

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM COMPÓSITO DE FIBRA DE CARBONO E ARAMIDA CONSIDERANDO DIFERENTES CONDIÇÕES DE FABRICAÇÃO

Mateus da Silva (Universidade de Passo Fundo-UPF) E-mail: 151996@upf.br
Leandro Freitas Spinelli (Universidade de Passo Fundo-UPF) E-mail: Leandro.spinelli@upf.br
Leonardo Castilhos de Oliveira (Universidade de Passo Fundo-UPF) E-mail: 138283@upf.br
Leandro Dóro Tagliari (Universidade de Passo Fundo-UPF) E-mail: leandrotagliari@upf.br

Resumo: O presente trabalho estuda as características de um tecido composto por dois tipos de fibras, carbono e aramida, buscando identificar suas propriedades mecânicas. O compósito híbrido de fibras de carbono-aramida foi estudado para que fossem conhecidas suas propriedades e com isso viabilizar sua aplicação em diversas áreas do conhecimento. A partir de diferentes processos de fabricação pelo processo de laminação a vácuo com tecido híbrido e resina epóxi, foram variadas as orientações das fibras e também foi utilizado um processo de pós-cura buscando uma maior variedade de informações e propriedades sobre o compósito. A partir de ensaios mecânicos foi possível encontrar as tensões máximas de flexão e tração assim como o módulo de elasticidade e alongamento do laminado. Os valores obtidos mostraram um material com elevadas resistências aliadas à baixa massa específica, superando até mesmo os valores médios de laminados com apenas um tipo de fibra. Os valores de resistência à tração máximos foram de aproximadamente 345 MPa para fibras a 0° e 90° e de aproximadamente 160MPa para fibras a 45°. Os valores de resistência máxima a flexão para fibras a 0° e 90° foram de 510 MPa sem pós-cura e 470MPa com pós-cura, enquanto para fibras a 45° foram de aproximadamente 315MPa.

Palavras-chave: Propriedades mecânicas, carbono-aramida, processos de fabricação, ensaios mecânicos elevada resistência.

MECHANICAL PROPERTIES OF A CARBON FIBER AND ARAMID COMPOSITE CONSIDERING DIFFERENT FABRICATION CONDITIONS

Abstract: This paper studies the characteristics of a fabric composed of two types of fibers: carbon and aramid. In order to identify its mechanical properties, Charpy impact tests will be applied. The hybrid carbon-aramid fiber composite was studied in order to make its properties known and thus make its application possible in several areas of knowledge. From different manufacturing processes by the vacuum lamination process with hybrid fabric and epoxy resin, the fiber orientations were varied and a post-curing process was also used seeking a greater variety of information and properties about the composite. From mechanical tests it was possible to find the maximum flexural and tensile stresses as well as the modulus of elasticity and elongation of the laminate. The values obtained showed a material with high strengths combined with low specific mass, surpassing even the average values of laminates with only one type of fiber. Maximum tensile strength values were approximately 345 MPa for 0° and 90° fibers and approximately 160MPa for 45° fibers. The maximum flexural strength values for fibers at 0° and 90° were 510 MPa without post-cure and 470MPa with post-cure, while for 45° fibers were approximately 315MPa.

Keywords: A Mechanical Properties, carbon-aramid, manufacturing processes, mechanical testing, high strength.

1. Introdução

A busca por materiais com melhores propriedades e menor preço fez com que a engenharia de materiais tivesse grandes avanços, sendo o desenvolvimento de compósitos poliméricos de fundamental importância para as novas necessidades de fabricação. Compósitos reforçados com diferentes fibras são muito comuns e utilizados em diversas áreas, por exemplo, na aviação, automobilismo, motociclismo entre outras.

Os materiais mais utilizados como reforço em compósitos poliméricos atualmente são fibra de vidro, fibra de carbono e fibra de aramida.

Para produzir um compósito polimérico é necessário resina, em fase líquida, catalizador para acelerar o processo de cura da resina e o reforço de fibra, que pode ser encontrado na forma de tecido, manta, fio, entre outros. A produção dos corpos de prova que serão utilizados nesse trabalho será através de placas laminadas, intercalando uma camada de resina e uma de fibra, até que se atinja a espessura descrita nas normas seguidas para cada ensaio.

O presente trabalho busca avaliar as propriedades mecânicas de um compósito reforçado com fibra híbrida, tendo como base resina epóxi. As propriedades serão obtidas a partir de ensaios mecânicos em corpos de prova. O tecido de fibra que será estudado é formado por 50% de carbono e 50% de aramida, também conhecida como kevlar, podendo ser visto na Figura 1.



