

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

DOI: 10.46814/lajdv4n2-005

Recebimento dos originais: 04/02/2022

Aceitação para publicação: 01/03/2022

Valério Urbano da Silva Neto

Engenheiro Mecânico

Instituição: Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Amazonas
Manaus, AM

Dirección: Ave. Darcy Vargas 1200, Parque 10, Manaus AM, CEP 69050-020

Correo electrónico: vusn.eng@uea.edu.br

Gilberto Garcia del Pino

Doutor

Instituição: Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Amazonas
Manaus, AM

Dirección: Ave. Darcy Vargas 1200, Parque 10, Manaus AM, CEP 69050-020

Correo electrónico: gpino@uea.edu.br

Carlos Henrique dos Santos Setubal

Engenheiro Mecânico

Instituição: Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Amazonas
Manaus, AM

Dirección: Ave. Darcy Vargas 1200, Parque 10, Manaus AM, CEP 69050-020

Correo electrónico: chss.eng18@uea.edu.br

Abderrezak Bezazi

Doutor

Instituição: Laboratoire de Mécanique Appliquée des Nouveaux Matériaux (LMANM)

Dirección: Université 8 Mai 1945 BP 401, Guelma 24000, Algér.

Correo electrónico: ar_bezazi@yahoo.com

Sávio Guilherme Azevedo Rodrigues

Engenheiro Mecânico

Instituição: Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Amazonas
Manaus, AM

Dirección: Ave. Darcy Vargas 1200, Parque 10, Manaus AM, CEP 69050-020

Correo electrónico: sgar.eng18@uea.edu.br

Antonio Claudio Kieling

Doutor

Instituição: Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Amazonas
Manaus, AM

Dirección: Ave. Darcy Vargas 1200, Parque 10, Manaus AM, CEP 69050-020

Correo electrónico: akieling@uea.edu.br

Marcos Dantas dos Santos

Mestre

Institución: Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Amazonas
Manaus, AM

Dirección: Ave. Darcy Vargas 1200, Parque 10, Manaus AM, CEP 69050-020
Correo electrónico: mdsantos@uea.edu.br

Aristides Rivera Torres

Doutor

Institución: Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Amazonas
Manaus, AM

Dirección: Ave. Darcy Vargas 1200, Parque 10, Manaus AM, CEP 69050-020
Correo electrónico: artorres@uea.edu.br

RESUMO

Hoje no mundo observa-se uma corrida na busca por materiais oriundos de fontes renováveis. O uso de fibras vegetais reforçando polímeros, por exemplo, representa uma alternativa na substituição de fibras de vidro ou de carbono em compósitos. O curauá é uma planta legitimamente brasileira, de fácil cultivo e processamento, que produz fibras de ótimo desempenho mecânico. Neste trabalho é feita uma avaliação de compósitos de matriz de resina epóxi e fibras vegetais, cuja fibra é extraída das folhas de uma planta da região amazônica chamada curauá (*Ananas erectifolius*). O objetivo do trabalho é estudar o comportamento mecânico em tração de compósitos poliméricos de matriz epóxi reforçados com fibras contínuas e alinhadas de curauá. As fibras de curauá foram separadas e foi definido um processo simples para a limpeza (lavagem e secagem), separação por grupos e o corte das fibras in natura. Compósitos de matriz de resina epóxi e fibras vegetais curauá foram moldados em diferentes grupos com diferentes porcentagens de fibras em relação ao compósito. Depois disso, as placas com resina e fibra foram cortadas com um laser, segundo as dimensões definidas pela norma D638, produzindo os corpos de prova que seriam usados nos ensaios mecânicos de tração. Posterior aos ensaios mecânicos corpos de prova foram avaliados no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) após a ruptura. Como resultado deste trabalho, é possível concluir que o uso das fibras, mesmo sem tratamento químico, é satisfatório afinal com apenas 30% de fibras é possível, praticamente, duplicar a resistência do material que saiu de aproximadamente 34 MPa (resina pura) para aproximadamente 65 MPa. As aplicações desses compósitos com a fibra amazônica curauá podem substituir, em vários casos, os compósitos de fibras sintéticas, proporcionando um menor impacto ao meio ambiente, ajudando na sustentabilidade e podendo até gerar novas fontes de emprego para as populações mais pobres da Amazônia.

Palavras chave: compósitos, curauá, resina epóxi.

ABSTRACT

Today in the world there is a race in the search for materials from renewable sources. The use of vegetable fibers reinforcing polymers, for example, represents an alternative to replacing glass or carbon fibers in composites. Curauá is a legitimately Brazilian plant, easy to grow and process, which produces fibers with excellent mechanical performance. In this work, an evaluation of epoxy resin matrix composites and vegetable fibers is made, whose fiber is extracted from the leaves of a plant in the Amazon region called curauá (*Ananas erectifolius*). The aim of this work is to study the mechanical behavior in tensile strength of epoxy matrix polymer composites reinforced with continuous and aligned curauá fibers. The curauá fibers were separated and a simple process was defined for cleaning (washing and drying), separating into groups and cutting the fibers in natura. Epoxy resin matrix

composites and curauá plant fibers were molded into different groups with different percentages of fibers in relation to the composite. After that, the resin and fiber boards were cut with a laser, according to the dimensions defined by the D638 standard, producing the specimens that would be used in the mechanical tensile tests. After the mechanical tests, specimens were evaluated in the Scanning Electron Microscope (SEM) after rupture. As a result of this work, it is possible to conclude that the use of fibers, even without chemical treatment, is satisfactory. After all, with only 30% of fibers it is possible to practically double the strength of the material, which went from approximately 34 MPa (pure resin) to practically 65 MPa. The applications of these composites with Amazonian curauá fiber can replace, in several cases, synthetic fiber composites, providing a lower impact on the environment, helping sustainability and even generating new sources of employment for the poorest populations in the Amazon.

