



AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA FIBRA DO AÇAÍ (*EUTERPE OLERACEA* MART.) EM COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER ORTOFTÁLICA

Fernandes, J. F.¹; Monteiro, M. V. F.¹; Lima, H. B. S.²; Sousa, A. P. S.²; Cardoso, E, C.³; Estumano, D. C.⁴; Costa, D. S.⁵

1. Estudante da Faculdade Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Pará (FEMat-UFPA).
 2. Estudante do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Pará (PPGEQ-UFPA).
 3. Professor Dr. da Faculdade de Engenharia Química Universidade Federal do Pará (FEQ-UFPA).
 4. Professor Dr. do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Pará (PPGEQ-UFPA).
 5. Professor Dr. da Faculdade Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Pará (FEMat-UFPA) /Orientador.
- Contato¹: jennifer.fernandes@ananindeua.ufpa.br

RESUMO

O açaí, tem gerado grande preocupação quanto ao descarte inadequado dos caroços. Assim, o trabalho propôs a obtenção da massa específica aparente (MEA) e análise morfológica da fibra, além da fabricação de compósitos poliméricos para realizar os ensaios de flamabilidade e tração. As fibras foram extraídas manualmente e a fabricação foi realizada pelo método hand lay up, onde utilizou-se uma matriz poliéster, iniciador e a fibra em frações de 1%, 2% e 3%, aplicou-se também uma compressão de 47,5 N nos compósitos. A MEA foi de 1,09 g/cm³ e a micrografia apresentou uma superfície rugosa, com ceras e graxos naturais. No ensaio de flamabilidade os compósitos obtiveram bons resultados, inferiores aos limites estipulados pela ASTM D635 e CONTAN. No ensaio mecânico de tração, as fibras atuaram como carga de enchimento, pois ficou inferior à matriz plena. Dessa forma, constatou-se que as fibras apresentam desempenho relevante para aplicações que possibilitam o desenvolvimento econômico e sustentável.

Palavras-chave: Caracterização morfológica, Resistência à chama, Ensaio mecânico.

INTRODUÇÃO

O açaí, consumido predominantemente na região norte, é conhecido mundialmente devido às suas propriedades nutricionais e versatilidade culinária, além da utilização na indústria cosmética. No Brasil, em 2022, o Estado do Pará liderou a produção do fruto com cerca de 90,4%, equivalente a 1,7 milhões de toneladas (1). Entretanto, os caroços são descartados de forma incorreta ou misturados com lixo doméstico ocupando calçadas ou descartados pelo chão e ruas de onde o fruto é predominantemente consumido (2).

É frequente a ocorrência de desafios na destinação apropriada dos resíduos, resultando no descarte inadequado o que prejudica significativamente a qualidade dos solos e dos corpos d'água (3). Contudo, essas fibras vegetais podem ser extraídas da natureza e possuem propriedades que conferem flexibilidade e um grau considerável de conforto, além de poder ser utilizadas como carga em materiais compósitos (4).

Os materiais compósitos são formados por dois ou mais materiais distintos, sendo constituído por uma fase matriz (polimérica, cerâmica ou metálica) e uma fase reforço como as fibras naturais, que podem atuar como carga ou reforço atribuindo propriedades específicas como leveza, resistência e durabilidade (5).

