

**Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)**

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Mecânica

Atena
Editora
Ano 2020



**Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)**

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Mecânica

Atena
Editora
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A639 A aplicação do conhecimento científico na engenharia mecânica [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
 Modo de acesso: World Wide Web
 ISBN 978-85-7247-982-0
 DOI 10.22533/at.ed.820201302

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz.

CDD 670.427

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos. O aumento no interesse por essa área se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral.

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas, reduzindo o tempo de execução e a utilização de materiais.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de mecânica e materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas.

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.

Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros

Aos autores, agradeço pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
OTIMIZAÇÃO E PREVENÇÃO DE FALHAS NA FABRICAÇÃO DE RODA AUTOMOTIVA	
Rafael Lemos Diniz Lucas Santos de Oliveira Paulo Henrique Pereira Araújo Marcos Antônio Pinheiro Ponçadilha Alexandre Serpa Aquiar Jose Ribamar ribeiro silva Junior Fernando Nascimento costa Karla Fabiana Rodrigues Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.8202013021	
CAPÍTULO 2	11
MANUFACTURE OF COMPLEX PARTS IN THIN SHEETS OF COMMERCIALY PURE ALUMINIUM USING INCREMENTAL SHEET FORMING METHOD	
Felipe Chagas Rodrigues de Souza Leonardo Rosa Ribeiro da Silva Felipe dos Anjos Rodrigues Campos Augusto César Santos Peixoto	
DOI 10.22533/at.ed.8202013022	
CAPÍTULO 3	21
STUDY OF DIFFERENT LUBRI-COOLANT CONDITIONS FOR INCREMENTAL SHEET FORMING OF THIN ZINC SHEETS	
Felipe dos Anjos Rodrigues Campos Felipe Chagas Rodrigues de Souza Leonardo Rosa Ribeiro da Silva Pedro Henrique Pires França	
DOI 10.22533/at.ed.8202013023	
CAPÍTULO 4	35
COMPÓSITOS POLIMÉRICOS HÍBRIDOS REFORÇADOS COM TECIDOS DE FIBRA DE JUTA E TECIDOS DE FIBRA DE VIDRO	
Jair Francisco Souza Magalhães Douglas Santos Silva Roberto Tetsuo Fujiyama	
DOI 10.22533/at.ed.8202013024	
CAPÍTULO 5	50
PROJETO DE MAPA TÁTIL DO IFSUL– SAPUCAIA DO SUL PARA ACESSIBILIDADE DE DEFICIENTES VISUAIS	
Daniela Oliveira Raupp Carmen Iara Walter Calcagno	
DOI 10.22533/at.ed.8202013025	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	61
ÍNDICE REMISSIVO	62

COMPÓSITOS POLIMÉRICOS HÍBRIDOS REFORÇADOS COM TECIDOS DE FIBRA DE JUTA E TECIDOS DE FIBRA DE VIDRO

Data de aceite: 12/02/2020

Data de submissão: 26/11/2019

Jair Francisco Souza Magalhães

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM)

Belém – Pará

<http://lattes.cnpq.br/1101000133353542>

Douglas Santos Silva

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM)

Belém – Pará

<http://lattes.cnpq.br/6353740518648585>

Roberto Tetsuo Fujiyama

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM) e Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM)

Belém – Pará

<http://lattes.cnpq.br/3165747089941318>

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo comparar o comportamento mecânico de compósitos de matriz poliéster com e sem hibridização, laminados em três camadas de tecidos de juta e tecidos de fibra de vidro de gramaturas 145 g/m² e 200 g/m². Os compósitos foram produzidos por processo de laminação manual (*hand lay up*), com as placas

prensadas à temperatura ambiente. Os ensaios de tração foram realizados de acordo com a norma ASTM D 3039, de modo a comparar as propriedades mecânicas em função das combinações dos compósitos de Vidro/Vidro/Vidro(200), Vidro/Vidro/Vidro(145), Juta/Juta/Juta, Vidro(200)/Juta/Vidro(200), Vidro(145)/Juta/Vidro(145), Juta/Vidro(200)/Juta e Juta/Vidro(145)/Juta, relacionando os resultados com os aspectos fractográficos dos corpos de prova, obtidos por meio de estereoscópio. Os resultados apontaram ruptura da matriz, exposição das fibras e delaminação, sendo esta devido à falta de ancoragem entre as camadas de vidro e juta. O tecido de vidro é um reforço evidentemente superior em comparação ao tecido de juta, quando consideramos fatores de resistência mecânica e deformação total, pois a inserção de camadas de tecido de juta foi acompanhada de quedas de desempenho no ensaio de tração em todos os compósitos. Somente no compósito JV(145)J, onde as propriedades comparadas ao compósito JJJ, foram ligeiramente semelhantes, com diferença na resistência à tração da ordem de 10,2%.

PALAVRAS-CHAVE: Hibridização; compósitos laminados; resina polimérica; fibra de juta; fibra de vidro.

HYBRID POLYMERIC COMPOSITES REINFORCED WITH JUTE FIBER FABRICS AND FIBERGLASS FABRICS

ABSTRACT: The objective of this work was to compare the mechanical behavior of polyester matrix composites with and without hybridization, laminated in three layers of jute fabrics and fiberglass fabrics weighing 145 g/m² and 200 g/m². The composites were produced by hand lay up process, with the plates pressed at room temperature. The tensile tests were performed according to ASTM D 3039, in order to compare the mechanical properties as a function of the combinations of the layers in the composites GGG(200), GGG(145), JJJ, G(200)JG(200), G(145)JG(145), JG(200)J and JG(145)J, relating the results to the fractographic aspects of the specimens, obtained by stereoscope. The results indicated matrix rupture, fiber exposure and delamination, due to the lack of anchorage between the layers of glass and jute. The glass fabric is an obviously superior reinforcement in comparison to the jute fabric when we consider factors of mechanical resistance and total deformation, since the insertion of layers of jute fabric was accompanied by gaps in the tensile test in all the composites. Only JG(145)J composite, where the properties compared to the JJJ composite, were slightly similar, with a tensile strength difference of the order of 10,2%.

KEYWORDS: Hybridization; laminated composites; polymeric resin; jute fiber; fiberglass.

