



**POLIÉSTER COM RESÍDUO DE MADEIRA (HYMENAEA COURBARIL E
HYMENOLOBIIUM PETRAEUM) E FIBRAS NATURAIS (CORCHORUS
CAPSULARIS E AGAVE SISALANA)**

Soares, R.V.¹; Dias, R.Y.C.²; Maia, P.V.M.³; Fujiyama, R.T.⁴

Universidade Federal do Pará – Instituto de Tecnologia

Faculdade de Engenharia Mecânica, 66075-110, Belém - PA

vilhenarafael007@gmail.com¹, yuricostad@gmail.com²,

eng.pedromendonca@hotmail.com³, fuiyama.ufpa@gmail.com⁴

RESUMO

Pesquisas envolvendo novos materiais demandam tecnologias voltadas ao uso de recursos naturais e renováveis, visando o desenvolvimento sustentável. A necessidade de novos produtos está relacionada ao acúmulo de resíduos no meio ambiente, incentivando debates ecológicos. No campo dos materiais compósitos, a substituição de componentes sintéticos por naturais é essencial, resultando em menor impacto ambiental e redução de custos. Neste contexto, este estudo avalia o comportamento mecânico de compósitos poliméricos reforçados por resíduos de madeira (jatobá e angelim pedra) e fibras naturais (juta e sisal). Corpos de prova padronizados pela norma ASTM D638 foram fabricados com resina poliéster e submetidos a ensaios de tração. Os resultados médios de resistência à tração foram: 11,76 ($\pm 1,70$) MPa para jatobá; 16,02 ($\pm 1,52$) MPa para angelim pedra; 19,70 ($\pm 1,42$) MPa para juta; e 20,28 ($\pm 1,09$) MPa para sisal.

Palavras-chave: Compósitos poliméricos, recursos naturais, sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

Na história da humanidade a argila reforçada por galhos de árvores, foi considerada um dos primeiros exemplos de materiais compósitos, altamente utilizados na construção civil nos tempos antigos (1).

Na atualidade, verifica-se a produção de variadas pesquisas a respeito de compósitos, que podem ser definidos como materiais multifásicos que costumemente apresentam duas fases, uma chamada de matriz e a outra de reforço, os atributos do material resultante são oriundos das fases que o constituem, compósitos eficientes possuem uma boa adesão entre as interfaces das fases (2). O propósito da união é prover características específicas para o material resultante, de acordo com determinada aplicação desejada (3).

Atualmente, o uso de compósitos de fibras naturais ganhou destaque em aplicações de engenharia, devido às suas características como baixa densidade e custo atrativo (4), além do fato deste tipo de reforço ser renovável, biodegradável e de baixo impacto ambiental, que são os aspectos mais avaliados na escolha destes materiais como reforço (5).

Suas características mecânicas são equiparáveis às de outros reforços normalmente utilizados. As fibras naturais são significativamente mais econômicas do que as fibras sintéticas e podem substituí-las em diversas aplicações onde o custo é um fator mais relevante do que a resistência (6).

Deste modo, diferentes matérias-primas de procedência vegetal estão sendo utilizadas pela indústria no lugar de outras fibras sintéticas comumente utilizadas como as de vidro. Fibras de sisal e juta são frequentemente mencionadas devido as suas propriedades mecânicas (7).

As fibras vegetais são compostas principalmente por celulose, hemicelulose, lignina, pectina e minerais. A celulose, um polissacarídeo linear de alta massa molecular, é o principal componente estrutural, proporciona estabilidade e resistência às fibras. Fibras como juta e sisal, possuem altos teores de celulose, tornando-as adequadas para utilização como material de reforço em compósitos (8). Por esses motivos, existe um interesse em substituir fibras sintéticas, por uma matéria-prima renovável, de baixo impacto ambiental (9).

O substrato de diferentes tipos madeira também se apresenta como uma alternativa na criação destes materiais, visto que, além desta matéria-prima ser renovável e apresentar variadas aplicações, sua utilização contribui para a redução do descarte irregular, tendo em vista que a decomposição desses resíduos ao ar livre pode ocasionar a propagação de metano, gás que auxilia na intensificação do efeito estufa (10).

