

ESTUDO DE PROPAGAÇÃO DE TRINCAS EM CORROSÃO-FADIGA¹

Fabrcio pinheiro dos Santos²

Rafael Aragoes Leite³

Telmo Roberto Strohaecker⁴

Resumo

Corrosão fadiga é um tipo de degradação de matérias aonde ocorre influência do meio ambiente na vida em fadiga. Existem algumas dificuldades em se realizar testes em corrosão fadiga, por exemplo, trabalhar com baixas frequências, necessidade de isolar ambiente agressivo etc. Tubulações offshore estão sujeitas ao processo de corrosão fadiga em função do movimento das ondas e ventos e pela ação corrosiva da água do mar. As juntas soldadas são pontos críticos para o início de trincas de fadiga. O objetivo deste trabalho é desenvolver um ensaio de propagação de trinca (da/dN) para juntas soldadas em amostras retiradas de uma tubulação construída em aço API 5l X60. O meio corrosivo escolhido foi uma solução contendo NaCl. Os dados obtidos dos testes foram usados no levantamento de curva de fadiga da/dN e comparar com os dados dos ensaios feitos ao ar.

Palavras-chave: Fadiga; Corrosão-fadiga; Soldagem

Abstract

Corrosion fatigue is form of degradation of materials where the environment has a significant influence on the fatigue life. There are some difficulties in set up of corrosion fatigue test, such as: work with small loading frequency and the necessity to isolate the aggressive environmental. Pipeline pipes are susceptible to the corrosion process fatigue in function of the movement of the waves and winds and for the corrosive action of the water of the sea. The welded meetings are critical points for the beginning of cracks of fatigue. The objective of this work is to develop a test to perform corrosion fatigue in welded samples. The samples have been taken from pipeline pipes manufactured in API 5l X60 steels. The test environments have been a solution of NaCl. The data taken from these tests have been used to plot corrosion fatigue curves (da/dN) for the different environments studied and were compared with data of the tests performed in air.

Key words: Fatigue; Corrosion-fatigue; Welding

¹ *Contribuição técnica apresentada no 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ*

² *Mestrando, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM) UFRGS.*

³ *Mestrando, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM) UFRGS.*

⁴ *Professor Dr., Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM) UFRGS.*

1 INTRODUÇÃO

Perfis de secção circular são utilizados em estruturas de plataformas marítimas de exploração off shore. Este tipo de estrutura está sujeito a processos de fadiga devido a carregamentos variáveis em virtude das solicitações introduzidas por ondas e ventos fortes.

Outro fator importantíssimo é no tocante a influência do meio agressivo no comportamento em fadiga de componentes. A fadiga com corrosão ou corrosão fadiga nestes tipos de junta tem sido pouco estudada. Poucos trabalhos foram realizados com o material exposto diretamente à ação do meio ambiente (água do mar). Os resultados obtidos mostraram uma diminuição da resistência em relação ao ar de trinta a cinquenta por cento

Existem várias dificuldades em se realizar ensaios de corrosão fadiga, entre elas está a própria montagem do ensaio onde se deve expor o corpo de prova ao meio corrosivo (seja aquoso ou gasoso) tendo, normalmente, que ser isolado do meio ambiente. Em alguns casos o meio pode ser tóxico ou de difícil manipulação. Outro ponto é que para se obter resultados válidos em ensaios de corrosão fadiga deve-se trabalhar com frequências muito baixas (da ordem de 0,1 a 1 Hz) promovendo tempo para que as reações químicas ocorram, o que leva a tempos de ensaios muito longos.

Resultados dos estudos da mecânica da fratura originaram novas teorias de projeto em que se assume que o material não é um meio contínuo e que pode conter defeitos originados, por exemplo, de processos de fabricação

No caso de juntas soldadas a nucleação da trinca de fadiga em geral ocorre em uma região de maior concentração de tensões, como, por exemplo, no reforço de soldagem

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia de ensaio de propagação de trincas por corrosão-fadiga para uma junta soldada retirada de uma tubulação.

