

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS VERDES DE FIBRAS DE JUTA UTILIZANDO EXTENSOMETRIA E CORRELAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS

Mateus Fortes Carvalho, mateus14fortes@gmail.com¹
Mário Américo Xavier, marioamerico92@hotmail.com¹
José Alan Focinha Raiol, alan_rayol@hotmail.com¹
João Carlos Fonseca Valente, joaocarlosfv11@gmail.com¹
Leonardo Dantas Rodrigues, leodr@ufpa.br¹

¹Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá. CEP 66075-110,

Resumo: Por questões de sustentabilidade, pesquisadores do mundo inteiro vêm buscando novas alternativas à essas fibras sintéticas em fibras vegetais, dando origem aos green composites (do inglês: compósitos verdes). A região amazônica possui uma grande diversidade natural, cujo potencial ainda não é devidamente aproveitado, a sua flora, por exemplo, dispõe de muitas espécies que podem servir à população de alguma forma. Algumas espécies comuns na região amazônica possibilitam a extração fibras celulósicas com boas propriedades mecânicas, alguns exemplos dessas fibras são a juta, a malva, o sisal e a piaçava. Neste trabalho será feita uma análise linear elástica das matrizes poliméricas reforçadas com fibras juta, fibra que tem suas propriedades mecânicas já atestadas por estudos anteriores. Apesar de já terem sido realizados inúmeros ensaios com fibra de juta, cada compósito fabricado deve ser ensaiado a fim de que suas propriedades sejam devidamente obtidas, pois suas características mecânicas vão depender de vários fatores: tipo de fibra, do tipo de arranjo (mantas, tecidos, filamentos alinhados e filamentos distribuídos de forma aleatória), da matriz e também da metodologia de laminação. O presente trabalho apresenta a avaliação das propriedades mecânicas de diversos compósitos fabricados a partir de fibras de juta. Foram usados diferentes tipos de tecido e diferentes tipos de resina. Os espécimes foram submetidos a ensaios de tração instrumentados com extensometria, segundo a norma ASTM D3039, com os quais foram obtidas propriedades como o módulo de elasticidade à tração e coeficiente de Poisson. E também foram produzidos espécimes para serem submetidos a ensaios de flexão em três pontos, com base na norma ASTM D-2344, utilizando a técnica DIC. Esta técnica, por ser de campo global, permitiu a definição dos módulos de elasticidade à tração e à compressão, do coeficiente de Poisson e ainda do módulo de cisalhamento.

Palavras-chave: Green composites, Propriedades mecânicas, Fibras naturais

1. INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos vêm sendo utilizados há décadas pela indústria, tanto como reforço estrutural quanto na produção de componentes. Devido ao seu baixo peso e a sua boa conformabilidade, esses materiais são bastante utilizados pela indústria aeronáutica, possibilitando estruturas aerodinâmicas leves e resistentes. Esses materiais são o resultado de uma matriz (polimérica, cerâmica ou metálica) reforçada por fibras. As fibras mais utilizadas na indústria para reforço de matrizes poliméricas são as fibras de vidro e de carbono, ambas feitas de material sintético não renovável. Nos últimos anos, com o aumento das preocupações ambientais, surgiu uma nova linha de pesquisa para materiais compósitos, que visa a utilização de fibras vegetais em substituição às sintéticas, estes materiais são mundialmente chamados de *Green Composites* (do inglês: compósitos verdes). Estudos apontam que algumas dessas fibras vegetais podem ter resistências próximas às das fibras de vidro, por exemplo, o que as habilita para aplicações estruturais.

A região amazônica, em termos de recursos naturais, possui um enorme potencial que ainda não foi devidamente aproveitado. Um bom exemplo desse potencial que precisa ser melhor aproveitado é o fato de a flora da região disponibilizar uma grande quantidade de plantas das quais é possível extrair fibras celulósicas, como a juta, malva e o sisal, por exemplo. Essas fibras são utilizadas principalmente na indústria têxtil para a fabricação de tecidos, mas estudos recentes têm mostrado que essas fibras têm boas propriedades mecânicas e podem ser utilizadas na fabricação

de materiais compósitos estruturais. Algumas das fibras utilizadas na produção de compósitos verdes podem ser vistas na Fig. 1.

