

Copyright 2014, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2014, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2014.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Determinação das Taxas de Corrosão Uniforme e Puntiforme dos Cupons produzidos por diferentes Fornecedores

^a Dilhermando J. Finamore; ^b Elaine C. Pereira, ^c Angelus G. P. Silva, ^d Ronaldo P. Rocha, ^e Marcello Filgueira, ^f Angélica D. Salvador

Abstract

Metal loss coupons are used in monitoring of corrosive processes and provide two types of information, the corrosivity of the environment and the damage that installation suffers. Monitoring companies obtain coupons from different providers, and little notes about the type processing, composition, microstructure, between other parameters and how they can influence in the confiability of the results. The present work aims to characterize and evaluate the performance de coupons produced by three different providers. The characterization analysis by X-ray diffraction, chemical analysis and microscopy were involved. The coupons were tested in corrosion loop. The rate of uniform corrosion and pitting were determined according to the NACE, NBR and ASTM standards. The coupons have different chemical composition and microstructure; in addition, different processing methods have been used for their manufacture. These variations do not alter the rate of uniform corrosion, however, differences were observed with respect to the rate of localized corrosion.

Keywords: Coupons, providers, uniform corrosion, puntiform corrosion.

Resumo

Cupons de perda de massa são empregados no monitoramento de processos corrosivos e fornecem dois tipos de informação, a corrosividade do ambiente e o dano que a instalação sofre. As empresas de monitoramento adquirem cupons de diferentes fornecedores, e pouco se observa quanto ao tipo de processamento, composição, microestrutura, entre outros parâmetros e o quanto, podem influenciar na confiabilidade dos resultados. O presente trabalho tem como objetivo caracterizar e avaliar o desempenho de cupons, produzidos por três diferentes fornecedores. Na caracterização foram envolvidas as análises por difração de raios X, análise química e microscopia ótica. Os cupons foram ensaiados em loop de corrosão. As taxas de corrosão uniforme e puntiforme foram determinadas de acordo com as normas NACE, ASTM e NBR. Os cupons apresentam composição química e microestrutura diferentes, além disto, diferentes métodos de processamento foram utilizados durante sua fabricação. Estas variações não alteram a taxa de corrosão uniforme, entretanto, algumas variações foram observadas com relação à taxa de corrosão localizada.

Palavras-chaves: Cupons, fornecedores, corrosão uniforme, corrosão puntiforme.

^a Doutorando, Engenheiro - Petrobrás, Universidade Estadual do Norte Fluminense

^b Doutora, Pesquisadora - Universidade Estadual do Norte Fluminense

^c Doutor, Professor Pesquisador - Universidade Estadual do Norte Fluminense

^d Doutor, Professor Pesquisador - Universidade Estadual do Norte Fluminense

^e Doutor, Professor Pesquisador - Universidade Estadual do Norte Fluminense

^f Graduação, Engenheira - Petrobrás

Introdução

A corrosão é definida como sendo um conjunto de fenômenos de deterioração progressiva dos materiais, em consequência de reações químicas ou eletroquímicas entre o material e o meio. A corrosão pode ocorrer em diferentes formas, e o conhecimento das mesmas é muito importante no estudo de processos corrosivos. Para o aço carbono exposto a meios aquosos aerados, os tipos de corrosão mais comumente encontrados é do tipo uniforme, alveolar ou por pites [1,2].

É bem conhecido que a principal causa de formação de pilhas de corrosão nos metais é devido às heterogeneidades microestruturais existentes, tais como, orientação cristalográfica, estrutura cristalina, composição química, presença de impurezas, inclusões, etc... Inclusões não-metálicas estão presentes com relativa frequência nas ligas e, no caso do aço carbono, as mais comuns são inclusões de sulfeto de ferro e de manganês. Tais inclusões são conhecidas por serem sítios de nucleação de pites de corrosão nos aços [3-5].

No monitoramento de processos corrosivos é muito empregada a técnica de cupons de perda de massa, os quais são corpos de provas que devem ser expostos em locais específicos de uma instalação metálica por determinado período. Os cupons instalados são periodicamente retirados e submetidos a ensaios e análises em laboratório para quantificar as taxas de corrosão. Com base nos valores de taxa de corrosão (uniforme ou puntiforme) dos cupons, os dutos ou equipamentos recebem uma determinada classificação que servirá de referência para a implementação de medidas preventivas e ou corretivas a serem tomadas [6,7].

Atualmente, as empresas de monitoramento de corrosão adquirem cupons de diferentes tipos de fornecedores, nacionais ou importados, e pouco se observa quanto ao tipo de processamento da matéria prima usada na fabricação, a composição química, a microestrutura, entre outros parâmetros e o quanto, podem alterar a confiabilidade dos resultados obtidos. O exame metalográfico avalia o metal a ser utilizado sob o ponto de vista de sua estrutura, procurando relacioná-la às propriedades físicas, composição, processo de fabricação, etc., de modo a esclarecer ou prever seu comportamento numa determinada aplicação [8].

