

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE COMPÓSITOS COM RESÍDUOS INDUSTRIAIS (LAMA VERMELHA) E FIBRAS VEGETAIS CURTAS (SISAL E MALVA)

Deibson Silva da Costa, deibsonsc@yahoo.com.br¹

Mário Henrique Moraes, demoraesmario@gmail.com¹

Diogo Pontes Queiroz, diogo.femat@gmail.com¹

Alessandro José Gomes Santos, eng.mec.alegomes@gmail.com²

Wassim Raja El Banna, wassim_eng04@yahoo.com.br³

Denilson da Silva Costa, denilson@unifesspa.edu.br⁴

Bruno Henrique Alves Mendes, bruno_mendes15@hotmail.com⁵

José Antônio da Silva Souza, jass@ufpa.br⁵

¹Universidade Federal do Pará - Campus de Ananindeua - FEMat, UFPA, PA, Brasil

²Universidade Federal do Pará - Campus de Ananindeua - C&T, UFPA, PA, Brasil

³Universidade Federal do Pará - Campus de Tucuruí - FEM, UFPA, PA, Brasil

⁴Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - Campus de Marabá - FEMMA, UNIFESSPA, PA, Brasil

⁵Universidade Federal do Pará - Campus de Belém - FEQ, UFPA, PA, Brasil

Resumo: Este trabalho se propõe a processar e caracterizar materiais compósitos de matriz polimérica com resíduos industriais de lama vermelha e fibras vegetais de sisal e malva. Os resíduos e as fibras foram obtidas da região local do estado do Pará. As proporções de resíduos de lama vermelha variaram entre 10 %, 20 % e 30 %. As proporções de fibras foram fixas em 5 % em massa. Os resíduos foram utilizados em 100 mesh e as fibras foram cortadas manualmente nos comprimentos de 15 mm. Ambos os constituintes foram homogeneizados com resina poliéster tereftálica insaturada com agente de cura na proporção de 0,33 % v/v. Os corpos de prova foram confeccionados de acordo com a norma ASTM 638 e submetidos aos ensaios de tração. As superfícies fraturadas foram verificadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados de tração dos compósitos de lama vermelha com fibras de sisal foram superiores aos compósitos de lama vermelha com fibras de malva. Os mecanismos de falhas predominantes nas superfícies fraturadas dos compósitos foram os de fibras rompidas na matriz no plano de propagação da trinca e pull out das fibras da matriz. Os resultados mecânicos de tração foram satisfatórios, verificando suas características e peculiaridades para possíveis aplicações em segmentos que não requerem grandes esforços mecânicos, como parede divisórias, forros e outros empregos dessa natureza.

Palavras-chave: Materiais, Caracterização, Morfologia.

1. INTRODUÇÃO

O Atualmente, as necessidades das modernas sociedades demandam por um crescente e constante desenvolvimento tecnológico. Entretanto, o processo de elaboração e domínio de novas tecnologias passa por várias etapas. Entre estas etapas, a final e geralmente limitante do processo é a elaboração de materiais com alto desempenho que atendam aos pré-requisitos exigidos para determinada aplicação. A medida em que as tecnologias se sofisticam, torna-se mais difícil que os materiais até então disponíveis satisfaçam plenamente às necessidades, seja por questões de propriedades mecânicas, características, formas de obtenção ou custo (Giacomini, 2003 e Chawla, 1998).

O desenvolvimento de modernas aeronaves comerciais, fabricação de equipamentos eletrônicos, transmissão de informações, produção de instrumentos cirúrgicos, elaboração de estruturas na construção civil, entre outras inúmeras aplicações, estão intimamente ligados ao desenvolvimento de materiais adequados para estes fins. Esta enorme e diversa demanda por materiais que atendam a todas as especificações exigidas pelas modernas aplicações tecnológicas, tem motivado o desenvolvimento da área de materiais conjugados ou compósitos, tendo em vista a grande dificuldade de se encontrar um único tipo de material que possa satisfazer a todas exigências (Chawla, 1998 e Herakovich, 1998).

Na busca por novos materiais, em muitos casos se busca também utilizar recursos provenientes de fontes renováveis, seja para reduzir o impacto ambiental ou os custos de produção. A possibilidade de reciclagem e de biodegradação, são fatores importantes no planejamento, desenvolvimento e aplicação de novos materiais. O avanço na legislação ligado ao aspecto ambiental tem provocado uma mudança na indústria, no sentido de desenvolver processos e produtos compatíveis com o meio ambiente (Hoareau, 2005; Gandini e Belgacem, 2002).

