

ÁREA TEMÁTICA: RECICLAGEM

**RESÍDUO DE MADEIRA DE JATOBÁ (*Hymenaea courbaril*) E FIBRAS
CURTAS DE MALVA EM COMPÓSITOS**

Keila Cristina Leite Da Silva¹ (engmeckeila@gmail.com), Thaynara da Cruz Mota¹ (naramota97@gmail.com), Bruno Henrique Alves Mendes¹ (bhmendes15@gmail.com), Roberto Tetsuo Fujiyama¹ (fujiyama@ufpa.br), Wassim Raja El Banna² (wassim@ufpa.br), Deibson Silva da Costa³ (deibsonsc@yahoo.com.br)

1 Universidade Federal do Pará – UFPA

2 Universidade Federal do Pará – UFPA – CAMTUC

3 Universidade Federal do Pará – UFPA – CAMPANIN

RESUMO

Os compósitos são formados pela combinação de dois ou mais materiais, possibilitando melhorias em propriedades e uma diversidade de aplicações. Esses materiais ganham destaque por apresentar baixo custo e permitir alternativas ambientalmente favoráveis. Neste trabalho, compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras de malva, resíduos de madeira de jatobá e sistema híbrido de malva/resíduo, foram analisados mecânica e microestruturalmente. A fabricação dos compósitos teve início com o corte das fibras de malva nos comprimentos de 5, 10 e 15 mm. Na fabricação dos corpos de prova utilizou-se a resina poliéster tereftálica com incorporação de fibras e do resíduo. Os corpos de prova foram produzidos em moldes de silicone, de acordo com a norma ASTM D 638M, para os ensaios de resistência à tração e análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A partir dos resultados obtidos no ensaio de tração, observa-se que a resistência dos compósitos com fibras de malva de 15 mm (25,09 MPa) e híbridos nas proporções de 75% fibra / 25% resíduo (26,06 MPa), tornou-os mais aceitáveis que os compósitos com incorporação unicamente do resíduo de madeira, que apresentou desempenho equivalente à 20,67 MPa. Na caracterização microestrutural, os compósitos analisados apresentaram fatores que contribuíram para a melhoria e redução do desempenho nos resultados de resistência à tração.

Palavras-chave: Compósito; Híbridos; Fibra.

**WOODWATER RESIDUE OF JATOBÁ (*Hymenaea courbaril*) AND SHORT
FIBER OF MALVA IN COMPOSITES**

ABSTRACT

The composites are formed by combining two or more materials, enabling improvements in properties and a variety of applications. These materials are highlighted by presenting low cost and enabling environmentally friendly alternatives. In this work, composites of polyester matrix reinforced by mauve fibers, jatoba wood residues and hybrid mauve/residue system, were analyzed mechanically and microstructurally. The fabrication of the composites began with the cut of the mauve fibers in the lengths of 5, 10 and 15 mm. In the manufacture of the specimens, terephthalic polyester resin was used with incorporation of fibers and residue. The specimens were produced in silicone molds, according to ASTM D 638M, for the tensile strength tests and scanning electron microscopy (SEM) analysis. From the results obtained in the tensile test, it is observed that the resistance of the composites with mauve fibers of 15 mm (25.09 MPa) and hybrids in the proportions of 75% fiber/25% residue (26.06 MPa), made them more acceptable than the composites with incorporation only of wood residue, which presented performance equivalent to

20.67 MPa. In the microstructural characterization, the composites analyzed presented factors that contributed to the improvement and reduction of performance in the results of tensile strength.

Keywords: Composite; Hybrids; Fiber.

1. INTRODUÇÃO

Compósito, também conhecido como conjugado, trata-se de um material multifásico que é feito artificialmente, em contraste com um material que ocorre ou que se forma naturalmente. Além disso, as fases constituintes devem ser quimicamente diferentes e estar separadas por uma interface distinta. (CALLISTER, 2008).

