

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DE UMA CURVA J-R PARA AMOSTRAS DE POLIPROPILENO SINTÁTICO

M. L. Schmidt ⁽¹⁾, B. P. dos Santos ⁽¹⁾, T. R. Strohaecker ⁽¹⁾

⁽¹⁾ LAMEF/PPGEM/Escola de Engenharia/UFRGS - Av. Osvaldo Aranha, 99,
sala 610. Porto Alegre - RS. CEP 90035-190 - matheus.schmidt@ufrgs.br

RESUMO

A integral J é definida como uma integral de contorno utilizada para analisar a distribuição de forças em imperfeições existentes em materiais elásticos que possuem tenacidade elevada e apresentam deformação plástica na ponta da trinca, sendo geralmente calculada para múltiplos corpos de prova e tendo o seu valor crítico associado com a variação do tamanho da trinca para a elaboração da curva J-R. Esta curva apresenta a resistência que um material possui em retardar o crescimento estável de uma trinca após a sua nucleação e pode ser utilizada como parâmetro para escolha de material em projetos ou para controle de processos. Para a determinação da curva J-R foram utilizadas amostras de Polipropileno Sintático, que foram ensaiadas conforme a norma ASTM D6068-10. Apesar da presença de microesferas de vidro na estrutura do compósito, que podem agir como elementos nucleadores de trincas, as amostras apresentaram uma tenacidade suficiente para a obtenção da curva J-R.

Palavras-chave: Curva J-R, integral J, Polipropileno Sintático, mecânica da fratura

INTRODUÇÃO

Nas mais diversas áreas de conhecimento da engenharia, se deseja que o material escolhido para uma determinada aplicação seja o mais leve possível e que desempenhe a sua função mecânica de forma eficaz. Dentre estes materiais, cita-se a aplicação dos compósitos, que associam as propriedades mecânicas da matriz e do reforço, de uma forma única, para garantir uma melhora nos resultados práticos obtidos com a sua união. ^{(1) (2)}

Polímeros sintéticos são compósitos que consistem em microesferas utilizadas como reforço em uma matriz polimérica. Essas microesferas são, em sua maioria, fabricadas em uma forma oca e de vidro, o que confere um aumento na resistência mecânica a compressão do compósito, além de possuir uma fabricação mais economicamente viável do que microesferas poliméricas, devido à tecnologia já implantada e à extensa quantidade de matéria-prima disponível. ⁽³⁾

As esferas ocas de vidro possuem um comportamento frágil e susceptível a carregamentos pontuais. Dependendo da aplicação e do carregamento em serviço, pode vir a ocorrer a quebra das esferas, o que causa uma diminuição da resistência térmica e mecânica do compósito. Outro fator decorrente do carregamento sobre o compósito é o descolamento das esferas da matriz, sendo esta, uma característica que permite a criação de caminhos preferenciais para a propagação de trincas na matriz, quando submetida a esforços cíclicos. Em contrapartida, a matriz dúctil formada por polímeros termoplásticos possui a tendência de frear o crescimento de trincas, por sofrer deformação plástica antes de romper. ^{(4) (5)}

As diferentes características em fratura da matriz e do reforço neste compósito tornam necessária a caracterização do material com relação ao seu comportamento em fadiga. Avaliando uma possível predominância do comportamento dúctil da matriz sobre o comportamento frágil do reforço, o presente estudo visa caracterizar o comportamento de Polipropileno Sintético, utilizando o conceito da curva J-R, conforme a norma ASTM D6068-10. Este conceito é baseado na Mecânica da Fratura Elasto-Plástica (MFEP), que é válida para um material que se comporta de maneira dúctil, apresentando deformação plástica antes da fratura. ^{(6) (7)}

Um dos métodos adotados para avaliar as condições encontradas na região próxima à ponta da trinca para materiais elasto-plásticos é a integral J, que é uma integral de linha independente do caminho de integração, elaborada por Rice ao igualar a taxa de liberação de energia em um sólido com um comportamento elástico não linear. Esta relação torna possível a sua utilização como parâmetro geral para critérios de falha, pois ao contrário de análises com ΔK , com ΔJ pode-se prever a vida desde os primeiros momentos após a iniciação da trinca até um tamanho final especificado. ^{(8) (9) (10)}

