

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS EPOXÍDICOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE MALVA*

Lucio Fabio Cassiano Nascimento¹

Sérgio Neves Monteiro²

Raí Felipe Pereira Junio³

Resumo

As fibras naturais lignocelulósicas (FNLs) apresentam propriedades mecânicas excelentes, fator esse que possibilita que sejam empregadas em diversas aplicações de engenharia. Nesse contexto destacam-se as fibras de malva (*Urena lobata*, linn). No presente trabalho foram produzidos compósitos de epóxi com fibras de malva, nas frações volumétricas variando de 0% a 30%, com o uso de duas metodologias distintas para confecção dos corpos de prova, a utilização de moldes de silicone e corte a laser dos CPs de placas compósitas. Para a análise desses parâmetros foi aplicado à análise de variância (ANOVA) e o Teste de Tukey, a partir do qual se pôde afirmar, com um nível de confiança de 95%, que os corpos de prova de epóxi reforçados com 30% de fibras de malva, produzidos por moldes de silicone, tiveram o melhor desempenho, atingindo valores para resistência a tração e módulo de elasticidade longitudinal de 177,49 MPa e 20,50 GPa respectivamente.

Palavras-chave: Fibras de Malva; Epóxi; Resistência Mecânica; Módulo de Elasticidade.

MECHANICAL PROPERTIES OF EPOXIDE COMPOSITES REINFORCED WITH MALVA FIBERS

Abstract

As natural lignocellulosic fibers (FNLs) operate excellent mechanical properties, the factor that allows them to be used in various engineering applications. In this context the fibers of mauve (*Urena lobata*, linn) stand out. In the present work, epoxy composites with mallow fibers were produced in the volumetric fractions varying from 0% to 30%, with the use of two different methodologies for the preparation of the test specimens, the use of silicone molds and laser cutting of the CPs of composite plates. For the analysis of these parameters, it was applied to the analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test, from which it was possible to state, with a confidence level of 95%, that the epoxy test bodies reinforced with 30% fibers of malva, produced by silicone molds, had the best performance, reaching values for tensile strength and longitudinal modulus of 177.49 MPa and 20.50 GPa respectively

Keywords: Mallow Fibers; Epoxy; Mechanical Properties; Modulus of elasticity.

¹ Engenheiro Metalurgista, D.C, Professor Titular, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. lucio_coppe@yahoo.com.br.

² Engenheiro Metalurgista, Ph.D, Professor Titular, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

³ Engenheiro de Materiais, Mestrando em Ciência dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil..

1 INTRODUÇÃO

Os compósitos fibrosos possuem uma maior importância tecnológica ao serem comparados aos demais grupos desses materiais, pois geralmente o seu emprego está relacionado a aplicações que envolvem diretamente alta eficiência, elevada rigidez em relação ao baixo peso [1].

A fase matriz é de elevada significância para a produção de materiais compósitos, sendo responsável por estabelecer diversas funções na estrutura do material, assim, estabelecendo a ligação e a transmissão de carga para as fibras, proteção das mesmas contra danos superficiais e servindo como barreira de propagação das trincas.

As resinas epoxídicas podem, entre outras aplicações, ser utilizadas como adesivos, as quais são polímeros usados para unir outros polímeros, metais, cerâmicos ou compósitos, neste caso organizam-se em adesivos quimicamente reativos. Entre as suas características principais, pode-se citar: ótima combinação de propriedades mecânicas; boas propriedades elétricas; estáveis em termos dimensionais; adesão eficiente; excelente resistência à corrosão; e baixo custo. Entre as suas aplicações típicas, tem-se adesivos, moldes elétricos, componentes para os setores automotivo e aeroespacial, revestimentos de proteção, artigos esportivos e matrizes para compósitos com reforço de fibras [2]. Esta última aplicação típica foi a que inspirou o uso do epóxi no presente estudo como material da matriz para o compósito polímero-fibra natural. Na Tabela 1 são apresentados os valores fornecidos por Callister e Rethwisch (2012) para algumas propriedades das resinas epoxídicas.

Tabela 1. Propriedades das resinas epoxídicas.

Massa Específica (g/cm³)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Limite de Resistência a Tração (MPa)	Alongamento Percentual (%)	Tenacidade a Fratura (MPa.m^{1/2})
1,10 a 1,40	2,41	27,6 a 90,0	3 a 6	0,6

FONTE: (CALLISTER e REDTWISCH, 2012)(adaptado).

Ao contrário das fibras sintéticas, as fibras naturais lignocelulósicas (FNLs) não possuem propriedades uniformes, pois são microestruturalmente heterogêneas e têm limitação dimensional. Uma mesma espécie de FNL pode ter suas propriedades afetadas consideravelmente dependendo da sua origem, qualidade e idade da planta, diâmetro da fibra, razão de aspecto e seu pré-condicionamento [3].