Neste contexto, as fibras vegetais, também chamadas de fibras naturais ou lignocelulósicas, estão se tornando alternativas importantes para utilização como material de reforço de matrizes poliméricas, em substituição às tradicionais fibras sintéticas, o que pode representar uma considerável expansão de mercado para países agroindustriais, como o Brasil.

Dentre as diversas fibras naturais existentes, as de sisal correspondem a uma das mais utilizadas, devido principalmente às suas excelentes propriedades mecânicas. A fibra beneficiada é destinada principalmente à indústria de cordoaria (para confecção de cordas, cordéis, tapetes, capachos e outros); também é excelente matéria-prima para a obtenção de celulose e produção de papéis finos (Agopyan, *et al.* 2005).

Dentre as diversas fibras produzidas no Brasil, a malva é um exemplo de fibra vegetal que pode perfeitamente se enquadrar na utilização industrial. A planta malva pertence a família das malvaceae (*Urena lobata* Linn) e requer para seu rápido crescimento um clima quente e úmido com períodos alternados de sol e chuva como ocorre nas regiões dos Estados do Amazonas do Pará. A malva possui grande importância econômica nestas regiões e aponta, através de resultados preliminares, excelentes propriedades a serem exploradas, mas ainda apresenta poucos estudos realizados até então sobre as suas propriedades e características estruturais (Margem, *et al.* 2012).

A lama vermelha, resíduo da indústria de alumina, apresenta potencial para uso como carga em compósitos poliméricos que poderá contribuir economicamente na redução dos custos de produção, bem como nas questões relacionadas com o ambiente, contribuindo como uma das opções para o destino do resíduo que é acumulado em grandes quantidades nos depósitos das refinarias de Alumina em geral, a exemplo do que ocorre na empresa Hydro Alunorte em Barcarena - PA. Enormes esforços têm sido direcionados a nível mundial para as questões de gestão da lama vermelha (Balomenos, 2011).

Compósitos poliméricos desenvolvidos com lama vermelha e fibras vegetais como juta e sisal, apresentaram bons resultados referente a melhoria das propriedades estruturais, com destaques a resistência mecânica, resistência as intempéries e a retardância de chama. Os compósitos elaborados com poliéster ortoftálico, carregado com lama vermelha e reforçado com fibras de sisal e juta, superam matérias como a madeira, resistentes aos fungos, ao calor, a roedores e a corrosão. Os autores constataram que a aplicação conjunta destes materiais contribui também, com a relação custo/benefício, encorajando o uso como teto, cobertura e painéis (Saxena, *et al.* 2008).

Com isso, este trabalho se propõe a processar e caracterizar materiais compósitos poliméricos de resíduos industriais de lama vermelha com fibras vegetais de sisal e malva. Analisando as propriedades de resistência a tração e morfologia das superfícies fraturadas.

2. Procedimento Experimental

Foram utilizados no processamento dos compósitos de fibras de sisal e malva. A resina polimérica de poliéster e catalisador na proporção de 0,33 % v/v. Os resíduos de lama vermelha foram provenientes de empresas da região local do Pará, os resíduos foram submetidos a processos de secagem e cominuição, sendo utilizados com granulometria inferior a 100 mesh. As fibras de sisal e malva foram obtidas da região local do estado do Pará. Sem qualquer tratamento químico ou superficial. A Figura 1 mostra as fibras de sisal e malva cortadas no comprimento de 15 mm.



Figura 1. (a) Fibras de sisal e (b) Fibras de malva.

Foi utilizado um processo simples para fabricação manual dos compósitos, com uso de moldes de silicone. Os compósitos foram produzidos manualmente, misturando-se as fibras de forma randômica com a resina por 5 (cinco) minutos, em seguida a mistura de resina/resíduos/fibras de sisal e resina/resíduos/fibras de malva foram transferidas para os moldes de silicone sem compressão. E o processo de cura ocorreu em um período de 7 (sete) dias. Após esse período, os compósitos foram desmoldados e devidamente preparados, por procedimentos metalográficos, para as caracterizações mecânicas e microestruturais dos compósitos.

Todos os procedimentos de fabricação foram baseados em normas e recomendações da literatura e os ensaios mecânicos foram realizados de acordo com a norma ASTM D 638M, conforme Fig. 2.