Figura 1 – Tecido utilizado para o estudo do trabalho

Inicialmente serão analisadas as alterações das propriedades variando o ângulo de disposição das fibras em cada camada de reforço. Os corpos de prova serão fabricados mantendo constantes os demais parâmetros de modo a reduzir o erro experimental. Na segunda etapa do estudo será avaliada a influencia de um processo de pós-cura recomendado pelo fabricante da resina epóxi nas propriedades mecânicas do compósito.

2. Revisão bibliográfica

Neste capítulo serão abordadas maneiras de se obter materiais compósitos, quais são os métodos mais utilizados e suas principais aplicações.

2.1 Materiais compósitos

Segundo Levy Neto e Pardini (2006), é definido como compósito um conjunto de dois ou mais materiais diferentes, combinados em escala macroscópica, visando obter propriedades às quais nenhum destes possui individualmente.

Os compósitos podem apresentar dois grupos de reforços: Compósitos reforçados com partículas, conhecido por mantas e compósitos reforçados com fibras, também conhecidos por tecidos.

A orientação ou arranjo do reforço pode ser na forma de fibras contínuas ou descontínuas, as quais podem estar alinhadas, orientadas aleatoriamente ou parcialmente orientadas. Pode ser visto um esquema dessa classificação na Figura 2.

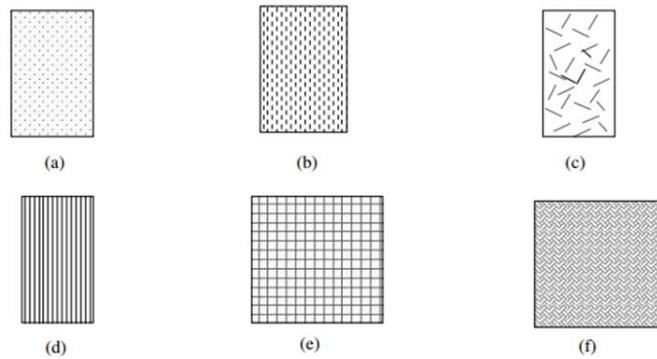


Figura 2 – Compósitos reforçados com: (a) partículas aleatórias; (b) fibras descontínuas unidirecionais; (c) fibras descontínuas aleatórias; (d) fibras contínuas unidirecionais; (e) fibras contínuas "crossply" e (f) fibras contínuas multidirecionais.

As fibras unidirecionais têm alta rigidez e resistência na direção das fibras, porém nas direções perpendiculares a eficácia do reforço é reduzida e as propriedades são fortemente condicionadas pela matriz. Tal redução pode ser compensada pelo uso de laminados multidirecionais (SILVA, 2014).

2.2 Matrizes

As matrizes além de proteger o reforço interno do meio em que o compósito será aplicado, distribuem a carga que foi aplicada a ela para o reforço. Estas podem ser classificadas como: metálicas, cerâmicas e poliméricas (GOETZ, 2017). As matrizes descritas anteriormente ainda possuem subdivisões, as quais estão representadas na Figura 3.

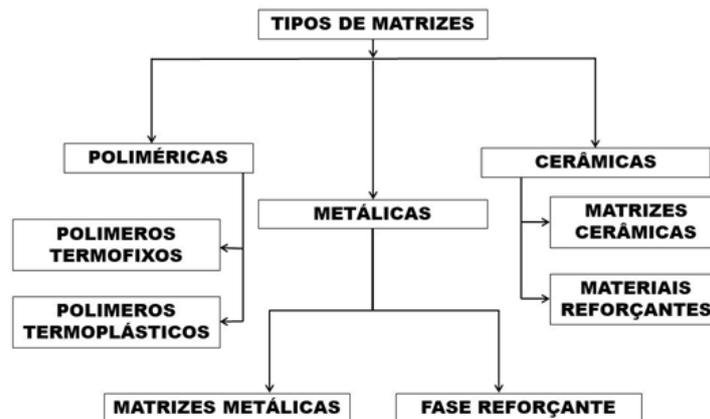


Figura 3 – Divisões e subdivisões dos tipos de matrizes

O compósito estudado no presente trabalho se enquadra como polímero termofixo, o qual tem propriedades mecânicas e plásticas superiores aos polímeros termoplásticos, além de ótima estabilidade dimensional e resistência ao ataque de agentes químicos, mas tem como limitante baixa temperatura de utilização, por volta de 150°C (MARINUCCI, 2011).

