

ANÁLISE DO USO DE FIBRAS E CAROÇOS DE AÇAÍ (*EUTERPE OLERACEA* MART.) NAS PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Celhina de J. P. Franco¹; Adriano S. Souza²; Julie M. Araújo³; Paulo H. M. Lima⁴; Syme R. S. Queiroz⁵; Rosemary M. P. Coutinho⁶; Vera L. D. da Silva⁷

¹Cellhina23@gmail.com; ²adrianosouza1@gmail.com; ³juliemaraujo312@gmail.com; ⁴phdamatalima@gmail.com; ⁵rsyme.queiroz@ifpa.edu.br; ⁶rosemary.coutinho@ifpa.edu.br; ⁷vera.dias@ifpa.edu.br

Palavras-Chave: Carga Natural, Sustentabilidade, Resíduos

Introdução

A busca por novos materiais sustentáveis tem promovido a pesquisa aplicada e tecnológica, principalmente nas áreas das engenharias. A importância do uso das fibras naturais como carga de enchimento e/ou reforço em materiais compósitos vem aumentando significativamente nas últimas décadas, devido as questões que envolvem a biodegradabilidade, ecomateriais, bioeconomia, impactos ambientais, dentre outras, na busca crescentepor materiais de baixo custo e que sejam provenientes de fontes renováveis. Essas fibras devem proporcionar aos novos materiais boas propriedades mecânicas e térmicas, e que minimizem os danos ambientais provocados pela produção com fibras sintéticas, que podem levar centenas de ans para se decompor (Santos, Silva e Castro 2017; Melo, 2022; Da Silva et al., 2022).

A palmeira açai (*Euterpe oleracea* Mart.), nativa da Amazônia, é uma espécie pertencente à família das palmeiras *Arecaceae* possuindo uma ampla distribuição geográfica na América Latina (Silva, 2019; Silva 2020). Embora o açai tenha sido cultivado em seu território indígena por milhares de anos como uma planta alimentar multifuncional, sua recente introdução em regiões fora de sua origem expandiu rapidamente a demanda global porsua fruta (açai ou baga de açai) (Laurindo, 2023).

O fruto é altamente cultivado e consumido na região norte do Brasil pelo estado do Pará, pois essa fruta se tornou um símbolo cultural e alimentar da região amazônica. Nesse sentido, devido ao amplo consumo da fruta, muitas pesquisas foram realizadas em torno da polpa, pois ela é rica em bioativos, principalmente antocianinas, entretanto o número de estudos sobre o uso dos resíduos, caroços fibrosos, ainda é relativamente baixo (Silva, 2022). O estado do Pará tem uma quantidade diária de resíduos orgânicos de cerca de 300 toneladas, sendo a maioria composta por esses caroços. Com isso, vale ressaltar a importância de investigar o potencial desses resíduos para economia local (Santos, Pasolini e Costa 2023).

O caroço, que geralmente é descartado como resíduo após a separação do pericarpo comestível, representa em média 80% (peso) do fruto (Da Silva et al., 2022). As fibras são encontradas na camada externa dos caroços, possuindo características vantajosas, como baixa densidade, biodegradabilidade, baixo custo e grande potencial para aplicação em compósitos com matriz termorrígida (Lertwattanaruk, 2015).

Alguns estudos avaliam a sinergia entre a carga fibrosa e a matriz, também conhecida como fase contínua, que tem a função de envolver essa carga e conferir forma e resistência aos compósitos, dando-lhe especificidade como carga de reforço, melhorando as propriedades mecânicas do material resultante (Vieira, 2018; Zukowski *et al.*, 2018). Alguns compósitos que combinam mais de um tipo de reforço ou matriz são chamados de compósitos híbridos. Essa combinação visa otimizar as propriedades de diferentes componentes, atendendoa requisitos que um único material não conseguiria suprir. (Gehlen, 2014; Neto 2021).