A composição desses materiais permite vantagens, especialmente no ponto de vista do comportamento mecânico, como, por exemplo, o aumento da rigidez e da resistência mecânica, melhores respostas à fadiga sob cargas cíclicas, diminuição de peso, mantendo-se o nível de resistência, etc. (SHIGLEY, 2005). Segundo Rodrigues (2008) o aglomerante do material é chamado de matriz, que tem por função envolver os componentes, ou seja, compõe a forma do material. Os componentes inseridos na matriz atuam, geralmente, como substâncias de reforço ou enchimento, sendo as propriedades dos compósitos dependentes da natureza e das propriedades do reforço (MARTINS, 2010).

Dentre os materiais utilizados como reforço em compósitos, a planta malva, denominada cientificamente como *Urena lobata L.*, possui fibras liberianas encontradas entre a camada do câmbio que envolve a medula central lenhosa do caule e a camada externa da casca, com um grau de resistência expressivo, o que lhe garante espaço no setor comercial (COSTA *et al.*, 2012).

A madeira é um compósito de lignina e celulose de origem natural, e a geração de resíduo é vinculada do tipo de matéria-prima empregada e ao grau de aproveitamento (HILILIG, *et al.*, 2004). Nesse contexto, a grande quantidade de resíduos gerados sempre foi motivo para preocupações, com destaque para o pó de lixa e a serragem, que possuem baixa densidade, e demandam maior espaço para a estocagem. (YAMAJI e BONDUELLE, 2004).

Dessa forma, o trabalho consiste no reaproveitamento do resíduo de madeira de jatobá através de sua incorporação em compósitos poliméricos reforçados por fibras de malva.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

A finalidade do trabalho é avaliar a influência da incorporação de fibras de malva e resíduo de madeira de jatobá, individualmente e de forma combinada (híbridos), em matriz polimérica, de modo a avaliar as características mecânicas através de ensaio de tração e a caracterização microestrutural através de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analisar a influência do tipo de reforço e comprimento da fibra nas propriedades mecânicas dos compósitos;
2. Avaliar o desempenho mecânico dos compósitos de fibra de malva (5, 10 e 15 mm), compósitos com resíduo de madeira de jatobá e o híbrido de malva/resíduo utilizando o comprimento de 15 mm;
3. Analisar a microestrutural da superfície fraturada dos corpos de prova dos materiais compósitos.

3. METODOLOGIA

3.1 FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE TRAÇÃO

As fibras de malva foram cortadas manualmente com auxílio de uma tesoura e papel milimetrado nas dimensões de 5, 10 e 15 mm e o resíduo de madeira de jatobá, obtido de uma marcenaria local, foi pesado e aquecido à uma temperatura de 50 °C durante 20 minutos para retirada da umidade.

A resina poliéster e o catalisador tiveram suas massas determinadas com balança analítica, apresentando 61,5 g e 0,15 g, respectivamente.

Para confecção dos corpos de provas foram utilizados moldes de silicone de acordo com as dimensões exigidas pela norma ASTM D 638M, conforme demonstrado na Figura 1. A escolha do molde de silicone se deve ao fato de manter a consistência mecânica do corpo de prova, além de facilitar o processo de desmoldagem do compósito.

Figura 1 - Molde de silicone utilizado para a fabricação dos compósitos



As frações mássicas de fibra a serem utilizadas para a fabricação dos corpos de prova foram extraídas do trabalho de (LUZ, 2013). Para o resíduo de madeira de jatobá foi realizada a medição do mesmo, a partir do preenchimento de um molde de silicone até o limite de sua capacidade volumétrica, seguida da determinação da massa em balança analítica. O procedimento foi realizado 5 (cinco) vezes e, de posse dos valores, foram definidas as composições dos compósitos, conforme a Tabela 1, onde “CF” faz referência aos compósitos de fibras em diferentes comprimentos, “CR” faz referência aos compósitos com resíduo de madeira de jatobá e “CH” refere-se aos compósitos híbridos de Fibra/Resíduo em percentual de massa.

Tabela 1 – Composições utilizadas na pesquisa.

