

Caracterização mecânica do compósito de resina epóxi reforçado com fibra de sisal

Mechanical characterization of epoxy resin composite reinforced with sisal fiber

Lidiane Gomes da Silva¹, Jean Paulo Elias Kallás¹, Matheus José da Silva²

1 - Centro Universitário de Itajubá – FEPI. E-mail.: lidiane.silva@fepi.br

1 - Centro Universitário de Itajubá – FEPI. E-mail.: jeankallas44@gmail.com

2 - Universidade Federal de Itajubá FEPI. E-mail.: matheusjsilva@unifei.edu.br

Recebido em: 08/07/23

Revisado em: 04/06/24

Aprovado em: 01/07/24

Resumo: Neste trabalho foram confeccionados corpos de prova de um compósito de matriz polimérica de resina epóxi reforçado com fibras de sisal curtas e dispersas aleatoriamente. Foram avaliados o comportamento mecânico e estrutural das fibras antes e após ensaio mecânico de tração. Com os resultados realizou-se comparações com trabalhos presentes na literatura, seguindo o mesmo padrão de compósito. Para os corpos de prova deste trabalho foi utilizado uma fração volumétrica de 11,04% para fase reforçadora e 88,96% para fase matriz para os experimentos. Os corpos de prova foram submetidos a um teste mecânico de tração, microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura (MEV). As imagens da microscopia óptica comprovaram a dispersão das fibras na matriz polimérica. As imagens da microscopia eletrônica de varredura, comprovaram as direções das fibras nos pós ensaio, em que verificou-se o arrancamento de fibras e fratura tipo SGV conforme a norma ASTM D3039/3039M no meio do galgo com fendas longitudinais com dano AGM (2) angular e no meio do galgo conforme a norma ASTM D3039/3039M. Com resultado de resistência a tração, percebeu um valor menor que em obtidos em outros trabalhos, que foi de 8,50 MPa. Chegou à conclusão de que o fator de maior influência para resultados promissores em compósitos deste tipo, são a fração volumétrica e as orientações da fibra de sisal.

Palavras-chave: Compósito. Resina Epóxi. Fibra de sisal.

Abstract: In this work, specimens were made of a composite with a polymer matrix of epoxy resin reinforced with short, randomly dispersed sisal fiber. The mechanical and structural behavior of the fiber was evaluated before and after mechanical tensile testing. With the results, comparisons were made with works present in the literature, following the same composite pattern. For the specimens in this work, a volumetric fraction of 11.04% for the reinforcing phase and 88.96% for the matrix phase was used for the tests. The specimens were subjected to a mechanical tensile test, optical microscopy, and scanning electron microscopy (SEM). The optical microscopy images proved the dispersion of the fibers in the polymer matrix. The scanning electron microscopy images proved the fiber directions in the post-test, in which fiber pull-out and SGV-type fracture according to ASTM D3039/3039M were found in the middle of the greyhound with longitudinal cracks with angular AGM (2) damage and in the middle of the greyhound according to ASTM D3039/3039M. With the result of tensile strength, it was noticed a lower value than in obtained in other works, which was 8.50 MPa. It was concluded that the most influential factor for promising results in composites of this type are the volume fraction and the orientations of the sisal fiber.

Key words: Composite, Epoxy Resin. Sisal Fiber.

Introdução

Tem sido observado um maior desenvolvimento de compósitos devido às propriedades que podem oferecer (Krauklis et al, 2021). A maioria dos compósitos apresenta excelentes propriedades mecânicas para aplicações estruturais, além de baixa densidade, o que os torna aplicáveis em diversos setores, como a indústria eletrônica, naval e automobilística. Os compósitos são compostos por uma matriz e um reforço. Um sistema muito utilizado é o de matriz polimérica, como a resina epóxi, devido à sua facilidade de manipulação, alta resistência e baixa toxicidade (Dias, 2022).

O reforço realizado com fibras proporciona maior estabilidade à matriz polimérica, permitindo que ela transmita a tensão por todo o material, de modo que o compósito seja capaz de resistir a esforços mecânicos (Pardini, Levy Neto e Ferreira, 2006). Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é estudar o comportamento mecânico de um compósito de fibra de sisal com matriz polimérica epóxi.

