



Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Engenharia & ciência dos materiais



Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Engenharia & ciência dos materiais

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia e ciência dos materiais / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0203-9

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.039220906>

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, se tornou um dos grandes pilares da revolução técnica industrial, devido a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, que apresentem melhores características e propriedades físico-químicas. Grandes empresas e centros de pesquisa investem maciçamente em setores de P&D a fim de tornarem seus produtos e suas tecnologias mais competitivas.

Destaca-se que a área de material compreende três grandes grupos, a dos metais, das cerâmicas e dos polímeros, sendo que cada um deles tem sua importância na geração de tecnologia e no desenvolvimento dos produtos. Aliar os conhecimentos pré-existentes com novas tecnologias é um dos grandes desafios da nova engenharia.

Neste livro são explorados trabalhos teóricos e práticos, relacionados as áreas de materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. Apresenta capítulos relacionados ao desenvolvimento de novos materiais, com aplicações nos mais diversos ramos da ciência, bem como assuntos relacionados a melhoria em processos e produtos já existentes, buscando uma melhoria e a redução dos custos.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Boa leitura.


Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ESTUDO DO EFEITO DA VARIAÇÃO DA %FEO NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE MISTURAS DESFOSFORANTES E DA GRANULOMETRIA DA CAL NA EFICIÊNCIA DE DESFOSFORAÇÃO DE FERRO GUSA

Caio Vaccari Silva
Raphael Mariano de Souza
Victor Bridi Telles
Estefano Aparecido Vieira
José Roberto de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209061>

CAPÍTULO 2..... 18

DIMINUIÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL NO PROCESSO DE DESSULFURAÇÃO DE FERRO GUSA VIA KR


Elton Volkers do Espírito Santo
Flaviani Marculano Marchesi
Heitor Cristo Clem de Oliveira
Silas Gambarine Soares
Henrique Silva Furtado
Felipe Fardin Grillo
José Roberto de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209062>

CAPÍTULO 3..... 32

FOTOCROMISMO E ATIVIDADE FOTOCATALÍTICA DE FILMES DE TiO₂ OU DE TiO₂ CONTENDO DOIS DIFERENTES PRECURSORES DE TUNGSTÊNIO


Luana Góes Soares da Silva
Annelise Kopp Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209063>

CAPÍTULO 4..... 50

COMPÓSITO POLIMÉRICO DE FIBRAS DE JUTA E VIDRO-E COMO POTENCIAL USO EM PRÓTESES/ÓRTESES: PROPRIEDADES MECÂNICAS E CONFIGURAÇÕES

Sérgio Renan Lopes Tinô
Manoel Ivany de Queiroz Júnior
Vinicius Carvalhaes
Thamise Sampaio Vasconcelos Vilela
Ana Cláudia Juliano Carvalho
Lucas Teles Oliveira
Paula Micaelly Ferreira Bueno


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209064>

CAPÍTULO 5..... 65

ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DE ADESIVOS À BASE DE RESINA

EPÓXI


Silvana de Abreu Martins
Alan Sala Bourguignon
Carlos Alberto Moreira da Silva Netto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209065>

CAPÍTULO 6..... 78

A MINERAÇÃO E O USO DOS MINERAIS EM ELEMENTOS DO COTIDIANO: AS CASAS


Rafaela Baldi Fernandes
Ian Henrique Pires

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209066>

CAPÍTULO 7..... 86

A MINERAÇÃO E O USO DOS MINERAIS EM ELEMENTOS DO COTIDIANO: COSMÉTICOS


Rafaela Baldi Fernandes
Caroline das Dôres Zeferino

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209067>

CAPÍTULO 8..... 95

A MINERAÇÃO E O USO DOS MINERAIS EM ELEMENTOS DO COTIDIANO: O LÁPIS


Rafaela Baldi Fernandes
Débora Pimentel de Carvalho Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209068>

CAPÍTULO 9..... 106

ESTUDO DE CONTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE *Guatteria schomburgkiana* DA AMAZÔNIA PARA USO NO SETOR INDUSTRIAL DE BASE FLORESTAL


Jício Saraiva Pinho
Syme Regina Souza Queiroz
Vera Lúcia Dias da Silva
Nilton Cesar Almeida Queiroz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209069>

CAPÍTULO 10..... 115

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS – ESTUDO DE CASO - SANTO ÂNGELO - RS

João da Jornada Fortes Neto
Mariana da Silva Ferreira Fortes
Eliara Marin Piazza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03922090610>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 132

ÍNDICE REMISSIVO..... 133

CAPÍTULO 4

COMPÓSITO POLIMÉRICO DE FIBRAS DE JUTA E VIDRO-E COMO POTENCIAL USO EM PRÓTESES/ÓRTESES: PROPRIEDADES MECÂNICAS E CONFIGURAÇÕES

Data de aceite: 01/06/2022

Sérgio Renan Lopes Tinó

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG). Departamento 4 - Engenharia Mecânica
Goiânia, GO, Brasil

Manoel Ivany de Queiroz Júnior

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG). Departamento 4 - Engenharia Mecânica
Goiânia, GO, Brasil

Vinicius Carvalhaes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG). Departamento 4 - Engenharia Mecânica
Goiânia, GO, Brasil

Thamise Sampaio Vasconcelos Vilela

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG). Departamento 4 - Engenharia Mecânica
Goiânia, GO, Brasil

Ana Cláudia Juliano Carvalho

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG). Departamento 4 - Engenharia Mecânica
Goiânia, GO, Brasil

Lucas Teles Oliveira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG). Departamento 4 - Engenharia Mecânica
Goiânia, GO, Brasil

Paula Micaelly Ferreira Bueno

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG). Departamento 4 - Engenharia Mecânica
Goiânia, GO, Brasil

RESUMO: O processo de hibridização com fibras naturais vem tomando espaço no mercado, devido à preocupação ambiental, já que as fibras naturais se degradam com o passar do tempo. A utilização de fibras naturais em plásticos reforçados (compósitos) resulta em uma maior leveza, pois a junção dos dois materiais produz um compósito com propriedades específicas satisfatórias para projetos mecânicos. Sendo assim, este trabalho busca avaliar as propriedades mecânicas à tração uniaxial e as características de fratura de um biocompósito híbrido produzido a partir da junção fibra de vidro-E e fibra natural de juta, além de comparar as propriedades obtidas com aquelas alcançadas em outros compósitos de configurações distintas existentes na literatura. O processo de fabricação utilizado foi o Hand Lay-up, sendo a placa LH com configuração: fibra de juta ($\pm 90^\circ$), fibra de juta ($\pm 90^\circ$), fibra de vidro-E ($\pm 45^\circ$), fibra de juta ($\pm 90^\circ$) e fibra de juta ($\pm 90^\circ$). Foram fabricados corpos de prova do compósito híbrido e realizados ensaios de tração uniaxial, a fim de avaliar os dados referentes à resistência mecânica específica do compósito laminado híbrido em comparação a compósitos híbridos já testados para uso em próteses/órteses ou para aplicações estruturais.

