

## CAPÍTULO 12

# AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO MECÂNICO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM FIBRAS DA COROA DO ABACAXI (*ANANAS COMOSUS*)



<https://doi.org/10.22533/at.ed.1351625170312>

*Data de aceite: 24/10/2025*

### **Sinara da Silva Barbosa**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais  
Ananindeua – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/4204192209548499>

### **Livian Brito da Cunha**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais  
Ananindeua – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/9897624190868724>

### **Izabela da Costa Pampolha**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais  
Ananindeua – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/8815932438793967>

### **Jennifer Ferreira Fernandes**

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química  
Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/1870190983115933>

### **Yan Christian Silva de Araújo**

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química  
Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/5136415587850242>

### **Ana Paula Souza de Sousa**

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química  
Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/9161169241736758>

### **Haianny Beatriz Saraiva Lima**

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química  
Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/1714688542542658>

### **Diego Cardoso Estumano**

Universidade Federal do Pará, Professor Dr. da Faculdade de Biotecnologia  
Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/5521162828533153>

### **Emerson Cardoso Rodrigues**

Universidade Federal do Pará, Professor Dr. da Faculdade de Engenharia Química  
Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/7459428211048580>

### **Deibson Silva da Costa**

Universidade Federal do Pará, Professor Dr. da Faculdade de Engenharia de Materiais  
Ananindeua – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/1521124351431087>

**RESUMO:** A substituição de materiais sintéticos por materiais naturais vem ganhando destaque em relação à produção crescente de resíduos não recicláveis, por gerarem malefícios ao ecossistema global. Sendo assim, a aplicação de fibras vegetais, como a fibra da coroa do abacaxi (FCA), em compósitos poliméricos, apresenta-se como uma alternativa promissora por promover inovações na indústria, além de destacar-se no quesito sustentabilidade. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar compósitos poliméricos reforçados com FCA, avaliando suas propriedades através de ensaios físicos e o ensaio mecânico de tração. A confecção dos compósitos utilizou o método *hand lay-up* em moldes de silicone, sendo a fibra utilizada no tamanho de 30 mm, com frações mássicas de 1%, 2% e 3%. Utilizou-se resina poliéster ortoftálica como matriz, com adição de 1% em volume de iniciador MEK-P e 1,5% de acelerador. Para a caracterização morfológica da fibra, utilizou-se Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e para a massa específica, o método do picnômetro. Os compósitos foram submetidos a ensaios físicos, seguindo as normas ASTM D570 para Absorção de Água (AA), ASTM D2734 para Porosidade Aparente (PA) e ASTM D792 para Massa Específica Aparente (MEA); e ao ensaio mecânico de tração, utilizando a norma ASTM D638. Os resultados mostraram que a inserção de FCA reduziu a massa específica, agregando vantagens aos compósitos. Os compósitos apresentaram maior PA e AA. Contudo, a composição FCA - 30 mm 3% apresentou melhor desempenho no ensaio de tração (28,40 MPa) quando comparada com as demais composições.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sustentabilidade; Caracterização; Ensaios físicos; Tração.

#### EVALUATION OF THE MECHANICAL PERFORMANCE OF POLYMERIC COMPOSITES WITH PINEAPPLE CROWN FIBERS (*ANANAS COMOSUS*)

**ABSTRACT:** The replacement of synthetic materials with natural ones has been gaining prominence in light of the growing production of non-recyclable waste, which is detrimental to the global ecosystem. Therefore, the application of plant fibers, such as pineapple crown fiber (PCF), in polymer composites presents a promising alternative for promoting innovation in the industry, in addition to standing out in terms of sustainability. Therefore, this study aimed to evaluate PCF-reinforced polymer composites, assessing their properties through physical and mechanical tensile testing. The composites were manufactured using the hand-layup method in silicone molds, with fiber sizes of 30 mm and mass fractions of 1%, 2% and 3%. Orthophthalic polyester resin was used as the matrix, with the addition of 1% by volume of MEK-P initiator and 1.5% of accelerator. Scanning Electron Microscopy (SEM) was used to characterize the fiber morphology, and the pycnometer method was used to determine density. The composites were subjected to physical tests according to ASTM D570 for Water Absorption (WA), ASTM D2734 for Apparent Porosity (AP), and ASTM D792 for Apparent Specific Gravity (ASG); and to mechanical tensile testing according to ASTM D638. The results showed that the insertion of FCA reduced the specific mass, providing advantages to the composites. The composites presented higher WA and AA. However, the FCA - 30 mm 3% composition presented better tensile test performance (28.40 MPa) when compared to the other compositions.

