



13º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS



## EFEITO DAS FACES NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ESTRUTURAS SANDUÍCHE PARA APLICAÇÃO RODOVIÁRIA

Daniel Garbin<sup>1</sup> \*(M), Marcelo B. Antunes<sup>1</sup> (M), Daiana Trobetta<sup>1</sup> (M), Sandro Amico<sup>1</sup>

1-Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre – RS, [garbin.daniel@gmail.com](mailto:garbin.daniel@gmail.com)

**Resumo:** As estruturas sanduíche são largamente utilizadas em diversas aplicações de engenharia. O estudo de suas propriedades é fundamental para a ampliação de sua utilização. Neste trabalho, ensaios mecânicos de compressão foram utilizados para avaliar o efeito do material das faces nas propriedades mecânicas de estruturas sanduíche. Foi utilizada uma estrutura sanduíche com núcleo de poliuretano e faces de fibra de vidro na forma de manta ou tecido com resina poliéster, ambos fabricados por processo de laminação contínua. Foram realizados ensaios de compressão de núcleo e da estrutura sanduíche, segundo as respectivas normas ASTM. Concluiu-se que a redução na espessura das faces do painel sanduíche pode ser compensada com o aumento da resistência mecânica e do módulo de elasticidade destes materiais.

**Palavras-chave:** *Compósitos; Estruturas sanduíche; Propriedades mecânicas; Fibra de vidro; Poliuretano.*

### *Effect of the Faces on the Mechanical Properties of Sandwich Structures for Automotive Application*

**Abstract:** Sandwich structures are widely used in several engineering applications. The study of their properties is crucial to widen their use. In this work, mechanical tests were used to evaluate the effect of the face material on the mechanical properties of sandwich structures. Sandwich panels with polyurethane core and faces based on glass fiber mats or fabrics with polyester resin were manufactured using a continuous lamination process. The mechanical tests of core compression and edgewise sandwich compression were carried out according to the respective ASTM standards. It was found that the reduction in thickness of the faces of the panel might be balanced by the increase in their strength and modulus.

**Keywords:** *Composites; Sandwich Structures; Mechanical Properties; Glass fiber; Polyurethane.*

### Introdução

As estruturas sanduíche são largamente utilizadas em diversas aplicações de engenharia. Estas estruturas são compostas por um núcleo, que possui a função de aumentar a distância entre as faces da estrutura, o segundo componente. As faces podem ser fabricadas do mesmo material ou não, e sua espessura também pode ser variada. As faces conferem grande parte da resistência mecânica no plano da estrutura sanduíche, sendo muitas vezes fabricadas em materiais compósitos poliméricos.

A resistência mecânica do núcleo também é muito importante para a resistência do sanduíche, por exemplo, em compressão no plano transversal às faces, sendo influenciada pelo material e sua densidade. Segundo Fam *et al.* [1] a densidade do poliuretano utilizado como núcleo de sanduíches afeta diretamente sua resistência mecânica em tração, compressão e cisalhamento. A densidade do poliuretano afeta também o comportamento térmico [2]. O comportamento à compressão do núcleo não é afetado pela densidade [3], sendo este caracterizado por uma zona inicial linear elástica, uma zona intermediária onde existe o colapso das células e uma terceira zona onde ocorre o aumento da densidade do núcleo [4].

Já para as faces manufaturadas em materiais compósitos, a resistência mecânica está diretamente relacionada às propriedades dos constituintes, sua proporção e o ângulo de alinhamento das fibras. Assim, quanto mais alinhado estiver o ângulo de aplicação das cargas com o ângulo de alinhamento das fibras, maior será a resistência do compósito [5]. A carga de compressão do sanduíche, da mesma

forma que a resistência à flambagem, aumenta com o aumento do módulo de elasticidade das faces. Este efeito também ocorre quando se tem o aumento da densidade do núcleo [3].

