

## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITOS VERDES DE MATRIZ EPÓXI/POLIÉSTER REFORÇADOS COM LUFFA CYLINDRICA

**Bruno Dorneles de Castro**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – Minas Gerais

**Claudia Victoria Campos Rubio**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – Minas Gerais

**Julia Amaral dos Santos**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – Minas Gerais

**Luciano Machado Gomes Vieira**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – Minas Gerais

**Juan Carlos Campos Rubio**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – Minas Gerais

**RESUMO:** O aumento populacional implica no aumento da demanda por produtos, o que torna necessária a busca por diversos métodos de produção sustentável, caracterizados pela redução do uso de fontes convencionais e não renováveis. Por outro lado, os materiais compósitos têm ganhado grande destaque no cenário industrial, uma vez que possibilitam combinações de diversas propriedades mecânicas, sendo base para incríveis aplicações, sobretudo em setores que necessitam de avançada tecnologia. Além disso, a substituição das tradicionais fibras

sintéticas por fibras naturais, como reforço de compósitos, tem sido foco de diversas pesquisas, devido à importância de se utilizar materiais sustentáveis, que considerem a importância do ciclo de vida de um produto na preservação do planeta. Este trabalho tem como objetivo caracterizar o comportamento mecânico de compósitos de matriz polimérica, reforçados com bucha vegetal Luffa Cylindrica. Foram definidas quatro combinações experimentais, utilizando duas resinas, epóxi e poliéster, sendo reforçadas por duas ou três camadas de buchas, a fim de avaliar a influência do tipo de resina e do número de camadas nos resultados dos testes. Para a análise do comportamento mecânico dos compósitos, foram realizados testes de flexão, tração e impacto Charpy. O uso de duas camadas de fibra vegetal Luffa Cylindrica, contribuiu para um aumento nas resistências à flexão e à tração dos compósitos. Os compósitos com resina epóxi apresentaram maior resistência à tração e menor resistência ao impacto, em comparação com os compósitos de matriz poliéster.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compósitos de matriz polimérica, Fibras naturais, Luffa Cylindrica.

**ABSTRACT:** The increase in population implies an increase of demand for products, which makes it necessary to search for various methods of sustainable production, qualified

by the less use of conventional and non-renewable sources. On the other hand, composite materials have won great prominence in the industrial scenario, since they allow various mechanical properties combinations providing incredible applications, especially in sectors that need advanced technology. Besides that, the replacement of usual synthetic fibers with natural fibers as reinforcement for the composites, has been the focus of several researches, due to the value of using sustainable materials, which considers the matter of the product's life cycle that impacts the planet. This work aims to feature the mechanical behavior of a polymer matrix composite that is reinforced with natural fibres, *Luffa Cylindrica*. Four experimental combinations were defined, using two resins, epoxy and polyester, reinforced by two or three layers of natural fibres, to measure the influence of the type of the resin and the number of layers in the tests results. To analyzing the mechanical behavior flexural, tensile and impact tests were performed. The use of two layers of vegetable fibres contributed to an increase in flexural and tensile strength. The epoxy resin composites showed higher tensile strength and lower impact resistance compared to polyester composites matrix.

**KEYWORDS:** Polymer Matrix Composites, Natural Fibers, *Luffa Cylindrica*.

## 1 | INTRODUÇÃO

Há um grande interesse mundial pelo desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitem a utilização de produtos com menor impacto ambiental e que atendam às necessidades das indústrias. Por esse motivo, o desenvolvimento de pesquisas com materiais compósitos tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, uma vez que possibilita a combinação de propriedades de diferentes materiais, podendo fomentar a mentalidade sustentável nos mais variados âmbitos da cadeia produtiva de um determinado produto (OMRANI; MENEZES; ROHATGI, 2016).

Nesse contexto, o uso de fibras naturais como material de reforço em compósitos representa uma boa forma de se considerar o uso de uma fonte renovável, de natureza abundante, como um insumo na fabricação de um produto. Sua biodegradabilidade e combustão sem produzir gases nocivos ou resíduos sólidos contribuem para um ecossistema mais saudável, influenciando positivamente na vida de gerações futuras (MARINELLI et al., 2008).

As fibras naturais são caracterizadas por possuir baixo peso e baixo custo, e seu uso em substituição às fibras sintéticas tradicionais, como fibras de vidro e de aramida, tem sido maciçamente investigado, resultando em diversas possibilidades de aplicações, de acordo com o novo desempenho mecânico alcançado (ADEKOMAYA et al., 2017).