1 | INTRODUÇÃO

A manufatura dos compósitos baseia-se em uma ideia simples de combinar e colocar em serviço dois ou mais materiais macroconstituintes distintos que, geralmente, diferem em composição química e/ou física, com o objetivo de obter propriedades específicas, diferentes daquelas que cada constituinte apresenta separadamente, tendo uma interface reconhecível entre os componentes. Cada um dos constituintes mantém suas propriedades físicas e químicas, embora o material resultante dessa combinação apresente propriedades superiores às dos constituintes individuais (REZENDE; COSTA; BOTELHO, 2011).

O estudo em compósito está associado à possibilidade da produção de compósitos com excelentes propriedades mecânicas e baixas densidades, que possam substituir materiais como a madeira e o aço. Dentro da classe dos materiais compósitos, destaca-se o avanço em termos de aplicação dos compósitos à base de resinas poliméricas, devido seu alto grau de confiabilidade, além da economia na produção, redução de peso, resistência mecânica, rigidez e flexibilidade de projeto (DALTRO, 2011).

Assim, buscando a redução do impacto sobre o meio ambiente, estão sendo realizadas pesquisas em compósitos poliméricos reforçados por fibras naturais e pela combinação de fibras naturais com as fibras sintéticas, sendo esta combinação

denominada de materiais compósitos híbridos.

Das fibras naturais pesquisadas, a juta (*Corchorus capsularis*) foi estudada como reforço de compósito de matriz poliéster insaturada ortoftálica por Cavalcanti (2006) e observado que 14% em massa de fibras levou a um aumento de 34% na resistência à tração do compósito em relação à matriz pura.

Cavalcante (2008) desenvolveu material compósito de matriz de polipropileno reforçado com fibras contínuas e alinhadas de juta em dupla e tripla camada, orientadas a $0^\circ/0^\circ$ e $0^\circ/0^\circ/0^\circ$, obtendo-se, respectivamente resistência à tração de 42,30 MPa e 53,30 MPa, mostrando com isso, o aumento desta propriedade em 20,63% devido ao acréscimo de uma camada de juta.

Santos (2015) realizou pesquisa em compósito de matriz poliéster reforçado por três camadas de tecido bidirecional de juta e verificou que de modo geral, o compósito tende a apresentar maiores valores de resistência à tração com o alinhamento dos fios na direção preferencial ao sentido de aplicação do esforço de tração, isto é, quando os fios da camada central estão orientados na direção longitudinal.

O método de hibridização de fibras naturais com fibra de vidro é um artifício para incrementar as propriedades mecânicas dos compósitos laminados com reforços de fibras vegetais, sendo que o grau de resistência depende do design e da construção do material compósito (NAYAK et al., 2010).

De acordo com THAKUR et al., (2014) e JAWAID et al., (2011), os compósitos híbridos com maior teor volumétrico de fibras de vidro apresentaram maior resistência à tração, que foi atribuído ao fato de que o modo de falha das amostras foi precedido pela falha da fibra de vidro, que apresentava um menor alongamento na ruptura.

Barros (2006), por exemplo, desenvolveu compósito polimérico reforçado por fibras contínuas e alinhadas de fibra de curauá intercalada por fibras de vidro, obtendo, assim, resistência mecânica na ordem de 92,15 MPa. Este comportamento, segundo o autor, está intrinsecamente relacionado com a distribuição das tensões entre camadas e a boa aderência entre as camadas das fibras de vidro e fibras de curauá.

Silva (2010) utilizou mantas de fibra de vidro e fibra de curauá de 50 mm de comprimento, como reforço em compósito polimérico híbrido, e verificou que a resistência à tração destes compósitos depende da eficiência da interação da matriz com o reforço e, portanto, da devida transferência das tensões da matriz para o reforço. Além disso, o aumento da fração volumétrica leva ao aumento das propriedades do material.

Neste mesmo viés, Almeida (2018) mostrou que as propriedades mecânicas de compósitos híbridos de tecido de vidro e tecido de juta estão não só relacionadas ao teor de fibra no compósito e à boa interação da fibra com a matriz, mas à configuração e a forma de empilhamento das camadas de tecido.

Neste contexto, este trabalho de pesquisa refere-se ao desenvolvimento de compósito com e sem hibridização entre tecido de vidro-E e tecido de juta através de compósito laminado, constituído de três camadas, com o objetivo de comparar as propriedades mecânicas através dos ensaios de tração uniaxial, usando a norma ASTM D 3039, em função das combinações das camadas nos compósitos.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

A matriz utilizada neste trabalho foi a resina poliéster insaturada tereftálica de baixa reatividade, tipo cristal, cor azulada, fabricada pela Ara Química S.A. sob a denominação comercial de Arazyn AZ 1.0 # 34, da Centerglass. O agente de cura de peróxido de metil-etil-cetona (MEKP) na proporção de 0,7 % (v/v), uma vez que com esta, Rodrigues (2015) obteve boas propriedades ao material.

Foram utilizados tecidos de juta (*Corchorus capsularis*), de gramatura 245 g/m² e tecidos de vidro-E, de gramaturas 145 g/m² e de 200 g/m². Estes materiais foram adquiridos no comércio da região metropolitana de Belém.

2.2 Métodos

A metodologia de fabricação dos compósitos, como corte dos tecidos, laminação, prensagem das placas, preparação dos corpos de prova, ensaios de tração e avaliação fractográfica são mostrados conforme o fluxograma da Figura 1.

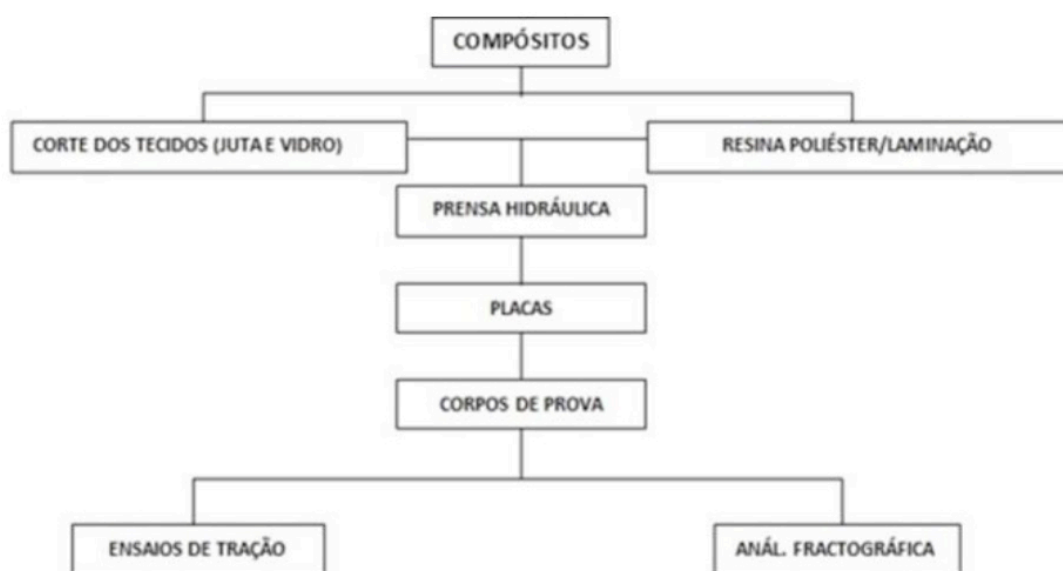


Figura 1: Fluxograma das etapas dos procedimentos experimentais.