2.3 Reforço

O reforço utilizado no trabalho será híbrido, sendo composto de carbono e aramida. A poli (p-fenileno-tereftalamida), também conhecida como fibra de aramida (Lange et al., 2001), possui fortes ligações de hidrogênio que possibilitam a transferência do

carregamento mecânico de forma muito eficiente, tornando possível utilizar cadeias de peso molecular relativamente baixo com tenacidade e módulo de elasticidade muito mais elevada. (Jassal e Ghosh, 2002). As fibras de carbono, como as fibras de vidro, foram os primeiros reforços utilizados para aumentar a rigidez e resistência de materiais compósitos avançados leves, comumente utilizados em aeronaves, equipamentos de recreação e aplicações industriais.

Além da resistência e rigidez, as fibras de carbono possuem excelente resistência à fadiga, características de amortecimento de vibrações, resistência térmica e estabilidade dimensional. As fibras de carbono possuem também boa resistência elétrica e térmica e são quimicamente inertes, exceto quanto à oxidação (Callister, 2007).

2.4 Resinas Epóxi

Segundo Pires et al. (2005), resinas epóxi são uma das mais importantes classes de polímeros termoestáveis usados, pois mostra alta força de tensão e módulo, fácil processamento, boa resistência química e térmica.

Em particular, as resinas epóxi são polímeros termofixos, obtidos pela reação da epiclorigrina com bisfenol, caracterizados pela presença de um anel de três membros, que consiste de um átomo de oxigênio e dois átomos de carbono (Miracle e Donaldson, 2001). A cura da resina epóxi pode ser realizada tanto à temperatura ambiente quanto a temperaturas mais elevadas (aquecimento da resina), dependendo dos reagentes utilizados no processo ou das propriedades requeridas do produto final.

2.5 Processos de fabricação

Para a obtenção do compósito desejado é necessário que este tenha matriz e reforço compactados.

2.5.1 Laminação Manual

O processo de laminação manual pode ser feito sem utilização de qualquer tipo de máquina ou utensílio em especial, apenas um pincel para que a resina possa ser espalhada e um rolo para comprimir manualmente a mistura.

2.5.2 Laminação a vácuo

O processo de laminação a vácuo é muito parecido com a laminação manual, diferindo apenas em sua fase final, onde o molde com o compósito ainda antes da cura é colocado numa bolsa plástica, que funciona como um selamento da peça. Essa bolsa está ligada a uma bomba de vácuo através de mangueiras e válvulas.

Após a montagem do aparato são acionadas as bombas de vácuo, as quais retiram o ar de dentro da bolsa seladora assim comprimindo a mistura, pois o vácuo gera uma pressão menor que a atmosférica. Além da compressão o processo minimiza bolhas de ar que podem se formar e retira o excesso de resina com filmes absorventes.

3. Procedimento Experimental

Para que as propriedades mecânicas adquiridas sejam confiáveis, os ensaios e corpos de prova serão feitos seguindo as normas ASTM. A seguir será feito um detalhamento de cada etapa de confecção e ensaios. As placas laminadas seguirão as especificações de cada um dos tipos de corpos de prova, ou seja, a disposição das camadas do tecido de fibra. Outra variável do processo de fabricação é o processo de pós-cura, onde partes dos corpos de prova serão aquecidos a uma temperatura de 80°C por 6 horas e resfriados lentamente.

3.1. Materiais e métodos

Serão laminadas placas de fibra híbrida de carbono-aramida e após a cura as placas serão cortadas no formato dos corpos de prova. Os corpos de prova seguem normas americanas ASTM descritas no Quadro 1. O corte será realizado utilizando um jato d'água, para que assim possam ser realizados os ensaios.

Quadro 1 – Normas para a realização dos ensaios mecânicos

Ensaio	Normas
Tração	ASTM D3039
Impacto	ASTM D6110
Flexão	ASTM D790

Fonte: O autor (2018)

3.1.1 Confeção das placas

Para a confecção das placas será utilizado o tecido RKC165P, o qual produz um laminado altamente resistente com 50% de fibras de carbono e 50% de fibras aramidadas, com um peso nominal de 165 g/m². Para a laminação será utilizada a resina e endurecedor AR 260 e AH 260, na proporção de 100 gramas de resina para 26 gramas de endurecedor, como recomenda o fabricante. Foram feitos testes para que fosse conhecida a espessura de uma camada de tecido laminado, o qual teve em média 0,2mm de espessura. Assim é possível saber qual o número de camadas necessárias para a confecção de cada corpo de prova.