Materiais e Métodos

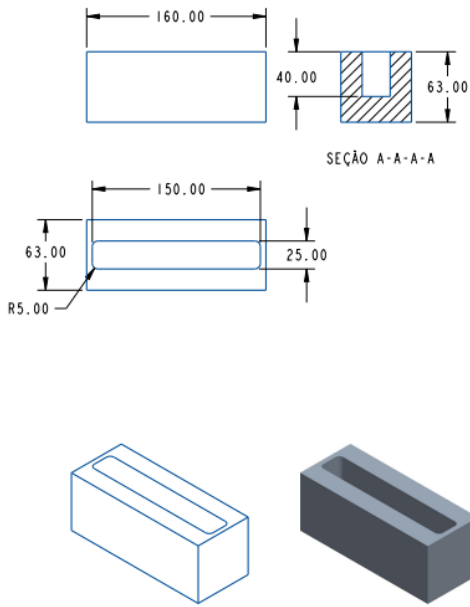
A metodologia utilizada para o desenvolvimento desta pesquisa é de caráter experimental, tendo como objetivo verificar as propriedades mecânicas da resina epóxi reforçada com fibra sisal dispersas aleatoriamente em matriz polimérica.

Para a preparação do material utilizou-se a resina epóxi e o endurecedor da empresa EpoxyFiber Indústria e Comercio LTDA. Apresentando, peso específico a 20°C de 1.03 (g/cm³) e o endurecedor um peso específico de 0.97 (g/cm³).

As fibras de sisal adquiridas da empresa Agrogesso encontravam-se na forma de chumaços, com fibras de comprimentos variados e sem um padrão definido. Essa característica pode ter uma influência significativa nas propriedades do compósito final.

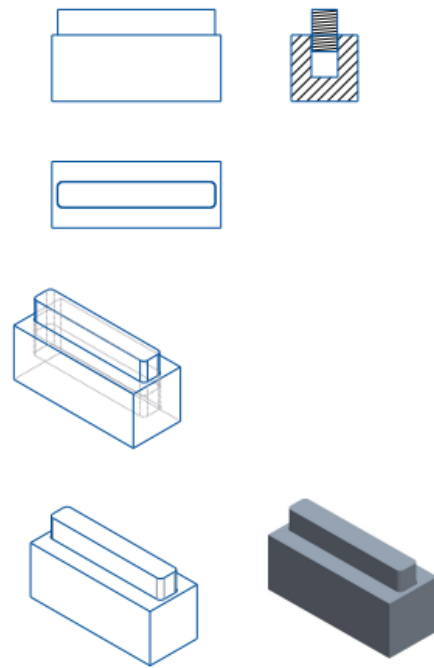
Para a preparação dos corpos de prova, foi necessário confeccionar um molde no Laboratório do Centro Universitário de Itajubá - FEPI. O molde foi confeccionado em alumínio 7075 e usinado no Controle Numérico Computadorizado (CNC) da marca Romi D600, com comando Fanuc. Suas dimensões são: 160 mm de comprimento por 63 mm de largura. No centro do molde, há um rasgo de 150 mm de comprimento, 25 mm de largura e 40 mm de profundidade, onde o compósito foi preparado. Para exercer pressão sobre a fibra e resina, foi confeccionada uma tampa para o molde, com as seguintes medidas: 149 mm de comprimento, 24 mm de largura e espessura de 40 mm. As Figuras 1, 2, 3, 4 e 5 representam o molde.

Figura 1- Molde para confecção do compósito.



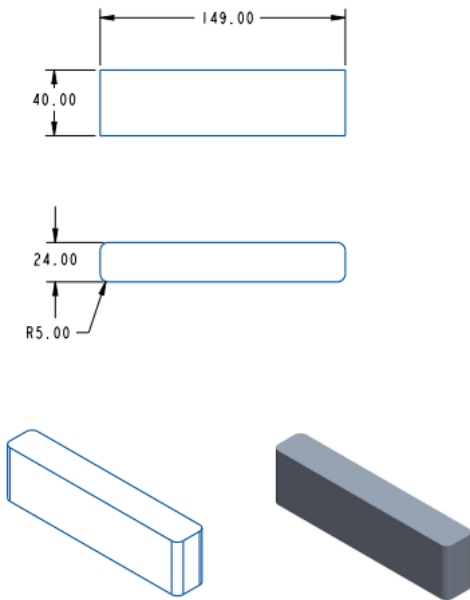
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 3 - Molde e Tampa.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 2 - Tampa Molde.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4 - Molde em alumínio 7075.