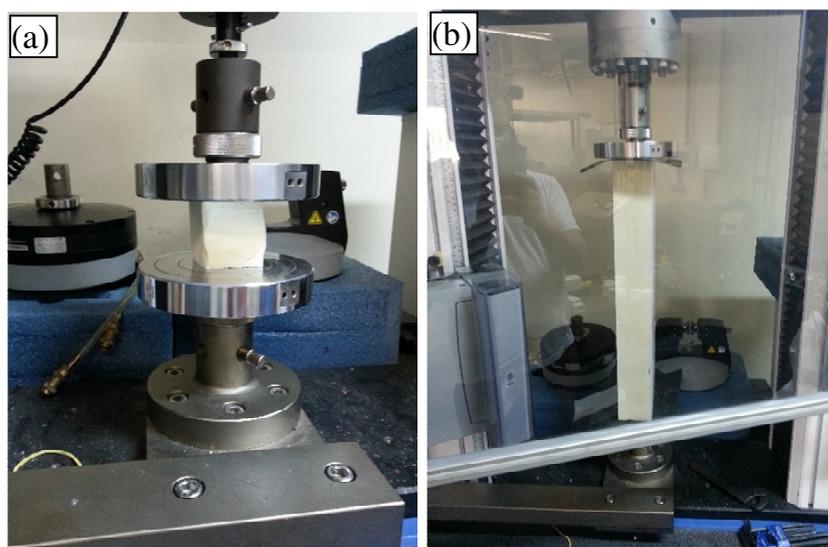
Para as estruturas sanduíche, a adesão entre o núcleo e as faces é tão importante quanto as propriedades dos materiais do núcleo e das faces em si. Assim, o comportamento estrutural deste tipo de painel só pode ser avaliado completamente se for avaliada esta adesão, como por ensaio de compressão de sanduíche [6]. Em núcleos de poliuretano, é comum observar delaminação da face do sanduíche pois a diferença na capacidade de deformação das faces e do núcleo é muito grande [7-8]. Para o ensaio de compressão do sanduíche, a determinação do tipo de falha é muito importante para a caracterização da estrutura, podendo indicar qual a região mais frágil do painel [8]. Além da delaminação / descolamento da face com o núcleo, pode ocorrer a flexão do painel, o cisalhamento do núcleo, o cisalhamento das faces e o esmagamento das faces como falhas comuns durante o ensaio [9].

Este trabalho possui o intuito de caracterizar o comportamento de painéis sanduíche produzidos com diferentes materiais de face. O núcleo escolhido para estas estruturas foi poliuretano, produto comumente utilizado em painéis estruturais para isolamento térmico. Já para o material de face do sanduíche, utilizou-se manta ou tecido de fibra de vidro com resina poliéster.

## Experimental

Para a produção das amostras de estruturas sanduíche, utilizou-se um tipo de material de núcleo e dois tipos de materiais de face. O material escolhido para o núcleo foi o poliuretano, com densidade de  $40 \text{ kg/m}^3$ . Já as faces foram produzidas com manta de fibra de vidro/resina poliéster (gramatura da manta:  $775 \text{ g/m}^2$ ) ou tecido de fibra de vidro/resina poliéster (gramatura do tecido:  $900 \text{ g/m}^2$ ). Os compósitos foram produzidos por laminação contínua, cortados na largura necessária com cortador automático e com espessura final do compósito de 1,9 mm e 1,2 mm respectivamente.

Para a caracterização das estruturas sanduíche, realizou-se ensaios mecânicos de compressão de núcleo, baseado na norma ASTM C365 (*Standard test method for flatwise compressive properties of sandwich cores*), e ensaios de compressão do painel sanduíche, baseado na norma ASTM C364 (*Standard test method for edgewise compressive strength of sandwich constructions*), como mostra a Fig. 1. Utilizou uma máquina universal de ensaios mecânicos, marca Instron modelo 3382, equipada com célula de carga de 5 kN. Foram posicionados os corpos de prova no centro do disco de compressão inferior. Então, a máquina foi aproximada do corpo de prova e zerada. Para a compressão de núcleo, foi utilizada uma pré-carga de 45 N e uma velocidade de 12 mm/min, enquanto para a compressão do sanduíche a velocidade foi de 2 mm/min, sem pré-carga.