PALAVRAS-CHAVE: Propriedades mecânicas; Fratura; Hibridização; Compósitos poliméricos.

ABSTRACT: The process of hybridization with natural fibers has been taking space in the market, due to environmental concern, as the natural fibers degrade over time. The use of natural fibers in reinforced plastics (composites) results in greater lightness, as the joining of the two materials produces a composite with specific properties satisfactory for mechanical projects. Therefore, the course conclusion work seeks to evaluate the mechanical properties at uniaxial traction and the fracture characteristics of a hybrid biocomposite produced from the junction fiberglass-e and natural jute fiber, besides comparing the properties obtained with those achieved in other composites of different configurations existing in the literature. The manufacturing process used was the Hand Lay-up, being the LH board with configuration: jute fiber ($\pm 90^\circ$), jute fiber ($\pm 90^\circ$), glass fiber-e ($\pm 45^\circ$), jute fiber ($\pm 90^\circ$) and jute fiber ($\pm 90^\circ$). Hybrid composite specimens were manufactured, and uniaxial traction tests were performed in order to evaluate data regarding the specific mechanical resistance of hybrid laminated composite compared to hybrid composites already tested for use in prosthesis/orthoses or for structural applications.

KEYWORDS: Mechanical properties; Fracture; Hybridization; Polymeric composites.

1 | INTRODUÇÃO

A resposta mecânica dos materiais compósitos depende de uma gama de fatores, como a natureza de seus constituintes (tipos de reforço e matriz), o percentual de seus constituintes, assim como, também, a distribuição e orientação das fibras, desta forma, o grau de anisotropia é um fator importante a ser avaliado nestes materiais (Herakovich, 1997).

Além disso, questões como a sustentabilidade se tornou um dos assuntos mais discutidos atualmente quando se trata de desenvolvimento tecnológico. A busca por novos materiais de origem natural que visam substituir compósitos não renováveis é importante para que se obtenham alternativas no combate à escassez de recursos (da Silva *et al.*, 2018). Muitas vezes, materiais cerâmicos, poliméricos ou ligas metálicas não possuem propriedades que atendam uma função específica na indústria moderna, tornando necessária a junção de materiais com características distintas, que, por consequência, resultam em compósito híbrido que possui propriedades intermediárias almejadas pela indústria.

De acordo com Oliveira (2007), os materiais compósitos híbridos podem ser formados por diversos tipos de reforços e combinações de fibras e partículas. Exemplos de fibras que podem ser utilizadas são a fibra de vidro-E e a fibra de juta.

Diante disto, a fibra de vidro-E é um importante material utilizado como reforço para materiais plásticos devido ao seu baixo custo e por possuir propriedades mecânicas satisfatórias. No entanto, possui alguns pontos negativos quando comparada às fibras naturais, tais como: alto consumo de energia, risco à saúde quando inalado, não ser biodegradável, entre outros (Barbosa, 2011).

Dessa forma, outros autores como Carvalho e Cavalcanti (2006) apresentaram o

porquê da implantação de fibras naturais, produzindo, juntamente com fibras de vidro-E, compósitos híbridos. As fibras vegetais apresentam vantagens importantes, como: baixo custo, baixa densidade, boa resistência mecânica, baixa abrasividade aos equipamentos de processo e por serem provenientes de fontes renováveis de matéria-prima, disponíveis em todo o mundo (Carvalho e Cavalcanti, 2006).

Dentro desta perspectiva, o desenvolvimento de novos materiais, incluindo a utilização de fibras naturais, pode atender às necessidades estruturais e às questões ambientais. Os compósitos híbridos a base de fibras naturais e sintéticas podem ser uma das soluções para a aplicação de elementos estruturais de médio porte.

Os compósitos poliméricos com mesma resina e fibras utilizados neste trabalho e também utilizados em Queiroz (2008), foram submetidos a ensaios mecânicos, com objetivo de uso para a fabricação de próteses em pessoas amputadas.

Deste modo, o presente artigo propõe a fabricação de uma placa híbrida constituída de fibras de vidro e juta utilizando o método de fabricação Hand Lay-up com duas configurações distintas. A placa fabricada, LH, constituída de duas camadas de fibra de juta nas extremidades e uma de fibras de vidro-E no centro, se configura da seguinte forma: fibras de juta ($\pm 90^\circ$), fibras de juta ($\pm 90^\circ$), fibras de vidro-E ($\pm 45^\circ$), fibras de juta ($\pm 90^\circ$) e fibras de juta ($\pm 90^\circ$). Portanto, o objetivo é produzir um novo material com potencial de uso em próteses de membros inferiores e, por consequência, realizar um estudo comparativo com o que propôs Queiroz (2008) em sua tese e com outras pesquisas sobre materiais híbridos compósitos, relacionando aquelas propriedades mecânicas com as obtidas neste trabalho.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Laminado e corpos de prova:

Foi utilizada a resina de poliéster insaturada ortoftálica como matriz plástica para confecção dos laminados compósitos. Essa matriz possui como propriedades, de acordo com Pereira (2016), baixa viscosidade, cura rápida e baixo custo. Como agente do sistema catalítico (cura a temperatura ambiente) foi usado o MEKP (peróxido de metil etil cetona), catalisador utilizado em vasta escala na indústria de plásticos reforçados.

Foram utilizados para confecção dos laminados compósitos os seguintes reforços:

- Tecido bidirecional de fibra de vidro-E com gramatura de aproximadamente 200 g/m² adquiridas no comércio local de Goiânia-GO, Vi Fiberglass.
- Tecido bidirecional de fibra de juta com uma gramatura de 306 g/m² e utilizado na confecção do compósito, adquirido no comércio local de Goiânia, Casa da Boneca.

