



International Conference for
Academia and Industry Co-operation

20/11/2023 – 24/11/2023

São Luís - Maranhão - Brasil



International Meeting in Materials
Science and Engineering of Maranhão

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À CHAMA E FLEXÃO EM COMPÓSITOS HÍBRIDOS DE MATRIZ POLIMÉRICA COM RESÍDUO DE LAMA VERMELHA E FIBRA DE BAMBU

ANALYSIS OF FLAME RESISTANCE AND FLEXTURE IN HYBRID POLYMER MATRIX COMPOSITES WITH RED MUD RESIDUUE AND BAMBOO FIBER

**Jennifer F. Fernandes¹, Haianny B. S. Lima², Ana P. S. Souza², Bruno H. A. Mendes²,
Emerson C. Rodrigues³, Diego C. Estumano³ e Deibson S. da Costa¹**

1 – Faculdade de Engenharia de Materiais -Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua, PA, Brasil.

2 – Programa de Pós Graduação em Engenharia Química – PPGEQ, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, PA, Brasil.

3 – Faculdade de Engenharia Química - Universidade Federal de Pará (UFPA), Belém, PA, Brasil.

jennifer.fernandes@ananindeua.ufpa.br

RESUMO

Com a expansão da indústria de mineração, gera-se uma preocupação em relação aos efeitos ambientais. Durante a extração da bauxita nas mineradoras, surge um subproduto do refino chamado lama vermelha, cujo descarte inadequado pode causar sérios danos ao meio ambiente. Para o reaproveitamento desse subproduto uma possível alternativa é a fabricação de materiais compósitos onde pode-se utilizar mais de um reforço para modificar as suas propriedades, bem como contribuir para a sustentabilidade e, nesse caso, a fibra natural apresenta as duas características. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar as propriedades do compósito híbrido com lama vermelha e fibra de bambu, por meio de ensaios de flamabilidade e resistência à flexão. Para a fabricação dos compósitos utilizou-se a lama vermelha, fibra de bambu, resina poliéster isoftálica insaturada, acelerador de cobalto e iniciador de cura butanox M-50. Para o ensaio de flamabilidade, adotou-se as normas IEC 60695-11 e ASTM D 635, e para o ensaio de resistência à flexão utilizou-se a norma ASTM D 790. Nos ensaios de flamabilidade, observou-se excelentes resultados para os compósitos híbridos que não propagaram a chama, classificando-se como sem ignição (SI). Nos ensaios de resistência à flexão, os compósitos obtiveram resultados satisfatórios sendo superiores ao da matriz plena. Desse modo, os compósitos fabricados são promissores em algumas aplicações, tais como: painéis; divisórias de paredes e outros materiais que não exijam elevado esforço mecânico, dessa forma reduzindo seu descarte e evitando a degradação do meio ambiente.

Palavras-chave: Lama vermelha, Fibra de bambu, Híbrido, Compósito.

ABSTRACT

With the expansion of the mining industry, there is concern regarding environmental effects. During the extraction of bauxite in mining companies, a refining by-product called red mud appears, whose inadequate disposal can cause serious damage to the environment. To reuse this by-product, a possible alternative is the manufacture of composite materials where more than one reinforcement can be used to modify their properties, as well as contribute to sustainability and, in this case, natural fiber presents both characteristics. Therefore, the objective of the work is to evaluate the properties of the hybrid composite with red mud and bamboo fiber, through flammability and flexural strength tests. To manufacture the composites, red mud, bamboo fiber, unsaturated isophthalic polyester resin, cobalt accelerator and butanox M-50 curing initiator were used. For the flammability test, the IEC 60695-11 and ASTM D 635 standards were adopted, and for the flexural strength test, the ASTM D 790 standard was used. In the flammability tests, excellent results were observed for the composites. hybrids that did not propagate the flame, classifying themselves as non-ignition (SI). In flexural strength tests, the composites obtained satisfactory results, superior to those of the full matrix. Therefore, the manufactured composites are promising in some applications, such as: panels; wall partitions and other materials that do not require high mechanical effort, thus reducing their disposal and avoiding environmental degradation.

