

## A INFLUÊNCIA DA NANOSÍLICA NA TENACIDADE A FRATURA EM UM SISTEMA EPÓXI/COPOLÍMERO TRIBLOCO<sup>1</sup>

Fernanda Sebem Donatti<sup>2</sup>, Marcia Bär Schuster<sup>3</sup>, Lohana Vieira Bataglini<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 desempenham um papel fundamental na sociedade, estão presentes em embalagens, eletrônicos, móveis e uma infinidade de produtos que nos cercam devido a sua versatilidade. Dentre os polímeros, a resina epóxi é generosamente utilizada, apresenta notável resistência e capacidade de aderência em revestimentos de piso e madeiras e é aplicável em consertos domésticos e na prática de artesanatos. Porém, quando ocorre o processo de cura inicia-se a reticulação das cadeias moleculares da resina, gerando uma diminuição da mobilidade dos sistemas, conferindo-os a característica de fratura frágil. Visto isso, com a finalidade de melhorar e ampliar as propriedades das resinas epóxi, compostos como, copolímeros e nanomateriais, podem ser incorporados na matriz. Assim, o objetivo desse trabalho foi analisar o desempenho mecânico através de testes de tenacidade a fratura e tração de nanocompósitos de sílica com matriz epóxi (resina epóxi diglicidil éter do bisfenol A) e copolímero tribloco.

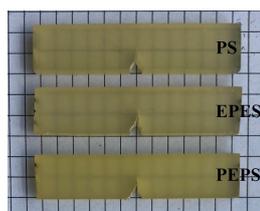
As amostras foram sintetizadas através do método de polimerização *in situ*. Adicionando na matriz 0,5 % (m/m) de nanosílica de tamanho entre 10-20 nm, 10 % (m/m) de copolímero e 28,5% de endurecedor (4,4diaminodifenilmetanol). Foram avaliados dois copolímeros diferentes, sendo o poli(etilenoglicol)/poli(propilenoglicol)/poli(etilenoglicol) (PEG-b-PPG-b-PEG) de massa molar 1900 g/mol e o poli(propilenoglicol)/poli(etilenoglicol)/ poli(propilenoglicol) (PPG-b-PEG-b-PPG) de massa molar 2000 g/mol. Foi realizada uma pré-mistura da nanosílica com a resina e mantida sob agitação magnética em 5 min. Na sequência, realizou-se a sonicação da mistura por adição de energia, sendo 400 J/g adicionados. Em seguida foram adicionados o copolímero referente em cada amostra sob agitação magnética por 10 min. Finalizou-se o processo adicionando o endurecedor e agitando por mais 7 min. Ao fim da mistura, as amostras foram vertidas em moldes de silicone e curadas em estufa por 24 h a 100 °C, seguido de um processo de pós-cura a 140 °C por 1 h na estufa. Os ensaios de tração e tenacidade a fratura foram realizados conforme as normas ASTM D638 e ASTM D5045, respectivamente. As amostras usadas no ensaio de tenacidade a fratura estão ilustradas na Figura 1.

Os valores obtidos para tensão máxima ( $\sigma$ ), deformação máxima ( $\epsilon$ ), módulo de Young (E) e a tenacidade a fratura ( $K_{Ic}$ ) estão apresentados na Tabela 1. Analisando as amostras com adição da sílica (PS, EPES e PEPS), pode-se observar que a sílica atuou como um agente de reforço, proporcionando um aumento das propriedades de resistência e rigidez dos sistemas. Dentre as amostras, repara-se que os maiores valores são referentes a matriz epóxi com a sílica. Ainda, observa-se que, em relação a matriz pura, a amostra de epóxi com somente nanopartículas (PS) apresentou aumentos de 23,19%, 21,40% e 23,47% em tensão máxima, deformação máxima e módulo Young, respectivamente. As amostras EPES e PEPS, que têm a incorporação de

copolímero, em comparação ao sistema PS, apresentaram uma diminuição de 0,77% e 5,21% respectivamente, na tensão máxima. O sistema EPES, com o copolímero PEG-b-PPG-b-PEG, exibiu o maior valor dentro os sistemas com copolímero. Isso deve-se a boa interação do grupo PEG com a matriz epóxi, o que o caracteriza como um agente de acoplamento, melhorando a compatibilidade química e melhorando as interações intermoleculares.

Pode ser verificado pelos resultados da Tabela 1, que a deformação aumentou quando adicionado sílica nas composições. Sob outra perspectiva, as amostras EPES e PEPS apresentaram uma diminuição de 30,91% e 42,35%, respectivamente, em relação a matriz com sílica (PS), para os testes de deformação. Dessa forma, os resultados apontam que a adição de nanosílica melhorou também a deformação sob tração da matriz epóxi. Este resultado aponta que a adição dos copolímeros triblocos, ao contrário do que se esperava para uma fase macia, não aumentou a deformação da matriz. Mas quem gerou esse aumento foi a fase rígida, nanosílica.

A adição de partículas rígidas, como a sílica, como agente de reforço, geralmente aumenta a rigidez do material, ou seja, o módulo de Young. Desta forma, pode ser verificado que a nanopartícula teve atuação eficaz nessa propriedade, pois ocorreu um aumento em 23,47% da amostra PS em relação a matriz pura. E aliado a isso, o uso concomitante de copolímero tribloco, os quais tem o componente PEG que tem afinidade com a matriz epóxi, fez com que esse resultado fosse potencializado, com aumentos de 13% e 18,41% para as amostras EPES e PEPS em relação ao epóxi puro. Além disso, o aumento do módulo de elasticidade nos sistemas indica que ocorreu a transferência de tensão entre partículas e matriz, e ainda, este fato é um forte indicativo que as partículas estão dispersadas uniformemente na matriz. Para a capacidade de um material absorver energia antes e durante o processo de fratura foi avaliado pela tenacidade ( $K_{Ic}$ ) dos sistemas. Observamos que todos os sistemas ficaram mais frágeis que a matriz pura, ou seja, a tenacidade a fratura diminuiu, em geral, os resultados não tiveram diferença significativa entre os valores de  $K_{Ic}$ . Este resultado mostra que a presença tanto das nanopartículas como do copolímero, fragilizaram a matriz, e não foram efetivas em desencadear mecanismos de tenacificação.



**Figura 1.** Comparação visual das transparências nas amostras de ensaio tenacidade.

**Tabela 1.** Propriedades mecânicas dos sistemas.

Amostra	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (mm/mm)	E (GPa)	$K_{Ic}$ (MPa·m <sup>0,5</sup> )
Pura	57,01±4,98	5,40±1,16	2,12±0,03	1,23±0,06
EPE	47,61±4,47	3,45±0,50	2,49±0,02	1,11±0,01
PEP	48,89±1,99	3,21±0,26	2,62±0,90	1,10±0,04
PS	74,22±4,57	6,87±0,99	2,77±0,06	1,10±0,06
EPES	73,68±1,81	4,72±0,55	3,13±0,14	1,12±0,05
PEPS	70,35±4,18	4,49±0,83	3,28±0,31	1,00±0,04

**Palavras-chave:** Nanosílica, Epóxi, Copolímero.