



21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESTUDO DE NORMAS E LEVANTAMENTO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CORPOS DE PROVA DE MATERIAIS COMPOSTOS POLIMÉRICOS FABRICADOS POR MÉTODO MANUAL DE IMPREGNAÇÃO HAND LAY-UP

Samuel Filgueira da Silva, samuelfilgueirads@gmail.com¹

Raimundo Nonato Calazans Duarte, raimundo.duarte@ufcg.edu.br¹

Hudson Medeiros de Almeida Cardins, hudsoncardins@gmail.com¹

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Departamento de Engenharia Mecânica – DEM,
Rua Aprígio Veloso 882, CEP: 58429-900 – Campina Grande, PB.

Resumo: A aplicação da tecnologia de materiais compostos poliméricos, dentro de uma grande abrangência de áreas, tem se mostrado como um importante avanço para a engenharia moderna, dentre outros motivos pelo seu elevado desempenho, baixa densidade, resistência e rigidez. Apesar dos compostos poderem ser projetados em meio a estruturas de alta eficiência e que possam se adequar as características funcionais do projeto, ao mesmo tempo, a heterogeneidade de sua composição (anisotropia) gera dificuldades na previsão de esforços e se o composto suportaria tais esforços. Uma das maneiras de se avaliar como esses materiais se comportam ao serem submetidos por esforços é através de simulação e procedimentos de ensaios mecânicos. O presente trabalho analisa o comportamento mecânico de corpos de prova compostos por fibra de carbono impregnada com resina epóxi. Os laminados do composto polimérico utilizados foram de orientação unidirecional e longitudinal (a 0°), fabricados por meio do método de impregnação manual hand lay-up. A obtenção das propriedades mecânicas, tais como módulo de elasticidade longitudinal e transversal, resistência máxima à tração, deformação máxima, coeficiente de Poisson etc., foi desenvolvida através de ensaios de tração realizado em máquina universal, e análise da aplicação da regra das misturas ao laminado em estudo. A avaliação de tais resultados previu a comparação dos dados obtidos com aqueles decorrentes da norma americana ASTM 3039 de ensaio de tração, e o quão eficiente é o processo de fabricação por impregnação manual, sem controle de pressão, temperatura, humidade, no que diz respeito às propriedades mecânicas alcançadas.

Palavras-chave: materiais compostos poliméricos, fibra de carbono, resina epóxi, ensaio de tração, impregnação manual, propriedades mecânicas.

1. INTRODUÇÃO

Devido as necessidades de evolução tecnológica de diversos segmentos industriais, os materiais compostos surgiram com objetivo de se obter vantagens em relação aos chamados materiais de engenharia convencionais, quais fossem, facilidade de processamento e possibilidade de combinação de propriedades mecânicas na medida em que se fosse requerido, seja através da variação da quantidade percentual de cada componente, da forma geométrica do componente estrutural ou do tipo de cada componente (Hussein, 1989).

Para Tita (2003), muitos componentes mecânicos utilizados atualmente requerem materiais com combinações de propriedades não usualmente satisfeitas pelas ligas de metais convencionais, cerâmicas e materiais poliméricos. Várias estruturas do setor aeronáutico, automobilístico e aeroespacial necessitam possuir baixo peso, alta resistência, alta rigidez e resistência à abrasão e ao impacto. O acelerado desenvolvimento de materiais compostos reforçados, ocorrido acentuadamente nos últimos anos, tem propiciado aos projetistas novas alternativas para solucionar tais problemas, fornecendo-lhes um novo leque de possibilidades.

A combinação de baixa densidade com valores elevados de resistência e rigidez que os compósitos proporcionam, permite com que essa classe de materiais seja, cada vez mais, empregada nos diversos setores das indústrias aeronáutica, automobilística e aeroespacial em substituição aos materiais metálicos tradicionais. Componentes estruturais que antes eram, em sua grande maioria, fabricados única e exclusivamente em ligas metálicas, estão hoje sendo fabricados em estruturas laminares de compósitos poliméricos avançados, devido a sua vasta aplicação em projetos de Engenharia. Freire (1994) define os materiais compósitos como uma classe de materiais heterogêneos, tanto na escala microscópica quanto na escala macroscópica; multifásicos, resultantes de uma combinação racional, em que um dos componentes, descontínuo, dá a principal resistência ao esforço (componente estrutural ou reforço) e o outro, contínuo, o meio de transferência desse esforço (componente matricial ou matriz). A Fig. 1 mostra a aplicação de materiais compósitos em diferentes componentes de uma aeronave comercial moderna.