As frações mássicas de fibras nos compósitos foram determinadas para o comprimento de fibra de 15 mm. Sendo realizado pela capacidade volumétrica dos moldes vazios acomodarem somente as fibras dentro dos moldes sem compactação ou pressão, sendo determinadas a massa por 10 (dez) vezes, calculando-se a média das massas e transformando-se as frações mássicas encontradas em porcentagem para o comprimento de fibra de 15 mm. Com isso, fixou-se a fração mássica de 5 % em massa de fibras dentro dos compósitos.

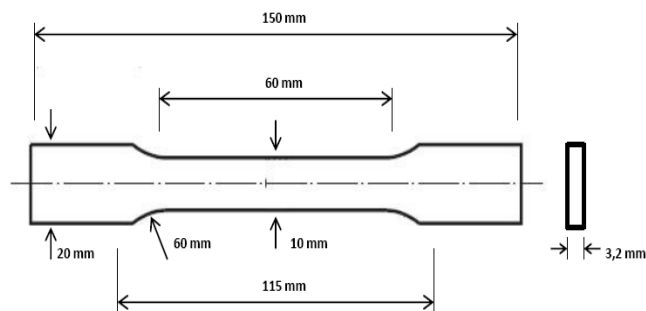


Figura 2. Desenho esquemático com as dimensões dos corpos de prova recomendado pela norma.

Os ensaios de tração foram realizados em máquina universal "KRATOS", célula de carga de 5 kN, velocidade de ensaio de 5 mm/min. A Figura 3 mostra os compósitos devidamente preparados para serem submetidos à máquina de ensaio de tração. A microestrutura dos compósitos foi verificada por microscopia eletrônica de varredura (MEV).



Figura 3. Compósitos preparados para os ensaios de tração.

3. Resultados e Discussões

Os resultados mecânicos de tração dos compósitos com carga de lama vermelha com fibras de sisal e malva estão mostrados na Tab. 1.

Tabela 1. Resultados dos compósitos de lama vermelha com fibras de sisal e malva.

Reforço	Fração Mássica Reforço (FM) %	Resist. Tração (σ) (MPa) Média (Desvio Padrão)
Sisal	5	27,81 ($\pm 1,4$)
Lama Vermelha	10	
Sisal	5	22,91 ($\pm 1,3$)
Lama Vermelha	20	
Sisal	5	18,08 ($\pm 1,6$)
Lama Vermelha	30	
Malva	5	13,30 ($\pm 1,2$)
Lama Vermelha	10	
Malva	5	16,34 ($\pm 1,9$)
Lama Vermelha	20	
Malva	5	15,51 ($\pm 1,2$)
Lama Vermelha	30	

Em relação aos compósitos com lama vermelha com fibras pelos resultados da Tab. 1 mostra que os compósitos de lama vermelha com fibras de sisal obtiveram um aumento da resistência à tração em relação aos compósitos de lama vermelha com malva, sendo esse aumento mais evidente nas proporções de 10 % e 20 % de lama vermelha com fibras de sisal. Observa-se que os compósitos com maior resistência a tração (Lama vermelha 10 % / Sisal 5 %) e os compósitos com menores resistência a tração (Lama vermelha 10 % / Malva 5 %) houve uma diferença de cerca de 48 %.

Vários fatores podem ser citados em relação para a diferença entre esses resultados de resistência a tração dos compósitos estudados, como por exemplo, a resistência a tração das fibras de sisal (453,60 MPa) é superior a resistência a tração das fibras de malva (396,55 MPa). Outro fator importante é a homogeneização, impregnação e disposição ou acomodação do sistema da mistura resina/lama vermelha/ fibras, já que para os compósitos com 10 % de lama vermelha obteve-se a mistura resina/lama vermelha/fibras bastante homogênea com boa acomodação e distribuição ao longo dos compósitos, ocorrendo melhor acomodação e alinhamento das fibras, aumentando a área de contato da interface fibra/matriz, propiciando melhores resistências.

O que não ocorre com os compósitos com lama vermelha de 20 % e 30 %, onde há uma tendência da mistura ser bastante viscosa, não havendo uma boa impregnação e molhabilidade entre o sistema resina/lama vermelha/ fibras.

Um outro fator tão quanto importante é ao método de fabricação e ao formato dos corpos de prova. Pois, como a fabricação é manual e os corpos de prova apresentam as medidas requeridas pela norma ASTM 638, onde a área útil do corpo de prova possui largura de 10 mm e os comprimentos das fibras foram de 15 mm, onde as mesmas podem se emaranharem ou enrolarem dentro dos compósitos, principalmente no comprimento útil, sendo que os compósitos curam com as fibras nas mais variadas direções dentro dos moldes, não há dessa maneira o efeito do alinhamento,

quando esse material é submetido ao lixamento tem-se como consequência a ruptura, fragilização ou degradação das fibras pela ação da lixa, depreciando sua resistência a tração.