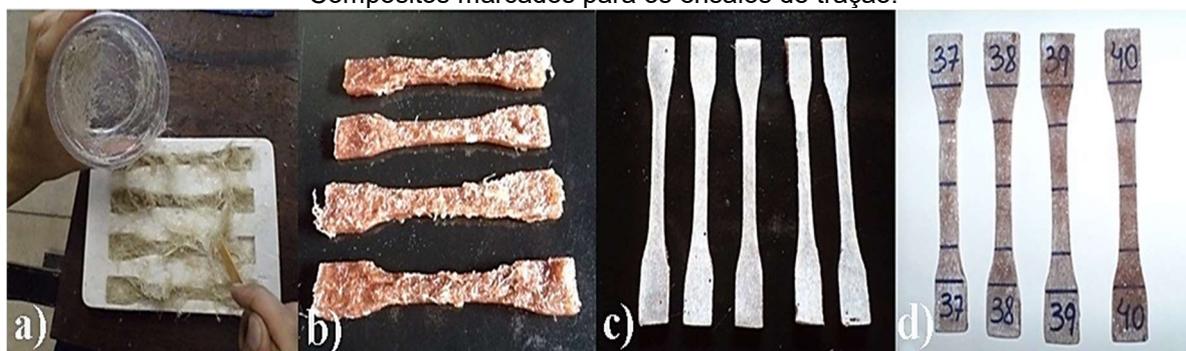
Composição	Resina (g)	Fibra (g)	Resíduo (g)	Quantidade
CF05	15,37	0,74	-	5
CF10	15,37	0,67	-	5
CF15	15,37	0,61	-	5
CR	15,37	-	1,53	5
CH75/25	15,37	0,46	0,40	5
CH50/50	15,37	0,30	0,80	5
CH25/75	15,37	0,15	1,21	5

A fabricação dos corpos de prova teve início com a pesagem da resina e inserção do catalisador por intermédio de uma pipeta graduada, seguida da homogeneização da mistura por um período

equivalente a 30 segundos, a partir do qual adicionou-se o reforço de fibra de malva e resíduo de madeira de jatobá, quando necessário e de acordo com as composições determinadas na Tabela 1, misturando-os por mais 4 minutos e 30 segundos, momento no qual a mistura foi transferida para os moldes.

Após sete dias de cura, processo pelo qual o corpo de prova se solidifica, estes foram retirados do molde para realização dos processos de lixamento e acabamento. Terminado o processo de lixamento, os corpos de prova foram marcados de acordo com as especificações da norma ASTM D 638M, podendo assim ser levados para o ensaio mecânico. A Figura 2 ilustra (a) envase da mistura, (b) os compósitos antes do lixamento, (c) pós lixamento e (d) compósitos marcados.

Figura 2 – a) Envase da mistura; b) Compósitos antes do lixamento; c) Compósitos após o lixamento e d) Compósitos marcados para os ensaios de tração.



3.2 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS COMPÓSITOS

A caracterização mecânica foi realizada no Laboratório de Ensaio Mecânicos da Universidade Federal do Pará – UFPA, através de ensaio de tração seguindo especificações da norma ASTM D 638M. Para o ensaio foi utilizada a máquina KRATOS modelo MKCA – KE, onde o corpo de prova foi posicionado para aplicação de uma carga de 5 kN em seu centro, a uma velocidade de ensaio de 5 mm/min.. Foram realizadas 5 repetições para cada composição.

3.3 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DOS COMPÓSITOS

A caracterização microestrutural foi realizada através de microscopia eletrônica de varredura (MEV). A análise da superfície de fratura foi realizada para auxiliar na identificação de fatores que proporcionaram possíveis falhas mecânicas nos compósitos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CORPOS DE PROVA

Após o processo de cura, o corpo de prova segue para o lixamento das superfícies irregulares se adequando às especificações para ensaio, onde o corpo de prova deve possuir 3,2 mm de espessura. Para chegar ao valor especificado, utilizaram-se lixas variando de 80 a 120 μ m de granulometria.

4.2 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

A caracterização mecânica dos corpos de prova consistiu nos ensaios de resistência mecânica à tração conforme as especificações da norma. A Tabela 2 ilustra os resultados dos ensaios de resistência à tração realizados em compósitos com resíduo de madeira de jatobá e com fibra de malva em seus respectivos comprimentos de 5, 10 e 15 mm.