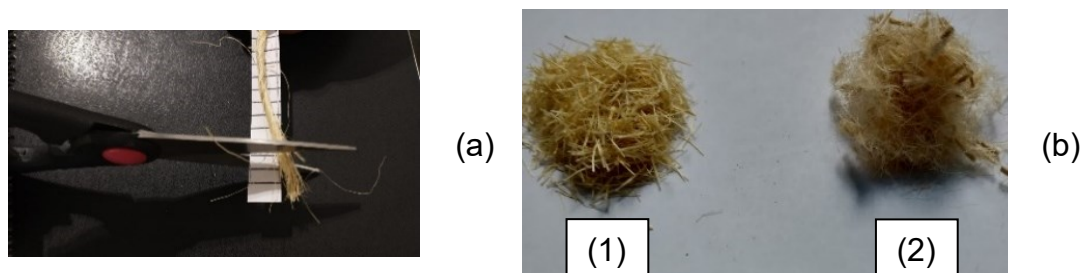
Diante deste contexto ecológico, existem pesquisas que visam a utilização de materiais naturais em compósitos, como a exemplo de Kuwahara *et al.*, 2013 (11) que apresentou 16,23 MPa como resultado do valor médio de resistência à tração, utilizando fibra de sisal com o comprimento padrão de 5 mm. Costa *et al.*, 2012 (12) produziram uma pesquisa utilizando a fibra de bambu como reforço, que na avaliação da sua resistência obtiveram 17,94 MPa para o mesmo comprimento utilizado. Já Barbosa *et al.*, 2020 (13) apresentaram 13,52 MPa utilizando juta como reforço no seu material. Em se tratando de resíduos como reforço, Lopes *et al.*, 2013 (14) obtiveram valores médios de resistência à tração de 13,40 MPa em seu trabalho com substrato de Angelim, utilizando uma peneira de 600 µm. Por conseguinte, Figueiredo *et al.*, 2009 (15), obtiveram 12,55 MPa de resistência à tração empregando Pau-amarelo (*Plathymenia*) como reforço no seu compósito.

Portanto, este estudo avalia o comportamento mecânico de compósitos poliméricos reforçados por resíduos de madeira (jatobá e angelim pedra) e fibras naturais (juta e sisal). Corpos de prova padronizados pela norma ASTM D638 foram fabricados com resina poliéster e submetidos a ensaios de tração. O objetivo é avaliar se o material demonstra propriedades competitivas quando comparado a estudos semelhantes disponíveis na literatura.

MATERIAIS E MÉTODOS

O substrato das madeiras jatobá e angelim pedra, e as fibras naturais de juta e sisal, foram cedidas pelo Laboratório de materiais compósitos (LABCOM) da Universidade Federal do Pará (UFPA). A partir da obtenção da matéria-prima original, realizou-se o procedimento de uniformização das amostras para o reforço dos compósitos, os resíduos de madeira foram submetidos ao peneiramento, utilizando-se de uma peneira granulométrica com abertura de 1,4 mm e malha 14. As fibras foram cortadas em formato padrão, usando como base um papel milimetrado com comprimento de 5 mm, não houve tratamento químico ou qualquer alteração adicional no material. A figura 1 (a) apresenta os equipamentos utilizados para a padronização do corte e a figura 1 (b) ilustra as fibras de sisal (1) e juta (2) após o corte.

