

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO EM FLEXÃO DE PAINÉIS SANDUÍCHES COMPOSTOS COM MATERIAL DE NÚCLEO TIPO HONEYCOMB EM FIBRA DE ARAMIDA

Pedro Augusto Silva de Sousa, augusto.96pedro@gmail.com¹
Denilson Pablo Cruz de Oliveira, dedepablo@gmail.com¹
Rafael Jarbas Barradas do Nascimento, rafael.jarbas.23@hotmail.com¹
João Lucas Jacob Araujo, jlucasjacob@hotmail.com¹
Ana Claudia Galvão Xavier, anaclaudia@ifpi.edu.br¹
Anderson Felipe Chaves Fortes, anderson.fortesem@ifpi.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI, Praça da Liberdade, 1597 – Centro, Teresina, PI, 64.000-040

Resumo: Os compósitos do tipo sanduíche têm encontrado grande espaço nos mais diversos ramos industriais, especialmente com o desenvolvimento dos segmentos aeronáutico e aeroespacial. A constante busca por estruturas com elevada resistência mecânica e baixo peso, despertou o interesse desse estudo. Os painéis sanduíche fazem uso de um material de núcleo com baixa densidade que é faceado em ambos os lados por laminados de fibra de alta resistência. Os ensaios foram realizados com o intuito de determinar a resistência a flexão e o módulo de elasticidade, além de permitir avaliar outras propriedades mecânicas e subsidiar simulações computacionais para comparação dos resultados obtidos. Para a obtenção dos fatores de caracterização do comportamento mecânico dos materiais, foram realizados ensaios estáticos de flexão de três pontos, de modo a comparar as propriedades dos provetes testados. O estudo demonstrou boa rigidez do material do núcleo, bem como foram observadas combinações com o honeycomb em função dos materiais de reforço, como: fibra de carbono, manta de aramida e fibra de vidro. Ficando os melhores resultados por parte das combinações de fibra de carbono. Destacando a boa relação resistência/densidade da combinação honeycomb com a fibra de aramida.

Palavras-chave: compósitos, ensaios mecânicos, painéis sanduíches

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço dos métodos de fabricação para aeronaves, a relação peso/desempenho sempre foi almejada por especialistas da área. Atualmente, os avanços tecnológicos na área foram bastante significativos, sendo por aplicações de novos materiais ou, ainda, novos métodos de confecção das estruturas aeroespaciais e aeronáuticas. Apresenta-se esse estudo com o intuito de verificar o comportamento mecânico de painéis sanduíches com material de núcleo tipo *honeycomb* em fibra de aramida, que poderá ser utilizado na indústria aeronáutica.

Nasseh *et al.* (2007), discorre que as colmeias, conhecidas como *honeycomb*, foram desenvolvidas, principalmente, para o uso na indústria aeronáutica e aeroespacial. Embora, exista, hoje, uma linha de produtos destinados à construção de barcos. Os *honeycombs* podem ser construídos em papel impregnado com resina, fibra de vidro, fibra de carbono, fibra de aramida, polietileno e alumínio. Materiais de núcleos, tipo colmeia, possuem uma maior capacidade de compressão e cisalhamento do que qualquer outro com densidade equivalente.

O estudo se deu pela combinação do método sanduíche, que constitui da justaposição de um núcleo de determinado material com suas faces laminadas, a fim de receber revestimentos de um material diferente (Fig. 1), dessa forma alterando suas propriedades mecânicas, tendo com a variação de diferentes revestimentos, desempenhos e atuações distintas. O núcleo dos corpos de prova do estudo é de material *honeycomb* de aramida, com células hexagonais, faz-se o uso de revestimentos com núcleo tipo colmeia, que além de aumentar sua capacidade de compressão, fornece aumento de resistência a flexão dos painéis sanduíches.

