



COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITO DE MATRIZ POLIÉSTER E GRAMÍNEAS SEM GLÚTEN (MILHO E AVEIA)

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6059

Autores: ROBERTO YURI COSTA DIAS, PEDRO VICTOR DE MENDONÇA MAIA, ALIAN GOMES DA SILVA DE MENDONÇA, LARISSA DOS SANTOS BORGES, LEONARDO WILLIAM MACEDO BRANDÃO, THOMAZ OSMANE DOS SANTOS ROCHA, ROBERTO TETSUO FUJIYAMA

Resumo: *Compósitos tem tido um grande destaque devido a possibilidade da combinação de materiais distintos visando a obtenção de propriedades específicas. Nesse sentido, este artigo tem por objetivo apresentar os resultados de uma pesquisa desenvolvida na disciplina optativa denominada de “Compósitos Estruturais” pertencente ao Projeto Político-Pedagógico do curso de Engenharia Mecânica da UFPA, campus Belém. Os discentes atuaram executando uma metodologia experimental específica para a obtenção e tratamento de dados e posterior divulgação dos resultados obtidos como método avaliativo. Durante a execução da metodologia foram confeccionados corpos de prova dimensionados de acordo com a norma ASTM D638, estes foram submetidos a ensaios de resistência à tração para avaliação de suas propriedades mecânicas. A partir desta ação os discentes atuaram na execução de práticas laboratoriais de acordo com normas de segurança e seguindo diretrizes metodológicas para a realização dos testes.*

Palavras-chave: *Compósitos, Metodologia Experimental, Práticas Laboratoriais*

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITO DE MATRIZ POLIÉSTER E GRAMÍNEAS SEM GLÚTEN (MILHO E AVEIA)

1 INTRODUÇÃO

Diante do desenvolvimento científico e tecnológico mundial, surgem novas necessidades a partir de uma alta demanda por novos produtos, utilizando materiais que atendam a determinadas solicitações e forneçam propriedades específicas. Nesse sentido, sobretudo na área das engenharias, a utilização de materiais não convencionais tem sido discutida visando a obtenção de alternativas aos materiais costumeiramente aplicados nas indústrias.

A partir desta análise, uma classe de materiais é avaliada como promissora para tal tipo de premissa, os compósitos. Estes materiais podem ser definidos a partir da união de elementos quimicamente distintos, com o objetivo de produzir propriedades específicas no material resultante. Geralmente um compósito é constituído de duas fases, a matriz ou fase contínua, que promove a transferência de tensões provenientes de cargas externas para a outra fase, denominada de reforço, a qual promove resistência mecânica ao compósito (CALLISTER e RETHWISCH, 2018; RAGONDET, 2005).

Dentre os principais reforços para compósitos, tem-se por fibras e por partículas, nesse âmbito, a utilização de materiais naturais e renováveis como reforço em compósitos tem sido amplamente discutida, sobretudo visando a substituição de materiais sintéticos como fibras de vidro e carbono, as quais são amplamente utilizadas em inúmeros setores da indústria, a exemplo do automotivo. Tal iniciativa almeja a valorização de um ideal sustentável e proporcionar disponibilidade de materiais para as futuras gerações (FARUK *et al.*, 2012; DIAS *et al.*, 2023).

Perspectivas sustentáveis deram origem a um termo denominado “green composites” ou compósitos verdes, uma alusão a materiais compósitos advindos da natureza ou de matéria reciclada, biofibras e biopolímeros provenientes de resíduos agrícolas, por exemplo. Alguns destes materiais apresentaram propriedades mecânicas comparáveis a materiais sintéticos a exemplo da fibra de vidro (ASYRAF, 2020).

Por se tratar de um assunto que está em evidência para as pesquisas de novos materiais de engenharia e também está presente no Projeto Político-Pedagógico do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará (UFPA) é estabelecida a oferta de uma disciplina optativa direcionada ao estudo de tais materiais, denominada de “Compósitos Estruturais”, na qual são estabelecidas cargas horárias teóricas e práticas. Tal disciplina visa aprofundar os conhecimentos na classe de materiais compósitos, a qual é discutida brevemente durante as aulas de “Estrutura e Propriedades dos Materiais”, componente obrigatória do curso.