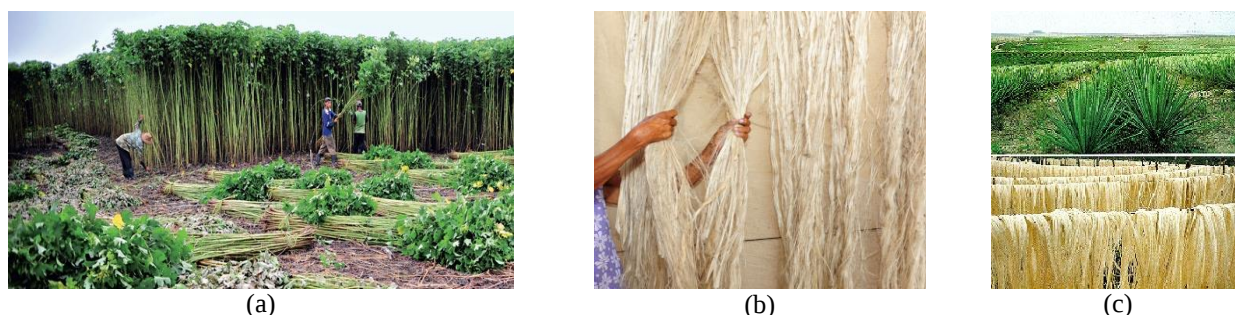


Figura 1. Fibras encontradas em abundância na região amazônica: (a) juta; (b) malva; e (c) sisal.

Compósitos verdes foram desenvolvidos como alternativa sustentável aos materiais à base de fibras sintéticas. Os compósitos verdes são geralmente produzidos por meio de resinas poliméricas termofixas termoplásticas reforçados por fibras naturais. Os polímeros termoplásticos de recursos naturais estão comercialmente disponíveis, enquanto que as resinas termofixas são predominantemente produzidas a partir de petróleo. Fibras de celulose têm uma importância significativa e potencial para reforçar polímeros em compósitos de baixo peso. (Dicker, 2014)

A região amazônica possui uma enorme diversidade de vegetação fibrosa como, por exemplo, a juta, o sisal, a palma e malva. Essas fibras são mais utilizadas principalmente na indústria têxtil. Entretanto, estudos recentes têm mostrado que algumas dessas fibras têm boas propriedades mecânicas, justificando o seu uso para propósitos estruturais. (Dittenber, 2012; Koronis, 2013; La Mantia, 2011; Medina, 1959)

Por cerca de nove anos, o laboratório de materiais compósitos da UFPA tem realizado ensaios de caracterização de muitas fibras encontradas em abundância na região amazônica. Alguns trabalhos incluem a produção de compósitos feitos de resinas poliméricas reforçadas por fibras naturais como bambu, sisal, juta e malva (Carvalho, 2014), os aspectos de fratura (Kuwahara, 2013) e a viabilidade de sua aplicação em alguns setores, como arquitetura (Neto, 2010) e a substituição de ligas metálicas em aviação (Barros, 2014). A Tabela 1 mostra algumas propriedades das principais fibras naturais estudadas.

Tabela 1. Propriedades de algumas fibras naturais. (Ashby, 2012)

Fibra	Massa específica (kg/m ³)	Módulo de elasticidade (GPa)	Limite de resistência à tração (MPa)
Juta	1440–1520	35–60	400–860
Sisal	1400–1450	10–25	550–790
Cairo	1150–1220	4–6	135–240
Algodão	1520–1560	7–12	350–800
Linho	1420–1520	75–90	750–940
Rami	1450–1550	38–44	500–680
Bambu	600–1100	11–32	140–800

2. MATERIAIS UTILIZADOS

A presente investigação tem como objetivo a avaliação linear elástica das propriedades mecânicas da matriz polimérica epóxica reforçada com tecido de fibra de juta unidirecional e matriz polimérica de poliéster reforçada com tecido de fibra de juta bidirecional.

As avaliações foram conduzidas por meio de ensaios de tração monitorados por extensometria e também ensaios de flexão em três pontos utilizando-se a técnica de correlação digital de imagens (*Digital Image Correlation* - DIC). Para os ensaios realizados, foram produzidos diferentes espécimes no que diz respeito à direção do tecido de fibra de juta e número de camadas do mesmo.

Nos ensaios de tração, utilizou-se matriz polimérica de epóxi reforçada com tecido unidirecional de juta na direção longitudinal do corpo de prova (EP-DL), matriz de epóxi reforçada com tecido unidirecional de juta na direção transversal do corpo de prova (EP-DT) e matriz de poliéster reforçada com tecido bidirecional de juta (PO-BD). Todos os espécimes submetidos ao ensaio de tração foram laminados com duas camadas de tecido de juta.

Nos ensaios de flexão, utilizou-se matriz polimérica de epóxi reforçada com oito camadas intercaladas de tecido de juta unidirecional, tendo sido feito com camadas alternadas a zero e noventa graus (EP_0-90) com relação à direção longitudinal do corpo de prova.

2.1. Fabricação dos espécimes

O processo de fabricação dos diferentes corpos de prova, de modo geral, foi o mesmo, variando-se apenas a quantidade de camadas de tecido, o tamanho do corte e a orientação do mesmo.

