíram para a depreciação de sua resistência mecânica. Em (b) mostra a região fraturada dos compósitos laminados híbridos, observa-se que a fratura foi dúctil, porém com uma carga pequena para esse tipo de compósitos. Lembrando dos elementos já citados anteriormente, vazios, defeitos espaçamento e outros, prejudicaram diretamente o desempenho dos compósitos. Outro fator importante que se pode notar pelas imagens é que as fibras ficaram entrelaçadas, deixando vazios nos compósitos. O que prejudicou as propriedades mecânicas dos compósitos produzidos.

A Figura 7 mostra a caracterização microestrutural dos compósitos laminados híbridos.

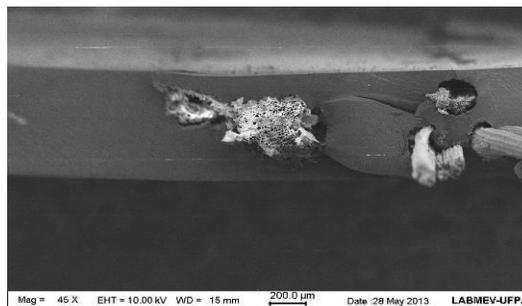


Figura 7 – Superfície fraturada do compósito laminado híbrido de bambu / sisal

Na Figura 7 observar-se a análise microestrutural dos compósitos laminados híbridos, evidenciando a influência dos elementos já citados na microestrutura do compósito laminado, onde se observa a predominância de vazios, espaçamento entre fibras, bolhas e outros elementos prejudiciais as propriedades dos compósitos fabricado. Têm-se também a baixa adesão entre a fibra/matriz, vários pontos concentradores de tensão e nucleação de trincas. Também foi observada a presença de vazios e

*pull-out* na superfície fraturada. O que contribui para a diminuição da resistência mecânica dos compósitos laminados híbridos.

## 4. CONCLUSÕES

As caracterizações das fibras de bambu e sisal foram eficientes quanto suas propriedades analisadas no que tange a empregabilidade dessas fibras como reforço de materiais compósitos.

A fabricação manual pelo método hand-lay-up dos compósitos laminados híbridos de bambu e sisal foram eficientes para se obter um material sustentável e de baixo custo.

Na caracterização mecânica dos compósitos laminados híbridos de bambu e sisal, os resultados encontrados foram satisfatórios, sendo similares a outros compósitos laminados de outras fibras vegetais.

A análise microestrutural foi eficiente para verificação das fibras dentro da matriz e seus possíveis agentes de falhas dos compósitos laminados híbridos.

## 6. REFERÊNCIAS

1. 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.
2. FERREIRA, A. et. al. Avaliação de compósito de poliéster e fibra de cana de açúcar. In: 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 2006. PR.
3. GOMES, A.; MATSUO, T.; GODA, K.; OHGI, J. Development and effect of alkali treatment on tensile properties of curaua fiber green composites. *Composites Part A - Applied Science and Manufacturing*, 38 (8), pp. 1811-1820, 2007.
4. JOHN, M. J.; THOMAS, S. Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 71, pp. 343-364, 2008.
5. MISHRA, S.; MOHANTY, A.; DRZAL, L.; MISRA, M.; PARIJA, S.; NAYAK, S.; TRIPATHY, S. Studies on mechanical performance of biofibre/glass reinforced polyester hybrid composites. *Composites Science and Technology*, 63 (10), pp. 1377-1385, 2003.
6. RAJULU, A. V.; DEVI, L. G.; RAO, G. B.; REDDY, R. L. Chemical Resistance and Tensile Properties of Epoxy/Unsaturated Polyester Blend Coated Bamboo Fibers. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 22, n. 11/2003.
7. SANTIAGO et al. (2007). Comportamento mecânico do compósito de resina ortoftálica reforçado com fibra de juta e tratado quimicamente com hidróxido de sódio. 2007.

8. 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.
9. SILVA, H. S. P. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibras de vidro. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2010.
10. SILVA, O. R. R. F.; BELTRÃO, N. E. M. O agronegócio do sisal no Brasil. Brasília: Embrapa-SPI, 1999.
11. 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.
12. TITA, S. P. S.; PAIVA, J. M. F.; FROLLINI, E. Resistência ao Impacto e Outras Propriedades de Compósitos Lignocelulósicos: Matrices Termofixas Fenólicas Reforçadas com Fibras de Bagaço de Cana-de-açúcar. *Polímeros*, v. 12, n. 4, São Carlos, 2002.
13. TRINDADE, W. G.; HOAREAU, W.; MEGIATTO, J. D.; RAZERA, I. A. T.; CASTELLAN, A.; FROLLINI, E. Thermoset phenolic matrices reinforced with unmodified and surface-grafted furfuryl alcohol sugar cane bagasse and curaua fibers: Properties of fibers and composites. *Biomacromolecules*, 6 (5), pp. 2485-2496, 2005.
14. WUZELLA, G.; KANDELBAUER, A. Novel Composites Based on Natural Fibres and Thermosets. *JEC Composites Magazine – Biocomposites*, 37 (dec), pp. 36-38, 2007.