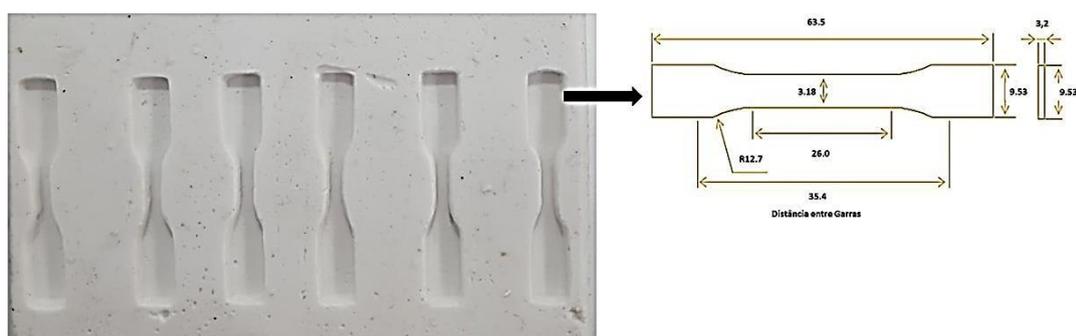
Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo investigar e desenvolver compósitos utilizando fibras e caroços de açaí como cargas em matriz polimérica de poliéster, minimizando os impactos dessa resina altamente poluente para o meio ambiente. Pretende-se avaliar as propriedades morfológicas dos compósitos, buscando compreender a viabilidade e as potenciais aplicações desses materiais nas áreas da construção civil, arquitetura ou design de interiores. Além disso, o trabalho visa contribuir para a valorização e aproveitamento sustentável de recursos naturais regionais promovendo inovação em produtos mais verdes.

Material e Métodos

Os caroços de açaí foram coletados na região metropolitana de Belém do Pará, após o processamento da bebida açaí *in natura*. Os caroços foram submetidos a uma lavagem em água corrente e, em seguida, deixados de molho por 4 horas, para extração das fibras manualmente. Posteriormente, as fibras e caroços foram deixados em peneiras para retirada do excesso de água e secos em estufa da marca Nova Ética, a 70°C, durante 24 horas. Para a preparação da amostra, os caroços foram triturados em um moinho de 4 facas da marca Willey/Marconi. Os materiais foram classificados em peneiras granulométricas da série Tyler (65, 80, 100 e 200 mesh), utilizando um agitador tipo *rot up* por um período de 25 minutos. Armazenados em sacos plásticos para posterior determinação da umidade e densidade.

Os compósitos foram obtidos pelo método *hand lay-up*. Para a obtenção da matriz utilizou-se uma quantidade de resina poliéster cristal, catalisada com 3% de MEK (peróxido de metil-etil-cetona). E os compósitos foram obtidos a partir das misturas aleatória com frações de 10% de fibras e caroços de açaí em relação a resina, até que fosse atingida uma consistência homogênea, em ponto de gel. Para a conformação dos corpos de prova, foi utilizado um molde de silicone conforme as especificações da norma ASTM D 638-10 (Figura 1). Utilizou-se um desmoldante natural de base de cera de carnaúba. Após a aplicação da mistura dos materiais no molde, este foi deixado em repouso por 24 horas para garantir a cura completa do material, evitando a formação de poros e irregularidades nas amostras. Ao término do período de cura, os corpos de prova foram cuidadosamente desmoldados e acondicionados em filmes de PVC, para os ensaios físico-mecânicos subsequentes.

Figura 1 – Molde de silicone e Medidas



Fonte: Autores, 2024.

As caracterizações físicas dos compósitos foram conduzidas por meio da análise de Absorção de Água (AA), Massa Específica Aparente (MEA) e Porosidade Aparente (PA), conforme as normativas estabelecidas pelas normas ASTM D 570, ASTM D 792 e ASTM D 2734, respectivamente. A determinação da MEA das fibras e caroços foram por picnometria de acordo com a norma ASTM D854:2014. Para cada fração em estudo, foram produzidos seis corpos de prova (CPs), de modo a assegurar a reprodutibilidade dos resultados.

