

# Método dos Elementos Finitos aplicado ao Cálculo dos Fatores de Intensidade à Tensão da Mecânica da Fratura Elástica Linear em Estruturas 2D.

Palavras-Chave: Elementos Finitos, Mecânica da Fratura, Linear Elástico

Autores(as):

André Luís Velke Mendes, FEM – UNICAMP

Prof<sup>(a)</sup>. Dr<sup>(a)</sup>. Carlos Henrique Daros, FEM - UNICAMP

## INTRODUÇÃO:

O termo *fratura* refere-se a separação de um corpo sólido em duas ou mais partes, envolvendo um processo de *nucleação* e *propagação de trincas*. O fenômeno da fratura ocorre localmente através de mecanismos microscópicos, sofrendo direta influência das propriedades físicas e microestruturais do material.

O *projeto* e o *desenvolvimento* dos produtos de engenharia enfrentavam e ainda enfrentam desafios com relação a segurança e durabilidade. O caso mais crítico que uma estrutura pode enfrentar é a da sua *falha espontânea*, com potencial para acidentes e perdas lastimáveis de vidas e de recursos [1].

Em especial, identificam-se três modos de propagação de abertura de trincas, apresentados na **Figura 1**. O primeiro modo sendo o mais importante, tende a abrir a trinca com carregamento normal (induzido por cargas axiais ou de flexão). O segundo modo tende a cisalhar a trinca com tensões que são paralelas à trinca e em sentidos opostos. O terceiro modo é o rasgamento. Cada um dos modos de abertura está associado a um *Fator de Intensidade de Tensão* distinto, representado por  $K$ , que caracteriza o estado de tensão próximo à ponta da trinca [2].

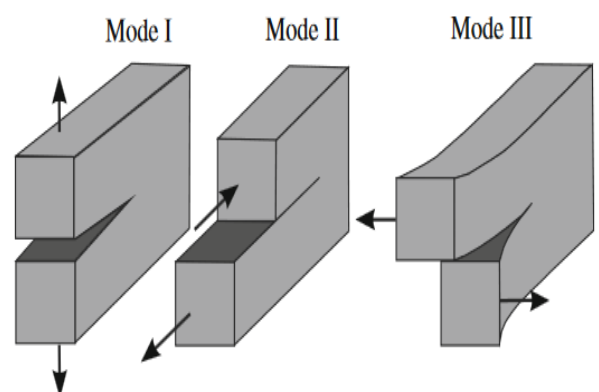


Figura 1: Definição dos três modos de abertura [1]



## RESULTADOS:

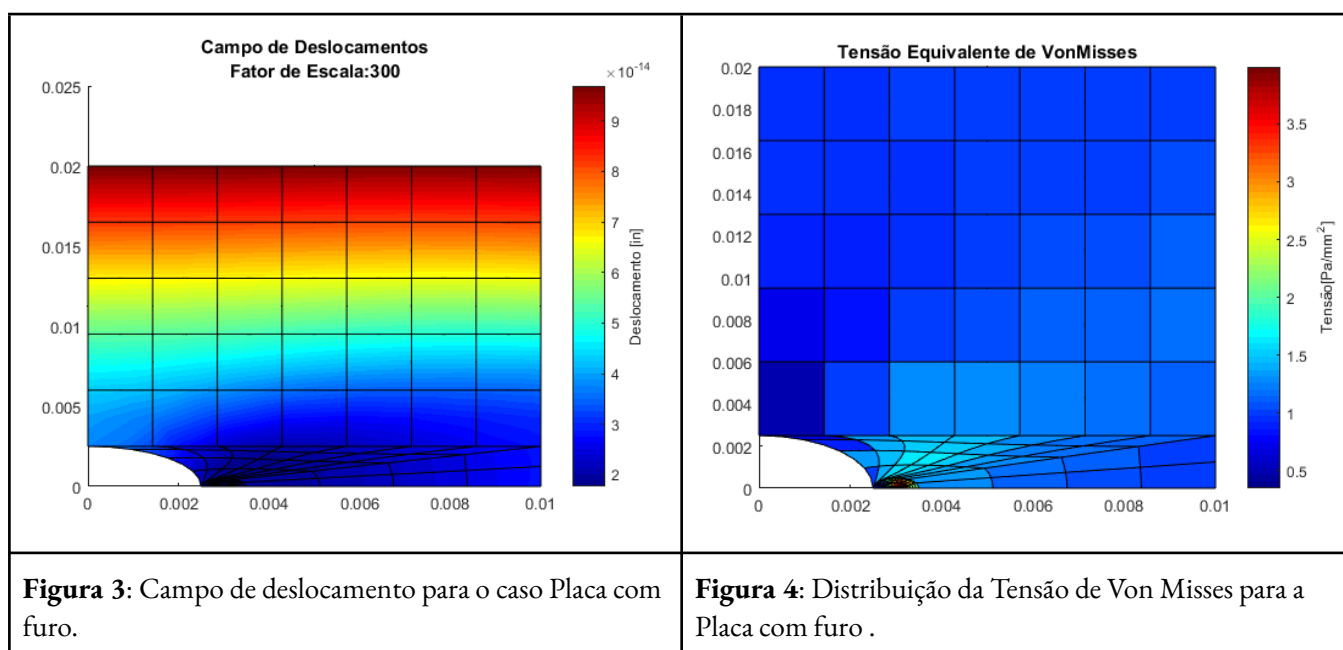
Foram conduzidas simulações para seis casos para a avaliação do modelo proposto para a determinação do Fator de Intensidade à Tensão relacionado ao modo I ( $K_I$ ). A geometria e a configuração de cada caso podem ser visualizadas nas **Figura 5 à 10**.