Embora as FNLs apresentem alguns inconvenientes, elas oferecem vantagens como: o custo relativamente baixo, baixa massa específica, maior flexibilidade e não são abrasivas, ao contrário das fibras sintéticas. Além disso, as FNLs auxiliam nas questões socioambientais, pois são provenientes de recursos renováveis, são biodegradáveis e uma fonte de renda de regiões em desenvolvimento [4].

O emprego das fibras de malva (*Urena lobata*, linn) geralmente é destinado para confecção de cordoaria em geral, sendo utilizada para fabricação de papel, vestuário, tecidos para estofados, tapetes e principalmente sacarias direcionadas para o armazenamento de grãos [5]. No entanto, suas propriedades físicas e mecânicas como resistência à tração, módulo de elasticidade e massa específica, demonstram potenciais aplicações como reforço em compósitos de matriz polimérica [6]. A Tabela 2 apresenta algumas propriedades da fibra de malva.

Tabela 2. Propriedades físicas e mecânicas das fibras de malva.

Fibra Natural	Diâmetro (µm)	Comprimento (mm)	Massa Específica (Kg/m³)	Resistência a tração (MPa)	Along. (%)	M. De elasticidade (GPa)
Malva	42,6	23,8	1374	160	5,2	17,4

FONTE: (MARGEM, 2013 [6])(adaptado).

O emprego das fibras de malva como reforço em CFNLs constitui um campo de pesquisa relativamente novo. Os compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de malva possuem aplicações promissoras no campo da blindagem balística, em função das suas excelentes propriedades mecânicas observadas. Neste contexto, destaca-se a possibilidade de utilização de CFNLs em aplicações dinâmicas. Portanto, torna-se fundamental a análise de propriedades quando os corpos de prova são submetidos a esforços mecânicos, como por exemplo, ensaio de tração.

Os objetivos deste estudo consistem:

- Fabricar compósitos epóxi reforçados com fibras de malva, nas frações volumétricas de 0%, 10%, 20% e 30% v/v de fibras;
- Encontrar e comparar a resistência a tração de corpos de prova confeccionados a partir de moldes de silicone, bem como a partir de placas cortadas a laser.
- Calcular o módulo de elasticidade longitudinal pela técnica de excitação por impulso e a partir daí estimar o módulo de elasticidade transversal (G) e o coeficiente de Poisson (ν) para os CFNLs nas frações volumétricas em estudo.

Foi utilizada a análise de variância (ANOVA), através do teste *F*, para verificar se existiam diferenças significativas entre as médias dos resultados obtidos para a resistência mecânica e módulo de elasticidade longitudinal, variando-se a fração volumétrica de fibras em cada amostra. O nível de confiança utilizado para todos os testes foi de 95%. Após a verificação da existência de diferença significativa entre as médias dos resultados obtidos (validade da hipótese alternativa *H1*), para os diversos tipos e frações volumétricas de fibras, foi utilizado o Teste de Tukey, também conhecido como teste da diferença honestamente significativa (*HSD*). O objetivo foi avaliar quantitativamente dois a dois cada um dos tipos ou percentuais de fibras utilizados (tratamentos). Trata-se de um teste de hipóteses, no qual, a partir dos resultados obtidos rejeita-se ou não a hipótese de igualdade com base na diferença mínima significativa (d.m.s), dada pela Equação 1:

$$d.m.s. = q \cdot \sqrt{\frac{QMR}{r}} \quad (1)$$

Onde *q* é amplitude total estudantizada, a qual é função do grau de liberdade (G.L.) do resíduo e do número de tratamentos; QMR é o quadrado médio do resíduo; e *r* é o número de repetições de cada tratamento [7].

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais utilizados

O polímero utilizado como o material da matriz da placa compósita foi a resina epóxi comercial do tipo éter diglicidílico do bisfenol A (DGEBA), endurecida com trietileno tetramina (TETA), utilizando-se a proporção estequiométrica de 13 partes

de endurecedor para 100 partes de resina. A empresa fabricante da resina foi a Dow Chemical do Brasil e fornecida pela distribuidora RESINPOXY Ltda.

As fibras utilizadas no estudo foram fornecidas pela Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) e adquiridas da Companhia Têxtil de Castanhal. As fibras de malva foram limpas, cortadas, no comprimento de 150 mm, e secas em estufa por 24h. A Figura 1 mostra as fibras de malva como fornecidas.



Figura 1. Fibras de malva como fornecidas pela UENF.