Primeiro, foram feitos cortes no tecido de juta nas direções e dimensões desejadas (250 mm x 25 mm para os corpos de prova do ensaio de tração e 40 mm x 6 mm para corpos de prova do ensaio de flexão) para serem utilizados como o reforço da matriz polimérica. Em seguida, a resina (epóxi ou poliéster) foi misturada ao endurecedor, respeitando uma proporção de uma parte de endurecedor para cada cinco partes de resina (1:5). A mistura resina/endurecedor foi distribuída sobre um molde plástico, adicionando um corte do tecido sobre a mistura. A camada de tecido foi coberta com mais uma camada de mistura resina/endurecedor, de modo a cobrir totalmente o tecido. Então, mais uma camada de tecido foi adicionada, repetindo o procedimento anterior para o número de camadas desejado. Foi utilizado um rolo tira bolhas em cada camada de mistura resina/endurecedor adicionada para garantir uma maior penetração no tecido e uma melhor homogeneidade de resina dentro do volume do compósito. A Fig.2 mostra algumas etapas do processo de fabricação dos compósitos.



Figura 2. Fabricação do compósito: (a) distribuição de resina sobre o tecido; e (b) homogeneização da resina com o rolo tira bolhas.

Após as camadas de tecido serem impregnadas pela mistura de resina e endurecedor, os compósitos foram submetidos à pressão gerada pelo peso de uma placa de 20 kg posicionada sobre os mesmos, para garantir uma penetração mais homogênea da resina por dentro da fibra durante o período de cura de três dias. A Fig.3 mostra um dos corpos de prova devidamente pronto para a cura.



Figura 3. Corpo de prova pronto para prensagem e cura

Ao fim, os espécimes para o ensaio de tração obtiveram dimensões, em média, de 250 mm de comprimento, 25 mm de largura e 1,7 mm de espessura, enquanto que os corpos de prova para os ensaios de flexão tiveram dimensões médias de 40 mm de comprimento, 6,18 mm de largura e 6,49 mm de altura.

3. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Para todos os espécimes analisados neste trabalho, foi considerado um contato perfeito na interface fibra/matriz, ou seja, não há deslizamento da fibra em relação à matriz e ambas se deformam igualmente.

3.1. Ensaio de tração

Os ensaios de tração foram realizados conforme a norma ASTM D 3039. Os corpos de prova foram instrumentados com extensômetros EMEME EA-06-062AP-120 com gage factor 2,05, colados paralelamente e perpendicularmente à direção de carregamento.

Após o equipamento aquisitor de dados EMEME e a máquina de ensaio serem devidamente iniciadas e calibradas, os corpos de prova foram posicionados de modo a se iniciar o ensaio.

Para o ensaio, foi selecionado uma velocidade de 5 mm/min que permaneceu constante até que houvesse o rompimento do corpo de prova. Foi utilizada uma escala de 2 kN na plotagem feita pelo Software. A Figura 4 mostra o aparato para o ensaio de tração.



Figura 4. Ensaio de tração do corpo de prova

3.2. Ensaaios de flexão em 3 pontos com DIC

A técnica de Correlação Digital de Imagens (*Digital Image Correlation - DIC*) é o que há de mais moderno na medição de deslocamentos e deformações em corpos sólidos (Sutton, 2009). Por ser uma técnica de campo global, permite a visualização do comportamento das deformações pontuais em toda a região de interesse.

O aparato básico utilizado na aplicação da técnica para medições em três dimensões está mostrado na Fig. 5. Este equipamento pertence ao laboratório de fotomecânica da PUC-Rio, onde foram feitos os ensaios.



Figura 5. Componentes básicos utilizados nas medições com a técnica DIC.

Foi montada uma bancada para aplicação de flexão em três pontos nos espécimes, segundo a Norma ASTM D-2344 e sugestões apresentadas por MaKeev *et al* (2012). As principais dimensões relacionadas às medições são apontadas na Fig. 6, sendo a área de seção transversal dos espécimes aproximadamente 6,18 x 6,49 mm². Uma célula de carga foi acoplada a um parafuso, que permitia controlar o avanço para comprimir o ponto central na face superior do espécime. Com isto, tinha-se o controle do carregamento, que era aplicado em seis passos uniformes de 50 N até 100 N. A Figura 6 apresenta o mecanismo completo de aplicação de carga.

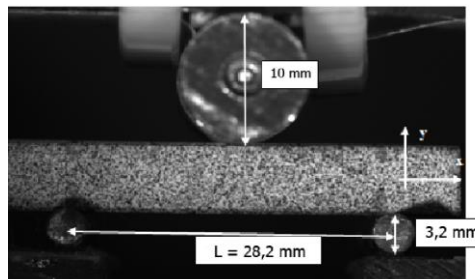


Figura 6. Dimensões dos pinos de apoio e aplicador de força, do vão e definição dos eixos de referência x e y.

Para o cálculo dos módulos de tração e compressão, os gráficos de variação da deformação (ε_{xx}) na direção y foram representados por funções lineares da forma da Eq. (1).

$$\varepsilon_{xx}(y) = -ky - b \quad (1)$$

Onde y é a coordenada na direção da altura, cuja origem está no centro geométrico da altura do espécime.

