

INFLUÊNCIA DA HIBRIDIZAÇÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS EM COMPÓSITOS ORIENTADOS À $\pm 45^\circ$

Giovanni Barbosa da Costa¹

Cássio Lannyego Pascoal de Oliveira Costa²

Glória Maria Leite Carlos³

Ana Claudia de Melo Caldas Batista⁴

^{1, 2, 3, 4} Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA),

Avenida Universitária Leto Fernandes, km 1, Caraúbas-RN, CEP: 59.780-000

¹giovanni.costa@alunos.ufersa.edu.br

²cassiolannyego@gmail.com

³glorinhaleite@live.com

⁴ana.batista@ufersa.edu.br

Resumo: No que se refere aos materiais destinados à engenharia, é perceptível um crescente aumento na busca por aprimorar ou desenvolver novos elementos, isso se dá em virtude da necessidade em atender os anseios da manufatura moderna que carece de materiais mais leves e que possuam alto desempenho estrutural. Sendo assim, os compósitos poliméricos, sejam eles híbridos ou não-híbridos, são uma excelente alternativa para cumprir as exigências dos processos atuais de manufatura, isso em virtude de apresentarem características específicas obtidas devido a escolha dos materiais envolvidos na sua confecção. Diante disso, esta pesquisa tem como objetivo estudar as propriedades mecânicas, bem como, a influência da hibridização em três laminados compósitos, híbridos e não-híbridos, com suas fibras orientadas à $\pm 45^\circ$. Possuindo os compósitos a resina polimérica epóxi como matriz e como reforço foram utilizados: tecido plano de fibra de vidro (laminado não híbrido); a combinação do tecido de fibra de vidro e tecido de fibra de aramida (laminado híbrido); e a combinação do tecido de fibra de vidro e de fibras de carbono (laminado híbrido). Os compósitos foram confeccionados pelo processo Hand Lay-up, em seguida os corpos de prova foram preparados baseados na norma ASTM D3039 (2017). Outro ensaio considerado foi o de densidade volumétrica, obedecendo o que determina a norma ASTM D792 (2008). Após a realização do ensaio de tração uniaxial, tem-se que, o compósito híbrido (carbono-vidro) apresentou valor de $(69,87 \pm 1,45)$ MPa para tensão de projeto, representado um ganho de 44,4% e 43,6% sobre o laminado não-híbrido (vidro) e híbrido (aramida/vidro) respectivamente. Com relação a deformação de projeto o compósito (carbono/vidro), cujo valor obtido foi $(2,63 \pm 0,11)\%$, mais uma vez, se sobressaiu dos demais compósitos ensaiados. Pelo ensaio de densidade constatou-se que ambos compósitos híbridos são mais leves que o não-híbrido. Com os resultados dos ensaios, comprova-se que a aplicação da técnica da hibridização nos compósitos (carbono/vidro) e (aramida/vidro) é eficiente e viável, pois essa técnica proporcionou ganhos nas propriedades mecânicas desses laminados em relação ao compósito de vidro (não-híbrido).

Palavras-chave: Compósitos híbridos; Carbono; Aramida; Vidro.

1. INTRODUÇÃO

É notável que o ser humano está em uma constante busca por evolução, isso é perceptível, principalmente, devido ao avanço tecnológico. No quesito de materiais estruturais, Callister e Rethwisch (2020) expressam que esse avanço exige combinações incomuns de materiais que infelizmente as ligas metálicas e materiais cerâmicos convencionais não podem atender.

Uma alternativa para suprir esse anseio por materiais estruturais é a utilização de compósitos. Segundo Askeland e Wright (2019) os materiais compósitos são produzidos quando dois ou mais materiais, ou fases, são utilizados em conjunto com intuito de adquirir, dessa combinação, propriedades que não podem ser alcançadas de outra maneira. Qin e Ye (2015) complementam relatando que, cada material constituinte do compósito pode apresentar particularidades distintas, por exemplo, propriedades mecânicas, elétricas, térmicas e químicas.

De acordo com Aquino *et al.* (2007) uma técnica que pode ser utilizada para melhorar as propriedades mecânicas do compósito a ser fabricado é a hibridização. Hine *et al.* (2017) salientam que, a utilização da técnica da hibridização é crescente e isso, segundo os autores, é em virtude da exigência de uma série de setores industriais, por exemplo, setor automotivo que necessita de materiais leves e resistentes ao impacto.

Destaca-se que vários autores vêm pesquisando a influência da hibridização nas propriedades mecânicas de compósitos poliméricos híbridos, sejam eles de fibras sintéticas (Kureemun *et al.*, 2018; Sebaey e Wagih, 2019), fibras naturais (Jawaid *et al.*, 2010; Sathish *et al.*, 2015; Rajesh *et al.* 2016) ou fibras naturais/sintéticas (Yahaya *et al.*, 2016; Ramasamy *et al.*, 2021).

Sendo assim, essa pesquisa desenvolveu dois compósitos híbridos e um não-híbrido, com reforços de tecidos de fibras de carbono, aramida e vidro, arrançados de maneira estratégica e alinhados na direção de $\pm 45^\circ$ (no sentido do carregamento de tração). Cada um dos compósitos contém quatro camadas de tecido, sendo organizados do seguinte modo: híbridos (aramida/vidro) e (carbono/vidro), já o não-híbrido possui todas as quatro camadas de fibra de vidro. O intuito deste estudo é verificar, após ensaio de tração uniaxial seguindo a norma ASTM D3039 (2017), as propriedades mecânicas destes compósitos e analisar a influência da hibridização, podendo assim colaborar com estudos já existentes na área de materiais compósitos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de confecção dos laminados híbridos e não-híbridos se deu pela técnica de modelagem manual (*Hand Lay-up*). Para confeccionar a matriz dos compósitos foi escolhida a resina termofixa Epóxi 2001 juntamente com o endurecedor Epóxi 3154, ambos do fabricante Redelease®, já os tecidos utilizados como reforços para os compósitos foram os seguintes:

- Tecido bidirecional 1x1 de fibra de vidro/E;
- Tecido bidirecional de fibra de aramida Twaron D2200;
- Tecido tipo sarja 2x2 de fibra de carbono HTS40.