Figura 1. (a) Ilustração dos equipamentos utilizados para a padronização
(b) Fibras de Juta e Sisal



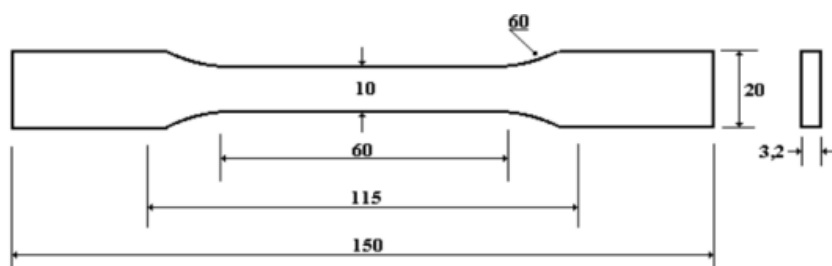
Visualiza-se na figura 2 (a) a peneira granulométrica com abertura de 1,4mm utilizada na separação dos resíduos, na figura 2 (b) e (c) pode-se observar o substrato de bruto de jatobá e o mesmo já peneirado e pesado na balança de precisão, respectivamente. O mesmo processo também foi realizado com o angelim-pedra.

Figura 2. (a) Peneira (b) Jatobá (c) Jatobá peneirado



Após o processamento das matérias-primas de reforço, verificou-se a quantidade de material necessário para que os moldes de silicone padronizados pela norma ASTM D638, com dimensões estipuladas conforme figura 3, tivessem as suas 4 lacunas totalmente preenchidas. O comprimento útil do material representa a região na qual deve ocorrer a falha durante o ensaio para o sucesso do teste, diz respeito aos 60 mm centrais do corpo de prova.

Figura 3 - Dimensões do corpo de prova de acordo com a norma ASTM D638



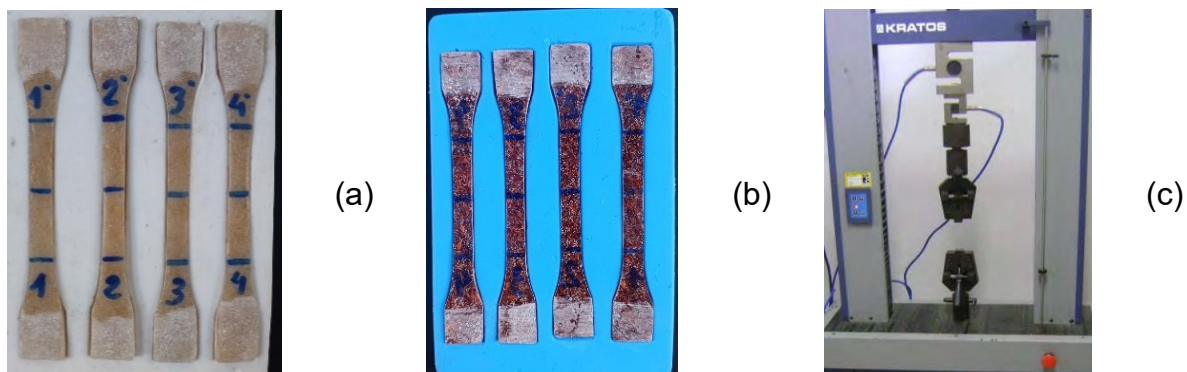
A figura 4 (a) apresenta os moldes de silicone com quatro compartimentos padronizados, os quais foram preenchidos com o reforço para mensurar a quantidade necessária de material para a confecção dos corpos de prova. Para a fabricação do compósito, a fase matriz escolhida foi a resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada, o catalisador MEK V388, sendo 0,3 g de catalisador para 61,5 g de resina, foi utilizado para acelerar o processo de cura, ou seja, a solidificação do material, tendo em vista que este é naturalmente demorado. A figura 4 (b) ilustra a resina poliéster utilizada, enquanto a figura 4 (c) o catalisador MEK.

Figura 4 - (a) Moldes de silicone (b) Resina poliéster tereftálica (c) Catalisador MEK



Após um período de cura de 24 horas e uma pós cura de 5 horas em estufa à uma temperatura próxima de 60 °C, os corpos de prova já rígidos estavam prontos para serem submetidos a ensaios de resistência à tração. As figuras 5 (a) e 5 (b) representam o aspecto dos corpos de prova fabricados com o reforço de uma das fibras e um dos resíduos, sendo estes a juta e o jatobá, respectivamente. Na figura 5 (c), tem-se a máquina universal de ensaios utilizada, sendo está a Kratos modelo MKCA - KE com célula de carga de 5 kN, executado em uma velocidade de 5 mm/min, de acordo com a norma ASTM D638.

