

# CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO-FADIGA DE AÇO ASTM A516 G55 USADO PARA VASO DE PRESSÃO<sup>1</sup>

*Abraão Santos Silva<sup>2</sup>*  
*Mikaele Tavares de Almeida Rocha<sup>2</sup>*  
*Sandro Griza<sup>3</sup>*  
*Silvando Vieira dos Santos<sup>4</sup>*  
*Ricardo Estefany Aquino de Souza<sup>5</sup>*

## Resumo

O presente trabalho visa caracterizar a resistência à corrosão- fadiga de um aço ASTM A516 G55 usado como material de fabricação de um vaso de pressão projetado para operar como vagão de transporte de amônia que deve ser adequado ao uso como equipamento pressurizado numa planta de processamento primário de petróleo por meio do emprego do procedimento do instituto Americano de Petróleo, código de inspeção 510 (API STD 510) e Prática Recomendada 679 (API RP 579). Como a fadiga e seus mecanismos são responsáveis pela maior parte das falhas mecânica de componentes metálicos e associada à corrosão apresenta uma redução considerável da sua resistência, é necessária uma análise detalhada do limite de resistência à corrosão- fadiga, de modo que para o uso proposto o material atenda aos esforços mecânicos aos quais estará sujeito. Para analisar a influência da corrosão fadiga no material, foram feitos corpos de prova (cps) nos quais foram feitos ensaios de fadiga ao ar e em ambiente controlado, chegando assim a limites de resistência à fadiga diferentes.

**Palavras-chave:** Fadiga; Corrosão- fadiga; Vaso de pressão; ASTM A516.

## CHARACTERIZATION OF CORROSION-FATIGUE G70 ASTM A516 STEEL USED FOR PRESSURE VESSEL

### Abstract

This study aims to characterize the corrosion-fatigue of a steel ASTM A516 G55 used as material for manufacturing a pressure vessel designed to operate as a wagon for ammonia transportation, which must be suitable for use as pressure vessel in a plant for primary processing of oil by employing the procedure of American Petroleum institute, inspection code 510 (API STD 510) and Recommended Practice 679 (API RP 579). As fatigue and its mechanisms are responsible for most of the failures of metallic components and associated with corrosion presents a considerable reduction of its resistance, it requires a detailed analysis of the corrosion-fatigue resistance, so that for proposed use the material meets the mechanical strength which will be subject. To analyze the influence of corrosion fatigue in the material, test specimens were made for fatigue tests in air and in controlled environment, thus reaching the limits of different fatigue resistance.

**Key words:** Corrosion-fatigue; Pressure vessel.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Graduando, Eng. Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil; eng.abraao2013@gmail.com.*

<sup>3</sup> *Engº Mecânico, M.Sc., D.Sc., Coordenador do Laboratório de Análise de Falha e metalurgia, UFS, São Cristóvão - SE, Brasil.*

<sup>4</sup> *Engº de Materiais, Mestrando, programa de pós graduação em ciência e engenharia de materiais, UFS, São Cristóvão - SE, Brasil.*

<sup>5</sup> *Engº Mecânico; M. Sc.; Doutorando, P2CEM, UFS, São Cristóvão - SE, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Devido à expansão da área petroquímica, a confiabilidade operacional associada ao nível de segurança está sendo cada vez mais exigida, já que essa é a principal forma de obter uma redução de custos, aumento da vida útil, além da eliminação de acidentes ambientes causados devido a falhas estruturais no material.<sup>(1)</sup>

Na fabricação de vasos de pressão para a indústria do petróleo e derivados são utilizados materiais metálicos, sendo os aços os de maior aplicação. Estes são produzidos pelo processo de laminação controlada. O controle termomecânico permite que as chapas grossas empregadas tenham alta resistência associada a uma boa tenacidade,<sup>(2)</sup> para minimizar o risco de rompimentos que podem ter consequências catastróficas caso o fluido transportado seja inflamável e/ou tóxico, viabilizando assim a construção de estruturas cada vez maiores.<sup>(3)</sup>

Os vasos de pressão são elementos pressurizados e por isso existe uma preocupação quanto a sua integridade estrutural, pois em seu rompimento ocorre descompressão explosiva gerando perdas materiais e podendo levar a perdas humanas. Após a publicação da NR-13 estabeleceram-se critérios mais rigorosos para o projeto, inspeção, manutenção e operação de vasos de pressão, tendo como objetivo principal a diminuição de acidentes envolvendo estes equipamentos.<sup>(4)</sup>