As três placas foram preparadas, cada uma, com quatro camadas de tecidos, duas delas sendo híbridas e uma não-híbrida. A disposição e composição das placas se deu do seguinte modo:

- Placa 1 (não-híbrida): Possui quatro camadas de tecido de fibra de vidro/E;
- Placa 2 (híbrida): Dispõe de quatro camadas, sendo duas camadas (região interna) compostas por tecido de fibra de vidro/E, e as outras duas camadas (região externa) de tecido de fibra de aramida (Twaron D2200);
- Placa 3 (híbrida): Composta por quatro camadas, possui duas camadas de tecido de fibra de carbono (HTS40) na região externa e duas camadas de tecido de fibra de vidro/E na região interna.

Foram preparados 10 corpos de provas (CPs) de cada laminado, totalizando 30 CPs, todos com a angulação de $\pm 45^\circ$ e padronizados com o que determina a norma ASTM 3039 (2017) para teste de tração uniaxial para materiais compósitos de matriz. Em conformidade com essa norma, os CPs para serem considerados válidos e possam ser ensaiados, devem possuir largura igual a 25 mm, com tolerância de $\pm 0,25$ mm. O comprimento útil, comumente conhecido por galgo, utilizado foi de 127 mm. Para se obter essa precisão dimensional, após o corte dos laminados, folhas de lixa d'água em lixamento úmido com gramatura variando de 100, 220, 400, 600, 1000 e 1200 foram utilizadas.

O Quadro 1 apresenta a nomenclatura considerada nesta pesquisa para cada compósito.

Quadro 1. Nomenclatura dos compósitos confeccionados (Autoria própria, 2022)

Especificação	Descrição
$C_V^{\pm 45^\circ}$	Corpo de prova do compósito não-híbrido constituído de resina epóxi e 4 camadas de tecido de fibra de vidro, cortados com angulação de $\pm 45^\circ$
$C_{AV}^{\pm 45^\circ}$	Corpo de prova híbrido constituído de resina epóxi e 2 camadas (região interna) por tecido de fibra de vidro/E, e 2 camadas (região externa) de tecido de fibra de aramida (Twaron D2200), cortados com angulação de $\pm 45^\circ$
$C_{CV}^{\pm 45^\circ}$	Corpo de prova híbrido constituído por 2 camadas de tecido de fibra de carbono (HTS40) na região externa e 2 camadas de tecido de fibra de vidro/E na região interna, cortado à $\pm 45^\circ$

Para realização do ensaio de tração, de acordo com a norma ASTM D3039 (2017), utilizou-se a máquina de ensaio universal da EMIC do modelo DL-10000 com cédula de carga de 30 KN e com uma velocidade de teste de 5 mm/min. Após a realização desse ensaio, pode-se obter os valores de tensão de ruptura (MPa), tensão de projeto (MPa), deformação total (%), deformação de projeto (%) e módulo de elasticidade (GPa) de cada compósito.

Já o ensaio de densidade foi baseado nas diretrizes estabelecidas pela norma ASTM D792 (2008), fazendo uso do método de teste padrão para densidade e gravidade específica (densidade relativa) de plásticos por deslocamento. Para o ensaio de densidade foram cortadas e utilizadas cinco amostras de cada placa de compósito (peso de 1 e 50 g) de modo a atender os requisitos da norma ASTM D792 (2008).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico será apresentado, após aferir os resultados dos ensaios, as propriedades mecânicas dos compósitos analisados nesta pesquisa, sendo elas: tensão de ruptura, tensão de projeto, deformação total, deformação de projeto, bem como, módulo de elasticidade. Salienta-se que, o módulo de elasticidade foi calculado na região elástica do material, ou

seja, antes de ser percebido um fenômeno semelhante a estrição, sendo considerado 50% dos valores das propriedades em cada corpo de prova.

3.1. Ensaio de densidade volumétrica

O ensaio de densidade volumétrica foi realizado em conformidade com a norma ASTM D792 (2008) para todos os compósitos aqui estudados. A Tab. 1 exibe os valores obtidos após o experimento.

Tabela 1. Densidade volumétrica média das amostras: $C_V^{\pm 45^\circ}$, $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$ e $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$ (Autoria própria, 2022)

DENSIDADE VOLUMÉTRICA (g/cm ³)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
$C_V^{\pm 45^\circ}$	1,67	0,007
$C_{AV}^{\pm 45^\circ}$	1,57	0,023
$C_{CV}^{\pm 45^\circ}$	1,46	0,007

Ao analisar os valores apresentados na Tab. 1, se pode afirmar que, dentre os compósitos aqui estudados o não-híbrido ($C_V^{\pm 45^\circ}$) é o que possui maior densidade volumétrica com valor de 1,67 g/cm³. Este compósito é em média 14,4% mais denso que o $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$, que aferiu valor de 1,46 g/cm³ para a densidade, sendo este o mais leve entre os CPs. Já o $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$ apresentou valor de densidade intermediário entre os CPs aqui analisados, sendo o valor igual à 1,57 g/cm³.