Para o processo de fabricação do compósito foi utilizado o processo manual de

laminação, Hand Lay-up, o qual será feito a partir da disposição das mantas de fibra sobre a superfície de um molde, seguido da aplicação de resina. A cada 200ml de resina de poliéster, utilizada para a fabricação da placa, foram utilizadas 40 gotas de catalisador. Assim, o compósito híbrido adquire a forma estrutural de um laminado com um total de cinco camadas, sendo quatro camadas de fibra de juta e uma camada de fibra de vidro-E.

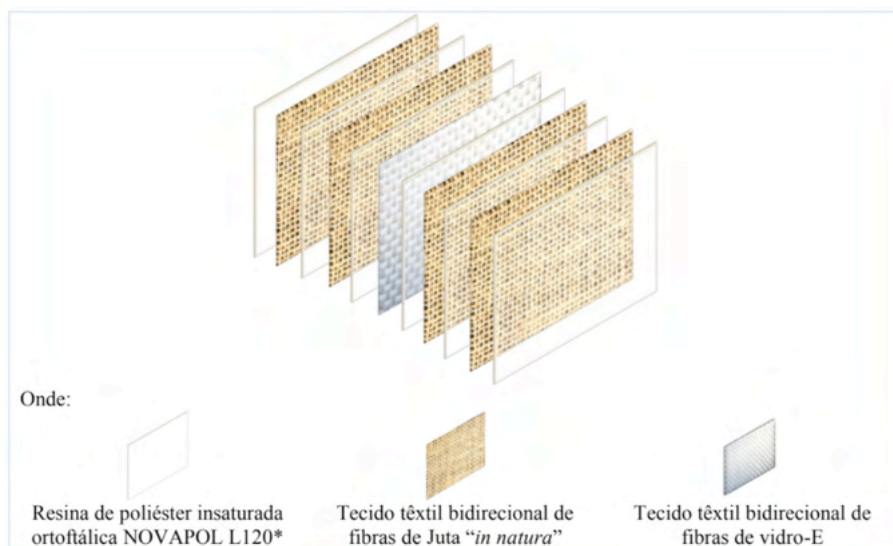
O laminado híbrido (LH) possui fibras dispostas na seguinte orientação e sequência, ou configurações: Fibra de juta ($\pm 90^\circ$), fibra de juta ($\pm 90^\circ$), fibra de vidro-E ($\pm 45^\circ$), fibra de juta ($\pm 90^\circ$) e fibra de juta ($\pm 90^\circ$).

A Fig.1 representa a configuração que deverá ser utilizada para a fabricação dos corpos de prova.

Para efetuar o corte dos corpos de prova foi utilizado um disco de corte segmentado diamantado, a seco, de forma a evitar um possível “arranque” de fibras ou quaisquer outros tipos de danos.

Para uma melhor obtenção dos corpos de prova foi retirada uma rebarba de aproximadamente 5,0 cm nas laterais da placa do compósito, com intuito de eliminar possíveis descontinuidades e mau acabamento, como, por exemplo, variações da espessura e maiores percentuais de defeitos internos provenientes do processo de fabricação.

Após a obtenção das dimensões apropriadas dos corpos de prova, foram realizados os procedimentos de lixamento e polimento nas regiões onde o disco de corte foi aplicado. Para tanto, utilizou-se lixas d’água aquecido de números 150, 180, 240, 320, 400 e 600.



* As camadas transparentes de resina são apenas para ilustração já que as mesmas são impregnadas diretamente nas camadas de reforço do laminado.

Figura 1: Configuração do Laminado Híbrido (LH).

Como a espessura dos laminados apresenta variações em função do processo de fabricação utilizado, foram necessários pelo menos 5 (cinco) medidas na região do galgo para a obtenção do valor médio das dimensões de cada corpo de prova, tendo sido utilizado um paquímetro digital do fabricante Starret com resolução de 0,01 mm. As dimensões dos corpos de prova estão de acordo com a norma ASTM D3039 (2008). A Fig. 2 apresenta o corpo de prova de cada placa de laminado híbrido seguindo suas dimensões.

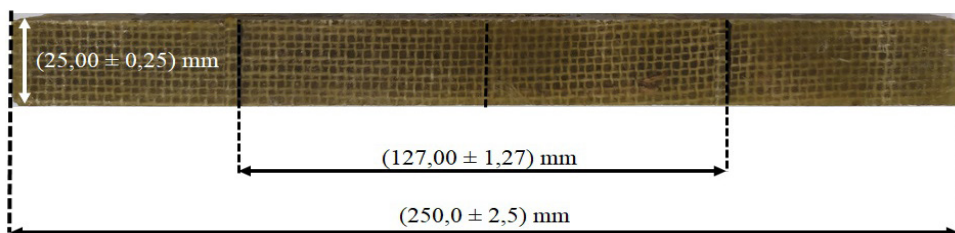


Figura 2: Detalhamento dos CP's para o ensaio de tração uniaxial.

Ensaio de tração uniaxial:

Para a determinação das propriedades mecânicas de resistência última, módulo de elasticidade longitudinal (determinado na direção de aplicação da carga) e deformação na ruptura, para os corpos de prova com e sem presença de descontinuidade geométrica, foram realizados os ensaios de tração uniaxial utilizando a norma ASTM D3039 (2008).

Os ensaios foram realizados utilizando uma máquina de Ensaio Universal Mecânica (Shimadzu Autograph AGI-250 KN) com capacidade máxima de 250 kN, a uma velocidade de deslocamento de 1,0 mm/min, e foram realizados à temperatura ambiente ($25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$). Os testes foram conduzidos a uma velocidade de deslocamento de 1,0 mm/min à temperatura ambiente.

Análise da fratura:

A caracterização da fratura macroscópica foi realizada e fundamentada de acordo com a norma ASTM D3039 (2008), na qual descreve e caracteriza todos os tipos de fraturas válidas. As imagens são obtidas por meio do sistema de scanner digital.