A *Luffa cylindrica* (LC), popularmente conhecida como bucha (Figura 1), é uma planta subtropical, abundante no território Chinês, Japão e em outros países da Ásia, bem como em países da América Central e do Sul. Sua fruta tem um sistema vascular que, quando seca, se arranja em uma manta tridimensional natural. O uso de bucha como reforço em compósitos de matriz polimérica apresenta como grande vantagem a

característica de manta natural contínua dessa fibra (BOYNARD & d'ALMEIDA, 2000; NAGLIS & d'ALMEIDA, 1994).



Figura 1 – Luffa cylindrica adulta (Lider Agronomia, 2016)

Em geral, as características da esponja de LC que se destacam são o baixo custo, a não toxicidade, a estabilidade física e química durante a expectativa de vida, a biodegradabilidade após eliminação em condições de compostagem e, como já citado, a abundância na natureza (KAEWTATIP & THONGMEE, 2012). Esses recursos garantem a viabilidade comercial da LC esponja e o fornecimento fácil, promovendo-o como um produto sustentável.

As resinas têm como fim atuar como adesivo, ou seja, fazer com que o material atinja sua resistência própria em um dado instante, apresentando excelente resistência química, alta capacidade de liga e resistência mecânica final muito elevada (COSTA et al., 2015). Por esse motivo, a adesão interfacial entre a resina e o material de reforço é determinante nas propriedades mecânicas do compósito constituído por essas fases (AHMAD; LUYT, 2012).

As resinas epóxi (etoxileno) são as que contêm o grupo epoxílico, derivadas da epiclórídria e bisfenol A. São provenientes de gases petrolatos e a da condensação de fenol com acetona, respectivamente (PIRES et al., 2005). Elas, por si só, não apresentam características físicas para utilização prática, devendo ser combinadas em sistemas com outros materiais. Para tanto, se utilizam catalisadores que possuem em suas moléculas hidrogênio ativo, o qual reage com as resinas gerando uma “formulação epóxi” (COSTA et al., 2015).

As resinas poliéster são compostos orgânicos derivados de petróleo que passam do estado líquido para o sólido através da polimerização. Tais resinas constituem-se em um dos polímeros termofixos mais largamente usados na indústria visto sua grande versatilidade e suas boas propriedades mecânicas, por um custo relativamente baixo (AQUINO, 2003).

Este estudo tem como objetivo caracterizar o comportamento mecânico de compósitos de matrizes epóxi e poliéster, reforçadas com Luffa Cylindrica (LC). Testes

de flexão em três pontos, tração e impacto Charpy foram realizados, a fim de investigar a influência do número de camadas de bucha como reforço no módulo de elasticidade e na resistência à solitação mecânica de cada teste.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Condições experimentais

Neste trabalho, foram definidas quatro condições experimentais, variando o fator número de camadas de Luffa Cylindrica (duas ou três camadas) e o fator tipo de resina (epóxi ou poliéster), a fim de analisar as propriedades mecânicas obtidas nos testes de tração, flexão e impacto. A Tabela 1 traz um resumo das condições experimentais definidas neste trabalho.

Condição experimental	Tipo de resina	Número de camadas de Luffa Cylindrica
EP_2C	Epóxi	Duas
EP_3C	Epóxi	Três
PO_2C	Poliéster	Duas
PO_2C	Poliéster	Três

Tabela 1 – Condições experimentais do estudo

A fabricação dos corpos de prova e a realização dos experimentos foram realizados de maneira totalmente aleatória. A fim de evitar distorções nos resultados encontrados, os outliers não foram considerados nas análises estatísticas, que foram realizadas com o auxílio do software Minitab 17®.

### 2.2 Processo de fabricação dos compósitos

Os compósitos foram fabricados em molde através de compressão para obtenção de placas planas, com superfícies homogêneas, de modo a possibilitar a construção de corpos de prova. Todas as etapas da confecção das placas dos compósitos ocorreram no Grupo de Inovação e Tecnologia em Materiais (GITEM), laboratório da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Inicialmente, as buchas, que apresentavam uma espessura média estimada em 2 mm foram cortadas nas dimensões 16 x 20 mm (largura x comprimento), definindo assim as dimensões padrão de uma camada (Figura 2a).

Para o preparo da resina epóxi, utilizou-se a proporção mássica indicada pelo fornecedor de 1/10 de catalisador/resina. Para a fabricação dos compósitos, foi definida a proporção volumétrica de 70/30 de resina/bucha, considerando densidades da fibra vegetal e das resinas. Além disso, foi possível perceber que, com tais proporções, uma espessura média de 4 mm era obtida, sendo esta espessura ideal para os testes mecânicos a serem realizados.