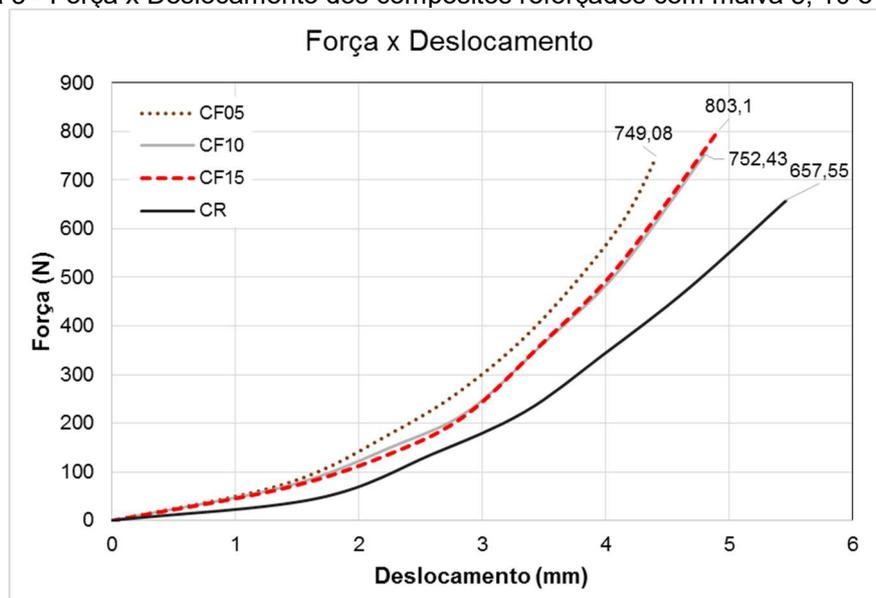
Tabela 2 - Resultados dos ensaios de resistência à tração realizados em compósitos de fibra de malva e de madeira de jatobá.

Composição	Resistência à Tração (MPa) (Desvio Padrão)	Força máxima (N) (Desvio Padrão)	Alongamento linear (mm) (Desvio Padrão)
CR	20,67 (± 0,85)	661,67 (± 27,15)	4,70 (± 0,50)
CF05	23,41 (± 2,64)	749,08 (± 84,69)	4,93 (± 0,15)
CF10	23,51 (± 1,93)	752,43 (± 62,06)	4,80 (± 0,19)
CF15	25,09 (± 2,03)	803,10 (± 161,28)	4,92 (± 0,44)

Através dos resultados apresentados observa-se que a incorporação de resíduo particulado de madeira resultou em um compósito com a menor resistência à tração, quando comparado aos reforçados por fibras, e menor alongamento linear (em média), podendo indicar um aumento na rigidez do material. Ainda segundo a Tabela 2, nota-se uma tendência à melhoria na resistência à tração com o aumento no comprimento da fibra, onde os compósitos reforçados por fibras de 15 mm obtiveram desempenho mecânico em média superior aos demais, fato que pode ser associado ao menor número de pontas nas fibras mais longas quando comparadas às mais curtas, logo menor a possibilidade de nucleação de trincas no compósito, atuando de maneira positiva nas propriedades mecânicas (COSTA, 2012).

Constatou-se, ainda, uma melhoria no efeito de alinhamento das fibras na extensão dos corpos de prova com o aumento do comprimento. A Figura 3 ilustra o desempenho da Força x Deslocamento para compósitos reforçados por malva de 5, 10 e 15 mm e os compósitos com adição de resíduo de madeira.

Figura 3 - Força x Deslocamento dos compósitos reforçados com malva 5, 10 e 15 mm.



Conforme a Figura 3, que ilustra o desempenho da força pelo deslocamento para uma amostra representativa da média dos compósitos reforçados por malva de 5, 10 e 15 mm e resíduo de madeira, nota-se que com o aumento do comprimento das fibras houve uma tolerância maior a força antes que houvesse o rompimento do corpo de prova, similarmente, o reforço de resíduo de jatobá não influenciou de forma considerável na resistência à tração dos compósitos.