Durante a realização do curso de “Compósitos Estruturais”, os discentes atuam na interface entre teoria e prática, explorando os conceitos e características acerca dos materiais compósitos e atuando na aplicação de metodologia científica para a fabricação, teste e avaliação de propriedades de tais materiais. A última disciplina contou com a fabricação de compósitos poliméricos com grãos de gramíneas.

Diante do exposto, tem-se a avaliação de gramíneas sem glúten, estas plantas são classificadas como herbáceas e possuem frutos secos denominados de grãos, assim, cereais, costumeiramente consumidos pelos seres humanos podem ser definidos como sementes comestíveis pertencentes à família das gramíneas, tais como: aveia e milho (TAKEITE, 2021). Assim, a utilização de materiais não convencionais ou renováveis, tais como grãos de

gramíneas, em aplicações de engenharia, é valorizada visando a obtenção de materiais alternativos, objetivando a substituição aos sintéticos que são amplamente difundidos.

Nesse sentido, as práticas empregadas durante a disciplina contribuem para a familiarização dos discentes a atividades laboratoriais, execução de metodologias bem definidas e escrita científica. Além disso, o aprimoramento dos conhecimentos dos alunos quanto a classe de materiais compósitos possibilita a ampliação do entendimento acerca das possibilidades de aplicação de distintos materiais na engenharia, inclusive com potencial de perpetuação do pensamento ecológico a partir da utilização de materiais naturais, renováveis ou não convencionais. Vale ressaltar que existem componentes curriculares obrigatórias que também valorizam tal iniciativa, a exemplo da disciplina de “Engenharia Ambiental”.

Diante disso, existem pesquisas semelhantes com o que foi desenvolvido na disciplina. FERREIRA, 2017 produziu pesquisa utilizando particulados de sabugo de milho em matriz de resina poliéster, utilizando partículas médias de 850 μm , para uma fração de 20%, obteve um valor de resistência à tração de 13,20 ($\pm 1,05$) MPa e para partículas grandes de 2360 μm com a mesma fração 11,50 ($\pm 1,03$) MPa. Além disso, OLIVEIRA, 2015 utilizou proveniente do sabugo de milho, utilizando partículas finas de 0,1 até 2 mm, sendo obtido 3,25 ($\pm 1,29$) MPa para uma fração de 20%. FURLAN, DUARTE e MAULER, 2012 utilizaram casca de aveia a uma granulometria de 500 μm como reforço em compósito de matriz de polipropileno, obtendo um valor de cerca de 25 MPa para a fração mássica de 20%.

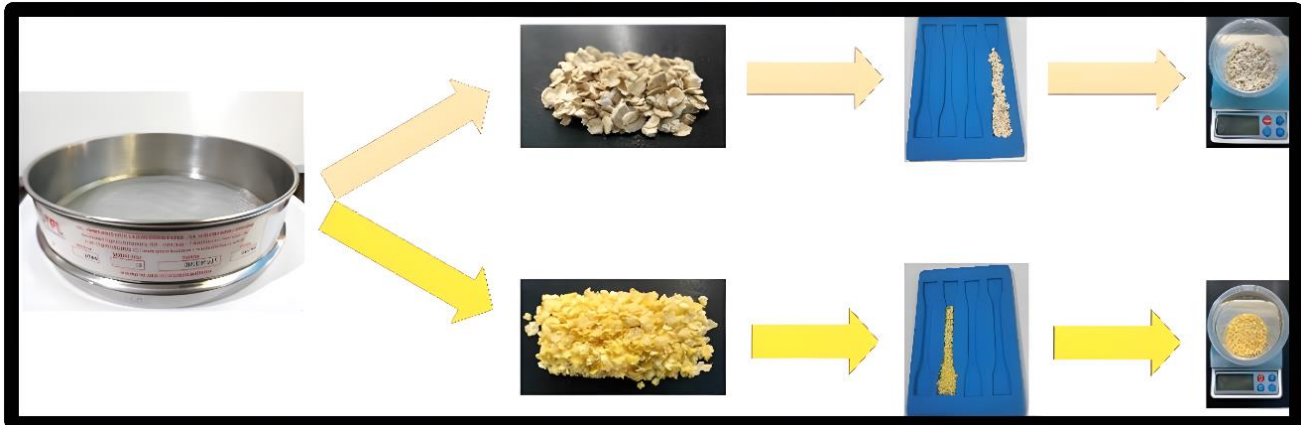
Portanto, o presente trabalho tem como objetivo a apresentação dos resultados da caracterização mecânica compósitos poliméricos com cargas de grãos de gramíneas sem glúten, aveia e milho, em matriz polimérica de resina poliéster. Estes foram obtidos durante a execução da disciplina optativa denominada de “Compósitos Estruturais”, presente no Projeto Político-Pedagógico do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará (UFPA). Durante o curso foram confeccionados corpos de prova e estes foram submetidos a ensaios de resistência à tração para discussão de divulgação dos resultados obtidos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Após a realização de aulas teóricas para a compreensão dos conceitos e características acerca dos compósitos, foram designados para cada aluno materiais para serem utilizados como carga em compósitos poliméricos. Posteriormente foi executada uma metodologia para a realização da caracterização mecânica dos compósitos, com as seguintes etapas: obtenção e processamento das cargas, fabricação de corpos de prova, realização de testes de tração, análise e tratamento dos dados, escrita científica e divulgação, tal proposta foi utilizada como método avaliativo do curso de “Compósitos Estruturais”.

