

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM COMPÓSITO POLIMÉRICO FORMADO POR MATRIZ EPOXÍDICA REFORÇADA COM FIBRAS DE PITEIRA (AGAVE AMERICANA) ¹

*Leandro José da Silva¹
Vânia Regina Velloso Silva²
Alex Sander Chaves da Silva³*

Resumo: Os compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras vegetais surgiram na última década com um grande potencial de aplicação na área de engenharia dos materiais, constituindo na atualidade, uma das maiores áreas de interesse na pesquisa de materiais compósitos. O presente trabalho visa estudar o comportamento mecânico de um compósito moldado com número variável de camadas de fibras vegetais. Confeccionaram-se amostras por moldagem manual, utilizando-se como matriz resina epóxi e como reforço tecidos bidirecionais de fibras da Agave Americana (pita ou piteira). Foram produzidos compósitos com 01, 02 e 03 camadas de tecido, sendo preparados corpos de prova com forma e dimensões propostas pela norma ASTM D 638 – 96, que trata da determinação de propriedades de tração, para materiais plásticos reforçados e não reforçados. Todos os compósitos apresentaram resistência à tração menor que a resina epóxi quando testada sem reforço. O melhor resultado entre os compósitos foi obtido com o material moldado com 03 camadas de tecido de fibras, havendo um ligeiro acréscimo do módulo de elasticidade para esse material em relação à matriz epóxi. Todos os compósitos apresentaram menor alongamento na ruptura. Foi verificada uma tendência de melhoria das propriedades mecânicas com o uso de tecidos mais finos e com o aumento do número de camadas de fibras no compósito. Essa tendência se deve ao fato do aumento da molhabilidade das fibras aumentando a transferência de esforço, e conseqüentemente, aumentando o desempenho do reforço.

Palavras-chave: Polímeros, Fibras Vegetais, Compósitos.

1 - Introdução

Compósitos formados por matrizes poliméricas e fibras vegetais constituem, na atualidade, uma das maiores áreas de interesse na pesquisa de materiais compósitos. Este interesse surgiu com mais intensidade no início da década de 90 devido às exigências das autoridades legislativas quanto ao uso e destino final de fibras sintéticas e resinas derivadas do petróleo e à maior conscientização dos consumidores, da necessidade de preservação do ambiente e de fontes naturais (Silva, 2003).

As fibras vegetais têm sido estudadas ao longo de décadas, no que se refere à sua constituição, propriedades mecânicas e aos seus possíveis usos. Foram muito utilizadas durante um grande período de tempo, deixando de ter grande uso com o surgimento de novas tecnologias. Entretanto, recentemente, tem-se buscado retomar o uso de técnicas consagradas e, também, desenvolver novos compósitos utilizando recursos naturais renováveis, com grande incremento no uso das fibras naturais de celulose, de coco, de sisal, de linho, de rami, de juta e de cânhamo, entre outras (Passos, 2005).

Até o presente, quase todo o desenvolvimento de materiais compósitos teve como objetivo as aplicações estruturais. Devido à sua complexa microestrutura, estes materiais são de difícil caracterização. Na avaliação das propriedades mecânicas deve-se levar em conta a complexidade da interação mecânica entre o reforço e a matriz. As propriedades mecânicas de maior interesse são: resistência à tração, compressão, flexão, impacto, fadiga, e abrasão, além do módulo de elasticidade em tração e flexão, dureza e tenacidade à fratura (Silva, 2003).

No ensaio de tração são determinadas as propriedades de resistência à tração uniaxial, módulo de elasticidade, alongamento e coeficiente de Poisson. A resistência à tração é avaliada pela carga aplicada ao material por unidade de área, no momento de ruptura. O alongamento representa o aumento percentual do comprimento da peça sob tração, no momento de ruptura. O módulo de elasticidade é medido pela razão entre a tensão e a deformação, dentro do regime elástico, onde a deformação é totalmente reversível e proporcional à tensão. O coeficiente de Poisson é definido como a razão negativa entre a deformação transversal e a correspondente deformação longitudinal de um corpo de prova sob tensão uniaxial, abaixo do limite de proporcionalidade do material. As normas ASTM D638 e D3039 descrevem o ensaio de tração. A norma ASTM D638 é mais abrangente enquanto que a norma ASTM D3039 é indicada para compósitos laminados reforçados com fibras de alto módulo.