Usando a equação nos equilíbrios de forças e de momentos, pode-se chegar à Eq. (2) para calcular os módulos de tração e de compressão.

$$E_{T,C} = \frac{M}{k.I.(1 \mp a^2)} \quad , \text{ sendo } a = \frac{2}{h} \frac{b}{k} \quad (2)$$

Onde M é o momento aplicado na região de interesse e I é o momento de inércia da seção transversal.

O parâmetro $\frac{b}{k}$ é a defasagem entre a linha neutra e o centro de gravidade. Ele é proporcional à diferença entre os módulos de tração e compressão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios foram realizados corretamente dentro das normas que os regiam, conferindo maior confiabilidade aos resultados obtidos. O uso de técnicas de medição de deformações adequadas a cada tipo de ensaio também confere maior confiabilidade a respeito das propriedades mecânicas obtidas.

Dos corpos de prova nos ensaios de flexão, onde se trabalhou com uma técnica de campo global, foi possível obter um grande número de informações e pôde-se realizar um tratamento estatístico utilizando-se o critério de Chauvenet. Nestes ensaios foram obtidas as seguintes propriedades: módulo de elasticidade à tração (E_t), módulo de elasticidade à compressão (E_c), coeficiente de Poisson (ν) e Módulo de Cisalhamento.

Foi possível obter nos ensaios de tração as propriedades de módulo de elasticidade, limite de resistência à tração e coeficiente de Poisson. O coeficiente de Poisson foi obtido graças aos extensômetros colados transversalmente à direção do carregamento. Como já era esperado, as propriedades mecânicas dos corpos de prova feitos com resina epóxi apresentaram propriedades mecânicas de magnitude superior em relação aos corpos de prova feitos em resina de poliéster.

O corpo de prova feito de poliéster não apresentou uma curva carga x deformação bem definida como os demais corpos de prova, isso se deve a escorregamentos que ocorreram durante os ensaios. O problema foi corrigido para ensaios futuros utilizando-se tabs feitos de alumínio.

4.1. Ensaios de flexão com DIC

Os ensaios de flexão foram feitos de acordo com a norma ASTM D 2344. Os resultados serão apresentados em função das propriedades obtidas e na Tab. 2, ao final deste item, são mostradas todas essas propriedades, bem como seus valores médios.

4.1.1. Módulos de Tração e Compressão

Na Figura 7 é apresentado o campo de deformações normais (ε_{xx}) para a carga de 100 N obtido com o método DIC por meio do software VIC 3D.

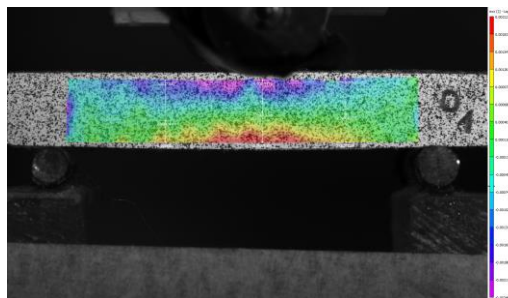


Figura 7. Campo de deformações normais na direção x para a carga de 100 N (gerado com o software VIC 3D).

A Figura 8 apresenta os gráficos das deformações normais de um dos corpos de prova em uma dada posição na direção x em função da distância y, à direita e à esquerda da aplicação da mesma. Também são apresentadas as suas equações representativas aproximadas.

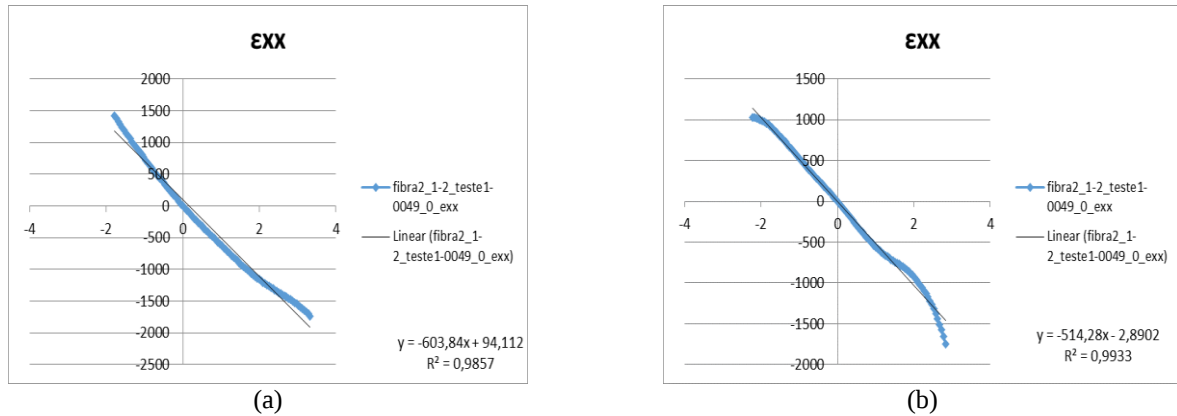


Figura 8. Variações das deformações normais (ϵ_{xx}) com relação à altura da viga (a) à esquerda e (b) à direita da aplicação da carga.