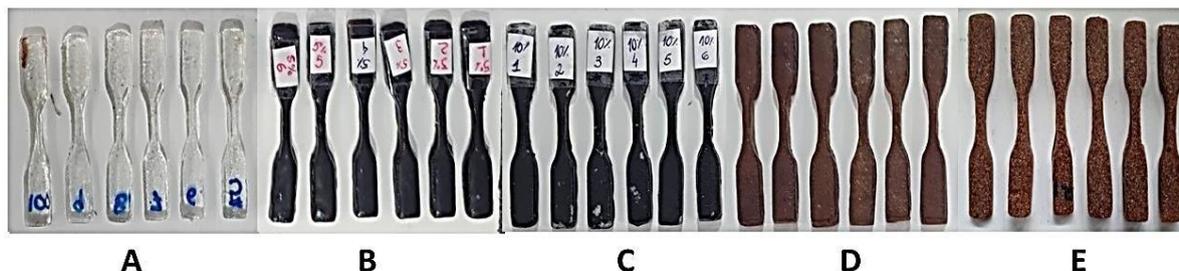
No que se refere às propriedades mecânicas, os compósitos e a matriz foram submetidas a ensaios de tração, realizados no Laboratório de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará (UFPA), em conformidade com a norma ASTM D 638. Os ensaios foram executados utilizando uma máquina de ensaio universal equipada com uma célula de carga de 50 kgf, operando a uma velocidade de 5 mm/min. Esses procedimentos visaram avaliar a resistência à tração dos materiais.

Os corpos de prova (CPs) da matriz foi identificado com a sigla MP e os compósitos com os rejeitos dos caroços e fibras de açaí CRC e CRF, respectivamente.

Resultados e Discussão

As características físico-químicas e mecânicas de um determinado compósito estão intimamente ligadas à criação de uma interface eficaz entre carga e matriz (Silveira, 2018). Portanto, o controle da umidade dos materiais envolvidos é de extrema importância devido as características hidrofóbicas da matriz. Os CPs obtidos (figura 2), a partir dos compósitos com resíduo decaroços (CRC) e fibras (CRF) de açaí foram produzidos com massa retida na peneira de 200 Tyler (0,075mm) e 80 Tyler (0,180 mm), por apresentarem maior fração retida após peneiramento.

Figura 2 – (A) Matriz, (B) CRC 80, (C) CRC 200, (D) CRF 80, (E) CRF 200



Fonte: Autores, 2024.

A tabela 1, apresenta os dados obtidos nos ensaios físicos de massa específica aparente (MEA), porosidade aparente (PA) e absorção de água aparente (AA) para a matriz polimérica (MP) e compósitos de resíduos (CR) com caroços (C) e fibras (F) retidos em malha de 80 e 200 tyler.

Tabela 1- Resultados das propriedades físicas

Composição	Carga	MEA (g/cm ³)	PA (%)	AA (%)
MP	-	0,971 ± 0,018	5,591 ± 0,267	2,504 ± 0,953
CRC 80	10%	0,979 ± 0,003	7,274 ± 0,633	2,973 ± 0,932
CRC 200	10%	0,984 ± 0,011	5,930 ± 0,824	3,929 ± 0,115
CRF 80	10%	0,965 ± 0,002	14,330 ± 1,257	3,559 ± 0,284
CRF 200	10%	0,959 ± 0,002	18,316 ± 0,689	4,272 ± 0,205

Fonte: os autores, 2024

Com base nos dados mostrados na tabela 1, observou-se um resultado semelhante da massa específica aparente entre as amostras dos compósitos em comparação com a matriz, isso indica que a concentração de 10%, nas escolhas das granulometrias estudadas não alteraram a densidade da matriz. Segundo Levy Neto e Pardini (2016), as fibras vegetais tem baixa massa específica, podendo aumentar o volume do compósito, resultando consequentemente em uma redução de peso, entretanto não observou-se nenhuma variação significativa nos valores encontrados.

A massa específica aparente das fibras vegetais, geralmente variam em torno de 1,10 g/cm³ a 1,5 g/cm³ para serem usadas como reforço (Spinacé et al., 2011), o que depende das condições ambientais de crescimento da planta e do processo de extração das fibras, o resultado concorda com o valor encontrado para fibras de açaí de 1,07 g/cm³.