No ensaio de flexão as propriedades de interesse são a resistência à flexão e o módulo de elasticidade em flexão. As configurações de carregamento podem ser flexão em três pontos e flexão em quatro pontos. A resistência à flexão representa a tensão máxima desenvolvida nas fibras externas de uma barra sujeita a dobramento, no momento da quebra. O módulo de elasticidade em flexão é determinado tal como em um ensaio de tração: a razão, dentro do regime elástico, entre a tensão e a deformação. O ensaio de flexão aplica-se a materiais rígidos e é descrito pela norma ASTM D790.

A fase dispersa ou reforço tem uma função estrutural e é a responsável pela resistência do compósito. A geometria do reforço é um dos principais parâmetros a ser considerado, visto que as propriedades mecânicas destes materiais dependem da forma e das dimensões do reforço. De acordo com as características do reforço os materiais compósitos podem ser classificados em compósitos particulados com

orientação preferencial ou aleatória, e compósitos fibrosos podendo ser constituídos por uma única camada ou por várias camadas de fibras. Estes últimos são chamados de laminados quando as camadas são constituídas pelo mesmo material.

Este trabalho tem por objetivo o estudo das propriedades mecânicas de um material compósito formado por matriz polimérica reforçada por fibra vegetal, investigando a influência do número de camadas de fibras no comportamento mecânico do compósito.

2 - Materiais e métodos

2.1 - Materiais

Foi estudado um compósito polimérico reforçado com tecidos bidirecionais de fibra da Agave Americana, planta conhecida vulgarmente como Pita ou Piteira. A figura abaixo mostra a Agave Americana.



Figura 1: Agave Americana

As fibras foram retiradas da planta por um processo manual. As folhas da piteira foram mantidas imersas em água durante um período de 15 a 20 dias. Após esse período, a seiva que envolve as fibras foi extraída obtendo-se os fios.

Os laminados foram confeccionados com 01, 02 e 03 camadas de tecido das fibras com uma camada de fibra orientada a 90° em relação à outra. Foram utilizados fios de fibras de diferentes espessuras para a confecção dos tecidos, a fim de se obter compósitos com frações volumétricas de fibras aproximadamente iguais. A figura 2 mostra o aspecto de um tecido utilizado para a montagem do compósito com 04 camadas de fibras.

A matriz utilizada foi a resina epóxi Araldite LY - 1553 e o Catalisador HY 956, misturados em uma proporção de 5/1, ou seja, para cada 05 partes em peso de resina é necessária uma parte de catalisador.

2.2 - Métodos

2.2.1 - Confeção das amostras

Há na literatura diversas formas de processamento de materiais compósitos reforçados por fibras. Elas vão desde técnicas manuais como é o caso de Hand Lay-Up passando por técnicas completamente automatizadas até chegar a técnicas que utilizam plasma.



Figura 2: Tecido de fibras de agave americana.

Para o presente trabalho, o processo de Hand Lay-Up (moldagem manual) mostrou-se bastante adequado por não requerer equipamentos complexos, diminuindo o custo de fabricação das amostras. Além disso, segundo a literatura esse processo é o mais indicado para testes em laboratórios e coletas de dados.

Para o processamento das amostras dos compósitos na espessura desejada (2,8 a 3,6 mm, conforme a norma ASTM D 638) seguindo a técnica descrita acima, foi utilizado um molde. Para a obtenção deste, foram utilizadas duas placas de vidro de 04 mm de espessura para confeccionar o fundo e a tampa, e tiras retangulares com espessura de 03 mm, para as paredes laterais, coladas sobre o fundo.

Aplicou-se uma camada de vaselina sólida sobre o molde servindo como elemento desmoldante. A seguir foi colocado o tecido e a resina de forma alternada e espalhando-se a resina de forma uniforme, até completar o número de camadas desejado.

O sistema permaneceu em temperatura ambiente, por no mínimo 24 horas, para então ser desmoldado. Após a etapa de desmoldagem, foi feita a pesagem e medição das dimensões da placa obtida, calculando-se seu volume. Esses valores refletiram o quanto de matriz e fibra estão presentes no compósito, podendo-se estimar suas frações volumétricas.

2.2.2 - Caracterização do material

Corpos de prova tanto dos compósitos quanto da resina sem reforço, foram preparados para a realização de ensaios de tração. A norma técnica utilizada para a realização dos ensaios foi a ASTM D 638 – 96. A figura 3 mostra o aspecto dos corpos de prova para ensaio de tração dos compósitos.

Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina de ensaios Emic DL2000 com célula de carga de 500 kgf, utilizando o programa Tesc versão 3.01. A velocidade de ensaio foi de 05 mm/min e o valor de L0 (comprimento inicial), para medida do alongamento total do corpo de prova no ensaio, foi 50 mm.