Os tecidos de juta e de vidro foram cortados nas dimensões 28 cm x 32 cm e em seguida levados a uma balança de precisão para aferição de suas massas. As massas foram aferidas duas vezes: antes de ir a estufa e depois disso, onde

permaneceram por cinco minutos, para retirada da umidade.

No processo de laminação, foram utilizadas placas de compensado de dimensões 36 cm x 40 cm x 1,3 cm, revestidas com transparência (filme de poliéster transparente utilizado em retroprojeção), presas com fita adesiva. Os tecidos de juta foram pré-impregnados de ambos os lados da placa e em seguida, os tecidos de vidro foram inseridos entre as placas de compensado, conforme aparato ilustrado na Figura 2.

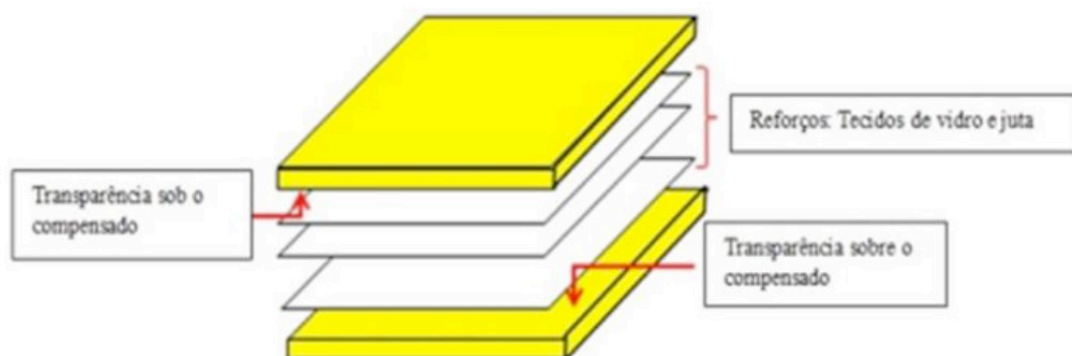


Figura 2: Modelo ilustrativo para a fabricação dos compósitos.

Sobre cada transparência de poliéster fixada ao compensado, foi adicionada 20 g de resina e de acordo com as configurações de cada compósito, aos tecidos de juta, 80 g de resina, de vidro(145), 24 g e tecido de vidro(200), 30 g.

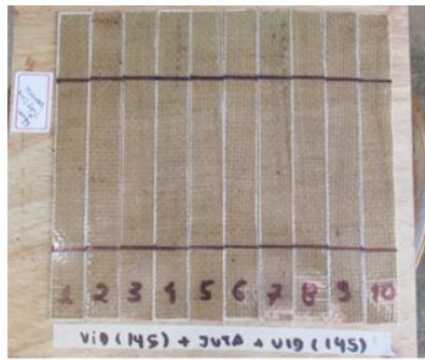
Após a laminação, as placas foram levadas a uma prensa hidráulica e submetidas a uma pressão de 0,5 t, onde ficaram por 2h para a adesão mecânica. Foram confeccionadas sete placas de compósitos, nas configurações VVV(200), VVV(145), JJJ, JV(200)J, V(200)JV(200), JV(145)J e V(145)JV(145).

Depois de sete dias em cura, as placas foram cortadas em uma máquina de corte de disco diamantado, para a retirada dos corpos de prova com as dimensões da norma ASTM D 3039, conforme ilustrado na Figura 3 (a) e (b).

Os Tabs, feitos de Duratex, foram colados nas extremidades dos corpos de prova com adesivo Tek Bond nº 725.

Os ensaios de tração foram realizados no laboratório do curso de engenharia de materiais do Instituto Federal do Pará (IFPA), em Belém-PA, em uma máquina de tração Universal da marca Arotec, modelo WDW-100E, com velocidade de ensaio de 2 mm/min e célula de carga de 5 kN.

Posterior ao ensaio mecânico de tração, as superfícies de fratura das amostras foram analisadas para a verificação dos principais mecanismos de falha. As análises foram feitas utilizando-se um estereoscópio.



(a)



(b)

Figura 3: (a) Corpos de prova obtidos a partir do compósito fabricado e (b) dimensões dos corpos de prova de acordo com a norma ASTM D 3039.

3 | RESULTADOS

3.1 Ensaio de tração

As propriedades mecânicas, bem como as curvas características de cada combinação de camadas dos compósitos são mostradas na Tabela 1 e Figuras 4, 5 e 6, respectivamente.

Compósitos	Fração Mássica de Tecido de Juta (%)	Fração Mássica de Tecido de Vidro (%)	Tensão na Carga Máxima (MPa)	E (GPa)	Autores
VVV(145)	-	25,41	89,60 ± 3,04	2,35 ± 0,00	Esta Pesquisa
VVV(200)	-	41,23	283,37 ± 76,87	6,64 ± 0,20	Esta Pesquisa
JJJ	17,22	-	24,46 ± 0,74	1,01 ± 0,15	Esta Pesquisa
JV(145)J	13,16	4,76	27,24 ± 2,46	1,06 ± 0,12	Esta Pesquisa
JV(200)J	12,02	10,40	55,74 ± 2,68	1,57 ± 0,00	Esta Pesquisa
V(145)JV(145)	8,72	11,90	87,37 ± 5,05	2,43 ± 0,12	Esta Pesquisa
V(200)JV(200)	7,05	23,63	95,97 ± 8,00	2,74 ± 0,00	Esta Pesquisa
JJJ(0°)	44	-	57,70	3,62	Cavalcante, 2008
VJV(0°)	18,98	7,42	180,93 ± 19,67	4,07 ± 0,42	Almeida, 2018
JVJ(0°)	12,48	6,00	87,72 ± 3,29	2,40 ± 0,26	Almeida, 2018
JJJ(Tecido)	18,00	-	28,54 ± 1,78	1,07 ± 0,30	Santos, 2015
J(Tecido)J(90°)J (Tecido)	18,00	-	17,03 ± 4,44	1,22 ± 0,35	Santos, 2015

Tabela 1: Propriedades mecânicas dos compósitos desta pesquisa e de autores da literatura.