As gramíneas utilizadas para o reforço foram cedidas pelo Laboratório de Materiais Compósitos (LABCOM) da Universidade Federal do Pará (UFPA), na forma de grãos. Tanto aveia quanto milho foram submetidos a peneiramento em peneira granulométrica de malha 14, isto é, com abertura de 1,4 mm, com o intuito de uniformizar as amostras. O fluxograma apresentado na Figura 1 ilustra o resultado do processo de peneiramento e quantificação da massa de reforço necessária para o preenchimento do molde e fabricação do compósito. Após as pesagens em balança de precisão, obteve-se 14,55g para o reforço de aveia e 15,38g para o reforço de milho.

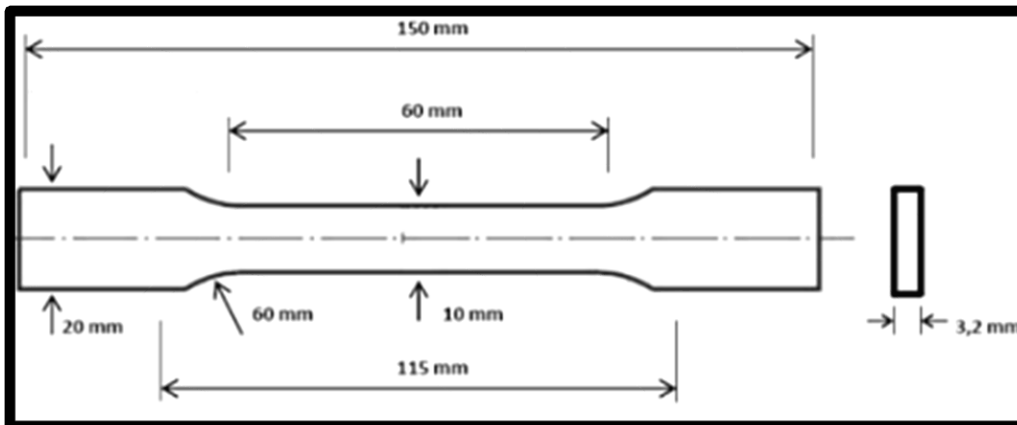
Figura 1 - Fluxograma ilustrativo dos processos de uniformização de quantificação dos materiais de reforço.



Fonte: Autoral

Para a confecção dos corpos de prova, foram utilizados moldes de silicone parametrizados de acordo com a norma ASTM D638. A Figura 2 apresenta as dimensões da norma, ressaltando que a região central delimitada pela cota de 60 mm representa o comprimento útil para a falha do material, para validação dos testes.

