

AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ENERGIA DO COMPÓSITO DE MATRIZ EPÓXI REFORÇADA COM FIBRA DE TUCUM POR MEIO DE IMPACTO IZOD E IMPACTO BALÍSTICO DE MUNIÇÃO .22*

Fernanda Santos da Luz¹

Fabio da Costa Garcia Filho²

Luana Cristyne da Cruz Demosthenes³

Michelle Souza Oliveira⁴

Ulisses Oliveira Costa⁵

Wendell Bruno Almeida Bezerra⁶

Artur Camposo Pereira⁷

Sergio Neves Monteiro⁸

Resumo

A substituição de fibras sintéticas por fibras naturais tem sido objeto de intensa pesquisa, sobretudo quando aplicadas em compósitos. Neste trabalho foram investigadas as fibras de tucum (*Bactris setosa*), típicas da Região Amazônica, como reforço da matriz polimérica epoxídica. Os compósitos preparados com diferentes frações volumétricas (20 e 40%) de fibra de tucum foram caracterizados quanto à resistência ao impacto Izod e a absorção de energia por impacto balístico da munição .22. Os resultados obtidos mostraram que o compósito com 40% de fibra de tucum apresentou um aumento de 86% na absorção média de energia de impacto Izod em relação ao compósito com 20%vol de tucum, no entanto, exibiu pior desempenho balístico.

Palavras-chave: Fibra de Tucum; Compósito Polimérico; Izod.

EVALUATION OF ENERGY ABSORPTION OF THE EPOXY MATRIX COMPOSITE REINFORCED WITH TUCUM FIBER THROUGH IZOD IMPACT TEST AND BALLISTIC IMPACT OF AMMUNITION .22

Abstract

The replacement of synthetic fibers to natural fibers has been the subject of intense research, particularly when applied in composites. In this work, the tucum fibers (*Bactris setosa*), typical of the Amazon Region, were investigated as reinforcement of the epoxy polymer matrix. The composites prepared with different volume fractions (20 and 40%) of tucum fiber were characterized for Izod impact and ballistic impact energy absorption by .22 ammunition. The results showed that the composite with 40% of tucum fiber presented an increase of 86% in the average absorption of Izod impact energy in relation to the composite with 20% vol of tucum, however, it exhibited worse ballistic performance.

Keywords: Tucum Fibers; Polymeric Composite; Izod.

¹ Engenheira de Materiais, Doutora em Ciência dos Materiais, Instituto Militar de Engenharia, RJ/RJ, Brasil.

² Engenheiro de Materiais, Mestre em Ciência dos Materiais, Doutorando em Ciência dos Materiais, Instituto Militar de Engenharia - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

³ Engenheira de Materiais, Mestre em Ciência dos Materiais, Doutoranda em Ciência dos Materiais, Instituto Militar de Engenharia - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁴ Engenheira de Materiais, Mestre em Ciência dos Materiais, Doutoranda em Ciência dos Materiais, Instituto Militar de Engenharia - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁵ Engenheiro de Materiais, Mestrando em Ciência dos Materiais, IME - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁶ Engenheiro de Materiais, Mestrando em Ciência dos Materiais, IME - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁷ Engenheiro de Materiais, Mestre em Ciência dos Materiais, Doutorando em Ciência dos Materiais, Instituto Militar de Engenharia - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁸ Engenheiro Metalurgista, Ph.D, Professor Titular, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil..

1 INTRODUÇÃO

A utilização de fibras naturais em substituição às sintéticas tem se tornado objeto de intensa pesquisa, sobretudo quando aplicadas em compósitos [1]. Isso pode ser observado por meio de métricas divulgadas pela *ISI Knowledge*, onde se tem o registro de apenas 3 artigos referentes a compósitos com fibras naturais na década de 90, enquanto que em 2017 esse número já ultrapassava a marca de 1000 [2].

As fibras naturais lignocelulósicas (FNLs), compostas principalmente por lignina e celulose, possuem características atrativas, tais como baixa densidade, baixo custo, além de serem biodegradáveis e abundantes na flora brasileira. Essas fibras têm atraindo atenção não apenas por suas vantagens sustentáveis, mas também devido ao desempenho tecnológico superior quando utilizadas como reforço em polímeros de engenharia. Adicionalmente, do ponto de vista do processamento, as FNLs provocam menor dano aos equipamentos em relação às fibras sintéticas, tais como fibras de vidro e carbono, por exemplo [3].