Para a moldagem dos compósitos na forma de placa, foi construído um molde retangular, composto por duas chapas de aço (Figura 2b), que foram revestidas com tecidos de Armalon®, composto de Teflon, um material desmoldante, a fim de evitar a interação química das resinas com as placas e de facilitar a remoção e a limpeza do molde após a fabricação do compósito.

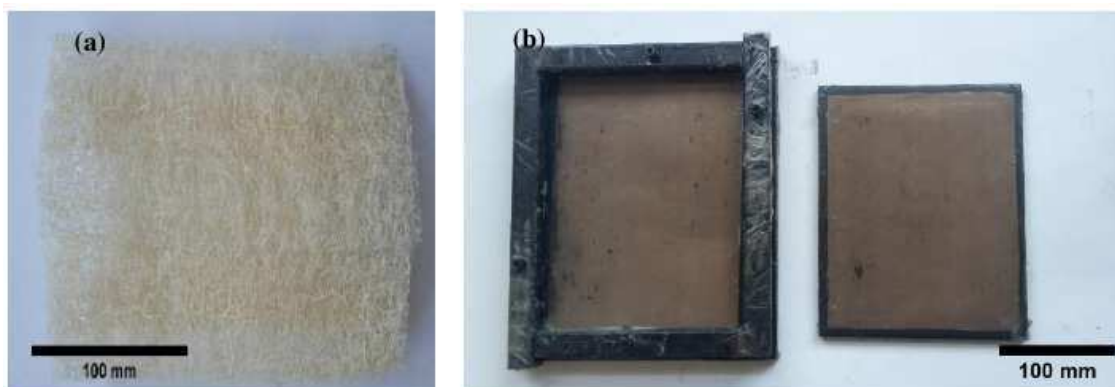


Figura 2 – Em (a) Luffa cylindrica “bucha” processada e (b) molde para a confecção dos compósitos

As resinas foram misturadas com as camadas de bucha dentro do molde citado, e foram submetidas a uma pressão a frio de 5 Kgf/cm<sup>2</sup>, por meio de uma prensa hidráulica do tipo BOVENAU-P15500. Os compósitos ficaram prensados por 48 horas, a uma temperatura média de 25 ± 2 °C e umidade relativa do ar de 60%. Retirados os compósitos da prensa, estes foram mantidos a temperatura de 25 ± 2 °C por 7 (sete) dias para cura completa, antes de serem cisalhados e moldados em corpos de prova para os testes mecânicos.

### 2.3 Ensaios mecânicos

Os ensaios mecânicos foram realizados no Centro de Inovação e Tecnologia em Compósitos (CITec) da Universidade Federal de São João del-Rei. Os ensaios de flexão em três pontos e de tração foram realizados por meio de uma máquina universal de ensaios da Shimadzu, modelo AG-X Plus.

Os ensaios de flexão foram realizados com base na norma ASTM D790-17 (2017). Foram construídos 10 (dez) corpos de prova para cada uma das quatro condições experimentais, cada um com largura aproximada de 76 mm, comprimento aproximado de 1,3 m e espessura aproximada de 4 mm. Com base na espessura, a distância entre os vãos foi de 64 mm. A velocidade do ensaio foi de 1 mm/min. As propriedades de módulo de elasticidade na flexão, resistência à flexão e deslocamento máximo da máquina até a fratura foram obtidas com o auxílio do software TrapeziumX®.

Os ensaios de tração, por sua vez, ocorreram com base na norma ASTM D3039-17 (2017). Um total de 5 (cinco) corpos de prova foram ensaiados para cada condição experimental, que tiveram um comprimento de 16 mm, largura de 1,9 mm e espessura

aproximada de 4 mm. O comprimento útil dos corpos de prova foi de 100 mm, e a uma velocidade do ensaio foi de 1 mm/min. Assim como nos ensaios de flexão, os valores de módulo de elasticidade na tração, resistência à tração e deformação até a ruptura foram obtidos com o auxílio do software TrapeziumX<sup>®</sup>.

Os ensaios de impacto Charpy, por sua vez, foram realizados com base nas normas ASTM D6110-18 (2018), em uma máquina XJJ-50 Series (Figura 5), com um pêndulo de 15 J e velocidade de 3,8 m/s. Os corpos de prova tiveram um comprimento de 80 mm, largura de 10 mm e espessura aproximada de 4 mm. Foram construídos 10 (dez) corpos de prova de cada condição, a fim de avaliar a energia absorvida ao impacto Charpy dos compósitos.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os compósitos apresentaram um comportamento frágil, característico de polímeros termorrígidos, no momento das fraturas, relacionadas às solicitações mecânicas dos ensaios. A adesão interfacial dos compósitos influencia diretamente na transmissão de cargas mecânicas. No caso das fibras naturais, como a bucha, há a existência de grupos funcionais hidroxilas, que conferem às fibras uma característica hidrofílica (polar), que se contrasta com as resinas poliméricas hidrofóbicas (apolares), favorecendo a propagação de trincas (HOTO et al., 2014; BARBHUIYA et al., 2016).