É possível observar pela Tabela 1, que à medida que se adiciona tecido de vidro à formulação do reforço nos laminados, isto é, quando se aumenta a fração mássica de tecido de vidro, ocorre um aumento dos valores nos módulos elásticos

dos compósitos, o que representa, de acordo com Caraschi (2000), Khondker et al. (2006) e Vieira (2008) um aumento na rigidez dos compósitos.

Isto acontece para os compósitos VVV(145), com fração mássica de tecido de vidro de 25,41% e tensão na carga máxima de 89,60 MPa. Quando a fração mássica passou a ser de 41,23%, devido à mudança da gramatura para 200 g/m², a tensão na carga máxima deu um salto para 283,37 MPa. O módulo de elasticidade, que era de 2,35 GPa, passou a ser de 6,64 GPa.

O compósito reforçado por tecido de juta, JJJ, apresentou a resistência à tração de 24,46 MPa, semelhante à encontrada por Santos (2015) para JJJ(Tecido), com a diferença deste autor ter utilizado 18% de fração mássica de fibra.

A resistência à tração do compósito desta pesquisa, comparada aos demais compósitos de outros pesquisadores, apresentou propriedade bastante inferior, principalmente em relação aos compósitos com camadas de tecido de vidro em sua configuração, devido ao fato de que as propriedades individuais mecânicas de tensões máximas serem maiores para a fibra sintética de vidro em relação às fibras vegetais (AHMED, 2008).

Outro fator importante que influenciou na resistência à tração do compósito JJJ foi a fração mássica do tecido de juta, uma vez que comparando o resultado deste compósito, que foi 24,46 MPa, com o de Cavalcante (2008), igual a 57,70 MPa, verifica-se que o autor utilizou uma fração mássica de juta de 44%.

Observa-se que não é só o aumento da fração mássica de fibra que leva ao aumento da propriedade de tensão na carga máxima dos compósitos, mas a orientação das fibras no mesmo. As camadas de tecido, por exemplo, possuem fibras tanto na direção transversal quanto na direção longitudinal em relação ao esforço de tração.

Dessa maneira, o fato de a propriedade mecânica em tração encontrada por Cavalcante (2008), para o compósito JJJ(0°), ter sido 135% superior em relação ao compósito JJJ, desta pesquisa, deve-se não só ao aumento da fração mássica de juta, mas devido os fios de juta estarem dispostos no sentido preferencial ao esforço de tração, isto é, a 0°.

Neste sentido, como já observado por Msallem et al. (2010) e Hossain et al. (2013), à medida que a orientação dos fios nas lâminas centrais muda da direção transversal para a direção longitudinal, ocorre um aumento significativo na resistência à tração do compósito. Logo, os fios no tecido de juta que estão na direção transversal ao esforço de tração, não contribuem de maneira efetiva à resistência mecânica do compósito.

Isto pode ser avaliado comparando-se os compósitos J(Tecido)J(90°)J(Tecido) e JJJ(Tecido), estudados por Santos (2015), onde só a mudança da camada central do compósito de fios de juta a 90° para o tecido (fios à 90° e a 0°), levou a resistência

à tração de 17,03 MPa para 28,54 MPa.

Assim, comparando-se as configurações analisadas por Almeida (2018), sendo elas JVJ(0°) e VJV(0°), com as desta pesquisa, isto é, V(200)JV(200), V(145)JV(145), JV(200)J e JV(145)J, nota-se que o aumento da resistência à tração ocorre devido não só ao aumento da gramatura do tecido de vidro de 145 g/m² para 200 g/m², o que se relaciona com a elevação da fração mássica de fibra, e/ou ao aumento da quantidade de camadas de fibra de vidro no compósito (de uma para duas), que leva ao deslocamento desta da região central para as extremidades do compósito; mas notoriamente devido ao sentido preferencial dos fios das camadas do compósito em relação aos esforços. Na Figura 4, tem-se as curvas características de tensão x deformação dos compósitos JJJ, VVV(145) e VVV(200).

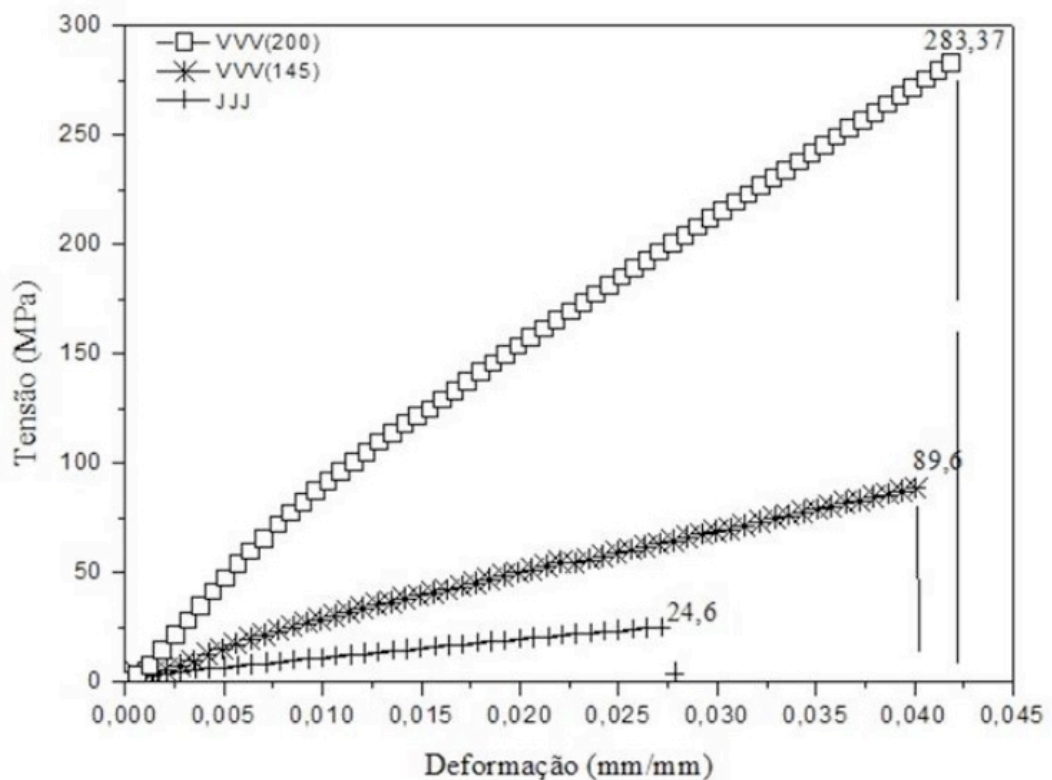


Figura 4: Curvas características de tensão x deformação dos compósitos JJJ, VVV(145) e VVV(200).