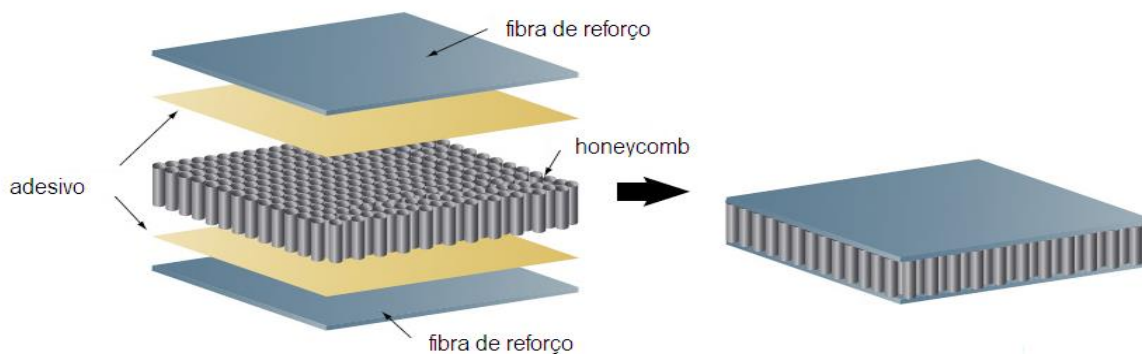


Figura 1. Estrutura sanduíche com material de núcleo tipo honeycomb em FAA-H-8083-30 (2008).

2. METODOLOGIA

2.1. Confeção dos corpos de prova

Os corpos de prova foram confeccionados a partir dos processos de laminação manual, em que os revestimentos de reforço foram impregnados com uma mistura de endurecedor SQ-3154 e resina epóxi SQ-2001 a uma proporção de 1:2 (Fig. 2), respectivamente, e período de cura de três a cinco horas. Nasseh *et al.* (2007), ressalta que a resina, no processo de colagem, deve ser capaz de molhar as paredes das células das colmeias rapidamente, além de se proporcionar um fluxo controlado para que ela não escorra para as paredes, resultando em uma colagem fraca sem resina na superfície. Em seguida, os provetes foram moldados com as dimensões requeridas pela norma ASTM-C393: *Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam Flexure*, que determina que em corpos com geometrias não padrão a largura não deve ser inferior ao dobro e nem maior do que seis vezes da espessura total.

Para a confecção das amostras foram laminadas placas maiores, submetidas ao processo de corte, cinco dias após a laminação, seguindo as recomendações do fabricante. Foram tomadas as devidas precauções para evitar delaminações ou superfícies irregulares, devido a métodos inadequados de corte.



Figura 2. Materiais utilizados na laminação dos corpos de prova.

Foram fabricados cinco corpos de prova de cada tipo de revestimento (tecido de carbono, aramida e vidro), que possuíam 6,56 mm de espessura, 35 mm de largura e 128 mm de comprimento (Fig. 3).

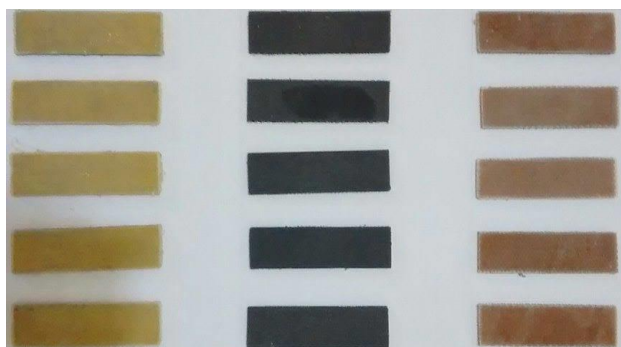


Figura 3. Corpos de prova confeccionados.

2.2. Ensaios

Após a produção dos corpos de prova, foi realizada a preparação da máquina de ensaio mecânico universal Shimadzu-250K (Fig. 4), foram estabelecidos os padrões de execução para o ensaio de flexão de três pontos, de acordo com a norma ASTM – C393. O ensaio de três pontos consiste em apoiar as amostras pelas extremidades e aplicar uma carga no centro do espécime (Fig. 5). Aplicou-se uma força a uma velocidade de deslocamento do travessão de 6 mm/min de modo a provocar falha entre três e seis minutos, segundo as recomendações da norma ASTM – C393.



Figura 4. Máquina de ensaio universal Shimadzu-250K.

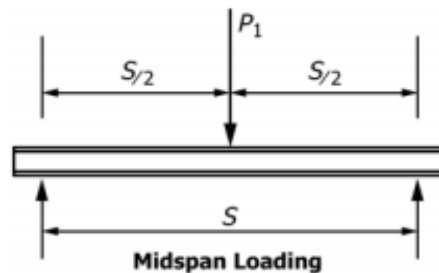


Figura 5. Configuração do ensaio em 3 pontos em ASTM C393 / C393M-16 (2016).