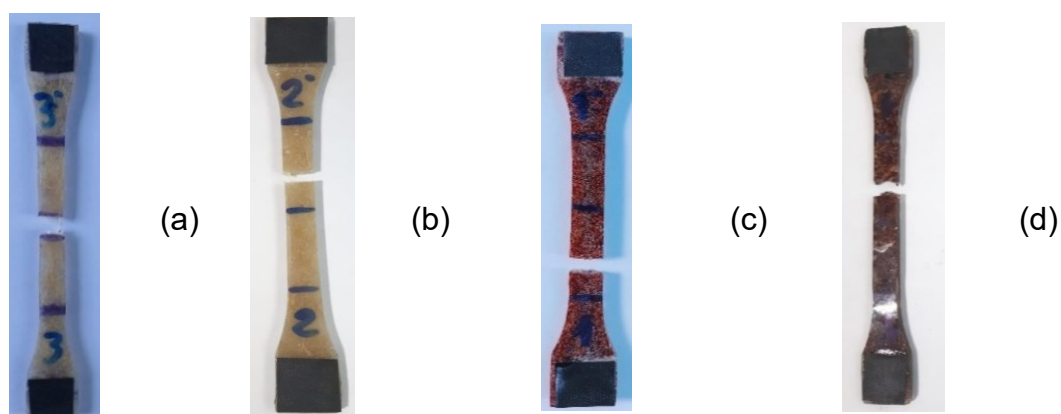
Figura 5. Corpos de prova com reforço de (a) fibras e (b) resíduos (c) máquina de ensaios



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os ensaios de resistência à tração, observa-se que o rompimento no comprimento útil aconteceu para os corpos de prova de ambos os tipos de reforço, como pode-se observar na figura 6, que ilustram o rompimento para os corpos de prova fabricados com sisal, juta, angelim e jatobá, respectivamente. Para melhor fixação dos corpos de prova durante o ensaio, evitando escorregamentos, lixas foram acopladas em suas extremidades.

Figura 6 - Fratura nos corpos de prova de (a) sisal (b) juta (c) angelim e (d) jatobá



O software da máquina proporcionou os resultados das propriedades dos corpos de prova dos fabricados. A tabela 1 apresenta os resultados obtidos por meio do ensaio de resistência à tração.

Tabela 1. Resultados do ensaio

Reforço	Tensão (MPa)	Deformação (mm/mm)	Módulo de young (MPa)
Sisál	20,28 ($\pm 1,09$)	(0,053 $\pm$ 0,034)	429,12 ($\pm 47,21$)
Juta	19,70 ($\pm 1,42$)	(0,049 $\pm$ 0,008)	542,61 ($\pm 61,35$)
Angelim	16,02 ($\pm 1,52$)	(0,040 $\pm$ 0,005)	509,05 ($\pm 31,06$)
Jatobá	11,76 ($\pm 1,70$)	(0,033 $\pm$ 0,004)	480,75 ($\pm 38,96$)

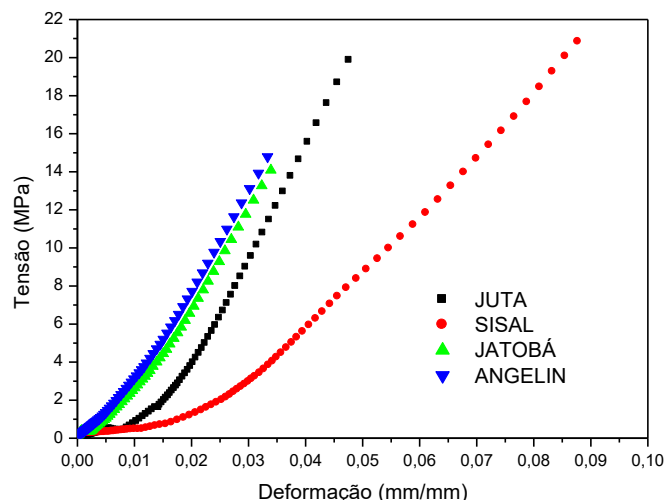
A tabela 2 apresenta as variações de percentuais dos compósitos fabricados, tendo o de sisal como o valor de referência para as fibras e o angelim para os resíduos, devido a estes demonstrarem propriedades superiores em relação aos outros dois tipos de reforço.