Figura 3: Compósito de fibra de Pita.

No ensaio de tração foram ensaiados um total de 08 corpos de prova de ambos os materiais compósitos, e treze da resina epóxi. A figura abaixo mostra um corpo de prova sendo ensaiado à tração.



Figura 4: Corpo de prova submetido a ensaio de tração.

3 - Resultados

As principais características geométricas dos materiais e os valores médios com os respectivos desvios padrão das propriedades mecânicas obtidas nos ensaios de tração, podem ser observados nas tabelas 01.

A figura 5 mostra a curva (força x deformação) dos compósitos moldados com 03 camadas de tecido, obtida no ensaio de tração.

4 - Análises dos Resultados

Ambos os compósitos apresentaram densidade menores que a resina epóxi, mostrando uma das principais vantagens das fibras vegetais, quando incorporadas a materiais poliméricos para formação de compósitos, a desmaterialização. O compósito de melhor adequação a essa tendência foi o formado por três camadas de tecidos de pita.

Tabela 01: propriedades dos materiais

Propriedades	Resina epóxi	Características geométricas do compósito			
		02 camadas	04 camadas	06 camadas	04 camadas transversais
Fração Vol. (%)	-	29,28	28,02	26,64	30,84
Densidade [g/cm ³]	1,154	1,03	1,045	1,02	1,054
Nº de corpos de prova válidos	07	05	05	07	04
Tensão de Ruptura [MPa]	48,38 ± 9,678	30,86 ± 1,597	35,57 ± 2,699	38,43 ± 4,201	18,58 ± 5,555
Mód. Elasticidade [MPa]	620,1 ± 30,18	537,5 ± 31,46	556,3 ± 22,18	632,4 ± 32,41	402,9 ± 105,5
Deformação	0,10016 ± 0,0207	0,07994 ± 0,00878	0,0878 ± 0,00869	0,08392 ± 0,0112	0,07232 ± 0,0193

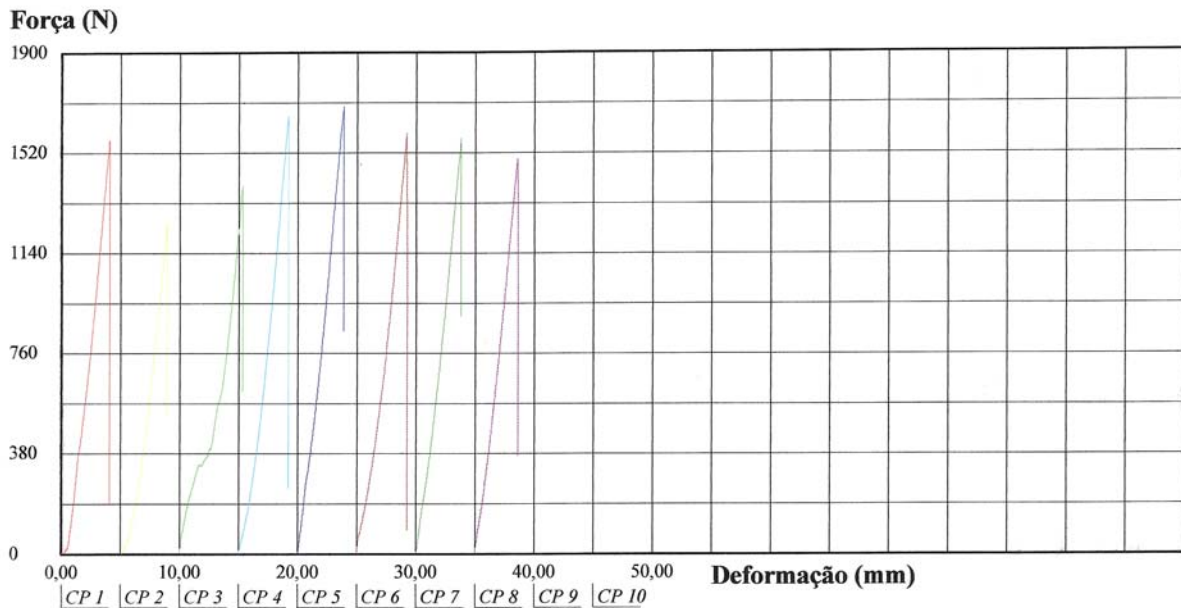


Figura 5: Curva Força x Deformação para o compósito com 06 camadas de fibras

Devido às limitações do processo de moldagem empregado e também à falta de dados sobre as densidades das fibras utilizadas, não foi possível a confecção de todos os compósitos com as mesmas frações de fibras. No entanto, como a variação é pequena, admite-se poder fazer comparações diretas entre as diferentes geometrias empregadas nos compósitos.