Comparativos com outras fibras naturais utilizadas em elementos estruturais:

Será realizado um levantamento teórico de pesquisas científicas para formular estudo comparativo das propriedades mecânicas de compósitos híbridos constituídos de fibra de vidro e fibras naturais, a fim de avaliar qual possui melhor aplicabilidade para o uso em próteses/órteses e elementos estruturais.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades Mecânicas - Tração Uniaxial:

Para a determinação das propriedades mecânicas dos corpos de prova já analisados consultou-se a norma ASTM D 3039 (2008) que padroniza os ensaios de tração. A Fig. 3 apresenta o gráfico de Tensão x Deformação do material em cinco amostras válidas e suficientes conforme a norma supracitada, nas quais as fraturas ocorreram dentro do comprimento útil do corpo de prova.

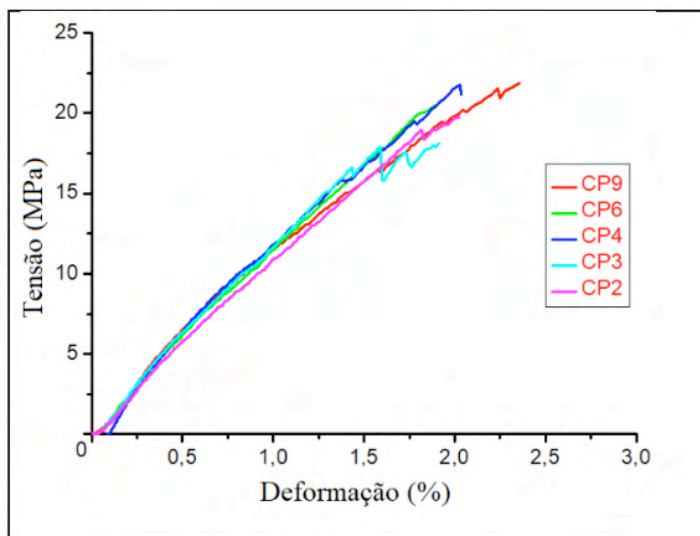


Figura 3: Diagrama tensão x deformação – Laminado LH.

Pode-se observar (ver Fig. 3) uma relação linear entre a tensão e a deformação do material. Essa linearidade é descrita pela Lei de Hooke, a qual estabelece que a deformação sofrida por um corpo elástico é diretamente proporcional a força exercida no mesmo. Mesmo se tratando de um material considerado anisotrópico e não homogêneo, em Tinô e Aquino (2012) essa característica também foi encontrada em laminados compósitos a base de fibras de vidro-E tipo manta (7 camadas) impregnados com resina poliéster. Em Batista (2017), nos dois laminados compósitos de tecidos híbridos carbono/vidro-E e aramida/vidro-E de 10 camadas e impregnados com resina de poliéster, até mesmo em presença ou não de concentração de tensão por furo concêntrico circular, também foi observada linearidade entre a tensão e a deformação.

Com o gráfico da Fig. 3 foi possível obter os valores médios das seguintes propriedades mecânicas: resistência última à tração, módulo de elasticidade e deformação de ruptura à tração. A Tab. 1 mostra tais propriedades, bem como os valores médios e o

desvio padrão dos dados.

Corpos de prova	Máxima carga (kN)	Tensão Última (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Deformação de ruptura (%)
CP1	4,15	19,73	1,10	2,03
CP2	3,77	18,11	1,20	1,91
CP3	4,35	21,12	1,31	2,03
CP4	4,21	20,46	1,15	1,89
CP5	4,73	21,86	1,19	2,36
Valores médios	4,24	20,26	1,19	2,04
Desvio padrão	0,35	1,44	0,08	0,19

Tabela1: Resultados obtidos pelo ensaio de tração – Tração uniaxial.

Análise da Fratura:

A Fig. 4. mostra um dos corpos de prova do LH fraturado, com fratura segundo a norma ASTM D3039 (2008) do tipo LGM (lateral e no meio do galgo).

Na Fig. 4., ao analisar a fratura macromecânica, pode-se destacar o rasgamento das fibras de vidro-E, uma vez que o rompimento está totalmente concentrado na região de fratura final, com poucas microfissuras na matriz, dano característico em materiais compósitos poliméricos reforçados por tecidos de fibras sintéticas (Freire Jr. e Aquino, 2002). Esse fenômeno é proveniente da desaderência fibra/matriz provocada pela propagação da microfissuração na interface. Vale lembrar que o rasgamento das fibras é perceptível apenas após a retirada do corpo de prova da máquina.

De acordo com Queiroz (2008), esse é um tipo de fratura adesiva, o que significa a falta de aderência da fibra/matriz na região de fratura final. A presença de delaminação (separação das camadas) não foi observada na região de fratura final.

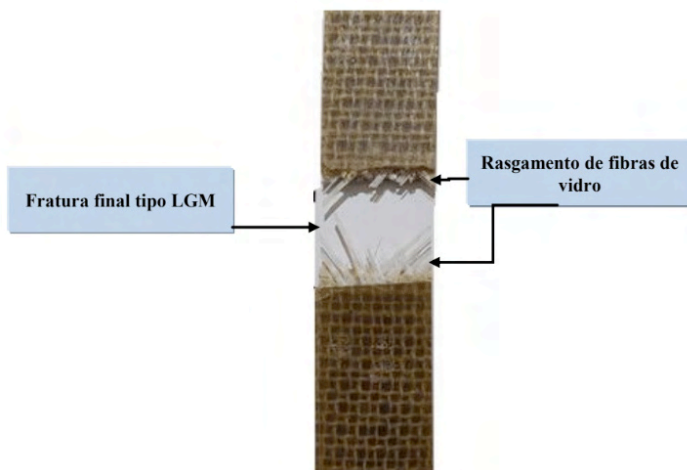


Figura 4: Corpo de prova fraturado LH.

Observa-se, também, a ocorrência de microfissuração transversal da matriz, bem como o rasgamento do tecido de fibras de vidro, dano característico em materiais compósitos poliméricos reforçados por tecidos de fibras sintéticas (Tinô *et al.*, 2014). Esse fenômeno é proveniente da desaderência fibra/matriz provocada pela propagação da microfissuração na interface.