Keywords: composites, curauá fiber, epoxy resin.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, em virtude das crescentes preocupações ambientais, está havendo uma renovação crescente do interesse em materiais compostos derivados de matéria-prima lignocelulósicas. Uma grande quantidade de pesquisas foi conduzida em vários tipos de fibras vegetais para identificar alguns substitutos promissores para o E-glass, reforço de compósito tradicional. Além da biodegradabilidade, disponibilidade e baixo custo, as fibras naturais podem trazer vantagens técnicas, como altas propriedades mecânicas específicas, amortecimento vibracional e isolamento acústico. [01, 02]

Devido ao grande avanço da tecnologia vem sendo necessário cada vez mais o uso de materiais com propriedades específicas, para que sejam utilizados nas mais diversas aplicações [03]. Dentro desse contexto, encontram-se os materiais compósitos, que podem ser produzidos a partir da combinação de dois ou mais materiais, resultando em um material com propriedades melhores que a de seus materiais separados. [04]

Os materiais compósitos são constituídos basicamente por duas fases: a primeira é a matriz que é a fase contínua e envolve a segunda fase conhecida como dispersa. Essas combinações de fases podem relacionar características únicas em cada material, formando a partir destes materiais com propriedades desejáveis para aplicações específicas. [03, 05, 06]

Callister (2016) [03], classifica os materiais compósitos em três divisões principais: os compósitos reforçados por fibras, os compósitos reforçados por partículas e os compósitos estruturais. Os compósitos poliméricos reforçados com fibras, são formados por uma fase matriz que pode ser uma resina e a outra é a fase de fibra, as fibras podem ser sintéticas ou naturais. [07, 08]

Com as combinações das propriedades de cada uma das fases dos compósitos reforçados por fibras, o novo material apresenta maiores limites de resistência, módulo de Young e resistência

específica ao incorporar fibras mecanicamente resistentes, em uma matriz com menor massa específica e mais dúctil. O material da matriz transmite as tensões para as fibras, que por sua vez resistem a força aplicada. A matriz também age como proteção para o reforço impedindo a ação de agentes externos, que possam causar a degradação de suas propriedades mecânicas. [04, 09]

As fibras naturais vêm sendo apontados como ótimas alternativas na substituição das fibras de vidro por terem uma produção de baixo custo e por não requerer equipamentos sofisticados. Apresentando-se também condições de trabalho mais seguras em relação às fibras de vidro. Os aspectos mais interessantes sobre as biofibras é que são oriundas de fontes renováveis, neutras em relação a emissão de dióxido de carbono quando compostadas ou sofrem combustão, são encontradas em grande quantidade e com facilidade, além de possuírem boas propriedades mecânicas. [10-12]

O curauá é uma planta nativa da região amazônica com ótimas propriedades mecânicas, de fácil cultivo e processamento e pode ser cultivado em consórcio com outras culturas, incluindo áreas de reflorestamento e produção de madeira, podendo ainda ser colocado como mais uma fonte de renda para pequenos agricultores. O incentivo ao cultivo do curauá pode se tornar uma importante fonte de emprego e renda em regiões carentes. Não somente a indústria automotiva e têxtil, mas também outros setores podem se beneficiar com a expansão desta cultura. [13-16]

Os compósitos reforçados com fibras naturais possuem uma tendência mundial por serem materiais ambientalmente corretos pois são recicláveis, renováveis e biodegradáveis e também de baixo custo. [17, 18]

Neste contexto, este estudo tem o intuito de mostrar as vantagens do uso da fibra vegetal curauá em compósitos epóxi e assim melhorar as propriedades mecânicas do mesmo. Não somente isso, mas também atentar as indústrias para a busca por produtos mais ecológicos para que quando utilizados ou descartados tenham um mínimo efeito poluente ou se possível, nenhum.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados nos compósitos poliméricos desenvolvidos neste trabalho foram:

a) As fibras de curauá utilizadas nessa pesquisa são oriundas da cidade de Santarém, Estado do Pará, Brasil, e foram recebidas do SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial) de Santarém in natura.

b) Duas resinas epóxi transparente 2001 (0,670 Kg) com dois endurecedores epóxi 3154 (0,330 Kg).

A resina epóxi, base do sistema, é um produto líquido resultante da reação da epícloridrina com o bisfenol A e o endurecedor é a base de poliamida modificada o que promove uma melhor adesão com boa resistência térmica, química e mecânica.

Esse sistema epóxi possui excelente transparência e boa retenção de cores, boa fluidez, facilidade de processamento, contração mínima, não libera subprodutos, excelentes propriedades dielétricas com alta isolamento, resistência química elevada, estabilidade aos ciclos térmicos, impactos e ações mecânicas, boa adesão, resistência mecânica e fácil impregnação na aplicação em laminação.

c) Um aditivo antibolhas Siladit 53 para resinas epóxi [100 g].

O Siladit 53 é uma solução de polímeros de silicone em hidrocarbonetos com uma importante propriedade de reduzir bolhas e a formação de espuma em sistemas não aquosos.

d) Um desmoldante TecGlaze N que é uma cera indicada para a desmoldagem de peças de compósitos. Sua formulação é composta por carnaúba e outros componentes especiais que permitem uma fácil aplicação e múltiplas desmoldagens.

As fibras foram preparadas segundo o fluxograma da Figura 1

Figura 1: Fluxograma de preparação das fibras



Primeiramente, as fibras foram lavadas em água corrente para a retirada de todas as sujeiras e em seguida penteadas para que ficassem bem uniformes. Depois, foram secas ao ar livre por 8h. Logo após, foram cortadas em tamanhos de 180mm e separadas em grupos por peso em gramas, segundo a tabela 1. Cada grupo contém 3 agrupamentos de fibras cortadas com o mesmo tamanho, totalizando 51 agrupamentos.