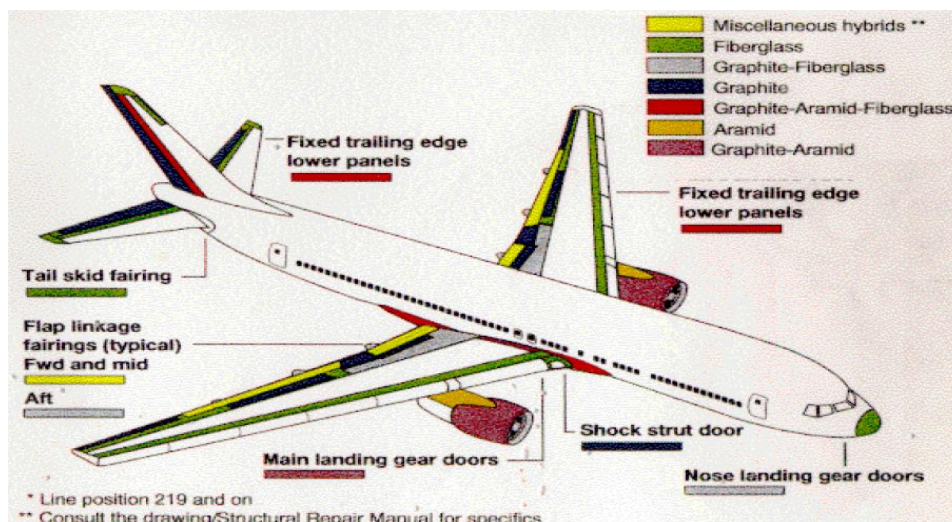


Figura 1. Vista da aeronave Boeing 767, expondo os componentes fabricados em compósitos poliméricos avançados (Fonte: BOEING).

Trabalhos (Tan, 1994; Strong, 1989) mostram que os compósitos poliméricos avançados podem oferecer aos componentes estruturais não só elevada resistência mecânica, mas também à corrosão, baixa condutividade térmica, isolamento acústica e térmica e facilidade de obtenção de geometrias complexas, assegurando-lhes maior performance em serviço.

Os materiais compósitos apresentam vários tipos diferentes componentes possíveis tais como: o compósito polimérico, que envolve uma determinada fibra e uma resina polimérica; compósitos baseados em materiais cerâmicos, que são, em sua maioria, baseados em particulados; compósito de matriz metálica que pode compreender, por exemplo, a combinação de propriedades de uma liga metálica qualquer com partículas cerâmicas; compósitos estruturados em componentes naturais, como fibras vegetais, entre outros. Devido a grande variedade de compósitos distintos, Callister (1985) os classifica como: compósitos reforçados por partículas, compósitos reforçados por fibras e compósitos estruturais, como exposto na Fig. 2.

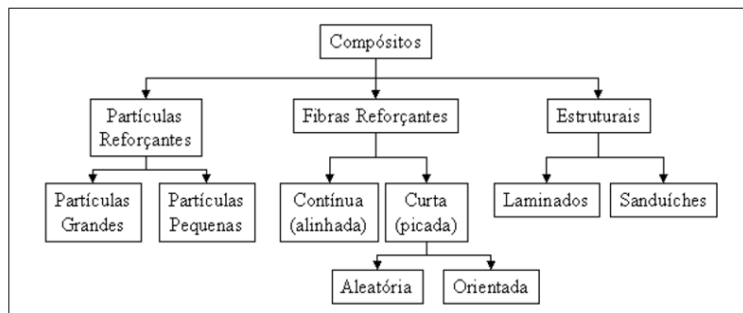


Figura 2. Esquema de classificação de materiais compósitos (Callister, 1985).

No caso dos materiais que fazem parte dos compósitos reforçados com fibras, objeto de estudo do presente trabalho, Tita (2003) os classifica como aglomerante (fase contínua ou matriz) e reforço (fase dispersa). O aglomerante tem como função manter os reforços unidos, que é geralmente utilizada uma determinada resina para a realização dessa tarefa, transmitindo a

estes o carregamento aplicado. Os reforços têm como função suportar os carregamentos transmitidos pelo aglomerante, melhorando a rigidez e a resistência mecânica da matriz, além de conferir estabilidade dimensional e bom desempenho a temperaturas elevadas.

Segundo Callister (2002), é essencial que as forças de ligação adesivas entre a fibra e a matriz sejam grandes, com o objetivo de minimizar a extração das fibras, de modo que a resistência final do compósito depende em grande parte da magnitude dessa ligação. Além disso, a matriz liga as fibras umas às outras, de tal forma que atua como o meio através do qual uma tensão aplicada externamente é transmitida e distribuída para o reforço estrutural do compósito; apenas uma proporção muito pequena da carga aplicada é suportada pela fase matriz. Finalmente, a matriz separa as fibras umas das outras e, em virtude da sua relativa plasticidade, previne a propagação de trincas frágeis de uma fibra para outra, o que, por sua vez, poderia resultar em uma falha catastrófica; em outras palavras, a fase matriz serve como uma barreira contra a propagação de trincas. A Fig. 3 ilustra as relações entre as curvas tensão-deformação para o esforço estrutural (fibra), a matriz, e o resultante compósito formado pela combinação de ambos.