A incorporação combinada de resíduo e fibra foi realizada com as fibras de 15 mm (melhor desempenho mecânico) variando em composição de 0 a 100 % da fase dispersa incorporada nos compósitos, sendo o restante compreendido pelo particulado. Observa-se que os resultados mais significativos de resistência ocorreram quando as proporções de fibras foram maiores de que as dos resíduos de jatobá, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de tração em compósitos puros e híbridos

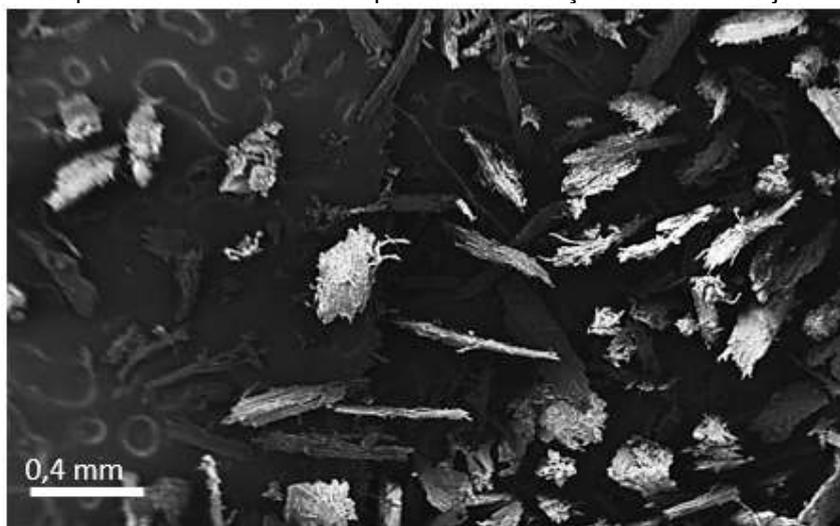
Composição	Resistência à Tração (MPa) (Desvio Padrão)	Força máxima (N) (Desvio Padrão)	Alongamento linear (mm) (Desvio Padrão)
CR	20,67 (± 0,85)	661,67 (± 27,15)	4,70 (± 0,50)
CH25/75	21,23 (± 1,77)	679,61 (± 56,86)	4,72 (± 0,19)
CH50/50	21,49 (± 2,64)	687,62 (± 148,65)	4,59 (± 0,30)
CH75/25	26,06 (± 1,91)	833,90 (± 29,40)	5,12 (± 0,12)
CF	25,09 (± 2,03)	803,10 (± 161,28)	4,92 (± 0,44)

Dessa forma, observa-se que a incorporação do resíduo não apresentou ganhos de propriedade, contudo, na composição CH75/25, a incorporação de 25 % de particulado não impactou negativamente, sendo a fração de maior desempenho, o que, em uma análise inicial, justifica a incorporação desse resíduo em compósitos híbridos, obtendo um resultado similar ao apresentado pelo compósito de fibra com maior desempenho, e promovendo uma alternativa para reaproveitamento do resíduo de madeira.

4.3 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

A análise microestrutural foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) nas superfícies fraturadas após o ensaio de tração, para uma identificação mais precisa dos mecanismos de falha nos compósitos. A Figura 4 ilustra a superfície fraturada do compósito reforçado por resíduo de jatobá.