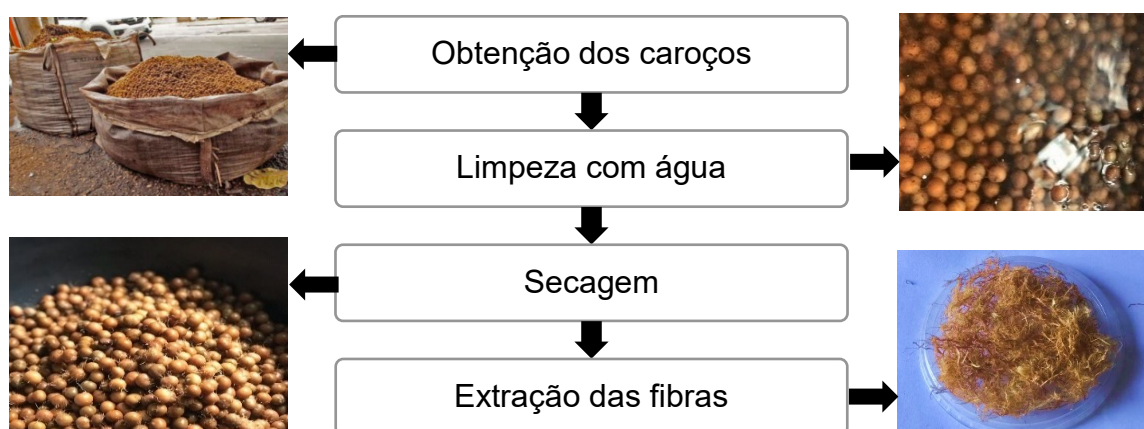
É fundamental ressaltar a importância da utilização de materiais sustentáveis, alinhados com a relevância dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Esses objetivos que constituem um conjunto de 17 metas interconectadas que servem como um guia para ações destinadas a enfrentar desafios como a gestão adequada de resíduos, a proteção do meio ambiente e a promoção do bem-estar social e econômico em escala global (6).

Diante ao cenário atual, o objetivo do trabalho foi analisar as fibras de açaí a partir da obtenção da massa específica, analisar a morfologia e fabricação de compósitos de matriz polimérica para verificação da influência das diferentes frações mássicas de 1%, 2% e 3%, posteriormente, estudar o ensaio de flamabilidade e resistência a tração.

MATERIAIS E MÉTODOS

O processo iniciou-se com a coleta dos caroços de açaí de um comércio local da Região Metropolitana de Belém. Após isso, realizou-se a limpeza nos mesmos com água. Logo, retirou-se os caroços do recipiente para posteriormente realizar a limpeza com água corrente, seguida de secagem em um local arejado durante 24 horas. Posteriormente, ocorreu a extração das fibras dos caroços de açaí manualmente. O processo de beneficiamento é ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma do processo de beneficiamento dos caroços.



Fonte: Autores, 2024.

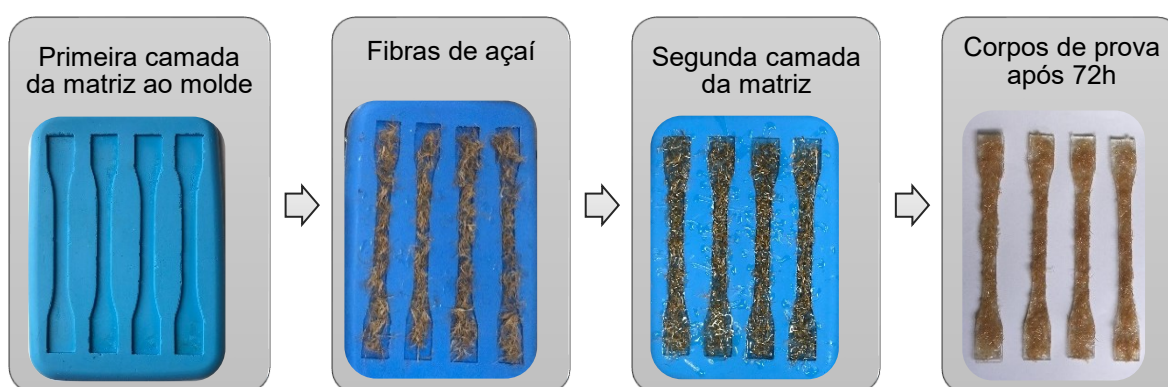
No processo de obtenção da massa específica das fibras, o procedimento foi realizado pelo método do picnômetro, que envolveu a medição do picnômetro vazio (m_1), do picnômetro com fibras (m_2), do picnômetro com fibras e água destilada (m_3) e, finalmente, do picnômetro contendo apenas água destilada (m_4). A densidade foi calculada usando a Equação 1.

$$MEA = \frac{m_2 - m_1}{(m_4 + m_2) - (m_4 + m_2)} * \rho_{H_2O} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

A caracterização morfológica da fibra de açaí foi conduzida usando um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) TESCAN MIRA3 no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LME) do Museu Paraense Emílio Goeldi em Belém, Pará. As fibras foram metalizadas com ouro usando o revestidor por pulverização catódica EMITECH K500 por 3 minutos.

