

## COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM TECIDO HÍBRIDO DE KEVLAR-CARBONO: INFLUÊNCIA DA ABSORÇÃO DE UMIDADE NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Junior, E. O. M.<sup>1</sup>, Oliveira, J. F. de S.<sup>1</sup>, Miranda, T.P.<sup>1</sup>, Leão, M. A.<sup>1</sup>, Evangelista, R. P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Barbalho, Salvador, Bahia, Brasil

Endereço: Av. Visconde de Itaboray, Número 320, apartamento 404, Amaralina. CEP 41900-000, Salvador – Bahia. Email: eval\_oliveira@hotmail.com

### RESUMO

*Novos materiais com propriedades mecânicas que atendam às demandas modernas vêm sendo desenvolvidos, como os compósitos poliméricos. O crescente uso para aplicações práticas torna relevante o estudo dos mesmos sob condições que simulem o meio onde serão utilizados. Esse trabalho tem por objetivo estudar o comportamento de um compósito híbrido sob influência da umidade. Um compósito reforçado com fibras de carbono AS4 e kevlar 49 em conjunto com a matriz de resina epóxi éster vinílica foi desenvolvido. Os corpos de prova foram submersos em água destilada até atingir seu ponto de saturação (norma ASTM D 570-98). Os resultados dos ensaios (tração uniaxial e flexão em três pontos, seguindo as normas ASTM D3039– 08 e ASTM D 790 – 10) foram comparados aos existentes na literatura para o estado seco. As fraturas foram analisadas através de microscópio óptico e eletrônico de varredura.*

**Palavras Chave:** Plásticos Reforçados Híbridos. Mecânica de Fratura. Compósitos Poliméricos. Kevlar-carbono.

### INTRODUÇÃO

No contexto da necessidade de novos materiais, surgem os compósitos reforçados com tecidos híbridos de alto desempenho, também conhecidos como plásticos reforçados, que apresentam alto suporte de carga aliado à leveza, sendo indicado para utilização em elementos estruturais. As propriedades mecânicas inerentes às fibras sintéticas trazem benefícios às construções das mais variadas

formas, como por exemplo: coletes à prova de balas, capacetes de proteção, cascos de navios, entre outros. As propriedades mecânicas dos compósitos poliméricos reforçados com fibras dependem de diversos fatores, os que mais se destacam são: módulo elástico e resistência da fibra, estabilidade química da resina, resistência interfacial, diâmetro e comprimento das fibras, fração volumétrica e forma de distribuição das fibras na matriz (JOSEPH, 1996). Estudos mostram que os compósitos poliméricos absorvem umidade, fenômeno tolerável até limites ideais, dependendo do tipo de aplicação para o qual esse material venha a ser utilizado. Porém, ultrapassados esses limites, a absorção de umidade passa a ser um problema, pois pode comprometer a integridade estrutural dos compósitos, prejudicando sua aplicabilidade, não mantendo seu rendimento tão alto quanto se estivesse seco. Este trabalho teve como propósito de pesquisa investigar a interferência da umidade no desempenho mecânico desse plástico reforçado bem como nos seus mecanismos de fraturas. Para tanto foram desenvolvidos compósitos à base de tecidos híbridos envolvendo fibras de carbono AS4 e kevlar 49, com a matriz constituída pela resina epóxi éster vinílica (DERAKANE 411-350), denominado **LKC** que de acordo com o Éster Vinílica (2016), existem usos clássicos deste tipo de resina como na indústria de papel e celulose, tanques, tubulações, torres e dutos, entre outros, mas outros setores perceberam que estas resinas poderiam ter seu uso ampliado devido a suas qualidades. Todos os laminados compósitos foram constituídos com quatro camadas de reforços. Para os ensaios mecânicos e de absorção foram confeccionados 21 corpos de prova (sete para o ensaio de tração uniaxial, sete para o ensaio de flexão em três pontos e sete para o ensaio de absorção) que foram submersos em água destilada até atingir seu ponto de saturação. Os resultados dos ensaios mecânicos dos corpos de prova submetidos a ensaio de absorção de umidade foram comparados com os existentes na literatura para corpos de prova seco (OLIVEIRA, 2013). O ensaio de absorção foi construído obedecendo a norma ASTM D570-98, foram coletados os dados para a construção de um gráfico. As microscopias ótica e eletrônica de varredura foram utilizadas para análise da fratura.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para preparação dos corpos de prova foram seguidos os seguintes passos: 1) a placa do compósito foi cortada em um laboratório do IFBA utilizando uma máquina de corte marca Maquita com um disco adiantado; 2) os corpos de prova de tração uniaxial e flexão em três pontos foram lixados com lixas d'água e dois de cada conjunto polidos para posterior análise microscópica. As principais dimensões adotadas para os corpos de prova para os ensaios de absorção, tração uniaxial e flexão em três pontos encontram-se na tabela 1.