O presente trabalho tem como objetivo principal determinar as taxas de corrosão uniforme e puntiforme de cupons de aço carbono, produzidos por três diferentes fornecedores. Tais resultados foram relacionados com o tipo de processamento e aspectos microestruturais dos cupons. Visto que a monitoração da corrosão por cupons é uma técnica amplamente utilizada nos processos de deterioração dos dutos e sistemas de diversas indústrias, o trabalho desenvolvido tem interesse prático.

Metodologia

Cupons de corrosão de três diferentes fornecedores, nomeados neste trabalho como fornecedores A, B e C, foram caracterizados metalograficamente. Na caracterização dos cupons foram utilizadas as técnicas de difração de raios X, análise química, microscopia ótica, confocal e microscopia eletrônica de varredura, além de medidas de microdureza Vickers.

Para determinação da composição química dos cupons, foi utilizado o espectrômetro de emissão ótica SPECTROMAXx, identificação 159239. As análises difratométricas foram realizadas no difratômetro Shimadzu XRD 7000, utilizando radiação Cu-K α , na faixa de ângulo 2 θ entre 20° e 100°, com passo de varredura de 0,5°/min. A identificação das fases presentes foi realizada através de comparações com valores tabelados no catálogo JCPDS.

Corpos de prova foram preparados metalograficamente, do modo convencional, utilizando para ataque químico o reagente nital 2%. Os microscópios OLYMPUS (ótico), OLYMPUS OLS4000 (confocal) e SHIMADZU SSX-550 (eletrônico de varredura - MEV) foram utilizados para análise microestrutural. Para o cupom produzido pelo fornecedor C foi realizada uma microanálise pontual por Espectroscopia de Dispersão de Energia (EDS). Os ensaios de microdureza Vickers (HV) foram executados com o auxílio do microdurômetro HMV-2 SHIMADZU. Foram realizadas cinco medições para cada tipo de fornecedor, utilizando carga de 1 Kg.

Três cupons retangulares, (73,1 x 22,3 x 3,2 x mm) de cada tipo de fornecedor, foram submetidos a ensaios em *loop* de corrosão, num período de 3 meses, tendo como fluido água potável aerada. Durante o ensaio, foram coletadas medidas diárias de pH e OD (oxigênio dissolvido). Com o objetivo de manter estabilidade nestes parâmetros durante o período do ensaio, o pH foi mantido no intervalo entre 6,5 e 7,5 e o OD entre 6,7 e 10,9% ou 2 e 4 mg/L. Um sensor de resistência elétrica (ER) foi instalado com o objetivo de obter medidas instantâneas a cada 15 min da taxa de corrosão para correlação com os resultados dos cupons. As taxas de corrosão uniforme e puntiforme foram determinadas de acordo com as normas NACE RP-0775, ASTM G1-03, ASTM G46-94, NBR 6210 e NBR 9771 [9-13].

Resultados e Discussão

A composição química dos cupons de corrosão produzidos pelos fornecedores A, B e C, determinada por espectrometria ótica, está apresentada na Tabela 1. Os cupons apresentam composição química comparável ao aço carbono ABNT 1010 (fornecedor A) e ABNT 1018 (fornecedores B e C) [14].

Tabela 1: Análise Química por Espectrometria Ótica

Elementos (%)	A	B	C
Carbono (C)	0,0628	0,1570	0,1880
Manganês (Mn)	0,3180	0,7510	0,8350
Fósforo (P)	0,0218	0,0181	0,0237
Enxofre (S)	0,0164	0,0082	0,0023
Silício (Si)	0,0010	0,1710	0,0500
Impurezas	0,0800	0,2947	0,2010
Ferro (Fe)	99,500	98,600	98,700

A análise de difração de raios X, apresentada na Figura 1, mostra que os cupons produzidos pelos fornecedores A, B e C revelam a fase de ferro estável α , com estrutura CCC, através dos planos cristalográficos $(110)_\alpha$, $(200)_\alpha$, $(211)_\alpha$ e $(220)_\alpha$. A presença do carbeto de ferro Fe_3C , com estrutura ortorrômbica, foi detectada através de um pico de difração $(022)_{\text{Fe}_3\text{C}}$ coincidente com $(100)_\alpha$. Apenas no difratograma obtido do cupom produzido pelo fornecedor C foi possível detectar o pico da cementita $(002)_{\text{Fe}_3\text{C}}$, o que se explica pelo maior teor de carbono presente nestes cupons [15,16].