Tabela 2. Relação das propriedades dos compósitos

Reforço	Tensão (MPa)	Variação percentual (%)
Variação em relação ao valor do sisal (20,28)		
Juta	19,70	2,86%
Variação em relação ao valor do angelim (16,02)		
Jatobá	11,76	26,60%

Analisando a tabela, pode-se observar que além das diferenças de valores dos dois tipos de reforço entre si, os compósitos fabricados com fibras demonstraram propriedades superiores em comparação aos resíduos. A figura 7 apresenta o gráfico do comportamento Tensão x Deformação dos compósitos fabricados, na qual é possível verificar a variabilidade nos valores das propriedades de ambos os reforços e a constatação dos resultados obtidos e apresentados na tabela 1. As curvas correspondem à média das curvas dos corpos de provas ensaiados para os quatro materiais.

Figura 7. Comportamento da tensão versus deformação dos materiais obtidos em ensaio de tração.



Se analisados individualmente, os quatro materiais, observa-se que embora percentual de tensão máxima de 2,86% maior do sisal em relação à juta, o compósito reforçado por fibra de juta apresentou maior rigidez. Para os substratos, foi verificado um comportamento bem similar em sua linearidade e inclinação, o angelim alcançou 26,60% de tensão máxima maior que o jatobá.

Acredita-se que um dos motivos para as diferenças nos resultados se deve à presença de imperfeições nos materiais após a solidificação, porém, se comparados com outros trabalhos presentes na literatura, observa-se um contraste positivo das propriedades dos materiais aqui trabalhados. O compósito fabricado com matriz poliéster e sisal puro cortado em 5 mm como reforço, apresentou um limite de resistência à tração superior se comparado aos resultados obtidos por Kuwahara *et al.*, 2013 (11), que obteve 16,23 MPa, utilizando da mesma técnica de fabricação (laminação manual), matriz e reforço, e também sendo inferior se comparado aos valores observados para os compósitos fabricados com juta.

Além disso, Costa *et al.*, 2012 (12) alcançou 17,94 ($\pm 1,98$) MPa de resistência à tração em seu trabalho empregando fibras de bambu como reforço e cortadas em 5mm, que em contraste com os produtos trabalhados na presente pesquisa, também aponta a eficiência da metodologia de fabricação que foi aplicada para os compósitos puros de fibra de juta e sisal. Além disso, outro fator que influencia no comportamento mecânico do compósito, é a escolha da matriz. Os dados obtidos por Barbosa *et al.*, 2020 (13), a partir da resina poliéster isoftálica e agentes catalíticos: acelerador de

cobalto 1,5 % e iniciador MEK-P 1,0 % (Butanox M-50), demonstram que as especificações de matriz poliéster presentes no atual trabalho, culminou em resultados de resistência à tração superior em comparação com o do autor, sendo 13,52 MPa em um compósito produzido com fibra de juta.

Por conseguinte, em se tratando dos resíduos de madeira os resultados de resistência à tração obtidos no presente estudo para o compósito fabricado com resíduos de angelim pedra mostraram-se superiores aos relatados por Lopes *et al.*, 2013 (14). Enquanto o autor apresenta uma resistência à tração média de 13,40 MPa, os compósitos desenvolvidos nesta pesquisa apresentaram uma resistência média de 16,02 MPa. Entretanto, observa-se que compósito fabricado com jatobá apresentou propriedades inferiores, e em nível de comparação com o compósito produzido por Figueiredo *et al.*, 2009, que utilizou Pau-amarelo (*Plathymenia*) como reforço, o jatobá demonstra visível inferioridade ao valor de 12,55 MPa apresentado pelo autor.

