

Ciência e Engenharia de Materiais

4

Marcia Regina Werner Schneider Abdala
(Organizadora)

 **Atena**
Editora

Ano 2018

MARCIA REGINA WERNER SCHNEIDER ABDALA

(Organizadora)

Ciência e Engenharia de Materiais

4

Atena Editora

2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall'Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant'Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

C569 Ciência e engenharia de materiais 4 [recurso eletrônico] / Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Ciência e Engenharia de Materiais; v. 4)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-64-2

DOI 10.22533/at.ed.642182910

1. Engenharia. 2. Materiais I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.11

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

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

2018

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.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Você já percebeu a importância dos materiais na sua vida diária? Os materiais estão provavelmente mais imersos na nossa cultura do que a maioria de nós imagina. Diferentes segmentos como habitação, saúde, transportes, segurança, informação/comunicação, vestuário, entre outros, são influenciados em maior ou menor grau pelos materiais.

De fato a utilização dos materiais sempre foi tão importante que os períodos antigos eram denominados de acordo com os materiais utilizados pela sociedade primitiva, como a Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro, etc.

A humanidade está em constante evolução, e os materiais não são exceções. Com o avanço da ciência e da tecnologia a cada dia surgem novos materiais com características específicas que permitem aplicações pormenorizadas e inovação nas mais diferentes áreas.

Todos os dias centenas de pesquisadores estão atentos ao desenvolvimento de novos materiais e ao aprimoramento dos existentes de forma a integrá-los em tecnologias de manufatura economicamente eficientes e ecologicamente seguras.

Estamos entrando em uma nova era caracterizada por novos materiais que podem tornar o futuro mais fácil, seguro e sustentável. O campo da Ciência e Engenharia de Materiais aplicada está seguindo por novos caminhos. A iminente escassez de recursos está exigindo inovações e ideias criativas.

Nesse sentido, este livro evidencia a importância da Ciência e Engenharia de Materiais, apresentando uma coletânea de trabalhos, composta por quatro volumes, que permitem conhecer mais profundamente os diferentes materiais, mediante um exame das relações entre a sua estrutura, as suas propriedades e o seu processamento.

Considerando que a utilização de materiais e os projetos de engenharia mudam continuamente e que o ritmo desta mudança se acelera, não há como prever os avanços de longo prazo nesta área. A busca por novos materiais prossegue continuamente...

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTUDO COMPARATIVO DA ABSORÇÃO DE UMIDADE ENTRE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS HÍBRIDOS REFORÇADOS COM TECIDOS DE ALTO DESEMPENHO	
<i>Helen Fernandes de Sousa</i>	
<i>Eval Oliveira Miranda Junior</i>	
<i>Ana Claudia Rangel da Conceição</i>	
<i>Victor Antunes Silva Barbosa</i>	
<i>Olímpio Baldoino da Costa Vargens Neto</i>	
<i>Mirtânia Antunes Leão</i>	
CAPÍTULO 2	15
COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM TECIDO HÍBRIDO DE KEVLAR-CARBONO: INFLUÊNCIA DA ABSORÇÃO DE UMIDADE NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS	
<i>Eval Oliveira Miranda Junior</i>	
<i>Helen Fernandes de Sousa</i>	
<i>Ana Claudia Rangel da Conceição</i>	
<i>Victor Antunes Silva Barbosa</i>	
<i>Olímpio Baldoino da Costa Vargens Neto</i>	
<i>Mirtânia Antunes Leão</i>	
CAPÍTULO 3	25
FRICTION AND WEAR OF NANOCOMPOSITES POLYSTYRENE / KAOLINITE	
<i>José Costa de Macêdo Neto</i>	
<i>Ana Emília Guedes</i>	
<i>Nayra Reis do Nascimento</i>	
<i>João Evangelista Neto</i>	
<i>Waldeir Silva Dias</i>	
<i>Bruno Mello de Freitas</i>	
<i>Solenise Pinto Rodrigues Kimura</i>	
<i>Eduardo Rafael Barreda</i>	
CAPÍTULO 4	33
INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DE CAULIM E DE AGENTE COMPATIBILIZANTE NO ÍNDICE DE FLUIDEZ DE COMPÓSITOS PEAD/CAULIM	
<i>Márcio Alves de Lima</i>	
<i>Gilmara Brandão Pereira</i>	
<i>Ezequiel de Andrade Silva</i>	
<i>Cirlene Fourquet Bandeira</i>	
<i>Roberto de Oliveira Magnago</i>	
<i>Sérgio Roberto Montoro</i>	
CAPÍTULO 5	40
ESTUDO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL EM LAMINADOS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS	
<i>Sérgio Renan Lopes Tinô</i>	
<i>Ana Claudia de Melo Caldas Batista</i>	
<i>Raphael Siqueira Fontes</i>	
<i>Eve Maria Freire de Aquino</i>	
CAPÍTULO 6	48
ANÁLISE MECÂNICA DE ESTRUTURAS SANDUÍCHES COM DIFERENTES NÚCLEOS	
<i>Vanessa Cristina Da Costa Oliveira</i>	
<i>Vanessa Maria Yae Do Rosário Taketa</i>	
<i>Carmen Gilda Barroso Tavares Dias</i>	

CAPÍTULO 7 58

MATERIAL COMPÓSITO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS POR FIBRAS DE ALGODÃO CONTÍNUAS E ALINHADAS

César Tadeu Nasser Medeiros Branco
Wassim Raja El Banna
Deibson Silva da Costa
Roberto Tetsuo Fujiyama

CAPÍTULO 8 66

COMPÓSITO DE BORRACHA NATURAL E RESÍDUO DE COURO APLICADO COMO ISOLANTE TÉRMICO DE EDIFÍCIOS

Maria Alessandra Bacaro Boscoli
Fernando Sérgio Okimoto
Saulo Guths
Guilherme Dognani
Eduardo Roque Budemberg
Ado Eloizo Job

CAPÍTULO 9 82

ANÁLISE COMPARATIVA DE UM MATERIAL COMPÓSITO DE MATRIZ POLIMÉRICA COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE FIBRA DE PIAÇAVA DO AMAZONAS.