**KEYWORDS:** Sustainability; Characterization; Physical tests; Traction.

## INTRODUÇÃO

Conforme a Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Pará - ADEPARÁ, o Brasil ocupa a posição de terceiro produtor global de abacaxi, tornando-o a quinta fruta mais cultivada no País e gera resíduos correspondentes a cerca de 45% de sua massa original, devido ao descarte inadequado de cascas e coroas, resultando em impactos nocivos para o ecossistema global.

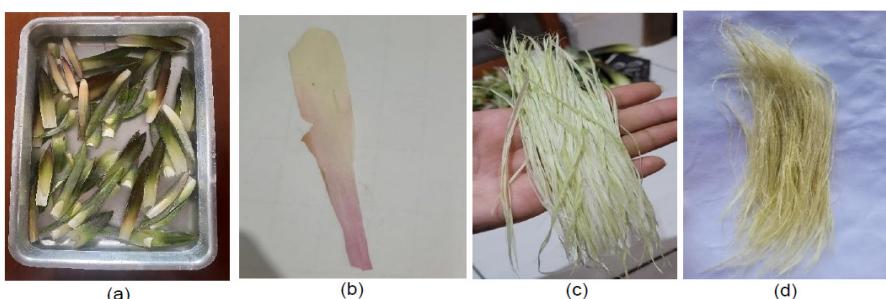
Neste contexto, diversas alternativas de utilizar a coroa do abacaxi para a redução desses impactos têm sido propostas, entre elas a produção de materiais compósitos de matriz polimérica com as fibras da coroa.

Segundo Callister Jr. e Rethwisch (2021), os materiais compósitos são fabricados por duas fases fisicamente e quimicamente distintas, sendo composta por uma fase contínua, denominada matriz, que envolve a outra fase, denominada reforço, também chamada de fase dispersa. A utilização das fibras naturais como reforço tende a proporcionar melhorias nas propriedades dos materiais compósitos, além de possuir um excelente custo benefício (Machado *et al.*, 2010).

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho mecânico de compósitos de matriz polimérica reforçados com a FCA, analisando suas propriedades por meio de ensaios físicos e de tração.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A matriz utilizada foi um polímero termofixo (resina poliéster insaturada ortoftálica), o acelerador usado foi o de cobalto (CAT-MET) na proporção de 1,5% (v/v) e o iniciador BUTANOX M-50 (MEK-P) na proporção de 1% (v/v). Para o reforço utilizou-se a fibra da coroa do abacaxi do tipo pérola, fornecida por uma comerciante do município de Ananindeua-PA. As folhas foram imersas em água, extraídas manualmente e secas naturalmente por 24 horas, conforme mostra a Figura 1. Posteriormente, as fibras foram cortadas no tamanho de 30 mm.



**Figura 1 –** Folhas da coroa imersas em água (a), Folhas da coroa antes de passar pelo processo de limpeza manual (b), FCA após limpeza (c), FCA após secagem (d).

**Fonte:** Autores, 2025.

## **Caracterização Morfológica e Determinação da Massa Específica das Fibras**

Realizou-se a caracterização morfológica por meio do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), do modelo Tescan Mira 3, utilizando uma metalizadora de amostras à base de ouro (Au) por 3 minutos.