A Figura 4 mostra a caracterização microestrutural dos compósitos de lama vermelha com fibras de sisal e malva.

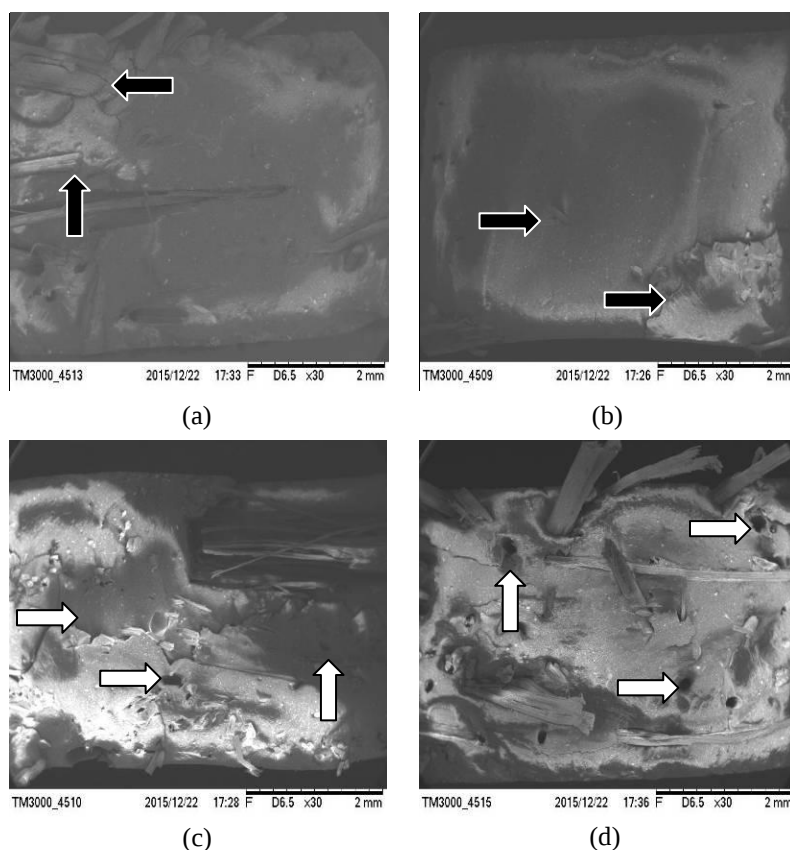


Figura 4. Superfícies fraturadas dos compósitos: (a) e (b) Fraturas dos compósitos de sisal com lama vermelha; (c) e (d) Fraturas dos compósitos de malva com lama vermelha.

Pela Figura 4 - (a) e (b) observam-se um melhor acabamento e aglomeração das fibras com a lama vermelha, tem-se a presença de fibras rompidas (setas pretas), melhor acomodação, disposição ou aglomeração das fibras dentro da matriz e o do resíduo, o que pode ter contribuído pelo melhoramento da resistência a tração dos compósitos. Pela Figura 4 - (c) e (d) observam-se uma superfície irregular apresentando bolhas, vazios, pull out (setas brancas) e defeitos, há uma desorganização evidente das fibras dentro da matriz, algumas fibras também saíram da matriz, o que pode ter depreciado as resistências a tração dos compósitos.

4. CONCLUSÃO

O método de fabricação simples e de baixo custo dos compósitos, se mostrou eficiente, pois, produziu compósitos com bom acabamento e boa aparência. As caracterizações mecânicas dos compósitos se mostraram eficientes, já que apresentaram resultados satisfatórios de resistência a tração para compósitos de fibras vegetais, principalmente os compósitos que continham fibras de sisal. As proporções de lama vermelha inseridas nos compósitos influencia no aumento ou diminuição de suas resistências a tração. Os compósitos de sisal com lama vermelha apresentaram aumento da resistências a tração em relação aos demais compósitos fabricados, obtendo-se melhores resultados para os compósitos de fibras de sisal com 10 % de lama vermelha.

Nas caracterizações microestruturais dos compósitos foram identificados os mecanismos de falhas predominantes e suas correlações com a resistência mecânica dos compósitos.