Fonte: Elaborado pelo autor

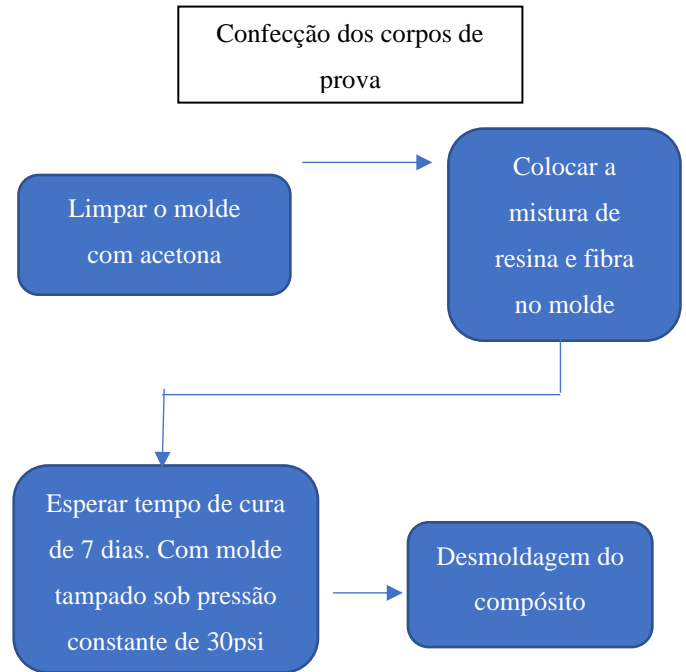
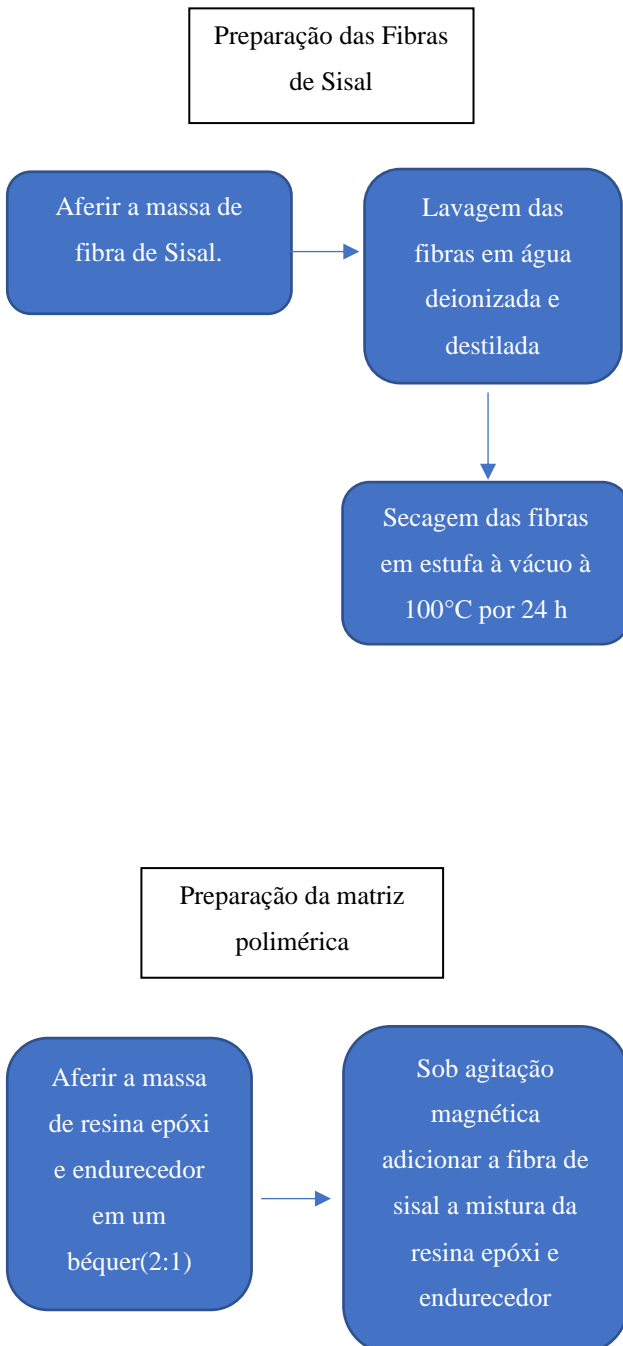
Figura 5 - Molde e Tampa em Alumínio 7075.