Com base nos resultados dos testes mecânicos realizados, a Tabela 2 mostra a média e o desvio-padrão de cada propriedade mecânica avaliada.

Condição	Flexão			Tração			Impacto
	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência (MPa)	Deslocamento máximo (mm)	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência (MPa)	Deformação até a ruptura (%)	Energia (J)
EP_2C	0,84±0,03	24,39±1,69	2,78±0,56	1,04±0,47	22,54±2,73	0,85 ± 0,30	0,31±0,02
EP_3C	1,08±0,05	18,94±1,87	5,13±1,01	1,71±0,45	15,90±1,73	1,67 ± 0,07	0,31±0,03
PO_2C	1,20±0,04	19,55±3,67	1,91±0,36	1,48±0,44	10,93±1,67	2,51 ± 0,02	0,32±0,06
PO_3C	1,43±0,06	15,97±1,66	2,70±0,50	2,82±0,41	10,54±2,69	0,65 ± 0 02	0,73±0,12

Tabela 2 – Resultados obtidos através dos ensaios mecânicos

A partir dos ensaios de flexão, verificou-se que os compósitos com resina poliéster apresentaram uma rigidez à flexão maior (maior módulo de elasticidade) que os compósitos com resina epóxi (Fig. 3a). Sugere-se a interferência de fatores como a afinidade química entre cada tipo de resina e a bucha, além das propriedades de cada tipo de resina, como a massa molar e a densidade de ligações cruzadas, que variam conforme os parâmetros de fabricação da resina e afetam diretamente em seu comportamento mecânico (UMBOH et al., 2014; PISTOR, SOARES, MAULER, 2016).

A adição de uma terceira camada de bucha resultou em um aumento na rigidez dos compósitos, o que mostra que a fibra contribuiu para o enrijecimento da estrutura

polimérica. Luo et al. (2016) verificaram em um estudo de compósitos com resinas epóxi reforçadas com fibras de sisal que a variação no teor de reforço pode influenciar positiva ou negativamente nas propriedades de flexão desses compósitos, uma vez que a rigidez desses materiais depende da densidade de ligações cruzadas e da massa molar da resina utilizada.

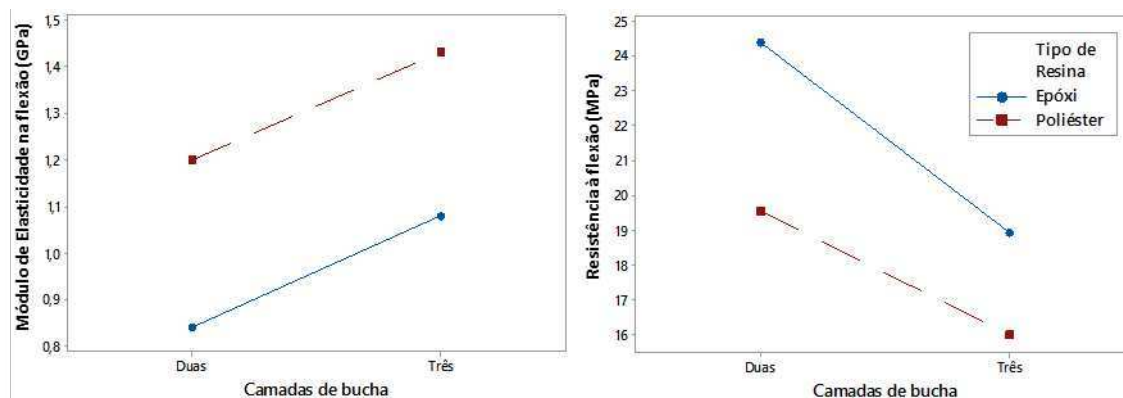


Figura 3 – Gráfico de interações para (a) módulo de elasticidade na flexão e (b) resistência à flexão dos compósitos

A resistência à flexão, por sua vez, diminui com a adição de mais uma camada de bucha (Fig. 3b), em ambas as resinas, devido à problemas de adesão interfacial. Aumentando a quantidade de bucha de reforço, aumenta-se o contato superficial entre as fases, o que pode acarretar na formação de um material mais heterogêneo. Quando a adesão interfacial é fraca, as trincas podem se propagar mais facilmente. Pelos resultados, a adição de uma terceira camada de bucha resultou na diminuição da capacidade do material em resistir aos esforços cisalhantes na interface matriz e fibra. Por esse motivo, para um aumento na resistência com o aumento no teor de fibras, pode-se considerar o uso de tratamentos químicos na bucha, para aumentar a rugosidade superficial e diminuir a hidrofobicidade de sua estrutura (DOAN, BRODOWSKY, MÄDER, 2012; AHMAD, LUYT, 2012).

