

**AVALIAÇÃO DE COMPÓSITOS SANDUÍCHE COM FIBRAS VEGETAIS E  
HONEYCOMB FEITOS EM UMA IMPRESSORA 3D**

 <https://doi.org/10.56238/sevened2025.019-024>

**Gilberto Garcia del Pino**

Doutor em Engenharia Mecânica  
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM  
E-mail: gpino@uea.edu.br.  
ID ORCID: 0000-0003-0754-2390

**Abderrezak Bezazi**

Doutor em Engenharia Mecânica  
Laboratoire de Mécanique Appliquée des Nouveaux Matériaux (LMANM), Université 8 Mai 1945  
E-mail: ar\_bezazi@yahoo.com.  
ID ORCID: 0000-0002-4461-6689

**Antônio Claudio Kieling**

Doutor em Biotecnologia  
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM  
E-mail: akieling@uea.edu.br.  
ID ORCID: 0000-0002-0552-954X

**Marcos Dantas dos Santos**

Doutor em Engenharia Mecânica  
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM  
E-mail: mdsantos@uea.edu.br.  
ID ORCID: 0000-0002-4356-491X

**Aristides Rivera Torres**

Doutor em Engenharia Mecânica  
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM  
E-mail: artorres@uea.edu.br.  
ID ORCID: 0000-0001-5138-2932

**Jose Costa de Macedo Neto**

Doutor em Engenharia Química  
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM  
E-mail: jmacedo@uea.edu.br.  
ID ORCID: 0000-0003-1155-0027

**Jamile Dehaine**

Doutora em Geofísica  
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM  
E-mail: sofidehaini@gmail.com.  
ID ORCID: 0000-0001-9766-6308

## RESUMO

Na sociedade moderna, os compósitos de polímero são amplamente utilizados devido à sua alta relação resistência/peso, entre outras propriedades. Nos últimos tempos, devido a questões ambientais e custos mais altos, a maioria dos setores industriais e de engenharia está tentando reduzir o uso de fibras sintéticas usando fibras naturais ou fibras lignocelulósicas. Novos materiais compostos usando materiais renováveis e manufatura aditiva permitem um melhor desenvolvimento de materiais de alto desempenho para vários setores. O objetivo do trabalho foi determinar o comportamento de um compósito sanduíche totalmente biodegradável usando folhas de fibras de sisal em uma matriz de poliuretano de óleo de mamona e favo de mel de PLA usando uma impressora 3D (Fused Deposition Modeling FDM). Em primeiro lugar, foi realizado um estudo para determinar o melhor tratamento alcalino para as fibras de sisal com as quais as folhas de compósito sanduíche foram feitas, com o objetivo de determinar o melhor tratamento que produz maior adesão da fibra à resina e, portanto, melhor esforço de tração. Para isso, foram feitas várias placas de compósito de matriz de resina de poliuretano com óleo de mamona usando a mesma quantidade de fibra em todas as placas (10%w), das quais foram cortados os corpos de prova para os testes de tração em uma máquina de corte a LASER com dimensões de acordo com a Norma para esse teste. Após a realização dos testes de tração, o melhor tratamento alcalino foi determinado como sendo uma concentração de 10% de hidróxido de sódio e 4 horas de imersão da fibra em dissolução. Para verificar a eficácia do tratamento, as fibras também foram observadas por SEM e DRX.

Posteriormente, foram confeccionadas chapas do compósito sanduíche de resina poliuretana de mamona e fibras de sisal tratadas com dissolução de NaOH a 10% e 4 horas de imersão das fibras, determinado anteriormente também com 10% de w de fibras, e também foram confeccionados os núcleos dos compósitos sanduíche com estrutura de favo de mel de PLA e, para realizar uma comparação, também foram confeccionados com PETG. Os testes de flexão demonstraram que os compósitos sanduíche tiveram melhor desempenho com PETG. Em todos os testes, o PETG foi mais resistente, geralmente de 21% a 32% mais resistente que o PLA. Mas as resistências específicas são semelhantes, com os compostos de PLA tendo uma densidade de núcleo 13,8% menor do que os núcleos de PETG. Os resultados obtidos no trabalho coincidem com os resultados publicados anteriormente por outros autores.

**Palavras-chave:** Sisal. Impressão 3D. Painel sanduíche. Compósito.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente se realizam muitas pesquisas a nível mundial na área de Engenharia de Materiais para obter novos materiais mais baratos e ecológicos [1, 2], utilizando materiais compósitos com matriz de resina epóxi ou bioresina, utilizando poliuretano de óleo de mamona e com diferentes reforços de fibras vegetais [3, 4] pensando também nas pesquisas para a aplicação na área de biomateriais como a hidroxiapatita e a zircônia nas cabeças das próteses coxofemorais. Nos últimos anos a ciência utilizando baseamentos de Engenharia Mecânica, Eletrônica e de Materiais tem ajudado grandemente na área de medicina como o trabalho de (VAZQUEZ-SEISDEDOS 2007) [5].