Tabela 1 – Dimensão do Compósito para os Ensaios de Absorção, Tração Uniaxial e de Flexão de Três Pontos.

Laminado	Ensaio	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura Média (mm)	Galgo (mm)
LKC	Absorção	76,2	25	2,12	-
	Tração Uniaxial	250	25	2,13	127
	Flexão de Três Pontos	56	25	2,12	34

O ensaio de absorção consistiu em submergir os corpos de prova em um recipiente plástico contendo 3 litros de água destilada a uma temperatura média de 20° C. Esses corpos de prova foram pesados em uma balança digital com quatro casas decimais antes de serem submergidos, seguindo a norma ASTM D 570-98. Foi feita a primeira pesagem (0 hora), em seguida foi imerso em água destilada e aferida sua massa em intervalos de tempos definidos: 12 horas, 24 horas, 2 dias, 3 dias, 4 dias, 5 dias, 6 dias, 1 semana, 2 semanas e partir de então foi pesado quinzenalmente. Com os dados coletados foi traçada a curva de absorção, observando a evolução do gráfico, percebeu-se que a taxa de saturação foi atingida quando foi observada a linearização do gráfico sentido abscissa. Esses corpos de prova continuaram imersos para posterior realização dos ensaios de tração uniaxial e flexão de três pontos, visando uma comparação entre suas propriedades já conhecidas de quando estavam secos.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Ensaio de absorção

Através da análise dos dados foi construído um gráfico de absorção x tempo que mostra claramente a evolução da absorção de umidade desse composto híbrido. Conforme previsto, houve uma inclinação acentuada nas primeiras 24 horas do ensaio, representando 51,47% do total de absorção desse composto. O laminado continuou absorvendo nos dias seguintes diminuindo naturalmente essa porcentagem. No 28º dia, acentuou a linearização da curva, quando foi observado que a curva tenderia a estagnar, o que de fato foi comprovado com a coleta dos dados subsequentes. No 98º dia foi encerrada a coleta de dados, pois o objetivo foi encontrado quando foi comprovado que o material já tinha atingido o percentual de absorção e comparação. O percentual de absorção de umidade obtido foi de 1,6%, conforme a figura 1.

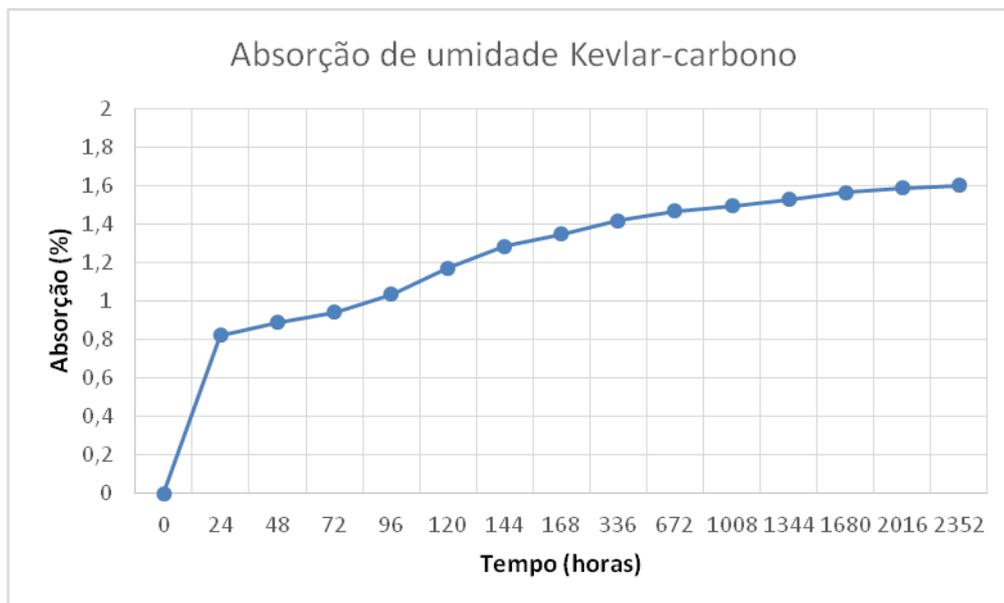


Figura 1 - Gráfico de absorção

### Ensaio de tração uniaxial

Para preservar o seu estado de saturação, os CP's saturados foram retirados da água destilada apenas no exato momento para a realização do ensaio de tração uniaxial. O ensaio foi realizado e os resultados encontram-se na figura 2 que mostra

o comportamento mecânico obtido caracterizado pelo perfil linear elástico em termos da relação Tensão x Deformação até a fratura final dos corpos de prova.