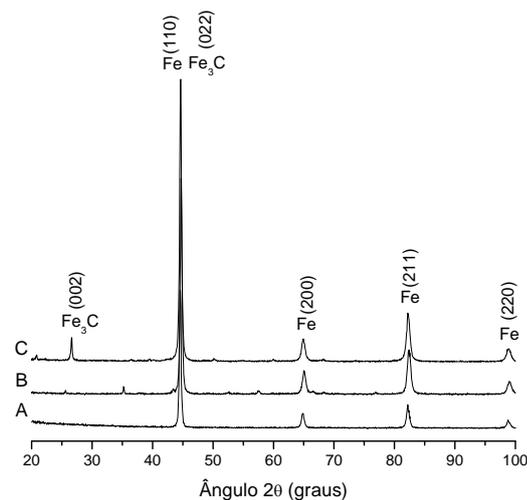


Figura 1 – Difração de raios X dos cupons de corrosão

O aspecto microscópico dos cupons de perda de massa produzidos pelos fornecedores A, B e C está apresentado na Figura 2. A superfície após preparação metalográfica convencional, sem ataque químico, revela a presença de muitas inclusões, conforme pode ser observado na Figura 2 por pontos e partículas irregulares escuras.

Inclusões não metálicas estão presentes com relativa frequência em ligas metálicas geralmente em forma de sulfetos, carbeto e óxidos e, no caso do aço carbono, as mais comuns são inclusões de sulfeto de ferro e de sulfeto de manganês. Dependendo do tipo de aço, algumas inclusões podem resultar em diminuição de propriedades mecânicas, especialmente nos aços de alta resistência. Do ponto de vista de corrosão, tanto as inclusões de sulfeto de ferro como as de sulfeto de manganês são catódicas em relação ao aço carbono. As inclusões de sulfeto de ferro são mais catódicas do que as de sulfeto de manganês e, portanto, podem ser mais prejudiciais ao aço-carbono do que as de sulfeto de manganês [8, 17].

De acordo com a literatura [8], as inclusões cor de ardósia, lenticulares ou alongadas, conforme observado na Figura 2 (a,b), são em geral de sulfeto de manganês. Inclusões de óxidos possuem o formato circular, Figura 2 (c). O óxido de alumínio é muito duro e quebradiço e se apresenta, em geral, sob forma de pequenas partículas agrupadas, Figura 2 (a,b,c).

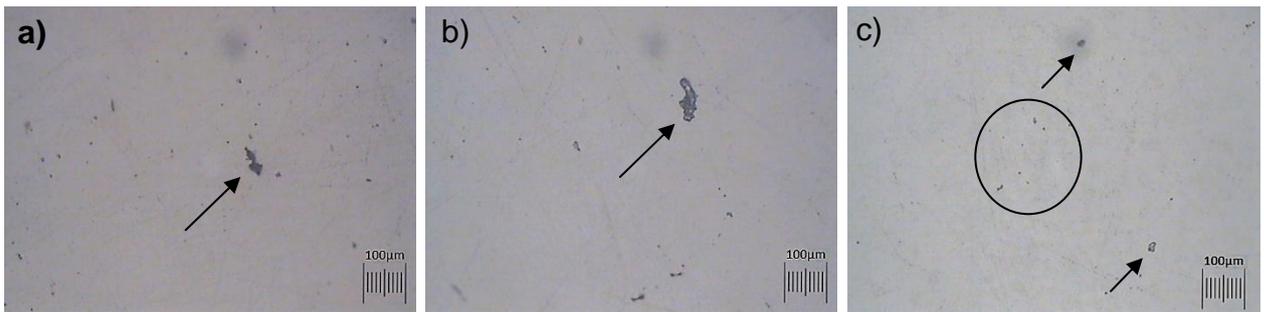


Figura 2 – Aspecto microscópico após polimento dos cupons produzidos pelos fornecedores A (a); B(b) e C(c). Microscopia ótica, aumento 500X.

A Figura 3 apresenta a microestrutura dos cupons de corrosão produzidos pelos fornecedores A (a,b); B(c,d) e C(e,f). Nos aços com baixo teor de carbono, geralmente, a perlita se localiza nos contornos dos grãos da matriz ferrítica, que se revela em tons claros, conforme observado na Figura 3 (a,b).

A microestrutura do cupom produzido pelo fornecedor B, Figura 3 (c,d) apresenta uma textura alinhada de ferrita e perlita. Nos aços que passam por vários estágios de laminação ou forjados a quente, os constituintes presentes na microestrutura podem estar dispostos em linhas paralelas, entretanto, as deformações plásticas, produzidas pela estampagem ou forjamento, podem modificar o perfil longitudinal dos aços laminados [8].

A microestrutura do cupom produzido pelo fornecedor C, Figura 3 (e,f), apresenta uma matriz composta por grãos ferríticos e, sobreposto a esta matriz, micro carbonetos no estado globular. De acordo com a literatura [8], as pequenas partículas de cementita agrupam-se em partículas maiores, formando glóbulos de cementita, quando a temperatura de revenimento se aproxima muito da zona crítica, permanecendo muitas horas na sua vizinhança. Diz-se então que a cementita está coalescida ou esferoidizada. O coalescimento chega a reduzir a dureza do aço à metade comparado ao estado recozido. Este tratamento é muito utilizado para aços com elevado teor de carbono, o que permite uma economia apreciável na usinagem dos aços (principalmente os extra-duros, hipereutetóides), pois, o esforço exigido para essas operações se torna muito menor, podendo, além disso, ser executadas, frequentemente com ferramentas comuns, em máquinas mais leves [8].