A massa específica das fibras foi determinada a partir do método do picnômetro, que envolve a massa do picnômetro vazio ( $m_1$ ), do picnômetro com a fibra ( $m_2$ ), do picnômetro com a fibra e a água ( $m_3$ ) e a do picnômetro com água ( $m_4$ ). Assim, foi possível calcular a massa específica das fibras utilizando a Equação 1.

$$MEA = \frac{m_2 - m_1}{(m_4 + m_2) - (m_1 + m_3)} \times \rho H_2O \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

## **Confecção dos Corpos de Prova**

Os corpos de prova (CP's) foram fabricados utilizando o método *hand lay-up* e seguiram três etapas. A primeira etapa consistiu na medição de fibra e reagentes, utilizando uma balança analítica. Em seguida, foram estabelecidas as composições variando em proporções de 1%, 2% e 3% em massa, com base na pesquisa de Barbosa (2021). As fibras foram colocadas na estufa a 100 °C por 20 minutos para retirada da umidade superficial. Após isso, foi realizada a homogeneização da resina, acelerador, fibra e iniciador. A segunda etapa consistiu em colocar a mistura homogeneizada em moldes de silicone. A terceira etapa resumiu-se na retirada dos CP's do molde, armazenamento em local plano para a polimerização completa e, posteriormente, foram submetidos aos acabamentos superficiais.

## **Ensaios Físicos**

Os ensaios físicos de Absorção de Água (AA), Porosidade Aparente (PA) e Massa Específica Aparente (MEA) foram conduzidos de acordo com as normas ASTM D 570, ASTM D 2734 e ASTM D 792, utilizando as Equações 2, 3 e 4, respectivamente, onde é  $M_u$  a massa úmida,  $M_s$  é a massa seca e  $M_i$  é a massa imersa. Para cada composição dos compósitos, foram preparados cinco corpos de prova, garantindo a confiabilidade dos resultados dos ensaios.

$$AA \text{ (\%)} = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (2)$$

$$PA \ (\%) = \frac{M_U - M_S}{M_U - M_I} \times 100 \quad (3)$$

$$MEA \ (g/cm^3) = \frac{M_S}{M_U - M_I} \times \rho H_2O \quad (4)$$

## Ensaio Mecânico de Tração

O ensaio de tração foi realizado em conformidade com a norma ASTM D638, visando à caracterização das propriedades mecânicas dos compósitos quando submetidos a esforços de tração. Para a execução do ensaio, empregou-se uma máquina universal de ensaios, modelo KE 2000 MP, fabricada pela KRATOS.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

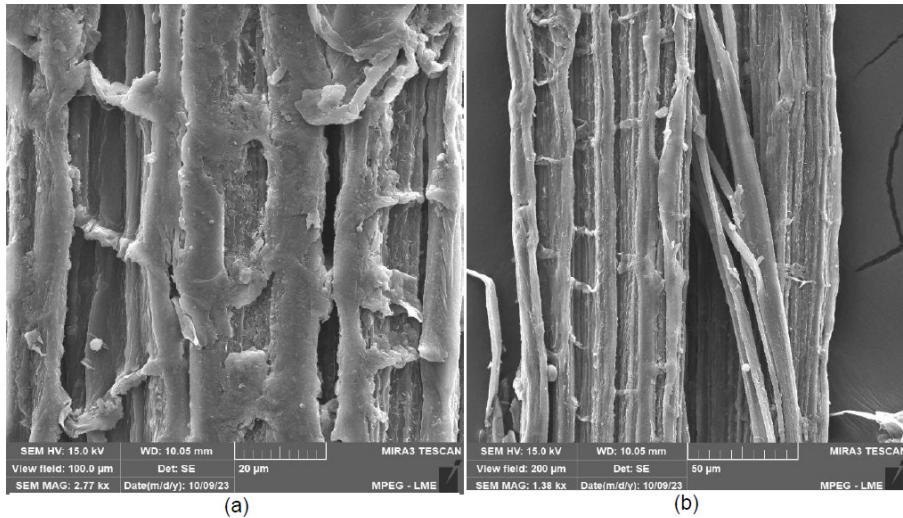
O resultado encontrado da massa específica da fibra, calculado através da Equação 1, foi de 1,14 g/cm<sup>3</sup>, valor próximo dos resultados encontrados com fibras obtidas em diferentes regiões do país, conforme mostra a Tabela 1. Desse modo, a semelhança dos dados confirma a coerência do método utilizado para calcular a massa específica da FCA.