A Figura 4 mostra a curva força por deslocamento de exemplos de cada condição experimental. Percebe-se que os compósitos com três camadas de bucha tiveram maior deformação, com menores módulos de força aplicada, em comparação com os compósitos com duas camadas de bucha.

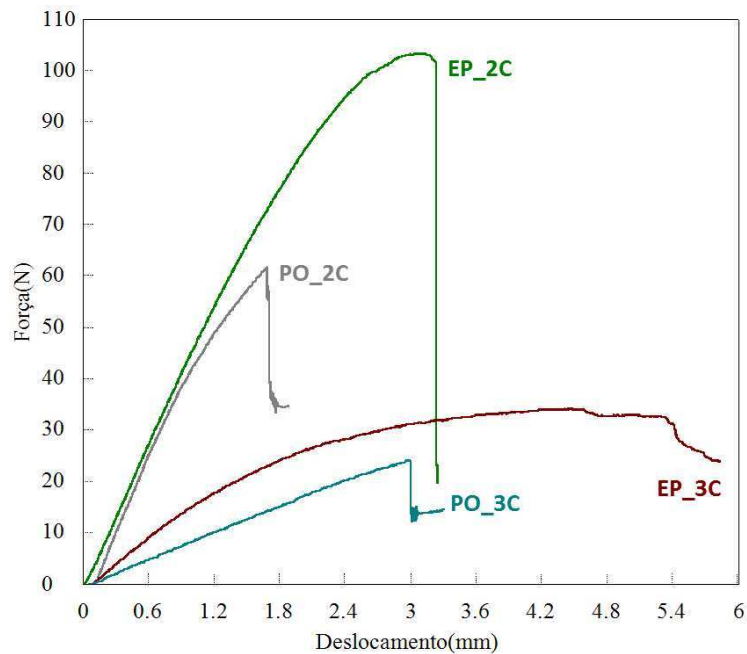


Figura 4 – Curvas força por deslocamento das condições experimentais, obtidas nos testes de flexão

Com relação aos resultados dos testes de tração, observou-se uma tendência semelhante àquela encontrada nos resultados dos testes de flexão, no qual há uma módulo de elasticidade superior nos compósitos com resina poliéster (Fig. 5a). Destaca-se a possibilidade de influência das propriedades mecânicas de cada resina isoladamente, sendo evidente uma maior rigidez à tração no caso da resina poliéster. Contudo, ressalta-se que as propriedades mecânicas desses polímeros variam de acordo com seus parâmetros de fabricação (CROSSLEY, SCHUBEL, STEVENSON, 2014).

Houve também um aumento no módulo de elasticidade com a adição de mais uma camada no compósito. As propriedades mecânicas dos compósitos são basicamente resultantes de combinações das propriedades mecânicas de cada componente isoladamente, o que se faz inferir que o aumento no teor de bucha pode resultar no aumento da rigidez do material (POTHAN et al., 2008).

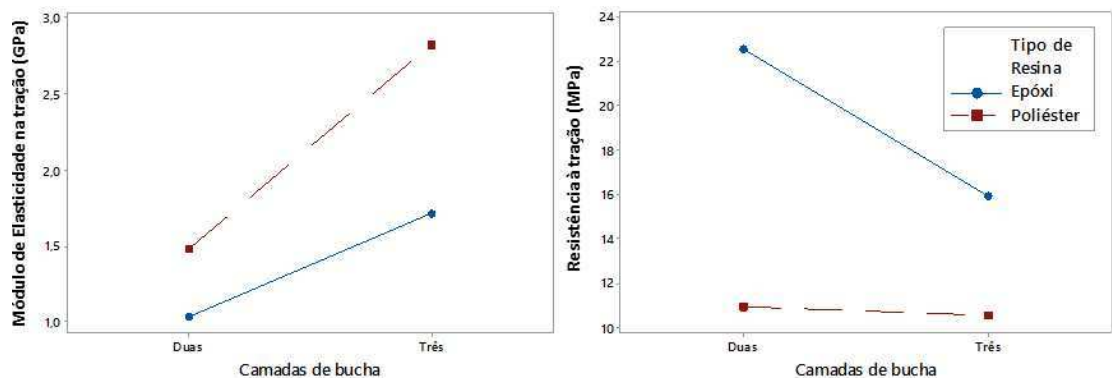


Figura 5 – Gráfico de interações para (a) módulo de elasticidade na tração e (b) resistência à tração dos compósitos