A cementita globular pode ser visivelmente observada na imagem da Figura 4 (a), obtida com MEV. Uma micro-análise pontual por EDS, indicado na Figura 4(a) por (1), detectou a presença de ferro e carbono, Figura 4 (b). Através da análise semi-quantitativa foi possível detectar 92,709 % de Fe e 7,291 % de C (% em peso). Na literatura observa-se que a cementita (Fe_3C) possui composição química de 93,31 % de Fe e 6,69 % de C (% em peso) o que é compatível com o resultado obtido [16,18].

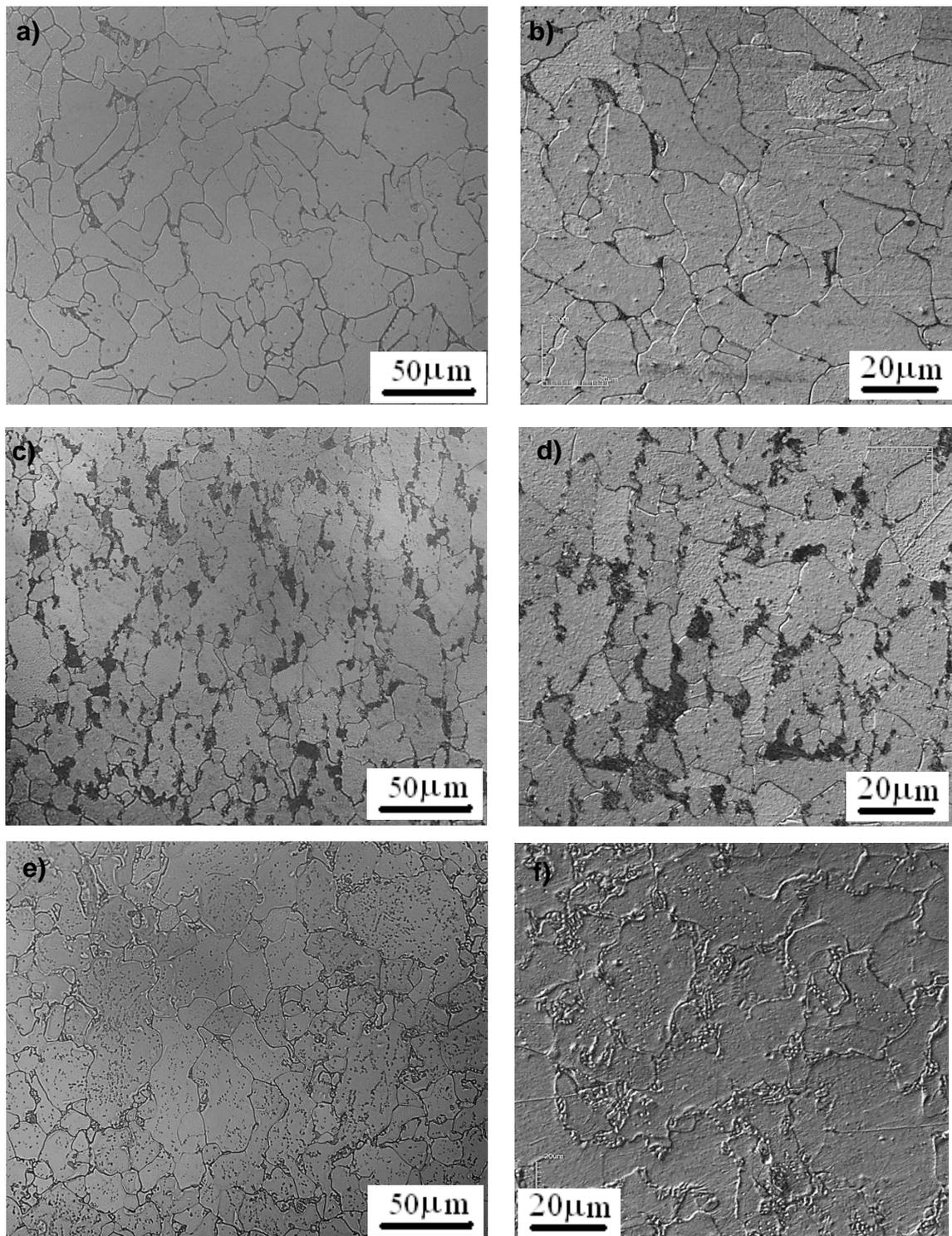


Figura 3 – Microestrutura dos cupons de corrosão produzidos pelos fornecedores A (a,b); B(c,d) e C(e,f). Microscopia ótica (a,c,e) e microscopia confocal (b,d,f). Ataque: nital 2%.

