

APLICAÇÃO DE FIBRAS DA BANANEIRA SÃO-TOMÉ (*Musa sapientum*, *Musaceae*) EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS¹

Wassim Raja El Banna²
Léo César de Oliveira Pereira³
Roberto Tetsuo Fujiyama⁴

Resumo

As fibras da bananeira vêm tendo atualmente grande utilização na produção artesanal, porém ele tem sido objeto de estudo de muitos pesquisadores para transformá-la em um material de alta qualidade para a engenharia. A extração das fibras foi feita manualmente e sem nenhum tratamento químico. As fibras utilizadas neste estudo foram extraídas da região interna do pseudocaule da bananeira São-Tomé. Elas foram caracterizadas quanto à sua resistência à tração, diâmetro médio, massa específica e teor de umidade, além da caracterização microestrutural através de microscópio eletrônico de varredura. Na fabricação dos compósitos foi utilizada resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada combinada com fibras de bananeira com comprimentos de 5 mm e fração mássica de 4,41%, 5,41% e 6,41%. A resistência à tração dos compósitos de bananeira de 5 mm com fração mássica de 4,41% foi 28,85 MPa; para os compósitos com fração mássica de 5,41% foi 35,39 MPa; e para os compósitos de fração mássica de 6,41% foi 30,19 MPa.

Palavras-chave: Fibras naturais; Materiais compósitos; Materiais de engenharia.

APPLICATION OF SÃO-TOMÉ BANANA FIBER (*Musa sapientum*, *Musaceae*) IN COMPOSITE POLYMERIC

Abstract

The fibers of this tree are currently having great use in craft production, but it has been studied by many researchers to turn it into a high quality material for engineering. The extraction of the fibers of the banana pseudostem was done manually and without any chemical treatment. The fibers used in this study were drawn from the inner region of the pseudostem of São-Tomé banana. They were characterized for their tensile strength, diameter, density and moisture content, besides the microstructural characterization by scanning electron microscope. In the manufacture of composite resin was used in combination with banana fibers with lengths of 5 mm and the mass fraction of 4.41%, 5.41% and 6.41%. The tensile strength of composites banana 5 mm with mass fraction of 4.41% was 26.60 MPa, for composites with mass fraction of 5.41% was 30.78 MPa, and for the mass fraction of composites 6.41% was 25.80 MPa.

Key words: Natural fibers; Composite materials; Materials engineering.

¹ Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Me, Professor, Faculdade de Engenharia Mecânica, ITEC, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, PA, Brasil; wassim_eng04@yahoo.com.br.

³ Graduando, Faculdade de Engenharia Mecânica, ITEC, UFPA, Belém, PA, Brasil.

⁴ Dr, Professor Adjunto, PPGEM, ITEC, UFPA, Belém, PA, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Toda produção de banana, no Brasil, é consumida *in natura* e o seu cultivo tem papel fundamental quanto à mão de obra. A banana possui um fator importante na alimentação da população de baixa renda, isso por ela não só apresentar um valor nutritivo considerável, mas também por ter um custo baixo. Permitindo assim um retorno rápido ao produtor gerando com isso divisas para o País.

Em termos de produção o Brasil é o segundo maior produtor de banana perdendo apenas para Índia, possuindo assim um alto índice de produção e produtividade. Essa é uma das razões pelo estudo das fibras da bananeira, por ser uma planta de fácil cultivo no Brasil e assim trazer vantagens quanto a sua obtenção a fim de utilizar a fibra da bananeira como reforço em polímeros. A Figura 1 mostra um desenho de uma bananeira com suas diversas partes constituinte.

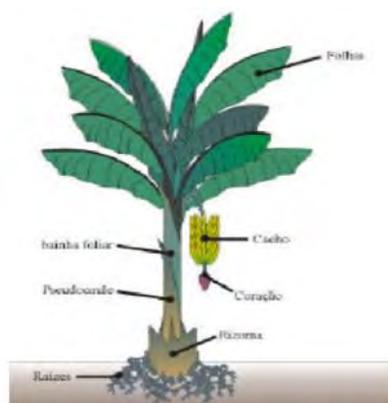


Figura 1. Desenho de uma bananeira com suas diversas partes constituinte.⁽¹⁾

Nos últimos anos, há uma crescente preocupação em relação às questões ambientais, o que está acarretando aumento de pesquisas na área de compósitos utilizando fibras naturais como cargas reforçantes. As fibras celulósicas apresentam baixo custo, baixa densidade e reduzem o desgaste em equipamentos de processamento se comparadas às fibras sintéticas, além de serem de fonte renovável, biodegradáveis, atóxicas e serem facilmente modificadas por agentes químicos.⁽²⁾

As fibras naturais são compostas de vários materiais orgânicos (principalmente de celulose, bem como a hemicelulose e lignina) e, portanto, o tratamento térmico leva a uma variedade de mudanças físicas e químicas. A resistência dos compósitos de fibras curtas reforçadas é altamente dependente do grau de adesão interfacial, enquanto que a rigidez é controlada pela orientação das fibras.