Além disso, conforme a tabela 1, na porosidade aparente observou-se que o compósito CRC 200 apresentou o menor valor de PA (5,930%), enquanto o CRF 200 tem o maior valor

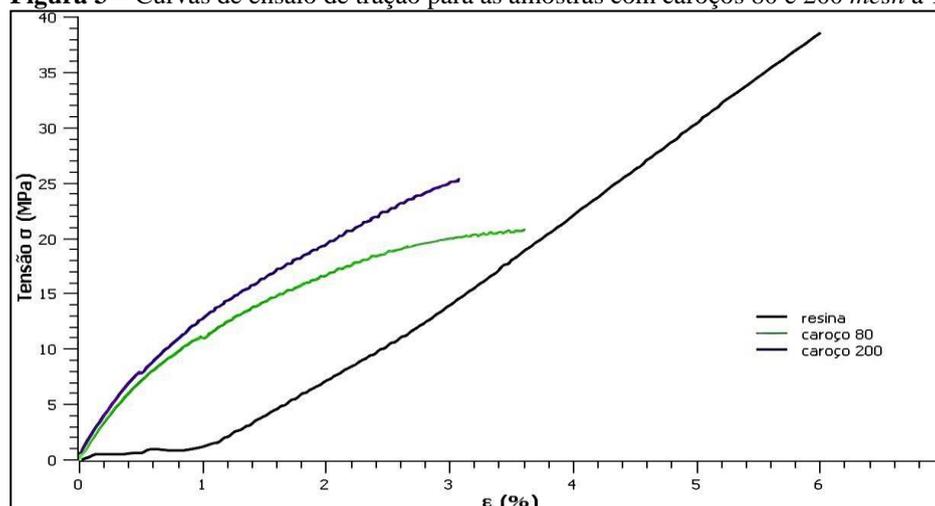
(18,316%). Essa diferença sugere que a adição de fibras do açaí pode aumentar a porosidade do material, possivelmente criando um efeito de "espuma" que aumenta a quantidade de espaço vazio na estrutura. A porosidade aparente do MP, por sua vez, é de 5,591%, o que confirma que a matriz pura é menos porosa em comparação com os compostos que contêm resíduos do açaí. Essa relação entre PA e a quantidade de resíduos do açaí pode ser uma consideração importante ao desenvolver materiais para aplicações que exigem características específicas de absorção ou resistência.

De acordo com Corrêa *et al.*, (2021), este efeito pode ser atribuído ao método de fabricação empregado, que envolve a possibilidade de formação de fissuras e espaços vazios devido à aplicação manual da fibra/caroço à medida que a matriz é saturada. Embora os compósitos apresentem uma superfície aparentemente adequada, é plausível que possam conter imperfeições estruturais que não são visíveis a olho nu. Ademais, a absorção de água nos compósitos é influenciada pela presença de poros nascidos, portanto o aumento da quantidade de fibras aumentou a formação de poros impactando a AA (Silva *et al.*, 2022). Portanto, o compósito CRF 200 apresenta dentre os compósitos maior PA (18,31%) e AA (4,27%).

Conforme os estudos de Costa *et al.*, (2021) onde avaliou as propriedades mecânicas de compósitos de resina epóxi reforçados com fibras de açaí, observou-se resultados semelhantes a esse trabalho, no qual houve um acréscimo de 1,27% de AA em relação a matriz. No que diz respeito à absorção de água, observa-se que os valores médios da Matriz Polimérica (MP) foram menores do que os dos compósitos. Essa diferença pode estar relacionada às propriedades da resina ortoftálica, conhecida por seu caráter hidrofóbico e impermeável, características típicas de materiais poliméricos (Mantovani, 2017).