Figura 2 - Dimensões estipuladas pela norma ASTM D638



Fonte: Autoral

A fase matriz utilizada foi a resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada, sendo está um polímero termofixo, isto é, após seu processamento, esta não retorna ao seu estado primário, não podendo ser reutilizada, e para acelerar o processo de cura foi utilizado o catalisador MEK V388, conforme representação nas Figuras 3-a e 3-b, respectivamente. A massa de resina foi quantificada, sendo utilizados 61,5 g de matriz com uma proporção de 0,5% de agente de cura, ou seja, aproximadamente, 0,3 g. A partir da quantificação destes parâmetros, obtém-se as frações mássicas de reforço, 19,3% para aveia e cerca de 20% para milho.

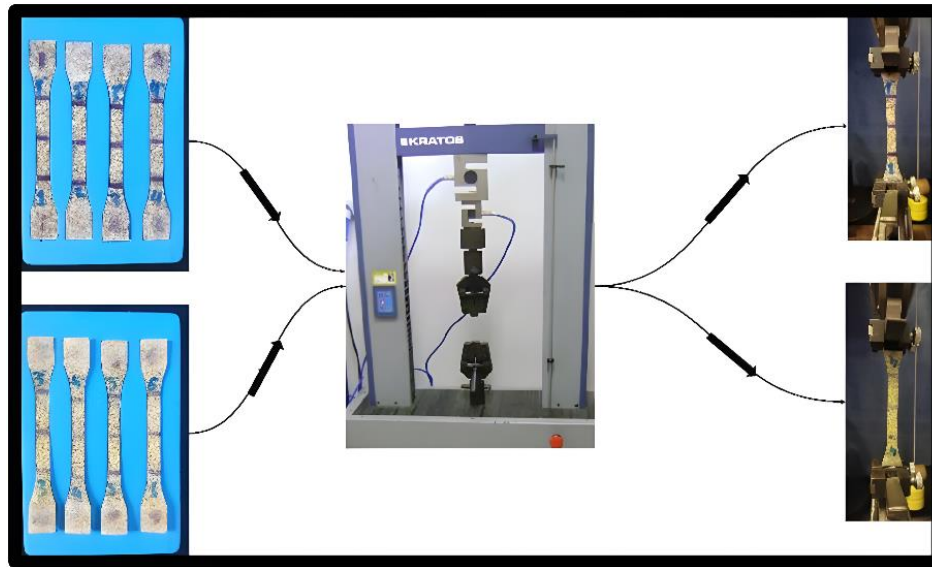
Figura 3 - (a) Resina poliéster tereftálica
(b) Catalisador MEK V388



Fonte: Autoral

De posse dos corpos de prova curados, estes foram submetidos a ensaios de ensaios de resistência à tração utilizando máquina universal de ensaios máquina de ensaio Kratos, modelo MKCA - KE com célula de carga de 5 kN, a uma velocidade de ensaio de 5 mm/min. A Figura 4 apresenta um fluxograma que ilustra o processo, a partir dos corpos de prova curados, máquina e representação dos testes realizados.

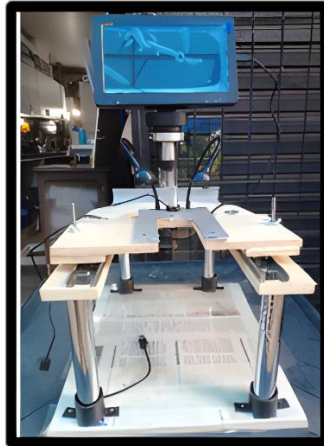
Figura 4 - Fluxograma ilustrativo dos ensaios de resistência à tração



Fonte: Autoral

Também foi realizada uma análise na superfície de fratura dos materiais. Para isso foi utilizado um microscópio digital Vedo 1000x Usb portátil Led, apresentado na Figura 5.