A fabricação dos compósitos iniciou com a dispersão das fibras em um vidro de relógio. As fibras foram então colocadas na estufa em aproximadamente 100 °C por 20 minutos para remover a umidade da superfície. Adicionalmente, a produção foi realizada a partir do método de fabricação manual *hand lay up*. Para isso, utilizou-se um molde de silicone juntamente com uma matriz de polímero composta de resina de poliéster ortoftálica e o iniciador de cura butanox MEK-P 1% (v/v). A Figura 2, ilustra o fluxograma das etapas de produção dos compósitos, com a mistura (resina+iniciador) sendo aplicada em duas camadas com as fibras intercaladas entre elas.

Figura 2 – Fluxograma do processo de confecção dos compósitos.



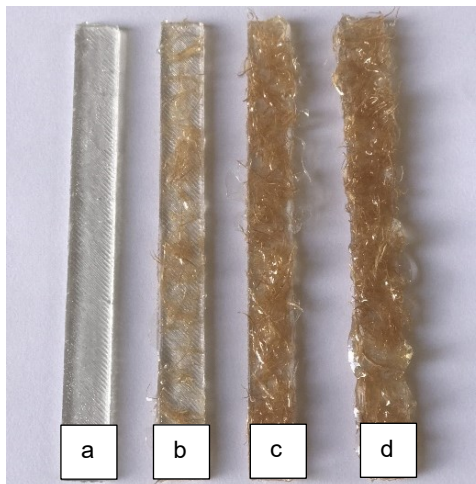
Fonte: Autores, 2024.

O processo de fabricação envolveu o uso de proporções de fibra de açaí na matriz de 1%, 2% e 3%. Para a produção do compósito, adicionou-se a primeira camada da mistura de resina e ativador, seguida pelas fibras e a segunda camada da matriz polimérica. Então, aguardou-se atingir o ponto de gel dos compósitos para aplicar uma compressão de 47,5 N por 25 minutos sobre eles, visando a melhor molhabilidade e maior aderência da fibra na matriz. Após a remoção da carga de compressão, foram armazenados em um recipiente plano para completa polimerização durante 72 horas e, posteriormente, realizou-se um acabamento superficial por meio de lixas com granulometria de 100 Mesh para os testes subsequentes

O ensaio de flamabilidade horizontal seguiu os parâmetros da norma ASTM D635 (10) e foi realizado na Usina de Materiais (USIMAT) da Universidade Federal do Pará. Neste ensaio foi utilizado um bico de Bunsen a 45° para direcionar a chama ao corpo de prova durante 30 segundos. Após atingir a marca de 25 mm, o tempo então foi contabilizado até terminar a segunda marca de 75 mm exigida pela norma, para

posteriormente fazer os cálculos necessários do ensaio. Os corpos de prova estão exibidos na Figura 4 (a-d), onde 4-a refere-se à matriz plena, 4-b 1% de fibra de açaí, 4-c 2% e 4-d 3%.

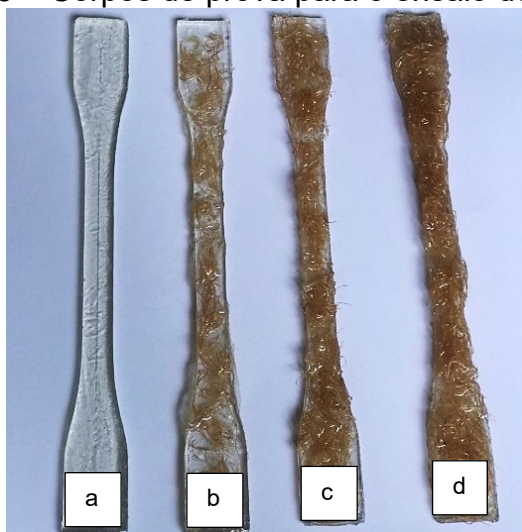
Figura 4 – Corpos de prova do ensaio de flamabilidade.



Fonte: Autores, 2024.

Para o ensaio mecânico de tração mecânica, os compósitos foram fabricados seguindo norma ASTM D638 (11). Os testes do ensaio foram realizados em um equipamento universal KRATOS, modelo IKCL1-USB, no Laboratório de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal do Pará. Os corpos de provas são apresentados na Figura 5 (a-d), onde 5-a exibe-se à matriz plena, 5-b 1% de fibra de açaí, 5-c 2% e 5-d 3%.

