

Influência da flambagem na corrosão do aço API 5L X65 em água de mar sintética*

Alexandre Pereira de Lima¹
Rodrigo MonzonFigueredo²
Heloisa Andréa Acciari³
Eduardo Norberto Codaro⁴

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da deformação mecânica a frio no processo corrosivo do aço API 5L X65 em água do mar sintética. Resultados das medidas eletroquímicas sugerem que a corrosão generalizada do aço ocorre mais lentamente em deformações plásticas maiores. Embora a proporção das fases ferrítica: perlita permaneça constante, a densidade de sítios ativos para a redução de O₂ é provavelmente alterada com a deformação, mudando a cinética da reação de corrosão.

Palavras-chave: Aços de baixo carbono; Tubulações; Flambagem; Corrosão.

INFLUENCE OF BUCKLING ON CORROSION OF API 5L X65 IN SYNTHETIC SEA WATER

Abstract

The objective of this work was to evaluate the influence of cold mechanical deformation in the corrosive process of API 5L X65 steel in synthetic sea water. Results of electrochemical measurements suggest that the generalized corrosion of steel occurs more slowly in larger plastic deformations. Although the ratio of the ferritic: perlite phases remains constant, the density of active sites for the O₂ reduction is probably altered with the deformation, changing the kinetics of the corrosion reaction.

Keywords: Low carbon steels; Pipelines; Buckling; Corrosion.

¹ Engenheiro Mecânico / Mestrando na área de Engenharia Mecânica, Departamento de Física e Química, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP, Guaratinguetá, SP, Brazil.

² Estudante de Engenharia Mecânica, Departamento de Física e Química, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP, Guaratinguetá, SP, Brazil.

³ Doutora em Química, Professora Assistente, Departamento de Física e Química, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP, Guaratinguetá, SP, Brazil.

⁴ Doutor em Química, Professor Adjunto, Departamento de Física e Química, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP, Guaratinguetá, SP, Brazil.

1 INTRODUÇÃO

Mesmo com os grandes esforços da comunidade científica internacional para diversificar a matriz energética mundial, o petróleo ainda é e parece ser a grande fonte de energia nas próximas décadas. Recentes descobertas de jazidas petrolíferas em águas profundas, na área geológica chamada de pré-sal, requerem maiores pesquisas e inovações tecnológicas para a extração e transferência de fluídos corrosivos. Neste sentido, a corrosão é um tema preocupante para as indústrias de exploração e produção de petróleo e gás natural devido aos custos com reparos e substituições de tubulações e equipamento que acompanha a crescente demanda desses fluidos [1]. Aços carbono de baixa liga são os materiais mais utilizados porque esses estão facilmente disponíveis no mercado e podem atender a muitos dos requisitos mecânicos, de fabricação e de custo. Apesar dessas vantagens, suas relativamente baixas resistências à corrosão exigem destes aços uma qualificação para serem usados em ambientes contendo dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e água [2,3].

Dutos de aço carbono são empregados em todo mundo como meios de transporte de petróleo e gás natural. Devido às longas distâncias que as tubulações devem percorrer, estas ficam sujeitas às irregularidades do relevo tanto em terra como no mar. As principais causas de ruptura em tubulações são deslizamentos de terra ou areia, flambagem, fadiga e corrosão. A flambagem é um fenômeno que ocorre em tubulações de seção transversal pequena em relação ao seu comprimento, quando submetidas a um esforço de compressão axial. A. Dutos enterrados estão sujeitos deformações no plano vertical ou no horizontal devido à movimentação ou compactação de solo, abalo sísmico e outros, induzindo tensões que provocam flambagem localizada ou enrugamento da tubulação podendo levar à ruptura. A flambagem lateral é frequentemente observada nos dutos apoiados no fundo do mar. Nessas condições a linha está sujeita a um esforço axial de compressão devido à sobre pressão e de forças laterais originadas pelas correntes marinhas, conduzindo a excessiva flexão e deformação da linha. Apesar disso, é possível que uma tubulação se deforme gradualmente de modo inelástico para se acomodar aos movimentos do solo ou do mar sem romper durante um período relativamente longo de operação [4-6]. Neste contexto, foi estudado o efeito da deformação plástica na corrosão do aço API 5L X65 em água do mar sintética [7]. Para tal fim, corpos de provas foram tracionados uniaxialmente além do limite elástico como uma tentativa de simular as deformações permanentes sofridas pelas tubulações que transportam petróleo e gás natural. A seguir foram aplicadas diferentes técnicas eletroquímicas para caracterizar o processo corrosivo e correlacionar os parâmetros de corrosão com o grau de deformação permanente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A retirada das amostras foi realizada por corte a plasma no corpo de um tubo, em uma região localizada a aproximadamente 90° da solda longitudinal, conforme indicado na região 4 da Figura 1 [8]. Em seguida, as foram submetidas a um processo de deformação plástica controlada, no sentido uniaxial a frio, onde este processo de deformação foi interrompido para cada amostra em um ponto diferente da curva tensão-deformação, tais pontos foram de 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2% e 2,5%.