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a confecção dos corpos de prova, primeiramente foi preparado o compósito seguindo as etapas descritas no diagrama apresentado na Figura 6.

Figura 6- Diagrama de etapas para a confecção dos corpos de prova do compósito.



Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 1 apresenta os valores aferidos para a realização da confecção dos corpos de prova.

Tabela 1- Relação de materiais e massa utilizadas para a confecção dos corpos de prova.

Material	Massa (g)
Fibra de sisal	18
Resina + catalisador	163

Na Figura 7 observa-se o material após o tempo de cura e desmoldado.

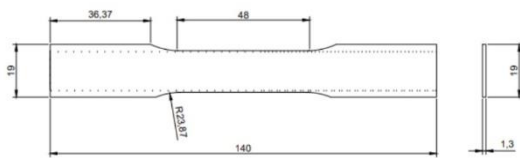
Figura 7 - Compósito após a cura e desmoldado.



A fração volumétrica de fibra para o compósito foi de 11,04%, enquanto a resina epóxi correspondeu a 88,94% do volume total.

Os corpos de prova foram usinados no CNC da marca Romi D600 com comando Fanuc,. Eles foram fabricados de acordo com a Norma D3039M e possuem as dimensões descritas na Figura 8. A Figura 9 apresenta uma imagem dos corpos de prova já finalizados.

Figura 8 - Medidas do corpo de prova.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 9 - Corpo de prova finalizado.



Fonte: acervo do autor

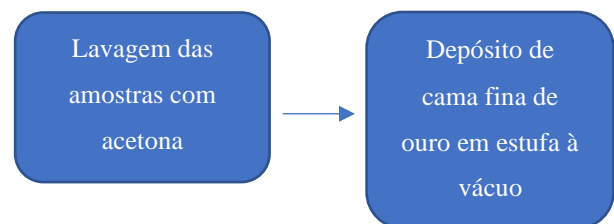
Para a caracterização estrutural dos corpos de prova, utilizou-se um microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo SS500 da Shimadzu, localizado no Centro de Estudos, Investigações e Inovação em Materiais Biofuncionais e Biotecnologia da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI. O

objetivo da operação foi verificar a orientação das fibras e identificar possíveis falhas.

A amostra do corpo de prova tinha um tamanho de 125 mm, de acordo com as especificações da máquina, permitindo a obtenção de imagens de alta resolução (Veiga, 2016).

Antes da análise no microscópio, a amostra passou por um tratamento de metalização, que proporciona um contraste adequado nas imagens. O tratamento seguiu as etapas descritas no diagrama apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Diagrama de etapas de preparação da amostra.



Fonte: elaborado pelo autor.

A fim de confirmar a estrutura dos corpos de prova, foi utilizada a técnica de microscopia óptica de luz transmitida. Nessa técnica, são observadas imagens de tamanho 0,01 mm a 1 mm. O microscópio utilizado foi o OLYMPUS CX31, com um aumento máximo de 40 vezes. Ele está localizado no laboratório de caracterização de materiais do Centro Universitário de Itajubá - FEPI-LAB.

Esse microscópio foi utilizado para comparar o estado inicial dos corpos de prova com os resultados obtidos após os ensaios

mecânicos. Nesse ensaio, não foi necessária a preparação dos corpos de prova para observação

O ensaio de tração para os corpos de prova foi realizado de acordo com a norma ASTM D3039M. Para os compósitos, foram fabricados corpos de prova de seções retangulares com dimensões de 140x15x1,3 mm. A norma exige a realização do teste em cinco corpos de prova. Os ensaios foram conduzidos no laboratório de materiais da Fundação de Ensino e Pesquisa de Itajubá, Centro Universitário de Itajubá - FEPI.