A figura 6 mostra o comportamento dos compósitos quanto à resistência à tração, sendo o valor de resistência da resina estabelecido como referência para as análises.

Com o emprego de tecidos com menor quantidade de fibra por fio, foi possível diminuir a quantidade de fibras na direção transversal do laminado e aumentar a quantidade de fibras na direção principal. Dessa forma aproximou-se mais da condição de reforço unidirecional, onde o máximo de eficiência do reforço é alcançado, conforme demonstrado em Silva (2003). Essa é uma das razões que explicam o melhor desempenho do compósito moldado com 06 camadas de fibras de Pita. Uma outra justificativa para esse melhor desempenho é o fato de com camadas mais finas, a molhabilidade das fibras pela resina aumenta. Com isso há uma maior transmissão de esforço para as fibras aumentando, conseqüentemente, o desempenho da fibra.

O compósito moldado apenas com um tecido foi o que apresentou menor tensão de ruptura como pode ser visto na figura 6. No entanto, é o que possui melhores condições de isotropia, uma que o tecido utilizado tem a mesma quantidade de fibras em ambas as direções principais no plano do laminado. Já os compósitos que foram moldados com 04 e 06 camadas de fibras são mais anisotrópicos, ou seja, o material quando testado na direção perpendicular à de maior quantidade de fibras apresenta menor resistência. Tal fato pode ser observado pela menor resistência do compósito com 04 camadas de fibras, ver figura 6, quando testado na direção transversal, ou seja, na direção de menor quantidade de fibras.

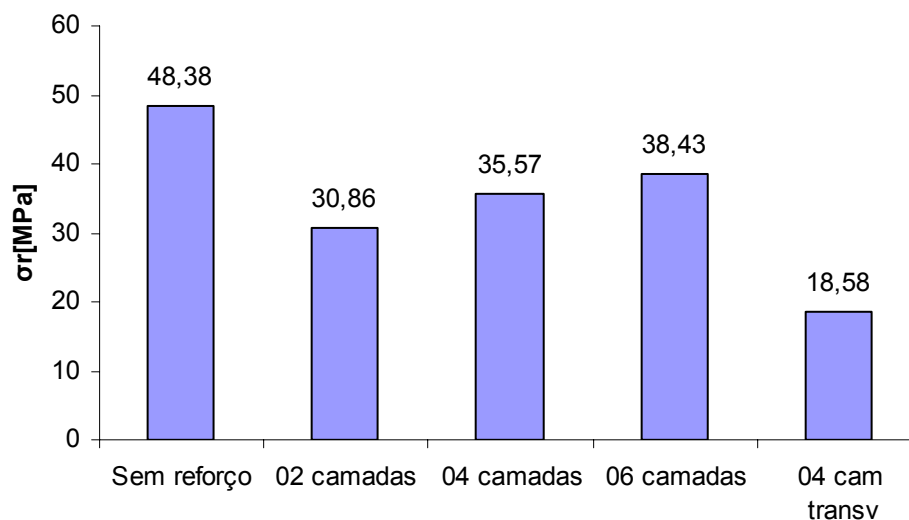


Figura 6: Tensão de ruptura x geometria dos compósitos

Em relação ao módulo de elasticidade, conforme pode ser visto na figura 7, houve um melhor comportamento dos compósitos, comparativamente ao da resina epóxi. O compósito com 06 camadas de fibra de pita apresentou módulo ligeiramente superior ao apresentado pela resina.

O melhor comportamento do módulo de elasticidade dos compósitos deve-se ao efeito de reforçamento das fibras, em outras palavras, um material de maior módulo, as fibras, substitui o de menor módulo, a matriz. Assim, pode-se dizer que com relação ao módulo de elasticidade, as fibras de Pita, dependendo da geometria e da condição de tratamento, podem atuar efetivamente como reforçamento para o compósito.