As fibras vegetais são cada vez mais exploradas como reforços promissores na composição de materiais compósitos. Este despertar desse interesse é atribuído ao seu baixo impacto ambiental, custo acessível, ampla disponibilidade, aplicações versáteis (construção, embalagem, mobiliário, transporte), baixo consumo de energia e riscos mínimos para a saúde. [6-7] Além disso, a biodegradabilidade dessas fibras apresenta uma solução para mitigar a poluição ambiental. [8-9]. Entre a grande variedade de fibras naturais, as fibras de sisal são cada vez mais cultivadas em todo o mundo, minimizando as suas necessidades de transporte e, em última análise, as emissões de gás dióxido de carbono. Além disso, as fibras de sisal são consideradas uma fonte viável de fibra natural, devido à sua alta resistência e biodegradabilidade [10]. A fibra de sisal é adaptada para melhor resistência à abrasão e fungos, alta resistência, melhor estabilidade térmica e razões econômicas e biodegradáveis [11, 12].

A planta de sisal pertence à família *Agave sisalana* e a fibra é extraída das folhas, podendo atingir até 2 m de comprimento. O número de feixes de fibras por folha depende da idade e origem da planta, com comprimento variando de 60 a 120 mm. Uma fibra de sisal tem densidade de 1,45 g/cm<sup>3</sup>, resultando em uma porosidade de cerca de 17%. Essa fibra é hidrofílica e pode absorver até 11% de umidade em um ambiente onde a umidade relativa chega a 65%. A composição química inclui principalmente celulose (50–78%), hemicelulose (10–20%), lignina (8–12%) e ceras (cerca de 2%). Em termos de propriedades mecânicas, a resistência à tração, varia de 300 a 430 MPa, o módulo de Young varia de 5 a 15 GPa e o alongamento na ruptura varia de 5 a 14%. [7]

O problema nos compósitos poliméricos com fibras vegetais é a incompatibilidade entre as fibras vegetais e a matriz polimérica devido ao fato das fibras serem de natureza hidrofílica, a matriz polimérica ser hidrofóbica. Como consequências diretas deste fato encontram uma fraca adesão interfacial entre a fibra polar e hidrofílica e a matriz não polar e hidrofóbica e dificuldades de mistura devidas à baixa molhabilidade da fibra pela matriz o que leva a uma fraca interface destes compósitos diminuindo a resistência mecânica do compósito [13]. Por tanto as fibras devem ser adequadamente modificadas por meio de tratamentos físicos ou químicos com o objetivo de melhorar a adesão entre ambas e com isso melhorar a resistência mecânica do compósito, sendo um dos mais utilizados o tratamento com hidróxido de sódio (NaOH). [14]

Os painéis sanduíches são tipos de compósitos estruturais cujo núcleo é feito de um material menos denso que as faces. São projetados para serem vigas de baixo peso, com alta rigidez. Consiste em 2 faces unidas a um núcleo através de um adesivo. [15] Um dos núcleos mais utilizados é com estrutura de *Honeycomb*. Os *Honeycombs* fazem parte da classe dos materiais celulares, formados por “vazios” separados por paredes sólidas, os quais se destacam por possuírem baixa densidade relativa. [16]. Um dos processos que pode ser usado para a fabricação dos *honeycomb* é a manufatura aditiva por meio da impressão 3D FDM (*Fused Deposition Modeling*).

Neste trabalho foi realizado o estudo de um compósito de estrutura sanduíche usando faces de compósito de fibras de sisal em Matriz de poliuretano de óleo de mamona e núcleo estrutural *honeycomb* impresso em PETG (Polietileno Tereftalato Glicol) e PLA (Ácido Polilático) em impressora 3D, com ênfase no comportamento mecânico do compósito em relação as dimensões do núcleo e dos materiais utilizados. O trabalho compreende duas partes uma primeira para determinar o melhor tratamento químico da fibra de Sisal para obter as melhores propriedades mecânicas baseado no esforço de tensão e uma segunda parte a análise dos compósitos sanduíches aplicando o melhor tratamento obtido.

## 2 METODOLOGIA

Primeiramente o estudo com as fibras de Sisal procurou determinar o melhor tratamento químico para obter a maior aderência da fibra na matriz para depois esse tratamento ser utilizado nas fibras das placas ou faces dos compósitos sanduíches. O estudo foi feito variando as concentrações de hidróxido de sódio e o tempo de imersão das fibras na dissolução com as quais, posteriormente, se fabricaram corpos de prova de tração de compósitos em matriz de resina epóxi para determinar a maior resistência a tração de todos os corpos de prova e assim o melhor tratamento.

Os materiais utilizados neste primeiro estudo foram: as fibras de Sisal fornecidas pela Empresa FIBRAEX localizada em Conceição do Coité, no estado da Bahia, Brasil; o hidróxido de sódio fornecido pelo Laboratório de Química da Escola Superior de Tecnologia (UEA/EST), e, e poliuretano de óleo de mamona fornecido pela Azevedo Indústria e Comércio de Petróleo Ltda (Brasil). Foi utilizado 0,4% de aditivo anti-bolhas (Siladit 53) fornecido pela empresa REDELEASE (17), em relação ao peso total da mistura.