Figura 5. Microscópio digital portátil

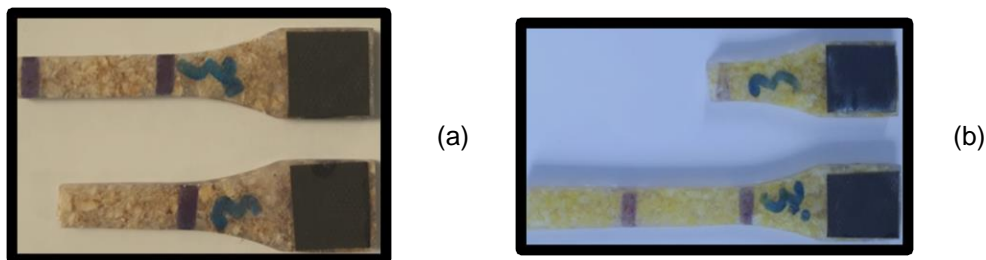


Fonte: autoral

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios foram considerados válidos a partir da verificação da falha dos corpos de prova na região útil do material. As figuras 6-a e 6-b ilustram falhas de corpos de prova reforçados por aveia e milho, respectivamente.

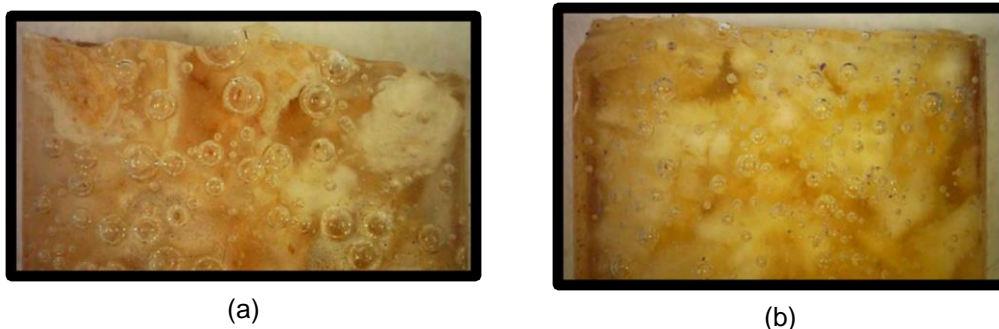
Figura 6. Falha no comprimento útil dos corpos de prova de (a) aveia e (b) milho



Fonte: Autoral

A partir da microscopia realizada, tem-se a visualização da região de fratura dos materiais, sendo verificado um aspecto rugoso devido a presença dos grãos e uma fratura com característica frágil. As Figuras 7-a e 7-b apresentam a aproximação das superfícies de fratura lateralmente para corpos de prova de compósito reforçados por grãos de aveia, milho, respectivamente, enquanto as Figuras 7-c e 7-d apresentam, de forma análoga, as superfícies de fratura na vista superior.

Figura 7. Microscopia realizada para os compósitos de (a) aveia (b) milho e (c) kibe





(c)



(d)

Fonte: Autoral

A partir da observação das superfícies de fratura dos corpos de prova, verifica-se a presença de defeitos denominados de vazios. Estes são avaliados como decorrentes de bolhas de ar que acabaram retidas na superfície na região interna do material durante o processo de cura. Tais defeitos podem resultar em perda e resistência mecânica por atuarem como concentradores de tensão, na qual ocorrem acúmulos de estresse em regiões específicas do material, devido a irregularidades ou descontinuidades tais como os defeitos de vazios, sendo suscetível ao surgimento e propagação de trincas, resultando na falha precoce do corpo de prova em algum ponto específico onde há o defeito (NASSEH, 2021; NORTON, 2020). A Tabela 1 apresenta o resultado dos ensaios de resistência à tração.