2.2. Preparação dos compósitos epóxi-fibras de malva

Para a produção dos compósitos foi utilizada matriz metálica, com volume interno de 214,2 cm³ (dimensões 15x12x1,19 cm) (Figura 2a). As placas foram prensadas em uma prensa hidráulica de 30 toneladas (Figura 2b). Utilizou-se uma carga de 5 toneladas durante 24 horas para fabricação dos corpos compósitos [8, 9, 10]. Para as fibras de malva utilizou-se como referência inicial a densidade de 1,40 g/cm³ [8,9] e para a resina epóxi (DGEBA-TETA) o valor de 1,11 g/cm³ [10]. Os percentuais de malva utilizados no trabalho variaram de 0% a 30%v/v.



Figura 2. a) Matriz metálica para confecção de placas compósitas; b) Prensa SKAY de 30 ton.

2.3. Preparação dos corpos de prova

Foram produzidos dois grupos de amostras de compósitos epoxídicos reforçados com fibras de malva contínuas e alinhadas nos percentuais de 0, 10, 20 e

30%v/v: o primeiro grupo foi produzido a partir de moldes de silicone, conforme a Figura 3. O segundo grupo foi produzido a partir de placas compósitas que foram cordados a laser nas dimensões previstas pela norma ASTM D638. O Equipamento utilizado para o corte das amostras foi a máquina para corte a laser LC 1390, da G-WEIKE, velocidade de deslocamento de 30 m/s e potência do laser de 70 w, pertencente ao Centro de Tecnologia SENAI (CTS Euvaldo Lodi). Os corpos de prova obtidos para os moldes de silicone e por corte a laser juntamente com os equipamentos utilizados estão representados respectivamente nas Figuras 3 e 4.

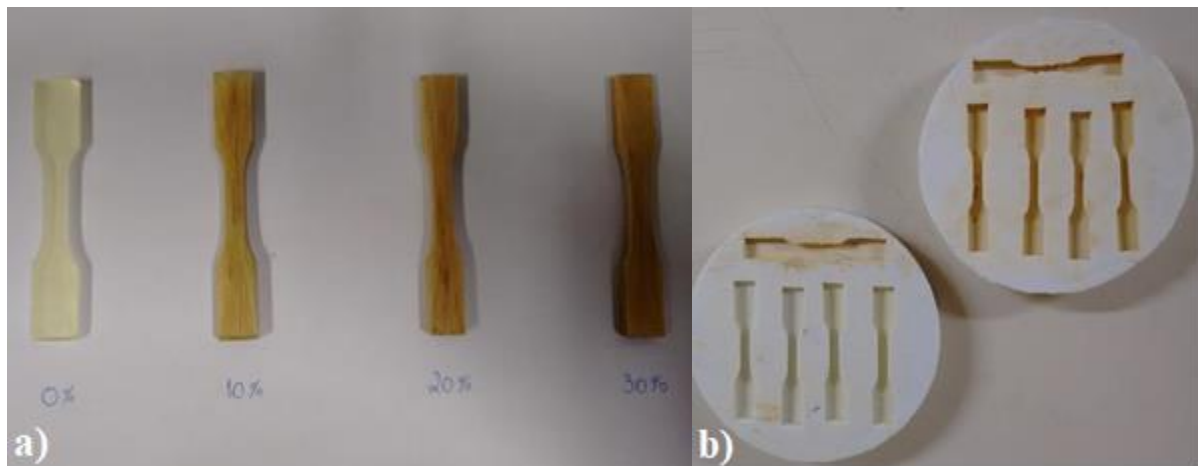


Figura 3. a) Corpos de prova epoxídicos reforçados com fibras de malva contínuas e alinhadas; b) moldes de silicone utilizados para confecção de corpos de prova para ensaio de tração.



Figura 4. a) Corpos de prova epoxídicos reforçados com fibras de malva nos percentuais de 0, 10, 20 e 30%v/v; b) Máquina de corte a laser LC 1390, da G-WEIKE, pertence ao LNDC/UFRJ.

2.4. Ensaio de tração

O ensaio de tração foi realizado em duas máquinas universais: EMIC DL10000 e INSTRON 3365. Em ambos os equipamentos a velocidade de ensaio foi de 2 mm/min, conforme norma ASTM D638. Os equipamentos encontram-se disponíveis no Laboratório de Ensaos Mecânicos (LME) do IME e no Laboratório de ensaios não destrutivos, corrosão e soldagem (LNDC) da UFRJ.