Após o corte do tecido no formato desejado da placa e da mistura de resina, se fez a multiplicação da massa do tecido pelo fator de 1.25, como recomenda o fabricante, sendo assim, iniciou-se de fato o processo de laminação. Sobre a placa foram colocados o tecido *peel-ply*, o filme perfurado WL3900 e o tecido absorvente, para que quando ocorresse de fato o vácuo no sistema, o excesso de resina fosse removido. Ao fim dessa etapa se deu início à montagem da bolsa de vácuo. Na Figura 4 pode-se observar uma parte do processo de fabricação das placas.

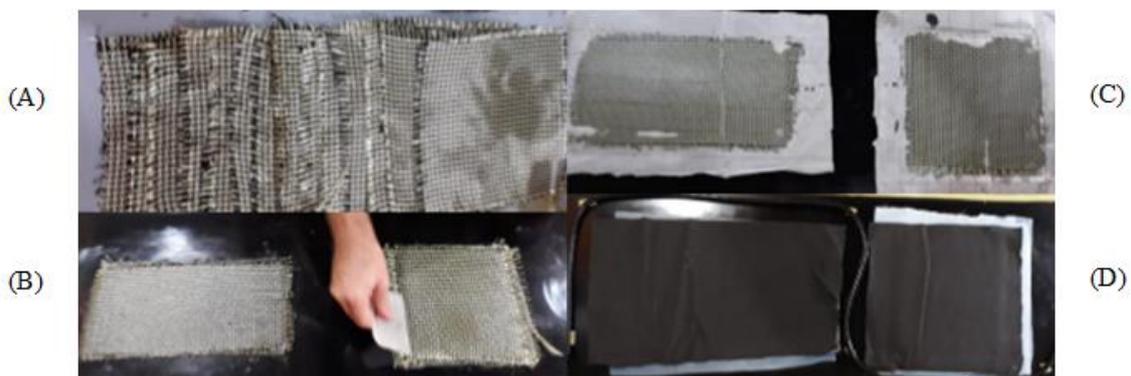


Figura 4 - Etapas do Processo de Confeção das Placas: (A) Tecido cortado no formato das placas; (B) Laminação alternando camadas de resina e fibra; (C) Aplicação do Peel Ply; (D) adição do filme perfurado e tecido absorvente.

Após verificar todos os pontos para que não houvesse vazamentos, foi ligada a bomba de vácuo até que a mesma atingisse sua capacidade máxima, cerca de 25 polegadas de mercúrio de pressão manométrica negativa e após esse ponto foi fechado o registro e desligada a bomba.

3.1.2 Pós-cura

Seguindo indicações do fabricante da resina, o melhor processo de pós-cura é a 80°C por um período de 6 horas, onde a rampa de aquecimento deve respeitar a taxa de 10°C/hora. Após o período o material deve ser resfriado lentamente até a temperatura ambiente.

Após se passarem 6 horas o forno foi desligado, os CPs foram mantidos por 15 minutos dentro do forno desligado com a porta fechada. Então, os mesmos foram retirados do forno e se aguardava até que chegassem à temperatura ambiente.

3.1.3 Ensaio de tração

Para a realização do ensaio de tração foram confeccionados cinco corpos de prova de acordo com a norma, ASTM D3039, com dimensões mostradas na Figura 5. Os mesmos foram ensaiados na máquina de tração da marca SCHENCK, a qual tem capacidade de 20 toneladas para tração e compressão. Para evitar concentradores de tensão que podem ser gerados pelos vincos das garras da máquina, se teve a colagem das placas de alumínio no local de fixação da garra.

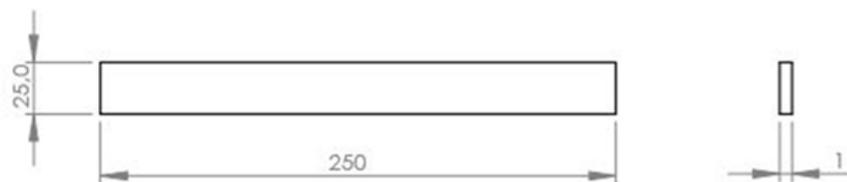


Figura 5 – CP para ensaio de tração

3.1.4 Ensaio de flexão

O ensaio de flexão, segundo a normal ASTM D790, consiste em apoiar o corpo de prova horizontalmente sobre os apoios na máquina e aplicar uma força sobre ele a partir de um cutelo de modo que este venha a sofrer flexão. Para a realização do ensaio será utilizada a máquina SCHENCK, mesma utilizada para o ensaio de tração. Serão confeccionados cinco corpos de prova e suas medidas podem ser vistas na Figura 6.