A resistência à tração dos compósitos (Fig. 5b) foi maior com o uso da resina epóxi, independentemente do número de camadas de bucha. Além disso, a adição de uma terceira camada de bucha diminuiu a resistência à tração, sugerindo problemas de adesão interfacial. Esse decréscimo na resistência à tração também foi verificado no estudo de Mohanta e Acharya (2015), que analisou esse comportamento em compósitos de resina epóxi reforçados com bucha vegetal. A superfície de uma fibra natural é comumente lisa e hidrofílica, o que pode lhe conferir dificuldades em resistir à cargas mecânicas, quando estão como reforço de compósitos poliméricos (OLIVEIRA et al., 2017).

A Figura 6 mostra a curva tensão por deformação para ensaios de tração das condições experimentais. É possível perceber que a deformação até a ruptura variou sem uma tendência clara entre os fatores. Isso se mostra evidente quando a transmissão das cargas entre as fases não é precisa, devido à problemas de adesão interfacial (MOHANTA, ACHARYA, 2015).

Através dos ensaios de Impacto Charpy (Figura 7), verificou-se que a condição com resina poliéster com três camadas de bucha apresentou uma maior absorção de energia ao impacto que as demais condições, o que mostra que houve uma boa interação entre essa resina e o uso de três camadas de bucha, considerando a solicitação mecânica de impacto imposta.

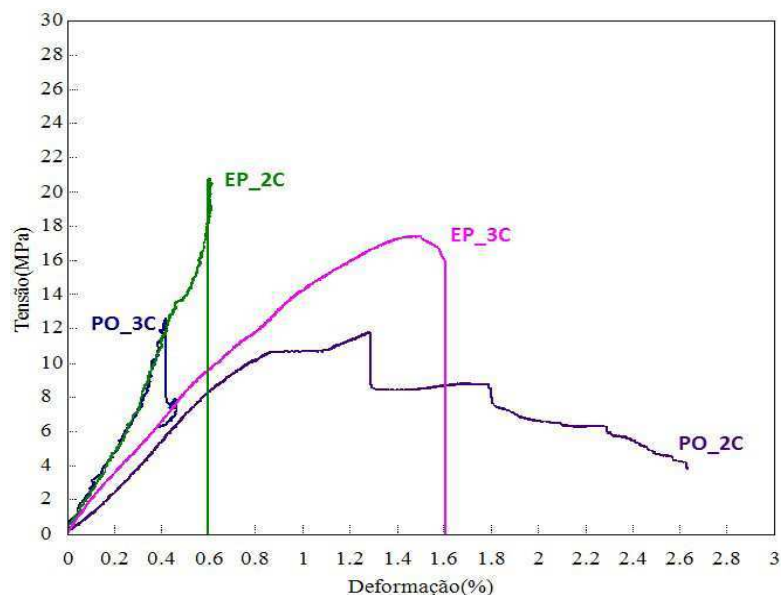


Figura 6 – Curvas tensão por deformação em ensaios de tração dos compósitos

No caso dos compósitos com resina epóxi, não foi verificada uma alteração evidente na capacidade de absorção de energia, considerando os parâmetros utilizados nesse ensaio. Salienta-se também a importância da viscosidade dos polímeros, uma vez que o escoamento por entre as lacunas existentes na estrutura física da bucha possibilita uma absorção mais uniforme da resina pelas fibras vegetais

(POLYCHRONOPOULOS et al., 2016).