Comparativo global das propriedades mecânicas de diferentes fibras naturais:

A seguir, um estudo comparativo entre propriedades mecânicas obtidas de diversos estudos existentes na literatura, que investigam a influência de fibras naturais, como fibra de juta, sisal e licuri e sintéticas, além de diferentes combinações entre elas, assim como a variação da matriz polimérica e a configuração dos compósitos como um todo. Será observado que, com a variação do material e da configuração estudada, varia também as propriedades mecânicas obtidas para cada compósito.

Comparativo: Resistência à Tração

Os resultados foram obtidos através da comparação de propriedades mecânicas colhidas nos artigos selecionados para estudo que utilizaram compósitos híbridos com fibras naturais, além da obtenção de propriedades mecânicas por meio do ensaio de tração do laminado híbrido produzido neste trabalho.

Com a análise dos estudos que serão apresentados, poder-se-á comparar os resultados das propriedades mecânicas obtidos nos ensaios realizados no Laminado Híbrido desenvolvido neste trabalho estão de acordo com os encontrados nos compósitos híbridos com fibras naturais presentes na literatura.

A seguir, observa-se um gráfico comparativo (Fig. 5.) mostrando os valores de limite

de resistência à tração apresentadas em cada artigo analisado. Para cada autor há uma ou mais configurações do material de estudo.

No artigo intitulado “Failure Theories and Notch Type Effects on the Mechanical Properties of Jute-Glass Hybrid Composite Laminates” por Fontes *et al.* (2019) é apresentado um compósito híbrido obtido industrialmente composto por Fibra de Vidro, Fibra de Juta como reforço, e como matriz resina de poliéster ortoftálico. Os laminados foram obtidos em duas configurações distintas, a primeira sendo L1U: [Juta($\pm 45^\circ$) / Juta($0/90^\circ$) / Vidro($0/90^\circ$) / Juta($0/90^\circ$) / Juta($\pm 45^\circ$)] e a segunda [Juta($0/90^\circ$) / Juta($0/90^\circ$) / Vidro($0/90^\circ$) / Juta($0/90^\circ$) / Juta($0/90^\circ$)]. Os valores de limite de resistência à tração foram obtidos através de ensaio de tração uniaxial executado em ambos os laminados.

De acordo com os autores, a presença de fibras com diferentes propriedades mecânicas e físicas de um compósito laminado pode causar grandes dispersões quando comparado com laminados reforçados com um único tipo de fibra, principalmente em caso de fibras sintéticas, como a fibra de vidro. Além disso, os autores ainda destacam que a colocação de fibras a $\pm 45^\circ$ na direção de aplicação da carga na camada exterior do laminado L1U, quando comparado com o L2U, resultou em um aumento de força de 30,80% e as camadas exteriores com fibras a $0/90^\circ$ produziram uma carga inferior no início do carregamento, influenciando o resultado final da tração do laminado. Desta forma, obtiveram um limite de resistência à tração de 58.25 MPa com desvio padrão de ± 1.09 para o L1U e um limite de resistência à tração de 40.31 MPa com desvio padrão de ± 2.69 para o L2U.

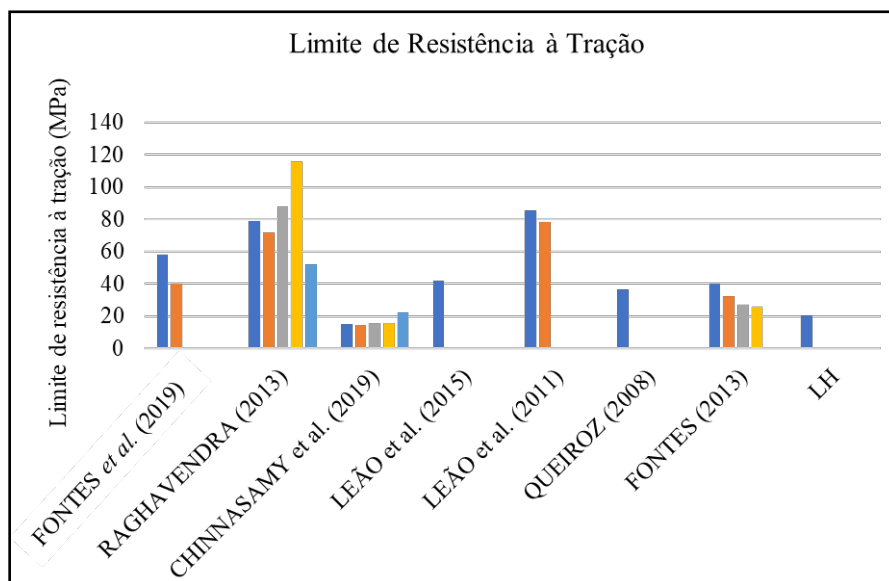


Figura 5: Gráfico Comparativo para Limite de Resistência à Tração.

Já o artigo “Mechanical properties of woven jute–glass hybrid-reinforced epoxy composite” por Raghavendra *et al.* (2013) contou com o método de fabricação manual Hand Lay-up. Utilizou como reforço as fibras de juta e de vidro, como matriz resina epóxi, além do endurecedor HY-951. Foram apresentadas cinco configurações distintas, combinando a fibra de juta e de vidro de três maneiras diversas além de utilizar apenas a juta e a fibra de vidro nas outras duas configurações. As configurações são L1: quatro camadas de Fibra de Vidro, com Limite de resistência a tração de 116 MPa; L2: quatro camadas de Fibras de Juta com Limite de resistência a tração de 56 MPa; L3: Fibra de Vidro, Juta, Vidro e Juta com Limite de resistência a tração de 79 MPa; L4: Fibras de Juta, Vidro, Vidro e Juta com Limite de resistência a tração de 72 MPa e L5: Fibras de Vidro, Juta, Juta e Vidro com Limite de resistência a tração de 88 MPa. Nota-se que o aumento da resistência à tração nos laminados com Fibra de Vidro se dá devido ao fato de as Fibras de Vidro serem mais fortes e rígidas do que as fibras de juta. Os autores concluíram que por incorporação de fibras naturais e tradicionais contínuas no polímero, as propriedades mecânicas obtiveram melhora.