O peso do volume do corpo de prova completo de resina é 8,5 gramas (foi determinado multiplicando o volume pela densidade da resina de $1,005 \text{ g/cm}^3$). Na coluna 2 da tabela estão as porcentagens em peso de fibra (wt%) em relação ao peso de 8.5g

Antes de serem feitos os corpos de prova os grupos de fibras foram secos em uma estufa com circulação forçada de ar (Marca QUIMIS, Modelo 0317M-72), imediatamente antes da moldagem dos compósitos, na temperatura de 100°C por 50 min. Foi utilizado um molde de aço de $260 \times 165 \text{ mm}$ de área interna composto por dois componentes, uma parte inferior onde se encontra a cavidade e outra parte superior ou macho que ao unirem sobra um espaço vazio correspondente a espessura da placa do compósito (3,2 mm). Primeiramente se passou o desmoldante no molde e aguardou o tempo de secagem dele. Depois uniu-se os componentes da resina e se agitou manualmente por 15 minutos. Os componentes foram a resina epóxi transparente 2001 (0,670 Kg), o endurecedor epóxi 3154 (0,330 Kg)

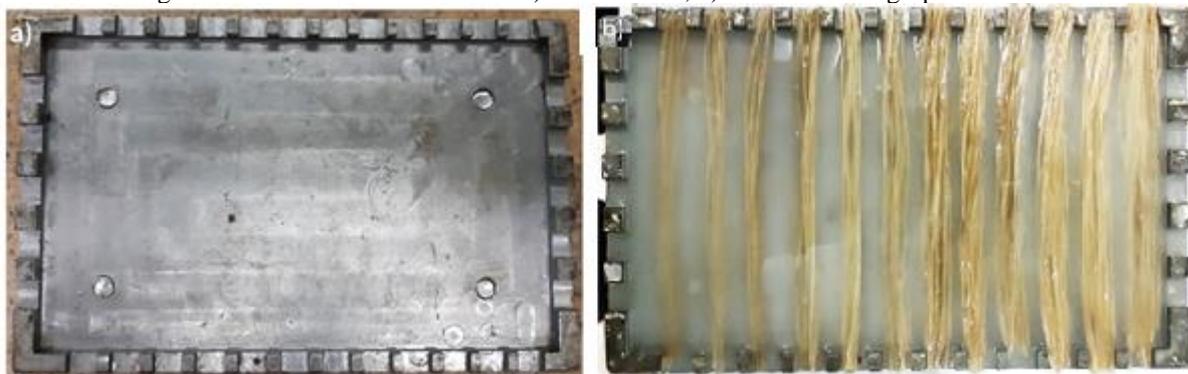
e o antibolhas Siladit 53 para resinas epóxi [100 g] na seguinte proporção: 82,5g de resina, 41,5g de endurecedor e 4g de antibolhas. A fabricação dos corpos de prova seguiu o fluxograma da Figura 2:

Na figura 3a observa-se o molde vazio a ser enchido com resina e as fibras e na figura 3b o molde com os grupos de fibras e a resina. Posteriormente o molde é fechado e colocados numa prensa com uma força de 38 KN, para garantir uma pressão de 1 Mpa internamente no material, cuja pressão foi mantida também por 24 horas até finalização do processo de cura.

Figura 2: Fluxograma de fabricação dos corpos de prova

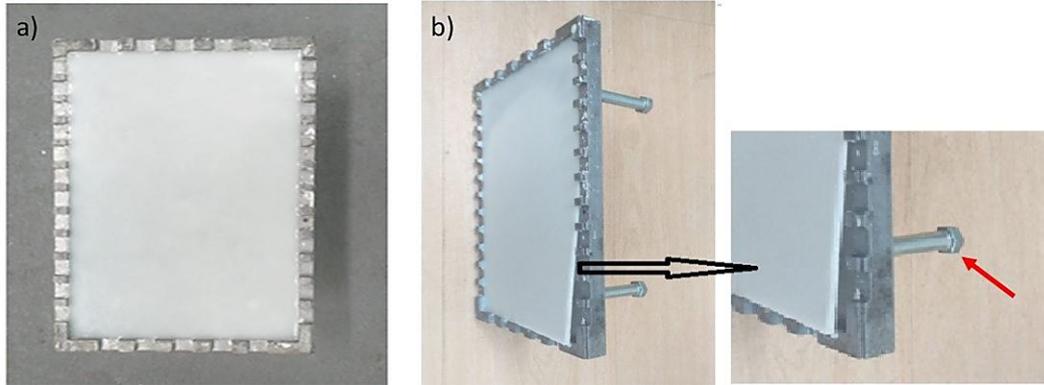


Figura 3: Preenchimento do molde: a) Molde vazio, b) Molde com os grupos de fibras



Depois de curado o material, foi levantada a tampa do molde, como se pode observar na figura 4 e a placa da resina foi extraída do molde utilizando o parafuso extrator (apontado na figura 4b com uma seta vermelha) enroscando-o no furo roscado na placa inferior e expulsando a chapa de resina para o exterior do molde segundo pode-se observar na figura 4.

Figura 1: Extração da chapa de resina do molde: a) chapa de resina curada, b) Extração da chapa de resina



A partir das chapas de resina (figura 4) foram cortados os corpos de prova segundo as dimensões da norma D638-14 (Figura 5) para ensaio de tração em uma máquina Router Laser CNC modelo VS6040 no laboratório de STEM da Escola Superior de Tecnologia (EST) da Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Na figura 6 pode-se observar a finalização do corte dos corpos de prova a laser e os corpos de prova cortados. E assim obteve-se os 48 corpos de prova.

