

## INFLUÊNCIA DA NANOSSÍLICA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E TÉMICAS EM UM SISTEMA EPÓXI/COPOLÍMERO TRIBLOCO<sup>1</sup>.

Fernanda Sebem Donatti<sup>2</sup>, Marcia Bär Schuster<sup>3</sup>, Marilia Marschall Sedosvki<sup>4</sup>, Luana Bettanin<sup>5</sup>, Marlene Bampi<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> Vinculado ao projeto “Sistemas termorrígidos multicomponentes”

<sup>2</sup> Acadêmico (a) do Curso de Engenharia Química – CEO – Voluntária PIVIC

<sup>3</sup> Orientador, Departamento de Engenharia de Alimentos e Química – CEO – marcia.schuster@udesc.br

<sup>4</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Química – CEO.

<sup>5</sup> Docente do Departamento de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química - CEO

Os polímeros são essenciais na sociedade atual, sendo utilizados em diversas áreas como embalagens, eletrônicos, construção civil e medicina, proporcionando soluções inovadoras para desafios complexos. Entre os polímeros, os termofixos se destacam por sua estrutura molecular tridimensional, oferecendo resistência térmica elevada e excelente resistência química e mecânica, sendo ideais para ambientes adversos. Já os copolímeros desempenham um papel importante na busca por propriedades específicas, combinando monômeros para criar materiais com diferentes características, como flexibilidade, tenacidade, rigidez e resistência. A nanossílica, por sua vez, possui propriedades únicas devido às suas dimensões nanométricas, podendo reforçar polímeros, melhorar propriedades mecânicas e contribuir para avanços em diversas áreas, incluindo materiais.

As amostras foram sintetizadas pelo método de polimerização *in situ*. Adição de 0,5% (m/m) de nanossílica com tamanho de 10-20 nm, 10% (m/m) de copolímero tribloco e 28,5% (m/m) de endurecedor (4,4 diaminodifenilmetanol) na matriz. Foram avaliados dois copolímeros diferentes, poli(etilenoglicol)/poli(propilenoglicol)/poli(etilenoglicol) (PEG-b-PPG-b-PEG) com massa molar de 1900 g/mol e poli(propilenoglicol)/ poli(etilenoglicol)/poli(propilenoglicol) (PPG-b-PEG-b-PPG) com massa molar de 2.000 g/mol. A nanossílica foi pré-misturada com a resina e mantida sob agitação magnética por 5 min. Em seguida a mistura foi sonicada, adicionando 400 J/g de energia aos sistemas. Em seguida, o respectivo copolímero foi adicionado a cada amostra sob agitação magnética durante 10 min. O processo é finalizado adicionando o endurecedor e agitando por mais 7 minutos. Ao final a mistura, é vertida despejada em moldes de silicone e curadas em estufa por 24 h a 100°C, seguida de um processo de pós-cura a 140°C por 1 h em estufa. Os testes de tração e tenacidade a fratura foram realizados de acordo com ASTM D638 e ASTM D5045, respectivamente.

Os resultados do ensaio de tração mostraram aumento da tensão de ruptura máxima e deformação máxima na presença de nanossílica, conforme apresentados na Tabela 2. A nanossílica na matriz epóxi melhorou o desempenho dos sistemas em até 40% na tensão máxima e 33% na deformação máxima, quando comparado ao epóxi puro. A matriz epóxi combinada com a nanossílica resultou em maior rigidez, pois o módulo de elasticidade apresentou aumento de 24% devido à presença da nanossílica no epóxi puro, mostrando-se como agente de acoplamento eficaz. Portanto, a nanossílica mostrou ser um reforço promissor para a matriz epóxi. Nos sistemas com copolímero em bloco e nanossílica o efeito foi similar, ou seja, ocorreram aumento na tensão, deformação e módulo de elasticidade em relação a composição que continha apenas o copolímero tribloco na matriz epóxi. Os valores calculados de tenacidade à fratura ( $K_{Ic}$ ) e taxa de liberação de energia de deformação crítica ( $G_{Ic}$ ), presentes na Tabela 3, não teve diferença

significativa entre os sistemas. Assim, nem o copolímero em bloco e nem a nanossílica se mostraram eficientes na tenacificação da matriz. Por outro lado, a taxa de liberação de energia de deformação, que leva em conta também o resultado de tração dos sistemas, indicou que a adição de copolímero em bloco teve efeito positivo na matriz, e que a combinação com nanossílica não teve efeito sinérgico com o copolímero em bloco.

Desta forma as propriedades mecânicas, como tensão de ruptura e módulo de elasticidade, também foram melhoradas com a adição de nanossílica. Por outro lado, não houve diferença significativa uma redução na tenacidade à fratura e apenas aumentou na taxa de liberação de energia de deformação dos sistemas em relação a matriz epóxi pura. Assim, este estudo demonstrou a relevância da nanossílica nas propriedades de sistemas de matriz epóxi com copolímero.

**Tabela 1. Nomenclaturas das composições realizadas.**

Amostra	PPG-b-PEG-b-PPG % (m/m)	PEG-b-PPG-b-PEG % (m/m)	NS ** % (m/m)
P*	-	-	-
PNS	-	-	0,5
CTB191	-	10	-
CTB191NS	-	10	0,5
CTB201	10	-	-
CTB201NS	10	-	0,5

\*P é a sigla utilizada para resina epóxi. \*\*NS é a sigla utilizada para abreviação de Nanossílica.

**Tabela 3. Resultados do ensaio de Tração.**

Amostra	$\sigma_{máx}$ (MPa)*	$\epsilon_{máx}$ (m/m)**	E (GPa)***
P*	52,99 ± 9,19	4,86 ± 1,50	2,13 ± 0,13
PNS	74,22 ± 4,57	6,47 ± 1,24	2,64 ± 0,22
CTB191	42,77 ± 10,49	2,84 ± 1,11	2,47 ± 0,04
CTB191NS	73,68 ± 1,81	4,72 ± 0,55	3,13 ± 0,13
CTB201	45,77 ± 6,49	2,85 ± 0,57	2,61 ± 0,09
CTB201NS	63,86 ± 13,50	3,73 ± 1,30	3,27 ± 0,31

\*Tensão de ruptura máxima. \*\* Deformação máxima. \*\*\* Módulo de elasticidade.

**Tabela 3. Resultados do ensaio de tenacidade à fratura.**

Grupo Epóxi			Grupo NS*		
Nome	K <sub>Ic</sub> (MPa.m <sup>1/2</sup> )	G <sub>Ic</sub> (J/m <sup>2</sup> )	Nome	K <sub>Ic</sub> (MPa.m <sup>1/2</sup> )	G <sub>Ic</sub> (J/m <sup>2</sup> )
P	1,17 ± 0,05	611,32 ± 62,76	PNS	1,10 ± 0,01	400 ± 9,58
CTB191	1,11 ± 0,01	436,29 ± 6,73	CTB191NS	1,12 ± 0,05	315,79 ± 31,42
CTB201	1,10 ± 0,04	379,43 ± 11,46	CTB201NS	1,00 ± 0,04	253,24 ± 20,74

\* NS é a sigla utilizada para abreviação de Nano Sílica.

**Palavras-chave:** Nanossílica. Copolímero. Epóxi. Propriedades