Com o ensaio de flexão, foram obtidos valores variados, relacionados com o tipo de revestimento do compósito em sanduíche, estes por sua vez corroborados com a norma. Para a obtenção de dados da resistência à flexão e módulo de elasticidade foram utilizadas as Eq. (1) e (2).

$$\sigma = \frac{3P_{\text{máx}}S}{4bd^2} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

Onde σ é a resistência a flexão (MPa), $P_{\text{máx}}$ a carga máxima (N), S a distância entre os apoios (mm), b a largura do corpo de prova (mm) e d a altura do corpo de prova (mm).

$$E = \frac{S^3(P_2 - P_1)}{4bd^3(X_2 - X_1)} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

Onde E é o módulo de elasticidade (MPa), S a distância entre os apoios (mm), b a largura do corpo de prova (mm), d a altura do corpo de prova (mm), $(P_2 - P_1)$ o incremento de força na seção reta da curva força-deformação (N) e $(X_2 - X_1)$ o incremento do deslocamento a meio comprimento do provete.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos ensaios a três pontos as amostras, com núcleo de *honeycomb* em aramida, comportaram-se todas do mesmo modo e sobre o mesmo mecanismo de falha, por esmagamento por consequência da rotura das fibras que constituem a face

superior. O valor da carga máxima foi obtido, imediatamente antes da falha da face à compressão, seguido do colapso do núcleo.

A partir dos ensaios, foram obtidos os gráficos de força-deslocamento, ilustrados nas Fig. 6, Fig. 7 e Fig. 8.

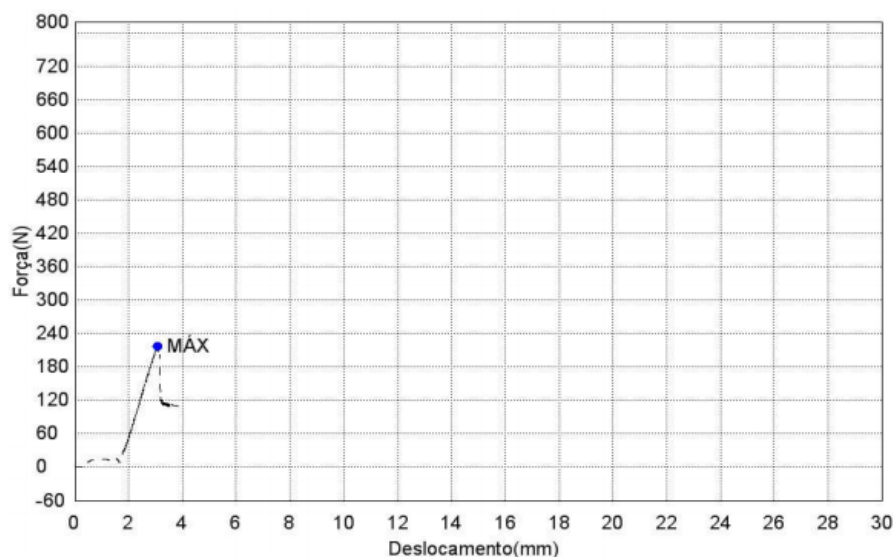


Figura 6. Gráfico Força-deslocamento para o revestimento com fibra de vidro.

A fibra de vidro utilizada na confecção das amostras trata-se do vidro tipo E. Apesar de serem inferiores a combinação do *honeycomb* com reforço de carbono, esse tipo de painel sanduíche apresenta boa rigidez em relação a flexão. Foi observado que a utilização desse tipo de reforço proporcionou um laminado com baixo módulo de elasticidade e uma propriedade de resistência a flexão superior aos painéis revestidos com fibra de aramida.

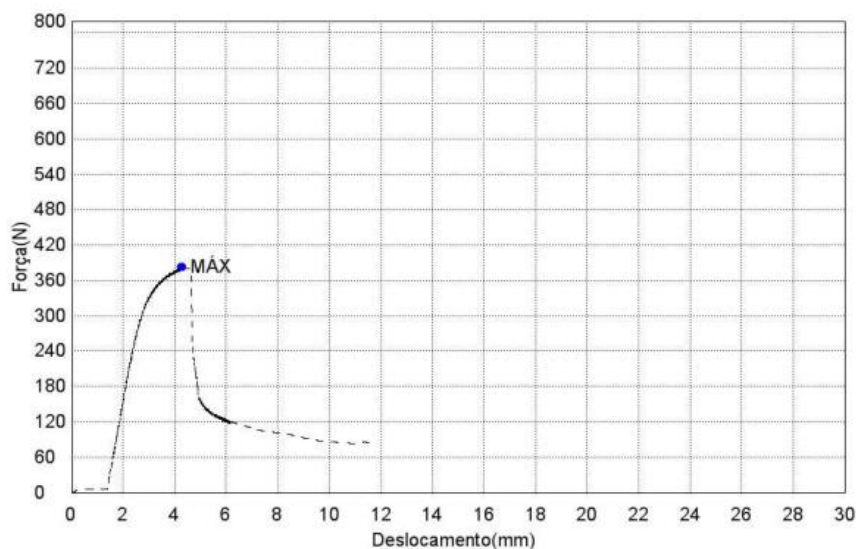


Figura 7. Gráfico Força-deslocamento para o revestimento com fibra de carbono.