Os compósitos, de modo geral, apresentaram um comportamento linear até a fratura. Este comportamento é característico para muitos tipos de compósitos poliméricos reforçados com fibras sintéticas entre lâminas, sejam eles na forma de estruturas laminares ou do tipo sanduíche (OLIVEIRA, 2005), típico de matrizes termofixas (AQUINO et al., 2007).

De acordo com as curvas representadas na Figura 4, o compósito VVV(200) apresentou resistência à tração máxima de 283,37 MPa, o equivalente a 216,27% superior, mais do que o dobro, ao compósito VVV(145), cuja resistência foi de 89,60 MPa. Em comparação ao compósito JJJ, com resistência à tração máxima de 24,46

MPa, o VVV(200) tem esta propriedade cerca de 12 vezes superior. O fato de o compósito reforçado por tecido de vidro com gramatura 200 g/m² ter a tensão na carga máxima 216,7% superior em relação ao reforçado com o de 145 g/m² está relacionado não só à gramatura, mas à fração mássica de fibra no compósito, onde o aumento do teor de fibra no compósito leva ao aumento de tal propriedade. A fração mássica do compósito VVV(200), como indicado na Tabela 1 foi de 41,23%, sendo que a do compósito VVV(145) foi de 25,41%. Já o compósito JJJ teve uma fração mássica de 17,22%.

Ainda de acordo com as curvas apresentadas na Figura 4, observa-se que os compósitos VVV(200) e VVV(145) apresentaram praticamente o mesmo nível de deformação e inclinação acentuada das curvas no intervalo de 0 mm/mm a aproximadamente 0,010 mm/mm. Já para o compósito JJJ, a inclinação da curva tendeu a ser menos aparente. A mudança na inclinação da curva, isto é, o seu decaimento, está relacionado ao rompimento e/ou descolamento de uma das três camadas do compósito, o que indica a fratura total das camadas ou dos fios destas. Na Figura 5, tem-se as curvas características de tensão x deformação dos compósitos JJJ, JV(145)J, V(145)JV(145) e VVV(145).

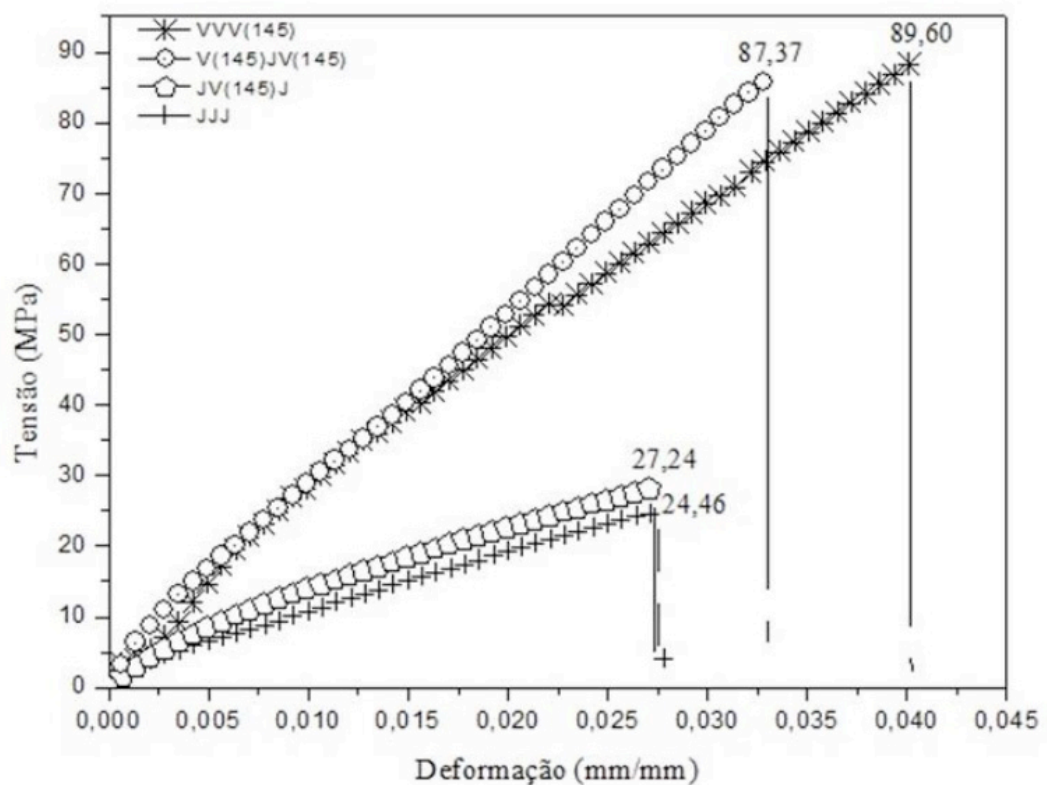


Figura 5: Curvas características dos compósitos JJJ, JV(145)J, V(145)JV(145) e VVV(145).

Na Figura 5, está demonstrado de que forma as configurações e arranjos das camadas de tecido influenciam no comportamento mecânico dos compósitos. O compósito VVV(145), por exemplo, apresenta a resistência à tração de 89,60 MPa e a colocação de uma camada de tecido de juta entre as camadas de tecido de

vidro, V(145)JV(145), reduz esta resistência em apenas 2,7%, o que, considerando o desvio padrão em 3 MPa, é pouco significativo. Ressalta-se, ainda, que os compósitos JV(145)J e JJJ, como indica a curva característica de tensão x deformação, possuem comportamento semelhantes, pois aquém dos 10,2% de diferença na propriedade de tensão, os módulos de elasticidade e deformação são praticamente os mesmos. Os módulos, por exemplo, são 1,06 GPa e 1,01 GPa, e as deformações 0,026 mm/mm e 0,024mm/mm, respectivamente. Na Figura 6, tem-se as curvas características de tensão x deformação dos compósitos JJJ, JV(200)J, V(200)JV(200) e VVV(200).