Vale ressaltar que, esperava-se que o laminado $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$ apresentasse valor de densidade volumétrica superior ao $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$, porém não foi o que sucedeu. Uma das possibilidades para a ocorrência desse fato é que o compósito $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$ provavelmente tenha um percentual de fibra superior ao $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$.

Bergmann *et al.*, (2015) obtiveram 1,79 g/cm³ de densidade para o compósito de fibra de vidro estudado por eles. Os autores utilizaram oito camadas, orientadas à $\pm 45^\circ$, de fibra de vidro-E com matriz confeccionada de resina epóxi PRISM® EP2400 da Cytec com termoplástico (T). O método de fabricação do compósito utilizado pelos autores foi o processo de injeção de resina, que se deu por meio de um vácuo assistido fora do autoclave.

Já Batista *et al.*, (2017) aferiram valor de densidade e respectivo desvio padrão de $(1,48 \pm 0,01)$ g/cm³ para os CPs preparados de tecido híbrido (carbono/vidro), laminados com dez camadas e fabricados pelo processo *Hand Lay-up*, sendo utilizando como matriz a resina de poliéster ortoftálica, cujo CPs foram cortados com angulação de $\pm 45^\circ$. Targino *et al.*, (2019), por sua vez, obtiveram valor de 1,15 g/cm³ para o laminado (aramida/49 - vidro/E), destacando que eles utilizaram a mesma matriz e orientação de corte que Batista *et al.*, (2017), porém quatro camadas de tecido híbrido.

3.2. Ensaio de tração uniaxial

Após a realização do ensaio de tração uniaxial, normatizado pela ASTM D3039 (2017), os gráficos ilustrados na Fig. 1 foram plotados.

É perceptível ao analisar os gráficos ilustrados na Fig. 1 a presença de duas fases que, em conformidade com Batista *et al.* (2017), podem ser definidas como sendo:

- Fase (1): denominada de região linear, é onde se tem comportamento predominantemente à tração;
- Fase (2): região de elevada deformação (predominância do cisalhamento).

Vale salientar que, na região após denotada como fase (1), ver Fig. 1, ocorre um realinhamento das fibras no sentido do carregamento, inicia-se no corpo de prova uma redução de área (similar ao fenômeno da estrição que ocorre nos metais). Bergmann *et al.* (2015) registraram em sua pesquisa um comportamento de redução de área para diversos compósitos orientados à $\pm 45^\circ$ sob o carregamento de tração uniaxial.

Já a Figura 2 apresenta um comparativo dos gráficos da região denotada como fase (1) para os compósitos aqui estudados.

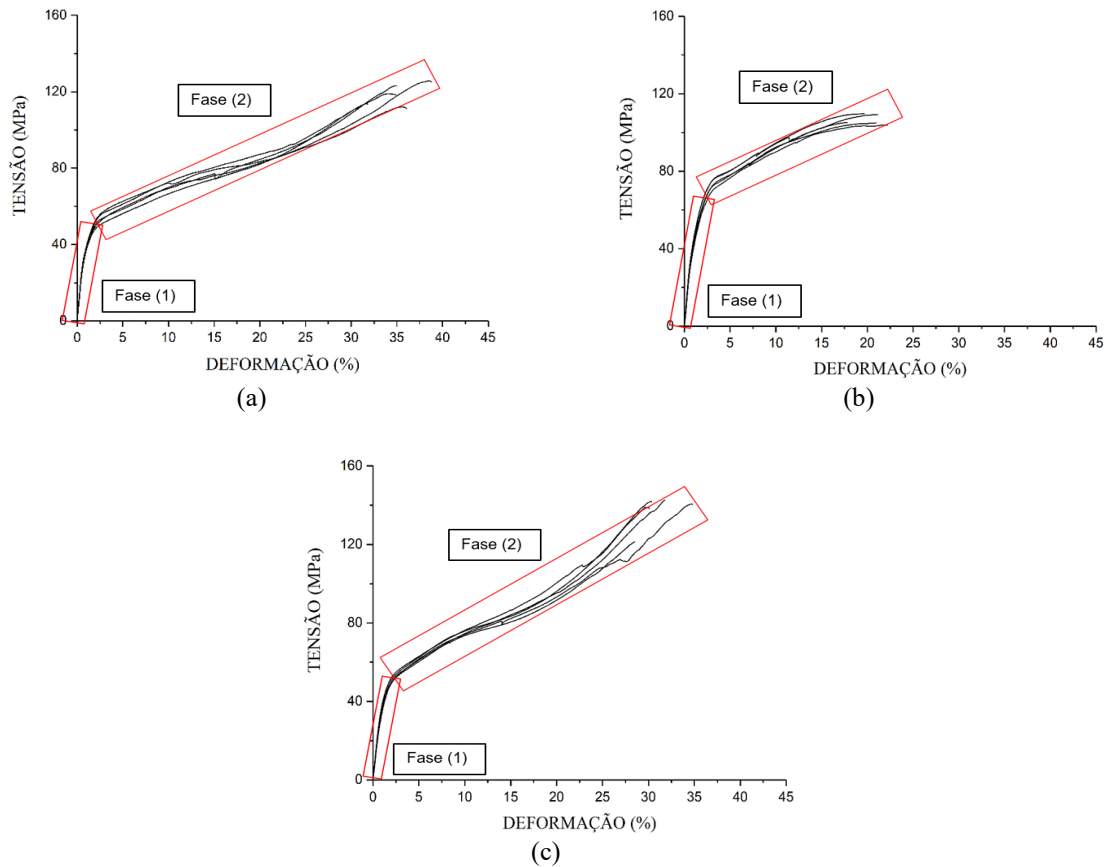


Figura 1. Ensaio de tração uniaxial (tensão x deformação) dos corpos de prova: (a) $C_V^{\pm 45^\circ}$, (b) $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$, (c) $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$ (Autoria própria, 2022)