Waldeir Silva Dias
Bruno Mello de Freitas
José Costa de Macedo Neto
Guilherme Moreira dos Santos
Solenise Pinto Rodrigues Kimura
Sarah Elisa Medeiros
João Christian Paixão Fonseca

CAPÍTULO 10 92

ANALYSIS OF THE STIFFNESS OF DOWEL LAMINATED TIMBER (DLT) PANELS MADE WITH LAMELLAS OF PINUS TAEDA AND ELLIOTTII WITH DOWELS OF PELTOGYNE SPP., LEGUMINOSAE

Marcos Cesar de Moraes Pereira
Carlito Calil Junior

CAPÍTULO 11 98

NANOCOMPÓSITO DE POLÍMERO VERDE: COMPORTAMENTO MECÂNICO E DE INFLAMABILIDADE

Felippe Fabrício dos Santos Siqueira
Renato Lemos Cosse
Joyce Batista Azevedo
Tatianny Soares Alves
Renata Barbosa

CAPÍTULO 12 108

DESENVOLVIMENTO DE NANOCOMPÓSITOS DE POLIPROPILENO/ARGILA BENTONÍTICA ORGANOFÍLICA

Carlos Ivan Ribeiro de Oliveira
Marisa Cristina Guimarães Rocha
Joaquim Teixeira de Assis
Jessica Verly
Ana Lúcia Nazareth da Silva
Luiz Carlos Bertolino

CAPÍTULO 13 123

COMPATIBILIZAÇÃO E EFEITO DA DEGRADAÇÃO TERMO-HIDROLÍTICA EM BLENDS PS/PCL

Danilo Diniz Siqueira
Dayanne Diniz de Souza Moraes

Rodolfo da Silva Barbosa Ferreira
Edcleide Maria Araújo
Danielly Campos França
Elieber Barros Barbosa
Amanda Dantas Oliveira

CAPÍTULO 14..... 139

MEMBRANAS DE FIBRA OCA DE CARBETO DE SILÍCIO: OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

Sandriely Sonaly Lima Oliveira
Rodolfo da Silva Barbosa Ferreira
Bruna Aline Araújo
Keila Machado de Medeiros
Hélio de Lucena Lira
Edcleide Maria Araújo

CAPÍTULO 15..... 150

OBTENÇÃO DE NANOFIBRAS DE SÍLICA PELO MÉTODO SBS E INVESTIGAÇÃO PRELIMINAR DE SUA APLICAÇÃO COMO CARGA EM MATRIZ POLIMÉRICA

Edvânia Trajano Teófilo
Gabriel Lucena de Oliveira
Radamés da Silva Teixeira
Francisco Diassis Cavalcante da Silva
Rosiane Maria da Costa Farias
Romualdo Rodrigues Menezes

CAPÍTULO 16..... 161

SINERGISMO ENTRE AS PROPRIEDADES ÓPTICAS E FOTOCATALÍTICAS DE FIBRAS DOS ÓXIDOS DE TITÂNIO E TUNGSTÊNIO

Luana Góes Soares da Silva
Annelise Kopp Alves

CAPÍTULO 17..... 177

ADSORÇÃO DO POLI (3-OCTILTIOFENO) EM ÓXIDO DE ZINCO PARA USO EM CÉLULAS SOLARES

Guilherme Arielo Rodrigues Maia
Guilherme José Turcatel Alves
Bianca Vanjura Dias
Gideã Taques Tractz
Leticia Fernanda Gonçalves Larsson
Everson do Prado Banczek
Sandra Regina Masetto Antunes
Paulo Rogério Pinto Rodrigues

SOBRE A ORGANIZADORA..... 186

ESTUDO COMPARATIVO DA ABSORÇÃO DE UMIDADE ENTRE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS HÍBRIDOS REFORÇADOS COM TECIDOS DE ALTO DESEMPENHO

Helen Fernandes de Sousa

IFBA – Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia da Bahia
Salvador – Bahia

Eval Oliveira Miranda Junior

IFBA – Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia da Bahia
Salvador – Bahia

Ana Claudia Rangel da Conceição

IFBA – Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia da Bahia
Salvador – Bahia

Victor Antunes Silva Barbosa

IFBA – Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia da Bahia
Salvador – Bahia

Olímpio Baldoino da Costa Vargens Neto

IFBA – Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia da Bahia
Salvador – Bahia

Mirtânia Antunes Leão

IFBA – Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia da Bahia
Salvador – Bahia

RESUMO: O objetivo da presente pesquisa é o estudo comparativo da influência da absorção de umidade nas propriedades mecânicas e mecanismos de fratura em dois compósitos poliméricos híbridos reforçados por tecidos de alto desempenho. Os compósitos tiveram como

matriz a resina epóxi éster vinílica e como reforço tecidos híbridos de fibras kevlar/vidro e fibras de kevlar/carbono. Foram confeccionados corpos de prova de cada compósito para ensaios no estado seco e submersos em água destilada até atingir seu ponto de saturação e ensaiados no estado úmido. Os corpos de prova sofreram ensaios de tração uniaxial e flexão em três pontos. Os resultados das propriedades mecânicas e mecanismos de fratura dos dois compósitos foram comparados para análise da degradação das propriedades mecânicas. As taxas de absorção foram demonstradas graficamente. Os resultados alcançados demonstram perda nas propriedades mecânicas em ambos os compósitos após absorção.