2.5. Análise por técnica de excitação por impulso

A técnica de excitação por impulso é um ensaio não destrutivo que permite determinar os módulos elásticos do material através de suas frequências de

vibração. O equipamento utilizado foi o Sonelastic®, da ATCP Engenharia Física, pertencente ao Grupo de tecnologia de Materiais do Instituto de Pesquisas da Marinha (GTM/IPqM). Os parâmetros utilizados foram: tempo de aquisição 0,683 s e filtro de detecção variando de 0,5 a 20 KHz. O procedimento foi realizado conforme a ASTM E1876. Foram determinados os módulos de elasticidade longitudinal (E), transversal (G) e coeficiente de Poisson (ν) para as amostras com as variações de fração de fibra em estudo, sendo realizadas 10 medições para cada grupo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Ensaio de tração

Foram realizados e obtidos resultados para o ensaio de tração dos compósitos reforçados com fibras de malva contínuas e alinhadas fabricados a partir de moldes de silicone e a partir de placas compósitas cortadas a laser conforme norma específica. Similarmente ao que foi observado por outros estudos, verificou-se que a resistência mecânica cresce com o percentual de fibras [6,11, 12].

Os resultados encontrados para as amostras nos percentuais de 0%, 10%, 20% e 30%v/v nos ensaios de tração estão representados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Resultados para o ensaio de tração de compósitos reforçados com fibras de malva a partir de moldes de silicone.

Percentual de fibras de malva	Resistência a tração (MPa)	Alongamento (%)
0%	32,98 ± 14,61	1,42 ± 0,55
10%	90,01 ± 21,35	2,89 ± 0,45
20%	109,85 ± 21,70	3,12 ± 0,28
30%	177,49 ± 17,80	4,99 ± 0,49

Tabela 4. Resultados para o ensaio de tração de compósitos reforçados com fibras de malva a partir de placas compósitas cortadas a laser.

Percentual de fibras de malva	Resistência a tração (MPa)	Alongamento (%)
0%	51,98 ± 2,37	1,29 ± 0,15
10%	86,91 ± 17,37	1,05 ± 0,23
20%	128,27 ± 15,19	1,20 ± 0,10
30%	130,70 ± 12,95	1,43 ± 0,15

A Figura 5 representa graficamente o crescimento da resistência mecânica com o percentual de fibras, para as amostras fabricadas a partir dos moldes de silicone, e aquelas fabricadas a partir das placas compósitas de acordo com os valores fornecidos nas Tabelas 3 e 4.

O módulo de elasticidade foi determinado dinamicamente pela técnica de excitação por impulso, o que possibilitou alcançar uma precisão e homogeneidade maior de resultados, em comparação com os valores obtidos com o uso do extensômetro por métodos destrutivos [13].

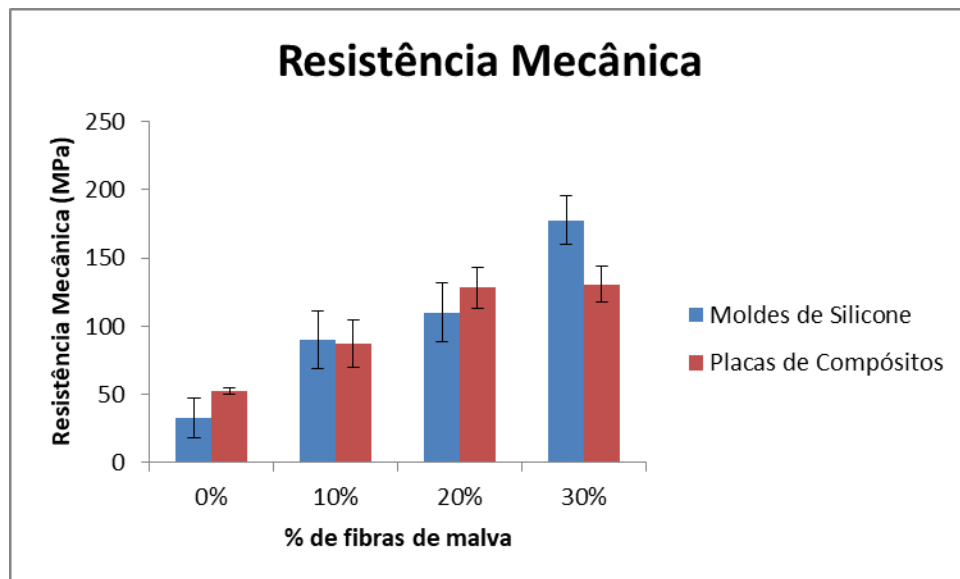


Figura 5. Variação da resistência mecânica com percentuais de fibras de malva atuando como reforço em compósitos de matriz epoxídica.

Os resultados apresentados na figura 5 acima mostram valores próximos da resistência mecânica para as duas metodologias empregadas, nos percentuais estudados de reforço entre 0% e 20%v/v. Já para os CPs reforçados com 30%v/v, foi verificado que o grupo fabricado a partir de moldes de silicone apresentou resultados ligeiramente superiores, em relação aquele fabricado a partir de placas compósitas (177,49 MPa e 130,70 MPa respectivamente). No entanto, tal variação poderia estar relacionada ao ajuste de parâmetros para realização do corte a laser, causando por exemplo sub trincas, que poderiam ser responsáveis pela diferença de resultados obtidos.