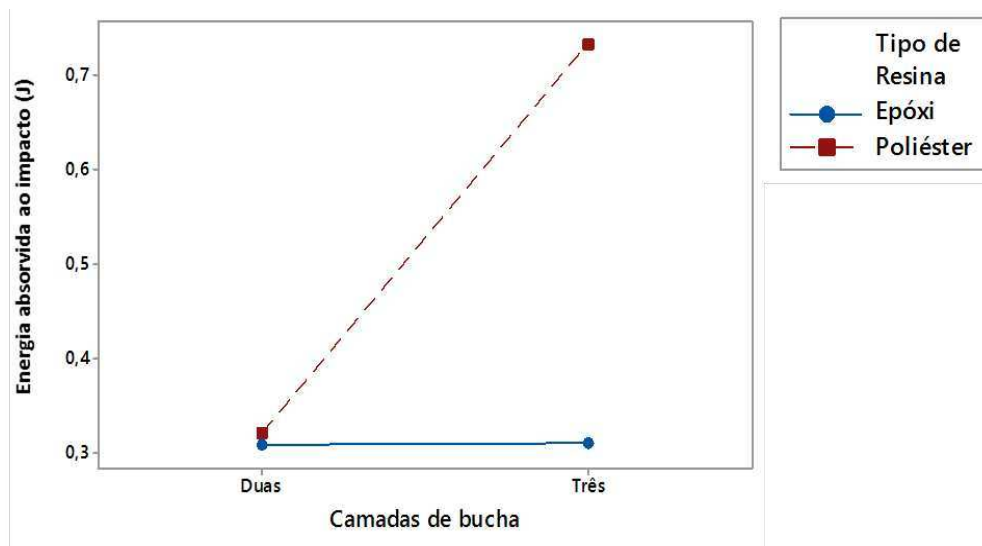


Figura 7 – Gráfico de interações da energia absorvida ao impacto Charpy dos compósitos

Nas análises das fraturas dos compósitos foram observadas fraturas típicas de quebra da matriz, arrancamento de fibras, ponte de fibras e ruptura de fibras como podemos observar nas imagens da Tabela 3.

Li, Mai e Ye (2005) afirmam que problemas, como delaminações e arrancamento de fibras, visíveis na fratura de compósitos, são oriundas de problemas de adesão interfacial, uma vez que as trincas se propagam severamente quando a adesão entre as fases não é suficiente para evitá-las. Além disso, os autores ressaltaram a influência de forças cisalhantes no interior desses compósitos, que são determinantes na transferência de cargas no interior desses materiais.







Condição	Tração	Flexão em 3 pontos	Impacto Charpy
EP_2C			
EP_3C			



Tabela 3 - Fraturas dos compósitos em ensaios de tração, flexão e impacto

## 4 | CONCLUSÃO

Motivado por estruturas de baixa densidade e baixo peso com menor impacto ambiental, o uso de compósitos reforçados com *Luffa Cylindrica* pode representar uma alternativa interessante para o Brasil em várias aplicações, como nas indústrias automotivas e de construção civil. Além disso, a facilidade de cultivo, a resistência às intempéries e o curto ciclo de maturação dessa bucha favorece sua produção em larga escala, o que incentiva economicamente sua utilização pelo mercado industrial.

Por meio deste trabalho, foi possível concluir que a utilização de buchas (*Luffa cylindrica*) como reforço de matrizes epóxi e poliéster é uma forma válida, na tentativa de substituir fibras sintéticas tradicionais, pois o material compósito final possui propriedades mecânicas que possibilita a sua aplicação como material estrutural.

Além disso, a utilização de três camadas de buchas, como reforço, resulta em um aumento no módulo de elasticidade na flexão e na tração, se comparado aos compósitos com apenas duas camadas de bucha. Os compósitos com matriz de epóxi apresentaram maior resistência à tração e menor resistência ao impacto que os compósitos de matriz poliéster, o que evidencia a diferença no comportamento mecânico de cada resina, com base nos testes realizados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC) da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

ADEKOMAYA, O; JAMIRU, T.; SADIKU, R.; HUAN, R. Negative impact from the application of natural

fibers. **Journal of clean production**, v. 143, p. 843-846, 2017.

AHMAD, E. E. M.; LUYT, A. S. Effects of Organic Peroxide and Polymer Chain Structure on Mechanical and Dynamic Mechanical Properties of Sisal Fiber Reinforced Polyethylene Composites. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 125, p. 2216-2222, 2012.

AQUINO, R. C. M. P. **Desenvolvimento de compósitos de fibras de piaçava da espécie attalea funifera mart e matriz de resina poliéster**. 2003. 151 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Centro de Ciência e Tecnologia, Campos dos Goitacazes, 2003.

ASTM D3039 / D3039M-17, **Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

ASTM D6110-18, **Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.

ASTM D790-17, **Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

BARBHUIYA, A. H.; CHOUDHURY, S.; U. ISMAIL, K. Characteristics of murta bast fiber reinforced epoxy composites. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 133, n. 43, 2016.

BOYNARD, C. A.; D'ALMEIDA, J. R. M. Morphological characterization and mechanical behavior of sponge gourd (*luffa cylindrica*)–polyester composite materials. **Polymer-Plastic Technology. & Engineering**, v. 39, p.489, 2000.