Keywords: Red mud, Bamboo fiber, Hybrid, Composite.

INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da indústria de mineração em escala mundial, surge uma preocupação em relação aos efeitos ambientais resultantes desse desenvolvimento. Nesse contexto, observa-se um aumento significativo da extração de bauxita, que alcançou aproximadamente 2,9 milhões de toneladas em 2022, representando um aumento de 4% em comparação com os números de 2021[1]. A lama vermelha, subproduto do refino da bauxita, gera desafios frequentemente por conta do seu descarte inadequado, resultando em danos significativos ao meio ambiente. Essa substância interage de maneira prejudicial tanto no ar quanto na água, afetando animais e os seres humanos, além dos riscos de desmoronamentos associados a essa prática de extração [2]. Muitos estudos são realizados com o objetivo de promover o reaproveitamento da lama vermelha, sendo a produção de materiais compósitos com este resíduo uma alternativa viável e promissora.

A fabricação de compósito é uma proposta para obter novas combinações com diferentes propriedades, normalmente constituída por mais de um material, podendo ser metal, polímero ou cerâmico [3]. Diante deste cenário, é possível usar mais de um reforço para um compósito, e as fibras naturais tem capacidade tanto para modificar as propriedades de um compósito como contribuir para a sustentabilidade. A incorporação da fibra evidencia um aprimoramento significativo nas propriedades mecânicas do material, além das fibras apresentarem capacidade de suportar a maior parte das tensões, essa característica é crucial para reduzir a concentração de tensão nas extremidades da fissura e para diminuir a taxa de expansão da mesma [4].

Mediante ao problema ambiental do descarte inadequado de resíduos industriais, o objetivo do trabalho é avaliar as propriedades de materiais compósitos híbridos com fibra de bambu e lama vermelha, por meio de ensaios de flamabilidade e resistência à flexão.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a fabricação dos compósitos, utilizou-se uma matriz composta por um polímero termofixo (resina poliéster isoftálica insaturada), acelerador de cobalto (CAT MET) na proporção 1,5% (v/v) e o iniciador de cura o butanox M-50 (MEK-P) utilizado na proporção 1% (v/v). A fibra de bambu foi cedida pela Universidade Federal do Pará (UFPA) e a lama vermelha foi disponibilizada pela indústria local Hydro Alunorte.

As fibras de bambu foram separadas manualmente e cortadas em 30 mm. A lama vermelha foi submetida ao processo de secagem em estufa a uma temperatura de 100 °C por 24 horas, posteriormente foi desagregada em um moinho de bolas por aproximadamente 30 minutos. Após isso, procedeu-se com a classificação granulométrica utilizando uma peneira de 100 Mesh, seguida por uma classificação a úmido utilizando a peneira de 325 Mesh da série Tyler, posteriormente o material passante foi novamente seco e submetido a um processo de desagregação.

O resíduo de lama vermelha e a fibra de bambu foram medidos e colocados na estufa para retirada de umidade superficial, em seguida, a resina foi misturada com o cobalto, o resíduo e iniciador. Para o vazamento da mistura no molde, foi adicionada uma primeira camada da mistura, posteriormente, colocou-se as fibras de bambu alinhadas e finalizou-se a fabricação com a segunda camada da mistura. Após os corpos de prova atingirem o ponto de gel, aplicou-se uma carga de 30 N sobre eles durante 1 hora com o objetivo de aprimorar a molhabilidade e compactação dos compósitos. Posteriormente, os compósitos foram colocados em um lugar plano durante 24 h para a polimerização completa, em seguida, realizou-se os acabamentos superficiais como mostra os corpos de prova finalizados na Figura 1.