Uma falha por fadiga é geralmente repentina, sem aviso prévio. A superfície da fratura tem uma aparência frágil sem deformação plástica substancial na seção fraturada. A fadiga de alto ciclo pode ser facilmente reconhecida pela sua aparência, a qual geralmente mostra uma região lisa, devido à ação de fricção da propagação da trinca e devido a pouca deformação plástica associada à propagação, e uma região áspera, onde o componente falhou de maneira dúctil quando a seção não foi mais capaz de sustentar a tensão da carga real. Também é possível se reconhecer o local de iniciação da trinca, através das chamadas *ratched marks*.<sup>(5)</sup>

Caso um componente esteja sujeito a esforços cíclicos em um meio capaz de atacar quimicamente ou eletroquimicamente o material exposto, verificam-se condições para a ocorrência da corrosão-fadiga. Os metais ferrosos são passíveis de sofrer a corrosão-fadiga. Mesmo aqueles que têm uma camada protetora, como aços inoxidáveis, podem sofrer corrosão-fadiga. As fraturas sucessivas, durante a propagação da trinca de fadiga, rompem continuamente as camadas protetoras, expondo o material ativo à ação do ambiente corrosivo. O processo se caracteriza pelo desaparecimento do limite de fadiga.<sup>(5)</sup>

O estudo de falhas por fadiga tem extrema importância para a indústria aeronáutica, petroquímica, além de tubulações industriais e indústria naval, pois a maioria das falhas em componentes estruturais pode ser atribuída ao processo de fadiga.<sup>(6)</sup>

Nas últimas décadas, o fenômeno de corrosão-fadiga de materiais metálicos tem atraído a atenção de uma considerável quantidade de pesquisadores. Isto se deve ao fato de que os fenômenos de corrosão fadiga e corrosão sob tensão têm causado diversas falhas em serviço em uma grande variedade industrial, tal como a de óleo e gás.<sup>(7)</sup>

Em projetos estruturais que devem resistir às solicitações cíclicas em ambientes não agressivos (fadiga) e em ambientes agressivos (corrosão-fadiga), é essencial que se tenha dados confiáveis e nas condições mais próximas da aplicação real do material.<sup>(7)</sup>

Em decorrência dos diversos problemas envolvendo corrosão-fadiga cresceu consideravelmente o interesse na obtenção dos dados de corrosão-fadiga em meio de alta severidade. Porém, a reprodução destas condições em laboratório leva a

diferentes problemas práticos, de segurança, de custo de fabricação, de tempo e de equipamentos necessários à pesquisa.

Tendo em vista todos os fatores anteriormente abordados, o objetivo desse trabalho é o estudo das propriedades de material para a reutilização de vagões tanques, para a fabricação de vasos de pressão. O objetivo é verificar o comportamento do material em condições de corrosão- fadiga no intuito de adequá-lo a nova função, garantindo assim sua integridade estrutural.

Resultados obtidos por testes de fadiga ao ar, nas mesmas condições de carregamento foram usados como parâmetros de comparação do comportamento verificado nos ensaios realizados em água do mar. O estudo objetiva obter as curvas de fadiga (S-N) do material em duas condições: ao ar e em ambiente aquoso contendo 3,5% (m/v) de solução aquosa de NaCl. O estudo tem também um caráter preparatório para posteriormente obter-se as curvas do material com diferentes camadas protetoras obtidas por aspersão térmica e ser possível a comparação de resultados.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Análise Química**

Uma amostra da chapa retirada do vagão tanque foi analisada por espectrometria de emissão óptica. Os ensaios foram executados segundo a norma ASTM E1019 -08.<sup>(8)</sup> Os resultados obtidos são uma média de três queimas.

### **2.2 Ensaio de Tração**

Para o ensaio de tração foram usinados seis corpos de prova do material na direção de laminação da chapa. As dimensões dos corpos de prova foram de acordo com a Figura 1 e a Tabela 1. Os ensaios foram conduzidos segundo a norma ASTM A370-09,<sup>(9)</sup> usando as máquinas de ensaio Instron 333367 (30kN). Cada corpo de prova foi medido com paquímetro (resolução 0,05mm) antes do teste, a fim de obter a seção resistente inicial e a base de medida "G". Como procedimento para a execução dos ensaios, cada corpo de prova foi fixado individualmente nas garras paralelas da máquina e foi aplicado um deslocamento à taxa de 1mm/min. Foram controlados os valores de deslocamento e de força. A célula de carga utilizada apresenta erro menor que 1% em todo o intervalo de medição. Depois de rompidos, os corpos de prova foram novamente medidos a fim de verificar a variação de seção transversal junto à região de estrição localizada e o aumento do comprimento da base de medida, a fim de calcular o alongamento. De posse das dimensões iniciais e finais e das curvas carga x deslocamento, foram calculadas as propriedades propostas: tensão de escoamento, tensão máxima, tensão de ruptura, alongamento e estrição. A tensão de escoamento foi obtida a 0,2% de deformação.