Figura 5: Corpo de prova padronizado [19]

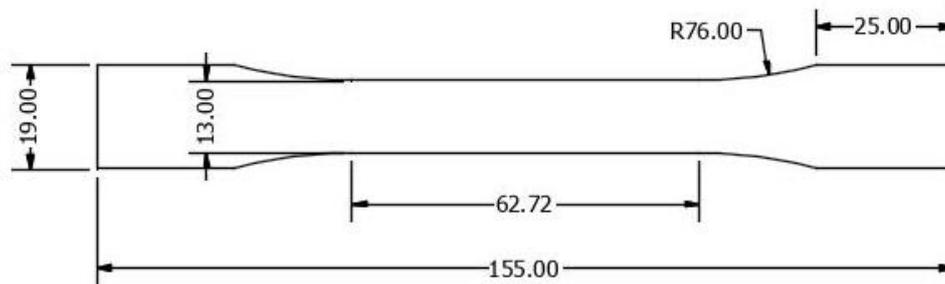
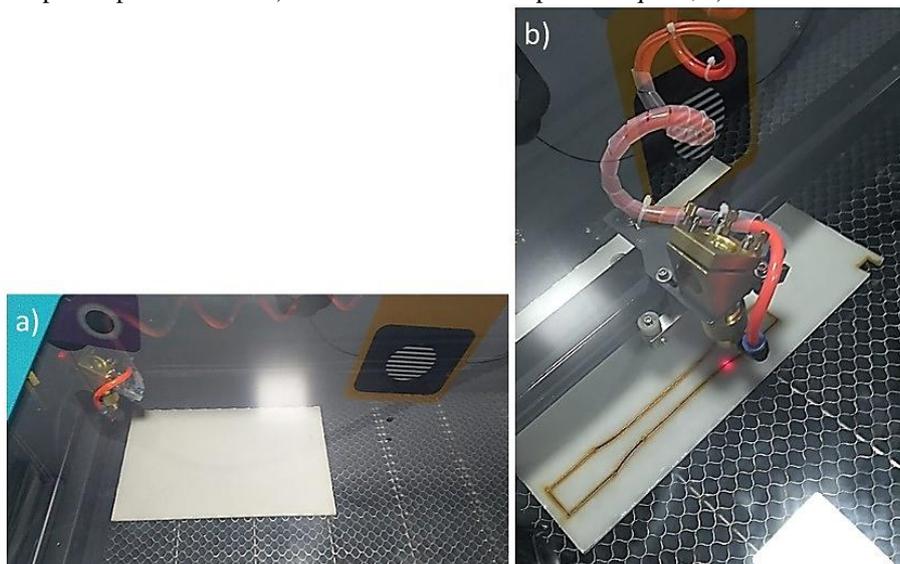


Figura 6: Corte dos corpos de prova a laser: a) Posicionamento da chapa na máquina, b) Início do corte dos corpos de prova.



Os ensaios de tração foram realizados de acordo com a norma ASTM D638 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics (Método padrão de ensaio de tração para propriedades de plásticos). Desde os corpos de provas até a velocidade do ensaio foram padronizados de acordo com a norma citada.

Os ensaios foram realizados numa Máquina Eletromecânica de Ensaio Universal Marca INSTRON, modelo 5984, com célula de carga de 150 KN. Os ensaios foram realizados a uma velocidade de tração de 5mm/min.

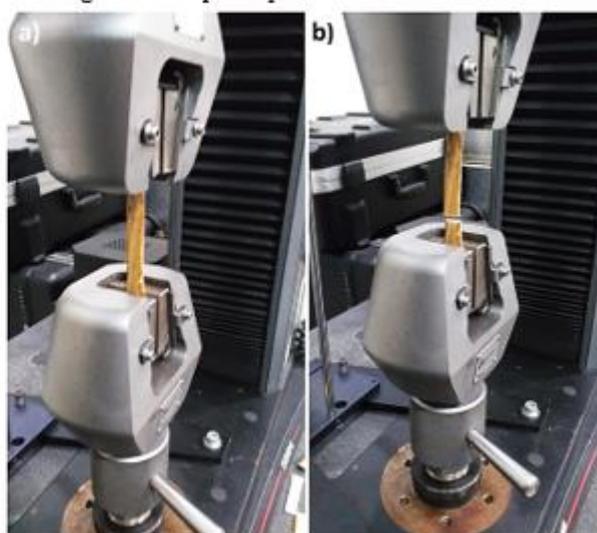
Todos os equipamentos foram regulados de acordo com a Norma ASTM D638 para que todos os resultados fossem padronizados.

Os corpos de prova foram posicionados na máquina e foi aplicado uma força que foi aumentada até a ruptura deles, como mostrado nas figuras 7 e 8. Os resultados encontram-se na tabela 1.

Figura 7: Corpo de prova com resina pura



Figura 8: Corpo de prova com fibra curauá



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas figuras 9 e 10 podem ser observados os gráficos de tração-deformação gerados pela máquina durante o ensaio de tração. Na figura 9 as tres linhas geradas correspondem a um mesmo conteúdo de 30% de fibra e na Figura 10 correspondem a resina pura e outras com diferente conteúdo de fibra onde se pode observar uma grande diferença entre os valores de tensão nas curvas geradas pela máquina. Os resultados obtidos nos ensaios de tração se encontram na tabela 1

Na figura 11 foi plotada uma curva a partir das médias de tensão dos 3 agrupamentos de cada grupo de fibras para observar o comportamento dos materiais ensaiados e determinar a influência da quantidade de fibra na tensão a tração do material compósito. Pode-se observar com o gráfico apresentado na figura 11 e a tabela 1 que os corpos que apresentaram a maior média de resistências à

tensão foram os do grupo 12 contendo 30% de fibra curauá em sua composição. Um incremento da quantidade de fibra maior que o 30% não produz incremento da resistência a tração dos compósitos.