PALAVRAS-CHAVE: Compósito Híbrido, propriedades Mecânicas, Absorção de umidade.

ABSTRACT: The increasing use of plastic reinforced by high performance fabric in structural elements, replacing conventional materials, challenges the application of these composites under harsh circumstances, especially under the effects of environment, as UV radiation and humidity. Research have shown that composites, mainly polymeric, can absorb moisture, which can compromise the structural integrity, undermine its applicability and not keeping its income as high as if it was dry. This study's aim is to compare the influence

on the mechanical properties of two hybrid polymer composites reinforced by high-performance fabric cause by the absorption of moisture. The idealized composite had as matrix the epoxy vinyl ester resin (DERAKANE 411-350), and, as reinforcement, hybrid reinforced kevlar 49 / E-glass fiber fabric and Kevlar 49 / AS4 carbon fabric. For the mechanical and absorption tests, 21 specimens were prepared for each composite - seven for the uniaxial tensile test, seven for the three point bending test, and seven for the absorption test. The specimens were immersed in distilled water up to its saturation point. When the saturation was reached, the specimens were properly tested. The mechanical properties in the wet state (saturated) results were compared to dry state results from literature, to analyze the mechanical properties degradation. A comparative study of both composites properties under saturation was conducted. The absorption rates are graphically proven. The results found point mechanical properties decreasing in both composites.

KEYWORDS: Hybrid composite, mechanical properties, moisture absorption.

1 | INTRODUÇÃO

De acordo com a norma ASTM D3878-2007, materiais compósitos são definidos como materiais formados por mais de um constituinte, que por ser insolúveis entre si mantêm suas propriedades individuais preservadas, mas estando combinadas resultam em um material de engenharia útil com propriedades que não seriam encontradas nos constituintes separadamente. É crescente a utilização de plásticos reforçados com tecidos de alto desempenho em elementos estruturais, em substituição dos materiais ditos convencionais, visto que a combinação das propriedades das diferentes fibras apresenta as vantagens de um material mais leve e ao mesmo tempo com excelentes propriedades mecânicas, térmicas e químicas. Segundo Oliveira (2013), as resinas de poliéster são as mais polivalentes entre as resinas termofixas quanto às suas aplicações, sendo a fibra de vidro o material mais empregado na fabricação de compósitos, devido a apresentar propriedades de resistência mecânica, baixo custo, ser incombustível e quimicamente estável, apresentar resistência à corrosão e à umidade (BARROS, 2010; OTA, 2004). O Kevlar possui propriedades como: leveza, resistência à corrosão, manutenção de suas propriedades mesmo quando utilizado em baixas temperaturas, elevado módulo de elasticidade, grande resistência ao impacto, elevada resistência mecânica (MIRANDA, 2015). As fibras de carbono são muito resistentes e leves, por isso muito requisitado pela indústria aeroespacial. No entanto, o aumento do uso desses compósitos traz desafios relacionados à aplicação destes materiais em condições adversas. Dependendo da aplicação do material compósito o estudo da degradação natural é de suma importância, principalmente quando a degradação é combinada com calor, radiação solar, poluição e cargas estáticas ou de fadiga: condições que induzem ao envelhecimento do material com decréscimo das propriedades de resistência

e rigidez (LEÃO, 2010). Estudos mostram que os compósitos, principalmente os poliméricos, absorvem umidade, o que pode comprometer a integridade estrutural, não mantendo seu rendimento tão alto quanto quando seco, prejudicando dessa forma sua aplicabilidade. Este trabalho tem como objetivo comparar a influência do efeito da absorção de umidade sobre as propriedades mecânicas de dois compósitos de matriz polimérica de resina epóxi éster vinílica reforçados com tecido híbrido de alto desempenho de fibras kevlar/carbono e kevlar/vidro.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os tecidos utilizados no compósito kevlar/carbono possuem dois tipos de fibras, com percentual de 55% de fibras de carbono AS-4 (PAN) e 45% de fibras de kevlar 49. Os tecidos são bidirecionais e planos. O Tecido híbrido que originou o Laminado Híbrido Kevlar/Vidro Sarja, bidirecional (tipo sarja) foi produzido pela Texiglass Indústria e Comércio Têxtil, e é identificado comercialmente como Tecido Híbrido AV0480 constituído por 54% de fibra de vidro e 46% fibra de aramida em peso. A matriz utilizada em ambos os compósitos foi a resina termofixa Derakane 411-350 Epóxi Éster Vinílica. Todos os corpos de prova, de todos os ensaios, foram laminados com 4 camadas intercaladas de tecido híbrido.