Entretanto se essas fibras naturais forem unidas com matrizes poliméricas poderemos ter um aumento de suas propriedades mecânicas. Um material compósito é formado pela união de dois ou mais materiais de naturezas diferentes, resultando em um material de desempenho superior aquela de seus componentes tomados separadamente. O material resultante é um arranjo de fibras, contínuas ou não, de um material resistente (reforço) que são impregnados em uma matriz de resistência mecânica inferior a algumas fibras.

Para obtenção do compósito, foi usada resina poliéster, combinada com 4,41%, 5,41% e 6,41% de fração mássica de fibras da camada interna da bananeira, com comprimentos de 5 mm. Os corpos de prova foram fabricados por moldagem manual utilizando-se moldes de silicone, sem desmoldante e sem pressão. Os resultados da

caracterização mecânica do compósito reforçado com fibras de bananeira obtidas neste trabalho, através de ensaios mecânicos serão comparados com as propriedades de compósitos reforçados com outras fibras naturais, verificando sua adequação para aplicação como material compósito de engenharia.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

2.1.1 Resina poliéster

A matriz polimérica utilizada para realização do trabalho foi a resina poliéster teraftálica insaturada, fabricada pela empresa 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). A resina foi adquirida pura e posteriormente foi pré-acelerada com neftenato de cobalto (CoNap), na proporção de 0,15% em massa.

2.1.2 Fibras da bananeira

As fibras utilizadas neste estudo foram extraídas do pseudocaule da bananeira São-Tomé (*Musa Sapientum*, Musaceae), localizadas na região Amazônica. O pseudocaule é formado pela sobreposição de bainhas foliares (camada), onde cada pseudo é composto por aproximadamente 15 bainhas em condições de uso para a produção de fibras (Figura 2).



Figura 2. Pseudocaule formado pela sobreposição de bainhas foliares.

Após a retirada das bainhas, são separadas em três partes: as primeiras 6 bainhas chamamos de camada externa (CE), as 4 bainhas seguintes de camada mediana (CM) e o restante das bainhas de camada interna (CI). A Figura 3 mostra um esquema ilustrativo da separação das bainhas foliares do pseudocaule da bananeira.

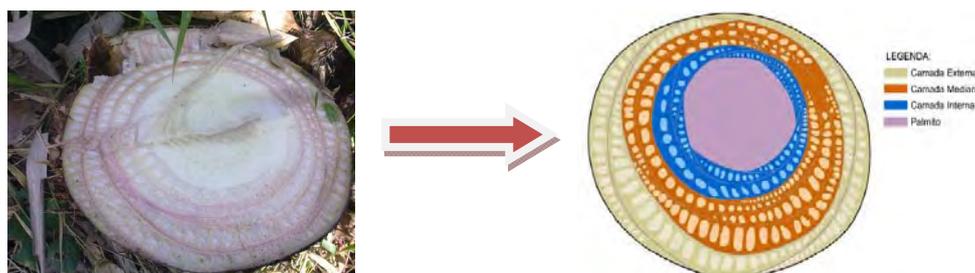


Figura 3. Esquema ilustrativo da separação das bainhas foliares do pseudocaule da bananeira.

O processo de extração das fibras foi feito manualmente sem ajuda de qualquer aparelho tecnológico que possa influenciar nos resultados. Neste processo foram necessários uma faca, uma escova de cerdas de aço e um cilindro para massas. O cilindro é usado para aplainar a bainha e retirar o excesso de água. Raspa-se a bainha para tirar o excesso de mucilagem e a película externa. A extração das fibras é feita com o garfo para abrir sulcos e, depois, a escova de aço separa as fibras em pequenos feixes.

No final, quando estiverem devidamente separadas e livres de resíduos são colocadas dentro de um recipiente plástico até ser levado aos ensaios. As fibras não sofreram nenhum tipo de tratamento, a não ser a retirada da mucilagem e uma limpeza grosseira das fibras, secando ao ar livre. Assim poderá se ter a oportunidade de trabalhar com fibras de bananeira em seu estado natural (in natura).