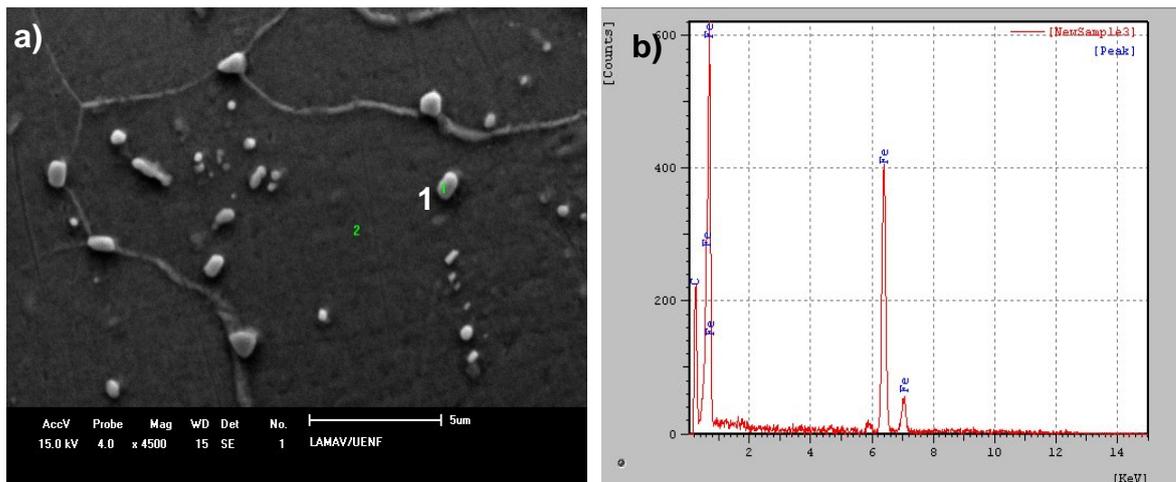


Figura 4 – MEV do cupom C, aumento de 4500x (a). Análise por EDS pontual (b).

Os valores de microdureza Vickers, determinados em cinco regiões dos cupons de corrosão, estão apresentados na Tabela 2. Os cupons produzidos pelos fornecedores A, B e C, apresentam os respectivos valores médios de microdureza Vickers: $100,4 \pm 0,9$ Kgf/mm²; $121,4 \pm 1,5$ Kgf/mm² e $117,4 \pm 0,9$ Kgf/mm². Os valores encontrados são compatíveis com o que é reportado na literatura [14,19]. Os cupons dos fornecedores B e C (aço 1018), apresentam valores um pouco mais elevados, comparados ao fornecedor A (aço 1010), o que já era esperado, por possuírem teor de carbono mais elevado [14,18]. O alto teor de carbono suplanta o efeito de globalização da Fe₃C, no caso do cupom produzido pelo fornecedor C.

Conforme descrito na metodologia, os cupons dos fornecedores A, B e C foram ensaiados em *loop* de corrosão durante um período de 3 meses, tendo como fluido água potável aerada. A Figura 5 apresenta os cupons de corrosão retangulares no estado como recebido (a) e após ensaio de corrosão e decapagem química (b).

Tabela 2: Medidas de microdureza Vickers (HV) dos cupons de corrosão.

HV (Kgf/mm ²)	A	B	C
Região 1	100	123	116
Região 2	100	120	117
Região 3	102	123	118
Região 4	100	121	118
Região 5	100	120	118
Média	$100,4 \pm 0,9$	$121,4 \pm 1,5$	$117,4 \pm 0,9$

É bem conhecido que o aço-carbono exposto ao meio aquoso aerado está sujeito à corrosão uniforme, por pites ou por alvéolos. Após ensaio de corrosão observa-se a formação de alvéolos. A corrosão por pite foi observada apenas nas laterais superior e inferior do cupom produzido pelo fornecedor B. A Figura 6 apresenta a imagem obtida por microscopia ótica dos cupons B (a) e C (b) com vista de sua lateral superior. Observa-se o desenvolvimento de pites de corrosão apenas na Figura 6 (a).

