

## Efeito dos Pites de Corrosão nos Concentradores de Tensão em Tubulações Rígidas

LUCAS VIEIRA GARCIA, Orientador Prof. Dr. Marcelo Favaro Borges

Laboratório de Metalurgia Física (LAMEF) - PPGE3M/UFRGS, Porto Alegre, Brasil

### INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi realizado a partir de uma falha gerada por ensaio de fadiga por ressonância em dutos rígidos [1]. O corpo de prova, feito a partir de um trecho de duto de aço API 5L X-65 com 6 metros de comprimento, possuía um elevado nível de corrosão superficial, sendo que uma trinca nucleou e se propagou a partir de um pite de corrosão localizado na superfície do duto [2].

### OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é quantificar a magnificação da tensão em função do pite de corrosão que gerou a trinca por fadiga. Identificando-se, dessa forma, o percentual de aumento da tensão em relação a tensão nominal apresentada pelo duto na região da falha.

### METODOLOGIA

Buscando um comparativo entre a tensão nominal e a tensão efetiva no pite de corrosão, o primeiro passo foi calcular a tensão nominal na região da falha. Visto que o duto foi ensaiado com pressão interna de 200 bar e amplitude de deformação longitudinal na região da falha de  $\pm 750 \mu\text{m/m}$  [3], pode-se afirmar que a máxima tensão longitudinal total, neste ponto, será dada pela soma da tensão axial, gerada pela pressão interna, e pela tensão elástica, gerada pela amplitude de deformação. A deformação gera uma tensão menor que a tensão de escoamento do material (448 MPa) [3]. Nesse caso, a tensão máxima é dada pela Equação 1:

$$\sigma_{max} = \frac{pr}{2t} + E\varepsilon \quad (1)$$

sendo a primeira parcela correspondente à tensão axial em dutos com parede fina [4] e a segunda parcela correspondente à tensão elástica gerada pela deformação imposta pelo teste, de acordo com a Lei de Hooke para regime elástico [5]. Na equação,  $p$  é a pressão interna,  $r$  o raio externo e  $t$  a espessura do duto,  $E$  o módulo de elasticidade (210 GPa) e  $\varepsilon$  a deformação longitudinal.

Após o cálculo da tensão nominal  $\sigma_{max}$ , o segundo passo foi calcular o Fator de Concentração de Tensões. Para tanto, fez-se necessária a análise geométrica do pite de corrosão. A Figura 1 e 2 mostram o pite de corrosão.

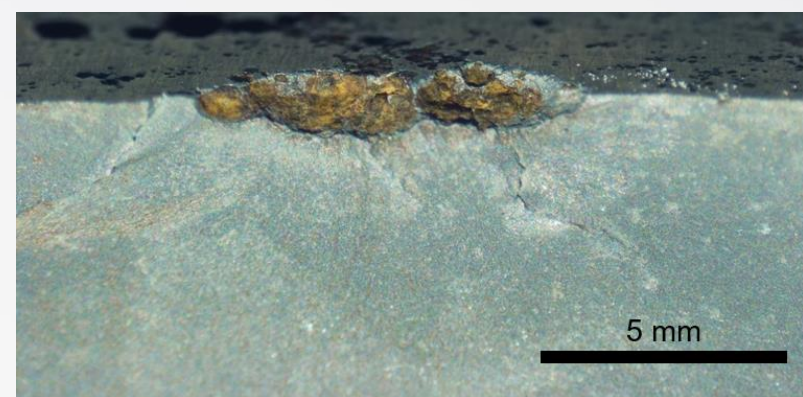


Fig. 1 – Seção transversal do pite de corrosão que originou a trinca de fadiga.

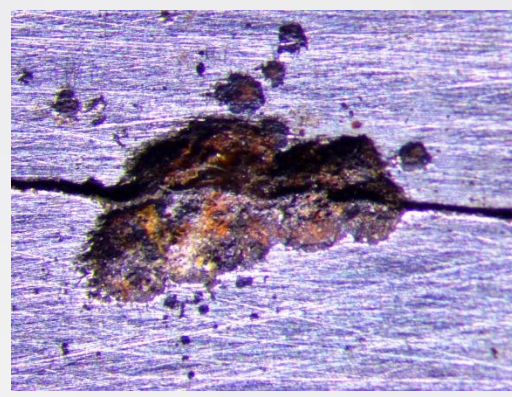


Fig. 2 – Seção superior do pite de corrosão (contendo ambos lados da trinca).