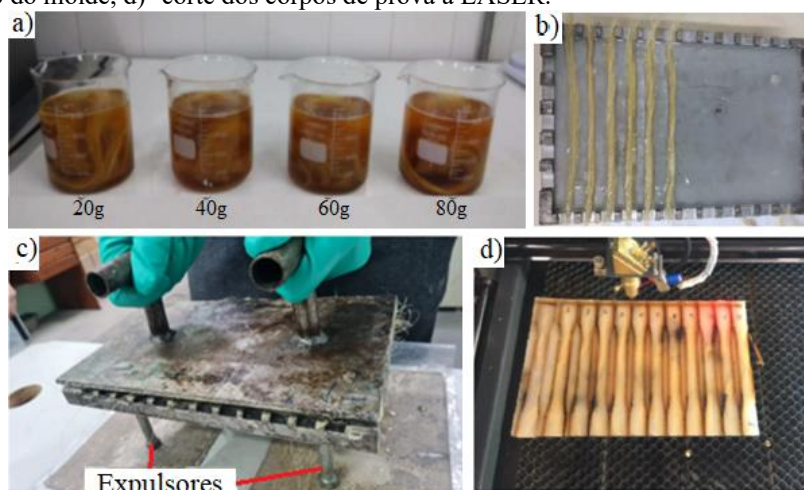
Antes de realizar os tratamentos químicos com hidróxido de sódio as fibras de Sisal foram beneficiadas eliminando impurezas, sendo lavadas em água corrente e secas a temperatura ambiente por 24 horas. Foram utilizadas 4 concentrações diferentes de hidróxido de sódio 2.5, 5, 7.5 e 10 (% em peso) que corresponde a 20g, 40g, 60g e 80g de hidróxido de sódio respectivamente em 800 ml de água destilada conforme pode se observar na figura 1a, mantendo uma relação de 3/8 (fibra dissolução em todos os casos) [18]. O tempo de imersão das fibras na dissolução foi de 1, 4, 8 e 12 horas [19].

Depois de finalizado o tempo de imersão de cada tratamento as fibras foram lavadas várias vezes em água corrente e depois em água destilada para estabilizar o pH e colocadas a secar a temperatura ambiente por 24 horas e depois em estufa a 60 °C por 8 horas. Por último, no momento de preparar os compósitos no molde foram colocadas na estufa a temperatura de 100 °C por uma hora para eliminar totalmente a umidade. A estufa utilizada foi da marca QUIMIS modelo 0317M–72, a qual fica localizada no Laboratório de Materiais da EST/UEA.

*Para fabricar os corpos de prova foram feitas placas de compósitos em um molde metálico com dimensões internas de 225mm x 155mm x 3,2mm. Antes de iniciar a fabricação dos corpos de prova foi aplicada uma cera desmoldante na superfície interna do molde (Tec Glaze-N) fornecida pela própria empresa REDELEASE, para facilitar a extração do compósito de dentro do molde. Os corpos de prova foram fabricados misturando a resina e o endurecedor na proporção de 100/50 e 0.4% do anti-bolhas em um Becker segundo recomendação do fabricante agitando manualmente por 15 minutos. Em seguida foi colocada uma primeira parte da resina no molde, e depois as fibras como mostra a figura 1b e finalmente o resto do conteúdo da resina. Antes de fechar o molde com a tampa foi borrifado álcool isopropílico na superfície para ajudar na eliminação de possíveis bolhas [19]. Finalmente o molde foi fechado e aplicado pressão na tampa superior sendo que o método utilizado foi pressão a frio (*cold pressure*).*

O molde ficou fechado sob pressão por 24 horas num primeiro processo de cura, depois a chapa de compósito foi retirada do molde com ajuda dos parafusos extratores (figura 1c) e colocada na estufa por 8 horas a temperatura de 80 °C, para completar o processo de cura e aumentar a resistência do compósito. A chapa de compósitos após a cura foi levada a uma máquina de corte a LASER (Router Laser CNC modelo VS6040) para cortar os corpos de prova segundo as dimensões da norma para ensaio de tração [20] (Figura 1d). Todos os corpos de prova ficaram com a mesma quantidade de fibra (20% em peso) para poder estudar o efeito do tratamento químico.