Figura 5 – Corpos de prova para o ensaio de tração.



Fonte: Autores, 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

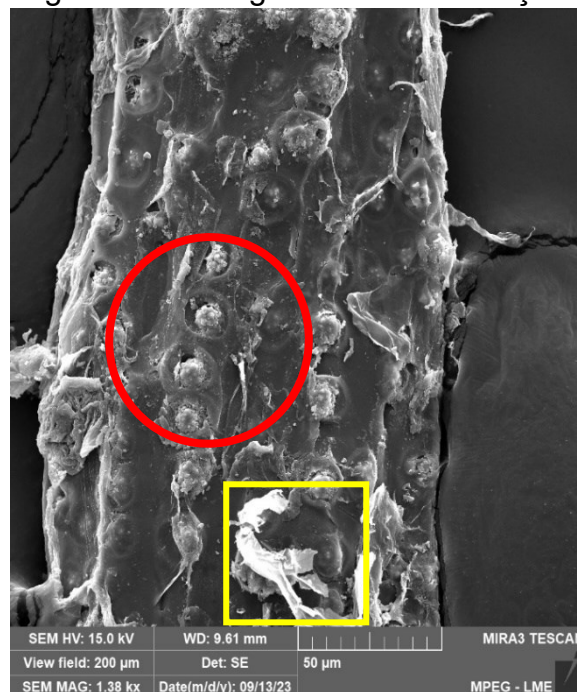
Massa Específica da fibra do açaí

A Massa Específica Aparente da fibra do açaí foi calculada por meio da Equação 1 citada anteriormente. A média calculada para a fibra da semente do açaí foi de $1,09 \text{ g/cm}^3$, obteve resultado aproximado com a literatura de (12) que foi em torno de $1,01 (\pm 0,01) \text{ g/cm}^3$.

Morfologia da fibra

A Figura 6 exibe a micrografia da fibra de açaí realizada por meio do Microscópio Eletrônico de Varredura.

Figura 6 – Micrografia da fibra de açaí.



Fonte: Autores, 2024.

De acordo com a micrografia, as fibras de açaí apresentam superfície rugosa, contendo ceras e graxos naturais da própria fibra, destacado em amarelo. As fibras naturais, em geral, podem exibir uma superfície rugosa com saliências enriquecidas em silício em determinadas áreas, denominadas como canais de pontuação, indicado em vermelho, possivelmente associada as características responsáveis pelos efeitos de reforço em compósitos (13, 14).

Ensaio de Flamabilidade

A Tabela 1 apresenta os dados obtidos no ensaio de flamabilidade dos compósitos e da matriz. A redução de queima foi realizada a partir da matriz de comparação.

Tabela 1 – Dados do ensaio de flamabilidade e a redução em comparação com a matriz.

Composição	Taxa de queima (mm/min)	Redução (%)
Matriz Plena	34,213 ($\pm 0,572$)	-
1% Fibra de açaí	33,860 ($\pm 1,986$)	1,031%
2% Fibra de açaí	29,666 ($\pm 0,772$)	13,290%
3% Fibra de açaí	23,883 ($\pm 0,754$)	30,193%

Fonte: Autores, 2024.

Na Tabela 1, observa-se que a matriz plena obteve o maior valor de taxa de queima perante aos compósitos. Quanto maior a fração mássica da fibra de açaí, menor a taxa de queima. Sendo assim, o compósito com 3% de fibra de açaí obteve a maior redução de queima em relação a matriz.

A norma ASTM D635 estipula que a amostra não deve ultrapassar uma velocidade de propagação de chama superior a 40 mm/min. Dessa maneira, todos os corpos de prova, incluindo a matriz plena que obteve o maior valor de taxa, se encaixaram no parâmetro estabelecido pela norma. O compósito com 3% de fibra de açaí obteve a redução de 40,29% em relação a norma ASTM D635.

Diante disso, os valores de taxa de propagação dos compósitos do trabalho foram menores do que o máximo exigido pela CONTRAN (15), que solicita que a taxa de queima seja de até 100 mm/min, padrão nacional exigido. O compósito de 3% de fibra, confeccionado no trabalho, apresentou uma redução de 76,11% em relação ao limite estipulado pelo CONTRAN.