Figura 9: Gráficos de tração gerados pela máquina para os corpos de prova com 30% em Peso de fibra de Curauá (Compósitos de maior resistência)

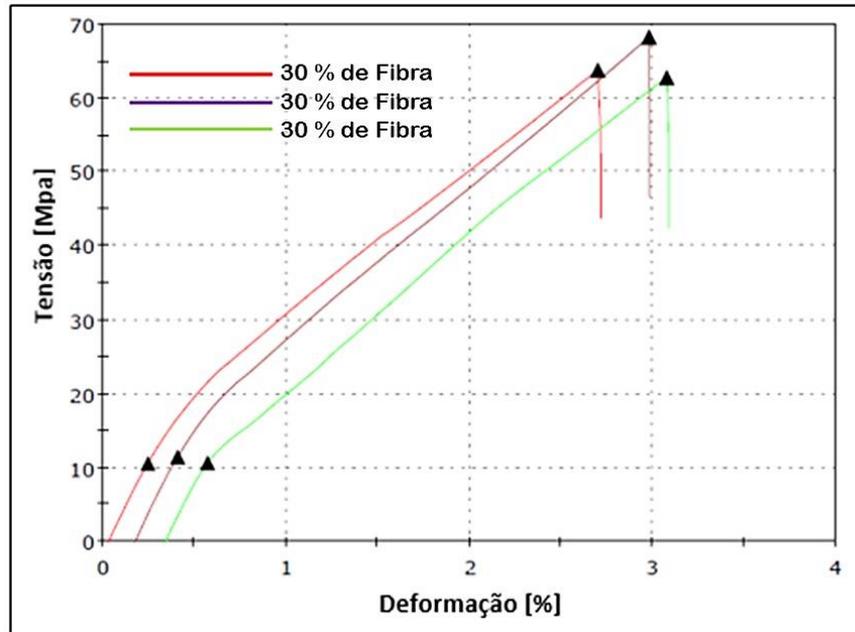


Figura 10: Gráficos de tração gerados pela máquina para corpos de prova com diferentes conteúdos de fibra de Curauá

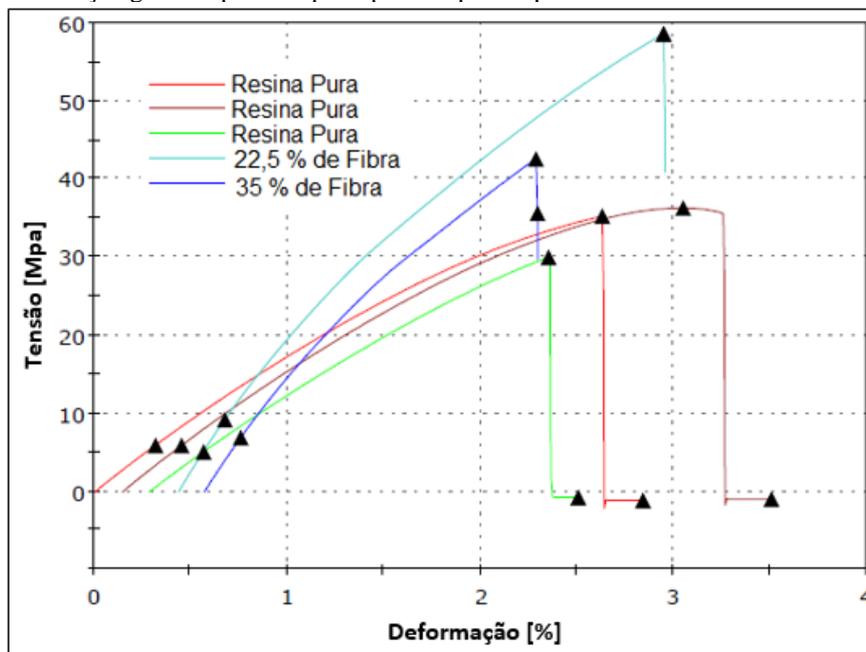
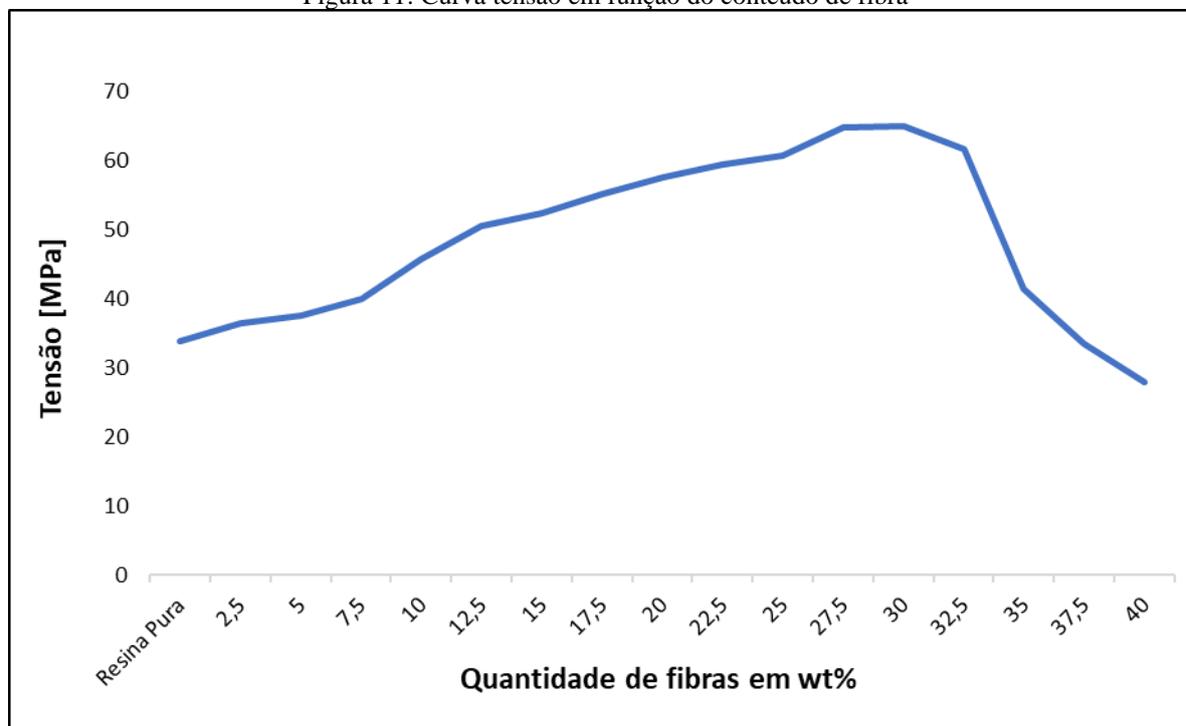