Local de Extração	MEA (g/cm <sup>3</sup> )	Fonte
Ananindeua – PA	1,14	Este trabalho
Feliz – RS	1,13	Steffen (2022)
Santo André – SP	1,27	Prado (2011)

**Tabela 1** - Comparativo dos resultados da massa específica.

**Fonte:** Autores, 2025.

A Figura 2 exibe as micrografias obtidas na análise realizada por MEV das FCA, apresentando uma morfologia não uniforme, composta por resíduos provenientes das folhas e a presença de uma camada espessa assemelhando-se a cera, que é um dos constituintes da folha da coroa, protegendo contra a perda de água e invasão de patógenos (Kays e Paull, 2004). Notou-se, também, a presença de uma textura rugosa e irregular na superfície, atribuída à matriz de lignina que envolve a parede celular primária das fibras, proporcionando a melhoria do intertravamento mecânico na interface entre o reforço e a matriz, consequentemente, aprimorando as propriedades mecânicas dos compósitos (Oliveira, 2020).



**Figura 2 - MEV das FCA:** (a) 2.77 kx, (b) 1.38 kx.

**Fonte:** Autores, 2025.

Nos ensaios físicos, conforme mostra a Tabela 2, é possível analisar os dados dos resultados da MEA, PA e AA da matriz plena (MP) e dos compósitos com as proporções da FCA - 1%, 2% e 3%.

É possível notar uma redução da MEA entre os compósitos reforçados com FCA em comparação com a MP. Segundo Levy Neto e Pardini (2016), a inclusão de fibras naturais de baixa massa específica pode atuar como carga, aumentando o volume de fibra, resultando, assim, em uma redução de peso.

Composições	MEA (g/cm³)	PA (%)	AA (%)
MP (0%)	1,199 ± 0,010	1,174 ± 0,607	0,984 ± 0,519
FCA – 1%	1,162 ± 0,006	3,346 ± 0,443	2,885 ± 0,390
FCA – 2%	1,174 ± 0,005	3,236 ± 0,271	2,755 ± 0,243
FCA – 3%	1,195 ± 0,007	2,875 ± 0,406	2,394 ± 0,350

**Tabela 2 – Resultados dos ensaios físicos.**

**Fonte:** Autores, 2025.

Em relação à absorção de água, observa-se que o valor médio da MP foi menor comparado aos valores dos compósitos. Essa diferença pode estar relacionada às propriedades da resina ortoftálica, que possui caráter hidrofóbico e impermeável, características típicas de materiais poliméricos (Sanchez, 2010).

Nos resultados da porosidade aparente, observa-se um aumento nos compósitos quando comparados à matriz plena. Este efeito pode ser atribuído ao método de confecção

utilizado, possibilitando a formação de fissuras e espaços vazios devido à aplicação manual da fibra à medida que a matriz é saturada. Embora os compósitos apresentem uma superfície aparentemente adequada, é possível conter imperfeições estruturais não sendo visíveis a olho nu (Levy Neto e Pardini, 2016).

Pode-se afirmar que a adição da FCA, independentemente da fração mássica, resultou em um aumento da PA e da AA dos compósitos caracterizados. Esse fato pode estar relacionado à natureza hidrofílica das fibras vegetais, que resulta em uma mínima adsorção de grande parte dos polímeros em sua superfície, gerando mínima adesão interfacial fibra-matriz (Nóbrega, 2006).

Os resultados obtidos no ensaio de tração, de acordo com a Tabela 3, mostram que todas as composições contendo as FCA demonstraram uma resistência à tração inferior à da MP. A composição FCA - 1% foi 59,63% inferior ao valor da MP na análise do Limite de Resistência à Tração (LRT). Segundo a pesquisa de Lopes (2017), os resultados inferiores das composições com FCA em comparação com a MP podem estar relacionados a uma baixa adesão das fibras à matriz, pois a estrutura hidrofílica das fibras vegetais não é quimicamente compatível com a estrutura da matriz, que possui caráter hidrofóbico.