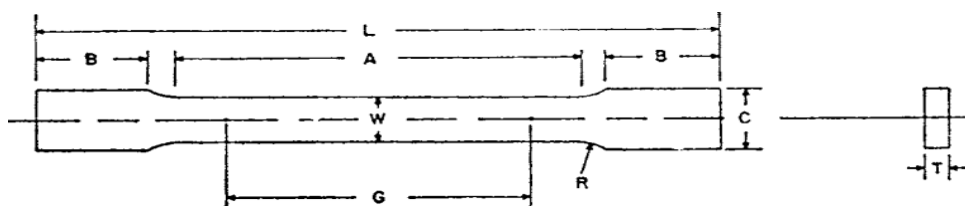


Figura 1. Dimensões dos corpos de prova do ensaio de tração, de acordo com a norma ASTM A370-09A.

Tabela 1. Dimensões dos corpos de prova do ensaio de tração (mm)

L	A	B	G	W	R	T
100	32	32	25	6,0 ± 0,1	6,0±1,6	5,0

### 2.3 Ensaio de Fadiga

Os corpos de prova foram usinados segundo a norma ASTM E466-07,<sup>(10)</sup> como mostra a Figura 2 e depois foram lixados com lixas d'água de 120, 220, 320, 400, 600, 800 e 1.200 mesh.

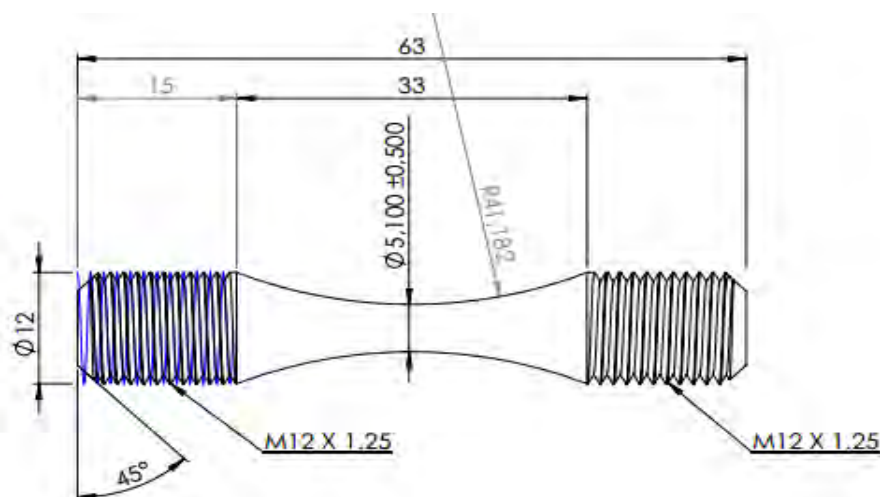


Figura 2. Corpo de prova de fadiga usado no ensaio.

O ensaio de fadiga foi realizado em uma máquina servo-hidráulica MTS 370.10, com célula de carga de 100KN. Para os ensaios de fadiga ao ar e em água com 3,5%NaCl foi usada a frequência respectivamente de 30Hz e 2Hz. A razão de carregamento usada foi 0,1. A separação completa dos corpos de prova foi usada como o critério para fratura.

Para o preparo da solução foi misturado 3,5% de NaCl em água deionizada (simulando a água do mar) até a total dissolução observada visualmente. A água foi posta em uma caixa de acrílico e com uma bomba foi conduzida até um recipiente na MTS (Figura 3). O recipiente é constituído de um cilindro de acrílico fechado em suas extremidades com discos de aço inoxidável AISI 304. É feita vedação apropriada para evitar o vazamento do fluido, o que poderia danificar os acessórios do equipamento. Foi usada aeração contínua do meio. Para diminuir o tempo dos ensaios de corrosão-fadiga, dois corpos de prova foram ensaiados ao mesmo tempo em série. Esta prática pode ser utilizada visto que os corpos de prova com mesmo diâmetro postos em serie sofrem a mesma tensão.