Com a análise dos dados, foi possível observar que os compósitos com reforço de carbono apresentaram maior resistência a flexão e módulo de elasticidade. Porém desenvolveram resistência com uma enlogação muito pequena, característica que pode ser observada na Fig. 7, logo após a aplicação da força máxima.

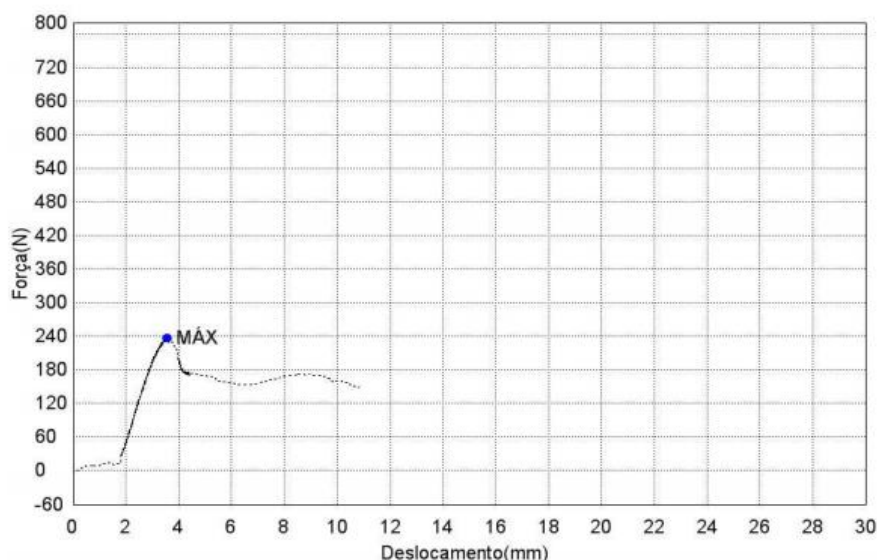


Figura 8. Gráfico Força-deslocamento para o revestimento com fibra de aramida.

As amostras confeccionadas com revestimento em fibra de aramida mostraram-se muito inferiores quando solicitadas a resistência a compressão, quando comparadas aos outros dois tipos de fibras de reforço, o que pode ser observado com a pequena força máxima necessária para a ruptura do corpo de prova (Fig. 8). Dessa forma, é possível notar que as fibras de aramida são elásticas em baixas deformações e bastante plásticas em altas deformações, aproximando-se muito do comportamento dos metais. Desse modo, é recomendado evitar o uso de tal combinação quando se necessita de grande resistência a compressão.

A partir dos ensaios também foi possível obter valores de força máxima, deslocamento e deslocamento da deformação, os mesmos estão dispostos nas tabelas a seguir.

Tabela 1. Resultados experimentais da Força máxima aplicada aos materiais.

Material / Reforço	Força máxima (N)				
	Provet 1	Provet 2	Provet 3	Provet 4	Provet 5
Aramida	219,186	196,457	236,591	180,682	216,405
Carbono	305,216	382,582	336,011	375,191	454,744
Vidro	587,026	217,398	372,966	308,752	285,228

Tabela 2. Resultados experimentais do deslocamento dos materiais.

Material / Reforço	Deslocamento (mm)				
	Provet 1	Provet 2	Provet 3	Provet 4	Provet 5
Aramida	1,5622	1,445	1,787	1,253	1,641
Carbono	1,8725	2,886	2,023	1,314	1,588
Vidro	2,212	1,388	2,383	1,773	2,064

Tabela 3. Resultados experimentais do deslocamento da deformação dos materiais.

Material / Reforço	Deslocamento da deformação (%)				
	Provet 1	Provet 2	Provet 3	Provet 4	Provet 5
Aramida	2,19	2,16	2,29	2,036	11,789
Carbono	2,095	2,755	2,436	1,772	1,981
Vidro	3,2	1,988	2,63	2,372	2,289

Com os dados coletados nos ensaios e aplicando as fórmulas respectivas à resistência a flexão e ao módulo de elasticidade, foram obtidas as propriedades para cada amostra, que por sua vez estão demonstrados nas tabelas abaixo:

Tabela 4. Resistência a flexão dos espécimes testados.