Para realizar os ensaios, utilizou-se a Máquina Osvaldo Filizola modelo AME -5k N, que possui garras de acionamento manual e superfície serrilhada, garantindo que não haja deslizamento durante o ensaio. A norma exige que os ensaios sejam realizados a uma velocidade constante de 2 mm/min. Os resultados obtidos foram processados utilizando o programa Microsoft Excel®.

As equações 1, 2, 3 e 4, para determinação da curva tensão x deformação, na qual foram extraídos os dados para os cálculos (Campos, 2018).

Equação (1) que define tensão:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Onde:

σ = Tensão, medida em Pascal (Pa);

F = Força, medida em Newton (N);

A = Área, medida em metros quadrados (m²).

Equação (2) define deformação.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{l}$$

Onde:

ε = Deformação específica $\left(\frac{mm}{mm}\right)$

l = Comprimento inicial (mm)

δ = Alongamento ou deformação (mm)

Equação (3) Lei de Hooke

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

O Módulo de Elasticidade ou Módulo de Young é a inclinação da curva tensão-deformação na região elástica, se dá pela equação 4.

Equação (4) Módulo de Elasticidade

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

Onde:

$\Delta\sigma$ = Variação de Tensão (MPa)

$\Delta\varepsilon$ = Variação de deformação (%)

Resultados e Discussão

Nesta seção apresentam-se os resultados dos ensaios de tração e imagens de microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura (MEV), que permitiram analisar o comportamento mecânico do compósito.

Os ensaios de tração foram realizados para avaliar a resistência e a deformação do compósito quando submetido a forças de tração. Foram coletados dados como carga aplicada e deformação resultante, a partir dos quais pode-se obter propriedades mecânicas importantes, como o módulo de elasticidade, a resistência à tração e a alongação (deformação).

Com base nos resultados obtidos, avaliou-se o desempenho do compósito e foi possível compará-lo com outros materiais utilizados como reforço. Essa comparação foi realizada com base em estudos anteriores que envolvem diferentes tipos de reforços.

Através dessa análise comparativa, pode-se identificar as vantagens e desvantagens do compósito em relação a outros materiais, em termos de suas propriedades mecânicas. Auxiliando a entender o potencial de aplicação do compósito e fornecendo insights para o desenvolvimento futuro de materiais com características superiores.

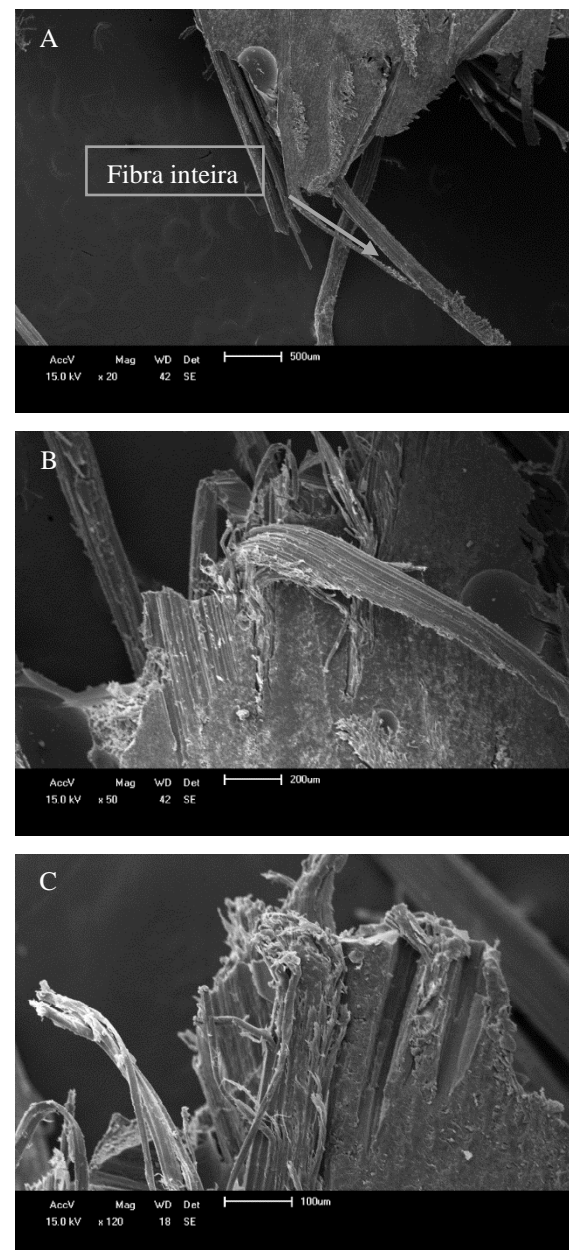
Os estudos comparativos também podem fornecer informações valiosas sobre as interações entre o reforço e a matriz do compósito, bem como sobre os efeitos de diferentes tipos de reforços nas propriedades mecânicas. Isso pode levar a melhorias no projeto e no processamento do compósito, visando otimizar suas propriedades mecânicas para aplicações específicas.