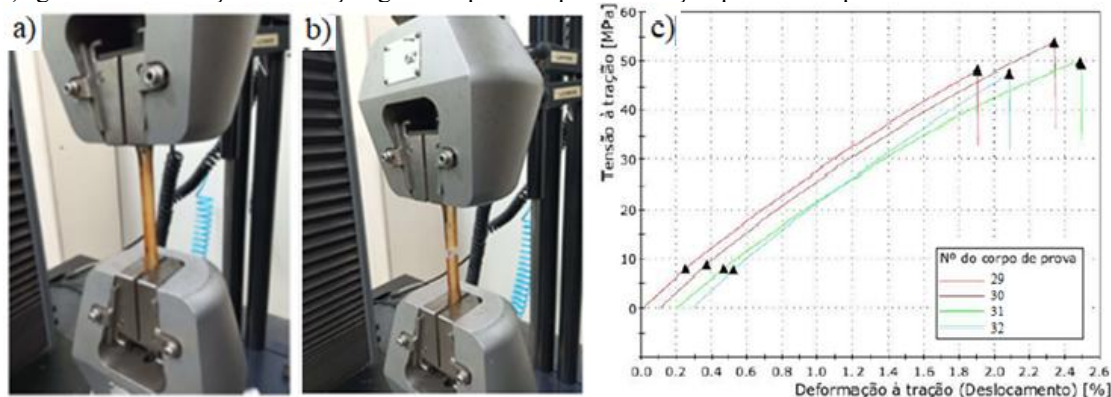
Figura 1: Fabricação dos corpos de prova: a) -tratamento químico das fibras, b)- colocação das fibras e resina dentro do molde, c)- fechamento do molde, d)- corte dos corpos de prova a LASER.



Os corpos de prova já cortados com as dimensões da norma para ensaios de tração foram deixados 24 horas a temperatura ambiente para relaxamento das tensões internas e depois foram levados ao Laboratório de Ensaios Mecânicos da EST/UEA para realizar os ensaios de tração com o objetivo de determinar qual dos corpos de prova suporta maior esforço de tensão e, portanto, corresponderia ao melhor tratamento. Todos os ensaios de tração foram realizados em uma máquina eletromecânica de ensaio universal modelo 5984, e um célula de carga de 150 KN. O equipamento foi fornecido pelo EST/UEA, usando o laboratório do curso de engenharia de materiais. Esses ensaios seguiram uma velocidade padrão de 5 mm/min (Ver figura 2a e 2b). A combinação dos tipos concentração de hidróxido de sódio (4) e os diferentes tempos de imersão (4) proporcionou um total de 16 corpos de prova. Como foram realizadas 4 réplicas de cada caso para tirar a média dos valores a quantidade de corpos de prova total foi de 64.

O melhor tratamento em relação ao maior valor médio do esforço de tração correspondeu ao tratamento de 10% em peso de concentração de hidróxido de sódio e 4 horas de imersão das fibras na dissolução o que corresponde a resultados obtidos na literatura [18, 19, 21, 22], Na Figura 2c apresenta o gráfico com as curvas de esforço-deformação correspondente ao tratamento químico que originou o maior esforço de tração (melhor tratamento).

Figura 2: Ensaios de tração: a) início de aplicação da carga na máquina de tração, c)- finalização do ensaio no momento da ruptura, c)- gráficos de esforço deformação gerados pela máquina de tração para as 4 réplicas das melhores resultados

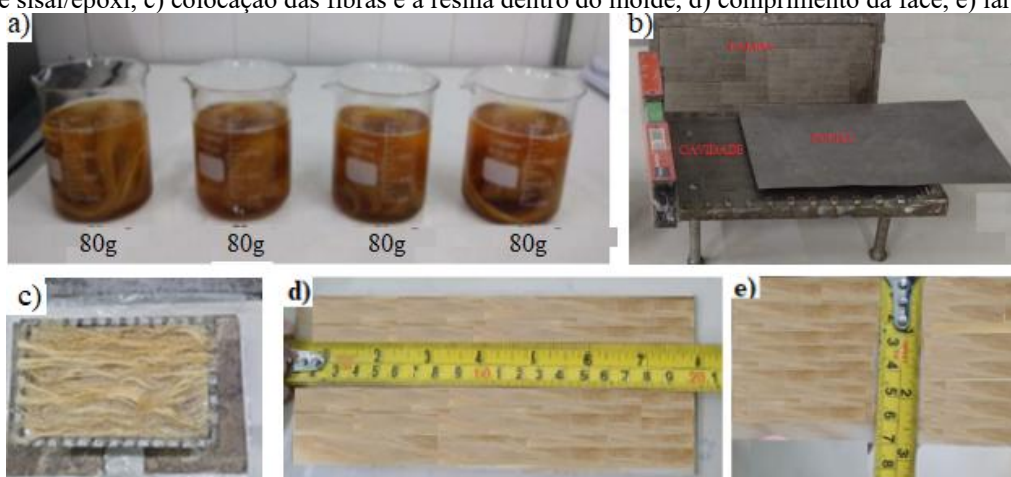


O trabalho inicial com as fibras de Sisal de beneficiamento, lavagem e secagem foi o mesmo descrito anteriormente com exceção do tratamento químico, que neste caso só foi utilizado o tratamento determinado pelo resultado anterior que de 10% em peso de hidróxido de sódio e 4 horas de imersão da fibra na dissolução como mostrado na figura 4a. O processo de fabricação das chapas de compósito de sisal em matriz de resina epóxi no molde foi similar ao processo descrito anteriormente com a diferença que neste caso se coloca uma folha metálica na cavidade do molde de 1mm de espessura para obter uma chapa de compósito de 2 mm, sendo que a cavidade do molde é de 3,2 mm como pode ser observado na figura 4b. O processo de colocação das fibras e da resina é similar ao processo anteriormente descrito com a diferença que as fibras são uniformemente distribuídas na