2.2 Métodos

Os materiais foram preparados adequadamente para serem submetidos aos ensaios pré-estabelecidos, respectivamente para o ensaio de absorção, tração uniaxial e flexão de três pontos. Os laminados foram confeccionados e os corpos de prova (CP's) lixados, polidos e cortados, seguindo as normas ASTM D3039 – 08 e ASTM D 790 – 10. O ensaio de absorção consistiu em pesar os CP's em uma balança digital com quatro casas decimais antes da submersão (0h) e submergi-los em um recipiente contendo água destilada a 20° C, e então pesados em intervalos de tempo pré-estabelecidos até atingir o ponto de saturação, de acordo com a norma ASTM D 570-98. A pesagem das massas ocorreu em 12h e 24h, depois a cada 24h na primeira semana. Em seguida, uma pesagem por semana, e, por último, as pesagens passaram a ter intervalos de duas semanas totalizando 2352h (98 dias). Um gráfico de absorção (percentual de peso ganho) x tempo (horas) foi construído com os dados encontrados, sendo eles as medidas de absorção de cinco corpos de prova de cada compósito (valores médios) de acordo com a norma técnica. Para preservar o estado de saturação, os CP's de cada composto híbrido foram retirados da água destilada apenas no momento exato dos ensaios. Ensaio mecânicos de tração uniaxial e flexão em três pontos para ambos compósitos foram realizados, obtendo-se uma curva de

desempenho para cada corpo de prova, e calculada a média das curvas de cada compósito para posterior comparação entre eles. Para os ensaios de tração uniaxial e ensaio de flexão em três pontos, as análises das características da fratura nos corpos de prova fraturados foram realizadas. As mesmas foram executadas em duas etapas: a primeira consistiu de uma análise macroscópica da falha mecânica com o objetivo de identificar o tipo de fratura final e conhecer a formação e distribuição da falha ao longo de todo o comprimento do CP, conforme a norma ASTM D3039 (2006); a segunda etapa consistiu nas análises microscópicas da falha (ótica e MEV) com o objetivo de detectar fraturas dos tipos adesiva (interface fibra/matriz) e coesiva (na fibra ou na matriz), além de características do dano, como microfissuração da matriz e de laminação. Foram comparados os resultados após absorção com resultados dos mesmos compósitos no estado seco, presentes em literatura (OLIVEIRA, J.F. S, 2013) e entre os compósitos em ambos estados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Ensaio de Absorção

A figura 1 representa o comportamento do compósito híbrido Kevlar/Carbono (LKC) e Kevlar/Vidro (LKV) durante o ensaio de absorção, mostrando o percentual de absorção de umidade de cada compósito. Como pode-se observar no gráfico, os compósitos apresentam comportamento similar. Na curva de ambos, houve uma inclinação acentuada nas primeiras 24 horas do ensaio, onde mais da metade do percentual total de absorção ocorre. Os laminados submersos continuaram a absorver nos dias seguintes, porém em menor percentual, onde observa-se a linearização das curvas. No 98º dia foi encerrada a coleta de dados, quando foi comprovado que a absorção nos materiais havia estagnado, assim atingindo o ponto de saturação de umidade.

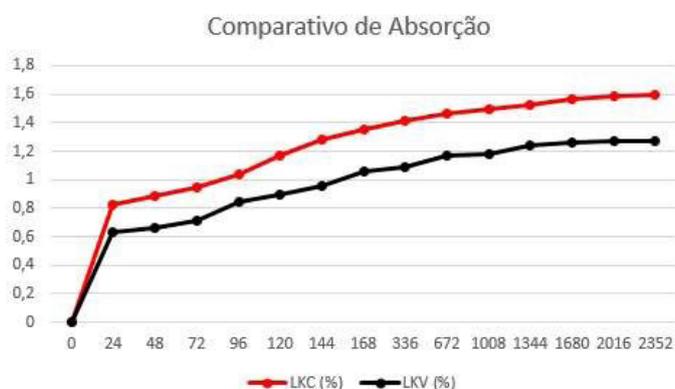


Figura 1 - Comparativo de absorção

Apesar do comportamento similar das curvas, observa-se que quantitativamente

o laminado kevlar/carbono (LKC) absorveu 20,48% a mais que o kevlar/vidro (LKV). Esse resultado era esperado, devido às características dos materiais comparados, dada a conhecida resistência a umidade da fibra de vidro.

3.2 Ensaios de Tração Uniaxial

As curvas médias resultantes do ensaio de tração uniaxial dos corpos de prova submetidos à umidade evidenciam o similar comportamento mecânico caracterizado pelo perfil linear elástico até a fratura final dos corpos de prova.

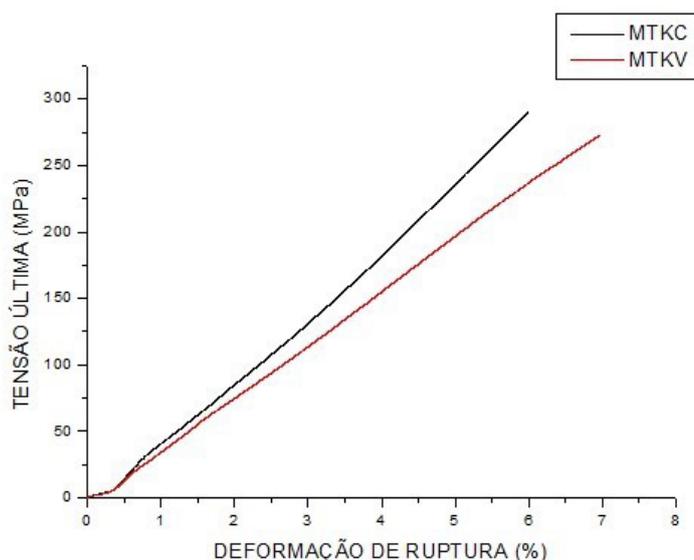


Figura 2 - Gráfico de Tensão x Deformação (Tração Uniaxial)

Os valores médios para tensão última, módulo de elasticidade (medido na direção de aplicação da carga) e deformação de ruptura de cada um dos compósitos podem ser analisados na tabela 1 abaixo, bem como o percentual de diferença entre os estados seco e úmido de cada composto.