Composições	LRT (MPa)	Alongamento (mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)
MP (0%)	46,72 ± 2,05	8,30 ± 1,38	0,53 ± 0,06
FCA – 1%	18,86 ± 3,59	5,26 ± 1,48	0,25 ± 0,07
FCA – 2%	24,59 ± 2,16	4,77 ± 0,69	0,43 ± 0,11
FCA – 3%	28,40 ± 2,79	8,38 ± 1,49	0,24 ± 0,08

**Tabela 3** – Resultados do ensaio de tração.

**Fonte:** Autores, 2025.

Observa-se, também, que a composição FCA - 3% obteve melhor desempenho mecânico quando comparada a outros compósitos confeccionados com diferentes proporções, alcançando o valor de 28,40 MPa, que, mesmo sendo a composição mais próxima dos resultados da MP, atuou como carga de enchimento, por apresentar resultados inferiores em relação a MP.

Assim, a redução nos valores de resistência à tração do compósito com FCA pode estar relacionada à resina utilizada. Conforme destacado por Pereira (2021), a resina poliéster ortoftálica, embora apresente menor custo em comparação a outras, como a isoftálica ou a epóxi, atua com menor desempenho mecânico aos compósitos. Entretanto, a Tabela 4 mostra uma análise comparativa do LRT da composição FCA - 3% com outras literaturas que abordam compósitos reforçados com fibras naturais.

Composições	LRT (MPa)	Fonte
FCA – 3%	28,40 ± 2,79	Este trabalho
Fibra de Sisal – 20%	19,60 ± 5,20	Simonassi <i>et al.</i> (2017)
Fibra de Ráfia – 10%	8,46 ± 1,18	Oliveira Filho <i>et al.</i> (2020)

**Tabela 4** – Comparativo do ensaio de tração com outras literaturas.

**Fonte:** Autores, 2025.

Os resultados de resistência à tração dos compósitos com fibras da coroa do abacaxi apresentaram valores superiores comparados aos demais compósitos poliméricos com fibras naturais descritos na literatura.

Essa diferença, quando comparada à outras cargas, pode ser atribuída, principalmente, à boa adesão interfacial entre a matriz e os reforços, favorecendo a homogeneização e a eficiente transferência de tensões. Além disso, a morfologia superficial da FCA, caracterizada por uma superfície rugosa, pode ter contribuído para uma maior adesão na matriz (Ansari *et al.*, 2023).

Outro fator relevante é o método de fabricação manual, que, quando bem homogeneizado, pode influenciar diretamente na impregnação das cargas à matriz (Costa, 2016). Portanto, em comparação com as literaturas, a fibra da coroa do abacaxi mostrou-se promissora, aumentando a resistência dos compósitos quando submetidos a esforços de tração.

## CONCLUSÃO

A massa específica da fibra alcançou um valor de 1,14 g/cm<sup>3</sup>. As análises morfológicas realizadas por MEV mostraram uma textura rugosa e irregular na superfície, proporcionando maior eficiência de transferência de tensão no compósito.

A inserção da FCA reduziu a MEA dos compósitos nas proporções em massa de 1%, 2% e 3%. Constatou-se o aumento da PA e da AA nos compósitos fabricados com a FCA.

Para o ensaio mecânico de tração, a dificuldade de impregnação da interface matriz/reforço fez com que elas desempenhassem a função de carga de enchimento, levando à redução da resistência à tração de todos os compósitos fabricados. A composição que apresentou o melhor desempenho mecânico foi a FCA - 3%, no ensaio de tração obteve como resultado 28,40 MPa. Essa composição não apenas contribuiu para a resistência do material, mas também para o aproveitamento desses resíduos, auxiliando na redução do impacto ambiental causado pelo descarte inadequado deles.

## **REFERÊNCIAS**

ADEPARÁ, A. N. (ed.). **Pará lidera a produção nacional de abacaxi e Adepará garante a sanidade do fruto.** 2020. Disponível em: <https://agenciapara.com.br/noticia/22042/para-lidera-a-producao-nacional-de-abacaxi-e-adepara-garante-a-sanidade-do-fruto>. Acesso em: 03 jul. 2024.