2.2 Métodos

2.2.1 Caracterização mecânicas das fibras da bananeira

Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina de ensaios mecânicos da marca Kratos, modelo IKL3, com célula de carga de 5KN e velocidade de deslocamento de 0,5mm/min (Figura 4), na qual se utilizou uma placa de aquisição de dados para obtenção dos valores de deslocamento e carga aplicada no material. Os ensaios foram feitos de acordo com a norma ASTM D3822-96,⁽³⁾ visando determinar sua resistência à tração e alongamento.



Figura 4. Máquina de ensaio de tração.

Porém, antes foram confeccionados os corpos de prova para poderem ser ensaiadas. Foram utilizadas *tabs*, seguindo a norma ASTM D 3822.⁽³⁾ Devido ao fato de se utilizar fibras curtas de bananeiras, não tem como fixá-las nas garras da máquina, então foi necessário utilizar *tabs*, que consistem em um molde de papel, com uma granulometria variando de 120 a 180 g/cm³, cuja função é de interligar a fibra com a garra, onde esta fibra fica posicionada verticalmente no *tab* (Figura 5).

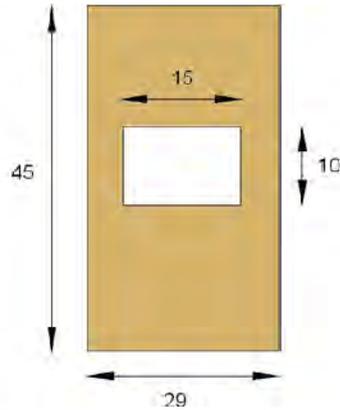


Figura 5. Modelo de fabricação dos moldes.

2.2.2 Caracterização física das fibras da bananeira

Com a ajuda de um microscópio óptico, marca Leica modelo MDR com sistema de aquisição de dados e aumento de 100 vezes (Figura 6) foi possível determinar os diâmetros das fibras antes de serem ensaiadas. As fibras vegetais possuem espessuras variáveis, então foi considerada que a fibra é perfeitamente circular e com diâmetro constante para simplificar a análise e poder determinar os diâmetros aparentes em diferentes locais das fibras.



Figura 6. Microscópio Óptico.

A massa específica das fibras in natura foi obtida através de ensaios de picnometria, usando água como não solvente, onde a fibra é imersa em água observando-se o volume que é deslocado. O teor de umidade das fibras foi avaliado pelo método de secagem das fibras em uma estufa da marca Quimis modelo MD 1.4 (Figura 7). A amostra foi submetida à medição de massa inicialmente em intervalos de tempo de 5 em 5 min, durante uma 1h30min, depois houve aumento do intervalo de 10 em 10 min, durante 1h30min, e intervalos de 15em 15min, durante 5h, para poder estabilizar a massa das fibras.



Figura 7. Estufa utilizada na secagem das fibras.

2.2.3 Caracterização microestrutural das fibras da bananeira

A microestrutura das fibras foi analisada fractograficamente com auxílio da microscopia eletrônica de varredura, adequado para obter imagem de superfície analisada, pois revela com nitidez a topografia, relevos e depressões existentes nas fibras, a partir das amostras ensaiadas em tração. A Figura 8 ilustra a máquina de microscopia eletrônica de varredura.



Figura 8. Máquina de microscopia eletrônica de varredura.

2.2.4 Confeção dos corpos de prova

Os corpos de prova foram fabricados por moldagem manual na qual foi utilizado moldes de silicone, sem desmoldante e sem pressão. Os compósitos particulados foram fabricados misturando-se as quantidades pré-pesadas de resina, agente de cura (catalisador e cobalto) e, no caso deste trabalho, as fibras de bananeira, em um Becker, sendo esta mistura homogeneizada por cerca de cinco minutos e vazada, à temperatura ambiente nos moldes. A Figura 9 mostra o processo de confecção dos corpos de prova.



Figura 9. Processo de confecção dos corpos de prova: a) Molde de silicone utilizado para confecção dos corpos de prova; b) As fibras sendo misturadas com a resina e agentes de cura em um Becker antes de serem vazadas no molde; c) A mistura já homogeneizada sendo vazada no molde sem pressão; d) Compósitos particulados já fabricados e vazados no molde esperando o tempo de cura para serem ensaiados.