Material / Reforço	Resistência a flexão (MPa)				
	Provet 1	Provet 2	Provet 3	Provet 4	Provet 5

Aramida	16,1212	15,2608	18,3784	14,0354	16,8103
Carbono	30,0923	29,72	26,18	29,1449	35,3245
Vidro	23,2496	16,88	28,972	23,9899	22,1565

Tabela 5. Módulo de elasticidade dos espécimes testados

Material / Reforço	Módulo de elasticidade (MPa)				
	Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4	Provete 5
Aramida	2117,9992	2393,4756	1801,0904	2183,1398	2094,2911
Carbono	3061,8536	2881,7446	2881,7446	3602,1808	2881,7446
Vidro	2022,8896	1900,8869	2156,9945	2137,7927	1895,8846

Os valores encontrados a respeito do módulo de elasticidade e resistência a flexão, expressam numericamente o que foi observado nos gráficos de força-deslocamento. Os painéis revestidos com fibra de carbono apresentaram maior rigidez quando comparado aos demais, e os painéis reforçados com fibra de aramida foram em geral mais rígidos e resistentes que as fibras de vidro além de apresentarem boa capacidade de deformação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fato dos espécimes serem confeccionados através do processo de laminação manual contribuiu para existir certa discrepância dos resultados entre as amostras, com mesmo tipo de reforço. Pois, além da má distribuição da resina, observou-se um excesso em relação ao teor de fibra nas peças.

Em relação ao material de núcleo do tipo *honeycomb* em fibra de aramida, ele se comportou bem com os três tipos de reforços, não apresentando nem um defeito de impregnação durante o processo de teste.

Independente do tipo de reforço utilizado deve-se observar que se trata de um compósito sanduíche e, portanto, existe um somatório de propriedades dos materiais utilizados. É relevante a contribuição do material de núcleo, dessa maneira apesar dos maiores resultados serem encontrados com reforço de fibra de carbono, ressalta-se a importância dos benefícios da contribuição do laminado em painéis sanduíche utilizando todos os reforços.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal do Piauí (IFPI) pelo apoio na realização da pesquisa, com a disponibilização do Laboratório de Ensaios Mecânicos, e a Yure Cláudio Cordeiro de Lima, aluno do curso de Mestrado em Engenharia dos Materiais do IFPI / Campus Teresina Central.

6. REFERÊNCIAS

ASTM C393 / C393M-16, Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam Flexure, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org.
Federal Aviation Administration – FAA, Aviation Maintenance Technician Handbook – General, FAA-H-8083-30, 2008.
Nasseh, Jorge, 2007, “Métodos Avançados de Construção em Composites”, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 51-68.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS OF MECHANICAL BEHAVIOUR IN SANDWICH COMPOSITE PANEL BENDING WITH CORE MATERIAL TYPE HONEYCOMB IN ARAMID FIBER

Pedro Augusto Silva de Sousa, augusto.96pedro@gmail.com¹

Denilson Pablo Cruz de Oliveira, dedepablo@gmail.com¹

Rafael Jarbas Barradas do Nascimento, rafael.jarbas.23@hotmail.com¹

João Lucas Jacob Araujo, jlucasjacob@hotmail.com¹

Ana Claudia Galvão Xavier, anaclaudia@ifpi.edu.br¹

Anderson Felipe Chaves Fortes, anderson.fortesem@ifpi.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI, Praça da Liberdade, 1597 – Centro, Teresina, PI, 64.000-040

Abstract: Composite sandwich type have found great space in various industries, especially with the development of aviation and aerospace. The constant search for structures with high mechanical and low weight resistance, aroused the interest of this study. The sandwich panels make use of a core material with low density is skiving on both sides of high-strength fiber laminates. The tests were performed in order to determine the flexural strength and the modulus of elasticity, and allow other physical property support and computer simulations to compare the results obtained. To obtain the factors characterizing the mechanical behavior of materials, static tests three point bending were carried out in order to compare the properties of the tested samples. The study showed good rigidity of the core material as well as combinations were observed depending on the honeycomb reinforcing materials, such as carbon fiber, aramid and glass fiber mat. Getting the best results from carbon fiber composites. Highlighting the good relationship strength / density honeycomb combination with aramid fiber.

Keywords: composites, mechanical tests, sandwich panels