Os materiais que se comportam ductilmente apresentam um crescimento lento e estável da trinca quando submetidos a esforços. Isso pode ser explicado, pois além da energia necessária para que ocorra o crescimento da trinca, uma quantidade de energia excedente é gasta para deformar plasticamente o material, o que torna necessário um aumento no carregamento para que ocorra a propagação da trinca. Esse fenômeno ocorre até onde o crescimento da trinca se torna instável, que Rice determinou ser onde se atinge um valor crítico de J, chamado de J_{IC} . Uma forma de se analisar é através da curva R do material, a qual expressa à relação entre a propagação estável da trinca (Δa) e um parâmetro de tenacidade à fratura, sendo neste estudo escolhida a integral J. ^{(8) (11) (12)}

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados com base na norma ASTM D6068-10, prevendo a utilização de múltiplos corpos de prova de Polipropileno Sintático para a elaboração da curva J-R, sendo obtidos 7 resultados considerados válidos. O tipo de corpo de prova escolhido foi o de flexão em três pontos (SE(B)), sendo que os corpos de prova foram usinados com as dimensões especificadas na Figura 1. ⁽⁷⁾

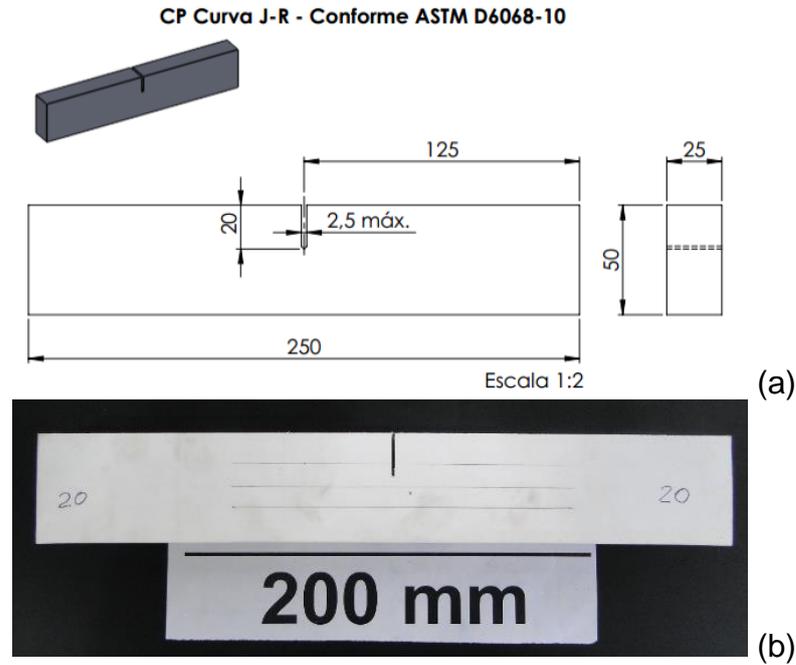


Figura 1: Desenho com valores dimensionais (a); amostra real (b)

O método escolhido para a abertura da pré-trinca nos corpos de prova foi através do uso de uma lâmina, apresentado na Figura 2, por possuir maior precisão e reprodutibilidade do que o pré-trincamento em fadiga, que durante testes preliminares de pré-trincamento apresentaram crescimento desparelho da trinca, invalidando os ensaios, além de causarem um descolamento entre as camadas poliméricas em alguns casos.

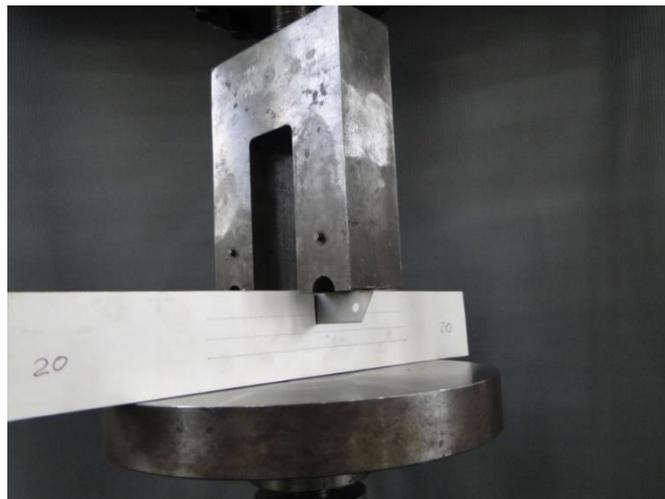


Figura 2: Método de abertura de trinca com lâmina

Os ensaios de pré-trincamento, assim como os ensaios para a construção da curva J-R foram realizados em uma máquina servo-hidráulica, da marca MTS, modelo 810 com capacidade de 100kN, controlada pelo software MTS Toughness

Testware, em um ambiente nas condições de 23°C de temperatura e 56% de umidade. A montagem do ensaio para a construção da curva J-R é mostrada na Figura 3.