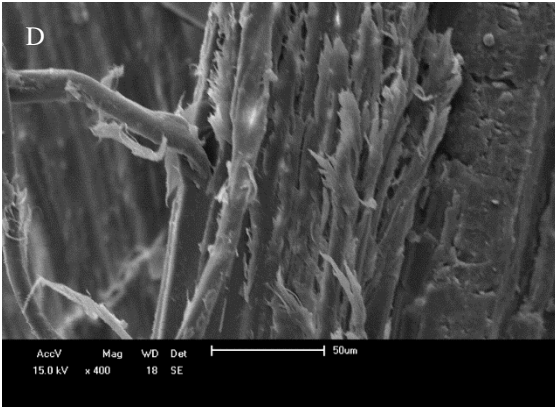
Para a obtenção das imagens utilizando a técnica MEV, as amostras foram preparadas

com tratamento de recobrimento com ouro e posteriormente foram lavadas com acetona.

Para verificar a situação final dos corpos de prova, alinhamento e orientação das fibras, realizou-se 4 (quatro) aumentos, apresentados na Figura 11.

Figura 11 – Imagem MEV da superfície fraturada no teste de tração A) Aumento de 20x, B) Aumento de 42x, C) Aumento de 120x e D) Aumento de 400x.



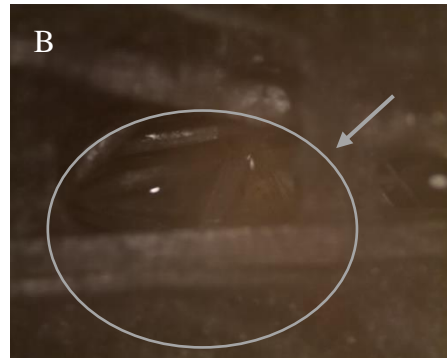
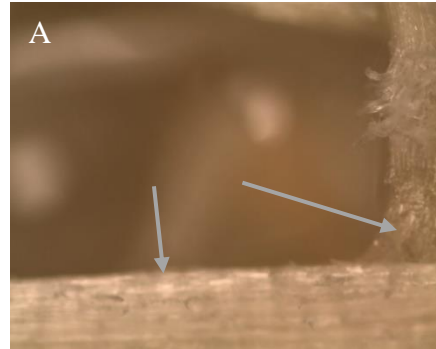


Fonte: acervo do autor

Observou-se que posteriormente ao ensaio de tração, algumas seções da amostra tem a presença de fibras inteiras (Figura 11A e Figura 11B), demonstrando que nem todas se romperam durante o processo. Observou-se ainda que algumas fibras soltaram da matriz (Figura 11C e Figura 11D), ou seja, não foi constatado uma ligação de alta qualidade, isso é chamado de arrancamento das fibras.

Para complementar a análise realizou-se imagens com Microscópio Óptico Figura 12. Os ensaios foram realizados antes do teste de tração a fim de se verificar o padrão de posicionamento das fibras no compósito. A Figura 12 apresenta a imagem das fibras com aumento de 4x e 10x.

Figura 12- Imagens do corpo de Prova antes do ensaio com aumento de 4 vezes (A) e com aumento de 10 vezes (B).