área do molde e não agrupadas por corpo de prova como feito anteriormente (figura 4c). O processo de cura das chapas de compósito foi o mesmo que descrito anteriormente. Depois do processo de cura as chapas de compósito de 2 mm de espessura foram cortadas numa máquina de corte a LASER com dimensões de 200mm x 70mm como pode-se observar na figura 4d e 4e. No total foram cortadas 8 faces para fazer 4 compósitos sanduíches. Seguidamente foram feitos os núcleos dos compósitos em estrutura honeycomb em impressora 3D. Os núcleos *honeycombs* são do tipo de geometria mais convencional utilizada na fabricação de painéis sanduíches. São núcleos não homogêneos, possuem células abertas na direção transversal das lâminas, fornecendo um suporte bidirecional. [23]

Para o processo de modelagem 3D foi utilizado o software Fusion 360, produto licenciado pela Autodesk de forma gratuita. Para definir as dimensões dos núcleos foram utilizados 3 critérios como: Menor espessura de camada possível, 2 tipos de altura nos núcleos, mesmo tamanho dos hexágonos para todos os núcleos, como pode ser observado nas figuras 5a e 5b. A espessura de parede foi de  $0,3\text{mm} \pm 0,05\text{mm}$ , considerando a expansão horizontal do filamento (Figura 5a). A altura dos núcleos foi definida em dois tipos 10mm e 15mm, baseados nos núcleos de *honeycomb* que são comercializados atualmente [24]. A impressora utilizada foi do modelo CREALITY ENDER 3 V2, na qual possui uma área de impressão de 220mm x 220mm e altura máxima de 250mm do laboratório de Usinagem da EST-UEA. O software de fatiamento que foi o Ultimaker CURA® o qual é disponibilizado de forma gratuita pela empresa Ultimaker onde foram inseridos todos os parâmetros de impressão calibrados. Foram impressos quatro núcleos para fabricação dos corpos de prova. Todos os núcleos obedeceram às dimensões dos modelos 3D (Figura 7a).

Figura 3: Fabricação das faces ou lâmina do compósito: a) tratamento alcalino, b) Molde para fabricar as chapas de compósito de sisal/epóxi, c) colocação das fibras e a resina dentro do molde, d) comprimento da face, e) largura da face.



Seguidamente foram colados os núcleos de Honeycomb nas faces de compósito de Sisal com matriz de resina. Após despejar a resina sobre as faces, o núcleo foi colocado de forma centralizada (ver figura 4) e então um peso foi posto sobre os núcleos. O processo foi repetido após 48 horas, para a colagem da face superior [25]. Posteriormente foram realizados os ensaios de flexão em três pontos

dos compósitos sanduíches. Os ensaios foram realizados na máquina modelo INSTRON 5984 da EST/UEA, no laboratório de Materiais de P&D. Todos os corpos de prova possuem dimensões de 200mm x 70mm, com duas faces de espessura de 2mm. Os testes seguiram a norma ASTM [26, 27] de teste de flexão 3 pontos, a velocidade de teste foi de 2mm/min. A distância entre pontos inferiores foi de 100mm.

Figura 4: Fabricação e colagem dos honeycomb. a) impressão dos Honeycomb, b) colagem da primeira face