Essas diferenças de resultados podem ser atribuídas a diversos fatores. Os métodos de processamento e as proporções dos materiais utilizados nos compósitos podem ter um impacto considerável na resistência à tração. No presente estudo, foram adotadas técnicas de processamento e proporções que possivelmente otimizaram a integração das fibras no compósito. Além disso, a ocorrência de defeitos nos materiais, tais como a presença de vazios, devido a presença de bolhas resultantes da reação de cura, que acabam retidas em pontos específicos do compósito podem reduzir a eficiência mecânica do material, atuando concentradores de tensão (16).

CONCLUSÕES

Os compósitos reforçados com fibras de sisal, juta e resíduos de madeira de angelim-pedra e jatobá possuem propriedades mecânicas distintas e promissoras, tendo em vista as comparações feitas com os referidos autores. A análise dos ensaios de tração revelou que os compósitos de sisal e juta apresentam maiores resistências à tração em comparação aos resíduos de angelim e jatobá. Especificamente, o compósito de sisal exibiu a maior resistência à tração, seguido de perto pelo compósito de juta, ambos superando os valores observados para os compósitos reforçados com resíduos.

Além disso, no que diz respeito ao processo de fabricação, foram avaliados possíveis problemas que podem ter influenciado a discrepância nos resultados obtidos. Primeiramente, pelo fato de o processo ser inteiramente manual, há uma suscetibilidade maior a erros, o que pode resultar em falhas superficiais nos corpos de prova, falhas denominadas de vazios, que atuam como concentradores de tensão e auxiliam no rompimento do material.

Ademais, os resultados positivos obtidos para os compósitos reforçados com sisal e juta indicam que esses materiais têm potencial significativo para aplicações que exigem alta resistência mecânica. Além disso, a utilização de resíduos de madeira, apesar das suas limitações, representa uma abordagem sustentável e ecologicamente viável para a valorização de subprodutos da indústria madeireira.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da PROPESP/UFPA pela bolsa de Iniciação Científica, Faculdade de Engenharia Mecânica-UFPA, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica-UFPA e a CAPES e CNPq.

REFERÊNCIAS

- 1- SAPUAN, S. M. e MALEQUE, M. A. Design and fabrication of natural woven fabric reinforced epoxy composite for household telephone stand. *MATERIALS & DESIGN*, v. 26, n. 1, p. 65-71, 2005.
- 2- CALLISTER JÚNIOR, W. D; RETHWISCH, D. G. *Ciência e Engenharia dos Materiais - uma Introdução*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1014p. (2018).
- 3- CARVALHO, R. F. *Compósitos de fibras de sisal para uso em reforço de estruturas de madeira*. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo 2005.
- 4- NETO, L. S. G. *Utilização de fibras naturais como reforço de materiais compósitos poliméricos*. *Brazilian Journal of Development*, v. 9, n. 12, p. 30815-30824, 2023.