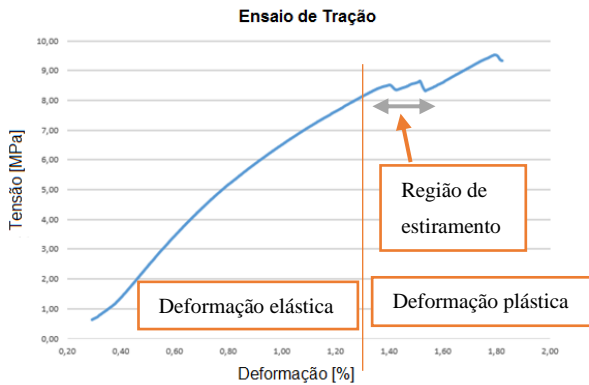


Fonte: acervo do autor

Observa-se que as fibras e a matriz polimérica ficaram bem aderidas com camadas de resina e fibra. Fica nítido também que não há um padrão de posicionamento das fibras, conforme esperado.

Na Figura 13, é apresentado o gráfico da tensão versus deformação obtido durante o ensaio de tração dos corpos de prova. A tensão é representada no eixo vertical, enquanto a deformação é representada no eixo horizontal.

Figura 13 - Gráfico de Tensão X Deformação do Compósito



Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se que o material apresenta comportamento dúctil (Newell, 2018), tendo uma deformação elástica e posterior deformação plástica. Apresentou tensão de escoamento de 8,50 MPa com deformação de 1,40%.

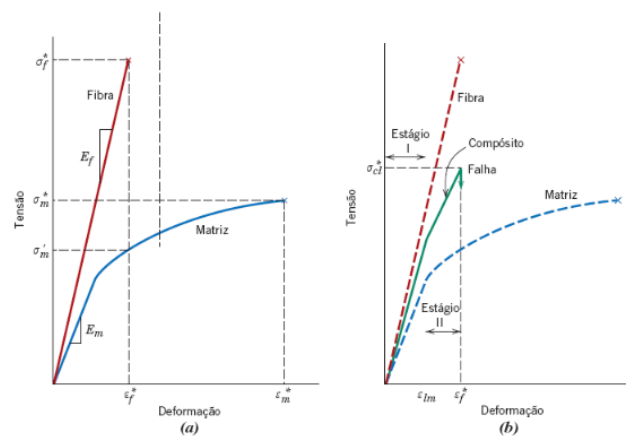
Após o estiramento do material observa-se uma inclinação. A partir deste ponto a fibra tem comportamento frágil e a resina (matriz) comportamento dúctil. Neste sentido observa-se que inicialmente, tanto a fibra quanto a matriz deformam-se elasticamente. Após esse ponto, começam a ocorrer o rompimento das fibras, porém estas não ocorrem ao mesmo tempo. Mesmo após a fratura do corpo de prova, algumas fibras continuam envolvidas pela matriz conforme observado na Figura 11C e D, suportando uma carga reduzida e deforma-se plasticamente até a ruptura.

As fraturas do corpo de prova foram do tipo AGM conforme a norma ASTM D3039/3039M no meio do galgo com fendas longitudinais (validando o ensaio) com dano

AGM (2) angular e no meio do galgo conforme a norma ASTM D3039/3039M.

O compósito ensaiado neste trabalho apresentou as características previstas pela literatura, conforme a Figura 14(a). Com uma região denominada de estágio I referente as fibras e estágio II referente ao comportamento da matriz polimérica. No estágio I as fibras e a matriz deformam-se elasticamente, conforme ocorreu no gráfico representado na Figura 14(b). As fibras têm o limite de tração maior que o escoamento da matriz, e assim, dando início ao estágio II.

Figura 14 - Curva Tensão X Deformação para materiais compósitos reforçados com fibra.



Fonte: Callister, 2020

Milanese (2020) utilizou uma fração volumétrica de aproximadamente 40% de fibra de sisal dispostas de maneira bidimensional obtendo um valor de 36 MPa a 42 MPa de tensão de escoamento. Valores superiores aos encontrados neste trabalho. Isso confirma a influência da porcentagem de fibra no compósito e sua resistência a tração, sendo que

neste trabalho utilizou-se uma fração volumétrica de 11,04%.