O ensaio de tração é um dos ensaios mecânicos mais utilizados para obtenção das propriedades mecânicas de um material, como limites de tensão de escoamento, deformação, resistência, tenacidade (Amado e Reis, 2019). O arranjo ou a orientação das fibras, a concentração das fibras e sua distribuição apresentam uma influência significativa sobre a resistência e outras propriedades dos compósitos reforçados com fibras (Callister Jr, 2008). A partir das medidas de cargas e os respectivos alongamentos, constrói-se a curva tensão-deformação como apresentada nas Figuras 3 e 4.

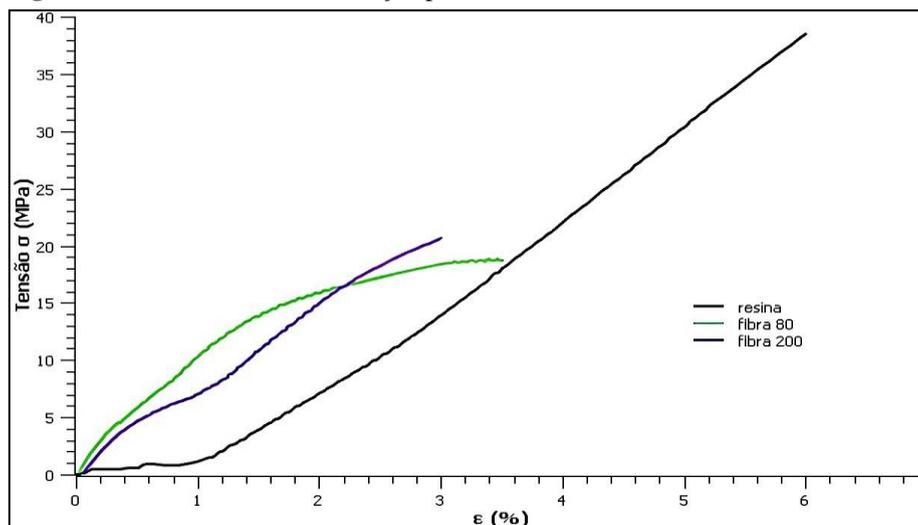
Figura 3 – Curvas de ensaio de tração para as amostras com caroços 80 e 200 mesh a 10%



Fonte: Autores, 2024.

A meta do projeto do compósito reforçado com fibras é assegurar uma elevada resistência mecânica e/ou uma alta resistência à fluência da matriz em relação ao seu peso (Callister, 2002). Entretanto observou-se que as fibras em ambas granulometrias atuaram como carga de reforço nos compósitos até um limite de elongação aproximadamente 3%, provavelmente pela falta de adesão fibra/matriz ou deslizamento dos compósitos na garra.

Figura 4 – Curvas de ensaio de tração para as amostras com fibras 80 e 200 mesh a 10%



Fonte: Autores, 2024

Normalmente, quando a orientação da fibra é aleatória, são usadas fibras curtas e descontínuas. Foi notado que, ao longo da deformação plástica da matriz, a tensão atingiu um valor médio máximo de 38,521 MPa, que corresponde a resistência ao pico da curva tensão-deformação. Na tabela 2, são apresentados os valores sob solicitação mecânica de Tração para a Deformação máxima (ϵ . Max), tensão (σ) e o Módulo de Elasticidade (E).

Tabela 2 – Resultados do ensaio de mecânico

CP'S	P.M	ϵ .Max(%)	Tensão σ (Mpa)	E. Mod. Elast (GPa)
MP	0	3,489 ± 0,694	38,521 ± 0,872	0,125 ± 0,032
CRC 80	10%	3,621 ± 0,752	20,754 ± 0,221	1,701 ± 0,048
CRC 200	10%	1,764 ± 0,160	25,268 ± 0,293	1,888 ± 0,072
CRF 80	10%	1,267 ± 0,085	17,204 ± 0,056	1,604 ± 0,023
CRF 200	10%	2,216 ± 0,294	19,973 ± 0,487	0,817 ± 0,006