2 MATERIAS E MÉTODOS

Foram retirados corpos de prova de uma junta soldada circumferencial proveniente de uma tubulação feita em aço API 5L X 60 para serem ensaiados por corrosão-fadiga. As dimensões da tubulação eram de 400mm de diâmetro externo com espessura de 14,3mm. O esquema de retirada dos corpos de prova é mostrado na figura 2-1.



Figura 2-1: Esquema de retirada do corpo de prova

Foi realizada análise química do material com um espectrômetro de emissão ótica modelo Spectrolab marca Spectro e ensaios de tração segundo a norma Offshore OS – C401 da DNV, como mostra a figura 2-2

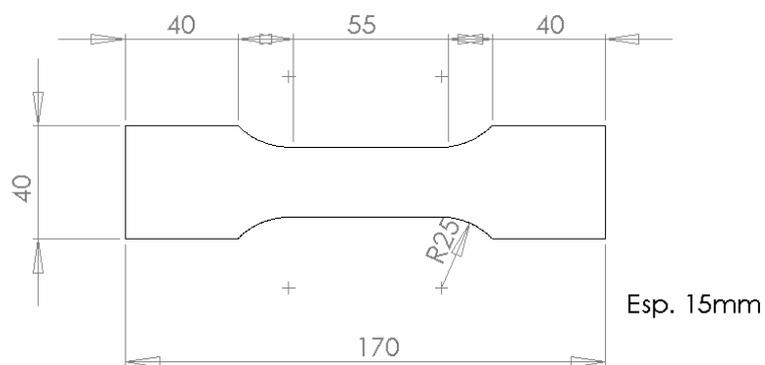


Figura 2-2: Corpo de prova de tração

A geometria da solda resultante é mostrada na figura 2-3. Em geral para ensaios de propagação de trinca são utilizados corpo de prova CT ou SENB segunda a norma ASTM E399, porem neste caso em função da pequena espessura do tubo (14,3mm) não é possível retirar um corpo de prova que atenda o sentido real de propagação da trinca de fadiga.



Figura 2-3: Macrografia da solda estudada

Em função, disto as dimensões do corpo de prova foram modificadas como mostra a figura 2-4, com a colocação do entalhe no pé do cordão e o sobre metal de reforço ser removido (figura 2-4).

Para realização destes ensaios dois pontos foram definidos:

- O valor do fator de intensidade de tensões em função do comprimento da trinca visto que o corpo de prova neste caso esta fora da norma;
- Medir o comprimento da trinca em ao longo do ensaio visto que o sistema se encontra imerso em solução aquosa;

Para o primeiro item, segundo IROSHI 1970, pode-se calcular o fator K_I para uma viga submetida à flexão pura segundo a equação abaixo:

$$K_I = f(a/W) \frac{6M}{bW^2} \sqrt{\pi a} \quad (10)$$

Onde:

K_I : Fator de intensidade de tensões no modo I ($\text{MPam}^{1/2}$);

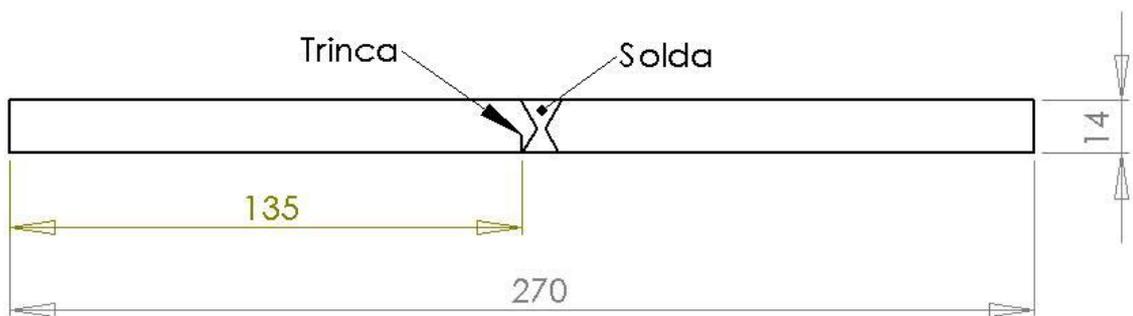
M : Momento Fletor máximo (Nmm);

W : Largura (mm);

b : Espessura (mm);

a : Comprimento da trinca (m);

$f(a/W)$: Fator de forma.