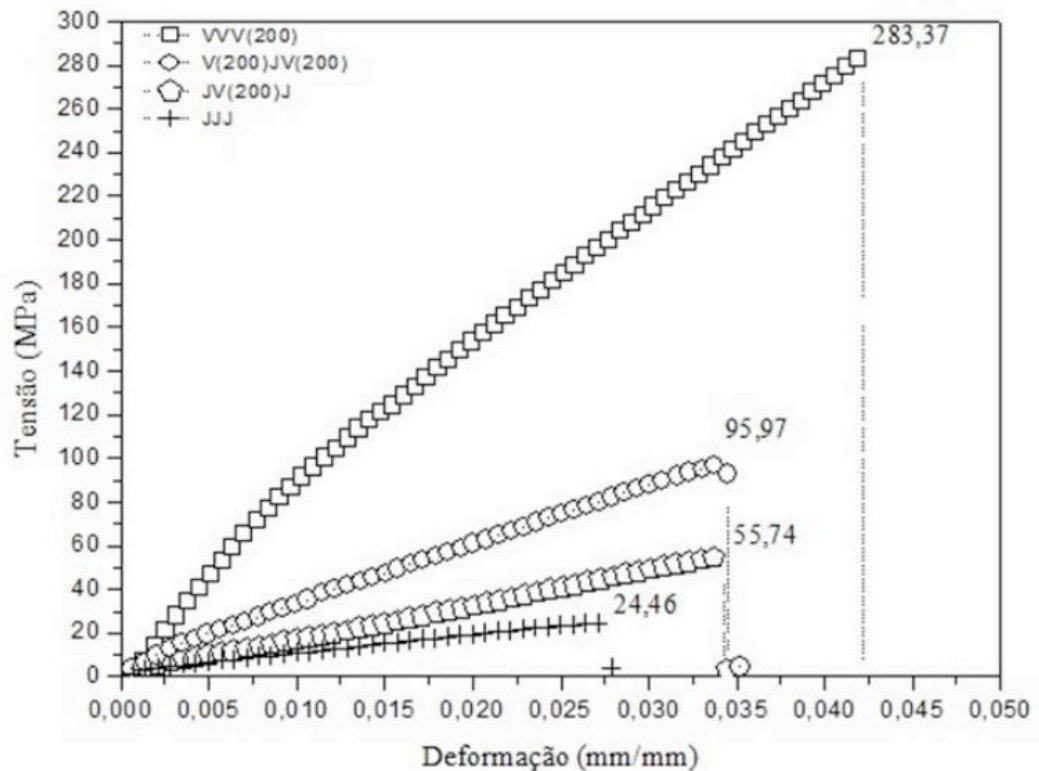


Figura 6: Curvas características dos compósitos JJJ, JV(200)J, V(200)JV(200) e VVV(200).

As curvas da Figura 6 indicam que as configurações e arranjos das camadas de tecido influenciam diretamente no comportamento mecânico dos compósitos, e de modo ainda mais significativo, devido à alta resistência à tração do reforço de tecido de vidro de gramatura 200 g/m².

O compósito VVV(200) mostra uma resistência à tração muito elevada em comparação aos demais, da ordem de 283,37 MPa. O deslocamento da camada de tecido de juta da extremidade para o centro dos compósitos, isto é, V(200)JV(200), leva a uma resistência à tração na carga máxima de 95,97 MPa. Assim, o compósito que possui duas camadas de tecido de vidro, a resistência à tração é visivelmente menor.

A curva que apresenta a maior inclinação e conseqüentemente o maior módulo de elasticidade é o compósito VVV(200), com 6,64 GPa. Os módulos de elasticidade dos compósitos V(200)JV(200) e V(200)V(200)J são semelhantes, 2,74 GPa e 2,52

GPa, respectivamente. Porém, o primeiro apresenta deformação cerca de 20% inferior em relação ao segundo.

O nível de deformação do compósito V(200)JV(200) é semelhante ao do compósito JV(200)J. No entanto, o primeiro, por apresentar duas camadas de vidro, possui maior módulo de elasticidade.

3.2 Aspectos fractográficos

Nas Figuras 7, 8 e 9 são mostrados os aspectos fractográficos dos compósitos de cada configuração estudada.

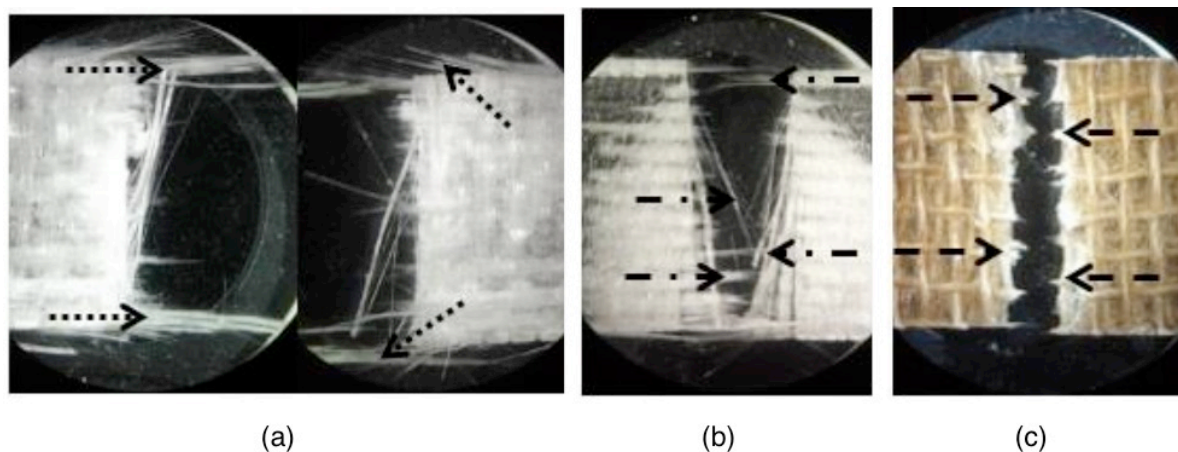


Figura 7: Aspecto da fratura dos compósitos (a) VVV(200), (b) VVV(145) e (c) JJJ.