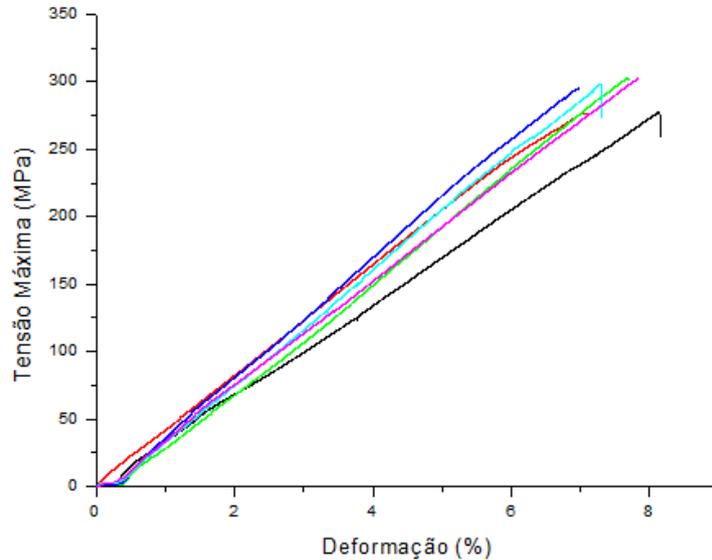


Figura 2 - Gráfico de Tensão x Deformação (Tração Uniaxial)

Analisando a Tabela 2 podemos perceber a influência da umidade nas propriedades mecânicas. A tensão última teve uma queda de 31,7%, já no módulo de elasticidade foi constatado um decréscimo de 64,71% e a deformação de ruptura sofreu um aumento de mais de 88,7%.

Tabela 2 - Comparativo das Propriedades Mecânicas Antes e Depois da Saturação – CP's LKC – Tração Uniaxial

Propriedades Mecânicas	Valores Médios		Desvio Padrão ( $\sigma$ )	
	Seco	Úmido	Seco*	Úmido
Tensão Última (MPa)	410,68	280	16,97	33,47
Módulo de Elasticidade (GPa)	17,06	6,02	15,30	0,78
Deformação de Ruptura (%)	3,02	5,7	18,87	1,00

\*Valores secos extraídos de Oliveira (2013).

As figuras 3, 4 e 5 mostram um comparativo de perdas de propriedades.