Figura 3: Ensaio para a obtenção da curva J-R com flexão em três pontos

Para os ensaios de determinação dos valores de Δa e U , usados no cálculo da integral J , foi utilizada uma taxa de deslocamento de 10mm/min, pois utilizando-se valores mais baixos, como 1mm/min, que é o valor sugerido pela norma, ocorreram descolamentos das camadas poliméricas durante os ensaios. As amostras que foram ensaiadas de acordo com as condições em que se obtiveram o melhor comportamento das amostras, após testes preliminares, tanto em função do modo de abertura da trinca quanto da propagação da trinca, foram identificadas com base em valores pré-estabelecidos de abertura do clip-gage, conforme a Tabela 1. ⁽⁷⁾

Tabela 1: Aberturas de clip-gage utilizadas nos ensaios

Nome da amostra	COD (mm)
1	2
2	2,5
3	3
4	3,5
5	4
6	5
7	6

Após o término do ensaio, foram realizadas pós-fadigas nas amostras e para a determinação do tamanho final da trinca foi utilizado um líquido revelador, como mostra a Figura 4. A realização da medida do tamanho final da trinca foi realizada através de um projetor de perfis, da marca Insize, modelo ISP-Z3015.



Figura 4: Amostras pós-fadigadas com líquido revelador indicando o crescimento da trinca

O cálculo do valor da integral J foi efetuado a partir das medidas dimensionais dos corpos de prova e dos valores de energia obtidos através do ensaio com base na Equação (A).⁽⁷⁾

$$J = \frac{\eta U}{B(W-a_0)} \quad (A)$$

Onde:

J = Resistência à fratura [N/mm]

η = 2 para corpos de prova SE(B)

U = Energia necessária para propagar a trinca [N.mm]

B = Espessura do corpo de prova [mm]

W = Largura do corpo de prova [mm]

a_0 = Tamanho inicial da trinca [mm]

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das medidas dimensionais realizadas nos corpos de prova e nos valores de energia obtidos após os ensaios em fadiga, foram calculados os valores

de J, sendo que cada valor de Δa corresponde a um determinado valor de J e será representado por um ponto na curva. Os resultados dimensionais, assim como o resultado obtido para a energia necessária para a propagação da trinca são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados dimensionais e valores de energia obtidos após os ensaios

Amostra	W [mm]	B [mm]	a₀ [mm]	Δa [mm]	U [N.mm]
1	50,40	25,11	28,01	0,20	1267,79
2	49,92	25,05	27,66	0,22	1695,14
3	50,08	24,88	27,65	0,44	2014,59
4	49,90	25,03	27,32	0,67	2817,41
5	50,09	24,86	27,50	0,72	2833,21
6	51,06	25,53	25,64	1,39	4276,73
7	51,00	25,58	25,44	2,38	4576,77

Com os valores obtidos experimentalmente, foram determinados, através do cálculo da Equação (A), os valores de J, que podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados de J obtidos através de cálculos

Amostra	J [N/mm]
1	4,51
2	6,08
3	7,22
4	9,97
5	10,09
6	13,18
7	14,00

Relacionando através do gráfico os valores de J e Δa , obteve-se o gráfico correspondente à curva J-R, como mostra a Figura 5. Percebe-se que o valor obtido para o expoente na equação de regressão de potência obtida fica abaixo de 1,00, o que valida o resultado obtido, conforme a norma ASTM D6068-10. ⁽⁷⁾