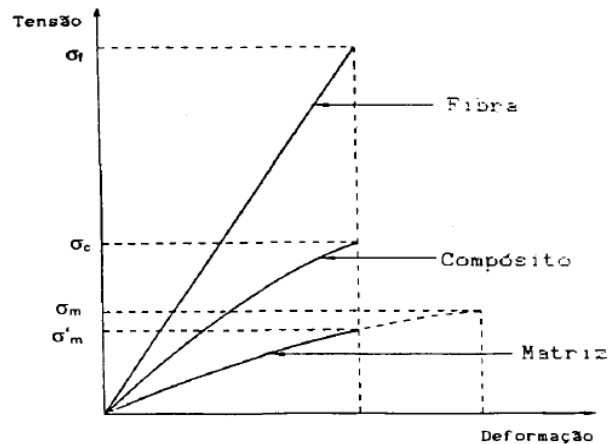


Figura 3. Comparação das curvas tensão-deformação típicas para fibra, matriz e compósito (Vinson, 1975).

A heterogeneidade (anisotropia) dos materiais compósitos, no entanto, gera imprevisões quanto a sua capacidade estrutural, se fazendo necessário ensaios mecânicos para que se haja uma estimativa razoável do quanto o compósito suportaria, ao ser submetido a um determinado esforço. Ribeiro (2009) afirma que o estudo e levantamento de propriedades mecânicas dos compósitos dependem de diversos fatores e variáveis dentre os quais pode-se citar: o tipo de fibra (componente estrutural ou reforço) a ser utilizado no material multifase, configuração ou disposição das fibras (apenas uma direção, duas direções, três direções, n direções), tipo de matriz ou aglomerante, fração volumétrica de fibras e matriz; condições de interface entre fibra e matriz, tipo de ensaio mecânico a ser realizado entre outros. A Fig. 4 apresenta diferentes tipos de formatos e disposições da fase dispersa que podem influir no comportamento mecânico do compósito estrutural. No que diz respeito às propriedades mecânicas, o módulo de elasticidade e a resistência à tração, flexão, compressão são algumas das mais importantes propriedades a serem levantadas para a melhor análise do comportamento mecânico.

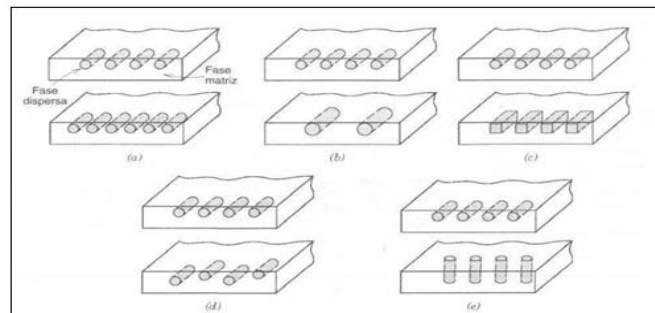


Figura 4. Representações esquemáticas das diversas características geométricas e espaciais da fase dispersa (fibra) que podem influenciar as propriedades dos compósitos: (a) concentração, (b) tamanho, (c) forma, (d) distribuição e (e) orientação (Flinn, 1994)

O presente estudo discutirá os resultados dos módulos de elasticidade longitudinal e transversal (este último obtido através da regra das misturas), bem como da resistência e deformação máximas de um ensaio de tração aplicados à corpos de prova de material compósito fibra de carbono/epóxi, buscando compreender a complexidade gerada pela interação mecânica entre o reforço e a matriz.

Para Callister (1985), os compósitos mais importantes, no que diz respeito à aplicação tecnológica, são aqueles em que a fase dispersa encontra-se na forma de uma fibra. Os objetivos de projeto dos compósitos reforçados com fibras incluem com frequência resistência e/ou rigidez alta em relação ao seu peso. Essas características são expressas em termos dos parâmetros resistência específica e módulo específico, os quais correspondem, respectivamente, às razões do limite de resistência à tração em relação à densidade relativa e ao módulo de elasticidade em relação à densidade relativa.

Tendo em vista tais aspectos, o presente trabalho fez uso do tecido de fibra de carbono unidirecional contínua, com orientação 0°, para o reforço estrutural do compósito a ser fabricado. Durante o processo de impregnação de resina, três camadas foram empilhadas uma a uma, obedecendo a mesma orientação 0° para fabricação de um laminado contínuo. Para a matriz polimérica, utilizou-se a resina polimérica epóxi, para que se fosse possível a transmissão dos esforços à fibra. Duas das propriedades típicas da fibra e da resina, importantes para o presente estudo, foram levantadas junto ao fabricante, conforme exposto na Tab. 1.