Para determinação da fração mássica do reforço que foi utilizado na fabricação dos corpos de prova deste trabalho foi estimada através da capacidade volumétrica que o molde tem para acomodar estes reforços sem pressão ou compactação e também na ausência da matriz. Ou seja, para as fibras da camada interna da bananeira de 5 mm, os moldes de tração foram preenchidos até o limite de sua capacidade volumétrica, sem pressão ou vibração mecânica. Determinados os valores de fração mássica, foram confeccionados os corpos de prova para a avaliação da trabalhabilidade da mistura homogeneizada no estado líquido, avaliando sua molhabilidade e moldabilidade da matriz polimérica sobre os reforços estudados neste trabalho. Então, para cada um dos comprimentos que foram determinados no início para estudo, determinou-se suas respectivas proporções de fração mássica para as fibras de bananeira, 5 mm (4.41%, 5.41% e 6.41%). Fabricaram-se 12 corpos de prova para cada fração mássica estipulada, totalizando 36 CP's em todo trabalho.

2.2.5 Caracterização dos materiais compósitos reforçados por fibras da bananeira

Os ensaios de tração foram realizados de acordo com a norma ASTM D 638M⁽⁴⁾ e as dimensões usadas são demonstradas esquematicamente na Figura 10.

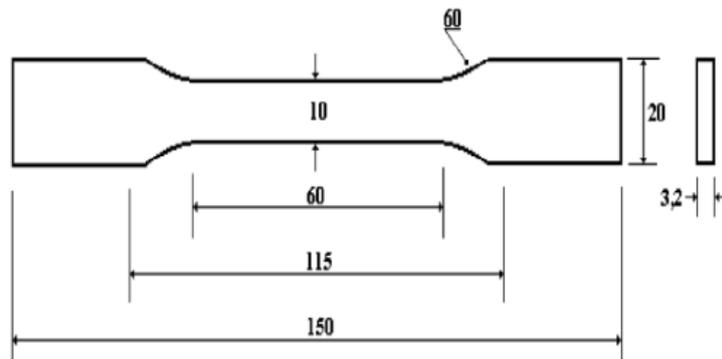


Figura 10. Dimensões (mm) dos corpos de prova para ensaio de tração sem escala.

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. Após a realização dos ensaios mecânicos, a superfície de fratura dos corpos de prova foi analisada 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, obedecendo a mesma metodologia de preparação de amostra efetuado para a caracterização microestrutural das fibras de bananeira.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização Mecânica, Física e Microestrutural das Fibras da Camada Mediana da Bananeira

As fibras da camada interna da bananeira foram caracterizadas quanto à sua resistência à tração, diâmetro médio, alongamento, densidade, umidade e aspecto superficial. A Tabela 1 mostra os resultados obtidos nos ensaios. As fibras foram caracterizadas da forma como foram extraídas sem algum tratamento superficial.

Tabela 1. Resultado da caracterização das fibras

Reforço	Diâmetro (µm)	Resist. Tração (MPa)	Along. (mm)	Massa Específica (g/cm ³)	Teor de Umidade (%)
B. Tomé Interna	55	2339 (±123,9)	9,4	1,45 (±0,1)	14 (±1,4)

A Tabela 2 mostra o comparativo das propriedades mecânicas e físicas das fibras da camada interna da bananeira em relação às outras fibras vegetais.

Tabela 2. Comparativo das propriedades mecânicas e físicas das fibras da camada mediana da bananeira em relação às outras fibras vegetais

Tipos de Fibra	Resist. Tração (MPa)	Alongamento (mm)	Massa Específica (g/cm ³)	Teor de Umidade (%)
B. Tomé Interna	2339 (±123,9)	9,4	1,45 (±0,1)	14 (±1,4)
Curauá	1003 (±79,8)	8	1,30 (±0,1)	10 (±1,7)
Juta	425,40	1,8	1,45	9

A Figura 11 mostra um histograma comparando a densidade de outras fibras com as fibras das bananeiras.

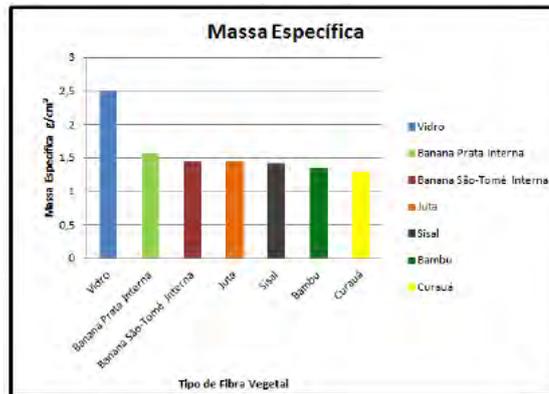


Figura 11. Histograma comparativo da massa específica das fibras das bananeiras com outras fibras vegetais.