Ensaio de Resistência à Tração

A Tabela 2 evidencia o Limite de Resistência a Tração (MPa) nas diferentes frações mássicas do compósito polimérico.

Tabela 2 – Dados do ensaio mecânico de tração.

Composição	Limite de Resistência (MPa)
Matriz Plena	38,74 ($\pm$ 3,79)
1% Fibra de açaí	17,28 ($\pm$ 1,83)
2% Fibra de açaí	17,87 ($\pm$ 2,46)
3% Fibra de açaí	19,02 ($\pm$ 1,01)

Fonte: Autores, 2024.

Na Tabela 2, observa-se que a matriz plena obteve um resultado superior aos compósitos com fibras. Assim, as fibras utilizadas na confecção dos compósitos do trabalho podem ser classificadas como carga de enchimento. De modo geral, os materiais compósitos são materiais multifásicos, devido apresentarem propriedades de ambas fases que se constituem em matriz e carga, a carga pode atuar como reforço ou enchimento (5).

Perante ao exposto, presume-se que os materiais compósitos com fibras vegetais sejam constantemente procurados por sua natureza ecológica e sustentável, além de possibilitarem a criação de novos materiais com a incorporação de fibras naturais. A crescente utilização das fibras no setor industrial é principalmente por sua baixa densidade, boa adesão e baixo custo, além de que são oriundas de fontes renováveis (16).

A Tabela 3 apresenta os dados da resistência a tração do trabalho com as literaturas pesquisadas.

Tabela 3 – Comparação com a literatura.

Composição	Limite de Resistência (MPa)	Autor
1% Fibra de açaí	17,28 ($\pm$ 1,83)	Este trabalho
2% Fibra de açaí	17,87 ($\pm$ 2,46)	Este trabalho
3% Fibra de açaí	19,02 ($\pm$ 1,01)	Este trabalho
1% F. cana-de-açúcar	17,12 ($\pm$ 2,48)	(17)
5% Fibra de Juta	11,57 ($\pm$ 2,60)	(18)

Fonte: Autores, 2024.

Na Tabela 3, os compósitos do trabalho alcançaram resistência superiores às encontradas nas literaturas. Estima-se que o método de fabricação abordado durante o processo é de suma importância para o compósito, mediante a forma que a carga pode ser utilizada quando são incorporadas na matriz do material, devido a influência dos esforços estar diretamente ligada às propriedades mecânicas de resistência, rigidez e tenacidade do compósito (5).

Posto isto, a resistência apresentada pelos compósitos fabricados pode estar relacionada à compressão aplicada aos materiais durante o método de fabricação, uma vez que pode ter contribuído para melhor molhabilidade das fibras na matriz, pois o eficiente desempenho das propriedades mecânicas de tração dos compósitos reforçados por fibras geralmente está associado a uma adequada ancoragem na interface fibras e matriz. É importante estabelecer boa adesão entre essas fases, a fim de permitir a transferência eficaz de esforços ou tensões para a carga quando solicitado esforço ao material proporcionando melhor aderência e uma boa interface (19).

CONCLUSÃO

Com base nos dados obtidos neste trabalho, concluiu-se que no ensaio de massa específica revelou uma média de $1,09 \text{ g/cm}^3$. A morfologia das fibras de açaí é rugosa e irregular, além de apresentar ceras e substâncias graxas naturais da própria fibra.

Após a fabricação dos compósitos, foi realizado o ensaio de resistência à chama, onde a matriz plena apresentou a maior taxa de queima em comparação aos compósitos com fibras de açaí, todavia dentro do determinado pelas normas. Observou-se que quanto maior a fração mássica de fibra de açaí, menor a taxa de queima. Nos testes de tração mecânica, os compósitos apresentaram resultados inferiores à matriz, indicando sua função como carga de enchimento na matriz polimérica.

Além do uso das fibras de açaí em compósitos, este trabalho contribui diretamente para os ODS, como o ODS 12 (Consumo e Produção Sustentáveis), ao valorizar resíduos e reduzir o desperdício, e o ODS 15 (Vida Terrestre), promovendo práticas agrícolas sustentáveis e a preservação dos ecossistemas naturais onde o açaí é cultivado.