PROPRIEDADES MECÂNICAS	LKC			LKV		
	Valores Médios Seco	Valores Médios Úmido	%	Valores Médios Seco	Valores Médios Úmido	%
Tensão Última (MPa)	410,68	280	-31,82	337,05	294,54	-21,71
Módulo de Elasticidade (GPa)	17,06	6,02	-64,71	8,06	0,04	-99,50
Deformação de Ruptura (%)	3,02	5,7	88,74	5,16	7,38	30,08

Tabela 1 - Propriedades mecânicas (ensaio de tração uniaxial)

Ambos apresentaram perda em suas propriedades mecânicas após absorção se comparado aos valores no estado seco. A diferença nas propriedades mecânicas do estado seco para o estado úmido de cada compósito pode ser separadamente observada através dos gráficos quantitativos seguintes. A figura 3 mostra queda nos

valores da tensão última.



Figura 3 - Tensão última

Como pode-se notar na figura 4, a umidade diminui o módulo de elasticidade dos compósitos, diminuindo assim sua rigidez.



Figura 4 - Módulo de elasticidade

Os valores para deformação de ruptura aumentaram, indicando que sob efeito da umidade os compósitos ganharam ductilidade.



Figura 5 - Deformação de ruptura

O percentual de alteração nas propriedades mecânicas entre o estado seco e após o ensaio de absorção (úmido) foi calculado e mostrado na figura 6 para melhor visualização dessas alterações e comparação entre os compósitos.

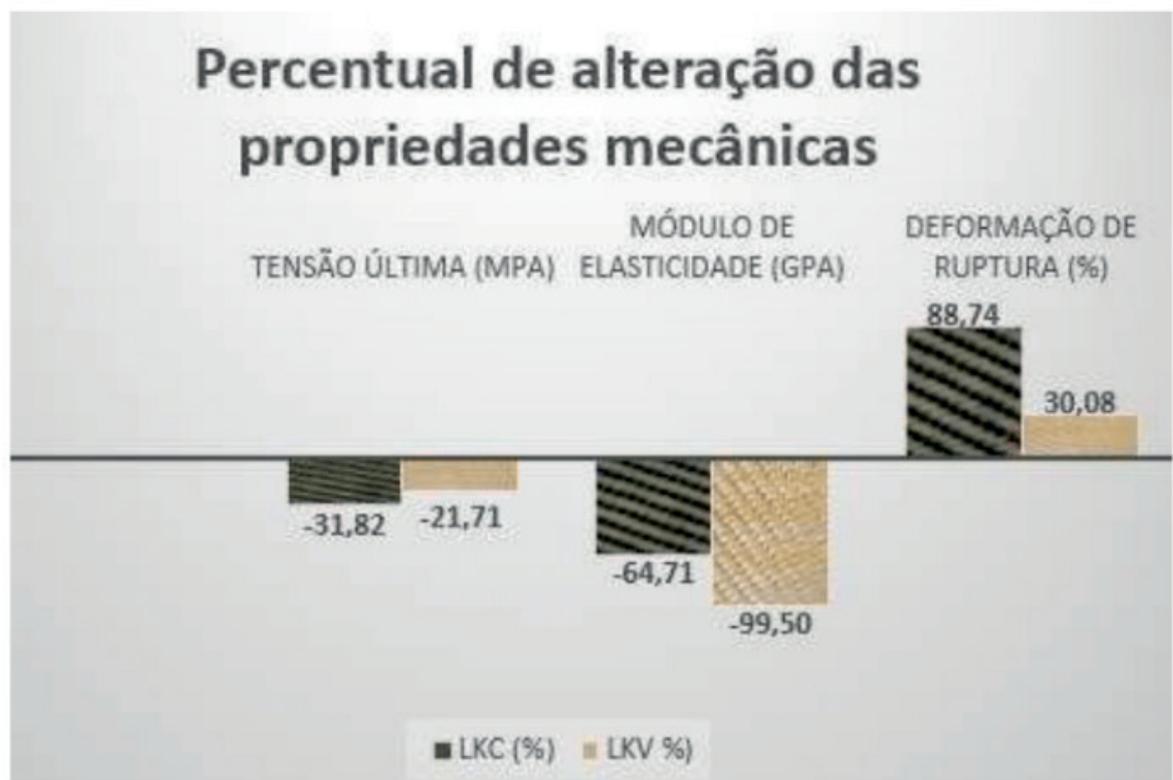


Figura 6 - Percentual de alteração das propriedades mecânicas após absorção

Entre os materiais, o LKC apresentou percentualmente maior perda em suas propriedades mecânicas em relação ao LKV.

3.3 Ensaio De Flexão Em Três Pontos

A Figura 7 mostra o diagrama Tensão x Deflexão, obtido no ensaio de flexão em três pontos.