Entre as FNLs pode-se destacar a fibra de tucum, objeto de estudo do presente trabalho. O tucum é uma palmeira da espécie *Bactris setosa* (Figura 1a), pertencente à família *Arecaceae*. Essa palmeira é nativa da região Amazônica, podendo ser encontrada também em países como a Colômbia e Peru. No século XIII teve-se o primeiro registro oficial sobre a utilização da fibra de tucum, embora algumas tribos indígenas brasileiras já detivessem tal conhecimento [4]. O tucum é uma das poucas palmeiras do Amazonas a partir da qual se pode extrair o linho [4]. Essas fibras são extraídas por um processo manual de desfibramento das folhas da palmeira (Figura 1b), que pode ser resumido em quatro etapas: coleta da palha; retirada do linho; “penteada” do linho; fiação/tecelagem do linho [4].

A produção das fibras de tucum é realizada por várias tribos indígenas da Amazônia dentre elas, a tribo dos Tikuna. Essas tribos utilizam as fibras de tucum para produção de redes, cordas, vestes, linhas de pesca e tecidos para vários ornamentos [5].



Figura 1. (a) Palmeira *Bactris setosa* (tucum); (b) Folhas de tucum [duarte 2012].

Na presente pesquisa foi avaliada a capacidade de absorção de energia do compósito de matriz epóxi reforçada com diferentes frações volumétricas (20 e 40%) de fibra de tucum. Para essa avaliação, foram realizados os ensaios de impacto Izod e testes balísticos com munição .22. Os resultados obtidos foram comparados com dados de trabalhos anteriores referentes aos compósitos de matriz epóxi reforçada com diferentes fibras naturais [6-10].

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As fibras de tucum utilizadas no desenvolvimento deste projeto foram obtidas no comércio local da capital Amazonense. Essas fibras são secas e possuem um aspecto esbranquiçado. Na Figura 2 estão apresentadas as fibras de tucum como recebidas.



Figura 2. Fibras de tucum como recebidas.

A fibra de tucum possui aproximadamente 1 metro de comprimento com uma espessura não uniforme ao longo do seu comprimento. Para determinar a espessura média da fibra foram cortadas 100 amostras de 15 cm (Figura 3) e aferidas 3 medidas de cada amostra, resultando em uma espessura média de 473,5 μm . Para medir a densidade da fibra foi utilizado o método de Arquimedes, a partir do qual se obteve uma densidade média igual a 0,799 g/cm^3 .



Figura 3. Fibras de tucum cortadas.

Em posse desses dados, foram calculadas as porcentagens volumétricas da fibra de tucum, através da regra das misturas, para utilização como reforço da matriz epoxídica.

Para a preparação dos compósitos, as fibras de tucum foram cortadas (Fig 3) e deixadas em estufa à temperatura 60°C por um período de 24h. Na sequência, preparou-se a matriz epóxi misturando-se a resina epóxi diglicidil éter do bisfenol A (DGEBA) com 13% de endurecedor trietileno tetramina (TETA), ambos fornecidos pela empresa Epoxyfiber Indústria Química. Os compósitos foram preparados pelo processo de moldagem por compressão em um molde metálico de 15x12x1 cm, utilizando diferentes frações volumétricas, 20 e 40%, de fibra de tucum. As fibras foram dispostas de maneira alinhada no interior do molde (Figura 4) juntamente com a resina epóxi já misturada. Em seguida, aplicou-se uma carga de 5 ton (3 MPa) e deixou curar em temperatura ambiente durante 24 h. As placas de compósito (Figura 5) produzidas foram então seccionadas nas dimensões indicadas na norma ASTM D256 [11] para realização do ensaio de impacto Izod. O ensaio de impacto foi

conduzido em um pêndulo modelo IZ/CH-25 da marca PANTEC com um martelo de 22J (Figura 6).



Figura 4. Fibras de tucum acomodadas no molde metálico.