Tabela 1: Corpos de prova, quantidade de fibra, valores de tensão, módulo de elasticidade e deformação.

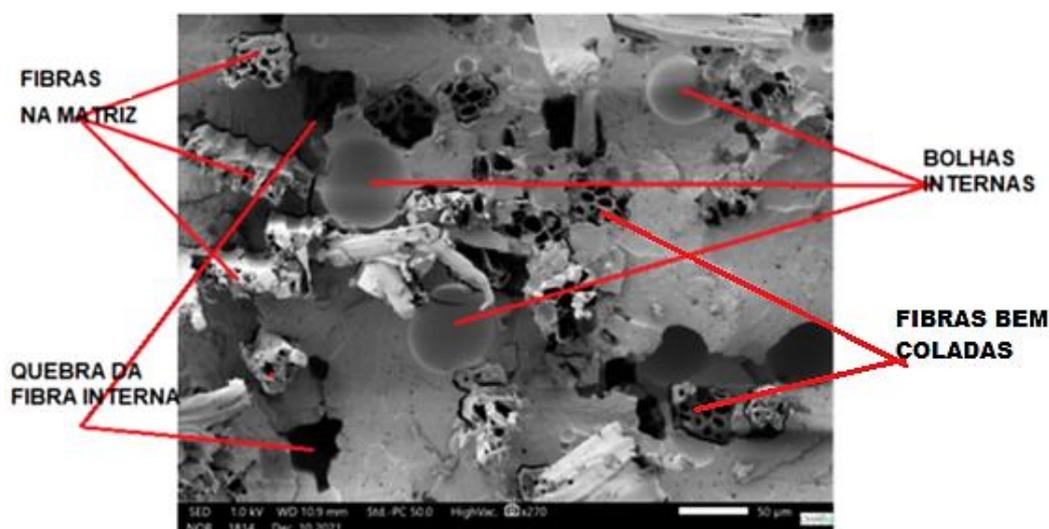
Número do corpo de prova	Quantidade de fibra em wt%	Peso da fibra em g	Esforço de tensão em MPa	Módulo de Elasticidade em MPa	Deformação em %
0	Resina Pura	0	33,85 ± 0,7	1870 ± 49	2,5 ± 0,1
1	2,5	0,22	36,35 ± 0,9	2540 ± 56	1,96 ± 0,7
2	5	0,44	37,56 ± 2,5	3593,33 ± 141	3,1 ± 0,2
3	7,5	0,66	39,96 ± 1,5	2216,66 ± 205	3,3 ± 0,1
4	10	0,88	45,71 ± 0,6	2602 ± 31	4,53 ± 0,1
5	12,5	1,09	50,55 ± 2,5	3700 ± 49	3,5 ± 0,1
6	15	1,31	52,27 ± 1,5	3313,33 ± 15	4,2 ± 0,2
7	17,5	1,53	55,07 ± 2,8	4856,66 ± 65	2,16 ± 0,1
8	20	1,75	57,45 ± 2,4	5220 ± 127	2,02 ± 0,3
9	22,5	1,97	59,31 ± 0,3	5225,33 ± 152	2,11 ± 0,1
10	25	2,19	60,61 ± 2,7	4473 ± 155	4,46 ± 1
11	27,5	2,41	64,71 ± 0,8	4506 ± 226	2,53 ± 0,6
12	30	2,63	64,89 ± 0,5	4633,33 ± 91	2,93 ± 0,2
13	32,5	2,85	61,68 ± 2,8	5630 ± 87	1,92 ± 0,1
14	35	3,06	41,48 ± 1,5	2273 ± 212	3,26 ± 0,1
15	37,5	3,28	33,52 ± 1,5	1866,66 ± 113	2,46 ± 0,1
16	40	3,50	27,96 ± 1,3	2573,33 ± 141	2,33 ± 0,5