Como observado na Figura 7(a), o aspecto da fratura do compósito VVV(200) indica que neste houve a completa fratura dos fios ao longo do esforço de tração. Os fios expostos (setas pontilhadas) mostram que pode ter ocorrido o descolamento das camadas devido aos esforços de cisalhamento entre estas. Este comportamento é, do mesmo modo, observado na Figura 7(b), para o compósito VVV(145). Já o aspecto da fratura do compósito JJJ, mostrado na Figura 7(c), assinala o completo rompimento dos fios dispostos na direção preferencial ao esforço de tração, tal como indicam as setas tracejadas. As fibras possivelmente romperam somente na carga máxima, uma vez que a curva característica se mostrou homogênea, isto é, sem gaps. Não houve, portanto, descolamento das camadas.

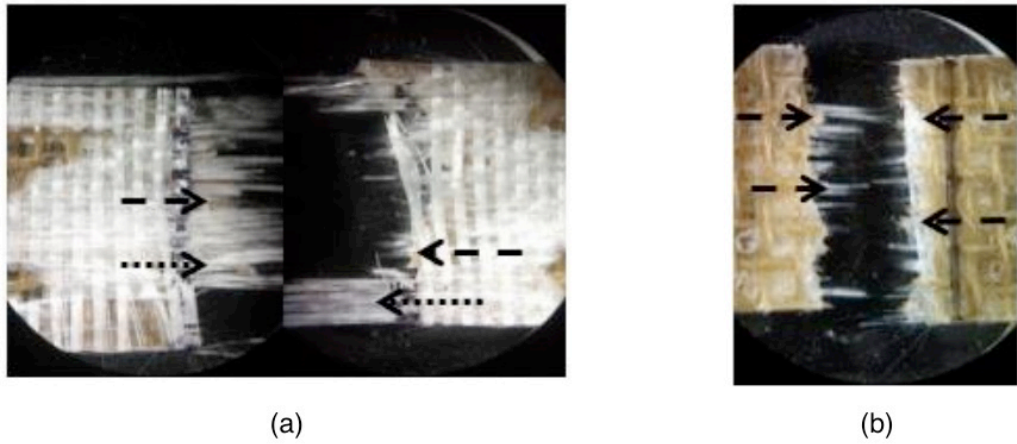


Figura 8: Aspecto da fratura dos compósitos (a) V(145)JV(145) e (b) JV(145)J.

O aspecto da fratura do compósito V(145)JV(145), mostrado na Figura 8(a), indica que houve fratura da camada de tecido de juta, indicado pelas setas tracejadas, possivelmente no momento em que a deformação do compósito era de cerca de 0,08mm/mm. Indica também fraturas nos fios do tecido de vidro, setas pontilhadas. No compósito JV(145)J, mostrado na Figura 8(b), o aspecto da fratura indica que tanto as camadas de fibra de vidro quanto de juta apresentam fibras com fraturas semelhantes (setas tracejadas) indicando que estas atuaram como reforço efetivo, no sentido de que as tensões foram distribuídas de modo equivalente pelas camadas.

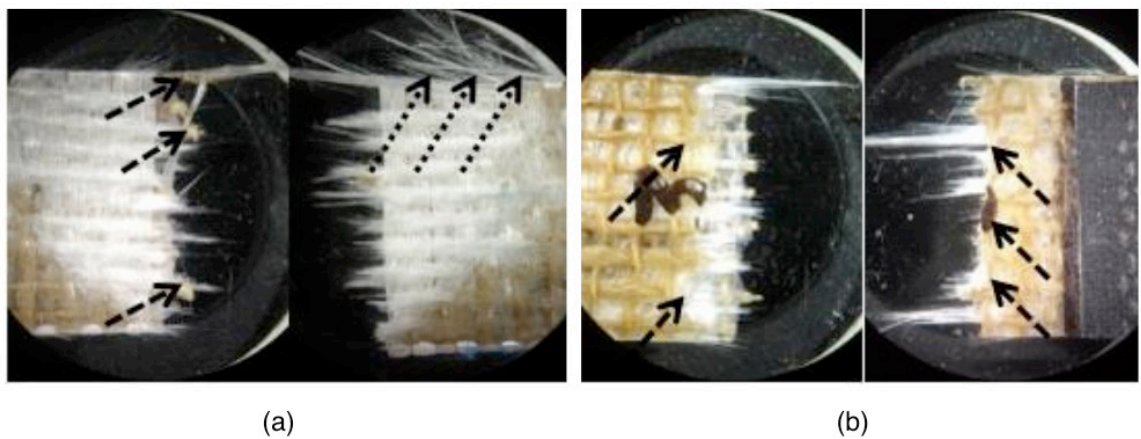


Figura 9: Aspecto da fratura dos compósitos (a) V(200)JV(200) e (b) JV(200)J.

No aspecto da fratura V(200)JV(200), mostrado na Figura 9(a), nota-se os fenômenos da borda lateral “explodida” e concentração de tensões em uma das laterais (setas pontilhadas), além da fratura dos fios do tecido de juta (setas tracejadas), mostrando que esta alcançou o seu limite de resistência à tração. Enquanto que no compósito JV(200)J, mostrado na Figura 9(b), a camada de fibra de juta da parte externa teve delaminação, com fratura coincidente a uma fibra perpendicular (setas tracejadas). A camada de fibra de vidro mostra mecanismos de

falha como arrancamento e ruptura.

4 | CONCLUSÃO

A partir das propriedades obtidas, verificou-se que o tecido de vidro é um reforço evidentemente superior em comparação ao tecido de juta, quando consideramos fatores de resistência mecânica e deformação total, pois a inserção de camadas de tecido de juta foi acompanhada de quedas de desempenho no ensaio de tração em todos os compósitos. Somente no compósito JV(145)J, onde as propriedades comparadas ao compósito JJJ, foram ligeiramente semelhantes, com diferença na resistência à tração da ordem de 10,2%.

O tecido de juta devido desenvolver menor deformação máxima também é um fator determinante na queda de resistência, ocorrendo delaminação devido às camadas de juta romperem primeiro, levando ao comprometimento da integridade do compósito e levando à ocorrência de diversos defeitos, como “mordedura” do tecido de vidro e ancoragem prejudicada, tendendo a se propagar até o tab.