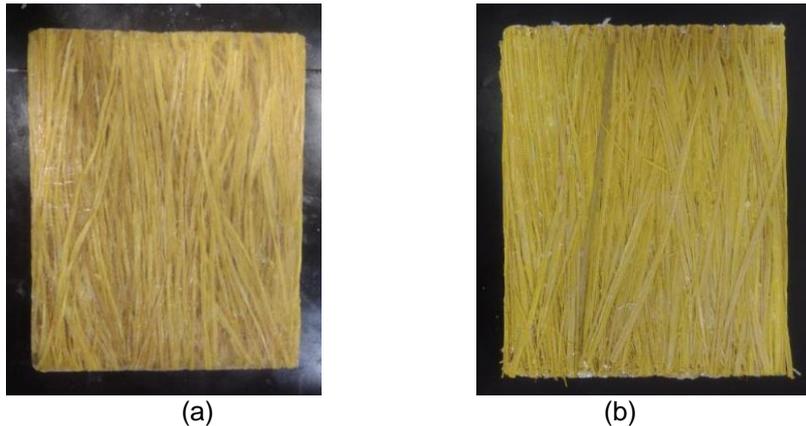


Figura 5. Placa dos compostos com fibra de tucum em diferentes frações volumétricas: (a) 20%; (b) 40%.



Figura 6. Pêndulo PANTEC IZ/CH-25 utilizado para o ensaio de impacto Izod.

Para o teste balístico utilizou-se a munição .22 e um provete de ar comprimido, com pressão média de 4000 psi, alinhado perpendicularmente ao alvo a 5m de distância. O aparato utilizado para esse teste está apresentado na Figura 7. Dois cronógrafos balísticos foram posicionados, um a 10 cm da extremidade do provete e outro a 5m, para a determinação da velocidade e da energia (Fig 7).



(a)



(b)

Figura 7. Aparato utilizado no teste balístico: (a) Provete; (b) cronógrafo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 8 estão apresentados os aspectos da fratura dos compósitos, com 20% e 40% em volume de fibra de tucum, rompidos após ensaio de impacto Izod. Os resultados de absorção de energia obtidos no ensaio de impacto estão apresentados na Tabela 1.



(a)



(b)

Figura 8. Compósitos rompidos por impacto Izod: (a) 20% vol fibra de tucum; (b) 40% vol fibra de tucum.

Tabela 1. Resultados do ensaio de impacto Izod para os compósitos com fibras de tucum.

| Amostras | Energia absorvida (J/m) | |
|----------------------|-------------------------|---------------|
| | 20% vol | 40% vol |
| 1 | 110,00 | 215,26 |
| 2 | 111,22 | 203,91 |
| 3 | 115,30 | 237,95 |
| 4 | 143,72 | 238,35 |
| 5 | 101,38 | 184,56 |
| Média | 116,33 | 216,01 |
| Desvio padrão | 16,13 | 23,00 |

Neste ensaio foi verificado que, para ambas as frações volumétricas de fibra de tucum, essa atuou como reforço na matriz de epóxi. Isto pode ser observado pelo mecanismo de pullout das fibras (Figura 8) que indica a atuação das fibras na fratura do compósito. Além disso, com base nos resultados da Tabela 1, verificou-se um aumento de 86% na absorção média de energia do compósito com o aumento de 20 para 40%vol de fibras de tucum incorporadas. Esse comportamento era esperado uma vez que quanto maior a fração volumétrica de fibras presentes no compósito, maior é a demanda energética necessária para o rompimento das mesmas.

A Tabela 2 mostra uma comparação entre os dados do presente trabalho e os resultados de compósitos de matriz epoxídica reforçada com diferentes fibras naturais lignocelulósicas (FNLs), assim como para o epóxi puro obtidos em trabalhos anteriores [6-10].

Tomando como base o valor médio de absorção de energia do epóxi puro foi possível realizar um ajuste exponencial dos dados obtidos para os compósitos de fibra tucum. A curva que representa o comportamento de resistência ao impacto desses compósitos em função da fração volumétrica de fibra de tucum está apresentada na Figura 9.