Fig. 1 – Corpos de prova híbridos (40% Lama vermelha e 5% de fibra de bambu).

Adotou-se as normas IEC 60695-11 e ASTM D 635 para o ensaio de flamabilidade, efetuado na posição horizontal. Foi necessário um Bico de Bunsen inclinado a 45° para inserir chama no corpo de prova durante 30 segundos, durante o ensaio registrou-se o tempo necessário para a combustão atingir a marca 75 mm.

Para o ensaio de resistência a flexão, utilizou-se a norma ASTM D 790 que determina as propriedades de flexão, a norma utiliza um sistema de carregamento de 3 pontos aplicados a uma viga suportada. As propriedades determinadas por esse método de teste são essenciais para o controle de qualidade dos corpos de provas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio de flamabilidade

A Tabela 1 apresenta os resultados do ensaio de flamabilidade horizontal da matriz plena e do compósito híbrido.

Tabela 1: Dados obtidos a partir do ensaio de flamabilidade deste trabalho.

Composição	Taxa de queima
Matriz Plena	27,3 ($\pm 0,54$)
Híbrido (40%LV+5%FB)	SI

A matriz plena propagou a chama rapidamente quando comparado ao compósito híbrido (40%LV+5%FB) que apagou a chama antes de atingir a linha de 75 mm exigido pela norma, sendo assim, os compósitos foram classificados como sem ignição (SI).

A norma ASTM D 635, exige que a taxa de queima deve ser inferior a 40 mm/min, sendo assim, a matriz plena e o compósito híbrido fabricados no presente trabalho, obtiveram um bom desempenho, ambos ficaram dentro das recomendações exigidas.

As especificações do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), conforme estabelecido na resolução N° 498 de 29 de julho de 2014, determinam que os materiais utilizados nos revestimentos internos dos habitats de veículos não podem apresentar uma velocidade de propagação de chama superior a 100 mm/min, desse modo, a matriz plena apresentou um resultado inferior ao exigido e o compósito híbrido foi considerado sem ignição (SI), o que evidencia o excelente desempenho dos compósitos em conformidade com a norma.

Ademais, a incorporação de particulados inorgânicos nos compósitos, podem agir como retardantes evitando ou dificultado a propagação da chama, o que esclarece a progressiva redução na taxa de queima em função da quantidade de particulado [9].

A Tabela 2, apresenta um comparativo entre os compósitos fabricados neste trabalho e os compósitos encontrados em literatura, analisando a velocidade de queima (mm/min) dos compósitos com 30% caulim (CA) + 5% fibra de juta, 30% lama vermelha (LV) + 5% sisal, 20% lama vermelha (LV) + 5% fibra metálica (FM), 10% cobre + 1% fibra de bananeira (FBN) e 20% rejeito de mármore e granito (RMG) + 3% sisal.

Tabela 2 – Comparação do trabalho com outras literaturas para o ensaio de flamabilidade.

Composição	Taxa de queima (mm/min)	Fonte
40% LV + 5% FB	SI	Esse trabalho
30% CA + 5% Juta	11,29	[10]
30% LV + 5% Sisal	14,31	[11]
20% LV + 5% FM	14,99	[12]
10% Cobre + 1% FBN	14,66	[13]
20% RMG + 3% Sisal	23,28	[14]

Quando comparado com as literaturas mencionadas, o compósito híbrido (40% LV + 5% FB) teve um resultado satisfatório sendo classificado sem ignição (SI) e obteve o melhor resultado quando comparado à matriz plena no ensaio de flamabilidade.

Ao adicionar resíduos de caulim e lama vermelha, observa-se uma melhoria no retardo da chama, possivelmente devido à atuação desses elementos como aditivos com alto grau de retardo [10]. Além disso, a lama vermelha apresenta em sua composição química uma variedade de óxidos (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , CaO , Na_2O , MnO , MgO), sendo que metade da composição contém óxidos de alumínio e óxidos de ferro que de acordo com a literatura, retardam a propagação das chamas [15].