Tabela 1. Propriedades típicas da fibra de carbono e da resina epóxi utilizadas na fabricação dos compósitos poliméricos

Propriedades	Fibra de Carbono	Resina Epóxi
Massa específica (g/cm ³)	1,77	1,22
Módulo de Elasticidade, E (GPa)	250	2

Para a fabricação dos corpos de prova, foi fornecida a oficina utilizada pela equipe Parahybas de Aerodesign da Universidade Federal de Campina Grande, localizada no Departamento de Engenharia Mecânica, bem como os equipamentos, ferramentas e materiais disponíveis, tais como balança de precisão para medição da porcentagem da composição fibra-matriz no compósito, fitas de fibra de carbono unidirecional, resina polimérica (epóxi), catalisador de resina, dentre outros. O método de impregnação usado foi *hand-lay-up*, como ilustrado na Fig. 5, sobre temperatura e pressão ambiente para o processo de cura. No que diz respeito ao corte dos laminados para obedecer às condições geométricas aproximadas dos corpos de prova da norma ASTM 3039, utilizou-se micro retífica.



Figura 5. Fibra de carbono com orientação unidirecional longitudinal (0°) durante o processo de impregnação da resina epóxi no processo de fabricação *hand lay-up*.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de tração seguiram alguns procedimentos e especificações da norma ASTM D3039, incluindo os aspectos dimensionais que foram delimitados a se manter sobre valores aproximados daqueles usados na norma americana, conforme exposto na Tab. 2. O objeto de estudo deste trabalho foi baseado na fabricação e teste de três espécimes, com três camadas de fibra para se fazer cumprir uma espessura do corpo de prova aproximada àquela tratada na norma. Para o método de fabricação, a técnica de impregnação *hand lay-up* assegurou aos corpos de prova uma fabricação bastante prática e simplificada, apesar do tempo necessário de cura requerida nesse método.

Tabela 2. Parâmetros geométricos e massa específica dos corpos de prova confeccionados e aquele padronizado pela norma ASTM D3039.

Parâmetros de Medição	Corpo de Prova 1	Corpo de Prova 2	Corpo de Prova 3	Corpo de Prova (ASTM 3039)
Comprimento (mm)	252	252	247	250
Comprimento do <i>tab</i> (mm)	61	63	xxx	56
Largura média (mm)	17,8	18,0	13,7	15,0
Espessura média (mm)	1,05	1,10	1,04	1,0
Espessura média (com <i>tabs</i>) (mm)	2,04	2,05	1,02	4,5
Massa Específica (kg/mm ³ x 10 ⁶)	1,20	1,14	1,67	1,55

De qualquer modo, as estruturas hand lay-up também apresentam grandes vantagens no que diz respeito à flexibilidade e complexidade do design das estruturas compostas, investimento mínimo em equipamento, custo baixo de ferramentas necessárias ao processo, possibilidade de estruturas sanduíche de forma mais simplificada, dentre outros (HANDBOOK OF COMPOSITES, 1998).

2.1. Norma ASTM D3039

Com exceção do processo de cura e controle do ambiente experimental, os métodos utilizados no presente trabalho foram baseados nos procedimentos similares aos da norma ASTM D3039 de ensaio de tração. Os resultados alcançados tiveram como objetivo a comparação com aqueles decorrentes da norma americana, de tal modo a se discutir o quão eficiente é o processo de fabricação por impregnação manual, sem qualquer controle de pressão, temperatura ou humidade durante o processo de cura. Algumas das principais propriedades de compósitos tratadas no ensaio descrito pela norma são a máxima resistência à tração, máxima deformação à tração, módulo de elasticidade à tração, coeficiente de Poisson.

2.2. Ensaio Mecânico

Os testes mecânicos foram realizados na seção de ensaios mecânicos do Laboratório Multidisciplinar de Materiais e Estruturas Ativas (LaMMEA), no Departamento de Engenharia Mecânica da UFCG. A máquina de ensaio utilizada foi a máquina de tração Instron 5582. O software usado para o levantamento do gráfico carregamento x extensão da mesa da máquina e dos demais dados durante o processo de ensaio foi o Instron Bluehill 2. No que diz respeito à velocidade de ensaio, esta foi caracterizada pela taxa de deslocamento da garra de 0,02 milímetros a cada minuto. A norma ASTM 3039-3039M fala sobre a velocidade de 2 milímetros a cada minuto, mas explica que dependendo do formato referente aos dentes da garra, vem se observando outros modos de se fazer o ensaio mecânico, muitas vezes com velocidades de 50 vezes mais baixas de deslocamento.

2.3. Análise dos corpos de prova confeccionados

Baseando-se nos dados obtidos na Tab. 2, foi feita a Tab. 3, onde mostra minuciosamente as diferenças entre medidas geométricas de cada corpo de prova confeccionado, através de desvios padrões. É também mostrado a massa específica média para os três corpos de prova. Ainda pela Tab. 2 mostrada acima, percebe-se que, apesar de corpo de prova 3 (CP3) apresenta menores medidas geométricas em comparações com o corpo de prova 1 (CP1) e o 2 (CP2), ele apresenta maior massa específica. Isto se deve ao fato do CP3 apresentar maior fração mássica de fibra, que é mais densa que a resina, no compósito polimérico.