Fonte: Autores, 2024

A performance de tração do compósito polimérico reforçado com fibras de açaí, cujos comprimentos variam entre 0,075 mm e 0,180 mm, foi avaliada como satisfatória. Observou-se que o CRC 80 obteve uma deformação 3,621% superior da MP de 3,489%. A composição CRF 80 (0,180 mm), demonstrou o valor de tensão menor (17,204 MPa < 38,521 MPa) em relação a composição de referência MP no ensaio de tração, em comparação com as outras composições exibidas na Tabela 1. Assim Sugerindo que a composição CRC 200 (0,075 mm) exibiu um desempenho mais próximo ao da composição de referência MP em termos de resistência à tração, sendo de 25,268 MPa. Nesse sentido, o trabalho de Pampolha (2024) na caracterização físico e mecânica de compósitos com fibras da coroa do abacaxi de matriz ortoftálica, apresentou resultados semelhantes nos comprimentos de fibras de 15 mm e 30 mm, com valores de 28,00 MPa e 29,00 MPa respectivamente.

Nesse mesmo contexto, Castro (2020) realizando uma relação entre os resultados obtidos para as fibras de piaçava de 10 mm e 20 mm, observou um aumento em ambas as propriedades mecânicas, devido essa diferença de tamanho, chegando a 15% para resistência a tração, e 11% em relação ao módulo de elasticidade, comparado com a Matriz.

Os dados obtidos estão de acordo com os reportados na literatura para sistemas afins, onde acredita-se que o desempenho melhor dos compósitos reforçados com teores de fibras/caroço, esteja associado menor diâmetro médio que promovem o aumento nas áreas de contato carga/matriz, quanto às propriedades mecânicas individuais das fibras e caroço (Zancanella et al.; 2018)

Conclusões

O estudo sobre a incorporação de fibras/caroço de açaí (10%) como carga de enchimento em compósitos poliméricos apresentou resultados promissores, especialmente em aplicações onde a leveza é uma vantagem importante. Os valores de massa específica aparente mostraram-se consistentes, sugerindo o uso de caroços e fibras de açaí na proporção 10% como alternativas leves para compósitos, reduzindo a necessidade de resina sintética nas formulações.

Não foram observadas mudanças significativas na resistência dos compósitos, o que indica que a utilização dos caroços sem a remoção das fibras pode representar uma economia de energia, eliminando a necessidade de processos adicionais, como o desfibramento. Os resultados mostraram que, embora a porosidade aparente e a absorção de água nos compósitos sejam relativamente baixas, a granulometria de 200 Tyler proporcionou uma performance semelhante à da matriz polimérica, o que aponta para uma alternativa econômica e ecologicamente correta, na utilização tanto das fibras quanto dos caroços em formulações.

Em relação aos resultados dos ensaios mecânicos, não contribuíram para a resistência do material, mas favoreceram o aproveitamento de mais resíduos, auxiliando na redução do impacto ambiental causado por eles. Para estudos futuros, recomenda-se a realização análise por microscopia eletrônica de varredura para elucidar a adesão entre fibra e matriz.

Agradecimentos

Ao Curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), ao grupo de pesquisa CTec-Belém e ao Laboratório de Biossoluções e Bioplásticos da Amazônia da UFPA (LABA).

Referências

- AMADO, João Lucas Martins; REIS, Maria Eugenia de Paula. **Análise do comportamento mecânico de compósito reforçado com fibra de piaçava**. 2019. 73f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019.
- CALLISTER, W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- CASTRO, Rafael Gomes de. **Influência do comprimento de fibra em compósito reforçado com piaçava**. 2020.
- CORRÊA, Alessandro de Castro et al. **Aplicação do TOPSIS na análise do processo de infusão a vácuo para fabricação de compósitos com fios de juta**. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração. 2021.
- DA SILVA NETO, Valério Urbano et al. Desenvolvimento de compósitos de resina epóxi com fibra vegetal de curauá sem tratamento químico: Development of epoxy resin composites with curauá vegetable fiber without chemical treatment. **Latin American Journal of Development**, v. 4, n. 2, p. 343-357, 2022.
- GAMA, Dráuzio Correia et al. Fibras vegetais no Brasil: um potencial socioeconômico e biotecnológico. **Inovações em pesquisas agrárias e ambientais Volume III**.
- GEHLEN, L. R.. **Efeito da utilização de fibras lignocelulósicas (açaí e curauá) em compósitos com matriz de resina poliéster insaturado**. 2014
- LERTWATTANARUK, P; SUNTIJITTO, A. “**Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications**”. **Construction And Building Materials**, [S.L.],v.94,p.664-669, set. 2015.
- LEVY NETO, Flaminio; PARDINI, Luiz Claudio. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. 2ª edição. São Paulo: Blucher, 2016. 418 p.
- MANTOVANI, Dhyemila de Paula. **Estudo das propriedades mecânicas de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de hemp e biotratamento**. 2017.
- MELO, K. M. de. **Resíduo de sisal: uma alternativa sustentável como reforço particulado em compósito polimérico com adição de agente silano**. 2022.
- NETO, Flaminio Levy; PARDINI, Luiz Claudio. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. Editora Blucher, 2021.