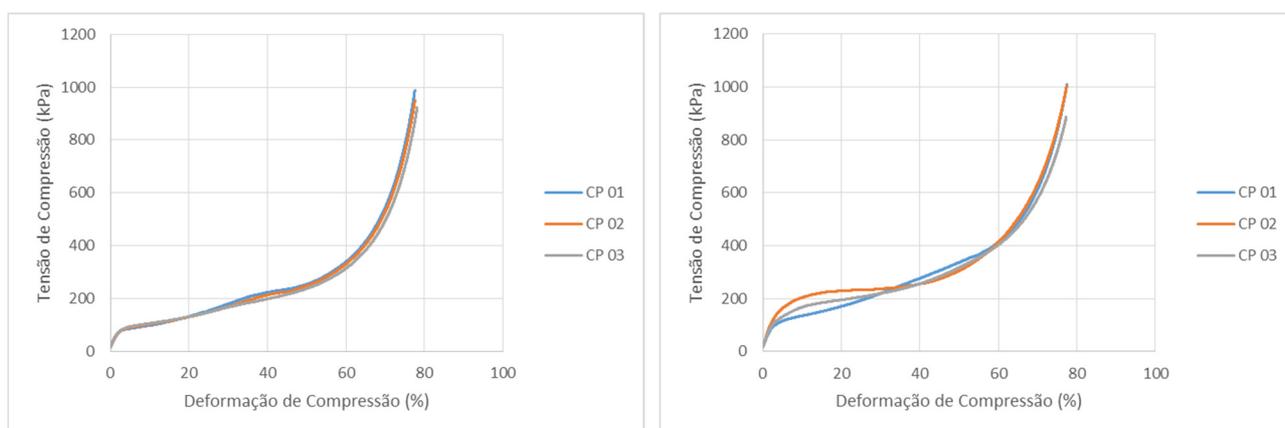


**Figura 1** – Dispositivos de ensaio: (a) Compressão de núcleo, e (b) compressão do sanduíche.

## Resultados e Discussão

As Figs. 2(a)-(b) apresentam os gráficos obtidos no ensaio de compressão do núcleo do painel sanduíche com faces confeccionadas com manta de fibra de vidro ou com tecido de fibra de vidro, respectivamente. Comparando os dois gráficos, pode-se observar que o comportamento à compressão do núcleo do painel não é afetado de forma significativa pelos materiais de revestimento da face. E a pequena variação observada entre as amostras de uma mesma família pode ser atribuída a variações no processo produtivo do núcleo, pois o mesmo apresenta variação de ordem prática devido à sua natureza manual.

Mohamed *et al.* [4] observou que os núcleos confeccionados em poliuretano possuem um comportamento característico quando submetidos à compressão, caracterizado por uma zona linear elástica no início da curva, uma zona de colapso das células com tensão quase constante, e uma zona de aumento da densidade do núcleo onde a tensão aumenta exponencialmente. Este comportamento é comum entre alguns tipos de polímeros.



**Figura 2** – Ensaio de compressão de núcleo com painel sanduíche produzido com: (a) Manta, e (b) Tecido.

Apresenta-se na Tabela 1 a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação encontrados nos resultados dos ensaios de compressão de núcleo. Como o PU usado foi o mesmo em ambos os casos, o comportamento sob compressão não sofreu alteração significativa.

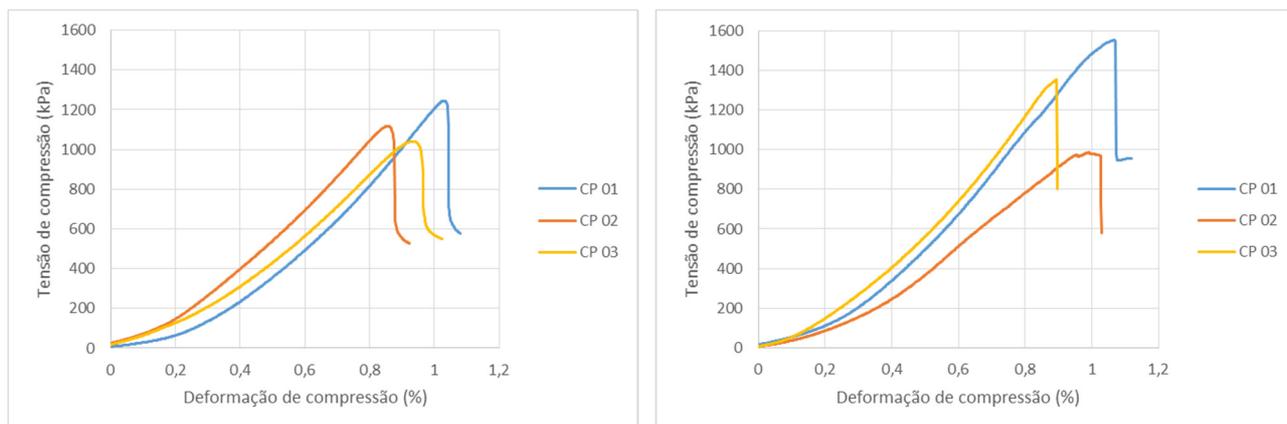
**Tabela 1** – Resultados ao final dos ensaios de compressão de núcleo.