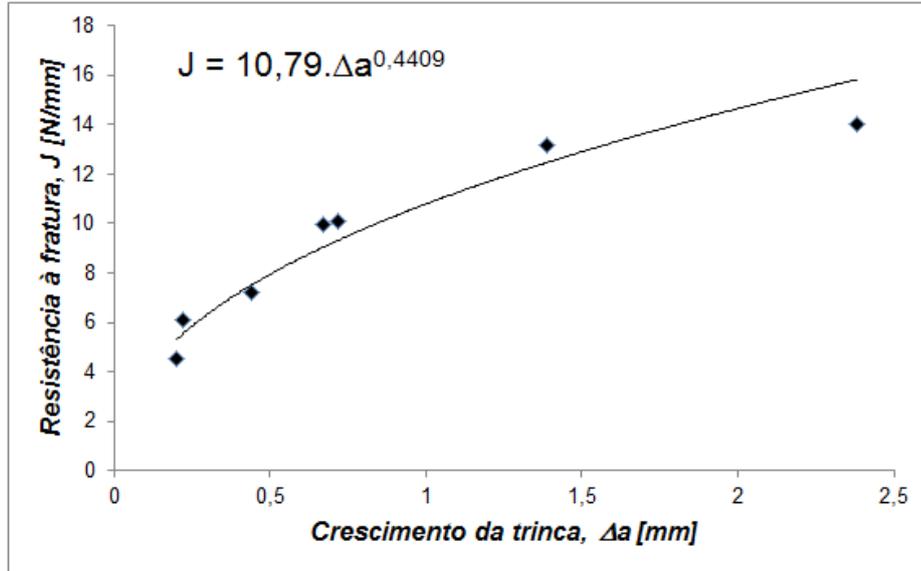


Figura 5: Gráfico $J \times \Delta a$ obtido

CONCLUSÃO

A curva J-R para múltiplas amostras de Polipropileno Sintático foi obtida de forma a se tornar possível a caracterização em fratura do material referente à tenacidade. Entre os métodos apresentados para o pré-trincamento de amostras pela norma ASTM D6068-10, o que apresentou os melhores resultados frente ao crescimento uniforme da trinca foi através da abertura com lâmina. Observou-se uma melhora na reprodutibilidade dos ensaios utilizando uma taxa de deslocamento de 10mm/min, que foi adotada para a elaboração da curva. Apesar da presença de microesferas de vidro na estrutura do compósito, que podem agir como elementos nucleadores de trincas, as amostras apresentaram um comportamento satisfatório para a obtenção da curva J-R.

REFERÊNCIAS

1. MAE, H. **Tensile mechanical properties in PP/SEBS/Microballon composites under impact loadings.** *JAMME*, vol. 31, n. 2, p. 341-347, 2008.
2. CALLISTER JR, W. D; RETHWISH, D. G. **Materials science and engineering: an introduction.** New York: John Wiley & Sons, 2012.

3. MAE, H.; OMIYA, M.; KISHIMOTO, K. **Effect of Micro Porous Shape on Mechanical Properties in Polypropylene Syntactic Foams.** *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, v. 2, n. 5, p. 616-635, 2008.
4. SHUTOV, F. A. **Syntactic polymer foams.** In: *Advances in polymer science: Chromatography/Foams/Copolymers*, p. 63–123, Springer, Berlin, 1986
5. HANSEN, A. B.; JACKSON, A. **High performance polypropylene thermal insulation for high temperature and deep water applications.** In: 16th Conference on Pipeline Protection, BHR, Cyprus, 2005.
6. BORESI, A. P.; SCHMIDT, R. J. **Advanced mechanics of materials.** New York: John Wiley & Sons, 2003
7. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D6068-10: Standard test method for determining J-R curves of plastic materials.** West Conshohocken, 2010.
8. ANDERSON, T. L. **Fracture mechanics.** New York: Taylor & Francis, 2005.
9. CHIODO, M. S. G. **Procedimento de avaliação da integral J e CTOD para dutos com trincas circunferenciais submetidos à flexão e aplicações à instalação de Risers pelo método carretel.** 2009, 112 p. Tese (Mestrado em engenharia naval e oceânica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
10. MANESCHY, J. E. **Integral J para carregamentos cíclicos.** 1998, 87 p. Tese (Doutorado em ciências na área de tecnologia nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
11. DE LIMA, T. R. S. **Desenvolvimento de metodologia para determinação de curvas de resistência à fratura de materiais elasto-plásticos pela análise do campos deformacional à frente da ponta da trinca.** 2011, 116 p. Tese (Doutorado em ciência e tecnologia dos materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

12. RICE, J. R. **A path independent integral and approximate analysis of strain concentration by notches and cracks.** *Journal of Applied Mechanics*, v. 35, p. 379-386, 1968.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF A J-R CURVE FOR POLYPROPYLENE SYNTACTIC SAMPLES

ABSTRACT

J-integral is defined as a contour integral used to analyze the distribution of forces in imperfections in elastic materials that have high toughness and exhibit plastic deformation at the crack tip, generally being calculated for multiple specimens and having its critical value associated with the variation of the crack size for the JR curve development. This curve shows the resistance that a material has in delaying the stable growth of a crack after nucleation and can be used as a parameter in material choosing for projects or for process control. To determine the J-R curve were used Syntactic Polypropylene samples that were tested according to ASTM D6068-10. Despite the presence of glass microspheres in the composite structure, which can act as nucleators elements of cracks, the samples showed sufficient toughness for obtaining the J-R curve.

Key-words: J-R curve, J-integral, Syntactic Polypropylene, fracture mechanics