Esp.:30

Figura 2-4: Corpo de prova modificado para ensaio de propagação de trinca

O fator de forma $f(a/W)$ para uma viga em flexão pura é retirado graficamente da figura 2-5.

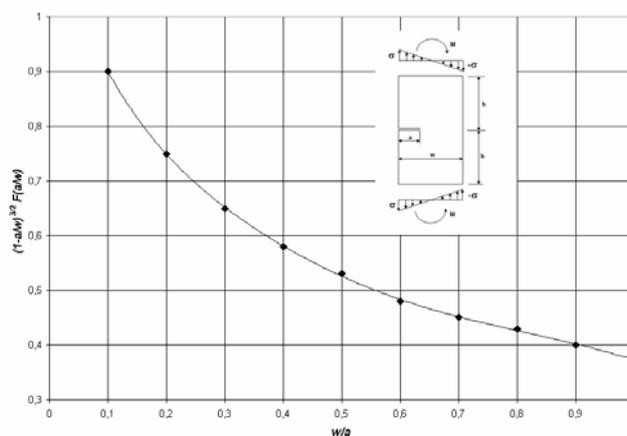


Figura 2-5: Gráfico mostrando a relação do fator de forma em função do comprimento de trinca para uma viga submetida a momento fletor puro (IROSHI 1970).

Para o segundo item, que se refere ao monitoramento do tamanho de trinca ao longo do ensaio, serão utilizados extensômetros resistivos do tipo “Crack gage”. Estes extensômetros consistem em uma rede de filamentos que formam um circuito elétrico, como mostra a figura 2-6.



Figura 2-6: Extensômetro do tipo crack gage mostrando a rede de filamentos para medir a propagação de trincas de fadiga

Quando a trinca propaga pela rede os filamentos são quebrados e a ruptura desses filamentos que funcionam com fios fusíveis indica a posição da trinca. A ruptura dos fios provoca um aumento de voltagem que é proporcional ao número de filamentos quebrados, ou seja, ao comprimento da trinca.

Os ensaios serão realizados com sistema de carga prescrita em um equipamento hidráulico desenvolvido para este trabalho como mostra a figura 2-7. A frequência utilizada será de 0,2Hz e razão de carregamento de 0,1. O meio corrosivo escolhido consiste em uma solução de 115000ppm de cloreto em água destilada.

Os resultados obtidos serão comparados com dados obtidos em corpos de prova padrões do tipo CT feitos do mesmo material e ensaiados em uma máquina servo hidráulica MTS.