Este fato credencia o monitoramento desta propriedade tanto através da confecção de corpos de prova por moldes de silicone, quanto por meio do corte a laser de placas compósitas. Os resultados também evidenciaram a pequena variação do alongamento entre as frações volumétricas estudadas, para os corpos de prova fabricados a partir de placas compósitas, apesar do crescimento da resistência mecânica. Demonstrou-se assim uma melhor homogeneidade entre os percentuais de reforço estudados, muito provavelmente associado à precisão dimensional obtida pelo corte a laser das placas compósitas.

Na Figura 6 são mostrados os corpos de prova após a realização do ensaio de tração.

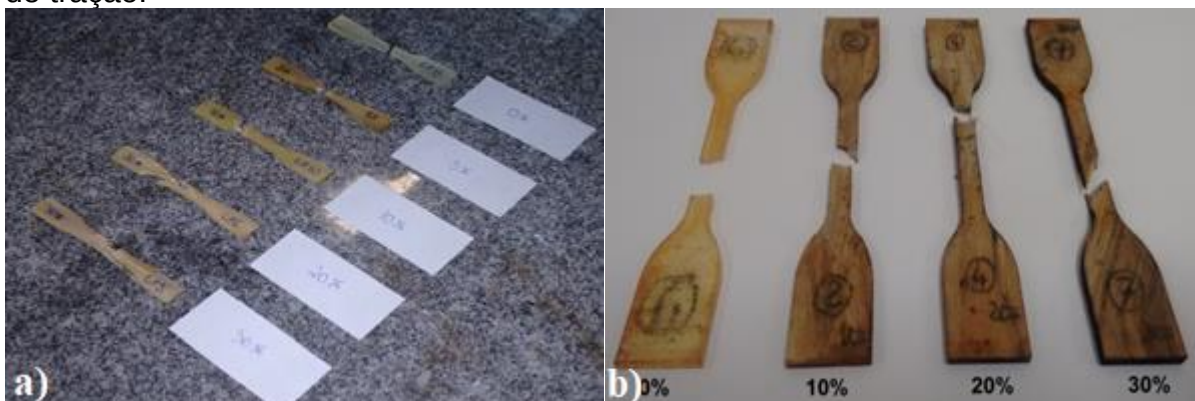


Figura 6. a) Corpos de prova obtidos por moldes de silicones; b) Corpos de obtidos por placas compósitas cortadas a laser.

Uma análise visual das superfícies de fratura mostra evidências da atuação de um mecanismo do tipo frágil até um percentual de reforço de 10%. A partir deste percentual percebe-se que as fibras funcionam atuando como reforço efetivo do compósito (20% e 30%v/v), em razão da ativação de mecanismos como a fratura de fibras e o deslocamento das fibras na interface fibra-matriz.

Os mecanismos de fraturas atuantes no processo podem ser melhor interpretados através de uma análise por microscopia eletrônica de varredura, tais informações estão representadas na Figura 7.