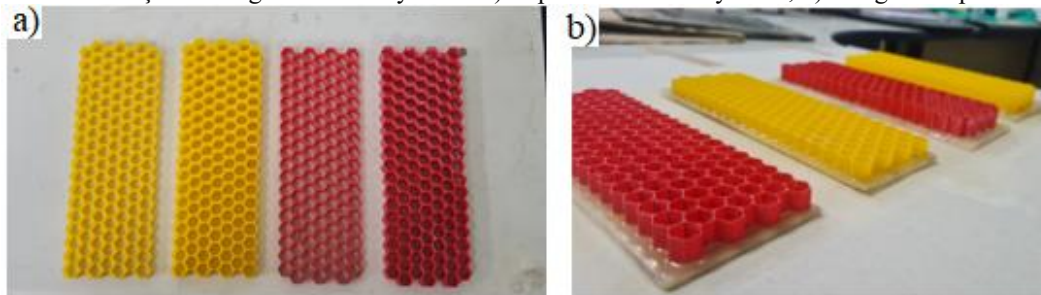


Figura 9: Ensaio de flexão em três pontos do corpo de prova 1

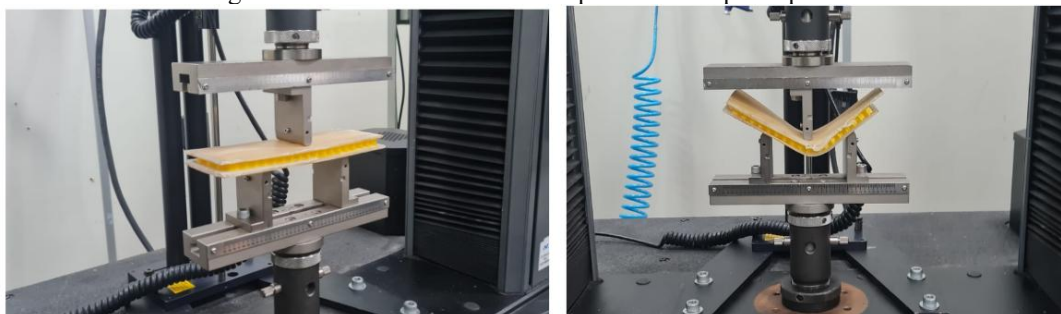


Figura 10: Ensaio de flexão em três pontos do corpo de prova 2



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao realizar o ensaio de flexão de 3 pontos nos painéis sanduíches obtiveram-se os resultados apresentados na tabela 4. Como pode ser visto na figura 13 não houve ruptura nas faces, porém houve descolamento do núcleo, o que pode ter influenciado nos resultados. Com os resultados obtidos dos testes, foi possível analisar e comparar a tensão e a deformação dos corpos de prova. Os resultados obtidos coincidem com outros trabalhos publicados anteriormente [28, 29, 30]. Analisando os

resultados em relação a altura, temos que os compósitos com 15mm de núcleo suportaram 3,3 a 3,6 vezes mais carga que os núcleos com 10mm.

Em todos os testes o PETG foi mais resistente, de um modo geral de 21% a 32% mais resistente que o PLA (Figura 14). Apesar de não haver ruptura nos corpos de prova, os núcleos em PETG deformaram de 0,5% a 3,6% menos que o PLA. Os compósitos com PLA foram mais leves, por conta de a densidade do núcleo ser 13,8% menor que os núcleos em PETG. Os núcleos de 15mm de altura

Figura 13: Corpos de Prova (1-4) Após Testes de Flexão

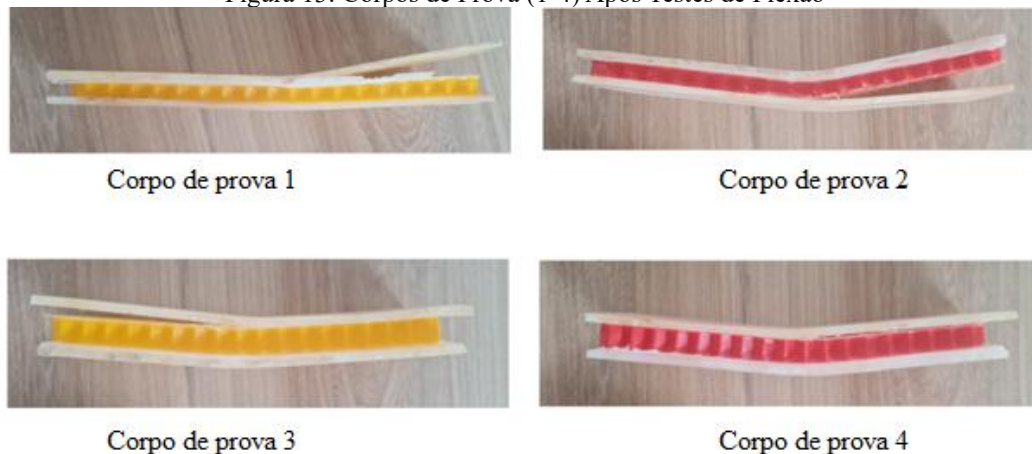
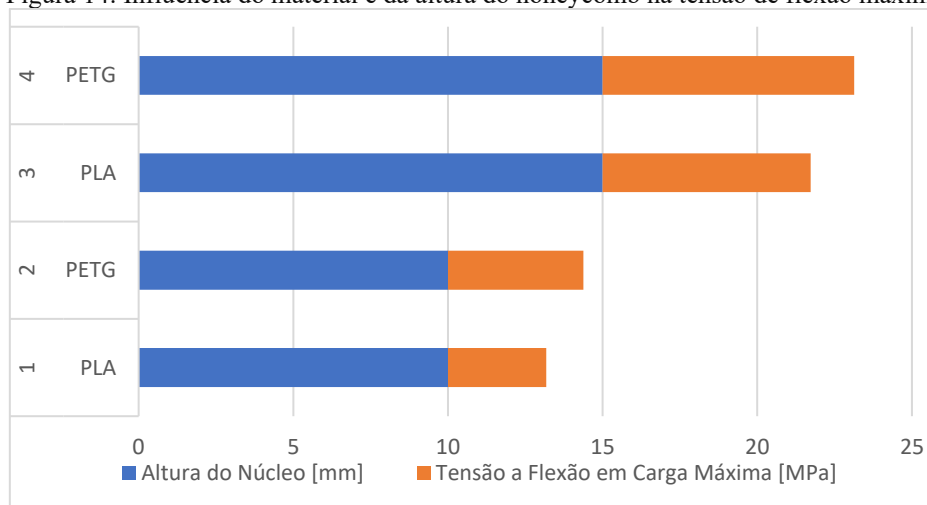