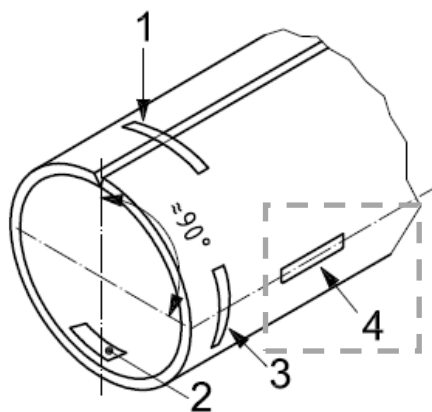


Figura 1. Retirada de amostras em tubos com costura, conforme norma API 5L X65. Regiões: 1. transversal ao sentido de laminação e sobre a solda; 2. transversal a 180° da solda; 3. transversal a 90° da solda; 4. longitudinal a 90° da solda.

Para análise metalográfica os cp's foram cortados em dimensões de 12,5 x 12,5 x 5 mm, embutidos em baquelite e polidos em uma politriz elétrica. Para revelar a microestrutura foi realizado um ataque eletrolítico com solução Nital 3%. Utilizou-se microscópio óptico EIPHOT 200 marca Nikon, acoplado a um computador para captura e processamento digital de imagens. Esta análise foi complementada utilizando-se microscopia eletrônica de varredura (SEM, ZEISS DSM 940).

A preparação das amostras para os ensaios eletroquímicos foi feita através dopolimento com lixas 200, 400, 600, 1200 e 2500 sequencialmente, com o auxílio de uma politriz elétrica marca Panambra, modelo DP 10. Subsequentemente, foi feita uma limpeza ultrassônica com propanol por um ciclo de 12 min.

As medidas eletroquímicas foram realizadas utilizando-se uma célula plana composta de três eletrodos: um referência, de Ag|AgCl|KCl_{sat.} (0,197 V vs. EPH), um fio de Pt de grande área superficial usado como contra-eletródo, e o eletródo de trabalho, confeccionado a partir de cada uma das ligas em estudo. O eletrólito utilizado constituiu-se de uma solução de água do mar sintética (D 1141 – 98). Esta norma estabelece que os resultados obtidos em testes com esta solução aproximam-se daqueles obtidos em condições naturais, quanto a concentração de sais dissolvidos e ajuste do pH a 8,2, apesar da ausência de matéria orgânica em suspensão e vida marinha, tal como ocorre na água oceânica [4].

Para as medidas eletroquímicas foi utilizado um potenciostato/galvanostato Autolab modelo PGSTAT302, equipado com software Autolab Nova versão 1.10, sendo primeiramente monitorado o potencial em circuito aberto (OCP-Open Circuit Potential) por 30 min, utilizando o valor obtido no final deste período para obtenção das curvas de Tafel, a uma velocidade de varredura de 0,166 mV/s. Um mínimo de cinco replicatas foi realizado para cada tipo de ensaio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra as imagens obtidas por microscopia óptica do aço API 5L X65 sem deformação plástica. Observa-se uma matriz ferrítica-perlítica com baixo refinamento de grãos e leve bandeamento, como consequência da composição

química e do processo de laminação convencional (sem resfriamento acelerado). O processamento digital revelou uma relação de fases ferrítica:perlítica \approx 6:1.