O artigo de Chinnasamy *et al.* (2019), intitulado “Studies on mechanical properties of sisal and jute fiber hybrid sandwich composite”, estuda as propriedades mecânicas de compósitos híbridos utilizando como reforço as Fibras de Sisal e Juta e como matriz resina epóxi em conjunto com o endurecedor HY951. Os autores apresentaram cinco diferentes configurações. A primeira, contendo em sua composição 0% de Fibra de Juta e 35% de Sibra de Sisal, obteve uma Limite de resistência à tração de 15,38 MPa; a segunda, contendo 10% de Juta e 25% Sisal, com Limite de resistência à tração de 14,51 MPa; a terceira, composta por 20% de Juta e 15% de Sisal, com uma Limite de resistência a tração 15,91 MPa; a quarta, contendo 25% de Juta e 10% de Sisal, com Limite de resistência a tração de 15,78 MPa; e a última, contendo 35% de Juta e 0% de Sisal, com uma força tensão de 22,53 MPa. Os autores concluíram que a adição de Fibra de Sisal diminui a tensão do compósito e que a tensão do compósito de Fibra de Juta possui propriedades superiores.

Na pesquisa desenvolvida por Leão *et al.* (2015) com título, “Accelerated environmental aging effects in structural integrity of licuri fiber reinforced plastics” foram investigados os efeitos do envelhecimento de uma fibra natural nas propriedades mecânicas de um plástico reforçado por fibra de licuri. Para avaliar tais efeitos da degradação do material orgânico foram realizadas análises microscópicas da microestrutura do material, bem como sua perda de massa. A fabricação do compósito laminado envolveu duas camadas de fibra de licuri na mesma direção com gramatura de $[418,27 \text{ gVm}]^2$ e três camadas de resina de poliéster orto-tereftálica com o catalisador peróxido de metiletil cetona. O limite de resistência à tração encontrado para o compósito laminado em suas condições originais de fabricação foi de $(41,9 \pm 2,5)$ MPa.

O artigo intitulado “Bending in Laminas of NFPR: Type of Reinforcement, Fracture and Properties”, realizado também por Leão *et al.* (2011), apresenta a influência da

gramatura do tecido de reforço nas propriedades mecânicas obtidas por meio do ensaio de flexão em três pontos. Para este trabalho foram desenvolvidas duas placas por meio do método de fabricação manual Hand Lay-up, tais placas foram denominadas LG1 (com baixa gramatura do tecido de reforço) e LG2 (com o tecido de reforço de alta gramatura). A fibra natural utilizada foi a de licuri com as seguintes gramaturas: $[418,21 \text{ gm}]^{(-2)}$ e $[572,48 \text{ gm}]^{(-2)}$, enquanto a resina utilizada na fabricação foi a de poliéster ortoftálica. O valor médio para a resistência à tração do material analisado foi de 85,37 MPa para o LG1 e 78,58 MPa para o LG2.

Na pesquisa desenvolvida por Queiroz (2008), o compósito laminado foi fabricado também utilizando a técnica de laminação Hand Lay-up e o reforço com a resina de poliéster ortoftálica como matriz. A configuração da placa desenvolvida foi a seguinte: Fibra de juta (± 45), Fibra de juta (± 90), Fibra de vidro-E (± 90), Fibra de juta (± 90) e Fibra de juta (± 45), resultando em um compósito de espessura aproximada de 5,5 mm. Ressalto ainda que, a fibra de juta utilizada pelo autor possuía trama de 3617,1 denier e urdume de 3245,4 denier e o tecido de fibra de vidro-E uma gramatura de 650g/m². A placa fabricada foi cortada com discos de corte diamantados e assim foram feitos os corpos de prova submetidos ao ensaio de tração uniaxial. Os valores médios para a resistência à tração do material foram de: 36,427 MPa.

Com o intuito de obter uma pesquisa mais completa referente à possibilidade de utilizar o laminado híbrido como um elemento estrutural de próteses, Queiroz (2008) também realizou estudos de modelagem e desenvolvimento de protótipos a fim de validar se o compósito desenvolvido pelo mesmo nas devidas configurações possuía capacidade de utilização. Além disso, fez-se necessário submeter os protótipos à avaliação de pacientes para entender se o equipamento atendia à aspectos como conforto e ergonomia.

Fontes (2013), em sua dissertação de mestrado, apresentou um estudo em materiais compósitos híbridos de fibra de vidro-E com fibra de juta. A configuração da placa do material fabricado pelo autor foi: Fibra de Juta (± 90), Fibra de juta (± 90), Fibra de Vidro (± 45), Fibra de juta (± 90) e Fibra de juta (± 90). A confecção do compósito foi realizada utilizando o processo de laminação Hand Lay-up e foram feitos quatro modelos de corpos de prova, sendo assim denominados: CHN – Corpos de prova “Normais” (sem furo), CH6 – Corpos de prova com furo de diâmetro 6,0 mm, CH7,5 – Corpos de prova com furo de diâmetro 7,5 mm e CH9 - Corpos de prova com furo de diâmetro 9,0 mm. Os furos feitos nos corpos de prova objetivaram analisar o comportamento mecânico do material com a interferência da descontinuidade geométrica, tais furos foram realizados no centro geométrico dos corpos de prova. Os valores médios da resistência à tração obtidos foram 40,1 MPa, 32,5 MPa, 27,3 MPa e 25,9 MPa para os corpos CHN, CH6, CH7,5 e CH9, respectivamente.

A pesquisa feita neste trabalho, tendo como fundamento metodológico o processo de moldagem manual Hand Lay-up com a configuração: Fibra de Juta (± 90), Fibra de juta (± 90), Fibra de Vidro (± 45), Fibra de juta (± 90) e Fibra de juta (± 90), submeteu cinco

amostras ao ensaio de tração e obteve um valor médio de resistência à tração de 20,555 MPa.

Comparativo quanto ao Módulo de Elasticidade

A seguir, observa-se um gráfico (Fig. 6) comparativo mostrando os valores de Módulo de Elasticidade apresentados em cada artigo analisado. Para cada autor há uma ou mais configurações do material estudado.