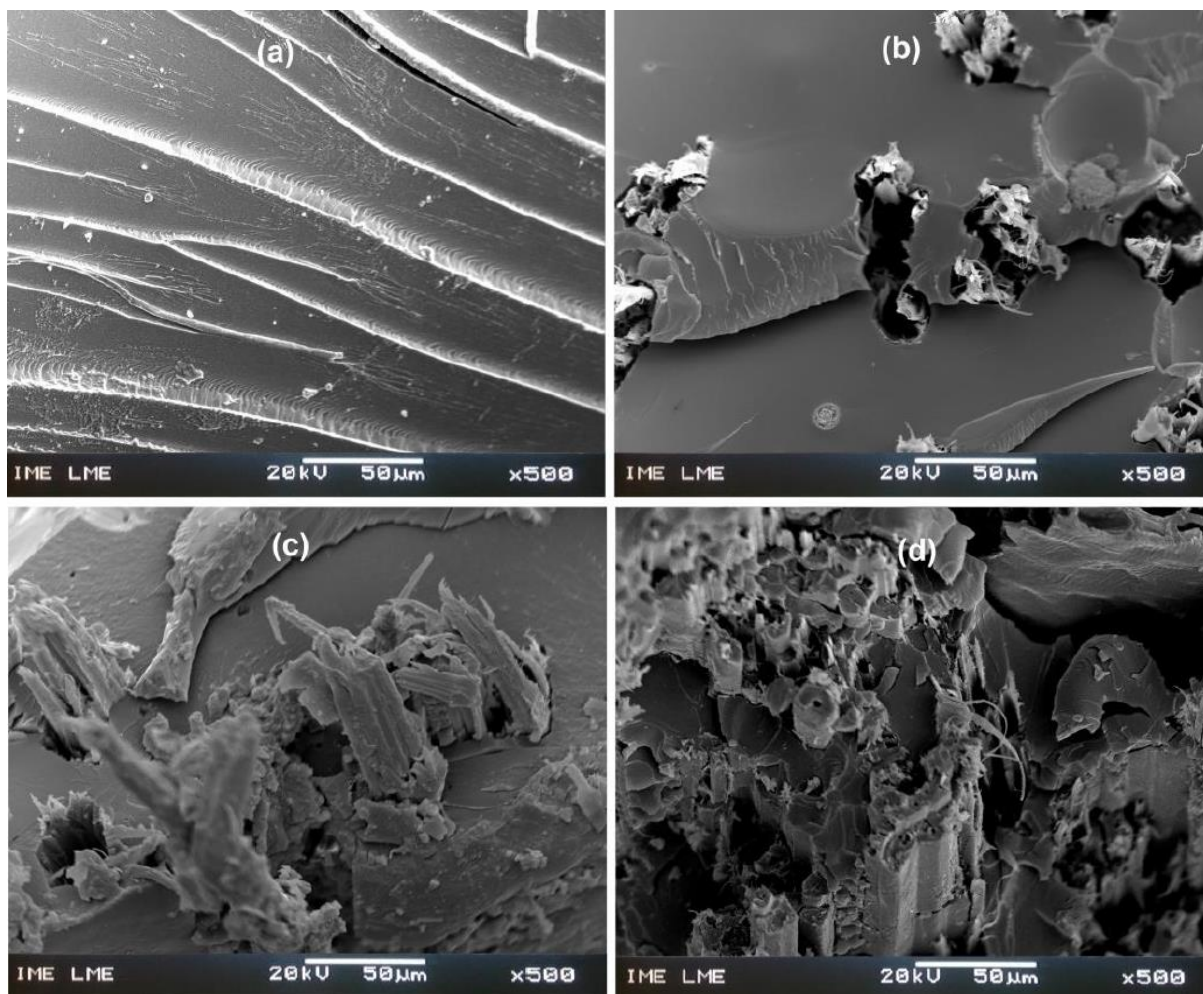


Figura 7. a) Microscopia eletrônica de varredura das superfícies de fratura dos corpos de prova produzidos a partir de placas compósitas cortadas a laser, após ensaio de tração (500x). a) 0%; b) 10%; c) 20% e d) 30%v/v de fibras.

Na Figura 7a) percebe-se o mecanismo de fratura completamente frágil caracterizado pela presença de padrões tipo “marcas de rio” e “marcas de praia”. Na Figura 7b) o reforço pelas fibras ainda não é efetivo, o que torna o mecanismo de fratura frágil ainda dominante no compósito [6, 11,12].

Para a Figura 7c) é possível observar uma maior atuação das fibras no mecanismo de fratura, devido ao efeito “pull-out” observado, corroborando com os maiores valores de resistência mecânica obtida.

Ao se analisar a Figura 7d) percebe-se com maior intensidade a ruptura de fibras, bem como o deslocamento interfacial com a matriz epóxi. A atuação combinada desses mecanismos de falha resultou em um aumento na resistência

mecânica comparativamente a outras frações volumétricas testadas. Tal resultado está de acordo com resultados obtidos por outros autores, os quais, também realizaram ensaio de tração em CFNLs [6, 11, 12].

3.2. Análise estatística

Foi também realizada análise de variância (ANOVA) para verificação se havia diferença significativa entre os resultados obtidos para a resistência à flexão e módulo de elasticidade entre os compósitos epoxídicos reforçados com 0%, 10%, 20% e 30%v/v com fibras de malva, a Tabela 5 mostra os resultados obtidos. Como os valores encontrados para esta propriedade foram semelhantes nas duas metodologias aplicadas, foram escolhidos os resultados obtidos a partir de corpos de prova confeccionados por molde de silicone, em função da percepção de uma variação um pouco maior entre os percentuais de reforço estudados.

Tabela 5. Análise de variância da resistência mecânica para os compósitos estudados.