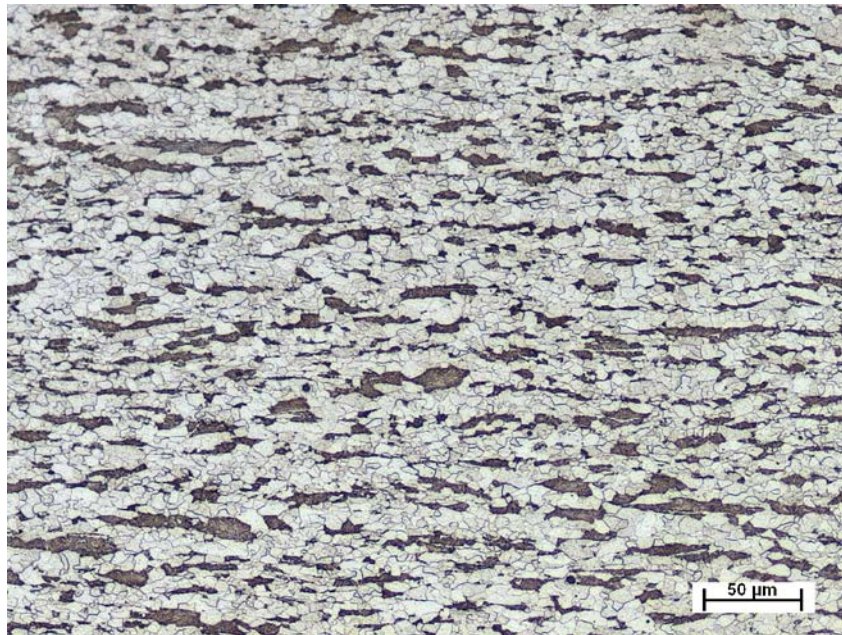


Figura 2. Imagem de microscopia óptica do aço API 5L X65 sem deformação plástica mostrando ferrita (região clara) e perlita (região escura). Ataques eletrolítico: solução Nital 3%.

Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura, Figura 3, revelaram que as regiões mais afetadas pela deformação foram os contornos dos grãos.

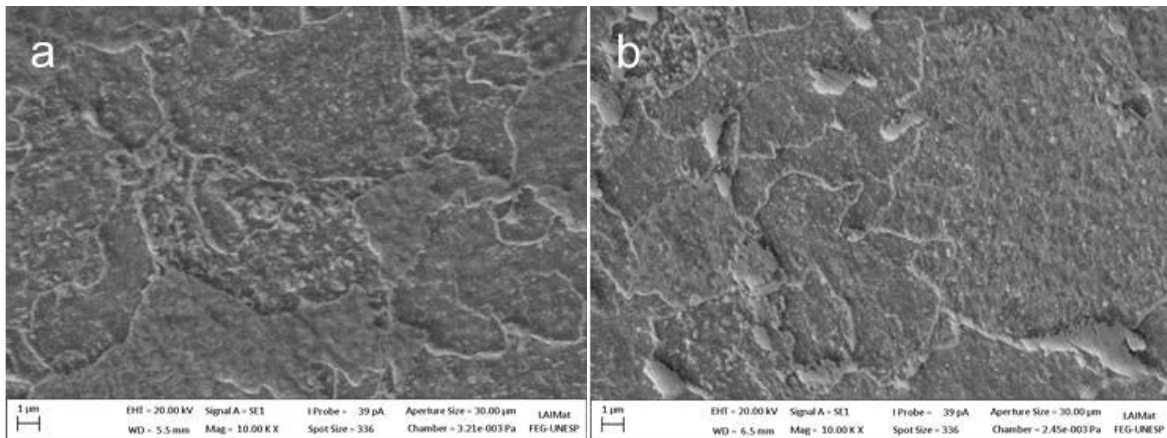


Figura 3. Imagem de microscopia eletrônica de varredura do aço API 5L X65 sem deformação (a) e com 2,5% de deformação plástica (b).

Na Figura 4 são mostradas as cinco replicatas das curvas de OCP e de Tafel para as diferentes condições de deformação (0%, 1,0% e 2,5%) do aço API 5L X65 em água do mar sintética. O comportamento descendente nos gráficos de OCP nos primeiros minutos de imersão é característico de uma rápida dissolução de um produto de corrosão. Após 1 h o OCP decresce muito lentamente sugerindo que não há mudanças significativas na reação anódica e catódica.

O aumento contínuo da corrente durante a varredura anódica evidencia a ausência de passividade, enquanto que o ramo catódico indica que o processo de corrosão é controlado pela difusão O_2 na solução, o qual é reduzido a OH^- na superfície do eletrodo. Na Tabela 1 estão relacionados os valores médios de OCP e os parâmetros

de Tafel. As análises da densidade de corrente de corrosão (I_{corr}) e da resistência de polarização (R_p) parecem indicar que a dissolução ativa acontece mais lentamente a maiores graus de deformação.