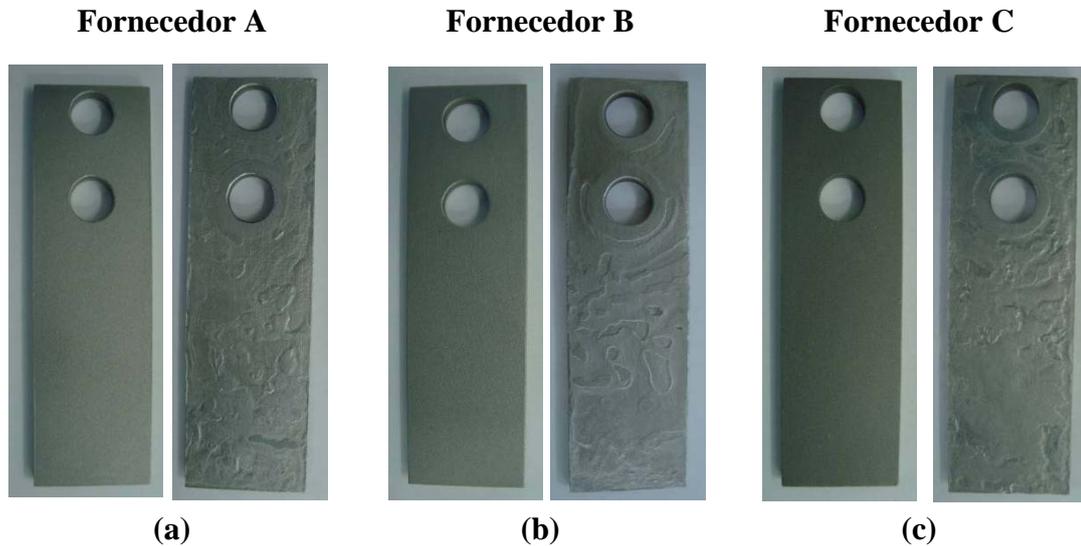


Figura 5 – Cupons de corrosão de diferentes fornecedores, no estado como recebido e após ensaio de corrosão e decapagem química.

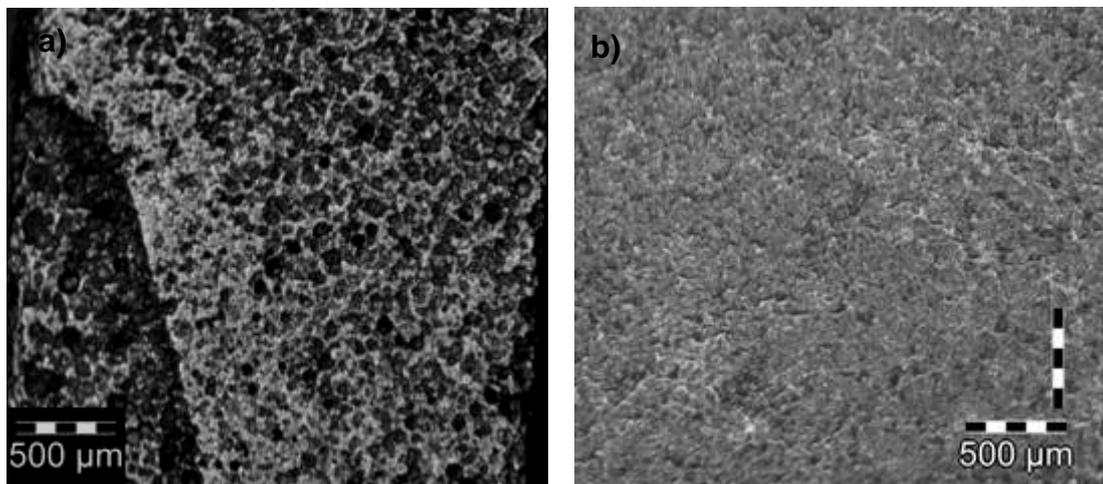


Figura 6 – Microscopia ótica dos cupons, vista lateral superior, produzidos pelos fornecedores B (a) e C(b). Aumento de 60x.

A Figura 7 apresenta o gráfico de medidas de pH (a) e OD (b) coletadas diariamente durante o ensaio em *loop* de corrosão. Observa-se que durante todo o período do ensaio estes dois parâmetros foram mantidos nos intervalos entre 6,5 e 7,5 para o pH e o OD entre 6,7 e 10,9% ou 2 e 4 mg/L, para o Oxigênio Dissolvido. De acordo com Gentil [2], os produtos de corrosão (óxidos de ferro) formados quando o processo corrosivo é influenciado, exclusivamente, pela presença de oxigênio no fluido aquoso, e dependem, além do teor de O₂ do meio, das condições de pH, pressão, temperatura e velocidade, portanto, manter tais parâmetros estáveis durante o ensaio é de suma importância.

A Figura 8 mostra os resultados da sonda de resistência elétrica obtidas durante o período de ensaio de corrosão. Observa-se a perda de espessura cumulativa do elemento sensor e as taxas de corrosão obtidas pela sonda ER. De acordo com a norma NACE RP-0775, a taxa de corrosão obtida manteve-se a maior parte do tempo dentro da faixa de moderada a alta, no intervalo entre 0,1 - 0,2 mm/ano.