Tabela 3. Desvios padrões das dimensões, volume e massa específica média dos corpos de prova confeccionados

Massa específica média (g/cm ³)	1,35
Desvio padrão do comprimento	2,36
Desvio padrão da espessura	0,032
Desvio padrão do volume	0,264
Desvio padrão da massa específica	0,307

No que diz respeito aos *tabs*, estes foram retirados propositalmente do CP3 como forma de estudo das concentrações de tensões geradas próximas a garra da máquina de ensaio de tração, o que explica o motivo pelo qual a Tab. 2 não expõe o valor para o comprimento dos *tabs* no CP3. Para os demais corpos de prova (CP1 e CP2), os *tabs* foram, neste caso, simulados com uma dobra das extremidades do corpo, com intuito de gerar maior espessura na região de fixação das garras e evitar

concentradores de tensão e, portanto, assegurar a ruptura em regiões mais próximas ao centro da amostra, seja por falha interlaminar ou intralaminar.

Este método alternativo para a simulação dos *tabs* foi utilizado, pois o uso de fibra de vidro para a confecção dos *tabs* (conforme recomendado pela norma ASTM D3039) nos corpos de prova conferia difícil fabricação e previsão da interface fibra de carbono/fibra de vidro, levando-se em conta a tensão de cisalhamento gerada pela garra da máquina de ensaio nessa região. Foi analisado que a fabricação de corpos de prova com dois componentes de reforço (fibra de carbono e fibra de vidro para os *tabs*) exige um maior controle e qualidade no processo de fabricação. Tal fato pôde ser visto na colagem entre as superfícies feitas de fibra de carbono e de vidro, que pode não gerar componente resultante adequado para os ensaios, já que resina não consegue ligar os dois componentes. O modo correto seria então utilizar apenas uma matriz com apenas um processo de cura, gerando assim uma interação maior e suficiente para que a garra possa tracionar o corpo de prova sem gerar uma força de cisalhamento que venha a separar tais matrizes.

Dessa forma, fez-se uso do próprio material da fibra de carbono para cumprir o papel dos *tabs*, facilitando os procedimentos de fabricação e sem perda considerável de desempenho. Os experimentos permitiram inferir que o dobro da espessura do corpo de prova nas extremidades foi o suficiente para que o corpo de prova se portasse bem, dentro de um bom desempenho no ensaio. A norma ASTM D3039 recomenda o uso de 7° ou 90° para o ângulo de inclinação dos *tabs* em relação a superfície do corpo de prova. Para o método utilizado neste trabalho optou-se pelo ângulo de 90°.



Figura 6. Confecção de corpo de prova: fibra de carbono/epóxi com extremidades dobradas para a simulação dos *tabs*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Levantamento da Fração Volumétrica e Mássica dos Compósitos Confeccionados

Foram utilizadas as frações mássicas de fibra de aproximadamente 62,5%, 60% e 67,7% para os corpos de prova 1, 2 e 3, respectivamente. Através de tais frações, foi possível calcular a fração volumétrica, dada por V_f , de cada corpo de prova estudado, conforme demonstrado na Eq. (1), onde W_f , representa a fração mássica, ρ_c e ρ_f representam a densidade do compósito e da fibra, respectivamente.

$$V_f = \frac{\rho_c}{\rho_f} W_f \quad (1)$$

O processo de cura ocorreu à temperatura ambiente, com aplicação de pesos acima da superfície dos espécimes, a fim de firmar a resina sobre a fibra. No que diz respeito à fração volumétrica crítica de fibra, V_{crit} , pode-se escrever segundo a Eq. (2), que envolve os parâmetros $\hat{\sigma}_f$ e $\hat{\sigma}_m$, tensão de ruptura das fibras e tensão máxima atuante na matriz polimérica, respectivamente, bem como os módulos de elasticidade da matriz E_m e fibra E_f .

$$V_{crit} = \frac{\hat{\sigma}_m - \hat{\sigma}_f \left(\frac{E_m}{E_f} \right)}{\hat{\sigma}_f \left(1 - \frac{E_m}{E_f} \right)} \quad (2)$$

Os valores expressos na Tab. 4 nos mostra que os valores obtidos para as frações volumétricas críticas de fibra para os compósitos poliméricos fabricados estão na faixa de valores pouco maiores que 6% e menores que 9%. No entanto, como regra geral, frações volumétricas críticas de fibra para compósitos poliméricos reforçados são utilizadas na variação entre 40% a 70%, como afirmado por Tita (2006).