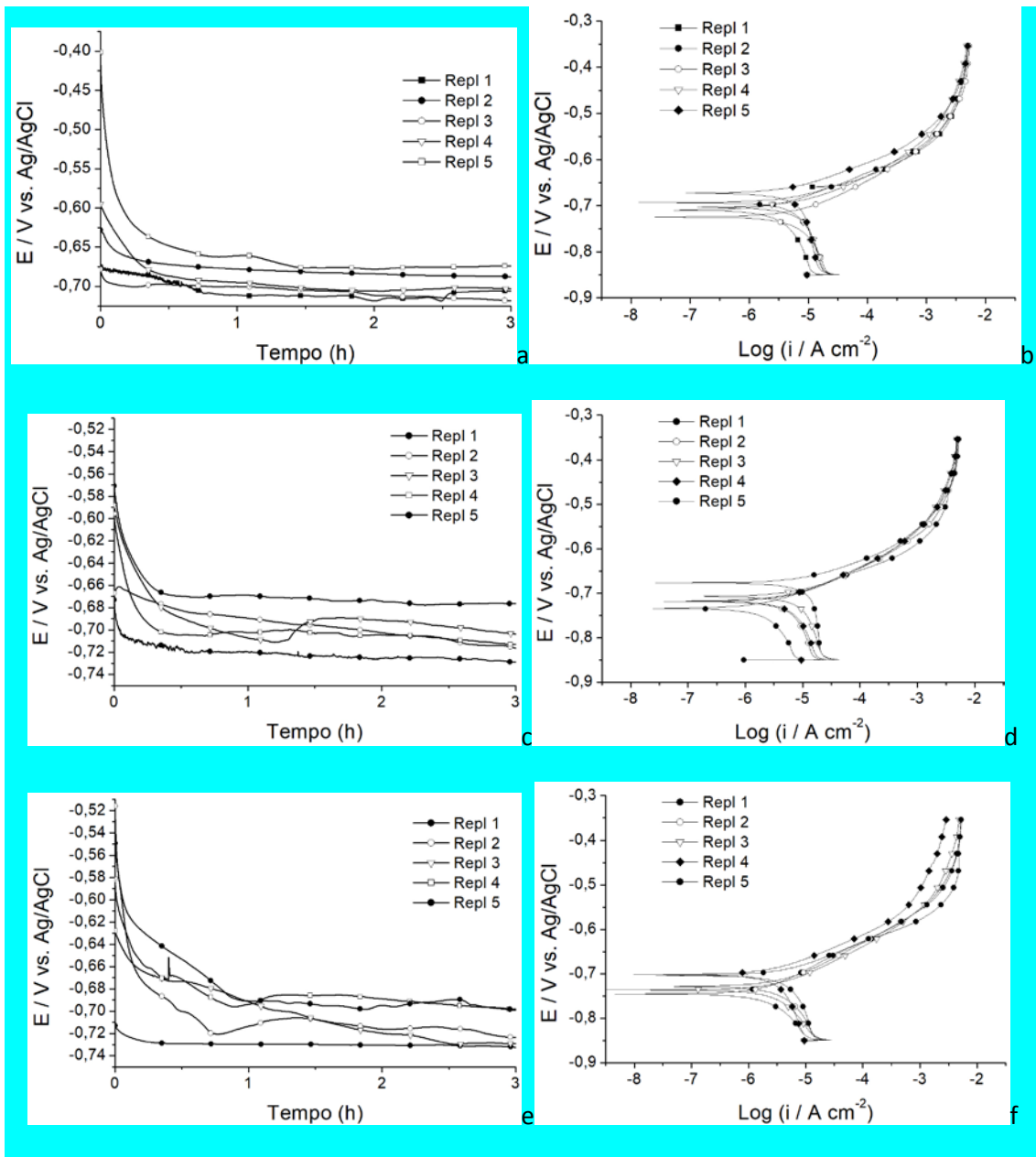


Figura 4. Curvas de OCP e de Tafel condições de deformação 0%, 1,0% e 2,5% do aço API 5L X65 em água do mar sintética.