A Figura 12 mostra uma comparação desses valores de forma mais simplificada.

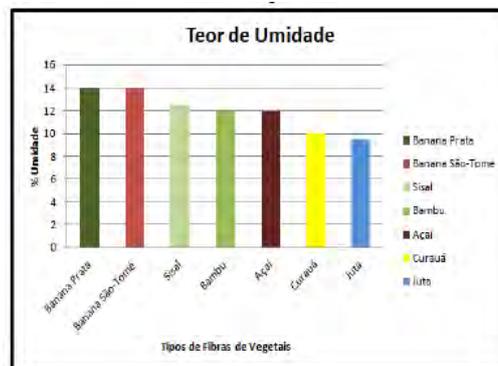


Figura 12. Histograma comparativo do teor de umidade das fibras das bananeiras com outras fibras vegetais.

Após a realização do ensaio de tração nas fibras, foi feito um estudo do comportamento delas após a fratura. A Figura 13 mostra as regiões de fratura das amostras das fibras de bananeira, onde se podem observar as microfibrilas rompidas.

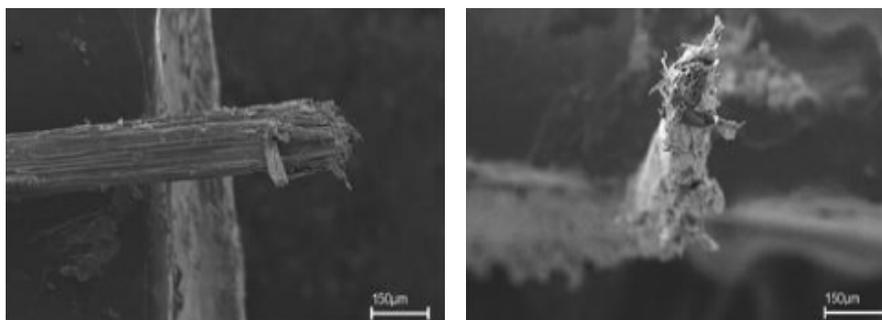


Figura 13. Microscopia eletrônica de varredura: a) Fibras da bananeira São-Tomé após ensaio de tração ilustrando o rompimento das microfibrilas; b) Região fraturada após ensaio de tração da fibra do tipo São-Tomé.

3.2 Caracterização Mecânica dos Materiais Compósitos Reforçados por Fibras da Camada Interna da Bananeira

Os compósitos produzidos, usando como reforço as fibras de bananeira (São-Tomé) foram ensaiados em tração seguindo os procedimentos da norma ASTM D 638:2003. A Tabela 3 mostra os resultados obtidos nos ensaios de tração para os compósitos poliméricos reforçados com fibras da camada interna da bananeira (São-Tomé) de 5 mm nas frações mássicas de 4.41%, 5.41% e 6.41% dispostas aleatoriamente.

Tabela 3. Resultado dos ensaios de tração para os compósitos poliméricos reforçados com fibras da camada interna da bananeira (São-Tomé) de 5 mm nas frações mássicas de 4.41%, 5.41% e 6.41%

Reforço	Resist. Tração (MPa) c/ Fração Mássica 4.41%	Resist. Tração (MPa) c/ Fração Mássica 5.41%	Resist. Tração (MPa) c/ Fração Mássica 6.41%
BST Interna	28.85 ($\pm 0,94$)	35.39 ($\pm 1,21$)	30.19 ($\pm 2,67$)

4 DISCUSSÃO

4.1 Caracterização Mecânica, Física e Microestrutural das fibras da camada mediana da bananeira

O limite de resistência à tração obtida está entre os valores já vistos em outras literaturas e apresentou resultado 40% superior ao de Chand, Tiwary e Roghati⁽⁵⁾ e valor superior de aproximadamente 65% à média encontrada por Beaudoin,⁽⁶⁾ comprovando o que tem sido reportado por diversos autores sobre a variabilidade das propriedades das fibras naturais.

Nota-se a superioridade das fibras da camada interna da bananeira em relação às outras fibras vegetais, por exemplo, elas são aproximadamente 57% superiores às fibras de curauá; em relação às fibras de juta elas foram 80% superiores; e foram 78% superiores quando comparados com as fibras de sisal.