Ferreira (2017) realizou comparações entre porcentagens e materiais em seu compósito, utilizando fibra de sisal e vidro. Em um de seus ensaios de tração, utilizou somente fibra de sisal com uma fração volumétrica de 20% dispostas aleatórias e descontinuas. Para o ensaio de tração, obteve um módulo de elasticidade de 3,50 GPa e resistência a tração de 30,7 MPa. No presente trabalho, foi utilizado uma porcentagem em fibra de 11,04%, e obteve o 7,08 GPa para o módulo de elasticidade e 8,50 MPa de resistência a tração. Os seguintes valores podem ser justificados pela baixa porcentagem em fibra de sisal.

Gupta e Srivastana (2014), realizaram comparações utilizando fibra de sisal com diversas frações volumétricas, 15, 20, 20, 25 e 30 (%), orientadas unidirecional e curtas aleatórias. Os compósitos com 30% de fibras curtas e aleatórias se mantiveram próximo aos resultados obtidos neste trabalho com 20% de fibra unidirecional. Compósitos que utilizaram 30% de fibras unidirecional, chegaram a 673 MPa de módulo de tração. Valores menores que apresentados no trabalho atual.

Conclusão

Este trabalho analisou as propriedades mecânicas de um compósito de matriz polimérica de resina epóxi com reforço de fibra de sisal, considerando um teste totalmente experimental. Foram realizados ensaios de tração

com o intuito de investigar o escoamento do compósito. Com os resultados, conclui que: Na análise da fratura realizado no Microscópio de Varredura Eletrônica foi constatado como principal tipo de fratura o arrancamento das fibras, indicando que a ligação reforço e matriz não estavam de alta qualidade; Analisando as imagens obtidas na Microscopia Óptica, verificou-se que as fibras do compósito possuem segue padrão desordenado da fibra, conforme foi proposto; A fratura no ensaio de tração foi AGM com dano AGM (2), apresentado um ensaio válido, de acordo com a norma ASTM D3039/D3039M; Observou-se que os valores obtidos no ensaio de tração, quando comparados a outros trabalhos com a mesma orientação de fibras e porcentagem de volume semelhante, mostram uma influência significativa das variáveis de concentração em volume de fibras e sua orientação na resistência mecânica do produto. Essa observação sugere que a concentração em volume de fibras e a maneira como elas estão dispostas afetam diretamente as propriedades mecânicas do compósito. Uma maior concentração de fibras resulta em uma maior resistência mecânica, enquanto uma orientação adequada das fibras pode aumentar a resistência em uma direção específica.

Referências

ASTM D3039, Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.

CALLISTER, William D. Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução. [Digite o Local da Editora]: Grupo GEN, 2020. E-book. 9788521637325. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521637325/>. Acesso em: 29 ago. 2022.

CAMPOS, P. P. D. B. Análise de Resistência de Sacolas Plásticas Ecológicas em Relação às Sacolas Plásticas Tradicionais de Polietileno de Alta (PEAD) e Baixa Densidade (PEBD); Itajubá, 2018.

Dias, E. D. C. Estudo de reparos para embarcações navais à base de compósitos de poliéster e resina epóxi sobrepostas em chapas de aço ASTM A-131. Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2022

FERREIRA, Bruna Torres. Compósito Híbridos Reforçados com Fibras de Sisal/Vidro e Micropartículas de Sílica; São João Del Rei, 2017.

GUPTA, M. K.; SRIVASTANA, R. K. Tensile and flexural properties of sisal fibre reinforced epoxy composite: A comparison between unidirectional and mat form of fibres. *Procedia Materials Science* 5, p. 2434-2439, 2014.

KRAUKLIS, A. E., KARL, C. W., GAGANI, A. I., JØRGENSEN, J. K. Composite material recycling technology—state-of-the-art and sustainable development for the 2020s. *Journal of Composites Science*, 5(1), 28, 2021.

MILANESE, A. C. Caracterização de Compósitos de Matrizes Poliméricas Reforçados com Fibras de Sisal, Guaratinguetá, 2008.

NEWELL, J. Fundamentos da Moderna Engenharia e Ciência dos Materiais. Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo GEN, 2010.

PARDINI, L. C.; LEVY NETO, F., FERREIRA, J. L. de A. Damping behavior of synthetic graphite beams. *Materials Research*, v. 9, p. 193-197, 2006.

VEIGA, A. T. V. Compósito de Polipropileno reforçado com Fibras de Linho modificadas com SF6. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2016.