Vale atentar para o razoável comportamento linear dos gráficos, isso já era esperado, bem como a proximidade entre os valores encontrados.

Aplicando-se os coeficientes das equações características das curvas de deformação (como as mostradas na Fig. 8) na Eq. (1), chega-se aos valores de E_T e E_c , apresentados na Tab. 2 para todos os espécimes.

4.1.2. Coeficiente de Poisson

Para o cálculo do coeficiente de Poisson, o mesmo tratamento realizado para as deformações na direção x, foi feito para a direção y. Ou seja, foram definidas equações lineares representativas do comportamento dessas deformações ao longo da altura da viga. O coeficiente angular da reta encontrada para ϵ_{yy} foi dividido pelo da reta encontrada para ϵ_{xx} , definindo-se assim, o coeficiente de Poisson do material. A Figura 9 apresenta os gráficos das deformações normais ϵ_{yy} em função da posição y, à direita e à esquerda da aplicação da carga. Também são apresentadas as suas equações representativas aproximadas.

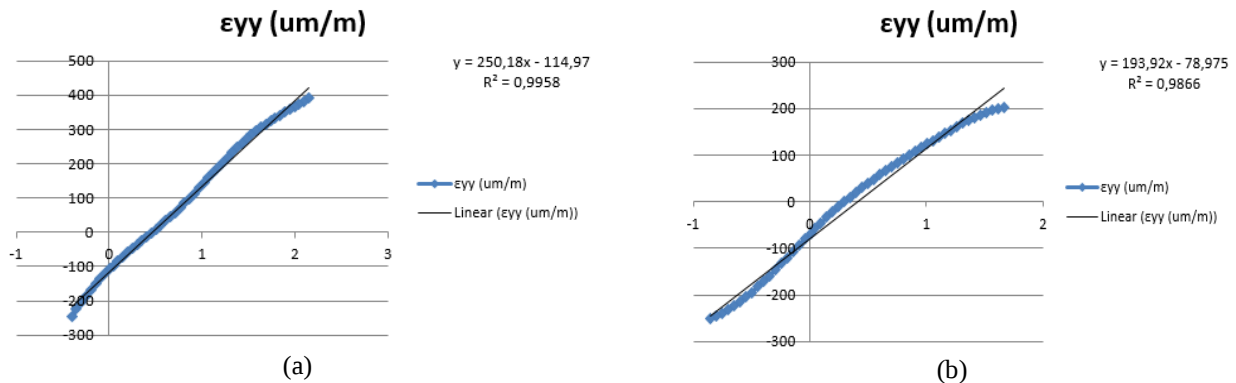


Figura 9. Variações das deformações normais y com relação à altura da viga (a) à esquerda e (b) à direita da aplicação da carga.

Como se notou, nas deformações ϵ_{xx} , as deformações ϵ_{yy} também apresentaram gráficos bastante lineares que já eram esperados.

4.1.3. Módulo de cisalhamento

O módulo de cisalhamento (G_{xy}) foi determinado por meio do coeficiente angular da parte reta dos gráficos de tensão cisalhamento (τ_{xy}) vs deformação cisalhante (γ_{xy}), ao longo da altura da seção de medição, sendo que, os valores γ_{xy} foram determinados pelas medições e os valores de τ_{xy} foram calculados por meio da Eq. (3).

$$\tau_{xy} \approx \frac{3P}{4A} \left[1 - \left(\frac{2y}{h} \right)^2 \right] \quad (3)$$

A Figura 10 mostra o comportamento das tensões de cisalhamento com relação às deformações cisalhantes, à esquerda e à direita da aplicação da carga.