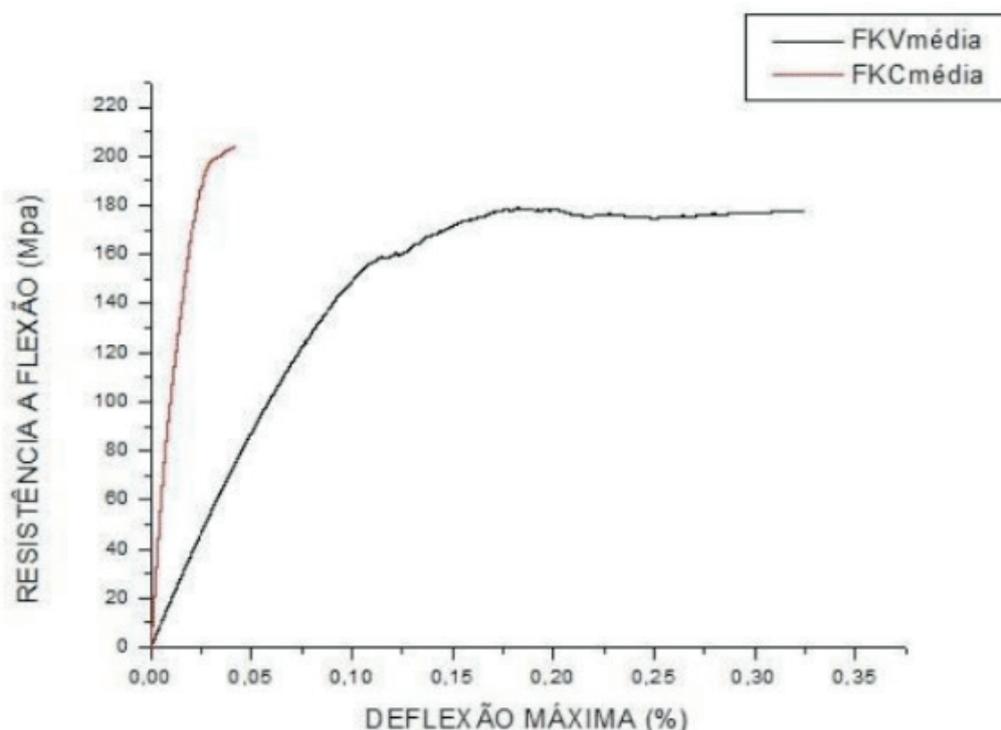


Figura 7 - Gráfico Resistência Flexão X Deflexão Máxima (Flexão em três pontos)

Os valores médios obtidos no ensaio para resistência à flexão, módulo de elasticidade à flexão e deflexão máxima com as respectivas dispersões são mostrados na tabela 2, bem como o percentual de mudança para os estados seco e úmido de cada composto.

PROPRIEDADES MECÂNICAS	LKC			LKV		
	Valores Médios		%	Valores Médios		%
	Seco	Úmido		Seco	Úmido	
Resistência a Flexão (MPa)	307	208	-32,25	249,49	189,5	-24,05
Módulo de Flexão (GPa)	15,89	5,59	-64,82	11,27	6,69	-40,64
Deformação Máxima (%)	2,03	0,04	-98,03	3,75	0,03	-99,20

Tabela 2 - Propriedades mecânicas (ensaio de flexão em três pontos)

Ambos apresentaram perda em suas propriedades mecânicas após absorção se comparado aos valores no estado seco. A diferença nas propriedades mecânicas do estado seco para o estado úmido de cada composto pode ser separadamente observada através dos gráficos quantitativos abaixo. Como mostra a figura 8, a

resistência a flexão dos dois laminados diminuiu.



Figura 8 - Resistência a flexão

Como pode ser visto na figura 9, houve queda no módulo de resistência a flexão para ambos os compósitos.

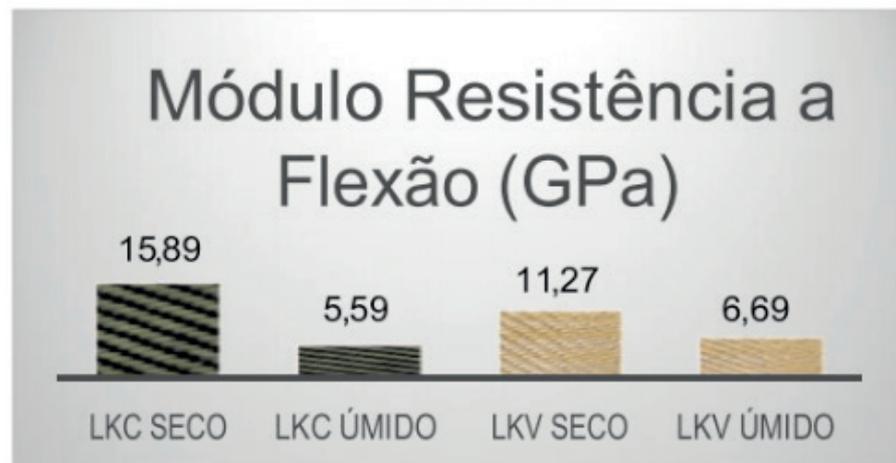


Figura 9 - Módulo de resistência a flexão

Os dois compósitos apresentaram diminuição de sua deflexão máxima, indicando perda de elasticidade, como mostrado na figura 10.



Figura 10 – Deformação máxima

Comparando os dois compósitos, o laminado LKC apresentou percentualmente maior alteração suas propriedades mecânicas de resistência a flexão e módulo de flexão em relação ao LKV. A deformação máxima de ambos se alterou proporcionalmente muito similares.



Figura 11 - Percentual de alteração das propriedades mecânicas após absorção

3.4 Caracterização de Fratura

A caracterização de fratura nos laminados compósitos foi realizada através das análises macroscópica e microscópica. A análise macroscópica foi feita com o objetivo de identificar o tipo de fratura final conforme a norma ASTM D3039 (2006), já a análise microscópica teve como objetivo identificar os tipos de danos originados em suas microestruturas através da microscopia ótica. A microscopia ótica foi realizada no sentido da a espessura dos corpos de prova para análise dos danos ocasionados após o ensaio de tração uniaxial. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) permite a observação desses danos muito mais detalhadamente.