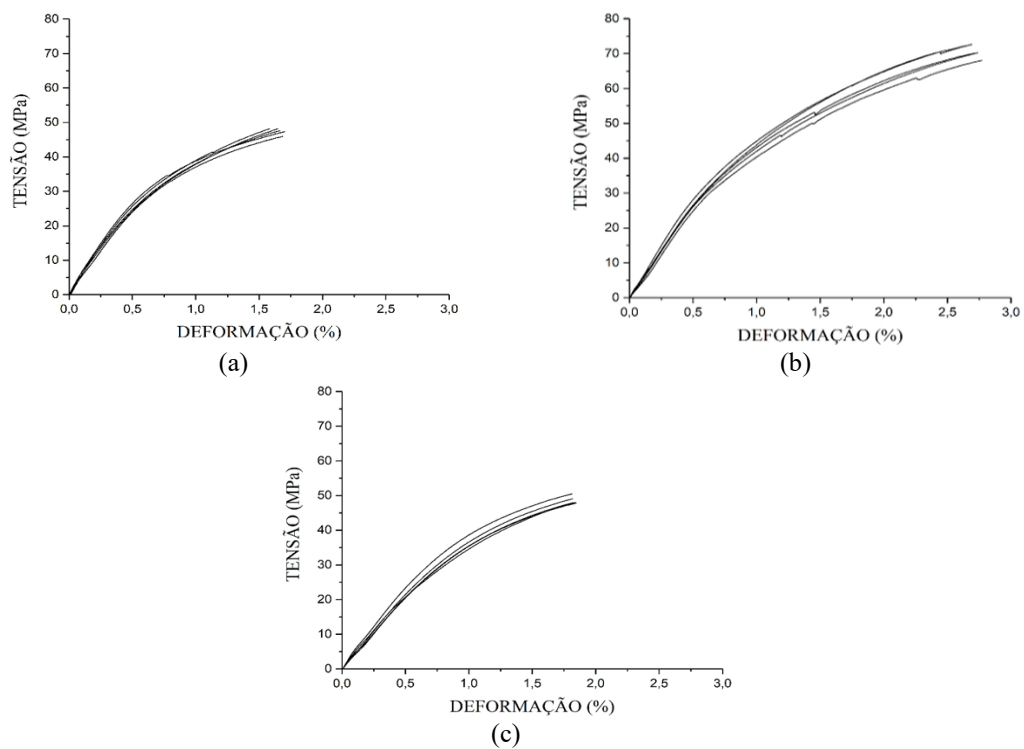


Figura 2. Gráfico tensão x deformação na região linear para os corpos de prova: (a) $C_V^{\pm 45^\circ}$, (b) $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$, (c) $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$ (Autoria própria, 2022)

A Figura 3 apresenta os valores médios da tensão de ruptura, tensão de projeto e módulo de elasticidade com seus respectivos desvios padrão.

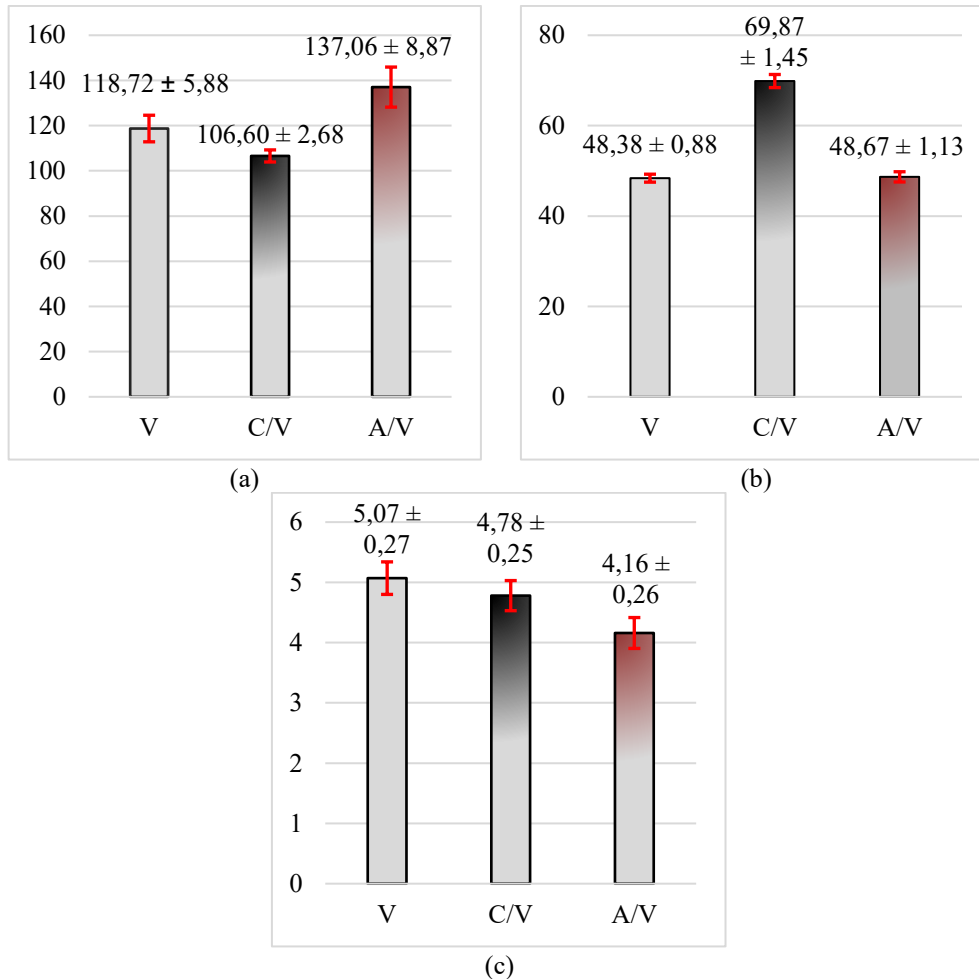


Figura 3. Comparativo entre (a) tensão de ruptura (MPa), (b) tensão de projeto (MPa) e (c) módulo de elasticidade (GPa) para os CPs: $C_V^{\pm 45^\circ}$ (V), $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$ (C/V) e $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$ (A/V), (Autoria própria, 2022)