Tabela 4. Frações de fibra para os corpos de prova confeccionados

Parâmetros de Medição	Corpo de Prova 1	Corpo de Prova 2	Corpo de Prova 3
Fração Mássica de fibra, W_f (%)	62,5	60	67,70
Fração Volumétrica de fibra, V_f (%)	60	57,70	65
Fração Volumétrica Crítica, V_{crit} (%)	6,20	7,05	8,50

3.2. Levantamento das Propriedades Mecânicas

O resultado do ensaio forneceu gráficos com curvas tensão-deformação para cada corpo de prova ensaiado, conforme ilustrado nas Fig. 7a, Fig. 7b e Fig. 7c. Os gráficos demonstram os corpos de prova 1, 2 e 3 como CP1, CP2 e CP_test, respectivamente. Através destes, foi possível analisar que o primeiro corpo de prova, teve a maior tensão máxima aplicada (aproximadamente 1300 MPa) e módulo de elasticidade (148,61 GPa), seguido pelo segundo corpo de prova, que teve uma resistência à tração máxima um pouco superior a 1200 MPa e módulo de Young não superior a 135 GPa. Por último, o terceiro corpo de prova que, apesar de apresentar maior fração volumétrica, foi ensaiado sem adição de *tabs*, o que favoreceu o acontecimento da falha de forma mais precoce, como já esperado.

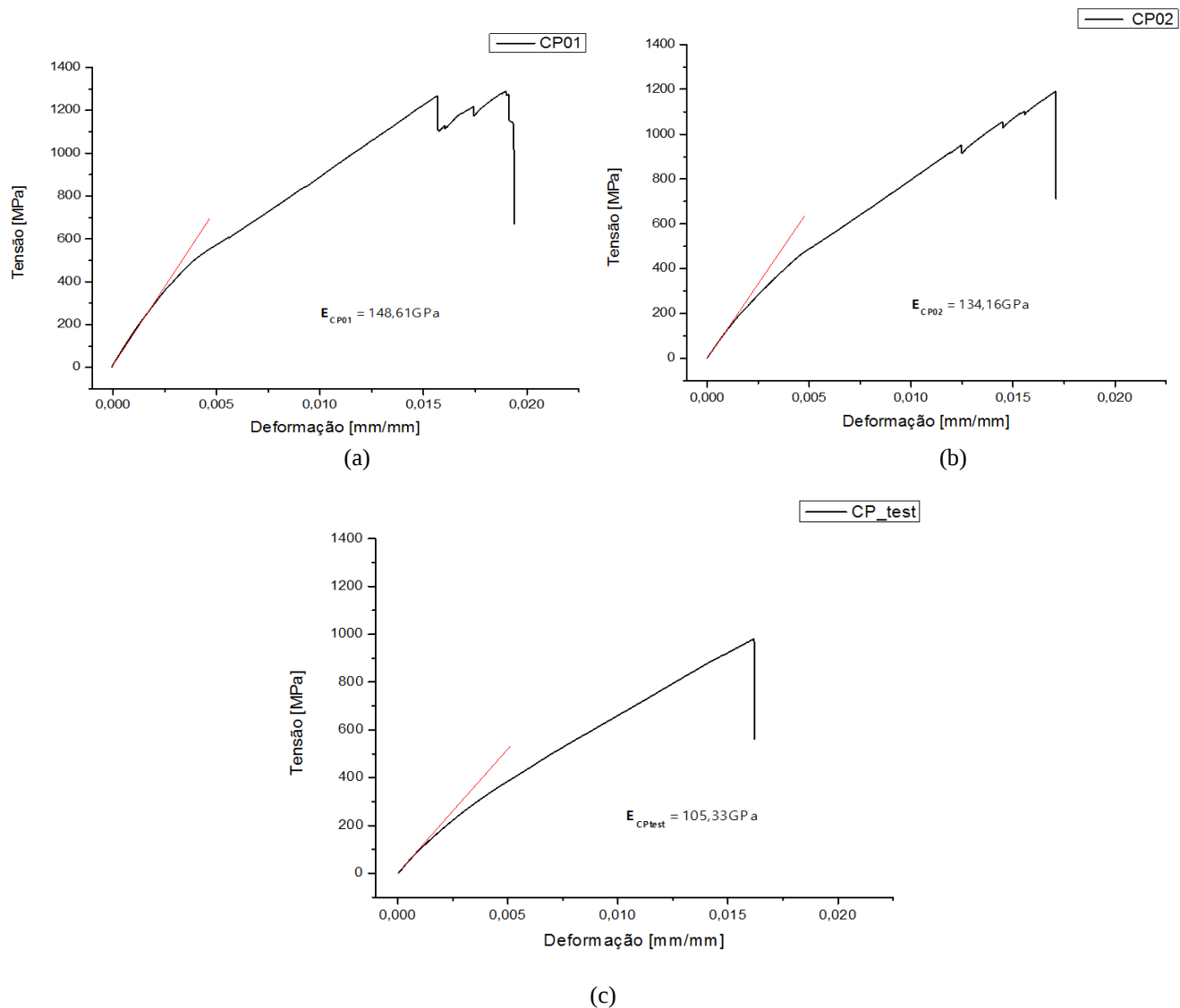


Figura 7. Curva tensão-deformação para os corpos de prova: (a) 1; (b) 2; (c) 3.