Ensaio de flexão

A Tabela 3 apresenta a matriz plena e os compósitos reforçados com lama vermelha e fibra de bambu, que foram avaliados quanto a sua resistência à flexão, onde foi obtido o resultado da resistência em MPa.

Tabela 3 – Dados obtidos a partir do ensaio e flexão.

Composição	Resistência à flexão (MPa)
Matriz Plena	25,81 ($\pm 5,15$)
Híbrido (40%LV + 5%FB)	38,20 ($\pm 5,50$)

Ao incorporar a fibra de bambu e a lama vermelha no compósito, o desempenho superou a matriz plena, que atingiu 25,81 MPa no teste de resistência à flexão. O compósito híbrido, por sua vez, apresentou uma melhoria de 48% na resistência em relação a matriz.

A norma ASTM D 790, possibilita quantificar a resistência à flexão do material quando uma força é aplicada perpendicularmente ao seu eixo longitudinal, o resultado do compósito híbrido foi maior que a matriz plena, dessa forma, notou-se que a fibra de bambu e a lama vermelha que mostra-se um ótimo reforço para a o ensaio de flexão do material.

Dentre as inúmeras utilidades dos materiais compósitos híbridos, sobressaem-se aquelas empregadas na produção de componentes estruturais leves destinados a veículos terrestres, aquáticos e aéreos, bem como na fabricação de artigos esportivos e dispositivos ortopédicos [3]. A Tabela 4, apresenta uma comparação do presente trabalho, em relação a outras literaturas.

Tabela 4 – Compósito híbrido comparado com outros trabalhos de ensaio à flexão.

Composição	Resistência à flexão (MPa)	Fonte
40% LV + 5% FB	38,20	Esse trabalho
Areia + Diatomita	20,88	[16]
Poliéster + Coco	35,9	[17]
Poliéster + Coco + Sisal	32,2	[17]
Fibra de Juta + Fibra de vidro	22,9	[18]
75% Carauá + 25% Abacaxi	34,63	[19]

A Tabela 4 apontou que o compósito híbrido (40% LV + 5% FB) apresentou um desempenho superior, alcançando 38,20 MPa da resistência à flexão. Este aumento na resistência pode ser atribuído a dispersão do resíduo na matriz, assim como a excelente distribuição das fibras à mistura.

Dessa forma, a incorporação de fibras naturais contribuiu para o aumento da resistência de um compósito, isso está relacionado a interação de adesão na interface entre a fibra e a matriz, bem como a disposição das fibras [10]. Assim, quando a carga de flexão é aplicada perpendicularmente à direção das fibras, estas tendem a agir como obstáculos à ruptura do compósito.

CONCLUSÕES

Os resíduos de lama vermelha (LV) e as fibras de bambu (FB) utilizadas em compósitos de matriz poliéster, surpreendeu de forma positiva no retardo da chama e nas propriedades mecânicas do material.

Por meio do ensaio de flamabilidade horizontal, os compósitos foram fabricados conforme os critérios estabelecidos na norma ASTM D 635, evidenciando propriedades de retardo à chama. Mediante a isso, os compósitos híbridos atingiram a capacidade de extinguir a chama, sendo classificados como sem ignição (SI).

O ensaio de resistência à flexão, realizado de acordo com a norma ASTM D 790, revelou que o compósito híbrido se destacou em comparação a matriz plena e as referências encontradas em outras literaturas, alcançando uma resistência de 38,20 MPa.