Ao analisar a Figura (3.a), verifica-se que o compósito constituído por fibras de aramida/vidro (A/C) é o mais resistente à tração na ruptura entre os aqui estudados. Este compósito, levando em consideração o valor médio de tensão de ruptura, é cerca de 28,6% mais resistente que o $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$ e 15,4% quando comparado com o $C_V^{\pm 45^\circ}$.

Já a Figura (3.b), exibe os valores de tensão de projeto com seus respectivos desvios padrões. Essa figura aponta que a hibridização com fibra de carbono ($C_{CV}^{\pm 45^\circ}$) alcançou valor de tensão de projeto igual a (69,87 ± 1,45) MPa, sendo esse compósito 43,6% mais resistente que o $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$ que possui (48,67 ± 1,13) MPa.

O laminado (C/V) apresentou uma diferença percentual de 44,4% em confrontação com compósito de menor resistência à tração de projeto o $C_V^{\pm 45^\circ}$, cuja propriedade atingiu o valor de (48,38 ± 0,88) MPa.

A Figura (3.c) demonstra os valores obtidos para os módulos de elasticidade dos corpos de prova (V), (C/V) e A/V são (5,07 ± 0,27) GPa, (4,78 ± 0,25) GPa e (4,16 ± 0,26) GPa, respectivamente. Vale relembrar que, para calcular o módulo de elasticidade, considerou-se uma carga de 50% (aproximadamente) da tensão de projeto de cada CP ensaiado.

Ao explorar na literatura constatou-se que, Tinô e Aquino (2014) obtiveram 76,14 MPa como resultado da tensão de ruptura de um laminado compósito constituído de quatro camadas, orientadas à ±45°, de tecido de vidro/E. Tendo como matriz a resina poliéster ortoftálica (Novapol L120) e utilizando para a confecção do material de estudo o processo de laminação manual (*Hand Lay-up*).

Batista *et al.* (2017) realizaram uma pesquisa com compósito de tecido híbrido (carbono/vidro) laminado com dez camadas, utilizando como matriz a resina de poliéster ortoftálica, resultando em (129,20 ± 0,27) MPa para tensão de ruptura e (2,91 ± 0,22) GPa de módulo de elasticidade.

Já Targino *et al.* (2019) obtiveram em sua pesquisa valores de (78,07 ± 2,84) MPa e (2,20 ± 0,21) GPa para tensão última à tração e módulo de elasticidade, respectivamente. Vale enfatizar que, os autores utilizaram o processo manual

(*Hand Lay-up*) para confeccionar um laminado de tecido híbrido (kevlar/49 - vidro/E) composto por quatro camadas e tendo como matriz a resina poliéster ortoftálica (Polilyte 10316-10).

Percebeu-se ao analisar a Fig. (8.c) que o módulo de elasticidade do $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$ foi inferior ao $C_V^{\pm 45^\circ}$, contrariando o que se aguardava. Pois, o esperado é que o compósito híbrido (CV) apresentasse valor de módulo superior aos demais laminados desenvolvidos nesta pesquisa. Com isso, existem duas possíveis explicações para esse valor de módulo do $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$ ser menor, sendo elas:

- Um percentual maior de resina no compósito, o que acarreta em um módulo de elasticidade mais baixo, já que as propriedades mecânicas do laminado são em decorrência da combinação do percentual de fibra e matriz;
- À $\pm 45^\circ$ a interação entre a hibridização das camadas dos tecidos planos com as fibras de carbono com as de vidro não se mostrou boa.

A Figura 4 demonstra uma comparação entre as deformações (total e de projeto), mensuradas após ensaio de tração uniaxial.

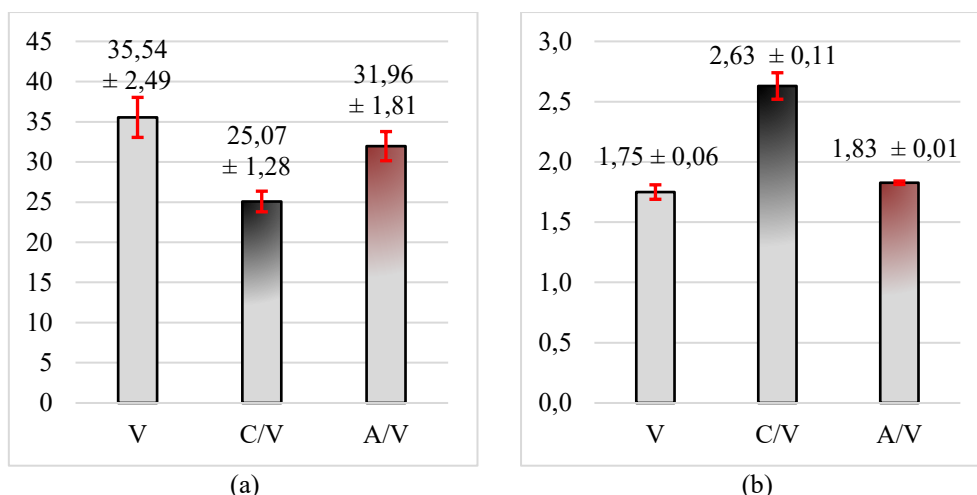


Figura 4. Comparativo entre (a) deformação total (%) e (b) deformação de projeto (%) para os CPs: $C_V^{\pm 45^\circ}$ (V), $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$ (C/V) e $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$ (A/V), (Autoria própria, 2022)