Tabela 1. Valores médios calculados a partir das curvas de OCP e de Tafel da Figura 1

Deformação	OCP (V)	E_{corr} (V)	I_{corr} ($\mu A cm^{-2}$)	β_a	β_c	R_p (Ωcm^2)
0	-0,70	-0,70	62,2	56	326	359
0,5	-0,71	-0,71	45,9	62	266	552
1,0	-0,71	-0,72	59,7	64	261	440
1,5	-0,71	-0,71	42,8	57	279	529
2,0	-0,71	-0,73	33,7	64	377	781
2,5	-0,72	-0,73	33,8	64	189	651

A variação dos parâmetros de corrosão em cada porcentagem de deformação, Figura 5, pode ser uma consequência da heterogeneidade superficial do aço.

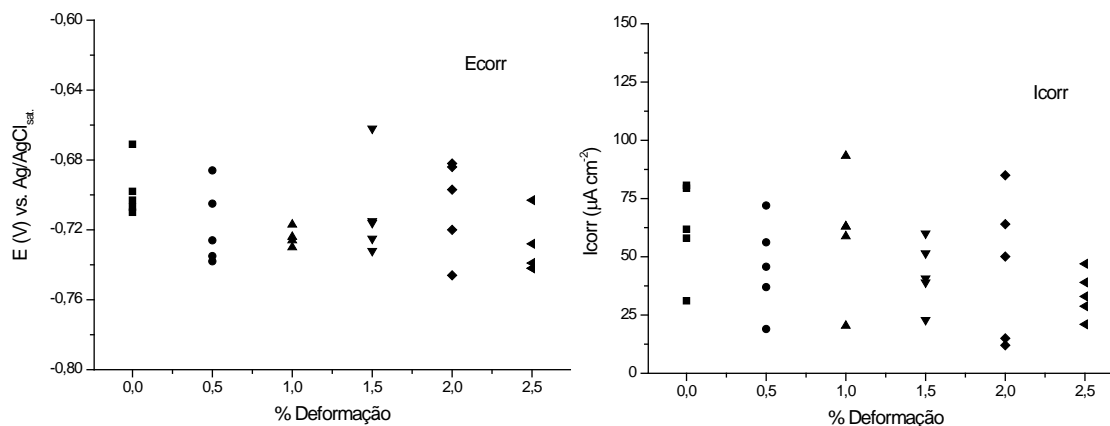


Figura 5. Diagramas de dispersão de E_{corr} e I_{corr} com valores das 5 replicatas para cada condição de deformação.

3 CONCLUSÃO

A análise dos parâmetros de corrosão parece indicar que a corrosão do aço API 5L X65 em água do mar sintética acontece mais lentamente a maiores graus de deformação. Apesar da relação das fases ferrítica:perlítica permanecer constante, a densidade de sítios ativos para a redução de O_2 é provavelmente alterada com a deformação plástica, mudando a cinética da reação de corrosão. Este comportamento está sendo mais bem estudado.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP (processo 2017/11361-5) pelos recursos financeiros.

REFERÊNCIAS

- 1 IEA - International Energy Agency; *Resources to Reserves 2013 - Oil, Gas and Coal Technologies for the Energy Markets of the Future*, OECD/IEA, Paris, 2013.
- 2 Tissot, B.P.; Welte, D.H.; *Petroleum Formation and Occurrence*, 2nded., Springer-Verlag: Berlin, 1984.
- 3 Iannuzzi, M.; Barnoush, A.; Johnsen, R.; *Materials Degradation*, 2017, 2, 1-11.
- 4 Ju J, Lee J, Jang J, Kim W, Kwon D. Determination of welding residual stress distribution in API X65 pipeline using a modified magnetic Barkhausen noise method. *Int J Press Vessel Pip* 2003;80:641–6. doi:10.1016/S0308-0161(03)00131-5.
- 5 Acosta DFB, Palmeira EM. Influência de Reforço Geossintético no Comportamento de Dutos Enterrados. XVIII CongrBras Mecânica Dos Solos E Eng Geotécnica 2016. doi:10.20906/CPS/CB-07-0043.
- 6 Almeida JC De, Zanette LA. Flambagem vertical em tubulações de distribuição de gás natural. *Rev Técnico-Científica Do CREA-PR* 2017.

- 7 AMERICAN NATIONAL STANDARD. **D 1141 - 98**: Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water. West Conshohocken: Astm, 2003. 3 p.
- 8 ANSI / NACE TM0284. Standard Test Method Evaluation of Pipeline and Pressure Vessel Steels for Resistance to Hydrogen-Induced Cracking. Houston: NACE International, 2011.