Figura 6 – CP para ensaio de flexão

3.1.5 Ensaio de impacto

Para a realização do ensaio de impacto serão confeccionados cinco corpos de prova seguindo a norma ASTM D6110, com as dimensões demonstradas na Figura 7 e será utilizado um martelo pendular *charpy*.

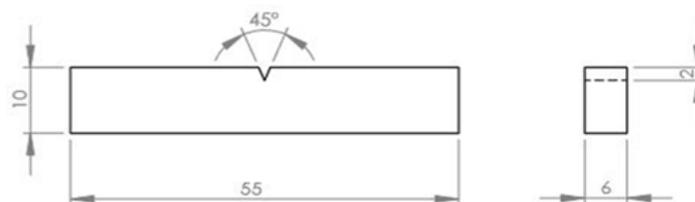


Figura 7 – CP para ensaio de impacto

4. Resultados e discussão

A partir dos ensaios descritos acima foram obtidos os valores de resistência máxima à tração, flexão máxima, módulo de elasticidade e também os valores de absorção de energia no ensaio de impacto. Os ensaios de impacto foram feitos com o intuito de comparar os resultados entre as diferentes formas de fabricação dos corpos de prova.

A partir dos resultados obtidos através dos ensaios de impacto mostrados no Quadro 2, pode-se notar grande variância da absorção de impacto com relação ao ângulo das fibras, onde as fibras alinhadas a 45° do impacto demonstraram uma absorção quase 3 vezes maior do que as fibras com alinhamento a 0° e 90°.

Quadro 2 – Energia absorvida no impacto

	Corpos de prova com fibras orientadas a 90°		Corpos de prova com fibras orientadas a 45°	
Sem pós-cura	CP1	5J	CP1	13J
	CP2	5J	CP2	13J
	CP3	5J	CP3	14J
	CP4	5J	CP4	11J
	CP5	6J	CP5	15J
Com pós-cura	CP1	6J	CP1	12J
	CP2	5J	CP2	10J
	CP3	5J	CP3	11J
	CP4	8J	CP4	12J
	CP5	5J	CP5	10J

Fonte: O autor (2018)

Outro ponto observado no ensaio de impacto é a pequena influência de delaminações nos corpos de prova. Cerca de 50% dos corpos de prova ao serem cortados pelo jato d'água acabaram sofrendo delaminações em aproximadamente 40% de seu comprimento devido aos parâmetros do corte e espessura da placa. Os corpos de prova que apresentaram tal defeito estão indicados pelo (*) na Tabela 1. Em relação ao processo de pós-cura, pode-se observar uma redução na absorção de energia dos CPs, possivelmente resultada pela melhora adesão da resina às fibras, com isso enrijecendo o material e causando menos absorção. Na Figura 8 pode ser observada a influência das delaminações no resultado pós-ensaio, onde os CPs à direita apresentavam tal defeito.



Figura 8 – Influência de delaminação nos CPs ensaiados

Em relação aos ensaios de flexão o primeiro ponto observado durante os ensaios foi em relação à deformação, os corpos de prova com fibras orientadas a 0° e 90° sofreram fratura ao atingir a tensão máxima, tendo sua deformação pontual onde foi aplicada a carga, enquanto os CPs com fibras a 45° flexionaram formando uma espécie de parábola, tendo apresentado deformação em toda a extensão do corpo de prova, mas não fraturando mesmo após atingir a carga máxima, com isso o corpo de prova se comportou como se tivesse a característica de ser dúctil, essa característica pode ser vista na Figura 9.



Figura 9 – Corpos de prova do ensaio de flexão

O Quadro 3 apresenta os valores médios bem como seus desvios padrões de resistência máxima à flexão para cada uma das configurações de fabricação e no Quadro 3, podem ser vistos os valores obtidos em cada ensaio.

Quadro 3 – Valores de tensão máxima de flexão

	Fibras a 0° e 90°		Fibras a 45°	
	Sem Pós-Cura	1	531,33 MPa	1
2		516,24 MPa	2	282,67 MPa
3		496,18 MPa	3	316,71 MPa
4		496,18 MPa	4	245,21 MPa
5		-	5	299,72 MPa
Com Pós-Cura	1	421,01 MPa	1	292,76 MPa
	2	436,04 MPa	2	326,94 MPa
	3	526,26 MPa	3	347,37 MPa
	4	481,15 MPa	4	347,42 MPa
	5	486,16 MPa	5	272,44 MPa

Fonte: O autor (2018)

A Figura 10 apresenta a tensão máxima de flexão bem como seus desvios padrões. Com esta imagem é possível comparar a tensão suportada por cada escolha de fabricação, sendo que ficou de forma evidente que o melhor parâmetro é o de 90° sem pós-cura, com uma tensão media de 510 Mpa.