Tabela 1: Resultados dos ensaios de flexão em três pontos para todos os corpos de prova

| Corpo de Prova | Material do Núcleo | Altura do Núcleo [mm] | Carga Máxima [N] | Tensão a Flexão em Carga Máxima [MPa] | Deformação à Flexão [%] | Módulo de Elasticidade [Gpa] |
|----------------|--------------------|-----------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 1              | PLA                | 10                    | 396,13           | 3,18                                  | 13,32                   | 0,023                        |
| 2              | PETG               | 10                    | 525,1            | 4,38                                  | 9,68                    | 0,043                        |
| 3              | PLA                | 15                    | 1443,91          | 6,73                                  | 2,41                    | 0,280                        |
| 4              | PETG               | 15                    | 1744,62          | 8,13                                  | 3,00                    | 0,342                        |

Figura 14: Influencia do material e da altura do honeycomb na tensão de flexão máxima



## 4 CONCLUSÕES

O trabalho teve como objetivo principal criar um compósito sanduíche com núcleo *honeycomb* feito em impressora 3D, utilizando PLA e o PETG. As fibras de sisal contribuem na renda de pequenos produtores, as pesquisas relacionadas às fibras vegetais ajudam ao crescimento tecnológico dos materiais compósitos, viabilizando inclusive, seu uso na indústria. Analisando os resultados em relação a altura, temos que os compósitos com 15mm de núcleo suportaram 3,3 a 3,6 vezes mais carga que os núcleos com 10mm.

Os materiais usados nos núcleos foram escolhidos pela facilidade de impressão e por terem origens ecológicas. O PLA, por ser biodegradável e compostável, pode ser fabricado através do milho, beterraba e mandioca, por serem ricos em amido. Já o PETG pode ser obtido através da reciclagem de garrafas PET, reduzindo os impactos causados pela poluição.

Em todos os testes o PETG foi mais resistente, de um modo geral de 21% a 32% mais resistente que o PLA. Apesar de não haver ruptura nos corpos de prova, os núcleos em PETG deformaram de 0,5% a 3,6% menos que o PLA. Os compósitos com PLA foram mais leves, por conta da densidade do núcleo ser 13,8% menor que os núcleos em PETG. De um modo geral, pode-se concluir que os núcleos em PETG foram melhores, preferencialmente os núcleos de 15mm de altura. Os resultados foram similares a outros trabalhos anteriores na bibliografia. O *Honeycomb* mostrou-se ser um arranjo estrutural muito resistente pouco denso, ocupando somente 5,4% do volume disponível entre as faces, isso permite utilizar em aplicações que possam exigir a passagem de outros materiais internos, como tubulações, cabos. Além disso, podem ser utilizados em aplicações que necessitam de uma baixa densidade, como indústria aeronáutica e naval.

## DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram que não há conflito de interesses.

## REFERÊNCIAS

- Assis E. G.; et al., Water aging effects on the flexural properties of fully biobased coir fiber composites. *Polymer Engineering and Science*, v. 1, p. 1-12, 2023. Doi: 10.1002/PEN.26479
- Kieling, A. C. Neto, J. C. M., Garcia del P. G.; et al. Epoxy-based hybrid composites reinforced with Amazonian Tucumã endocarp and kaolin: a statistical approach to mechanical properties. *Materialia*, v. 23, p. 101808-101823, 2023. Doi: 10.1016/j.mtla.2023.101808
- Lima, A. M. ; García del Pino, G. Rivera, J. L V. et al. Characterization of Polyester Resin Nanocomposite with Curauá Fibers and Graphene Oxide. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, v. 28, p. 1-10, 2019, Doi: 10.5281/zenodo.7493710
- Vieira, A. R., C. Neto, J. C. M., Garcia del P. G.; et al. Influência do tratamento térmico de normalização na microestrutura e propriedades mecânicas do aço sae 1035 utilizado em motocicletas In: *Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta 2*, ed.2. Paraná Brasil: Atena Editora, 2021, v.3, p. 29 - 39. Doi: 10.22533/at.ed.6222105043
- Vazquez-Seisdedos, C. R.; Yared G.; Moreno, E. D.; García del P. G. Método estadístico-geométrico para medir la variabilidad de la frecuencia cardíaca In: *Livro virtual springer Berlin* ISBN 9783540744719, ed.1. Berlin: SpringerBerlin Heidelberg, 2007, v.18, p. 140 - 144. Doi: 10.1007/978-3-540-74471-9\_33.
- Achille Désiré Betené Omgba et al. Effect of extension speed on the mechanical performance of sisal and coir fiber bundles. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 2024, doi:10.1080/1023666X.2024.2316966.
- Zwane, P. E., T. Ndlovu, T. T. Mkhonta, M. T. Masarirambi, and J. M. Thwala. 2019. Effects of enzymatic treatment of sisal fibres on tensile strength and morphology. *Sci. Afr.* 6: e00136. doi:10.1016/j.sciaf.2019.e00136.
- Venkatesh R, Raguvaran R, Murugan A et al (2023) Evaluation of thermal adsorption and mechanical behaviour of intralaminar jute/sisal/e-glass fibre-bonded epoxy hybrid composite as an insulator. *Adsorp Sci Technol* 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/9222562>
- Veigas, M. G., M. Najimi, and B. Shafei. 2022. Cementitious composites made with natural fibers: investigation of uncoated and coated sisal fibers. *Case Stud. Constr. Mater.* 16:e00788. doi:10.1016/j.cscm.2021.e00788.
- Kumar MD, Jayasrinivasan S, Ashwin S (2021) Study on static and dynamic behavior of jute/sisal fiber reinforced epoxy composites. *Mater Today Proceed* 46(19):9425–9428
- Kumar SS, Raja VM, Chakravarthy CN, Muthalagu R (2021) Determination of mechanical properties and characterization of alkali-treated sugarcane bagasse, pineapple leaf and sisal fibers reinforced hybrid polyester composites for various applications. *Fiber Polym* 22:1675–1683
- Nagappan S, Subramani SP, Palaniappan SK, Mysamy B (2022) Impact of alkali treatment and fiber length on mechanical properties of new agro waste *Lagenaria siceraria* fiber reinforced epoxy composites. *J Natural Fibers* 19(13):6853–7664
- Sreenivasan, V.S.; Ravindran, D; Manikanda, V.; Narayanasamy, R. Influence of fiber treatments on mechanical properties of short *Sansevieria cylindrica* / polyester composites. *Materials & Design*, v.37, p111–21, 2012