**Figura 3.** Dispositivo de corrosão- fadiga montado onde observam-se dois corpos de prova em série sendo ensaiados.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Análise Química

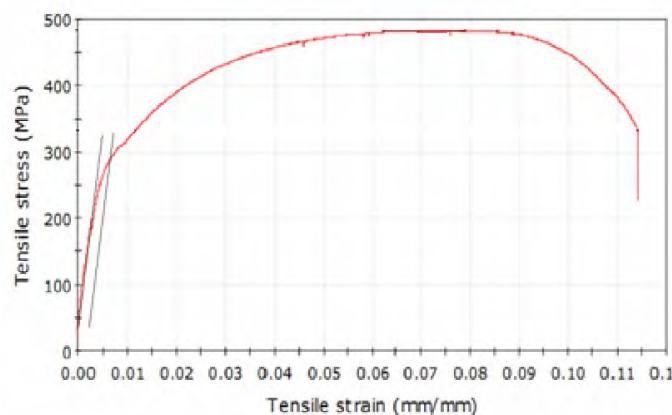
A análise química do material está apresentada na Tabela 2. Todos os elementos enquadram-se nos intervalos determinados na classe ASTM A516 grau 55.

**Tabela 2.** Resultado da análise química do metal base (% em peso)

Elemento	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al
	0,18	0,20	1,08	0,010	0,008	0,17	0,01	0,05

#### 3.2 Ensaio de Tração

A resistência mecânica do metal base no ensaio de tração está representada na Figura 4 e todos os valores encontrados estão na Tabela 3. De acordo com as propriedades de tração obtidas, o aço enquadra-se na norma ASTM A516 G55<sup>(11)</sup>.



**Figura 4.** Gráfico representativo para todos os CPs. Observa-se o aspecto dúctil com considerável alongamento e estrição localizada.

Tabela 3. Resultados do ensaio de tração para o metal base

	Estricção (%)	Alongamento (%)	Limite de escoamento (MPa)	Limite de tração (MPa)	Limite de ruptura (MPa)
Média	68,5	32,3	292,0	492,0	332,0
Desvio Padrão	1,1	0,6	3,3	2,3	6,5

### 3.3 Ensaio de Fadiga e Corrosão-Fadiga

As curvas de fadiga dos corpos de prova ensaiados ao ar e na solução aquosa com 3,5% de NaCl estão apresentados na Figura 5, onde o limite encontrado para os ensaios ao ar foi de 380 MPa para 5 milhões de ciclos. Nos ensaios de corrosão-fadiga percebe-se uma considerável redução da resistência, uma vez que CP's ensaiados com 290 MPa romperam com menos de 700 mil ciclos.

Estudos indicam que a redução de resistência à fadiga no ambiente salino está associada ao dano superficial produzido pelo ataque localizado e formação de pites na superfície do corpo de prova. Os pites são regiões ideais para a iniciação de trincas, devido à concentração de tensão e à química local, a qual favorece uma alta concentração de íons corrosivos, tais como o Cl<sup>-</sup>. Então é produzida uma rápida iniciação de trincas de fadiga assim como altas taxas de propagação da trinca<sup>(12)</sup>.