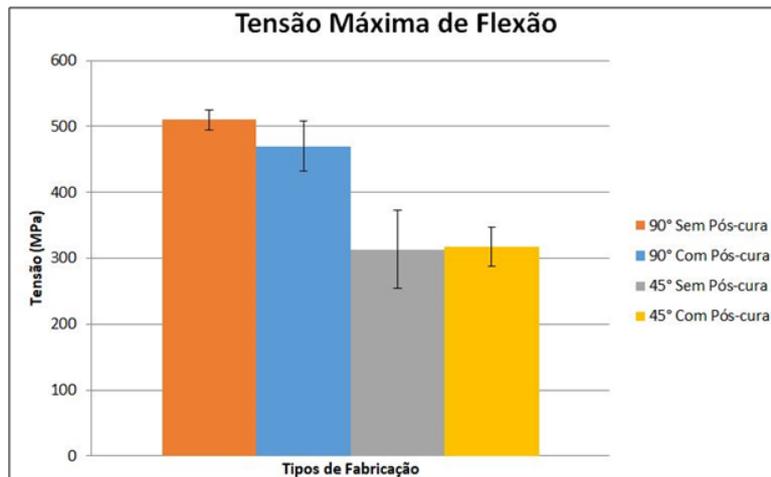


Figura 10 – Tensão máxima de flexão

A partir do ensaio de tração foi possível obter os valores de tensão máxima de tração, alongamento e módulo de elasticidade, a qual ocorreu apenas nos corpos de prova com laminação a 45°. O formato do rompimento dos corpos de prova foi como esperado, totalmente horizontal nos CPs com orientação das fibras a 0° e 90°, enquanto nos CPs com fibras a 45° tiveram um rompimento no ângulo de 45° que podem ser vistos na Figura 11.



Figura 11 – Corpos de prova de tração

Os valores de resistência à tração máxima podem ser visto no Quadro 4, enquanto a média e desvio padrão podem ser vistos na Figura 12. Os valores de alongamento e módulo de elasticidade podem ser vistos no Quadro 5.

Quadro 4 – Valores de tensão máxima à tração

	Fibras a 0° e 90°		Fibras a 45°	
	Sem Pós-Cura	1	360,21 MPa	1
	2	320,81 MPa	2	154,64 MPa
	3	376,02 MPa	3	157,31 MPa
	4	332,33 MPa	4	158,90 MPa
	5	-	5	151,98 MPa
Com Pós-Cura	1	414,96 MPa	1	176,47 MPa
	2	298,38 MPa	2	173,81 MPa
	3	335,60 MPa	3	175,14 MPa
	4	360,92 MPa	4	169,55 MPa
	5	282,94 MPa	5	183,39 MPa

Fonte: O autor (2018)

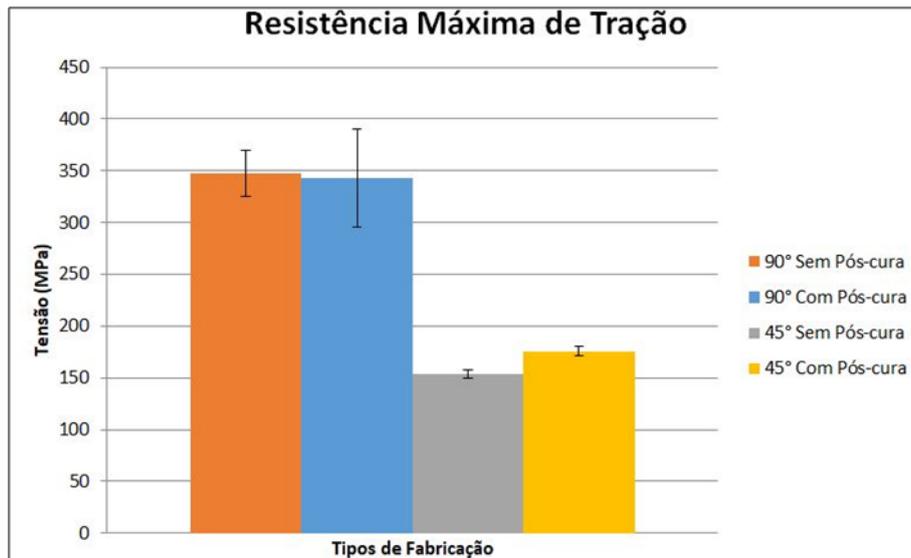


Figura 12 – resistência máxima de tração

Quadro 5 – Valores de alongamento e módulo de elasticidade

	Alongamento	Módulo de Elasticidade
90° Sem Pós-cura	3,37%	542,3 GPa
90° Com Pós-cura	2,17%	541,5 GPa
45° Sem Pós-cura	25,47%	255,5 Gpa
45° Com Pós-cura	13,66%	253,8 Gpa