Pandey, J.K.; Ahn, S.H.; Lee, C.S.; Mohanty, A.K.; Misra, M. Recent Advances in the Application of Natural Fiber Based Composites. *Macromolecular Materials and Engineering*, v295, n.11, p.975–89, 2010

Callister JR., W.D. *Ciência E Engenharia De Materiais: Uma Introdução*, 7<sup>a</sup> edição. Rio de Janeiro, 2008.

YAMASHITA, M.; GOTOH, M. Impact Behavior Of Honeycomb Structures With Various Cell Specifications—Numerical Simulation And Experiment. *International Journal of Impact Engineering*, v. 32, n. 1, p. 618–630, 2005.

REDELEASE. Resina Epóxi Transparente com endurecedor 01 kg. 2024. Disponível em <https://www.redelease.com.br/resina-epoxi-transparente-com-endurecedor-01-kg.html.html>. Acesso em: 20 de janeiro de 2024.

Garcia del Pino, G. et al. Optimal tensile properties of biocomposites made of treated Amazonian curauá fibres using Taguchi Method. *Materials Research*, v.24, 2021. doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2021-0326

Garcia del Pino, G. et al. Hybrid polyester composites reinforced with curauá fibres and nanoclays, *Fibers and Polymers*. v 21, 2020. doi.org/10.1007/s12221-020-9506-7

ASTM D638-14. Standard test method for tensile properties of plastics. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2014.

Bezazi, A. et al. Alkali treatment effect on physicochemical and tensile properties of date palm rachis fibers. *Journal of Natural Fibers* 2020. doi.org/10.1080/15440478.2020.1848726

Khelifa H. et al. Mechanical characterization of mortar reinforced by date palm mesh fibers: Experimental and statistical analysis. *Construction and Building Materials*, v.300, 2021. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124067

Almeida, M. I. Comportamento estrutural de painéis sanduíche compósitos para aplicações na indústria da construção. Instituto Superior Técnico, 2009.

E-COMPOSITES. Núcleo Honeycomb de Aramida. 2023. Disponível em: [https://www.e-composites.com.br/honeycomb\\_aramida/p](https://www.e-composites.com.br/honeycomb_aramida/p). Acesso em: 15 de fevereiro de 2023.

Oliveira PR, Silva LJ, Panzera TH, Garcia G del Pino and F Scarpa, Transverse fastening reinforcement of sandwich panels with upcycled bottle caps core, *Journal of Composite Materials* 0(0) 1–9, 2020, DOI: 10.1177/0021998320960522

ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials. 2016

ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions. 2016

Oliveira PR, Silva LJ, Panzera TH, Garcia G del Pino and F Scarpa, Transverse fastening reinforcement of sandwich panels with upcycled bottle caps core, *Journal of Composite Materials* 0(0) 1–9, 2020, DOI: 10.1177/0021998320960522

Giordano, C. M.; Zancul, E. S.; Rodrigues, V. P. Análise Dos Custos Da Produção Por Manufatura Aditiva Em Comparação A Métodos Convencionais. Revista Produção Online. v. 16, n. 2, p. 499–523, 2016.

Torres A. R. et. al. Relationship between accommodation of the stent and triple stent in aortic anomaly and length change. International Seven Multidisciplinary Journal, Curitiba, v.2, n.2. p. 50-62. DOI: 10.56238/isevmjv2n2-002