COSTA, L. A.; DIAS, R.; MACHADO, R. A. F.; FREITAS, F.; CZIZEWESKI, T.; WILMSEN, J.; Desenvolvimento de tinta epóxi base água com alta resistência e ação bacteriana”, p. 13800-13807. **Anais...** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, XX, v.1, n.2, São Paulo, Blucher, 2015.

CROSSLEY, R.; SCHUBEL, P.; STEVENSON, A. Furan matrix and flax fibre as a sustainable renewable composite: Mechanical and fire-resistant properties in comparison to phenol, epoxy and polyester. **Journal of Reinforced Plastics**, v. 33, n. 1, p. 58-68, 2014.

DOAN, T-T-L.; BRODOWSKY, H.; MÄDER, E. Jute fibre/epoxy composites: Surface properties and interfacial adhesion. **Composites Science and Technology**, v. 72, n. 10, p. 1160-1166, 2012.

HOTO, R.; FURUNDARENA, G.; TORRES, J. P.; MUÑOZ, E.; ANDRÉS, J.; GARCÍA, J. A. Flexural behavior and water absorption of asymmetrical sandwich composites from natural fibers and cork agglomerate core. **Materials Letters**, v. 127, p. 48-52, 2014.

KAEWATIP, K.; THONGMEE, J. Studies on the structure and properties of thermoplastic starch/luffa fiber composites. **Materials Design**, v. 40, p. 314-318, 2012.

LI, Y.; MAI, Y-W.; YE, L. Effects of fibre surface treatment on fracture-mechanical properties of sisal-fibre composites. **Composites Interfaces**, v. 12, n. 1-2, p. 41-63, 2005.

LIDER AGRONOMIA. **Bucha**. Disponível em: <http://www.lideragronomia.com.br/2016/04/bucha.html>. Acesso: 25 agosto 2018.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D. Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.

MOHANTA, N.; ACHARYA, S. K. Tensile and Flexural Behavior of Sisal Fabric/Polyester Textile Composites Prepared. **BioResources**, v. 10, n. 4, p. 8364-8377, 2015.

NAGLIS, M. M. M.; D'ALMEIDA, J. R. M. Aspectos do Emprego de Fibras Naturais Como Reforço em Compósitos: Análise da Morfologia da Luffa Cilíndrica. **Anais...** In: MICROMAT, IV, p.575, São Carlos – SP, out (1994).

OLIVEIRA, C. G.; MARGEM, F. M.; MONTEIRO, S. N.; LOPES, F. P. D. Comparison between tensile behavior of epoxy and polyester matrix composites reinforced with eucalyptus. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 6, n. 4, p. 406-410, 2017.

OLIVEIRA, L. A. **Desenvolvimento e caracterização de um compósito de matriz metálica (cmm): aço eurofer97 reforçado com carbetto de tântalo – tac” – Natal/RN.** 2013.

OMRANI, E.; MENEZES, P. L.; ROHATGI, P. K. State of the art on tribological behavior of polymer matrix composites reinforced with natural fibers in the green materials world. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, v. 18, p. 717-736, 2016.

PIRES, G.; PEREIRA, D.S.; DIAS FILHO, N. L.; VECCHIA, G. D. Caracterização Físico-Química e Mecânica do Sistema Éster de Silsexquioxano/ Resina Epóxi Dgeba/ Dietilenotriamina. **Revista Matéria**, v. 10, n. 2, pp. 317 – 330, 2005.

PISTOR, V.; SOARES, B. G.; MAULER, R. S. Influence of two different molecular weight epoxy resins on the glass transition of composites manufactured with expanded graphite. **Journal of Composites Materials**, v. 50, n. 13, p. 1817-1828, 2016.

POLYCHRONOPOULOS, N. D.; CHARLTON, Z.; SUWANDA, D. VLACHOPOULOS, J. Measurements and Comparison to Predictions of Viscosity of Heavily Filled HDPE with Natural Fibers, **Advances in Polymer Technology**, v. 37, n. 4, p. 1161-1167, 2018.

POTHAN, L. A.; MAI, Y. W.; THOMAS, S.; LI, R. K. Y. Tensile and Flexural Behavior of Sisal Fabric/ Polyester Textile Composites Prepared by Resin Transfer Molding Technique. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 27, n. 16-17, p. 1847-1867, 2008.

UMBOH, M. K.; ADACHI, T.; NEMOTO, T.; HIGUCHI, M.; MAJOR, Z. Non-stoichiometric curing effect on fracture toughness of nanosilica particulate-reinforced epoxy composites. **Journal of Materials Science**, v. 49, n. 21, p. 7454-7461, 2014.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-457-3