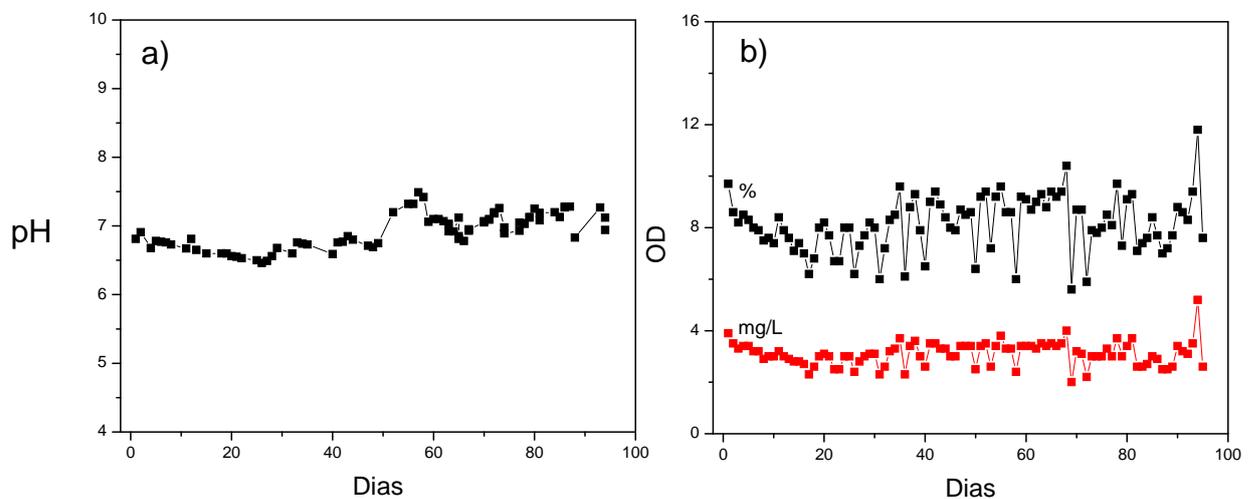


Figura 7 – Medidas de pH (a) e oxigênio dissolvido (OD) (b) coletadas diariamente durante ensaios de corrosão em *loop*.

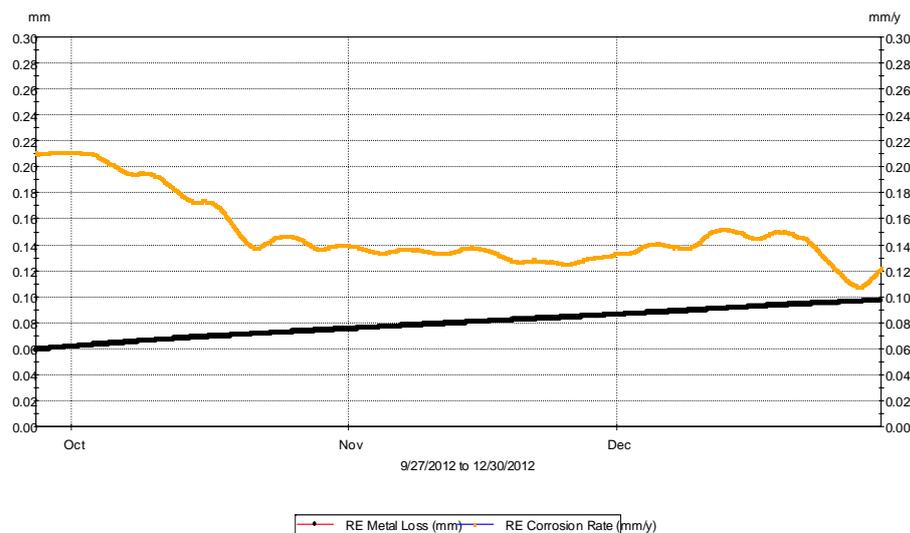


Figura 8 – Resultados de perda de espessura do elemento sensor (mm) e taxas de corrosão (mm/ano) obtidos pela sonda de resistência elétrica durante os ensaios.

A Tabela 3 apresenta os valores das taxas de corrosão determinadas pela perda de massa, para todos os corpos de prova ensaiados em *loop* de corrosão. Os cupons produzidos pelos fornecedores A, B e C, apresentam os respectivos valores médios da taxa de corrosão: $0,2931 \pm 0,0415$ mm/ano; $0,3013 \pm 0,0562$ mm/ano e $0,2766 \pm 0,0418$ mm/ano. Levando em consideração o erro, determinado através do desvio padrão em torno da média, os valores são comparáveis e as variações apresentadas não são significativas.

Comparando as técnicas de determinação de taxa de corrosão por perda de massa (Tabela 3) e por sonda de resistência elétrica (Figura 8), observa-se que as taxas obtidas pelos cupons foram maiores do que as obtidas com a sonda de resistência elétrica. De acordo com a norma NACERP0775 o resultado de taxa de corrosão obtido por ER está no intervalo de faixa de corrosão alta, enquanto que a taxa obtida por perda de massa está na faixa de corrosão severa.