- 5- VIEIRA, L. M. G. Efeito do tratamento químico e da adição de nano sílica em compósitos híbridos de sisal. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de São João Del-Rei, São João Del Rei. 2013.
- 6- JOSEPH, K., TOLÊDO, R. D., JAMES, B., THOMAS, S., & CARVALHO, L. H. D. (1999). Compósitos poliméricos reforçados com fibras de sisal. REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL, 3, 367-379.
- 7- BROSIUS, D. Natural fiber composites slowly take root. COMPOSITES TECHNOLOGY, v. 12, n. 1, p. 32-37, 2006.
- 8- MOTA, CLP, GOMES, I. DOS S., VILHENA, ES DE, PEREIRA, LC DE O., ROCHA, T.O. DOS S., NASCIMENTO, A. DA S., CARDOSO, RLB, & FUJIYAMA, RT. Influência da adição de pigmento em materiais compósitos de matriz de poliéster reforçados por fibras de sisal (Agave sisalana) e de piaçava (Attalea funifera) / Influence of pigment addition on sisal (Agave sisalana) and piaçava (Attalea funifera) fibers reinforced polyester matrix composites. REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS APLICADAS. 3 (2), 805–819. <https://doi.org/10.34115/basr.v3i2.898>.
- 9- NETO, J. R. A; CARVALHO, L. H.; ARAÚJO, E. M. Influência da adição de uma carga nanoparticulada no desempenho de compósitos poliuretano/fibra de Juta. POLÍMEROS: CIÊNCIA E TECNOLOGIA, v. 17, n. 1, p. 10-15, 2007.
- 10-LIMA, T. C. Q. D. O., DOS SANTOS, F. T., DE MORAES SILVEIRA, N. C., ROVERE, B., & NÓBREGA, C. C. Estimativa de emissão de metano a partir da degradação de resíduos sólidos urbanos no aterro sanitário metropolitano de João Pessoa/Paraíba. 2º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, Foz do Iguaçu, 2019.
- 11-KUWAHARA, MOACIR; C., SILVA DA, D.; BANNA, W. R. EL.; SANTOS, J. A.; FUJIYAMA, R.T. Caracterização de materiais compósitos de matriz poliéster e fibras de sisal com comprimento híbrido de 5 a 15 mm. In: 68º Congresso da ABM, São Paulo, 2013.
- 12- COSTA, D. S.; LACERDA, N. N. N.; FUJIYAMA, R. T. Avaliação mecânica e microestrutural de compósitos de fibras de bambu. In: 67º Congresso da ABM - Internacional / 12º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, Rio de Janeiro, 2012.

- 13-BARBOSA, K. S. L. et al. Caracterização mecânica de compósitos poliméricos com fibras curtas de juta. BRAZILIAN APPLIED SCIENCE REVIEW, v. 4, n. 3, p. 1474-1481, 2020.
- 14-LOPES, V. B. P.; LEITE; CABRAL, J.; FUJIYAMA, R. T. Materiais compósitos de matriz poliéster reforçados com resíduos de madeira de diferentes MORFOLOGIAS. 12° Congresso Brasileiro de Polímeros (12°CBPol). Florianópolis - SC, 2013.
- 15-FIGUEIREDO, G. S.; MIRANDA, G. F.; SILVA, S. C.; NASCIMENTO, G. M.; BRANCO, C. T. N. M. ; FERNANDES, E. A. ; FUJIYAMA, R. T. . Uso de resíduo de madeira de baixa densidade como carga em compósitos de matriz poliéster. In: 68ª Reunião Anual da SBPC, 2016, Porto Seguro. 68ª Reunião Anual da SBPC. Porto Seguro: 2176-1221, 2016. v. 1.
- 16-NASSEH, J., 2021. Processo de infusão à vácuo em composites. Rio de Janeiro: Barracuda Advanced Composites.

**POLYESTER WITH WOOD RESIDUE (HYMENAEA COURBARIL AND
HYMENOLOBIUM PETRAEUM) AND NATURAL FIBERS (CORCHORUS
CAPSULARIS AND AGAVE SISALANA)**

ABSTRACT

Research involving new materials demands technologies aimed at the use of renewable natural resources, aiming sustainable development. The need for new products is related to the accumulation of waste in the environment, encouraging ecological debates. In the field of composite materials, replacing synthetic components with natural ones is essential, resulting in lower environmental impact and cost reduction. In this context, this study evaluates the mechanical behavior of polymer composites reinforced by wood residues (jatoba and angelim stone) and natural fibers (jute and sisal). Specimens standardized by ASTM D638 were manufactured with polyester resin and subjected to tensile tests. The average tensile strength results were: 11.76 (± 1.70) MPa for jatoba; 16.02 (± 1.52) MPa for stone angelim; 19.70 (± 1.42) MPa for jute; and 20.28 (± 1.09) MPa for sisal

Keywords: Polymeric composites, natural resources, sustainability