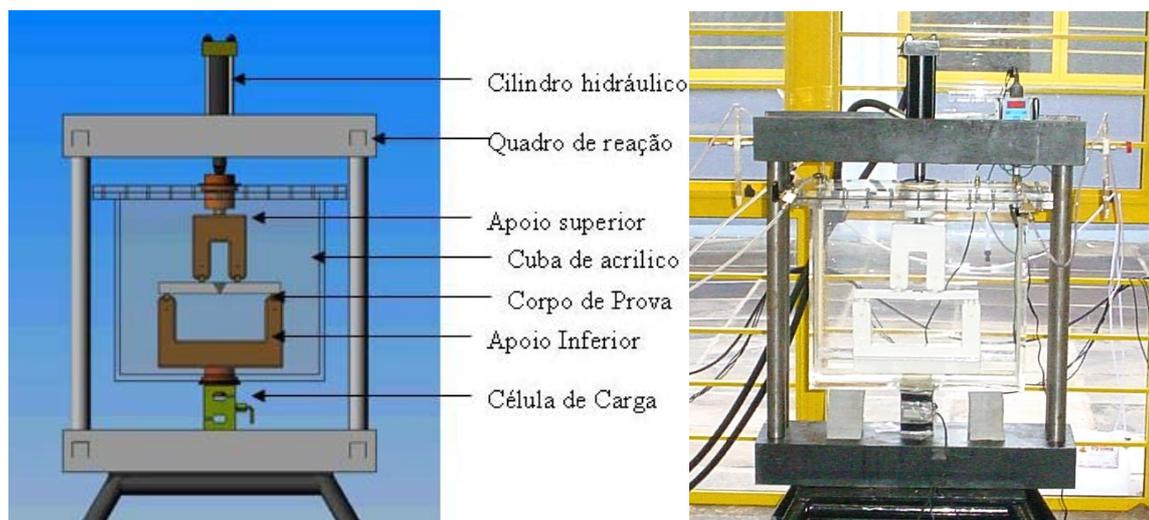


Figura 2-7: Esquema do equipamento desenvolvido em funcionamento

3 RESULTADOS

Os resultados de análise química do material do tubo são mostrados na tabela 3-1bem como os resultados do ensaio de tração.

Tabela 3-1: Composição química e propriedades mecânicas do material estudado.

Composição Química (%)										
C	Mn	Si	P	S	Mo	Nb	V	Ni	Cu	Cr
0,12	1,49	0,26	0,026	0,005	0,005	0,04	0,05	0,01	<0,01	0,01
Ensaio de Tração										
Tensão de Escoamento (MPa)					Tensão de Ruptura (MPa)					
415					519					

O espectro de carregamento resultante é mostrado na Figura 3-1

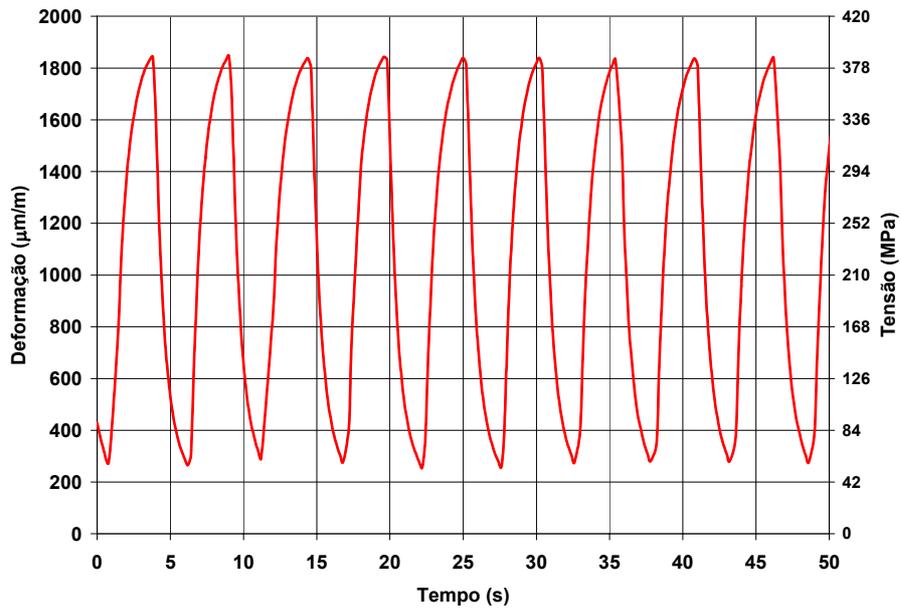


Figura 3-1: Espectro de carregamento resultante

Os resultados dos ensaios de propagação de trincas são mostrados na figura 3-2. O gráfico consistem em um diagrama K por da/dN