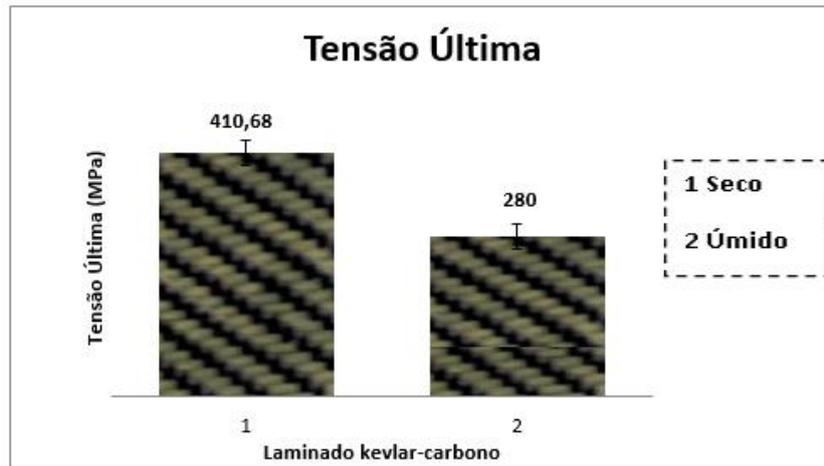


Figura 3 - Gráfico comparativo das perdas das propriedades – Tensão

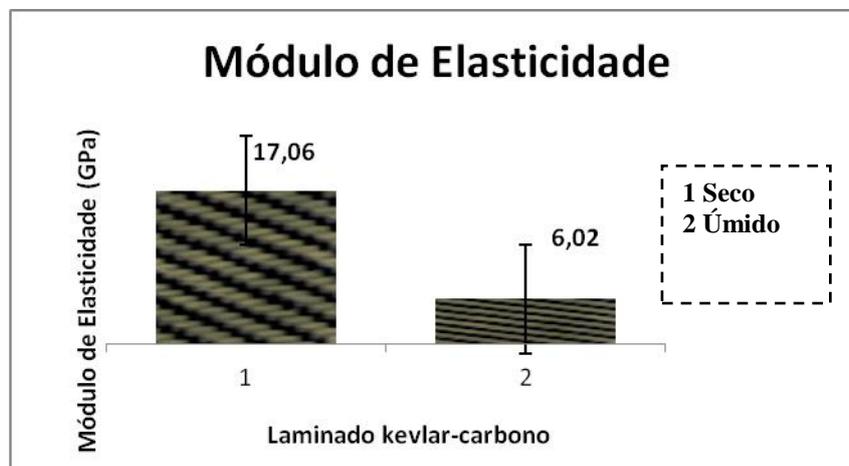


Figura 4 - Gráfico comparativo das perdas das propriedades – Módulo da Elasticidade

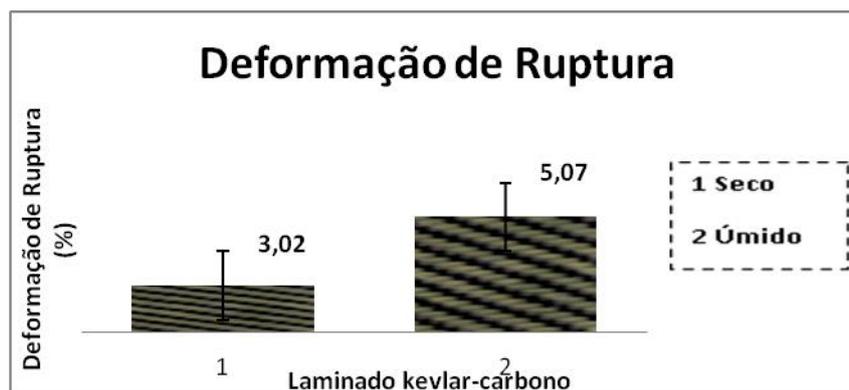


Figura 5 - Gráfico comparativo das perdas das propriedades – Deformação de ruptura

### Ensaio de flexão em três pontos

Nesta seção analisa-se a resposta mecânica do laminado compósito **LKC** levando em conta a influência da absorção da umidade nas propriedades dos

compósitos através dos ensaios realizados nos CP's. O gráfico abaixo mostra o perfil das curvas Tensão x Deflexão obtido pelos CP's através do ensaio de flexão de três pontos (Figura 6).

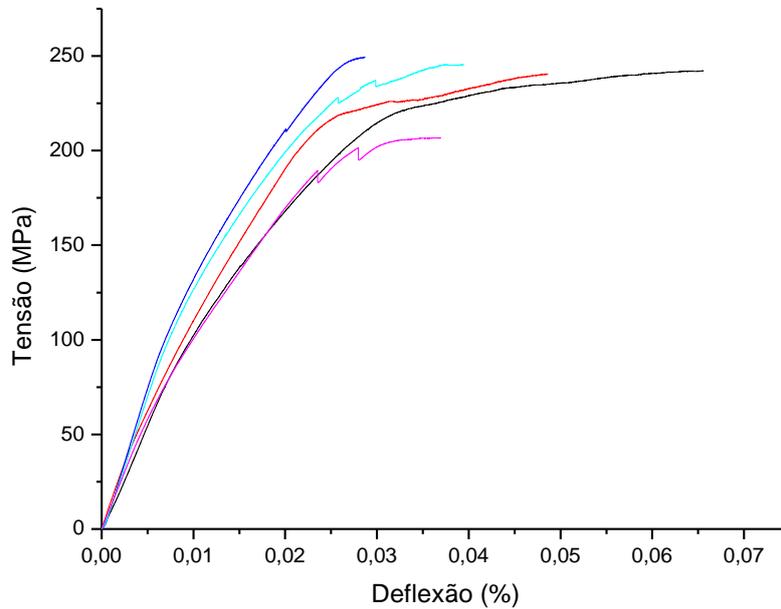


Figura 6 - Gráfico Tensão x Deflexão (Flexão)

Assim como na tração uniaxial, o comportamento entre a tração e a deflexão pode ser considerado linear elástico até a fratura final do material. Entretanto, diferentemente da tração, na flexão de três pontos já se observam as variações em suas curvas, quedas essas caracterizadas pelas fraturas ocorridas nas diferentes fibras, em diferentes intensidades de cargas durante o ensaio. Analisando a tabela com os valores das propriedades mecânicas de resistência à flexão, módulo de flexão e deflexão máxima, pode perceber que há uma redução de 22,84% na resistência à flexão. Também observamos uma queda considerável no módulo de flexão, chegando ao patamar de 47%, no entanto a deflexão máxima sofreu um decréscimo de 97,54%.