REFERÊNCIAS

- (1) Nove municípios paraenses lideram produção nacional do açaí, aponta Fapespa. Agência Pará de Notícias. Disponível em: <<https://agenciapara.com.br/noticia/57665/nove-municipios-paraenses-lideram-producao-nacional-do-acai-aponta-fapespa>>. Acesso em: 4 jul. 2024.
- (2) Descarte irregular do caroço do açaí e falta de coletores apropriados causam transtornos, em Belém. G1. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2024/07/03/descarte-irregular-do-caroco-do-acai-e-falta-de-coletores-apropriados-causam-transtornos-em-belem.ghtml>>. Acesso em: 4 jul. 2024.
- (3) MIRANDA, L. V. A. Descarte e destino final de caroços de açaí na Amazônia Oriental-Brasil. *Ambiente & Sociedade*, v. e01382, 2022.
- (4) HILLER, A. P. Desenvolvimento de compósito inteligente de juta com agente termocrômico. 2022. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Têxtil, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2022.
- (5) CALLISTER, W. D. JUNIOR. e RETHWISCH, David G. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. LTC – Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A., 10ª edição. 944 P. Rio de Janeiro, 2020. ISBN 978-11-194-5391-8.
- (6) Nações Unidas Brasil. Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>
- (7) ASTM D 570 – Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 1998.
- (8) ASTM D 2734 – Standard Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2009.
- (9) 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.
- (10) ASTM D 635 – Standard Test Method for Rate of Burnin or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position, American Society for Testing and Materials 2018.
- (11) ASTM D 638-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- (12) OLIVEIRA, D. N. P. S. Painéis de cimento Portland produzidos com fibra de mesocarpo do açaí. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Amapá; 2019.
- (13) NASCIMENTO, D. F. Caracterização físico-química e propriedades mecânicas de fibras de curauá para aplicação em compósitos. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 2011, v. 21, n. 4, p. 347-354.
- (14) SILVA, E. P., Dias, C. G. B. T., & Rocha, T. O. S. (2021). DESENVOLVIMENTO DE MÓVEIS A PARTIR DE AÇAIZEIRO (*Euterpe oleracea* Mart.). *Universidade e Meio Ambiente*, 6(1), 56-70.
- (15) CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). Resolução nº. 498 - "Requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos nacionais ou importados.", Código de Trânsito Brasileiro – CTB, 29 de julho de 2014.

- (16) SOUZA, R. F. Obtenção, caracterização e aplicação de um compósito de matriz de poliéster de carga de pó de carnaúba. (Tese de doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2020.
- (17) SANTOS, D. J. C. Trabalho de conclusão de curso apresentado a Faculdade de Engenharia de Materiais (A influência do tratamento alcalino nas fibras do bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades físicas e mecânicas dos compósitos de matriz poliéster ortoftálica), 2023.
- (18) ALENCAR, K. C. et al. Influência do comprimento e proporção do fio de fibras de juta na resistência mecânica à tração de compósitos poliméricos. Brazilian Journal of Development, 2021, ISSN: 2525-8761.
- (19) COSTA, D. S. Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais (Tese de doutorado), 2016.

EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF AÇAÍ FIBER (EUTERPE OLERACEA MART.) IN ORTHOPHTHALIC POLYESTER MATRIX COMPOSITES

ABSTRACT

Açaí, a well-known fruit in the Amazon region, has raised significant concern due to the improper disposal of its seeds. This study aimed to determine the apparent density (AD) and conduct a morphological analysis of the fiber, as well as to fabricate polymeric composites to perform flammability and tensile tests. The fibers were manually extracted, and the composites were manufactured using the hand lay-up method, utilizing a polyester matrix, initiator, and fiber in fractions of 1%, 2%, and 3%. A compression force of 47.5 N was also applied to the composites. The AD was 1.09 g/cm³, and the micrograph showed a rough surface with natural waxes and greases. The flammability test yielded good results, below the limits stipulated by the standards. In the tensile test, the fibers acted as a filler. Thus, it was concluded that the fibers exhibit relevant performance for applications that promote economic and sustainable development.

Keywords: Morphological characterization, Flame resistance, Mechanical testing.