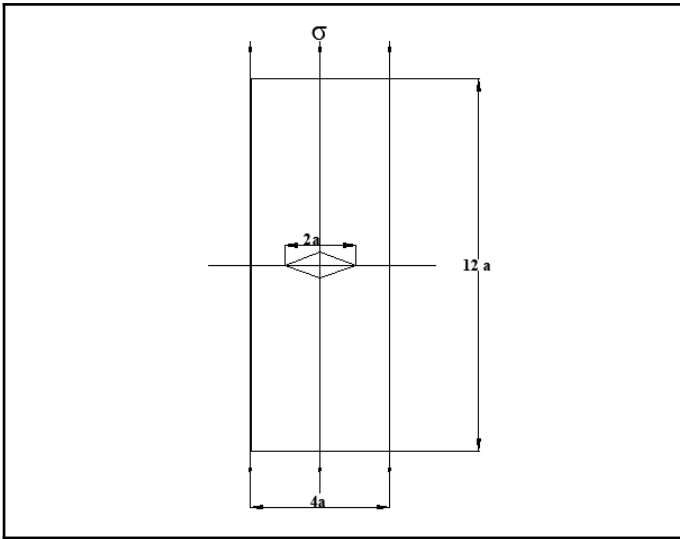
Os resultados para o valor de referência esperado em cada caso já é conhecido e com suporte na literatura [5] e [6], os valores obtidos por meio simulação numérica são em seguida comparados com os valores de referência e é determinado o erro relativo da simulação (**Tabela 1**).

| Caso                | Valor exato [ksi • in <sup>1/2</sup> ] | Simulação [ksi • in <sup>1/2</sup> ] | Erro relativo [%] |
|---------------------|--|--------------------------------------|-------------------|
| Trinca Central      | 2,8298                                 | 2,8                                  | 1,05%             |
| Double Edge Crack   | 3,071                                  | 3,075                                | 0,13%             |
| Placa Semi-Infinita | 0,6277                                 | 0,6223                               | 0,86%             |
| Placa com furo      | 1,05                                   | 1,0509                               | 0,09%             |
| Corpo com entalhe V | 2,74                                   | 2,7464                               | 0,23%             |
| Junta em solda T    | 1,317                                  | 1,274                                | 3,26%             |