3.4.1 Macroscopia

A característica da fratura final apresentada no LKV após o ensaio de Tração Uniaxial pode ser classificada como LGM (Lateral Gage Meddle), representada na figura 12.



Figura 12 - Macroscopia: fratura no corpo de prova do compósito Kevlar/Vidro (LKV)

A característica da fratura final ocorrida no LKC pode ser classificada como uma ruptura no sentido transversal das fibras de kevlar. Não ocorreu fratura total dos CP's LKV, mas para o LKC sim. A figura abaixo mostra o corpo de prova LKC rompido após a realização do ensaio.



Figura 13 - Macroscopia: fratura no corpo de prova do compósito Kevlar/Carbono (LKC)

3.4.2 Microscopia Ótica

A análise da figura 16 evidencia que os CP's LKV apresentam fenda intralaminar e transversais.



Figura 14 - Macroscopia ótica (200 μm) dos corpos de prova LKV

Para o LKC, as figuras obtidas mostram a presença de fratura coesiva da matriz, esgarçamento das fibras de Kevlar e ainda defeito gerado durante a laminação (bolhas)

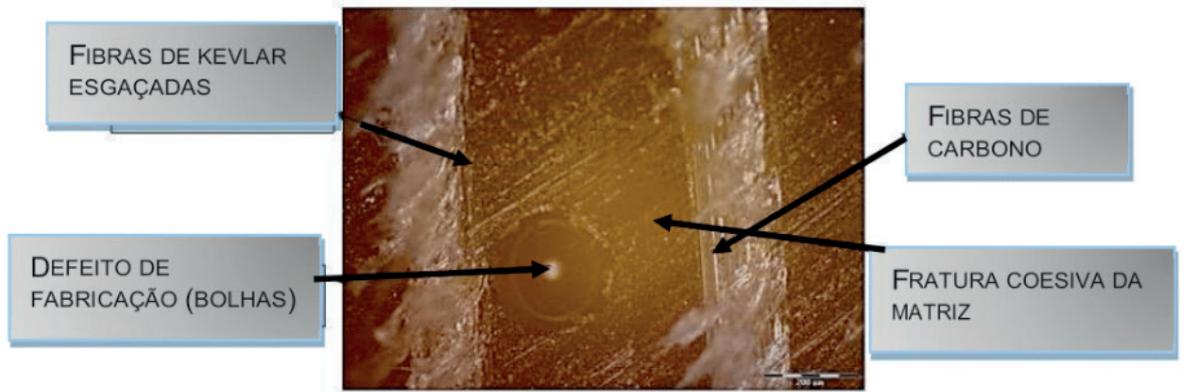


Figura 15 - Macroscopia ótica (200 μm) dos corpos de prova LKC

3.4.5 Microscópio de Varredura Eletrônica

Analisando a fratura pelo microscópio de varredura eletrônica podemos observar detalhadamente o esgarçamento das fibras de kevlar em ambos os compósitos. A figura 16 mostra a presença de fratura coesiva tanto na matriz polimérica como nas fibras de vidro do compósito LKV.

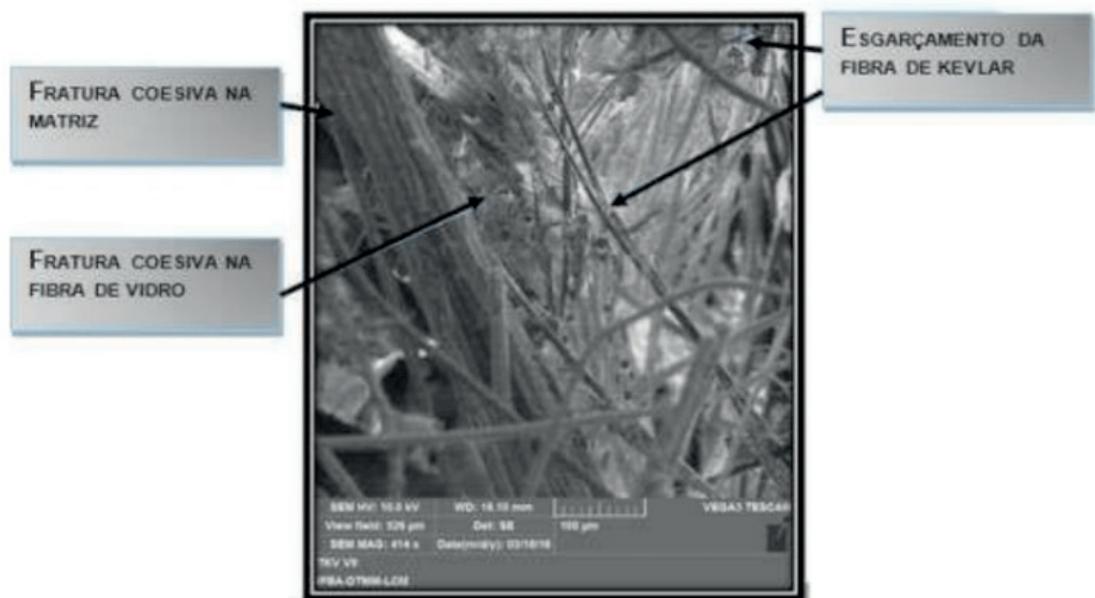


Figura 16 - Imagem do microscópio de varredura eletrônica (MEV) para o compósito LKV

Abaixo, pode-se observar fratura coesiva das fibras de carbono e esgarçamento ruptura das fibras de kevlar no laminado LKC, conforme figura 17.