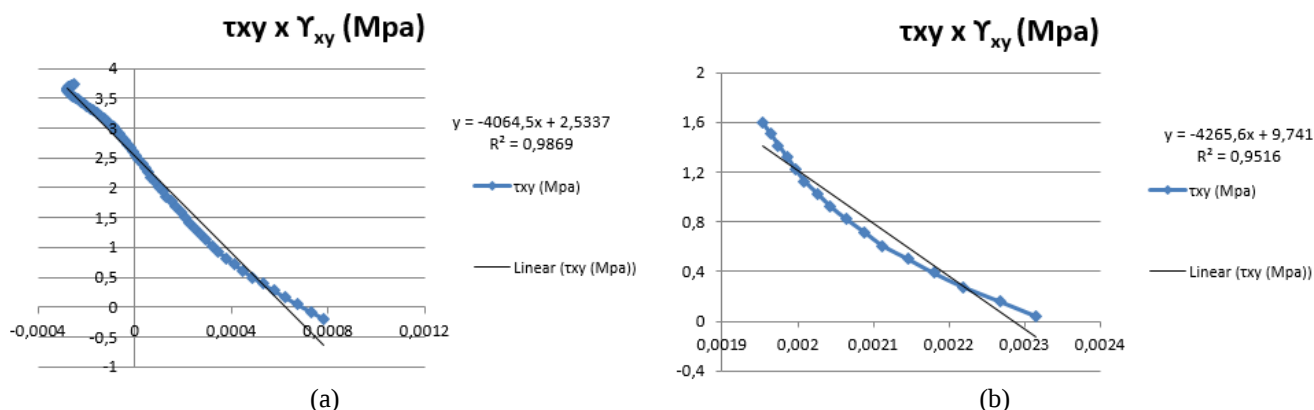


Figura 10. Comportamento das tensões de cisalhamento, com relação às deformações cisalhantes (a) à esquerda e (b) à direita da aplicação da carga.

Vale ressaltar o comportamento relativamente linear dos gráficos, com valores de R^2 acima de 0,95. Uma deformação linear de acordo com a tensão é o que se espera na caracterização de qualquer material.

A Tabela 2 apresenta as propriedades mecânicas obtidas para os ensaios realizados com a técnica DIC.

Tabela 2. Propriedades mecânicas do compósito EP_0-90 obtidas com o ensaio de flexão.

Corpo de prova	Módulo de Elasticidade sob Tração (GPa)	Módulo de elasticidade sob compressão (GPa)	Módulo de Cisalhamento (GPa)	Coefficiente de Poisson
#1	7,41	5,51	3,88	0,40
#2	9,93	5,87	5,53	0,34
#3	8,79	7,77	6,21	0,31
Média	8,57	6,37	5,48	0,36

Como já era esperado para esse tipo de material compósito, os módulos de elasticidade sob compressão e sob tração apresentaram resultados diferentes, sendo que o módulo de elasticidade à tração é maior. O módulo de elasticidade sob tração de 8,57 GPa é bem próximo do módulo de elasticidade da fibra de vidro (cerca de 9,38 GPa), segundo Rodrigues (2014).

4.2. Ensaios de Tração

Todas as amostras de corpos de prova foram submetidas a ensaios de tração conforme a norma ASTM D 3039. Os resultados serão mostrados por tabelas e gráficos para cada tipo de espécime fabricado.

4.2.1. Matriz Polimérica de Poliéster Reforçada por Tecido Bidirecional de Juta (PO-BD)

A Tabela 3 apresenta as propriedades mecânicas que foram obtidas com os testes e a Fig. 11 mostra a curva carga x deformação de um dos corpos de prova.

Tabela 3. Propriedades mecânicas do compósito PO-BD.

Limite de resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson
15,3	2	0,39

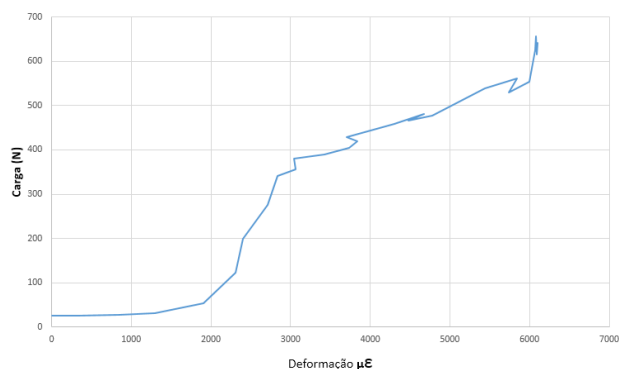


Figura 11. Curva tensão x deformação de um dos corpos de prova PO-BD ensaiados.

O corpo de prova feito de epóxi não apresentou uma curva carga x deformação bem definida como os demais corpos de prova, isso se deve a escorregamentos que ocorreram durante os ensaios. O problema foi corrigido para ensaios os ensaios posteriores utilizando-se tabs feitos de alumínio.

4.3. Matriz Polimérica Epóxica Reforçada por Tecido Unidirecional de Juta na Direção Longitudinal (EP-DL)

Amostras do corpo de prova foram submetidas a ensaios de tração, conforme a norma ASTM D3039. A Tabela 4 apresenta as propriedades mecânicas que foram obtidas com os testes e a Fig. 12 mostra a curva tensão x deformação de um dos corpos de prova.

Tabela 4. Propriedades do compósito EP-DL.