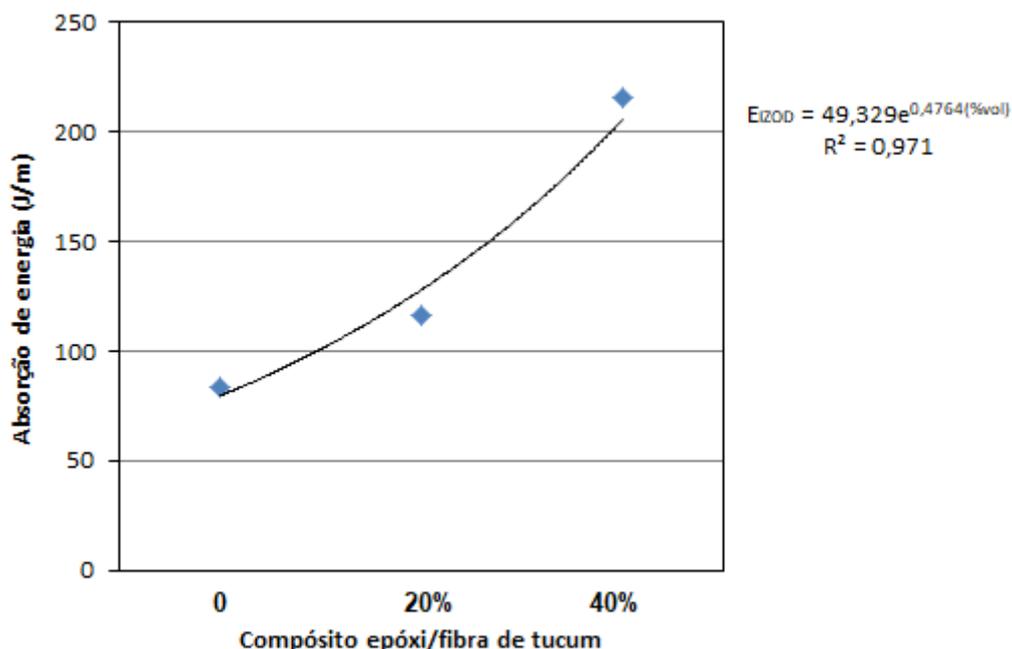


Figura 9. Ajuste exponencial dos valores médios de absorção de energia dos compósitos com fibra de tucum.

Comparando os resultados dos compósitos de matriz epóxi reforçada com diferentes FNLs (Tab 2) com os compósitos investigados no presente trabalho verificou-se que os compósitos tanto com 20% vol de fibra de rami como 20% vol de fibras de fique alinhadas exibiram uma absorção média 2 vezes maior em relação aos compósitos com fibra de tucum. Além disso, compósitos com 20% de fibra de malva absorveram mais de 3 vezes a energia de impacto Izod comparativamente. Enquanto o compósito com 40%vol de fibra de tucum absorveu uma energia média similar ao compósito com 40%vol de tecido de fique.

Tabela 2. Energia absorvida pelos compósitos epoxídicos mediante impacto Izod para diferentes FNLs

| Material | Energia de Impacto (J/m) | Referência |
|-------------------------------|--------------------------|------------|
| Epóxi puro | 83,3 ± 8,1 | [6] |
| Epóxi/ 20% vol tecido rami | 154,5 ± 35,9 | [6] |
| Epóxi/ 20% vol fibra rami | 235,06 ± 28,75 | [7] |
| Epóxi/ 20% vol fibra fique | 231,10 ± 35,30 | [8] |
| Epóxi/40% vol tecido de fique | 222,39 ± 51,77 | [9] |
| Epóxi/ 20% vol fibra de malva | 360,96 ± 15,84 | [10] |

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados do ensaio balístico. Neste ensaio foram realizados três disparos para cada compósito e observado que tanto os compósitos com 20 quanto com 40% de fibra de tucum ocorreu a perfuração total das placas. Com base nos resultados da Tab 3 verifica-se uma maior redução na velocidade do projétil para o compósito com 20% de fibra tucum incorporada, isto é, este compósito exibiu maior capacidade de absorção de energia. Uma possível justificativa para esse resultado é a atuação predominante do comportamento frágil da matriz epoxídica.