A medição do pite de corrosão foi feita através de manipulação gráfica utilizando-se o software *ImageJ*. Com a análise, foi possível a aproximação da morfologia do pite de corrosão com uma semi-elipse. Sendo assim, foi considerada uma aproximação equação de Inglis para entalhes semi-elípticos sugerida por [6] para o cálculo do concentrador de tensão, ilustrada pela Figura 2 e calculada pela Equação 2.

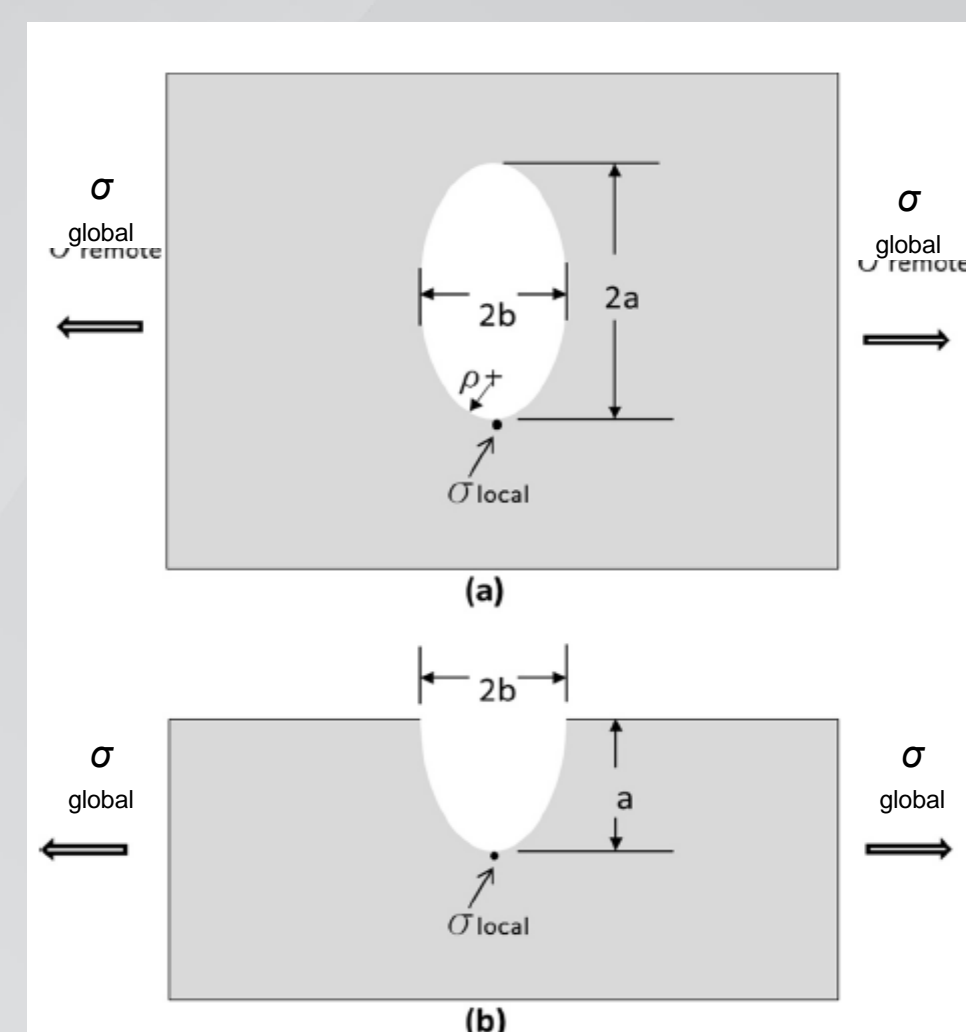


Fig. 3 – (a) Vista superior e (b) seção transversal de entalhe Semi-elíptico em uma estrutura (adaptado de [6])