Ao analisar a Fig. (4.a), percebe-se que o compósito não-híbrido (V) e o híbrido (A/V) obtiveram valores de deformação total semelhantes, isso quando considerando o desvio padrão. Já quando se refere a deformação de projeto, Fig. (4.b), evidencia-se que a técnica da hibridização se mostrou mais uma vez eficiente, pois os compósitos híbridos ($C_{CV}^{\pm 45^\circ}$ e $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$) obtiveram valores de deformação de projeto superiores ao alcançado pelo não-híbrido ($C_V^{\pm 45^\circ}$).

O compósito híbrido $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$ apresentou, de acordo com a Fig. (4.b), a maior deformação de projeto entre os materiais pesquisados. Em comparação, o compósito (C/V) possui uma deformação de projeto, aproximadamente, 50,3% maior que o $C_V^{\pm 45^\circ}$ e 43,7% maior que $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$.

Vale destacar que, Batista *et al.* (2017) obtiveram $(23,95 \pm 0,98)\%$ de deformação total para o compósito de tecido híbrido (carbono/vidro) desenvolvido por eles. Já Targino *et al.* (2019), mensuraram uma deformação de ruptura de $(20,45 \pm 1,84)\%$ para o laminado de tecido híbrido (kevlar/49 - vidro/E) e Bergmann *et al.* (2015), por sua vez, resultaram em $(11,6 \pm 0,40)\%$ de deformação total para o compósito constituído de tecido de fibra de vidro-E e resina epóxi.

3.3. Análise de fratura macroscópica

A Figura 5 exibe uma comparação entre as fraturas macroscópicas de alguns corpos de prova dos compósitos $C_V^{\pm 45^\circ}$, $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$ e $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$, fratura essas ocasionadas em virtude do ensaio de tração uniaxial aplicado nos CPs.

Ao analisar as falhas macroscópicas dos CPs da Fig. (5.a), pode-se afirmar que CP1, CP3 e CP5 tiveram fraturas características similar ao modo LGM (lateral e no meio do galgo), já CP8 e CP4 resultaram em falhas do tipo angular e no meio do galgo (AGM), isso em conformidade com a norma ASTM D3039 (2017).

Ao analisar os CPs (carbono/vidro) fraturados, Fig. (5.b), verificou-se que eles possuem fraturas do modo AGM (angular e no meio do galgo) para CP9 e para os demais CPs (CP2, CP5, CP6 e CP8) a fratura foi similar ao modo LGM (lateral e no meio do galgo).

Já ao verificar a Fig. (5.c), constata-se que, CP9, CP7 e CP1 obtiveram fraturas com características LAT (lateral na base da lingueta da garra superior), já CP5 e CP4 foram do modo angular e no meio do galgo (AGM). Todas as análises aqui feitas foram em conformidade com a norma ASTM D3039 (2017).