Figura 11: Curva tensão em função do conteúdo de fibra



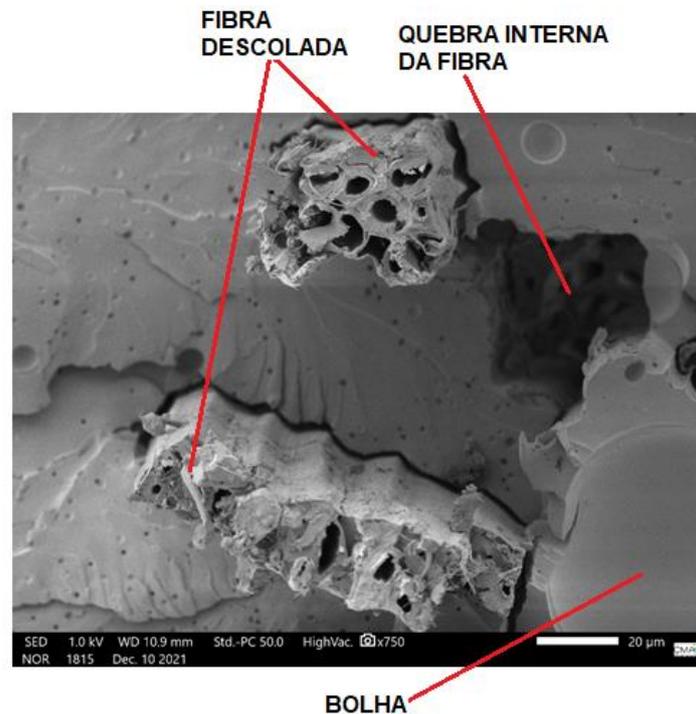
Foi realizada a micrografia da zona da fratura após o ensaio de tração do corpo de prova com 15% de fibra com magnificação de x250, onde se pode constatar que as fibras ficaram bem distribuídas na área do compósito, embora apareceram bolhas internas no material, como mostrado a figura 12. As partes bem mais escuras são espaços vazios deixados pela quebra da fibra internamente em um plano distante do plano da fratura. Essas áreas escuras significam que as fibras estavam descoladas no plano da fratura e bem coladas internamente provocando a quebra nesses pontos devido a força de tração. Pode-se observar também algumas fibras descoladas no plano da fratura e outras bem coladas na matriz.

Figura 12: Micrografia da zona da fratura após o ensaio de tração do corpo de prova com 15% de fibra com magnificação de x250



Na Figura 13 pode ser observada a micrografia da zona da fratura após o ensaio de tração do corpo de prova com 15% de fibra com magnificação de x750, onde se pode constatar que apareceram bolhas internas no material, quebra da fibra internamente em um plano distante do plano da fratura, e algumas fibras descoladas da matriz no plano da fratura.

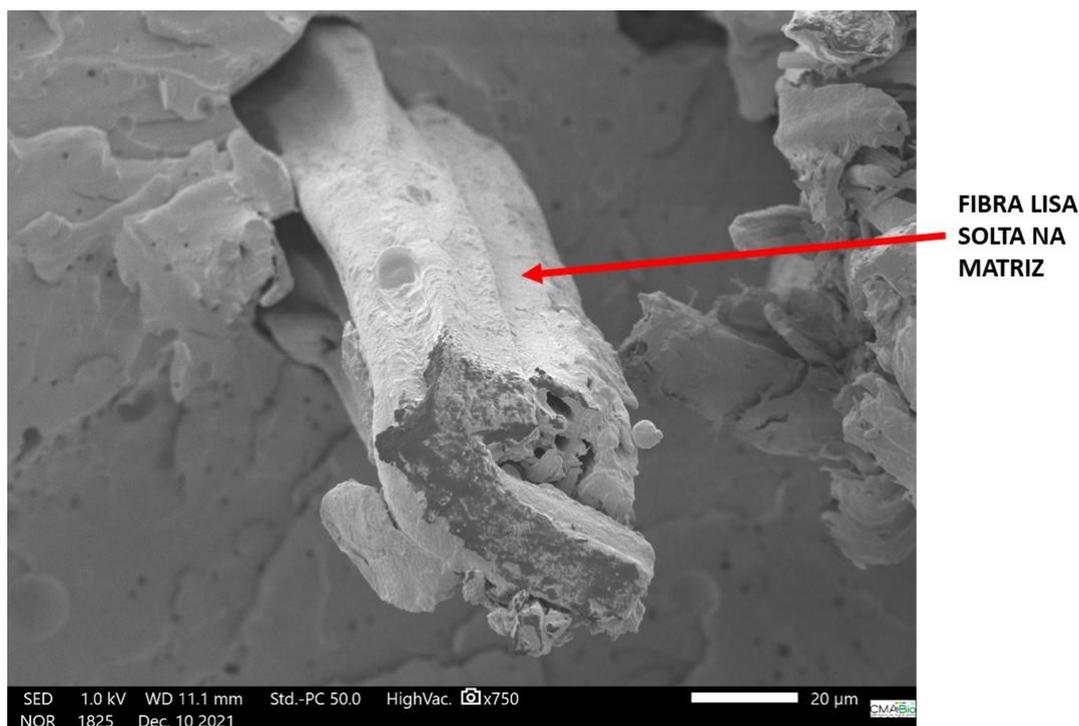
Figura 13: Micrografia da zona da fratura após o ensaio de tração do corpo de prova com 15% de fibra com magnificação de x750.



Na Figura 14 pode ser observada a micrografia da zona da fratura após o ensaio de tração do corpo de prova com 10% de fibra com magnificação de x750, onde se pode constatar que para esta área de análise não apareceram bolhas internas no material nem quebra da fibra internamente em um plano distante do plano da fratura. Também é possível observar uma fibra cuja superfície está completamente lisa por não ter recebido tratamento químico, o que dificulta a adesividade da fibra na matriz e com isso diminui a resistência do compósito.

Os resultados obtidos estão de acordo com outros trabalhos reportados na bibliografia como Garcia del Pino *et. all.* [20], Pickering *et. all.* [21], Maache *et. all.* [22],

Figura 14: Micrografia da zona da fratura após o ensaio de tração do corpo de prova com 10% de fibra com magnificação de x750.



4 CONCLUSÕES

Através dos resultados deste trabalho é possível se constatar que as fibras de curauá quando acrescentadas aos compósitos de resina epóxi melhoram a resistência a tração desses compósitos, contudo há um limite para isso. De todas as porcentagens de fibras propostas, aquela que obteve o melhor resultado foi a com 30% em peso de fibras em relação ao compósito. Também pode-se observar que, de modo geral, o módulo de elasticidade cresce à medida que aumentos as porcentagens de fibras até o grupo com 32,5% em peso de fibras devido ao aumento de resistência dos corpos de prova.