Fonte: O autor (2018)

As imagens abaixo são de macrografias dos ensaios de tração e impacto, onde é possível ver diferenças entre o comportamento das fibras em relação a sua orientação e processo de póscura. Foram feitas 4 macrografias dos CPs de tração e 2 dos CPs de impacto devido a não diferença visual do processo de pós-cura.

Na Figura 13 é possível ver a influência do processo de pós-cura e da orientação das fibras nos ensaios de tração, sendo, (A) 0° e 90° sem pós-cura, (B) 0° e 90° com pós-cura, (C) 45° sem pós-cura e (D) 45° com pós-cura.

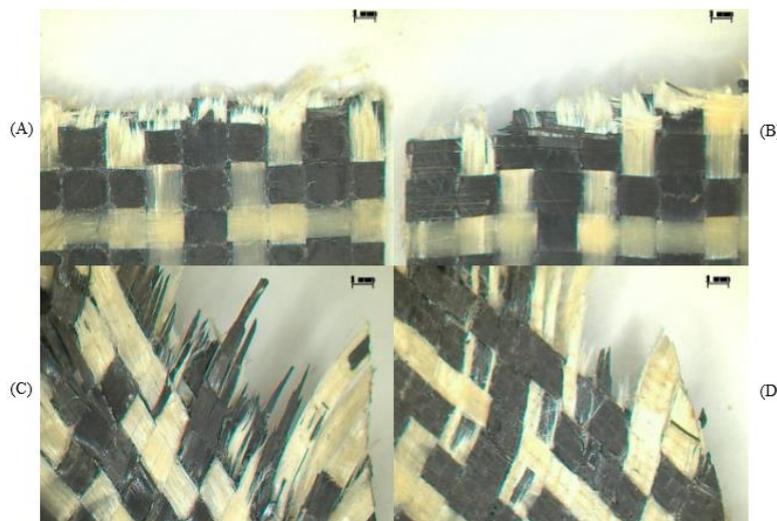


Figura 13 – Macrografia dos CPs de tração

Na Figura 14 estão as macrografias dos CPs de impacto, onde (A) 0° e 90° e (B) 45°.

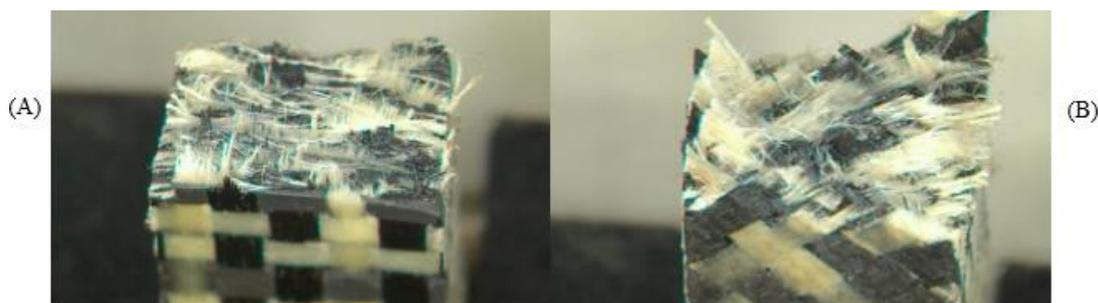


Figura 14 – Macrografia dos CPs de impacto

5. Conclusões

A partir dos valores obtidos no ensaio de impacto foi visível a influência do ângulo das fibras em relação ao impacto, assim como uma redução significativa na energia absorvida pelos corpos de prova que passaram pelo processo de pós-cura. Tal efeito se deve pela melhor adesão da resina às fibras, condição que tornou o material mais frágil, absorvendo menos energia.

No ensaio de flexão foi notável a variação da ductilidade do material com relação ao ângulo das fibras. Com as fibras orientadas a 0° e 90° a resistência máxima a flexão se mostrou mais elevada, principalmente nos corpos de prova sem o processo de pós-cura, quando os corpos de prova sofreram fratura frágil registrando nesse momento o pico de força. Assim como no ensaio de impacto o processo de pós-cura fragilizou o material reduzindo levemente sua resistência máxima à flexão.