<b>Faces confeccionadas com manta</b>				
	Deslocamento (mm)	Força (N)	Deformação (%)	Tensão (kPa)
Média	50,69	2519	77,765	954
Desvio Padrão	0,264	87	0,322	34
Coeficiente Variação (%)	0,521	3,44	0,414	3,6
<b>Faces confeccionadas com tecido</b>				
	Deslocamento (mm)	Força (N)	Deformação (%)	Tensão (kPa)
Média	50,38	2656	77,379	967
Desvio Padrão	0,069	225	0,087	70
Coeficiente Variação (%)	0,137	8,91	0,112	7,2

Na Fig. 3 apresenta-se os resultados obtidos pelo ensaio de compressão do sanduíche, para os diferentes materiais de face. Observou-se que a alteração de manta para tecido provocou um aumento na resistência à compressão do sanduíche. Isto ocorre mesmo com a redução da espessura das faces de 1,9 para 1,2 mm (redução de 37% no caso do tecido), pois há um aumento na resistência à

compressão do material das faces pela substituição da manta pelo tecido, que conta com todas as fibras orientadas a 0° ou 90°.

Apresenta-se na Tabela 2 a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação encontrados nos ensaios de compressão do sanduíche. Pode-se observar novamente que a resistência à compressão do painel aumenta apesar de diminuir a espessura do material das faces do sanduíche quando se usa o tecido. O aumento do módulo de elasticidade e de resistência que ocorre quando é trocado um compósito de manta de fibra de vidro por um compósito de tecido de fibra de vidro das faces aumenta a resistência à compressão e à flambagem do painel sanduíche [3].



**Figura 3** – Ensaios de compressão do sanduíche: (a) Manta, e (b) Tecido.

Durante os ensaios de compressão do sanduíche, foi observada a delaminação da face do sanduíche. Isto pode ocorrer quando é realizado este tipo de ensaio com núcleo de poliuretano e este efeito pode ser minimizado ao se usar um dispositivo que confine as pontas do painel [7-8]. Este tipo de dispositivo deve ser confeccionado sob medida para a espessura dos painéis sanduíche a serem ensaiados.

**Tabela 2** – Informações obtidas ao final dos ensaios de compressão do sanduíche.

<b>Faces confeccionadas com mantas</b>	Deslocamento (mm)	Força (N)	Deformação (%)	Tensão (kPa)
Média	4,68	10367	1,009	1134
Desvio Padrão	0,49	967	0,080	103
Coeficiente Variação (%)	10,47	9,33	0,79	9,1
<b>Faces confeccionadas com tecidos</b>	Deslocamento (mm)	Força (N)	Deformação (%)	Tensão (kPa)
Média	5,09	11852	1,015	1297
Desvio Padrão	0,57	2634	0,112	288
Coeficiente Variação (%)	11,20	22,22	11,03	22,2

## Conclusões

Conclui-se a partir deste estudo que a redução na espessura do material utilizado nas faces do painel sanduíche pode ser compensada com o aumento da resistência mecânica e do módulo de elasticidade das faces com o uso de reforços mais estruturados, como tecidos bidirecionais. Desta forma, pode-se reduzir o peso de painéis sanduíche aumentando as propriedades mecânicas do painel sanduíche. Para a caracterização completa deste painel sanduíche, devem ainda ser realizados outros ensaios mecânicos. Também é interessante que se realizem ensaios para caracterização mecânica isolada dos materiais compósitos que compõem as faces do sanduíche.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o à UFRGS e ao GComp pelo apoio prestado e também à empresa Randon SA pelo suporte durante a realização do trabalho.

## Referências Bibliográficas

1. A. Fam; T. Sharaf *Compos. Struct.* 2010, 92, 2927.
2. M. Thirumal; D. Khastgir; N. K. Singha; E. S. Manjunath; Y. P. Naik *J. Appl. Polym. Sci.* 2008, 108, 1810.
3. W. Yeh; Y. Wu *Theor. Appl. Fract. Mech.* 1991, 15, 63.
4. M. Mohamed; S. Anandan; Z. Huo; V. Birman; J. Volz; K. Chandrashekhara *Compos. Struct.* 2015, 123, 169.
5. C. Kaynak; E. S. Erdiller; L. Parnas; F. Senel *J. Appl. Polym. Sci.* 1997, 66, 1209.
6. J. M. Davies, *Lightweight Sandwich Construction*, Blackwell Science Ltd, Oxford, 2001.
7. J. R. Correia; M. Garrido; J. A. Gonilha; F.A. Branco *Int. J. Struct. Integr.* 2012, 3, 127.
8. V. Vadakke; L. A. Carlsson *Compos. Pt. B-Eng.* 2004, 35, 583.
9. N. A. Fleck; I. Sridhar *Compos. Pt. A- Appl. Sci. Manuf.* 2002, 33, 353.