

## **FABRICAÇÃO E ANÁLISE MECÂNICA DE COMPÓSITOS DE MATRIZ EPÓXI AUTORREGENERÁVEIS CONTENDO POLISSILOXANOS MICROENCAPSULADOS**

Victor Hugo Negosek de Oliveira  
Prof Dr Sérgio Henrique Pezzin

Acadêmico(a) do Curso de Engenharia Mecânica, DEM - bolsista PIBIC/CNPq

Palavras-chave: Compósitos, autorregeneração, microcápsulas, resina epoxídica

Os compósitos estão suscetíveis à falha por múltiplos mecanismos, tais como fadiga térmica e mecânica, descolagem e microtrincas geradas durante um impacto. Esses danos podem ser reparados através de mecanismos de autorregeneração [1], os quais podem ocorrer através do uso de microcápsulas preenchidas com um agente de cicatrização que, quando liberado, restaura total ou parcialmente as propriedades do material [2].

Nesse estudo, microcápsulas de PUF [4] foram preenchidas com um polissiloxano aminado (PDMS-A), incorporadas dentro de uma matriz epoxídica comercial conhecida como RenLam® M, e endurecida com Aradur® 956-2.

A primeira parte da pesquisa consistiu na fabricação de corpos de provas utilizando moldes de silicone ('soft mold'), as condições avaliadas foram corpos de prova apenas com a matriz epoxídica (referência) e com microcápsulas infiltradas. Foram confeccionados diferentes tipos de corpos de provas e utilizados para os ensaios de tenacidade a fratura (TDCB) e para Análise Dinâmico-Mecânica (DMA).

A segunda foi a fabricação de corpos de prova de tecidos de fibras de vidro impregnados com a matriz epoxídica utilizando a técnica de fabricação 'Vacuum Bag' [5]. Estes corpos de prova foram utilizados para Análise Dinâmico Mecânica (DMA) e para Caracterização Mecânica e regenerativa através do ensaio de Resistência Interlaminar de Compósitos.

Para a análise mecânica do compósito foi adotado o método de ensaio de cisalhamento interlaminar de 3 pontos ("short beam") [1], conforme a Figura 1, descrito pela norma ASTM D2344[7], e foram realizados através de uma máquina de universal de ensaios, acoplada a um computador que processa graficamente as curvas de carga versus deslocamento, como representado na Figura 2.

Inicialmente foram ensaiados 6 corpos de prova apenas com tecido de fibra de vidro impregnado com resina epóxi (referência), sendo três levados a ruptura do material e três levados ao início do escoamento. Os três corpos de prova que não foram rompidos foram reensaiados depois de 24 horas e avaliadas suas propriedades mecânicas.

Após o ensaio de referência ensaiaram-se mais 9 corpos de prova com tecido de fibra de vidro impregnado com resina epóxi e microcápsulas, sendo três levados a ruptura do material e seis levados ao início do escoamento. Os seis corpos de prova que não foram rompidos foram reensaiados depois de 24 horas e avaliado suas propriedades mecânicas e regenerativas.



Figura 1: ILSS

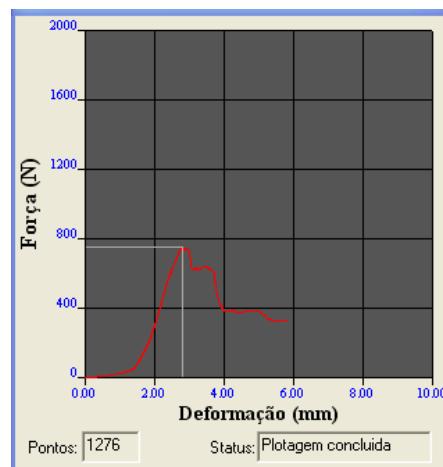


Figura 2 : Força x Deslocamento

Com os resultados dos ensaios, mostrados na Tabela 1, fizeram-se duas comparações.

	Referência	CP com Microcápsulas
Tensão máxima teste	$214,0 \pm 35,9$ MPa	$155,6 \pm 24,4$ MPa
Tensão máxima reteste	$148,4 \pm 17,5$ MPa	$134,1 \pm 21,2$ MPa

Tabela 1: Resultados

A primeira era a comparação entre as propriedades mecânicas dos corpos de prova com microcápsula em relação ao de referência, o que se pode perceber uma redução média de 41,62% da tensão máxima quando adicionado microcápsulas ao compósito.

A segunda era a comparação entre a redução da tensão máxima dos corpos de prova reensaiados, o que se percebeu uma redução média de 30,65% para a referência e 13,80% para os compósitos com microcápsula, mostrando assim a eficiência esperada.

## REFERÊNCIAS

- [1] MANGUN, C.; MADER, A.; SOTTOS, N.; WHITE, S. "Self-healing of a high temperature cured epoxy using poly(dymethylsiloxane) chemistry," *Polymer*, pp. 4063-4068, 2010.
- [2] BLAISZIK, B.; SOTTOS, N.; WHITE, S. "Nanocapsules for self-healing materials," *Composites Science and Technology*, pp. 978-986, 2008.
- [3] NOGUEIRA, A. B.; DE ARAÚJO, M. S.; CERRI, J. A. Planejamento experimental para estudo de composição de espumas em resina epóxi de células abertas. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Joinville, 2012.
- [4] COSTA, S. F.; ANDRADE, A. G.; MEIER, M. M.; PEZZIN, S. H. "Modificação do diâmetro de microcápsulas de poli(ureia-formaldeído) pelo uso de octanol," *Matéria (Rio J.)*, p. 12251, 2018.
- [5] SCHECHTER, S. G. K; CENTEA, T.; NUTT, S. Effects of resin distribution patterns on through-thickness air removal in vacuum-bag-only prepgs. *Composites A*, v. 130, p. 105723, 2020.
- [6] COSTA, M. L.; DE ALMEIDA, S. F. M; REZENDE, M. C. Resistência ao cisalhamento interlaminar de compósitos com resina epóxi com diferentes arranjos das fibras na presença de vazios. *Polímeros*, v. 11, n. 4, p. 182-189, 2001.
- [7] ASTM D2344 / D2344M-16, Standard Test Method for Short-Beam Strength of Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, [www.astm.org](http://www.astm.org).