Salienta-se que tais módulos levantados pelo ensaio se referem aos módulos longitudinais referente ao esforço de tração aplicada, e que tal módulo pode ser expresso por valores teóricos através da Regra das Misturas, como mostrado na Eq. (3). E_f , E_m e V_f representam o módulo de elasticidade da fibra, da matriz e a fração volumétrica da fibra, respectivamente.

$$E_1 = E_f V_f + E_m (1 - V_f) \quad (3)$$

Tais valores obtidos por essa regra, no entanto, são valores aproximados, uma vez que tal análise faz-se necessário, segundo mostrado por Tita (2006), o levantamento de hipóteses tais como que a lâmina é linear elástica e não possui tensões internas, as fibras são uniformes, a matriz é homogênea, há ausência de vazios nos compósitos poliméricos, bem como que a interface é infinitamente fina, podendo ser desconsiderada nos cálculos.

Calculou-se os módulos de elasticidade transversal, representado abaixo por E_2 , para cada corpo de prova ensaiado usando-se a análise micromecânica da Regra das Misturas, que permite encontrar valores teóricos de tal módulo através da Eq. (4) abaixo, com as mesmas variáveis descritas na Eq. (3).

$$E_2 = \left(\frac{V_f}{E_f} + \left(\frac{1-V_f}{E_m} \right) \right)^{-1} \quad (4)$$

Com os dados obtidos, fez-se então a comparação com aqueles apresentados na norma ASTM D3039, como mostrado na Tab. 5.

Tabela 5. Propriedades mecânicas dos corpos de prova em comparação com a norma ASTM D3039.

Propriedades Mecânicas	Corpo de Prova 1	Corpo de Prova 2	Corpo de Prova 3	Corpo de Prova (ASTM 3039)
Módulo de Elasticidade Longitudinal, E_1 (GPa)	148,61	134,16	105,33	130
Módulo de Elasticidade Transversal, E_2 (GPa)	3,52	3,71	4,23	2
Resistência à Tração Longitudinal, σ_1 (MPa)	1300	1200	1000	1721

3.3. Comportamento mecânico dos corpos de prova

Os ensaios realizados resultaram em três formas distintas de falhas de laminados. A Figura 8 mostra o momento da falha do primeiro corpo de prova ensaiado, que resultou em uma combinação de dois modos típicos de falha em compósitos poliméricos submetidos sobre teste de tração.



Figura 8. Instante da ruptura do corpo de prova 1 (CP1).

A norma ASTM D3039 padroniza as falhas típicas de laminados de compósitos poliméricos sobre um teste mecânico de tração. Na Figura 9a, 9b e 9c, mostram-se as três falhas ocorridas sobre os corpos de prova testados. No CP1, a falha ocorreu

pela combinação das falhas mostrada na Fig. 9b e 9c, que são denominadas pela norma americana como multimodo (xyz) e explosiva, respectivamente. Para o CP2, ocorreu apenas a falha multimodo (Fig. 9b), enquanto o CP3, falhou na parte superior do corpo (conforme a Fig. 9a), próximo a garra da máquina de ensaio.

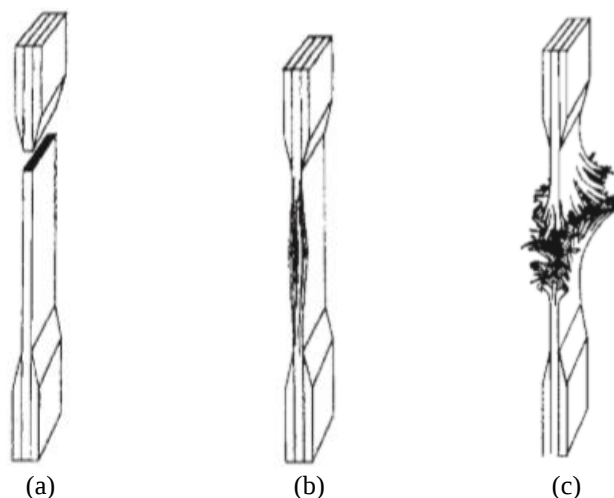


Figura 9. Falhas ocorridas nos corpos de prova: (a) 3, (b) 2, (a) e (c) 1 (Norma ASTM D3039).