O ensaio de flexão nos corpos de prova com laminação a 45° apresentou um resultado inesperado, ao contrário dos CPs a 0° e 90°, demonstrando comportamento dúctil. A deformação no CP se estendeu por toda a sua extensão, formando uma parábola. Seu limite de resistência chegou ao limite e decaiu antes que o corpo de prova sofresse fratura. Nesse caso, o processo de pós-cura promoveu um breve aumento na resistência à flexão.

Os ensaios de tração por sua vez confirmaram os aspectos vistos durante a flexão do material, onde os corpos de prova com fibras a 0° e 90° apresentaram fratura frágil e horizontal, assim como nos aços, respeitando a direção das fibras, com muito pouco alongamento e sem estrição, e apresentando o maior valor de resistência no momento da ruptura.

Já os corpos de prova com orientação a 45° tiveram um comportamento muito semelhante a aços de maior ductilidade. Esses apresentaram fratura frágil, em um ângulo de 45°, respeitando a direção das fibras, mas nesse caso ocorreu estrição, maior alongamento e assim como no ensaio de flexão seu limite de resistência chegou ao pico e decaiu antes que o corpo de prova sofresse a ruptura total. Também foi observado aumento da temperatura no local da ruptura, possivelmente causado pelo atrito das camadas de tecido e fibras entre si, esse efeito foi notado após a retirada dos CPs da máquina de ensaio, onde ao contato com a mão a elevação de temperatura foi sensível.

Não foi observada grande variância nas propriedades dos CPs com fibras a 0° e 90° que passaram pelo processo de pós-cura. Em contrapartida, nos valores dos laminados com orientação de 45° foi observado uma diferença de cerca de 30 MPa a mais na resistência a tração. Tal efeito se deu pela melhor adesão da resina com as fibras.

Tendo em vista as ótimas propriedades do material, para trabalhos futuros podem ser

indicados ensaios de vida em fadiga além de ensaios de impacto perpendiculares à laminação, com isso consolidando ainda mais a qualidade e utilidade desse novo compósito.

Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.** D3039: *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*, Astm International, 2017.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.** D6110: *Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics*, Astm Interncional, 2010.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.** D790: *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*, Astm International, 2017.
- CALLISTER, W. D.** *Material science and engineering: an introduction*. 7. Ed. [S.l.]: Jhon Wiley and Sons, Inc, 2007.
- GOETZ, MATEUS HENRIQUE.** *Avaliação das propriedades mecânicas dos compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro (PRFV) laminados manualmente e a vácuo*. TFG (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.
- JASSAL, M.; GHOSH, S.** **ARAMID FIBERS: An Overview.** *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 27; 290-306, 2002.
- LANGE, P.J. DE; MADERB, E.; MAIB, K.; YOUNGC, R.J.; AHMADC, I.** *Characterization and Micromechanical Testing of the Interphase of Aramid-Reinforced Epoxy Composites. Composites: Part A*, 32; 331–342, 2001.
- LEVY NETO, FLAMÍNIO; PARDINI, LUIZ CLAUDIO.** *Compósitos estruturais, ciência e tecnologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- MARINUCCI, GERSON.** *Materiais compósitos poliméricos: Fundamentos e tecnologia*. São Paulo: Artliber, 2011.
- MIRACLE, D. B; DONALDSON, L.** *ASM Handbook: Volume 21, Composites*. U.S.A., 2001. **NEVES, Fátima; LOPES, Jéssica.** *Novos materiais: Os compósitos e os materiais de base sustentada*. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/PauloMaiaCampos/novos-materiais-ftimajessica>>. Acesso em: 29 set. 2018.
- PIRES, G. ET AL.** *Caracterização Físico-Química e Mecânica do Sistema Éster de Silsexquioxano/ Resina Epóxi Dgeba/ Dietilenotriamina*. *Revista Matéria, Ilha Solteira*, v. 10, n. 2, p.317-330, jun. 2005. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10666/>>. Acesso em: 01 out. 2017.
- SILVA, HENRIQUE PEREIRA DA.** *Comportamento mecânico de compósitos de fibra de vidro/epóxi nano-reforçados*. 2014. 240 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014. *casting Monthly Electric Energy Consumption in eastern Saudi Arabia using Univariate Time-Series Analysis*. *Energy* Vol. 22, n.11, p.1059-1069, 1997.