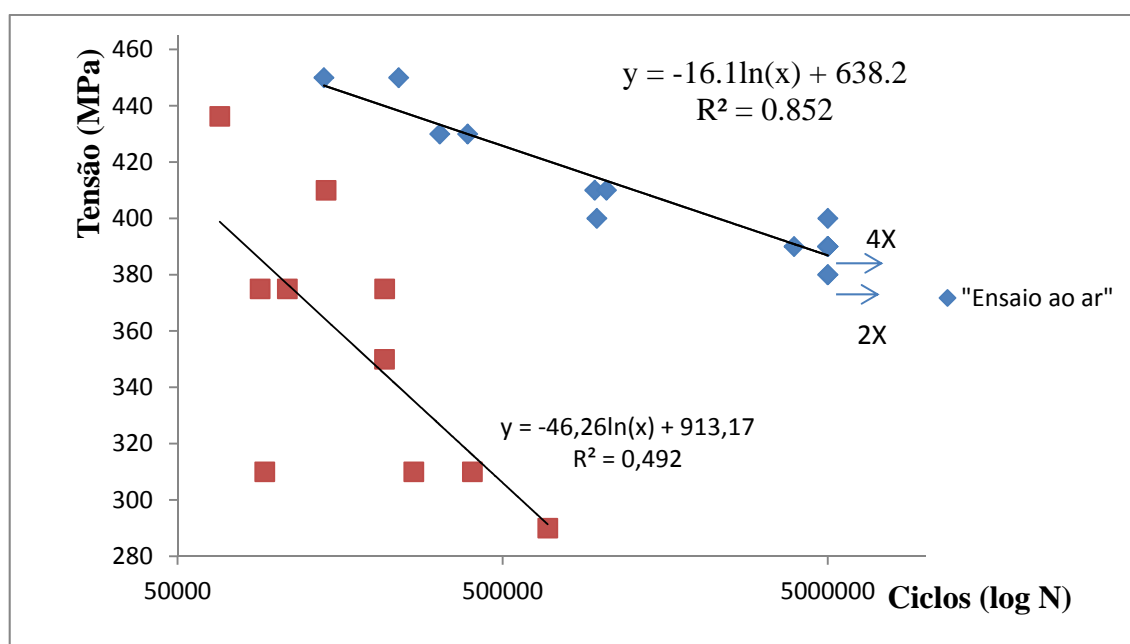


Figura 5. Curvas S-N para o material ASTM A516 G55 testado ao ar e em meio aquoso com 3,5%NaCl.

## 4 CONCLUSÃO

A curva dos ensaios realizados em ambiente apresentou fraca tendência ( $R^2$  muito baixo), de forma que será necessário realizar mais ensaios a fim de se obter maior confiabilidade dos resultados para que seja possível realizar comparações futuras. Entretanto, foi possível verificar nitidamente que a resistência à fadiga reduz substancialmente devido a ação corrosiva do meio. Estudos posteriores permitirão comparar os resultados de fadiga e corrosão-fadiga do material substrato base e

diferentes camadas protetivas obtidas por processos como aspersão térmica. O aço ASTM A 516 G55 é amplamente utilizado na fabricação de componentes para a indústria do petróleo tais como vasos de pressão, tubulações e acessórios de tubulação. Portanto, estes estudos apresentam grande importância para o conhecimento do desempenho em fadiga dos componentes.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Capes, CNPq e Finep pelo auxílio financeiro.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 DONATO, Gustavo Henrique Bolognesi. Efeitos de Heterogeneidade sobre Forças Motrizes de Trincas em Juntas Soldadas: Determinação Experimental de Tenacidade e Extensão de Metodologias de Avaliação de Criticidade de Defeitos. 2008, São Paulo, Universidade de São Paulo.
- 2 SILVA, Maurício de Carvalho. Determinação Experimental da Tenacidade à Fratura da Zona Termicamente Afetada de Junta Soldada de Aço API 5L X80. 2009, São Paulo, Universidade de São Paulo.
- 3 GORNI, Antonio Augusto. Aços Avançados de alta Resistência: Microestruturas e Propriedades Mecânicas. Outubro de 2009, São Paulo, 5º Congresso de Corte e Conformação dos Metais, Aranda Eventos.
- 4 HUPPES, Ricardo Muller. Análise de Falha em um Vaso de Pressão. 2009, 1f. Monografia apresentada como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico- Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre- RS.
- 5 IBP- Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, GUIA Nº 4- Inspeção de Vasos de Pressão. Emissão Preliminar, Revisão 0,16, 28 de maio de 2004.
- 6 SURESH, S. Fatigue of metals. Cambridge: Cambridge Univ. (1998) 679
- 7 CORRÊA, Marlon Brandi, Avaliação da Resistência À Corrosão- Fadiga do Aço API 5L X60 em Ambiente Pressurizado Contendo CO<sub>2</sub>. 2010. 2f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre- RS.
- 8 ASTM E1019-08. Standard Test Methods for Determination of Carbon, Sulfur, Nitrogen, and Oxygen in Steel, Iron, Nickel, and Cobalt Alloys by Various Combustion and Fusion Techniques. Nov 1, 2008;
- 9 ASTM A370-09a. Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products; Nov. 1, 2006;
- 10 ASTM E466-07. Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials, 2010.
- 11 ASTM A516/A516M-10. Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate- and Lower-Temperature Service. Published November.
- 12 K. Makhlof, H. Sidhom, I. Triguia, C. Braham, Corrosion fatigue crack propagation of a duplex stainless steel X6 Cr Ni Mo Cu 25-6 in air and in artificial sea water, International Journal of Fatigue 25 (2003) 167–179.