Causas de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado	F crítico (tabelado)
Tratamentos	3	51909,85	17303,28	97,21	3,24
Resíduo	16	2847,94	178,00		
Total	19	54757,79			

A partir dos resultados na análise de variância da Tabela 5 rejeitou-se a hipótese de que as médias fossem iguais com nível de significância de 5%, pois pela estatística “F”, tem-se: F calculado (97,21) >> F crítico ou tabelado (3,24). Portanto, a fração volumétrica de fibras de malva nos compósitos de matriz epóxi tiveram efeitos diferentes na resistência mecânica. Por isso, aplicou-se o teste de Tukey para comparação de médias utilizando um nível de confiança de 95% para verificar qual fração volumétrica de fibras de malva proporcionou melhores resultados em termos de resistência mecânica. A diferença média significativa (d.m.s.) encontrada foi 25,83. A Tabela 6 mostra os resultados obtidos no teste de Tukey para as diferenças entre os valores médios da resistência mecânica entre as frações volumétricas de fibras de malva testadas.

Tabela 6. Resultados obtidos para as diferenças entre os valores médios de resistência mecânica nas frações volumétricas estudadas, após aplicação do teste de Tukey.

Fração volumétrica de fibras de malva	0%	10%	20%	30%
0%	0	59,552	80,854	142,506
10%	59,552	0	21,302	82,954
20%	80,854	21,302	0	61,652
30%	142,506	82,954	61,652	0

Com base nesses resultados, tem-se que, com nível de significância de 5%, que o compósito reforçado com 30%v/v de fibras de malva apresentou melhor desempenho, pois exibiu maior valor de resistência mecânica (177,49 MPa), este é significativamente diferente dos demais, pois as diferenças encontradas foram superiores ao d.m.s. (25,83), tal fato pode ser também comprovado por outros trabalhos envolvendo medidas da resistência mecânica [6, 11, 12]. Outro detalhe importante a ressaltar é que não houve diferença significativa entre os valores de

resistência mecânica entre os percentuais de reforço de fibras de malva nas frações de 10% e 20%. Este comportamento está possivelmente associado a ocorrência da transição entre um mecanismo completamente frágil de ruptura (0% e 10% v/v) para uma fratura que já evidencia mecanismos de ductilidade (20% e 30%v/v), ocasionando maiores valores de resistência mecânica, em função do aumento da variação volumétrica de fibras que reforçam o compósito [14,15].

3.3. Análise por técnica de excitação por impulso

A Tabela 7 mostra os resultados obtidos para as medidas dinâmicas do módulo de elasticidade longitudinal (E), módulo de elasticidade transversal (G) e coeficiente de Poisson (ν).

Tabela 7. Propriedades elásticas medidas através da técnica de excitação por impulso.

Percentual de fibras de malva	Módulo de elasticidade longitudinal - E (GPa)	Módulo de elasticidade transversal - G (GPa)	Coefficiente de poisson (ν)
0%	$3,89 \pm 0,03$	$1,42 \pm 0,02$	$0,36 \pm 0,02$
10%	$11,60 \pm 0,11$	$5,48 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,02$
20%	$15,73 \pm 0,17$	$6,00 \pm 0,01$	$0,30 \pm 0,01$
30%	$20,50 \pm 0,10$	$6,77 \pm 0,01$	$0,52 \pm 0,01$

O módulo de elasticidade longitudinal foi a propriedade mais importante obtida pela técnica de excitação por impulso, pois representa um parâmetro estrutural fundamental a ser definido para utilização dos compósitos em aplicações de engenharia [13]. No entanto, a determinação do módulo longitudinal pelo método dinâmico propiciou baixa dispersão de valores e a verificação do aumento do mesmo a medida que cresce o percentual de reforço de fibras. Este fato foi comprovado por outros autores que utilizaram métodos destrutivos para determinação destas propriedades, porém com maior dispersão de valores e menor precisão [11,12]. A Figura 8 apresenta o aumento do módulo de elasticidade longitudinal com a fração volumétrica de fibras de malva em um comportamento aproximadamente linear.

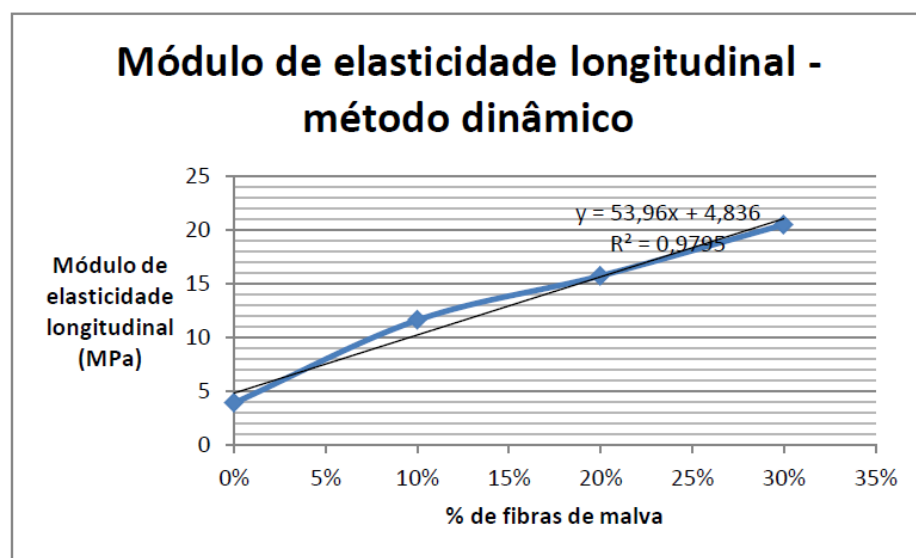


Figura 8. Variação do módulo de elasticidade longitudinal com os percentuais de fibras de malva atuando como reforço em compósito de matriz epoxídica.