A densidade é uma propriedade fundamental na definição da aplicação das fibras para uso tecnológico. A densidade aparente é influenciada pelos poros e pelo lúmen existentes nas fibras vegetais, e a densidade absoluta é a densidade da fibra excluindo essas estruturas. Ela representa a medida do material sólido da célula.

Quando comparadas com as outras fibras, as fibras da bananeira apresentam teores de umidade maiores que as de açai (*Euterpe oleracea*) 12%, a de juta (*Corchorus capsularis*) 9,5%,⁽⁷⁾ a de sisal (*Agave sisalana*) 12,5% e a de bambu (*Bambusa vulgaris cv vittata*) 12%,⁽⁸⁾ enquanto que as fibras de curauá possuem um dos valores mais baixos de teores de umidade.

Observa-se na Figura 13a que a sua superfície é ligeiramente rugosa e não uniforme o que pode facilitar o ancoramento mecânico da resina, portanto facilitar a adesão fibra/matriz; já Figura 13b mostra região fraturada após ensaio de tração da fibra da bananeira do tipo São-Tomé. Através da micrografia MEV, pode-se observar que as fibras das bananeiras são formadas por um aglomerado de microfibrilas.

4.2 Caracterização Mecânica dos Materiais Compósitos Reforçados por Fibras da Camada Interna da Bananeira

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos com o aumento da fração mássica para a camada interna da bananeira São-Tomé. De acordo com os valores obtidos da

bananeira São-Tomé, a fração de 5,41% foi a que apresentou melhor resultado, aproximadamente 31 MPa. Quando comparado com os outros compósitos estudados, nota-se que foi 14% superior que a fração 4,41% do compósito; e em relação ao compósito reforçado pela camada mediana com 6,41% de fração mássica, foi aproximadamente 18% superior.

5 CONCLUSÃO

Apresentam-se, a seguir algumas conclusões oriundas da análise dos resultados encontrados nesta pesquisa. A fibra da camada interna da bananeira possui microestruturas semelhantes às demais fibras vegetais, onde em sua composição microestrutural, pode-se dar destaque ao alto percentual das microfibrilas de celulose, conduzindo a bons resultados nas propriedades mecânicas.

A caracterização mecânica das fibras de bananeira mostrou que estas, apesar de não terem sofrido qualquer tratamento, apresentaram bons níveis de resistência à tração, níveis intermediários dentre os resultados encontrados na literatura.

Para os compósitos poliméricos reforçados com fibras da camada interna da bananeira de 5 mm de comprimento, a que apresentou melhor resultado de resistência à tração foram as fibras com 5.41% de fração mássica.

A viabilidade da utilização das fibras do pseudocaule da bananeira do tipo São-Tomé como reforço de compósitos com matrizes poliméricas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, CNPQ e Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia - ITEGAM.

REFERÊNCIAS

- 1 CHEN, J.K. et. al. **Isotônico a partir do pseudocaule da bananeira**. Orientador: IGUTI, A.M. São Caetano do Sul, SP: CEUN-EEM, 2008. 48p.
- 2 PADILHA, E. J. Jr.; ZARD, C. L. Comportamento mecânico e reológico de compósitos de polipropileno e fibras de bananeira: Influência do teor de fibra. **Revista eletrônica de materiais e processos**. v. 5, p. 10-16, 2010.
- 3 STANDARD TEST METHOD FOR TENSILE PROPERTIES OF SINGLE TEXTILE. **ASTM D 3822 - FIBERS**, Annual Book of ASTM Standards, 1996.
- 4 STANDARD TEST METHOD FOR TENSILE PROPERTIES OF PLASTIC (METRIC). **ASTM D 638**, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 1989.
- 5 CHAND, N. TIWARY, R. K., ROGHATI, P. K. Bibliography: Resource Structure Properties of Natural Cellulosic Fibres. In: Annotated Bibliography. **Journal of Materials Science**, v. 23, n. 2, 1988.
- 6 BEAUDOIN, J. J. **Handbook of fiber-reinforced concrete: Principles properties, developments and applications**. New Jersey: Noyes, 1990.
- 7 FAGURY, R. V. G. **Avaliação de fibras Naturais para a fabricação de compósitos: açai, coco e juta**. 2005. 49f. Dissertação (Mestrado Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará.
- 8 COSTA, D.S. Caracterização mecânica, física e microestrutural de fibras de bambu. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MATERIAIS, 2011.