Figura 4 - Superfície fraturada do compósito com reforço de resíduo de jatobá

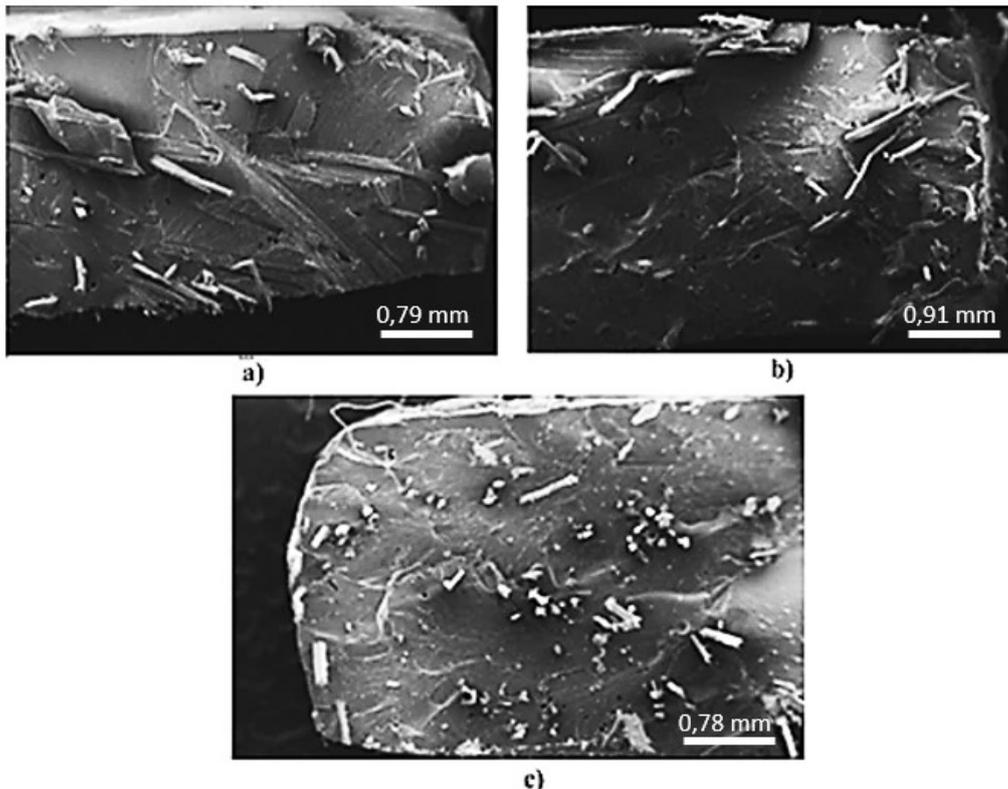


Na Figura 4 nota-se que os resíduos de madeira não se encontram uniformemente distribuídos e uma variação de forma e tamanho de partículas, resultando em uma instabilidade na sua ação como reforço efetivo, o que corrobora com o resultado mecânico apresentado. Segundo Rodolfo

Jr. (2005), quanto menor o tamanho de partícula de uma carga, maior sua capacidade de reforço em matriz polimérica.

A Figura 5 ilustra as superfícies fraturadas dos compósitos de fibra de malva: (a) compósitos de 5 mm (b) compósitos de 10 mm e (c) compósitos de 15 mm.

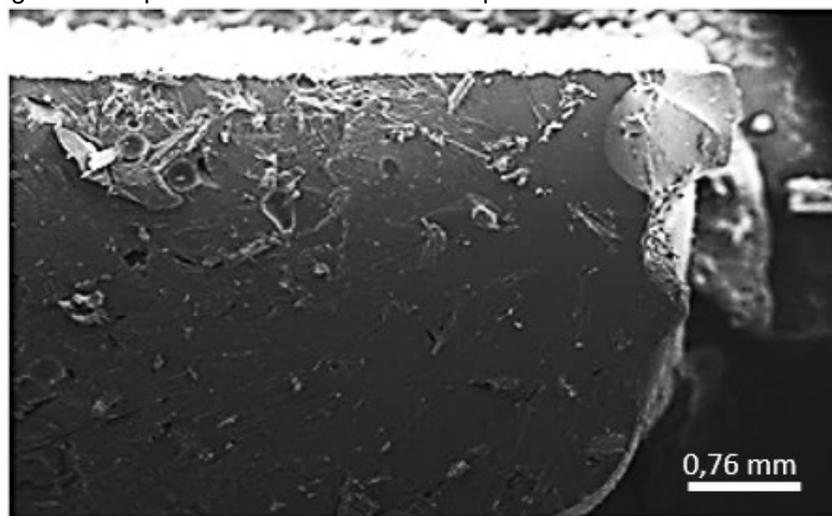
Figura 5 - Superfícies fraturadas dos compósitos de fibras de malva: a) CF05; b) CF10 e c) CF15.