3 CONCLUSÃO

A resistência a tração dos corpos de prova reforçados com 0% a 20%v/v de fibras de malva e produzidos a partir de moldes de silicone foi bem semelhante aquela dos corpos de prova confeccionados a partir de placas compósitas cortadas a laser. Para os CPs reforçados com 30%v/v, o grupo fabricado a partir de moldes de silicone apresentou resultados ligeiramente superiores aquele fabricado a partir de placas compósitas (177,49 MPa e 130,70 MPa respectivamente). No entanto, tal variação poderia estar relacionada ao ajuste de parâmetros para realização do corte a laser, causando por exemplo sub trincas, que poderiam ser responsáveis pela diferença de resultados obtidos.

O módulo de elasticidade longitudinal, calculado pela técnica de excitação por impulso, aumentou linearmente com a ampliação dos percentuais volumétricos de reforço de 0%, 10%, 20% e 30%. As outras propriedades elásticas (G e ν), apesar de evidenciadas no trabalho podem fornecer valores incorretos, em função da anisotropia natural destes compósitos reforçados por fibras contínuas e alinhadas [13]

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao CNPq, à FAPERJ e à CAPES por meio do PDS pelo financiamento da pesquisa, através do **programa 31007015006P4**, e a UENF pelo fornecimento das fibras de malva.

REFERÊNCIAS

- 1 CALLISTER, W.D. RETHWISCH, D. G.; ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 9. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- 2 ASKELAND, D.R; PHULÉ, P.P. Ciência e Engenharia dos Materiais, CENGAGE Learning, 2008.
- 3 MOHANTY, A.K.; MISRA, M.; HINRICHSEN, G. Biofibres, Biodegradable Polymers and Bio-composites: An Overview. Macromolecular Materials and Engineering, Vol. 276/277, 1–24, 2000.
- 4 MONTEIRO, S.N.; LOPES, F.P.D.; BARBOSA, A.P.B.; BEVITORI, A.B.; DA SILVA, I.L.A.; DA COSTA, L.L. Natural Lignocellulosic Fibers as Engineering Materials - An Overview. METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS A. Vol. 42A, pp.2963-2974, 2011.
- 5 SAVASTANO Jr., H. Materiais a base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo. Tese de livre-docência, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
- 6 MARGEM, J.I. Estudo das características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de malva. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2013.
- 7 VIEIRA, S. Análise de Variância (ANOVA). São Paulo, SP: Editora Atlas; 2006.
- 8 LUZ, F.S. Avaliação do Comportamento Balístico de Blindagem Multicamada dom Compósito de Epóxi Reforçado com Fibra de Juta. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais no Instituto Militar de Engenharia. 2014.

- 9 MILANEZI, T.L. Avaliação do Comportamento Balístico Sinérgico de Blindagem Multicamadas com a Fibra de Rami. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais no Instituto Militar de Engenharia. 2015.
- 10 BRAGA, F.O. Comportamento Balístico de uma Blindagem Multicamada utilizando Compósito Poliéster-Curauá como Camada Intermediária. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais no Instituto Militar de Engenharia. 2015.
- 11 CANDIDO, V.S. Caracterização e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. Tese (Doutorado em Ciências dos Materiais), Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2014.
- 12 GOMES, M.A. Propriedades mecânicas de compósitos poliméricos reforçados com fibras de folhas de abacaxizeiro (PALF)./ Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2015.
- 13 MORREL, R. NPL Measurement Good Practice Guide - Elastic Module Measurement. UK National Physical Laboratory Report, n. 98, 100 p., 2006.
- 14 KU, H., WANG, H., PATTARACHAYAKOOP, N., TRADA, M. A review on tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. Compos, Part B 42, p.p. 856-873. 2011.
- 15 MORAES, Y.M., RIBEIRO, C.G.Q., MARGEM, F.M., MONTEIRO, S.N., MARGEM, J.I. Tensile strength tests in epoxy composites with high incorporation of mallow (malva) fibers. Characterization of Minerals, Metals and Materials 2016. Hoboken, USA: John Wiley & Sons; p.p. 273-278. 2016.