Na análise de fraturas dos compósitos submetidos ao ensaio de tração, houve a predominância dos mecanismo de falhas de fibras rompidas para os compósitos de maiores resistência e para os compósitos de menores resistência houve a predominância dos mecanismos de falhas de pull out, vazios, bolhas e outros defeitos.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LABMEV-UFPA), a Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará e a Usina de Materiais da Universidade Federal do Pará.

6. REFERÊNCIAS

- Giacomini, N. P. Compósitos reforçados com fibras naturais para a indústria automobilística. 168 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos/Instituto de Física de São Carlos/Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- Chawla, K. K. Composites Materials. New York: Springer, 1998. p. 1-129.
- Herakovich, C. T. Mechanics of Fibrous Composites. New York: John Wiley, 1998. p. 1-7.
- Hoareau, W. Valorisation de la bagasse de canne a sucre. Chimie, photochimie et elaboration de panneaux et composites. 2005. 208 f. Tese (Doutorado em Química) – L’Université de la Reunion, Ecole Doctorale Interdisciplinaire, Bordeaux-França, 2005.
- Gandini, A; Belgacem, N. M. La chimie des substances renouvelables. L’Actualité Chimique, v. 6, p. 6-14, 2002. Número especial.
- Agopyan, V.; Savastano Junior, H.; John, V. M.; Cincotto, M. A. Developments on vegetable fibre-cement based materials in São Paulo, Brazil: an overview. Cement Concr. Composites, v. 27, p. 527-536, 2005.
- Margem, J. I.; Margem, F. M.; Simonassi, N. T.; Loyola, R. L.; Monteiro, S. N. Infra-red spectruscopy analysis of malva fibers. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências de Materiais. CBECIMAT 2012. Joinville. SC. 2012.
- Balomenos, E. et al. Efficient and complete exploitation of the bauxite residue (red mud) produced in the Bayer process. In: Proceedings of EMC. 2011. p. 729-749.
- Saxena, M.; Asokan, P.; Ruhi, B. and Verma, A. Incorporation of industrial wastes along with natural fiber for the development of innovative building materials. In: Dr. B. Mishra, Dr. C. Ludwig, and Dr. S. Das (Eds.). Proceeding of the Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology, TMS, Cancun, Mexico, pp 451-462, 2008.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no trabalho.

RESISTANCE TO THE TRACTION OF COMPOSITES WITH INDUSTRIAL RESIDUES (RED LAMA) AND SHORT VEGETABLE FIBERS (SISAL AND MALVA)

Deibson Silva da Costa, deibsonsc@yahoo.com.br¹

Mário Henrique Moraes, demoraesmario@gmail.com¹

Diogo Pontes Queiroz, diogo.femat@gmail.com¹

Alessandro José Gomes Santos, eng.mec.alegomes@gmail.com²

Wassim Raja El Banna, wassim_eng04@yahoo.com.br³

Denilson da Silva Costa, denilson@unifesspa.edu.br⁴

Bruno Henrique Alves Mendes, bruno_mendes15@hotmail.com⁵

José Antônio da Silva Souza, jass@ufpa.br⁵

¹Federal University of Pará - Ananindeua Campus - FEMat, UFPA, PA, Brasil

²Federal University of Pará - Ananindeua Campus - C&T, UFPA, PA, Brasil

³Federal University of Pará - Tucuruí Campus - FEM, UFPA, PA, Brasil

⁴Federal University of Southern and Southeastern Pará - Marabá Campus - FEMMA, UNIFESSPA, PA, Brasil

⁵Federal University of Pará - Belém Campus - FEQ, UFPA, PA, Brasil

Abstract. *This paper proposes to process and characterize polymer composites with red mud and sisal and mauve vegetable fiber industries. The proportions of red mud residues varied between 10 %, 20 % and 30 %. The fiber proportions were set at 5% by mass. The residues were used in 100 mesh and the fibers were cut manually up to 15 mm in length. Both constituents were homogenized with unsaturated terephthalic polyester resin with curing agent in the ratio of 0.33 % v/ v. The specimens were prepared according to ASTM 638 and subjected to tensile tests. The fractured surfaces were verified by scanning electron microscopy (SEM). The tensile results of the red mud composites with sisal fibers were superior to the composites of red mud with mauve fibers. The predominant failure mechanisms on the fractured surfaces of the composites were those of the fibers ruptured in the matrix in the crack propagation plane and removed from the matrix fibers. The mechanical tensile results were satisfactory, verifying their characteristics and peculiarities for possible applications in sectors that do not require great mechanical efforts, such as partitions of walls, coatings and other works of this nature.*

Keywords: *Materials, Characterization, Morphology.*