Nas micrografias realizadas pode-se verificar que as fibras ficaram bem distribuídas na área do compósito e ainda que não tenham sofrido nenhum tratamento químico, muitas delas mantiveram-se fixas nos corpos de prova após o rompimento dos materiais ou seja, aderiram bem ao material. Contudo, houveram algumas fibras descoladas que saíram do material com a ruptura deixando assim um vazio.

Com todos os resultados apresentados, é possível concluir que o uso das fibras, mesmo sem tratamento químico, é satisfatório afinal com apenas 30% de fibras é possível duplicar a resistência do material que saiu de aproximadamente 34 MPa (resina pura) para 65 MPa. As aplicações desses compósitos com a fibra amazônica curauá podem substituir, em vários casos, os compósitos de fibras sintéticas, proporcionando um menor impacto ao meio ambiente, ajudando na sustentabilidade e podendo até gerar novas fontes de emprego para as populações mais pobres da Amazônia.

REFERENCIAS

- [01] - Khelifa, H.; Bezazi, A.; Boumediri, H.; Garcia del Pino, G.; Reis, P. N. B.; Scarpa, F.; Dufresne, A. Mechanical characterization of mortar reinforced by date palm mesh fibers: Experimental and statistical analysis. *Construction and Building Materials*, v.300, n.3, p.124067-124086, 2021.
- [02] - Garcia del Pino G., Bezazi A., Boumediri H., Kieling A. C., Silva C. C., Dehaini J., Rivera J. L. V., Valenzuela M. G. S., Diaz F. R. V., Panzera T, H., Hybrid epoxy composites made from treated curauá fibres and organophilic clay. *Journal of Composite Materials*, 1(0) 1-13, (2020), DOI: 10.1177/0021998320945785
- [03] -Callister, W. D. Jr. *Ciência e Tecnologia de Materiais: uma introdução*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- [04] -Askeland, Donald R. *Ciência e engenharia dos materiais*. 3. ed. São Paulo: Cengage learning, 2014.
- [05] -Carvalho, V. *Materiais compósitos*. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2013.
- [06] - GARCIA DEL PINO, G.; DIAZ, F. R. V.; RIVERA, J. L.; KIELING, A. C.; TORRES, A. R. Evaluation of composite materials with fiber of curauá pineapple (*Ananas Erectifolius*). *Review of Research*. v.4, n1, p.1-7, 2015.
- [07]- Mendes C. S., Garcia del Pino G., Bezazi A., Boumediri H., Neto J. C., Torres A. R., Kieling A. C., Garcia S. D. Comparative performance comparison of Toolox44 tool steel versus SAE H13 for hot forging. *Latin American Journal of Development*. v. 3, n. 3, p. 1181-1197. Doi: 10.46814/lajdv3n3-014. 2021.
- [08] -John, M.J.; Thomas, S. Biofibers and Biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, v. 71, p. 343-364, 2008.
- [09] - Margem, J. I. Estudo das características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de malva. 2013. 134 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2013.
- [10] -Barbosa, A. de P. Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de buriti. 2011. 159 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2011.
- [11] - Bezazi, A.; Boumediri, H.; Garcia del Pino, G.; Bezzazi, B.; Scarpa, F.; Reis, P. N. B.; Dufresne, A. Alkali treatment effect on physicochemical and tensile properties of date palm rachis fibers. *Journal of Natural Fibers* 2020. Doi/10.1080/15440478.2020.1848726
- [12] -Marinelli, A. L. et. all. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais da Biodiversidade: Uma contribuição para a sustentabilidade Amazônica. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 2008, v. 18, n. 2, p.92-99.
- [13] -Sartori, H.. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibras de vidro. 2010. 67. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

- [14] -Gomes, A.; Matsuo, T.; Goda. K; Ohgi, J. Development and effect of alkali treatment on tensile properties of curaua fiber green composites. *Composites Part A – Applied Science and Manufacturing*, 38 (8), pp. 1811-1820, 2007.
- [15] -Morais, J. A., Gadioli, R., De Paoli, M., Curaua fiber reinforced high-density polyethylene composites: effect of impact modifier and fiber loading, *Polímeros Ciência e Tecnologia*, 2016,26(2):1–8.
- [16] -Monteiro, S. N.; Aquino, R. C. M. P.; Lopes, F. P. D.; Carvalho, E. A.; D’Almeida, J. R. M. Comportamento mecânico e características estruturais de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas e alinhadas de curauá. *Revista Matéria*, 11 (3), pp.197-203, 2006.
- [17] -Nascimento, D. C. de O. Análise das propriedades de compósitos de fibras de piaçava e matriz de resina epóxi. 2009. 136 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2009.
- [18] -Zah, R.; Hischer, R.; Leão, A. L.; Braum, I. Curaua fibers in the automobile industry - A sustainability assessment. *Journal of Cleaner Production*, 15 (11-12), pp. 1032-1040, 2007
- [19] - ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM D638-14: standard test method for tensile properties of plastics. West Conshohocken: ASTM International, 2014.
- [20] - Garcia del Pino, G.; Bezazi A.; Boumediri H.; Kieling A; Dehaini J.; Garcia S. D.; Torres A. R.; Neto, J. C. M.; Panzera, T. H. Optimal tensile properties of biocomposites made of treated amazonian curauá fibres using Taguchi Method. *Materials Research*, v.24, n.2, p.1-7, 2021.
- [21] - Pickering K. L.; Aruan M. G.; Le T. M. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites: Part A*, v.83, n.4, p.98 112, 2016.
- [22] - Maache M.; Bezazi A.; Amroune S.; Scarpa F.; Dufresne A. Characterization of a novel natural cellulosic fiber from *Juncus effusus* L. *Carbohydrate Polymers*, v.171, p.163 172, 2017.