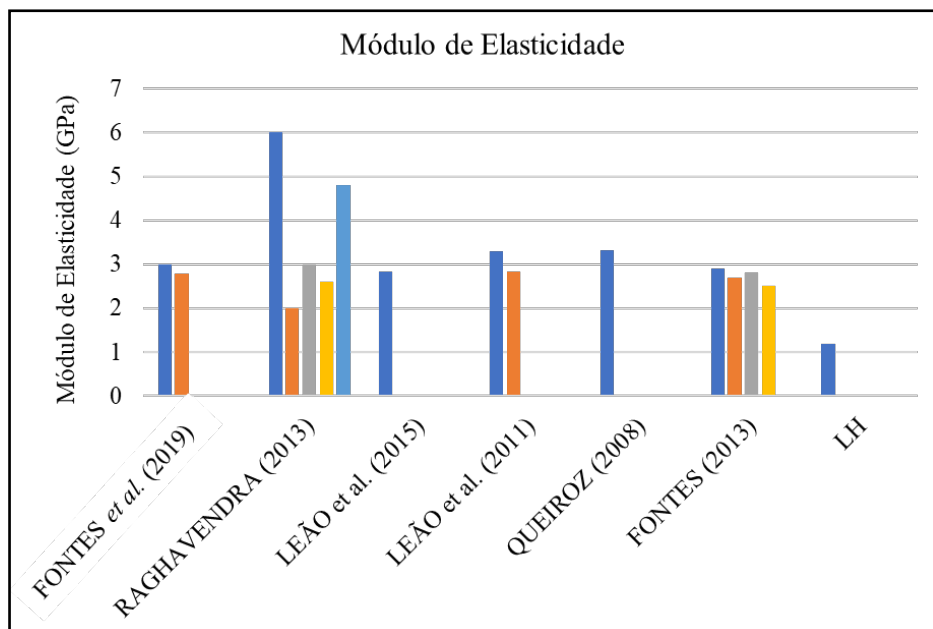


Figura 6: Gráfico Comparativo para Módulo de Elasticidade.

No artigo de Fontes *et al.* (2018), o módulo Young dos laminados compósitos foi determinado utilizando os valores de tensão e deformação antes do dano a fim de evitar possível influência sobre os resultados. Dessa forma, através de duas configurações diversas obteve-se para a apresentada como L1U, Módulo de Elasticidade de 3,00 GPa com Desvio Padrão de $\pm 0,12$. Já para a segunda, indicada como L2U, um Módulo de Elasticidade de 2,78 GPa com Desvio Padrão de $\pm 0,16$. Além disso, o estudo mostrou que ao colocar as fibras a $\pm 45^\circ$ na direção de aplicação da carga na camada exterior do laminado L1U, quando comparado com o L2U, tem-se como resultado um aumento do Módulo de Young em 7,33%.

Em seu estudo os autores Raghavendra *et al.* (2013) obtiveram cinco configurações diversas e observaram que os compósitos laminados de fibra de vidro apresentaram Módulo de Elasticidade superior quando comparados com os compósitos de fibra de juta.

Esse aumento é atribuído ao fato de as fibras de vidro serem mais fortes e rígidas do que as fibras de juta. Os compósitos foram apresentados como L1, L2, L3, L4 e L5 e apresentaram respectivamente Módulos de Elasticidade de 6 GPa, 2 GPa, 3 GPa, 2,6 GPa e 4,8 GPa.

No artigo de Leão *et al.* (2015), o compósito fabricado obteve um perfil de curva de tensão linear até a fratura. Foram realizados testes de tensão em três pontos e testes de desgaste no material. O valor do módulo de Elasticidade encontrado para o compósito de fibra de licuri foi de $2,83 \pm 1,94$ MPa. Como conclusão da pesquisa, constatou-se que após o envelhecimento ambiental acelerado do compósito, o material tem aumento do módulo de elasticidade, sendo assim se torna mais rígido.

Leão *et al.* (2011), conclui em seu artigo que as diferentes gramaturas do tecido de reforço (Licuri) não interferem significativamente nas propriedades mecânicas obtidas por meio do ensaio de flexão em três pontos. As duas placas LG1 (com baixa gramatura do tecido de reforço) e LG2 (com o tecido de reforço de alta gramatura) obtiveram os seguintes valores médios para o módulo de elasticidade: 3,29 GPa para o LG1 e 2,84 GPa para o LG2.

O valor médio do módulo de elasticidade obtido por Queiroz (2008) foi de 3,314 GPa. A pesquisa do autor se baseia na viabilidade da aplicação de um material híbrido de fibra de juta e fibra de vidro-E como parte estrutural em próteses e órteses de pessoas com membros amputados. O autor concluiu em sua tese que dado os valores médios obtidos nos ensaios mecânicos, é possível e viável a utilização do compósito híbrido estudado como elemento estrutural de médio porte, como é o caso das próteses.

Fontes (2013) obteve os seguintes valores médios para os módulos de elasticidade nas respectivas configurações: 2,9 GPa para o compósito CHN; 2,7 GPa para o CH6; 2,8 GPa para CH7,5 e 2,5 para o corpo de prova CH9. O Autor concluiu em sua pesquisa que a presença do furo central modificou a resistência à tração do material negativamente se comparado ao elemento sem descontinuidade. Já para o módulo de elasticidade, as diferenças encontradas entre as configurações não foram significativas, pois se encontram dentro da faixa de dispersão do ensaio. O Módulo de Elasticidade obtido no Laminado Híbrido/LH confeccionado e apresentado neste trabalho foi 1,19 GPa.

4 | CONCLUSÕES

- Em relação ao desempenho mecânico do laminado LH, o comportamento linear entre a tensão e a deformação leva a uma melhor condição de modelamento na idealização do laminado como potencial uso em prótese/órtese;
- Em relação ao ensaio de tração uniaxial realizado no laminado LH, obteve-se como média uma tensão última de 20,25 MPa e módulo de elasticidade de 1,19 GPa. Comparados com Queiroz (2008), que obteve como tensão última 36,43 MPa e 3,31 GPa de módulo de elasticidade. Vale ressaltar que, o autor realizou

em sua tese de doutorado a prototipagem e modelagem de uma prótese utilizando o compósito híbrido e a gramatura dos tecidos consideravelmente superior aos que foram utilizados nesse trabalho. E, portanto, concluiu, a partir dos seus resultados, que o compósito utilizado apresenta propriedades específicas, como resistência e rigidez por unidade de peso, que levam a considerar que seu laminado é seguro como elemento estrutural de médio porte;