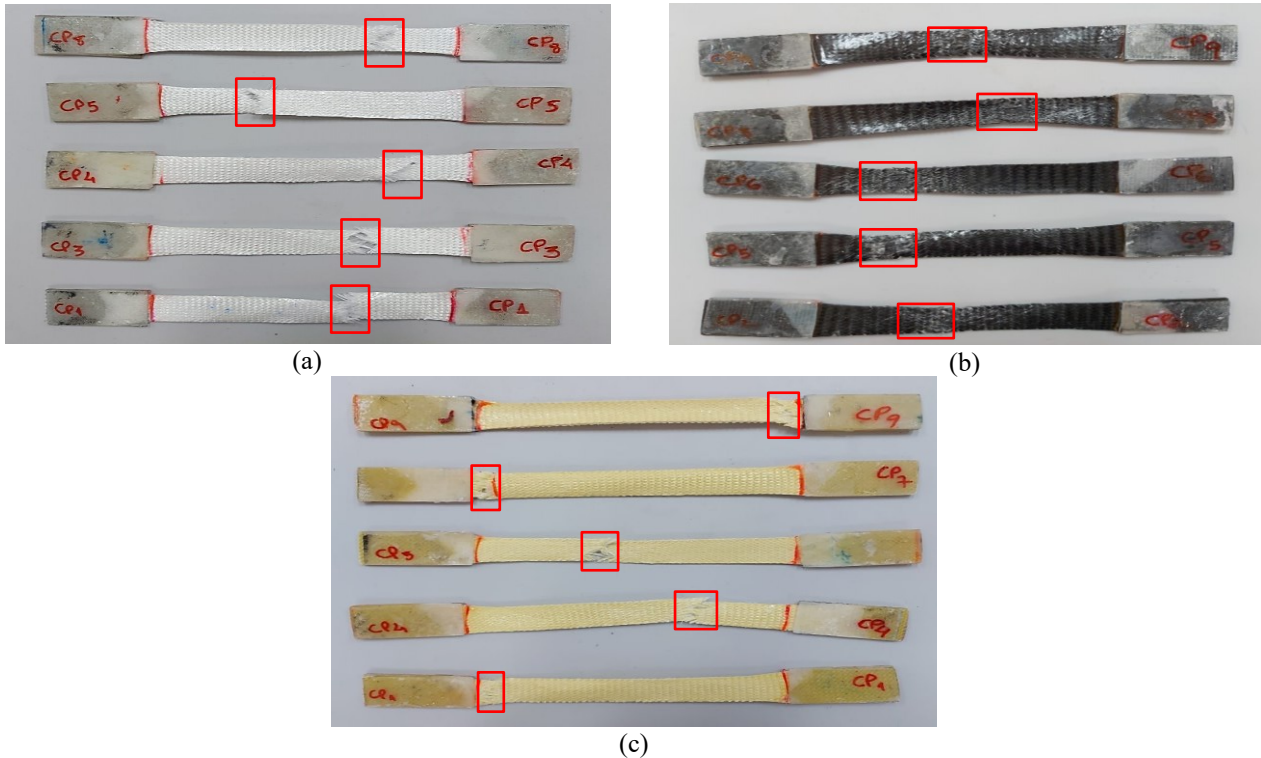


Figura 3. Comparativo entre as fraturas macroscópicas: (a) $C_V^{\pm 45^\circ}$ (b) $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$ e (c) $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$ (Autoria própria, 2022)

Destaca-se que, Bergmann *et al.* (2015) em sua pesquisa com compósito confeccionado de tecido de fibra de aramida (HM) e matriz epóxi, verificaram falhas semelhantes às observadas na Fig. (5.c). Targino *et al.* (2019), por sua vez, constatarem em seu estudo que o compósito, desenvolvido por eles, constituído de quatro camadas de fibra de vidro-E e resina poliéster ortoftálica, produzido pelo processo *Hand Lay-up*, obtiveram fraturas de modo LGM (lateral e no meio do galgo), assim como o visto na Fig. (5.a).

4. CONCLUSÕES

Após avaliação dos resultados dos ensaios de tração uniaxial e densidade volumétrica, constatou-se que, quando comparado com o laminado não-híbrido de fibra de vidro/E, o uso da técnica da hibridização em camadas apresentou excelentes benefícios às propriedades mecânicas (tensão de projeto e deformação de projeto) para o laminado (carbono/vidro) e valores razoáveis para o compósito (aramida/vidro). Porém, em termos de módulo de elasticidade, a hibridização não apresentou ganhos efetivos para os compósitos híbridos sobre o não-híbrido.

Após ensaio de densidade volumétrica, constatou-se que o compósito não-híbrido ($C_V^{\pm 45^\circ}$) é o mais denso ($1,67 \pm 0,007$) g/cm³, já o compósito híbrido $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$ ($1,46 \pm 0,007$) g/cm³ é o mais leve. Verificou-se também, após análise do gráfico tensão x deformação que consta na Fig. 2, que a hibridização $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$ apresentou um ganho de resistência à tensão de projeto de 44,4% sobre o compósito não-híbrido, já o $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$ apresentou 0,6% de ganho sobre o $C_V^{\pm 45^\circ}$.

No que se refere a deformação total, verificou-se que o compósito $C_V^{\pm 45^\circ}$ é o que possui maior deformação total, sendo 11,2% maior que $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$ e 41,8% que $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$. Já na deformação de projeto, os efeitos da hibridização se mostraram significativos quando confrontado com o compósito não-híbrido, com as seguintes diferenças percentuais: ($C_{CV}^{\pm 45^\circ} > 50,3\%$ $C_V^{\pm 45^\circ}$) e ($C_{AV}^{\pm 45^\circ} > 4,6\%$ $C_V^{\pm 45^\circ}$).

Ao analisar os resultados dos módulos de elasticidade verificou-se que a hibridização não acrescentou ganhos aos compósitos híbridos quando comparados com o não-híbrido. O $C_V^{\pm 45^\circ}$ se sobressaiu dos laminados híbridos com as seguintes diferenças percentuais: ($C_V^{\pm 45^\circ} > 21,9\%$ $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$) e ($C_V^{\pm 45^\circ} > 6,1\%$ $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$).

Por fim, constatou-se que todas as fraturas macroscópicas analisadas nos corpos de prova ocorreram dentro do comprimento útil (galgo), as fraturas que ocorreram nos compósitos $C_V^{\pm 45^\circ}$ e $C_{CV}^{\pm 45^\circ}$ foram do modo AGM e LGM e as do laminado $C_{AV}^{\pm 45^\circ}$ foram do tipo LAT e AGM.