Tabela 3. Resultados do ensaio balístico.

| Compósito | Disparo | Massa do projétil (g) | Velocidade inicial (m/s) | Velocidade residual (m/s) |
|----------------|---------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|
| Epóxi-20%tucum | 1 | 3,2660 | 193,92 | 47,85 |
| | 2 | 3,2585 | 275,18 | 160,02 |
| | 3 | 3,2594 | 280,63 | 173,43 |
| | 4 | 3,2638 | 305,24 | 155,45 |
| | 5 | 3,2977 | 276,73 | 162,15 |
| Epóxi-40%tucum | 1 | 3,2977 | 284,68 | 213,67 |
| | 2 | 3,3671 | 272,67 | 132,89 |
| | 3 | 3,2672 | 279,56 | 231,04 |
| | 4 | 3,2911 | 290,39 | 201,17 |
| | 5 | 3,2413 | 299,59 | 210,31 |

4 CONCLUSÃO

- O compósito com 40%vol de fibra de tucum incorporada na matriz epóxi exibiu um aumento de 86% na absorção média de energia em relação ao compósito com 20%vol de tucum.
- O compósito de tucum em comparação com o epóxi puro apresentou maior capacidade de absorção de energia para ambas as frações volumétricas.
- A energia absorvida pelas amostras reforçadas com 20% de tucum foi menor que as reforçadas com fibra de fique, malva e rami, testadas em trabalhos anteriores, enquanto que o compósito com 40% de tucum teve um desempenho similar ao compósito com 40% de tecido de fique.
- No ensaio balístico, o compósito com 20%vol de fibra de tucum exibiu maior capacidade de absorção de energia, o que pode ser justificado pela predominância do comportamento frágil da matriz epóxi.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem à FAPERJ (processo E-26/202.285/2018), ao CNPq e à CAPES pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 Monteiro SN. et al. (2019) Natural Fibers Reinforced Polymer Composites Applied in Ballistic Multilayered Armor for Personal Protection—An Overview. In: Ikhmayies S., Li J., Vieira C., Margem (Deceased) J., de Oliveira Braga F. (eds) Green Materials Engineering. The Minerals, Metals & Materials Series. Springer, Cham.
- 2 Thomas N, Paul AS, Pothan LA, Deepa B. Natural fibers: structure, properties and application. In: Kalia S, Kath BS, Kawr I, editors. Cellulose fibers: bio- and nano-polymer composites. 1st ed. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer. 2011; 3-42.
- 3 Martin AR, Silva ORRF. Caracterização Química e Estrutural de Fibra de Sisal da Variedade Agave sisalana. 2009; 19: 40–46.
- 4 Abreu R, Nunes NL. Tecendo a tradição e valorizando o conhecimento tradicional na Amazônia: o caso da "linha do tucum". Horizontes Antropológicos. 2012; 18(38): 15-43.
- 5 Duarte AYS, Queiroz RS, Sanches RA, Garcia CR, Dedini FG. Ethnobotany of Natural Fibres - *Bactris setosa* (tucum) in a Traditional Rural Community. Fibres & Textiles in Eastern Europe. 2012; 20, 2(91): 18-20.
- 6 Dias ACM, Albuquerque DG, Palozi MD et al. Ensaios de impacto Izod em compósitos de matriz epóxi reforçado com tecido de rami. Revista Militar de Ciência e Tecnologia. 2016; 33: 82-84.
- 7 Monteiro SN, Margem FM, Santos IFL. Characterization of the mechanical behavior of epoxy matrix composites reinforced with ramie fibers. Proceedings of the TMS Annual Meeting & Exhibition. San Francisco, USA, 2009.
- 8 Oliveira MS. Comportamento Balístico de Blindagem Multicamada com Compósito de Epóxi Reforçado com Tecido de Fique. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2018.
- 9 Ferreira MVF, Teles MCA, Fernandes GV, Margem FM, Monteiro SN, Lopes FPD. Ensaio de impacto Izod em matriz epoxídica reforçada com tecido de fique. p. 2792-2798. In: 72nd ABM Annual Congress, São Paulo, 2017.
- 10 Costa UO, Nascimento LFC, Monteiro SN, Demosthenes LCC. Ensaio de impacto Izod em compósitos de epóxi com fibras de malva, p. 745-752. In: 73º Congresso Anual da ABM, São Paulo, 2018.
- 11 American Society for Testing Materials. D 256 – Standard Test Method for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. Pennsylvania: ASTM, 2010.