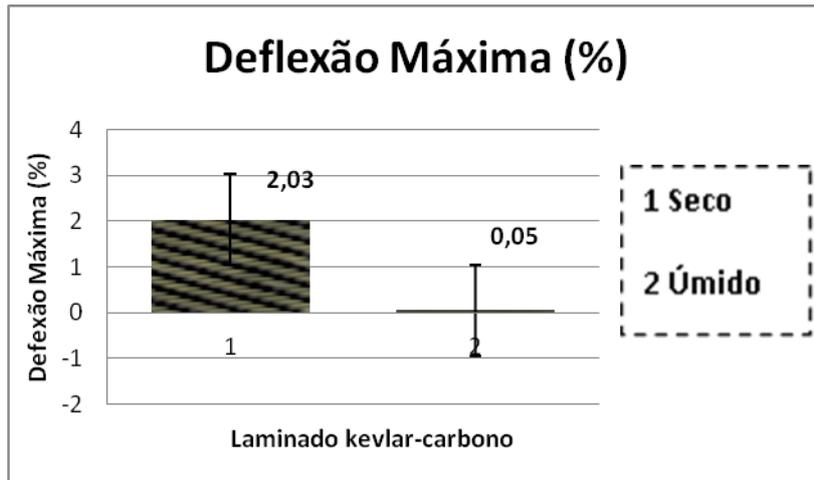


Figura 9 - Gráfico comparativo das perdas das propriedades – Deflexão Máxima

## CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios e análises realizados nos plásticos reforçados por fibras de kevlar/carbono após o ensaio de absorção e a comparação com o estado seco presente na literatura mostram empiricamente que a umidade interfere diretamente na integridade estrutural do material, modificando suas propriedades mecânicas. Foi percebido que no ensaio de tração uniaxial houve redução do valor quantitativo da tensão última. O módulo de elasticidade também diminuiu, o que indica diminuição da rigidez. No entanto, a deformação de ruptura teve significativo acréscimo em comparação com o material no estado seco, o que evidencia ganho na ductilidade. No ensaio de flexão em três pontos, foi constatada a redução da resistência à flexão, o decréscimo do módulo de elasticidade do material e também da deflexão máxima. Dessa forma, se pretendida a aplicação do compósito híbrido de kevlar/carbono, para o dimensionamento de estruturas mecânicas e o cálculo de resistência dos materiais deve ser levado em consideração a presença da umidade, já que ela influencia consideravelmente as propriedades mecânicas do material.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ASTM. ASTM D3878-07: Standard Terminology for Composite Materials. Philadelphia: ASTM International, 2007.
- (2) ÉSTER VINÍLICA. Disponível em <<http://www.estervinilica.com.br/>> Acesso em 02 de Agosto de 2016.
- (3) JOSEPH, K. THOMAS, S. Effect of Chemical Treatment on Tensile Properties of Short Sisal Fiber-Reinforced Polyethylene Composites. Polymer, v.37, n.23, p.5139-5149, nov. 1996.
- (4) OLIVEIRA, J. F. de S. Plásticos reforçados a base de tecidos híbridos: efeitos da anisotropia e geometria normativa na caracterização mecânica e da fratura. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). X p. Departamento de X da Universidade Federal do Rio Grande do Norte: Natal, 2013.

## **POLYMER COMPOSITES REINFORCED WITH HYBRID KEVLAR-CARBON FABRIC: INFLUENCE OF HUMIDITY ABSORPTION ON MECHANICAL PROPERTIES**

### **ABSTRACT**

*To make this investigation FRP were manufactured using hybrid fabrics made of AS4 carbon fiber and Kevlar 49 as reinforcement and epoxy ester vinyl resin (DERAKANE 411-350) as matrix. Every laminate was built with four reinforcement layers. 21 specimens were made to perform mechanical and absorption tests (seven for tensile tests, seven for three-point bending tests and seven for absorption tests). The specimens were submerged in distilled water until their full saturation. The results of mechanical tests obtained with the specimens submitted to absorption tests were compared to results found in the literature for dry specimens. Fracture analysis was made using scanning electron microscopy. Graphics show the percentage of moisture absorption by the specimens. Tests results registered show that the composite mechanical properties decreased with moisture absorption.*

**Keywords:** Hybrid fiber reinforced plastics, Fracture mechanics, Polymer composites, Kevlar-carbon fibers.