A matriz mostrou precariedade em efetivamente transmitir os esforços mecânicos para a fibra de vidro em boa parte dos compósitos. As rupturas de matriz, exposição das fibras e delaminação indicaram a falta de ancoragem entre as camadas de tecido de vidro e tecido de juta.

A organização das camadas de juta teve influência no material, foi observada uma tendência de resposta mecânica inferior nos compósitos que tinham duas camadas de juta na extremidade, diferentemente dos compósitos com tecido de juta no centro, com os tecidos de vidro na extremidade, onde a resposta foi ligeiramente superior. A fractografia mostra que o comportamento da camada de juta na extremidade acaba por gerar delaminação e separação entre as camadas do material.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Pará Campus Belém e ao apoio financeiro da CAPES, CNPq e Pró Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal do Pará.

REFERÊNCIAS

AHMED, K. S., VIJAYARANGAN, S. **Tensile, flexural and interlaminar shear properties of woven jute and jute-glass fabric reinforced polyester composites** Journal of Materials Processing Technology, vol. 207, n. 3, pp. 330–335, Out. 2008.

ALMEIDA, L. M. **Compósitos híbridos com fibras naturais e sintéticas contínuas e alinhadas**. Tese de M.Sc., UFPA, Belém, PA, Brasil, 2018.

AQUINO, E. M. F., MARGARIA, G. **Influence of misture absorption on the mechanical properties of polyester/fibre glass-E composites** Proceedings of Second international congress on metallurgical and materials technology, 2007.

ASTM D3039/D3039M. **American society for testing and materials**, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, USA, 2014.

BARROS, A.R.F. **Compósitos híbridos: desenvolvimento de configuração e efeitos de umidificação**, Tese de M.Sc., UFRN, Natal, RN, Brasil, 2006.

CARASCHI, J. C., LEÃO, A. L. **Mechanical properties of curauá fiber reinforced polypropylene composites**. In: ISNaPol - Third International Symposium on Natural Polymers and Composites, pp. 450-453, São Paulo, 2000.

CAVALCANTE, J. M. de F. **Desenvolvimento de um processo para a incorporação de fios de juta em matriz termoplástica e caracterização dos compósitos**, Tese de D.Sc., UFCG, Campina Grande, PB, Brasil, 2008.

CAVALCANTI, W. S. **Compósitos poliéster/tecidos tramados vegetal vidro: caracterização mecânica e simulação da adsorção de água**, Tese de D.Sc., UFCG, Campina Grande, PB, Brasil, 2006.

DALTRO, N. R. **Desenvolvimento de um laminado compósito híbrido a base de fibras de vidro/licuri**, Tese de M.Sc, UFRN, Natal, RN, Brasil, 2011.

HOSSAIN, M. R. et al. **Effect of Fiber Orientation on the Tensile Properties of Jute Epoxy Laminated Composite**, Journal of Scientific Research, vol. 5, n. 1, pp. 43-54, 2013.

JAWAID, M.H.P.S., ABDUL KHALIL, H.P.S.; BAKAR, A.A. **Hybrid composites of oil palm empty fruit bunches/woven jute fiber: chemical resistance, physical, and impact properties** Journal of Composite Materials, vol. 45, n. 24, pp. 2515-2522, Mai. 2011.

KHONDKER, O.A., ISHIAKU, U.S., NAKAI, A., HAMADA, H. **A novel processing technique for thermoplastic manufacturing of unidirectional composites reinforced with jute yarns** Composites: Part A, Applied Science Manufacturing, vol. 37, n. 12, pp. 2274-2284, Dez. 2006.

MSALLEM, Y. A. et al. **Material characterization and residual stresses simulation during the manufacturing process of epoxy matrix composites**, Composites Part A, applied science and manufacturing, vol. 41, n. 1, pp. 108-115, Jan. 2010.

NAYAK, S. K., MOHANTY, S., SAMAL, S. K. **Influence of interfacial adhesion on the structural and mechanical behavior of PP-banana/glass hybrid composites** Polym Compos, vol. 31, N. 7, pp. 1247-1257, Jul. 2010.

OLIVEIRA, W. **Comportamento mecânico e Característica da Fratura em Compósitos Híbridos**. Tese de M.Sc., UFRN, Natal, RN, Brasil, 2005.

REZENDE, M.I.C., COSTA, M. L., BOTELHO, E. C. **Compósitos estruturais: tecnologia e prática**. São Paulo, Artliber, 2011.

RODRIGUES, J. S, SOUZA, J.A., FUJIYAMA, R.T. **Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais da Amazônia fabricados por infusão**, Revista Matéria, vol. 20, n. 4, pp. 946-960, Jun. 2015.

SANTOS, J. E. M. dos. **Placas laminadas de poliéster e fibras de juta em diferentes configurações**, Tese de M.Sc., UFPA, Belém, PA, Brasil, 2015.

SILVA, H.S.P. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibras de vidro**, Tese de M.Sc., UFRS, Porto Alegre, RS, Brasil, 2010.

THAKUR, V.K., THAKUR, M.K., GUPTA, R.K. **Review: raw natural fiber-based polymer composites** Inter J Polym Anal Charact, vol. 19, n. 3, pp. 256–271, Fev. 2014.

VIEIRA, C.A.B. **Avaliação de métodos de fabricação de mantas híbridas de fibras curtas de vidro e sisal em compósitos poliméricos**, Tese de M.Sc., UCS, Caxias do Sul, RS, Brasil, 2008.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Accessibility 50

Acessibilidade 50, 51, 59

C

Commercially pure aluminum 11, 13, 16, 19

Compósitos laminados 35, 37

D

Deficiência visual 50, 51, 56, 58, 59, 60

F

Failures 2

Falhas 1, 2, 3, 5

Feed speed 11, 12, 15, 17, 18, 19

Fiberglass 36

Fibra de juta 35, 46

Fibra de vidro 35, 37, 42, 46, 47

H

Hibridização 35, 37, 38

Hybridization 36

I

Incremental sheet forming 11, 15, 18, 19, 21, 23, 24, 25, 33, 34

J

Jute fiber 36, 48

L

Laminated composites 36

Lubrication 11, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 33

M

Mapa tátil 50, 51, 52, 53, 55, 56, 58, 59

P

Polymeric resin 36

R

Resina polimérica 35

Rodas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10

S

Soldagem 2, 61

T

Tactile map 50

V

Visual impairment 50

W

Welding 2

Wheels 2

Z

Zinc sheets 21, 22, 25, 31

 **Atena**
Editora

2 0 2 0