**ANSARI, M. S.; ZAFAR, S.; PATHAK, H.** A comprehensive review of surface modification techniques for carbon fibers for enhanced performance of resulting composites. *Results in Surfaces and Interfaces*, v. 12, p. 100141, 2023.

**ASTM D2734** – Standard Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2009.

**ASTM D570** – Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 1998.

**ASTM D638** - Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2014.

**ASTM D792** – Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2008.

**BARBOSA, K. A. L.** *Influência Granulométrica de Partículas de Rejeito Mineral e Adição de Fibras Vegetais nas Propriedades dos Compósitos Poliméricos*. 2021. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Pará, Belém.

**CALLISTER, JR. W.; RETHWISCH, D.** *Ciência e tecnologia de materiais: Uma introdução*. 10<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

**KAYS, S. J., PAULL, R. E.** Postharvest Biology. *Athens, Georgia: Exxon Press*, 2004.

**COSTA, D. S.** *Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais*. 2016. 229f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) - Universidade Federal do Pará, Belém.

**LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C.** *Compósitos estruturais: ciência e tecnologia*. Editora Blucher, 2016.

**LOPES, B. L. S.** *Polímeros reforçados por fibras vegetais uma revisão sobre esses compósitos*. Editora Blucher, 2017.

**MACHADO, M. L. C.; PEREIRA, N. C.; MIRANDA, L. F.; TERENCE, M. C.; PRADELLA, J. G. C.** *Estudo das Propriedades Mecânicas e Térmicas do Polímero Poli-3-Hidroxibutirato (PHB) e de Compósitos PHB/Pó de Madeira*. Polímeros, v. 20, n. 1, p. 65-71, mar 2010. SciELO.

**NÓBREGA, M. M. S.** *Propriedades mecânicas de compósitos de matriz poliéster reforçados por tecidos híbridos juta/vidro*. 2000. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

**OLIVEIRA, J. B.** *Obtenção e caracterização de compósitos de epóxi/microfibras elastoméricas/fibras de carbono para aplicações aeronáuticas*. 2020. 156f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica na Área de Materiais) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

OLIVEIRA FILHO, E. G.; LUZ, F. S.; FUJIYAMA, R. T.; SILVA, A. C. R.; CANDIDO, V. S.; MONTEIRO, S. N. **Effect of Chemical Treatment and Length of Raffia Fiber (*Raphia vinifera*) on Mechanical Stiffening of Polyester Composites.** Polymers, [S.L.], v. 12, n. 12, p. 2899, dez 2020. MDPI AG.

PEREIRA, W. A., CERON, I., SILVA, M. S., FREITAS, M. P. C. D., SILVA, E. R. D., & COSTA, F. M. D. (2021). **Desenvolvimento de compósitos poliméricos reforçados com fibra da folha do buriti.** Matéria (Rio de Janeiro), 26. 2021.

PRADO, K. S.; SPINACÉ, M. A. S. **Caracterização de fibras naturais provenientes de resíduos Agroindustriais.** In: Congresso brasileiro de polímeros, Campos do Jordão, p. 4051-4056. 2011.

SANCHEZ, E. M. S.; CAVANI, C. S.; LEAL, C. V.; SANCHEZ, C. G. **Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades.** Polímeros, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 194-200, out 2010. FapUNIFESP.

SIMONASSI, N. T.; GOULART, A.; FÉLIX, D. M.; CUNHA, G. C. F.; GLUCK, H. W.; REINALDO, I. L.; PESSANHA, L. F.; RAMOS, F. J. H. T. V. **Resistência a tração e flexão de compósitos de matriz policarbonato reforçados com fibra natural de sisal.** Revista Militar de Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, v. 34, n. 33, p. 13-14, out 2017.

STEFFEN, M. **Obtenção e caracterização de compósito de polipropileno reciclado com fibras de casca de arroz e de coroa de abacaxi.** 2022. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Feliz.