Na Figura 5(a) pode-se observar a presença de fibras descoladas da matriz polimérica. Observou-se também que as fibras dispostas transversalmente estão no sentido do carregamento ao qual foi executada a força. É notório que o posicionamento da fibra pode ser prejudicial ao resultado de resistência à tração do compósito. Na Figura 5(b) nota-se uma semelhança com os compósitos de fibra de malva de 5 mm, onde as fibras estão deslocadas da matriz e dispostas em sentido transversal ao do carregamento. Diagnosticou-se que nos dois compósitos não houve uma boa disposição e acomodação das fibras em sua matriz polimérica. Dessa forma, infere-se que no processo de cura não houve uma acomodação unidirecional das fibras podendo ter sofrido desgaste e rompimento pela ação do lixamento, ocasionando concentradores de tensão ou iniciadores de trincas, depreciando a resistência à tração dos compósitos. Na Figura 5(c), por outro lado, nota-se a predominância de rompimento e não descolamento, além de evidenciar a ausência de fibras transversais, proporcionando maior potencial de resistência mecânica, conforme apresentado pelos resultados mecânicos.

A Figura 6 ilustra as superfícies fraturadas dos compósitos híbridos de 15 mm na proporção de 75 % fibra/ 25 % resíduo de madeira – CH75/25.

Figura 6 - Superfícies fraturadas dos compósitos híbridos: 15 mm – 75/25



Na Figura 6 nota-se total rompimento das fibras e a presença de pequenos vazios formados por bolhas de ar, bem como a ausência de fibras em posição transversal ao esforço. Os compósitos analisados apresentaram fatores que contribuíram para a melhoria e redução do desempenho dos mesmos.

5. CONCLUSÃO

Analisando os dados citados no trabalho notou-se que os compósitos que tiveram aspectos satisfatórios, com poucos vazios em suas superfícies e boa rigidez e aparência. Os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração dos compósitos mostraram que houve a influência do comprimento da fibra na propriedade mecânica de tração. Evidenciou-se também que o desempenho de resistência à tração nos compósitos com fibra de malva de 15 mm no valor de 25,09 MPa e híbrido com fibras no comprimento de 15 mm e proporção de 75/25 no valor de 26,06 MPa, foram mais satisfatórios que nos compósitos reforçados apenas com resíduos de madeira de jatobá.

Complementarmente, os compósitos analisados apresentaram fatores ou mecanismos de falhas que contribuíram para melhoria ou redução do desempenho mecânico dos compósitos. Nos compósitos de maiores resistência houve a predominância de rompimento das fibras. Já nos compósitos de menores resistências houve a predominância de crateras e vazios.

O desenvolvimento da pesquisa, apesar de não encontrar um efeito expressivo que justifique a aplicação individual do resíduo de madeira, mostra-se como uma alternativa potencial para reaproveitamento desse resíduo. A sua aplicação, juntamente com as fibras naturais, apresentou desempenho equivalente ao apresentado unicamente pelas fibras, proporcionando um material com propriedades boas e que, em aspecto ambiental e econômico, torna-se promissor.

REFERÊNCIAS

CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** (Trad.) Sérgio Murilo Stamile Soares. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

COSTA, D. S.; PERES, M. N. P. B.; BARREIRA, R. M.; R. L. B.; SILVA, V. L. D.; SÁ, F. A.; SOUZA, J. A. S. **Compósitos reforçados com fibras de sisal e malva: análise da tensão x comprimento de fibras.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-

Graduação em Engenharia de Recursos Naturais, Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia. 2012. Disponível em:

<www.metallum.com.br/20cbecimat/resumos/trabalhos_completos/206-118.doc>

HILILIG, É.; SCHNEIDER, V. E.; PAVON, E. T. **Polo moveleiro da serra gaúcha: geração de resíduos e perspectivas para sistemas de gerenciamento ambiental**. Caxias do Sul: Educus, 2004.

LUZ, C. O. **Compósitos de fibras de malva: análise da resistência mecânica e microestrutural**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em engenharia mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Instituto de tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

MARTINS, S.F.N. **Material compósito de matriz frágil reforçado com fibras naturais de sisal e malva: caracterização e correlações das propriedades e mecânicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/5111>>

RODRIGUES, Jean da Silva. **Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia: Materiais e Processos de Fabricação) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

SHIGLEY, J. E., MISCHKE, C. R., BUDYNAS, R. G. **Projeto engenharia mecânica**, 7 ed, Porto Alegre : Bookman, 2005.

YAMAJI, F. M.; BONDUELLE, A. **Utilização da serragem na produção de compósitos plástico-madeira**. Revista Floresta, Curitiba, n. 34, p. 59-66, abr. 2004.