Tabela 1 - Resultado dos ensaios de resistência à tração

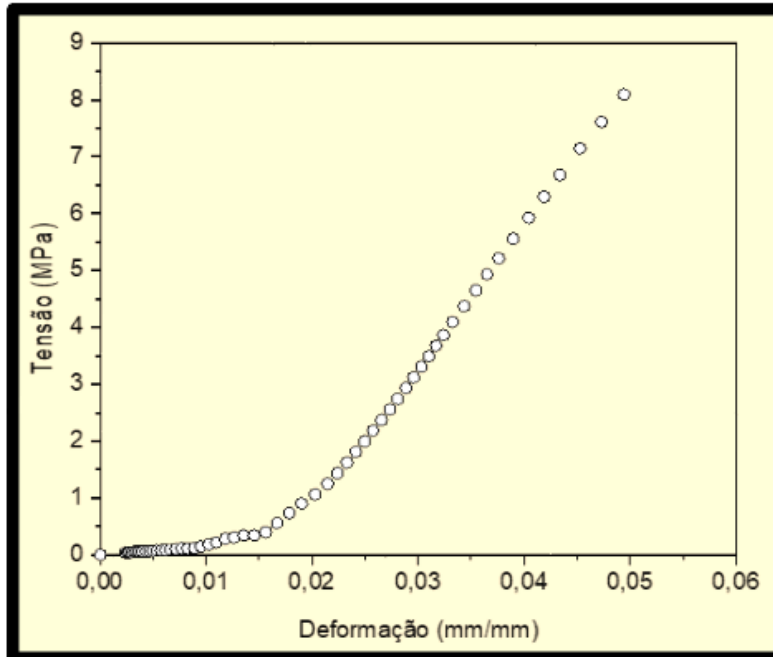
Material de reforço	Resistência à tração (MPa)	Deformação (mm/mm)	Módulo de Elasticidade (MPa)
Aveia	7,09 (\pm 1,29)	0,036 (\pm 0,012)	273,10 (\pm 17,13)
Milho	8,98 (\pm 1,13)	0,058 (\pm 0,011)	371,91 (\pm 44,30)

Fonte: Autoral

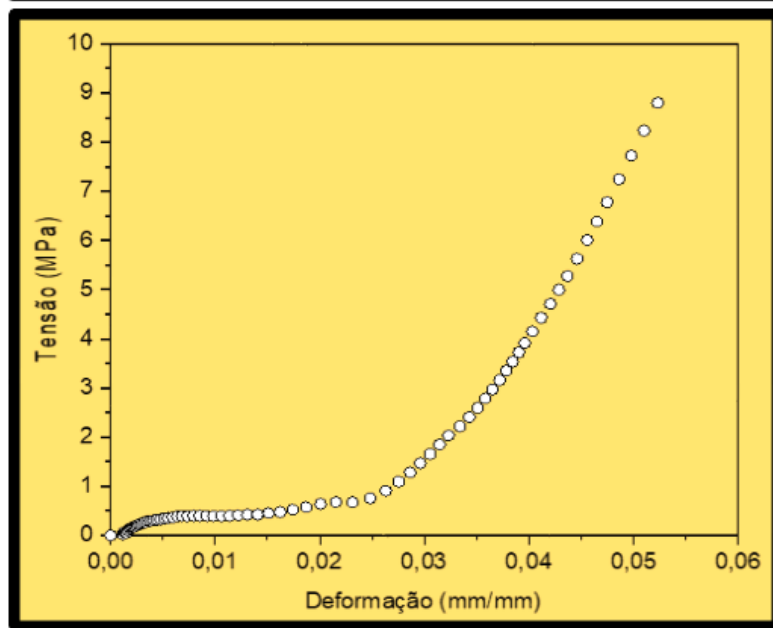
A resistência à tração da matriz poliéster pura foi de 34,35 MPa, superando em 79,35% e 73,85% os respectivos valores desta propriedade para os compósitos com reforço de aveia e milho. Analisando o desvio padrão relativamente baixo, analisa-se a reprodutibilidade da metodologia aplicada, apesar de se tratar de um processo de fabricação integralmente manual.

Além disso, de acordo com os dados da caracterização, os materiais podem ser avaliados estatisticamente como iguais, com o reforço aveia apresentando maior fragilidade. O compósito polimérico com reforço de milho superou em 21,05% a resistência à tração em comparação ao reforço de aveia, sendo verificada uma maior rigidez para este material. As Figuras 8-a e 8-b apresentam, respectivamente, as curvas características Tensão x Deformação para os compósitos reforçados por aveia e milho.

Figura 8 - Curvas características dos compósitos poliméricos reforçados por (a) aveia e (b) milho



(a)



(b)

Fonte: Autoral

As curvas demonstram a característica frágil dos materiais confeccionados, além de um comportamento linear após a zona de reologia. Além disso, é verificada a coerência mediante os dados apresentados na Tab. 1.