- PAMPOLHA, Izabela da Costa. **Fibras da coroa do abacaxi em compósitos de matriz ortoftálica: caracterizações físicas e mecânicas.** 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais) – Campus Universitário de Ananindeua, Universidade Federal do Pará, 2024.
- SANTOS, M. M., Pasolini, F. S., & Costa, A. P. O. **Caracterização físico-química do caroço e da fibra do açaí (Euterpe oleracea Mart.) via métodos clássicos e instrumentais.** Brazilian Journal of Production Engineering, 2023.
- SANTOS, S. N., Silva, R. M., & Alves, L. J. **Reinforcement of a biopolymer matrix by lignocellulosic agro-waste.** Procedia Engineering. 2017.
- SANTOS, S. S.; SILVA F. G. e CASTRO F. D. **“Utilização De Fibras Do Mesocarpo E Caroço Do Açaí Como Componente De Misturas Areia - Asfalto Para A Pavimentação Na Cidade De Manaus/AM”.** The Journal of Engineering and Exact Sciences, v. 03, n. 04 pp. 627-633, Jul, 2017.
- SILVA, Cibele Oliveira da et al. **Uso das fibras do caroço do açaí como fase dispersa em compósitos de matriz termoplástica: uma revisão bibliográfica.** 2022.
- SILVA, Cibele Oliveira da. **Uso das fibras do caroço do açaí como fase dispersa em compósitos de matriz termoplástica: uma revisão bibliográfica.** 2022. [15] f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Campus Universitário de Tucuruí, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2022.
- SILVA, et al. **Estudo da produção de açaí (Euterpe oleracea Mart): aspectos econômicos e produtivos baseados nos anos de 2015 a 2017. / Açaí (Euterpe oleracea Mart) production study: economic and productive aspects based on 2015-2017.** Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 1629–1641, 2020.
- SILVA, P. M., Cunha et al. **Supercritical CO₂ extraction of lyophilized Açaí (Euterpeoleracea Mart.) pulp oil from three municipalities in the state of Pará, Brazil,** Journal of CO₂ Utilization, 31, 226-234.2019
- SILVEIRA, M.V. **Análise do comportamento mecânico e da durabilidade em compósitos de areia reforçada com fibras naturais de curauá e sisal.** Tese (Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2018.
- VIEIRA, A. P. N. B. **Obtenção, caracterização e viabilidade de aplicação de um compósito com matriz de resina poliéster e carga de fibras do caroço do açaí,** 2018.
- WILLIAM D. Callister, Jr. **“Ciência e Engenharia de Materiais Uma Introdução”, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.** 2008.
- ZANCANELLA, A. C. B.; BARROS, A. P.; CAMARGO, D. Z. **Avaliação Mecânica do compósito resina Poliéster com Fibra do Epicarpo do Coco.** In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 10., Salvador, Ba, Brasil, 2018. v. 10, p. 06-13.
- ZUKOWSKI, B., Silva, A. F., & Toledo Filho, D. R. **Design of strain hardening cement-based composites with alkali treated natural curauá fiber.** *Cement and Concrete Composites* 89, 150-159. 20