A inserção do resíduo de lama vermelha no compósito apresentou eficiência quanto ao retardo da chama, e a inserção das fibras de bambu foi fundamental para o aumento da resistência mecânica. Os compósitos fabricados são bons candidatos em aplicações como: painéis; divisórias de paredes e materiais que não exijam grande esforço mecânico, dessa maneira, diminui-se a necessidade de descarte evitando a contaminação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- [1] MINERAL COMMODITY SUMMARIES 2023 (U.S. Department of the Interior U.S./ Geological Survey).
- [2] SILVA, F. E. B., et al. Lama Vermelha da Indústria de Beneficiamento de Alumina: Produção, Características, Disposição e Aplicações Alternativas. Revista Matéria, Vol. 12, 2007, pp. 322 – 338.
- [3] CALLISTER Jr., W. D; RETHWISCH, D. G. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 9ª Ed., Rio de Janeiro: LTC, 2020.
- [4] AUERSVALDT, B. L.; LAY, L.A.; MIRANDA, T. Incorporação de Fibras Vegetais de Bambu ao Concreto em Substituição à Fibras Sintéticas. In: IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 2019, Ponta Grossa. 2019.
- [5] IEC 60695-11-10 ed 2.0. Fire hazard testing. Part 11-10: Test flames – 50 W horizontal and vertical flame test methods.
- [6] ASTM D 635 – Standard Test Method for Rate of Burnin or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position, 2018.
- [7] CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). Resolução nº. 498 - "Requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos automotores nacionais e importados." 29 de julho de 2014.
- [8] ASTM D 790 – "Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2017.

- [9] ULLAH, S.; AHMAD, F.; SHARIFF, A. M.; BUSTAM, M. A. Synergistic effects of kaolin clay on intumescent fire retardant coating composition for fire protection of structural steel substrate. *Polymer Degradation and Stability*, v. 110, p. 91-103, 2014.
- [10] COSTA, D. S. da. Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.
- [11] OLIVEIRA, L. S. de. et al. Compósitos produzidos com resíduo de lama vermelha e fibras naturais: análise de flamabilidade. *Brazilian Journal of Development*, p. 1-8, 2020.
- [12] QUEIROZ, D. P. de et al. uso de fibras metálicas e lama vermelha em compósitos poliméricos híbridos. Contribuição técnica ao 74º Congresso Anual da ABM – Internacional, parte integrante da ABM Week 2019, realizada de 01 a 03 de outubro de 2019, São Paulo, SP, Brasil.
- [13] EL BANNA, W. R. Influência do resíduo de flotação de minério de cobre nas propriedades físicas e mecânicas de compósitos de matriz termofixa e fibras de bananeira (*Musa sapientum*, *musacae*). Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) Universidade Federal do Pará – Belém, 2017.
- [14] REIS, I. M. Influência da granulometria do resíduo de mármore e granito em compósitos poliméricos com fibras vegetais de sisal. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Ciências e Tecnologia, com ênfase em Mecânica) Universidade Federal do Pará- Ananindeua-Pa, 2019.
- [15] ANTUNES, M. L. P.; CONCEIÇÃO, FT da; NAVARRO, G. R. B. Caracterização da lama vermelha brasileira (resíduo do refino da bauxita) e avaliação de suas propriedades para futuras aplicações. In: *International Workshop Advances in Cleaner Production*. 2011.
- [16] SANTOS, E. A. da. Avaliação mecânica e microestrutural de compósito de matriz de poliéster com adição de carga minerais e resíduos industriais, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
- [17] SOUZA, H. A. A., de. et al. Propriedades de flexão e tração de compósitos híbridos de matriz poliéster com mantas de fibras vegetais e tecido de fibras de vidro. 14º Congresso Brasileiro de Polímeros – Águas de Lindóia, SP – 22 a 26 de outubro de 2017.
- [18] ANDRADE, C. C. Compósitos híbridos de fibras naturais e fibra de vidro utilizados na fabricação de peças automotivas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química) Universidade Estadual Paulista- Araraquara, 2023.
- [19] NETO, J. A. M. Desempenho mecânico de compósito híbrido de fibras naturais e poliéster não saturado. Programa de pós-graduação em Engenharia mecânica (Mestre em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte- Natal, 2010.