Corpo de prova	Limite de resistência à tração (Mpa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson
#1	88,98	5,23	0,304
#2	64,31	6,89	0,48
#3	60,11	4,70	-----
Média	74,47	5,90	0,39

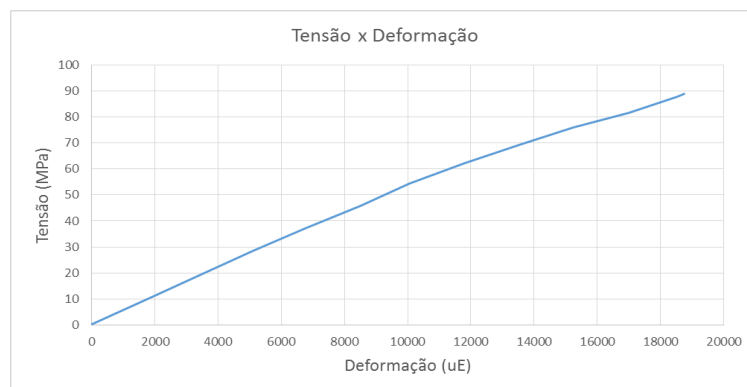


Figura 12. Curva tensão x deformação de um dos corpos de prova EP-DL ensaiados.

4.4. Matriz Polimérica Epóxica Reforçada por Tecido Unidirecional na Direção Transversal (EP-DT)

A Tabela 5 apresenta as propriedades mecânicas que foram obtidas com os testes e a Fig. 13 mostra a curva tensão x deformação de um dos corpos de prova.

Tabela 5. Propriedades do compósito EP-DT.

Corpo de prova	Limite de resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson
#1	33,15	3,37	-----
#2	26,39	3,37	0,25
Média	30	3,37	0,25

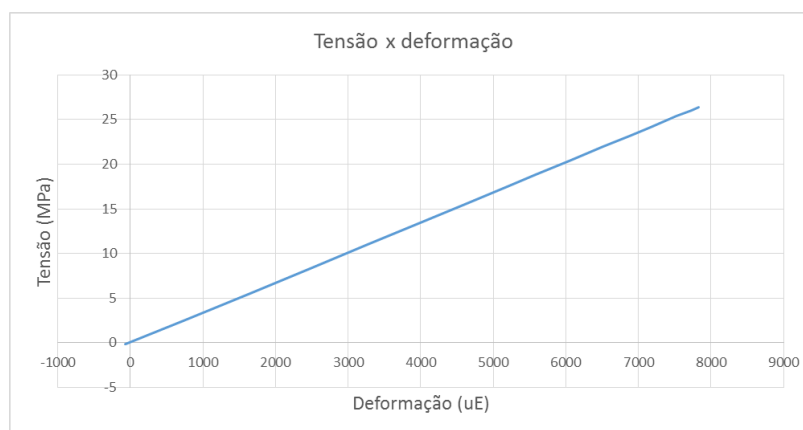


Figura 13. Curva tensão x deformação de um dos corpos de prova EP-DT testados.

A Tabela 6 mostra, em síntese, os valores médios das propriedades mecânicas levantadas para os três tipos de compósitos ensaiados.

COMPÓSITO	Limite de resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson
EP-DL	74,47	5,90	0,39
EP-DT	30	3,37	0,25
PO-BD	15,3	2	0,39

Como era esperado, os compósitos com reforço paralelo à direção do carregamento apresentaram módulo de elasticidade e limite de resistência à tração maiores que os espécimes nos quais o reforço era perpendicular à direção do carregamento. Além disso, os compósitos fabricados com resina epóxica apresentaram propriedades mecânicas superiores às propriedades daqueles fabricados com resina de poliéster. Um dos compósitos feitos de resina epóxi rompeu com uma tensão de 89 MPa, o que é bastante satisfatório em muitas aplicações.

5. CONCLUSÃO

Foi realizado um grande número de ensaios mecânicos para a caracterização de compósitos verdes constituídos de fibra de juta. Foram utilizados diferentes tipos de tecido e de resinas poliméricas (poliéster e epóxi). Foram também aplicadas duas técnicas de medição de deformação de precisão, visando maior confiabilidade nas propriedades mecânicas obtidas: extensometria nos ensaios de tração e DIC nos ensaios de flexão em três pontos.

Os ensaios de flexão utilizando-se a técnica DIC trouxeram resultados satisfatórios, as deformações se comportaram de forma relativamente linear de acordo com as cargas aplicadas. Além disso, os corpos de prova apresentaram um módulo de elasticidade relativamente elevado, chegando a valores próximos aos módulos dos compósitos feitos com fibra de vidro.

O uso da extensometria nos ensaios de tração possibilitou o levantamento de curvas tensão x deformação bastante precisas e lineares, ajudando também na obtenção dos valores do coeficiente de Poisson e do módulo de elasticidade. Os espécimes feitos de resina epóxi submetidos à tração obtiveram um elevado limite de ruptura, semelhante ao de alguns compósitos fabricados de fibra de vidro.

Os espécimes analisados apresentaram propriedades mecânicas satisfatórias, chegando próximas às das fibras de vidro, com um módulo de elasticidade em torno de 90% o da fibra de vidro e limites de ruptura semelhantes em termos de carregamentos paralelos à direção da fibra. Esses dados obtidos mostram que a juta é viável como reforço de matrizes poliméricas, podendo inclusive substituir algumas fibras de vidro em certas aplicações.