Em contraste aos valores de literatura encontrados para materiais semelhantes, originários de gramíneas sem glúten, verifica-se que em relação a FERREIRA, 2017 os resultados do presente trabalho foram superados em 86,17% e cerca de 62,2% em comparação ao reforço de aveia e cerca de 47% e 28,06% em contraste ao reforço de milho, com as granulometrias de 850 μm e 2360 μm , respectivamente. Enquanto os resultados apresentados por OLIVEIRA, 2015 com partículas a uma granulometria de 0,1 a 2 mm, foram superados em 54,16% e 63,8% para os reforços de aveia e milho. No trabalho de FURLAN,

DUARTE e MAULER, 2012, com uma granulometria de 500 μm com matriz de polipropileno, os resultados desta pesquisa foram superados em 252,6% e 178,4%.

Nesse sentido, avalia-se a influência da granulometria na resistência mecânica. Os materiais com granulometria menor e mais uniforme apresentaram maior resistência, conforme apresentado por Ferreira, 2017 e FURLAN, DUARTE e MAULER, 2012, os quais superaram os resultados deste trabalho. Enquanto OLIVEIRA, 2015, com um maiores tamanho e variação de granulometria, teve seus resultados superados. Vale ressaltar que a utilização da matriz de polipropileno por FURLAN, DUARTE e MAULER, 2012 também é um fator que deve ser considerado no incremento ou na perda de resistência.

Logo, em consonância com as diretrizes da disciplina de “Compósitos Estruturais”, estabelecidas pelo Projeto Político-Pedagógico do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará (UFPA), foi promovida a correlação entre teoria e prática, inicializando com as aulas teóricas acerca dos materiais compósitos, para posterior fabricação de compósitos, realização de testes mecânicos para a caracterização dos materiais e análise de resultados, de acordo com uma metodologia específica. Diante do exposto, é valorizada a realização de atividades laboratoriais, seguindo normas de segurança e de fabricação além de apresentar condutas a serem seguidas durante as atividades, familiarizando os discentes com diretrizes de trabalhos em laboratório, execução de métodos científicos e escrita de artigos.

Tal condição favorece a inclusão dos discentes em atividades de pesquisa em laboratórios, tendo em vista que a Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará (FEM-UFPA) dispõem de inúmeras vertentes de pesquisa nas mais variadas áreas da mecânica. A partir da obtenção dos conhecimentos necessários e da execução prática, é possível ingressar em atividades tanto no Laboratório de Materiais Compósitos, quanto em outros presentes no curso.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho objetivou avaliar as propriedades mecânicas de compósito de matriz poliéster reforçado por grãos de gramíneas sem glúten, aveia e milho, com ênfase na tensão média obtida. Os compósitos poliméricos com reforço de aveia e milho apresentaram uma resistência à tração média de 7,09 ($\pm 1,29$) MPa e 8,98 ($\pm 1,13$) MPa, sendo verificada a presença de defeitos nos materiais.

Apesar da resistência dos materiais não ter superado os valores apresentados em trabalhos com vertentes de pesquisas similares apresentados na literatura, bem como o da matriz pura, avalia-se também a valorização da utilização de materiais não convencionais em aplicações de engenharia, provenientes de matérias-primas naturais e renováveis. Gerando valor agregado e proporcionando variabilidade de aplicações. Ainda, é possível vislumbrar a aplicação de tais materiais em circunstâncias de serem submetidos a carregamentos de baixa intensidade. Pesquisas futuras almejam a obtenção de compósitos puramente naturais a partir da união de reforço e matriz 100% naturais.

Sendo assim, a valorização ecológica desenvolvida durante da disciplina favorece a compreensão acerca da aplicação de variados materiais na engenharia, sobretudo almejando a obtenção de alternativas para os produtos e matérias-primas sintéticas. Além disso, a execução de metodologias, tratamento de dados, cumprimento de normas e condutas e práticas de escrita científica durante a realização das atividades favorece o ingresso dos discentes em projetos de pesquisa desenvolvidos nos laboratórios da FEM-UFPA, tendo em vista que os discentes obtiveram o conhecimento geral teórico e prático necessário para isso, independentemente da área de estudo a ser escolhida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da PROPESP/UFPA pela bolsa de Iniciação Científica, Faculdade de Engenharia Mecânica-UFPA, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica-UFPA e a CAPES e CNPq.