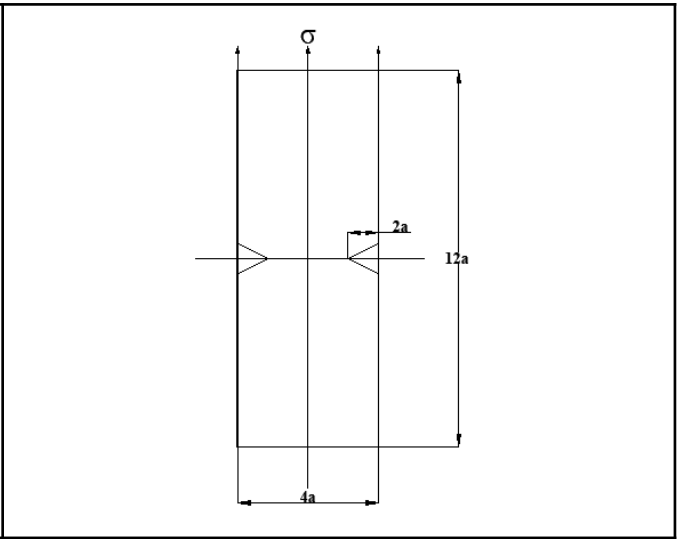
Tabela 1: Valores de referência e resultados obtidos via elementos finitos.

O comportamento do campo de deslocamentos obtidos via elementos finitos está de acordo com a teoria da Mecânica da Fratura Elástica Linear [2], pois o perfil da trinca se apresenta com uma forma parabólica (**Figura 3**). Com relação ao campo de tensão, é possível verificar o efeito da concentração de tensão próxima a ponta da trinca (**Figura 4**). Além disso, a tensão a uma distância remota da trinca apresenta a mesma forma do carregamento externo.