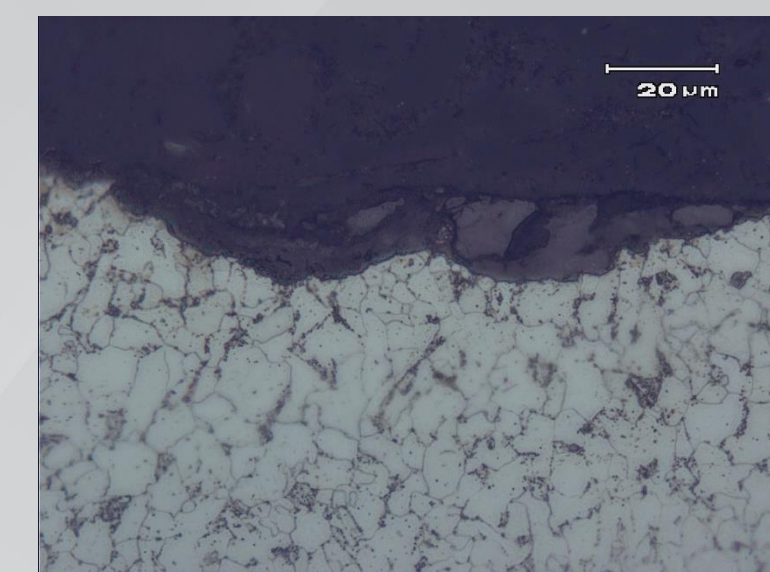


Fig. 4 – Manipulação geométrica do pite no programa *ImageJ*

$$k_t = 1 + 2\sqrt{a/\rho} \quad (2)$$

### RESULTADOS

Substituindo os valores na Equação 1, chega-se a uma tensão longitudinal global máxima de aproximadamente 203 MPa, que corresponde a 45,3% da tensão de escoamento do material. As dimensões aproximadas do pite consideradas foram:  $a = 7,75\text{mm}$  e  $\rho = 1,93$ . Substituindo esses valores na Equação 2, foi obtido um fator de concentração de tensões  $k_t = 5$ .

### CONCLUSÕES

A magnificação da tensão gerada pelo pite de corrosão, de acordo com a metodologia utilizada, foi de 5 vezes o valor da tensão nominal, ultrapassando em aproximadamente 225% a tensão de escoamento do material. Como trabalho futuro, sugere-se a reprodução do pite em um software de elementos finitos, e a magnificação do pite em um microscópio 3D para fins de comparação com os resultados deste trabalho.

### REFERENCIAS

- [1] PINTO, O. O.; MOSQUEN, A.; NUNES, C. D.; BORGES, M. F.; STROHAECKER, T. R. Resonant Bending Fatigue Test Rig. Rio Pipeline Conference & Exposition. Rio de Janeiro, 2015.
- [2] MONTAGNA, G. P.; PINTO, O. O.; MARTINAZZI, D.; BORGES, M. F.; REGULY, A. Failure Analysis of a Seamless X-65 Steel Pipe Submitted to Resonant Fatigue Test, XVI Brazil MRS Meeting, SBPMat, Gramado-RS, Brazil, 2017.
- [3] PINTO, O. O.; SOCHACKI, L. D. G.; MOSQUEN, A.; BORGES, M. F.; STROHAECKER, T. Avaliação da Vida em Fadiga de Duto X-65 Através de Ensaio de Fadiga por Ressonância, Rio Oil & Gas Expo and Conference 2016, Rio de Janeiro, Brasil, 2016.
- [4] TELLES, P. C. S. Vasos de Pressão. 2a ed. Rio de Janeiro, Brasil: LTC, 1996.
- [5] POPOV, E. P. Mechanics of Materials. Prentice Hall, 1997
- [6] MEDINA, H. E.; PIDAPARTI, R.; HINDERLITER, B. Celebrating the 100th Anniversary of Inglis Result From a Single Notch to Random Surface Stress Concentration Solutions, ASME, 2015.