REFERÊNCIAS

ASYRAF, M. R. M., ISHAK, M. R., SAPUAN S. M., YIDRIS, N., ILYAS, R. A., RAFIDAH, M., Razman, M. R., 2020. Potential application of green composites for cross arm component in transmission tower: A brief review. **International Journal of Polymer Science**, v. 2020, n. 1, p. 8878300, 2020.

CALLISTER JÚNIOR, W. D; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia dos Materiais - uma Introdução**. 9.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. 1014p.

DIAS, R. Y. C.; ROCHA, A. D. S. ; FUJIYAMA, R. T. . Poliéster reforçado por celulose de filtro de café pós consumo: alternativa de material reciclado. In: XXVI Encontro Nacional de Modelagem Computacional e XIV Encontro de Ciência e Tecnologia dos Materiais, 2023, Nova Friburgo. **Anais**. Nova Friburgo. v. 1. p. 1. 2023.

FARUK, O., BLEDZKI, A. K., FINK, H. P., SAIN, M., (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. **Progress in polymer science**, v. 37, n. 11, p. 1552-1596, 2012.

FERREIRA, Edson Aparecido. **Avaliação das propriedades mecânicas e térmicas de um compósito polimérico reforçado por particulados de sabugo de milho triturado**. 2017. Dissertação (Mestrado) curso de Engenharia Mecânica – Universidade Tecnológica Federal do Pará, Cornélio Procópio, 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4549>. Acesso em: 14/04/2025.

FURLAN, L. G.; DUARTE, U. L.; MAULER, R. S. (2012). Avaliação das propriedades de compósitos de polipropileno reforçados com casca de aveia. **Química Nova**, v. 35, p. 1499-1501, 2012.

NASSEH. J. **Processo de infusão à vácuo em composites**. Rio de Janeiro: Barracuda Advanced Composites, 2021. 376 p.

NORTON, R., **Machine design: An integrated approach**. 6ªed., Upper Saddle River, Pearson, 2020.

OLIVEIRA, Mariana Lima de. **Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de resíduos vegetal proveniente do sabugo de milho**. 2015. Dissertação (Mestrado) – curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Natal, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/21043>. Acesso em: 14/04/2025.

RAGONDET, A. **Experimental characterization of the vacuum infusion process**. Tese (Doutorado) curso de Engenharia Mecânica – University of Nottingham, Nottingham, 2005.

TAKEITE, C. Y. **Embrapa: Cereais e grãos**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/grupos-de-alimentos/cereais-e-graos>. Acesso em 14/04/2025.

Universidade Federal do Pará. Conselho Superior de Ensino, Pesquisa e Extensão. **Resolução N. 3.585, de 14 de agosto de 2007**. Homologa o Parecer n 159/06-CEG, que aprova o Projeto Político Pedagógico do Curso de Engenharia Mecânica. Belém: Conselho Superior de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2007. Disponível em: http://www.proeg.ufpa.br/images/Artigos/Academico/Downloads/Regulamento_de_Graduacao.pdf. Acesso em 14/07/2025.

MECHANICAL BEHAVIOR OF POLYESTER MATRIX COMPOUND AND GLUTEN-FREE GRASSES (CORN AND OATS)

Abstract. *Composites have had a great highlight due to the possibility of combining different materials aiming at obtaining specific properties. In this sense, this article aims to present the results of a research developed in the optional discipline called "Structural Composites" belonging to the political-pedagogical project of the course of Mechanical Engineering at UFPA, campus Belém. The students acted by executing a specific experimental methodology for data collection and treatment and subsequent dissemination of the results obtained as an evaluative method. During the execution of the methodology were made test specimens dimensioned according to ASTM D638, these were subjected to tensile strength tests for evaluation of their mechanical properties. From this action the students acted in the execution of laboratory practices according to safety standards and following methodological guidelines for conducting tests.*

Keywords: *Composites, experimental methodology, laboratory practices.*