6. REFERÊNCIAS

- ASTM Standard D 2344/D 2344M. "Standard test method for short-beam strength of polymer matrix composite materials and their laminates". ASTM International; 2006.;
- Ashby M. F., 2012. "Materials and the environment: eco-informed material choice". Ed. Butterworth-Heinemann.
- Barros, M. A. S., 2014. "Vantagens da Aplicação de Material Compósito em Substituição as Ligas Metálicas na Aviação". Dissertação, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Carvalho M. J. C., 2014. "Caracterização de Materiais Compósitos de Matriz Poliéster Reforçada por Fibras Vegetais Contínuas e Alinhadas". Dissertação, Universidade Federal do Pará, Belém.

- Dicker, M. P. M, Duckworth, P. F., Baker, A. B., François, G., Hazzard, M.K., Weaver, P. M., 2014. "Green Composites: A review of materials attributes and complementary applications". Composites: Part A, 280-289.
- Dittenber D. B. , GangaRao H. V. S., 2012. "Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure". Compos Part A: Appl Sci Manuf; 43:1419–29.
- Kuwahara, M., 2013. "Compósitos de Poliéster Reforçados por Fibras de Bambu e Sisal: Características Mecânicas e Aspectos Fratográficos". Dissertação, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Koronis, G., Silva, A., Fontul, M., 2013. "Green composites: a review of adequate materials for automotive applications". Compos Part B, 44:120–7.
- La Mantia, F. P., Morreale, M., 2011. "Green composites: a brief review". Compos Part A: Appl Sci Manuf; 42:579–88.
- MaKeev, A., He, Y., Carpentier, P., Shonkwiler, B., 2012. "A Method for Measurement of Multiple Constitutive Properties for Composite Materials". Composites: Part A 43:2199-2210
- Medina, J. C., 1959. "Plantas Fibrosas da Flora Mundial". Instituto Agrônomo de Campinas, São Paulo, Brasil.
- Neto, S. F. M., 2010. "Arquitetura e a Aplicação de Materiais Compósitos". Dissertação, Universidade Federal do Pará. Belém.
- Rodrigues, L. D., 2014. "Aplicação da Técnica DIC a Espécimes Com Diferentes Formas, Materiais e Gradientes de Deformação". Tese, Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Sutton, M. A., Orteu, J., Schreier, H. W., 2009, "Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements". Springer Science, LLC. New York, NY, USA.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

CHARACTERIZATION OF GREEN COMPOSITES OF JUTE FIBER USING STRAIN GAGES AND DIGITAL IMAGE CORRELATION TECHNIQUE

Mateus Fortes Carvalho, mateus14fortes@gmail.com¹
Mário Américo Xavier, marioamerico92@hotmail.com¹
José Alan Focinha Raiol, alan_rayol@hotmail.com¹
João Carlos Fonseca Valente, joaocarlosfv11@gmail.com¹
Leonardo Dantas Rodrigues, leodr@ufpa.br¹

¹Pará Federal University, 01 Augusto Corrêa St – Guamá – 66075-110,

Abstract: Composite materials have been used for decades in industry, either as a structural reinforcement or directly in components production, with the advantage of its low weight and easy conformation. These materials are a result of a combination of a matrix, usually polymeric, reinforced by fibers. The fibers most used in industry are carbon fiber and glass fiber, both fibers are synthetic and made of non-renewable raw material. For sustainability issues, worldwide researchers have been seeking for new alternatives to these synthetic fibers in natural fibers, resulting in the development of Green Composites. The Amazon has a great natural diversity whose potential is not fully tapped. For instance, Amazon flora has many species that can serve the population somehow. Some of these species enable the extraction of cellulosic fibers with good mechanical properties, such as jute, malve, sisal and palm fiber. This investigation will evaluate composites of polymer matrix reinforced with fibers of jute, which has its mechanical properties already attested in previous studies. Although several tests in jute fiber have been performed, each manufactured composite shall be tested to properly obtain its properties, due to the fact that their mechanical properties depend on several factors: fiber type, arrangement type (fabrics, aligned filaments and randomly distributed filaments), the matrix and also the lamination methodology. This paper presents the evaluation of the mechanical properties of various composites made from jute fibers. Different types of fabrics and resin were used in the manufacturing of these composites. The specimens were subjected to tensile tests instrumented with strain gages, following the ASTM D3039 standard specifications, obtaining properties like tensile modulus and Poisson's ratio. The specimens were also produced to undergo bending test at three points, based on ASTM D2344 standard using DIC technique. This technique allowed the obtainment of the Young's modulus to tensile and compression, Poisson's ratio and also the shear modulus.

Keywords: Green Composites, Mechanical properties, Natural fibers