- A análise de fratura do LH mostra um rasgamento das fibras de vidro-E, o que, segundo Queiroz (2008), significa uma falta de aderência da fibra/matriz na região da fratura. Neste caso, o rompimento está totalmente concentrado na região de fratura final, com poucas microfissuras na matriz, levando a uma melhor prevenção e controle de falha no elemento estrutural;
- É necessário realizar estudos de modelagem e desenvolver protótipos que garantam a utilização do compósito híbrido de fibra de juta e fibra de vidro-E nas configurações escolhidas para a aplicação como elemento estrutural de próteses. É essencial a realização de mais testes, tais como ensaios de flexão em três pontos e de densidade do material, que auxiliariam na validação do material para a aplicação desejada;
- Na comparação do material proposto com outros compósitos híbridos apresentados em pesquisas de diversos autores, o LH apresentou valores de limite de resistência à tração maiores que trabalhos que utilizaram fibra de sisal e vidro-E, porém, se comparado a outras pesquisas com fibra de juta e vidro-E, o compósito se mostrou com limites de resistência à tração e de módulo de elasticidade menores. Isto indica que a configuração dos materiais utilizados na fabricação dos corpos de prova altera significativamente as propriedades mecânicas do compósito híbrido, sendo necessário, assim, o estudo de mais configurações que permitam alcançar resultados mais satisfatórios em termos de valores de propriedades mecânicas;
- Inobstante ao exposto, mesmo que os diversos trabalhos mencionados não tratem especificamente de materiais para uso em prótese/órtese, os valores de resistência e rigidez aqui aferidos sugerem o uso do laminado LH em elementos estruturais de médio porte, onde se encaixam as próteses/órteses.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao suporte financeiro (bolsa) proveniente do CNPq.

REFERÊNCIAS

ASTM D3039. Standard Test Methods for Tensile Properties of Polymer Matrix Composites. 2008.

Barbosa AP. Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de buriti. Tese (Doutoramento em Engenharia e Ciências de Materiais). Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2011.

- Batista, APMC. Comportamento Mecânico de Compósitos poliméricos Híbridos: Estudos Experimentais, analíticos e Numéricos. Tese (Doutoramento em Engenharia Mecânica). Rio Grande do Norte: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2017.
- Carvalho LH, Cavalcanti WS. Propriedades mecânicas de tração de compósitos poliéster/tecidos híbridos sisal/vidro. São Carlos: Polímeros: Ciência e Tecnologia, 2006.
- Chinnasamy S, Murali G, Tamiloli N, Ravikumar L. Studies on mechanical properties of sisal and jute fiber hybrid sandwich composite. Mater Today: Proceedings, 2019.
- Da Silva RV, Aquino EMF, Rodrigues LPS, Barros, ARF. Desenvolvimento de um compósito laminado híbrido com fibras natural e sintética. Revista Matéria, on-line, 2008. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10974/>>.
- Fontes RS. Compósito polimérico híbrido: comportamento mecânico, descontinuidade geométrica e resistência residual. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.
- Fontes, RS, Bezerra, HAD, Batista, APMC, Tinô, SRL, Aquino, EMF. Failure Theories and Notch Type Effects on the Mechanical Properties of Jute-Glass Hybrid Composite Laminates. Mat Res 2019, 22:1-10.
- HERAKOVICH CT.: "Mechanics of fibrous composites". New York: Ed. Wiley, 1997.
- Leão M, Tinô SRL, Aquino EMF. Accelerated environmental aging effects in structural integrity of licuri fiber reinforced plastics. J of Reinf Plast and Compos 2015; 34:351-363.
- Leao MA, Tinô SRL, Fontes RS, Aquino EMF. Bending in laminas of NFPPR: type of reinforcement, fracture and properties. Mat Res 2011;14: 67-72.
- Oliveira JF. Estudo da influência da configuração em compósitos poliméricos híbridos. Natal: UFRN, 2007.
- Pereira TG. Compósitos produzidos com resina poliéster e fibras de eucalipto tratadas termicamente. Dissertação (Mestrado) Lavras: UFLA, 2016.
- Queiroz WF. Desenvolvimento de métodos construtivos e de novos materiais empregados na confecção de cartuchos de próteses de membros inferiores. Natal, RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.
- Raghavendra G, Shakuntala OSK, Acharya SK PAL. Mechanical properties of woven jute-glass hybrid-reinforced epoxy composite. J of Compos Mat 2013;10: 31-45.
- Tinô SRL, Aquino EMF. Notched GFRP: anisotropy, residual strength, and fracture characteristics. J Reinf Plast Compos 2012; 31: 29-40.
- Tinô SRL, Fontes RS, Aquino EMF. Theories of failure average stress criterion and point stress criterion in notched fiber-reinforced plastic. J Compos Mater 2014. 48(21): 2669-2676.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adesivos 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77

Amazônia 106, 107, 113

Análise de imagens 1, 11, 12, 14, 16

Argamassa 115, 116, 117, 119, 120, 129, 130, 131

C

Compósitos poliméricos 50, 52, 56, 57, 63, 64, 110, 112, 113

D

Desfosforação de ferro-gusa 1, 17

Dessulfuração 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31

E

Epóxi 59, 65, 66, 67, 70, 71, 72, 73, 74, 75

F

Fator de dessulfuração 18, 20, 21, 24, 29, 30, 31

Fibras 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 44, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114

Fluxantes 19

Fotocatálise 32, 37, 44, 46

Fotocromismo 32

Fratura 50, 54, 56, 62, 63

G

Guatteria schomburgkiana 106, 107, 112

H

Hibridização 50

J

Juntas coladas 65, 66, 71, 77

M

Madeira 95, 96, 97, 100, 101, 102, 106, 107, 108, 110, 112

Manifestações patológicas 115, 116, 117, 118, 120, 122, 128, 129, 130

P

Propriedades adesivas 65

Propriedades mecânicas 19, 50, 51, 52, 54, 55, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 76, 113

R

Revestimentos 115, 116, 117, 119, 120, 126, 127, 129, 130, 131, 132

S

Spin-coating 32, 33, 35, 36

T

Termodinâmica computacional 1, 3, 6, 8, 9, 14, 17, 18, 20, 21, 31

Trióxido de tungstênio 32

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Engenharia

& ciência dos materiais

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 



Engenharia & ciência dos materiais