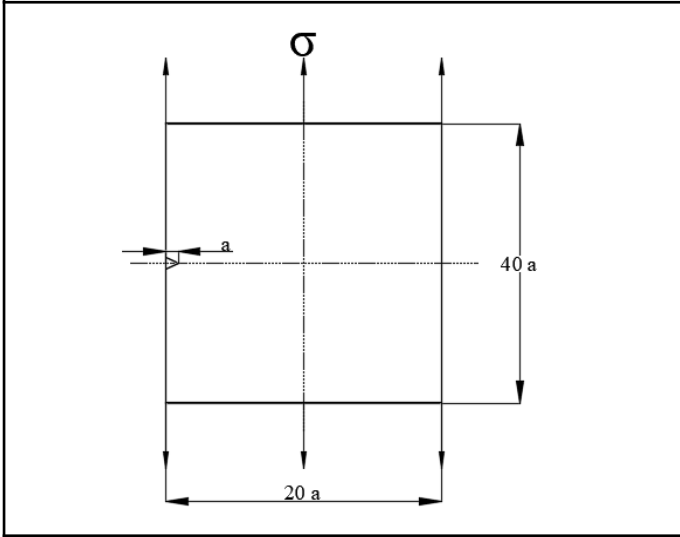




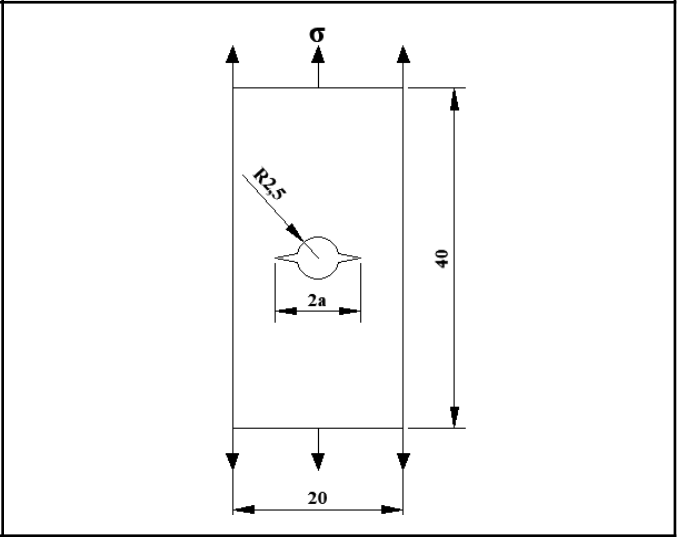
**Figura 5:** Central Crack



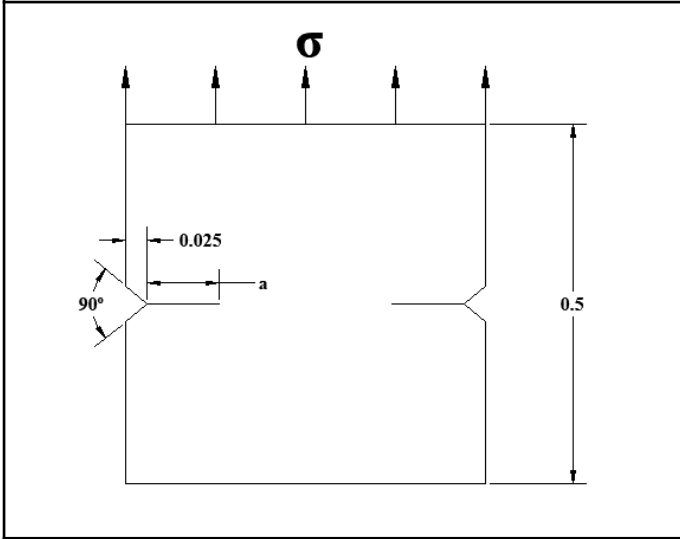
**Figura 6:** Double Edge Crack



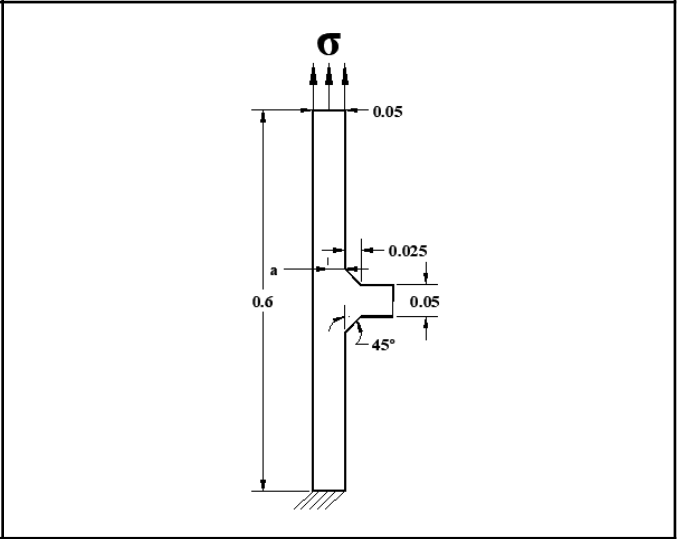
**Figura 7:** Placa Semi Infinita



**Figura 8:** Placa com furo



**Figura 9:** Placa com entalhe V



**Figura 10:** Junta em solda T

## CONCLUSÕES:

Os elementos triangulares quarter point conseguem de maneira satisfatória simular o efeito da singularidade localizada à ponta da trinca, marcada pelas suas particularidades no campo de deslocamentos e de tensão neste local. Além disso, conforme evidenciado pelos casos explorados na pesquisa, o método de extrapolação para dos deslocamentos nodais do elemento quarter point configura uma alternativa eficaz para a obtenção dos Fatores de Intensidade à Tensão, conforme a **Tabela 1**.

Conforme observado, muitos dos modelos apresentavam configurações simétricas e puderam ser simplificados, resultando em uma economia de processamento computacional sem comprometer a eficácia do método. Entretanto, a eficácia do método começou a apresentar significativas divergências dos valores de referência conforme o caso analisado se tornava mais complexo, resultando em um maior esforço computacional.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] KUNA, Meinhard. Finite Elements in Fracture Mechanics: Theory - Numerics - Applications. 1. ed. Canada: Springer, 2013.
- [2] ANDERSON, Ted. Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications. 4. ed. [S. l.]: CRC Press, 2017.
- [3] ASSAN, Aloisio Ernesto. Método dos Elementos Finitos: Primeiros Passos. 3. ed. rev. [S. l.]: EDITORA UNICAMP, 2020.
- [4] BARSOUM, R. S., 1976. On the use of isoparametric finite elements in linear fracture mechanics. Int J Numer Methods Eng 10, 25–37
- [5] MARTINEZ, José et al. ON THE USE OF QUARTER-POINT BOUNDARY ELEMENTS FOR STRESS INTENSITY FACTOR COMPUTATIONS. INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING, [S. l.], p. 10, 27 jun. 1984.
- [6] National Agency for Finite Element Methods and Standards (U.K.): Test 4.1 and 4.2 from NAFEMS publication “2D Test Cases in Linear Elastic Fracture Mechanics,” R0020.
- [7] Irwin GR (1958) Fracture. In: Flügge S (ed) Handbuch der Physik. Band 6, Engineering fracture mechanics, Springer, Berlin, pp 551–590