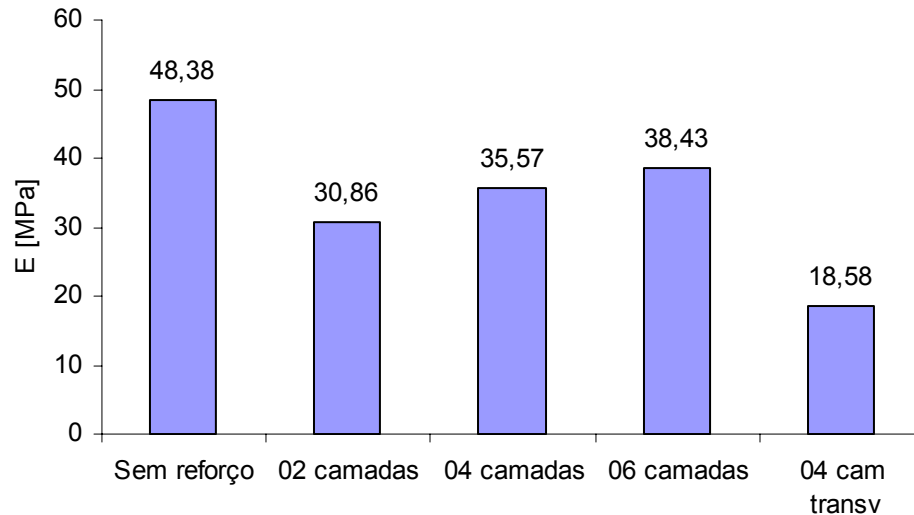


Figura 7: Módulo de elasticidade em função da geometria dos materiais.

Em relação à deformação foi observado que ambos os compósitos romperam com níveis de deformação menores ao apresentado pela resina quando testada sem reforço. Em relação ao número de camadas pode ser observado que o valor de deformação aumentou ao passar de 02 para 04 camadas de fibras no compósito, e posteriormente diminuiu para o moldado com 06 camadas.

Não foi possível, no ensaio de tração, fazer a determinação do coeficiente de Poisson, uma vez que a máquina não estava equipada com equipamentos que permitem a medição das deformações necessárias para o cálculo dessa propriedade. Conseqüentemente, não se pôde estimar o módulo do cisalhamento do compósito.

5 - Conclusão

A geometria dos reforços utilizada não se mostrou eficiente, pois apesar da diminuição de massa com a incorporação das fibras à resina epóxi, houve redução das propriedades mecânicas em maior proporção, caracterizando-se, assim, perdas de características mecânicas do material.

O compósito com 03 camadas de tecidos de fibras apresentou o melhor desempenho entre os compósitos testados, verificando-se uma tendência de melhoria das propriedades mecânicas na medida em que o número de camadas de fibras no compósito aumenta.

À medida que se utiliza maior quantidade de fibras na direção do carregamento o comportamento mecânico do compósito melhora. No entanto, na outra direção há uma redução das características mecânicas devido um menor número de fibras alinhadas nessa direção.

Um tratamento químico nas fibras pode ser proposto com o objetivo de melhorar a adesão das fibras pela matriz melhorando, dessa forma, o desempenho do compósito. Testes com reforço unidirecional, também podem ser feitos com o objetivo de melhorar o comportamento do compósito pita/epóxi e obter um material com propriedades mais satisfatórias.

6 - Agradecimentos

À FAPEMIG, pelo financiamento da pesquisa;
Aos colegas que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

7 - Referências Bibliográficas

- American Society for Testing and Materials. (1996). Standard Test Methods for Tensile Properties Plastics. ASTM D638-96.
- American Society for Testing and Materials. (2003). Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM D790-03.
- Passos, P. R. A. Destinação sustentável de cascas de coco (cocos nucifera) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- Silva, R. V. Compósito de resina poliuretana derivada de óleo de mamona e fibras vegetais. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

8 - Abstract

The present work seeks to study the mechanical behavior of a molded composite with variable number of vegetable fiber's layers. Samples were made by manual molding, being used as matrix epoxy resin and as reinforcement woven bi-directional of American Agave's fibers. Composites were produced with 01, 02 and 03 fabric layers, being prepared test specimens with form and dimensions proposed by the standard test method ASTM D 638 - 96, which treat of the determination of tensile properties for unreinforced and reinforced plastic. All composites presented smaller traction resistance than the epoxy resin when tested without reinforcement. The best result among the composites was obtained with the molded material with 03 layers of fabric of fibers, having a quick increment of the modulus of elasticity for that material in relation to the epoxy matrix. All composites presented smaller prolongation in the rupture. A tendency of improvement of the mechanical properties was verified with the use of finer woven and with the increase of the number of fiber's layers in the composite. That tendency is due to the fact of the increase of the adhesion between the fibers and the resin increasing the transfer of force, and consequently, increasing the acting of the reinforcement.

Key-words: Polymers, Vegetable Fibers, Composites.