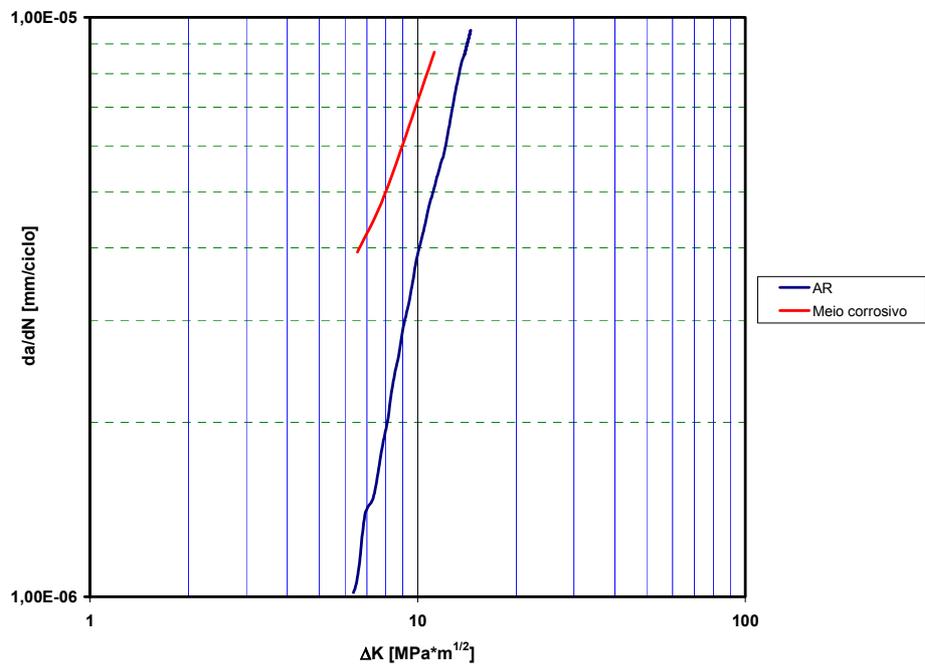


Figura 3-2: Figura mostrando os resultados de propagação de trinca ao ar e em meio corrosivo

Os coeficientes de Paris para as duas condições de ensaio foram calculados e são mostrados na tabela 3-2.

Tabela 3-2: Coeficientes de Paris resultantes

Condição	Equação
Ao Ar	$\frac{da}{dN} = 7E - 09\Delta K^{2,75}$
Meio Corrosivo	$\frac{da}{dN} = 4E - 07\Delta K^{1,18}$

4 CONCLUSÕES

* O material estudado mostrou composição química e propriedades mecânicas que o classificam como API 5L X60;

* A velocidade de propagação de trinca no meio corrosivo foi maior do que ao ar,

* Não foi possível determinar o K_{IH} pelo fato da frequência de ensaio ser baixa e pelo ensaio ser realizado com controle de carga;

* A técnica de uso de extensômetros do tipo crack gage se mostrou eficaz para o monitoramento do comprimento da trinca ao longo do ensaio.

1 API Specification 5L. **Specification for Line Pipe**, 43° ed 2004

2 AMERICAN SOCIETY FOR METALS INTERNATIONAL. **Metals Handbook, Corrosion**, Vol 13, 9ed. 1987.

3 AMERICAN SOCIETY FOR METALS INTERNATIONAL. **Metals Handbook Fatigue and Fracture**, Vol 19, 9ed. 1987.

4 ANDERSON, T.L. **Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications**. 2° ed.,CRC Press.1995

5 BETANZOS, J.T., **Projeto, Construção e Teste de Equipamento Para Ensaio de Fadiga de Risers Flexíveis**.Tese. Porto Alegre, 2004.

6 BRANCO, C. A., FERNANDES. A.A., CASTRO P.M.S.T. **Fadiga de Estruturas Soldadas**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1986.

7 BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 7608 Code of Practice for Fatigue and Assessment of Steel Structures**. London, 1993