5. REFERÊNCIAS

- Aquino, E. M. F., Sarmiento, L. P. S., Oliveira, W. e Silva, R. V., 2007. *Moisture Effect on Degradation of Jute/Glass Hybrid Composites*. Journal Of Reinforced Plastics And Composites, v. 26, n. 2, p. 219-233.
- Askeland, D. R. e Wright, W. J., 2019. *Ciência e engenharia dos materiais* – Tradução da 4ª edição norte-americana. Cengage Learning Brasil.
- ASTM D792, 2008. *Standard Test Method for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D3039, 2017. American Society for Testing and Materials. *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*.
- Batista, A.C.M.C., Tinô, S.R.L., Fontes, R.S., Nóbrega, S.H.S. e Aquino, E.M.F., 2017. *Anisotropy and holes in epoxy composite reinforced by carbon/glass and carbon/aramid hybrid fabrics: experimental and analytical results*. Composites Part B: Engineering, v. 125, p. 9-18.
- Bergmann, T., Heimbs, S. e Maier, M., 2015. *Mechanical properties and energy absorption capability of woven fabric composites under $\pm 45^\circ$ off-axis tension*. Composite Structures, v. 125, p. 362-373.
- Callister, W. D. Jr. e Rethwisch, D. G., 2020. *Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução*. Grupo GEN, 2020.
- Hine, P.J., Bonner, M.J., Ward, I.M., Swolfs, Y. e Verpoest, I., 2017. *The influence of the hybridisation configuration on the mechanical properties of hybrid self reinforced polyamide 12/carbon fibre composites*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v. 95, p. 141-151.
- Jawaid, M., Khalil, H. P. S. A., Khanam, P. N., e Bakar, A. Abu., 2010. *Hybrid Composites Made from Oil Palm Empty Fruit Bunches/Jute Fibres: water absorption, thickness swelling and density behaviours*. Journal Of Polymers And The Environment, v. 19, n. 1, p. 106-109.
- Kureemun, U., ravandi, M., Tran, L.Q.N., Teo, W.S., Tay, T.E. e Lee, H.P., 2018. *Effects of hybridization and hybrid fibre dispersion on the mechanical properties of woven flax-carbon epoxy at low carbon fibre volume fractions*. Composites Part B: Engineering, v. 134, p. 28-38.
- Qin, Qinghua e Ye, Jianqiao, 2015. *Toughening mechanisms in composite materials*. Elsevier, Woodhead Publishing.
- Rajesh, M., Pitchaimani, J. e Rajini, N. 2016. *Free Vibration Characteristics of Banana/Sisal Natural Fibers Reinforced Hybrid Polymer Composite Beam*. Procedia Engineering, v. 144, p. 1055-1059.
- Ramasamy, Muthukumar, Daniel, Ajith Arul, Nithya, M., Kumar, S. e Sathees, Pugazhenth, R. 2021. *Characterization of natural – Synthetic fiber reinforced epoxy based composite – Hybridization of kenaf fiber and kevlar fiber*. Materials Today: Proceedings, v. 37, p. 1699-1705.
- Sebaey, Ta e Wagih, Ahmed, 2019. *Flexural properties of notched carbon–aramid hybrid composite laminates*. Journal Of Composite Materials, v. 53, n. 28-30, p. 4137-4148.
- Sathish, P., Kesavan, R., Ramnath, B. Vijaya e Vishal, C., 2015. *Effect of Fiber Orientation and Stacking Sequence on Mechanical and Thermal Characteristics of Banana-Kenaf Hybrid Epoxy Composite*. Silicon, v. 9, n. 4, p. 577-585.
- Targino, T. G., Tinô, S. R. L. e Aquino, E. M. F., 2019. *Anisotropy, hole, and hybridization influences in polyester polymer composites reinforced by glass and glass/Kevlar*. Polymer Composites, v. 40, n. 12, p. 4669-4681.
- Tinô, S. R. L. e Aquino, E. M. F., 2014. *Fracture characteristics and anisotropy in notched glass fiber reinforced plastics*. Materials Research, v. 17, n. 6, p. 1610-1619.
- Yahaya, R., Sapuan, S.M., Jawaid, M., Leman, Z. e Zainudin, E., 2016. *Effect of fibre orientations on the mechanical properties of kenaf–aramid hybrid composites for spall-liner application*. Defence Technology, v. 12, n. 1, p. 52-58.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

INFLUENCE OF HYBRIDIZATION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITES ORIENTED AT $\pm 45^\circ$

Giovanni Barbosa da Costa¹

Cássio Lannyego Pascoal de Oliveira Costa²

Glória Maria Leite Carlos³

Ana Claudia de Melo Caldas Batista⁴

^{1,2,3,4} Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA),
Avenida Universitária Leto Fernandes, km 1, Caraúbas-RN

¹giovanni.costa@alunos.ufersa.edu.br

²cassiolannyego@gmail.com

³glorinhaleite@live.com

⁴ana.batista@ufersa.edu.br

Abstract. With regard to materials intended for engineering, It's a noticeable growing increase in the search to improve or develop new elements, this is due to the need to meet the desires of modern manufacturing that lacks lighter materials that have high structural performance. Thus, polymeric composites, whether hybrid or non-hybrid, are an excellent alternative to meet the requirements of current manufacturing processes, this by virtue of presenting specific characteristics obtained due to the choice of materials involved in their confection. In view of this, this research aims to study the mechanical properties, as well as the influence of hybridization in three composite laminates, hybrid and non-hybrid, with their fibers oriented at $\pm 45^\circ$. With the composites having epoxy polymeric resin as a matrix and as reinforcement, the following were used: fiberglass flat fabric (non-hybrid laminate); the combination of fiberglass fabric and aramid fiber fabric (hybrid laminate); and the combination of fiberglass and carbon fiber fabric (hybrid laminate). The composites were made by the Hand Lay-up process, then the specimens were prepared based on the standard ASTM D3039 (2017). Another test implemented was the volumetric density, obeying what determines in the ASTM D792 (2008) standard. After performing the uniaxial tensile test, one has that, the hybrid composite (carbon-glass) showed a value of $(69,87 \pm 1,45)$ MPa for design stress, representing a gain of 44,4% and 43,6% on the non-hybrid (glass) and hybrid (aramid/glass) laminate respectively. Regarding the design deformation, the composite (carbon/glass), whose value obtained was $(2,63 \pm 0,11)\%$, once again, stood out from the others tested. By the density test it was found that both hybrid composites are lighter than the non-hybrid. With the results of the tests, it is proved that the application of the hybridization technique in composites (carbon/glass) and (aramid/glass) is efficient and viable, as this technique provided gains in some mechanical properties of these laminates in relation to the composite glass (non-hybrid).

Keywords: hybrid composite; carbon; aramid; glass.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are solely responsible for the information included in this work.