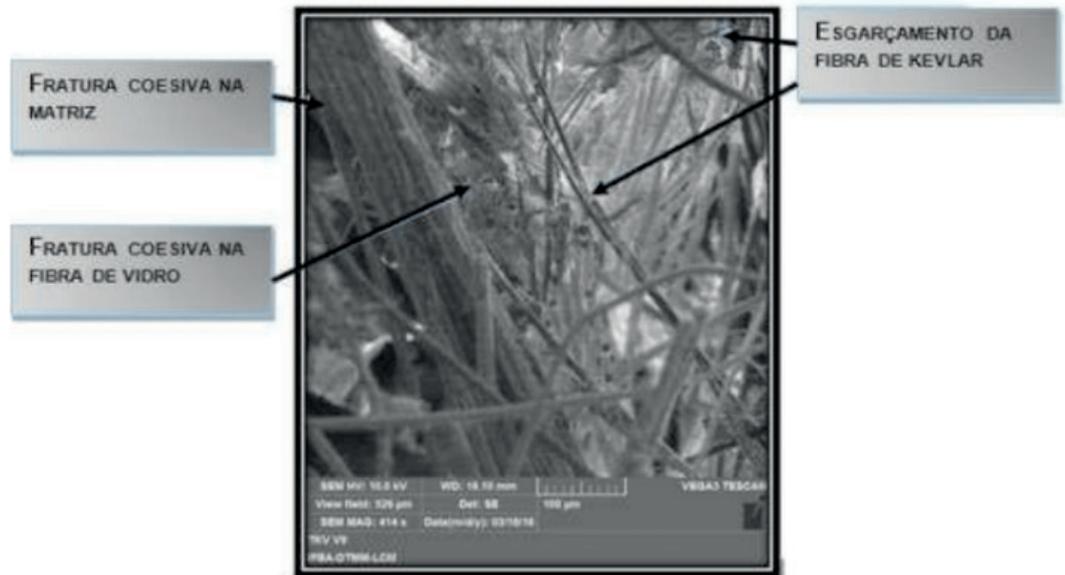


Figura 17 - Imagem do microscópio de varredura eletrônica (MEV) para o compósito LKC

4 | CONCLUSÕES

Apesar do comportamento similar das curvas nos ensaios de absorção, quantitativamente o laminado de Kevlar/Carbono (LKC) absorveu mais umidade que o kevlar/vidro (LKV). Isso era esperado devido à conhecida resistência a umidade e consequente baixa permeabilidade da fibra de vidro. Em decorrência disso, o compósito LKV apresentou de forma geral menor percentual de perda em suas propriedades mecânicas que o LKC. A deformação de ruptura aumentou, tendo a do LKC quase dobrado, mostrando que sob efeito da umidade os compósitos tendem a ganhar ductilidade. A queda no módulo de elasticidade dos laminados indica diminuição da rigidez. A respeito das propriedades de flexão, ambos os materiais apresentaram decréscimo da resistência e módulo de flexão, com alterações maiores para o LKC. Já a deflexão máxima para os dois compósitos sofreu alteração de valores bem próximos, o que indica que a umidade age sobre a elasticidade de ambos de maneira parecida. Pode-se concluir que a absorção de umidade tem efeitos diretos sobre as propriedades mecânicas dos materiais, e que estes são proporcionais a quantidade absorvida. Materiais mais permeáveis sofrerão alterações mais severas sobre suas características quando submetidos a umidade.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro do PRPGI/IFBA.

REFERÊNCIAS

ASTM D3878 – 07: **Standard Terminology for Composite Materials**, ASTM International, Philadelphia, 2007.

ASTM D3039M – 08: **Standard Test Methods for Tensile Properties of Polymer Matrix Composites**, ASTM International, Philadelphia, 2008.

JUNIOR, E. O. M. **influência da absorção de umidade nas propriedades mecânicas e da fratura em laminado compósito híbrido de kevlar-carbono, 2015**. Trabalho de conclusão curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador

LEÃO, M. A. - **Compósitos poliméricos a base de fibras de licuri: efeitos da hibridização e do envelhecimento ambiental acelerado, 2010**. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal

MIRANDA, P. M. **influência da absorção de umidade nas propriedades mecânicas e da fratura em laminado compósito híbrido de kevlar-vidro, 2015**. Trabalho de conclusão curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador

OLIVEIRA, J.F. S. **Plásticos Reforçados a Base De Tecidos Híbridos: Efeitos da Anisotropia e Geometria Normativa na Caracterização Mecânica e da Fratura**. 2013. Dissertação (Doutorado em Engenharia dos Materiais) - PPGCEM – UFRN, Natal

OTA, W.N. **Análise de Compósitos de Polipropileno e Fibras de Vidro Utilizados pela Indústria Automotiva Nacional**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba

SOBRE A ORGANIZADORA:

Marcia Regina Werner Schneider Abdala: Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui experiência na área de Educação a mais de 06 anos, atuando na área de gestão acadêmica como coordenadora de curso de Engenharia e Tecnologia. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se a atuação como professora de ensino superior atuando em várias áreas de graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Atuou como inspetora de Aviação Civil, nas áreas de infraestrutura aeroportuária e segurança operacional em uma instituição federal.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-85107-64-2