4. CONCLUSÕES

Por meio das propriedades mecânicas levantadas dos corpos de prova ensaiados, pôde-se constatar que fatores como fração volumétrica, fração mássica, processo de fabricação de compósitos, número de camadas de fibra, bem como o controle das condições do ambiente durante o processo de cura, são algumas das medidas que interferem diretamente nas propriedades mecânicas do laminado. Deve-se levar em conta também a importância da adição de *tabs* nos espécimes, com intuito de evitar concentração de tensão e ruptura na região das garras da máquina de ensaio, como visto pelo terceiro corpo de prova testado.

Comparando-se os resultados obtidos com os dados provenientes da norma ASTM D3039, o primeiro e segundo corpos de prova obtiveram maior módulo de elasticidade longitudinal e transversal, porém menor resistência à tração, o que pode inferir que houve menor deformação máxima para os espécimes testados em comparação com o da norma americana.

No que diz respeito a técnica de fabricação hand lay-up, esta apresentou aspectos bastante positivos e resultados satisfatório para os corpos de prova fabricados que, apesar de terem sido impregnados em resina sob condições de pressão e temperatura, assim como umidade, ambiente, se comportaram mecanicamente bem durante os ensaios mecânicos de tração. Apesar disso, é também verdade que um processo de fabricação mais refinado, com melhor controle dos fatores externos, proporcionará em uma impregnação mais homogênea, sem bolhas ou vazios, resultando em laminados mais confiáveis em suas propriedades mecânicas.

5. REFERÊNCIAS

- American Society for Testing and Materials, 1995, "Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials", Inf. Téc. D 3039/ D 3039M – 95a, American Society for Testing and Materials, pp. 1-10.
- Callister, W. D., 2002, "Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada". Rio de Janeiro: LTC, pp. 365-371
- Callister., W.D., 1985, "Materials science and engineering", New York: John Wiley, 622p.
- Flinn, R. A.; Trojan, P. K., 1994, "Engineering Materials and Their Applications", 4th edition, 650p.
- Freire, Estevão; Monteiro, Elisabeth E. C.; Cyrino, Julio C. R., 1994, "Propriedades Mecânicas de Compósitos de Polipropileno com Fibra de Vidro", Instituto de Macromoléculas, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Artigo Técnico Científico – *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 25p.
- Handbook of Composites, 1998, edited by S.T. Peters. Second Edition by Chapman & Hall, London, p. 352.
- Hussein, R.; Morsi, M., 1989, *Polym.-Plast. Technol. Eng.*, 28 (1). 55-71.
- Ribeiro, M. L., 2009, "Programa para análise de juntas coladas: compósito-compósito e metal-compósito", 163p.
- Strong, A. B., 1989, "Fundamentals of Composites Manufacturing: Materials, Methods, and Applications", SME, Dearbon, 640p.
- Tan, S. C., 1994, "Stress Concentrations in Laminated Composites", Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, 482p.

- Tita, V., 2003, "Contribuição ao estudo de danos e falhas progressivas em estruturas de material compósito polimérico", 193 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003, pp. 9-13; 51-55.
- Tita, V., 2006, "Projeto e Fabricação de Estruturas em Material Compósito Polimérico", Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006, pp. 3-7; 18-21.
- Vinson, JR; Chou, T., 1975, "Composite materials and their use in structures", Applied Sci. Publishers Ltd., London, 438p.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STUDY OF STANDARDS AND OBTAINMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS FABRICATED BY HAND LAY-UP IMPREGNATION METHOD

Samuel Filgueira da Silva, samuelfilgueirads@gmail.com¹

Raimundo Nonato Calazans Duarte, raimundo.duarte@ufcg.edu.br¹

Hudson Medeiros de Almeida Cardins, hudsoncardins@gmail.com¹

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Departamento de Engenharia Mecânica – DEM, 882 Aprígio Veloso St., Zip Code: 58429-900 – Campina Grande, PB.

Abstract: *The application of polymeric composite materials technology, over a wide coverage of engineering fields, has shown as an important step for the modern engineering due to its high performance, resistance and toughness, as well as low density. Although composites could be projected for high efficiency structures and be able to adapt to the functional project behaviors, their heterogeneous composition (anisotropy) generate difficulties in mechanical behavior predictions and if the composite could support such loads. One of the methods to evaluate how these type of materials behaves during loading is through simulation and mechanical testing procedures. This study analyzes the mechanical behavior of specimens of carbon fiber reinforced by epoxy resin. The polymeric composite laminates used in this study were longitudinal and unidirectional oriented (0°), fabricated by hand lay-up impregnation technique. The obtainment of mechanical properties, such as longitudinal and transversal elasticity modulus, maximum tensile resistance, maximum strain, Poisson quotient etc., was developed through tensile testing in a universal testing machine and analysis of the rule of mixtures application to the studied laminate. The evaluation of such results aims the comparison of the obtained data with the ASTM 3039 standards, and how efficient can be the hand lay-up fabrication, with no pressure, temperature, and humidity control, in respect with the mechanical properties.*

Keywords: *polymeric composite materials, carbon fiber, epoxy resin, tensile testing, manual impregnation, mechanical properties.*