Tabela 3: Valores da Taxa de Corrosão determinada de acordo com as normas NACERP0775, ASTM G1-03 e NBR6210 [9-11].

Fornecedor	Perda de Massa (g)	Taxa de Corrosão (mm/a)	Média e Desvio (mm/ano)
A	2,2117	0,3274	$0,2931 \pm 0,0415$
	2,0599	0,3049	
	1,6682	0,2469	
B	2,3263	0,3444	$0,3013 \pm 0,0562$
	2,1744	0,3219	
	1,6057	0,2377	
C	2,1928	0,3246	$0,2766 \pm 0,0418$
	1,6749	0,2479	
	1,7374	0,2572	

Conforme mencionado anteriormente apenas os cupons produzidos pelo fornecedor B apresentaram pites de corrosão, especificamente na lateral superior e inferior. A Tabela 4 apresenta os resultados da caracterização de corrosão por pites destes cupons.

Observa-se que os cupons são classificados como A4 e A5, relacionando a densidade de pites por área, o que é considerado bastante significativo, entretanto, avaliando a área e profundidade dos pites desenvolvidos, são classificados como B1 e C1, respectivamente. Tal classificação representa pites muito pequenos e pouco profundos, de acordo com a norma ASTM G46-94 [12]. Avaliando a taxa de corrosão por pite, o fornecedor B possui uma média em torno de $0,2848 \pm 0,0715$ mm/ano, o que segundo a norma NACE RP 0775 é classificada como taxa de pite alta [11].

Tabela 4: Caracterização de Corrosão por Pites do Cupom produzido pelo fornecedor B de acordo com as normas NACERP0775, ASTMG46-94 e NBR9771 [11-13].

Nº pites	Densidade (/m ²)	Área (mm ²)			Profundidade (mm)			Classificação	Taxa (mm/a)
		Média	Max	Desvio	Media	Max	Desvio		
56	1,12E+05	0,0078	0,0180	1,75E-03	0,0285	0,0525	1,39E-02	A5 B1 C1	0,2039
36	7,18E+04	0,0025	0,0054	1,19E-03	0,0670	0,0875	1,46E-02	A4 B1 C1	0,3398
43	8,58E+04	0,0034	0,0092	1,90E-03	0,0508	0,0800	1,85E-02	A4 B1 C1	0,3106

Relacionando o aparecimento de pites de corrosão com a microestrutura do material verifica-se que o cupom do fornecedor B apresenta uma maior quantidade de contornos de grãos, quando comparado aos dos fornecedores A e C, Figura 3(c,d). A causa geral da corrosão por pites é a existência de pequenas áreas do material, altamente anódicas em relação às áreas catódicas adjacentes, formando as chamadas “pilhas passivo-ativo”. Se tratando da diferença de potencial associada ao metal, os contornos de grãos funcionam como áreas anódicas em relação aos grãos [1,2].

Outro fator relevante e que pode estar associado aos resultados obtidos é a seguinte: os cupons retangulares produzidos pelos fornecedores A e C são retirados de chapa de aço, enquanto que, os produzidos pelo fornecedor B não possuem um padrão específico, podem ser obtidos de chapa ou de tarugo (barra redonda) de aço. Acredita-se que os cupons avaliados neste trabalho tenham sido retirados de tarugos. Sabe-se que o processamento de tarugos de aço gera um maior número de inclusões quando comparado ao processamento de chapas. Pesquisadores [3-5] avaliaram a iniciação de pites de corrosão em aço inox e verificaram que os sítios de nucleação de pites de corrosão se desenvolveram na borda das inclusões de óxidos e sulfetos, e que zonas anódicas existem ao redor das inclusões. O formato das inclusões exerce grande influência no desenvolvimento de pites de corrosão. Pode-se dizer que as zonas anódicas formadas ao redor das inclusões esféricas facilitam a nucleação de pites de corrosão, enquanto que as zonas anódicas formadas ao redor das inclusões alongadas promovem uma corrosão mais generalizada.

Provavelmente, os cupons produzidos pelo fornecedor B possuem inclusões mais alongadas, avaliando em sua superfície longitudinal, o que gera nas bordas superior e inferior inclusões no formato esférico, propiciando a formação de pites nestas regiões. Entretanto, uma análise metalográfica mais apurada ainda deve ser realizada.

Conclusões

A análise química constatou que o cupom do fornecedor A enquadra-se como aço baixo carbono 1010, enquanto que os cupons dos fornecedores B e C são enquadrados como de aço carbono 1018.

O aspecto microscópico dos cupons revelou a presença de muitas inclusões. A microestrutura dos cupons produzidos pelos três diferentes fornecedores apresenta variações significativas, entretanto, em todas as micrografias foi possível identificar a presença da matriz ferrítica com perlita nos contornos de grãos.

As pequenas alterações na composição química, microestrutura e microdureza não alteram significativamente os valores nas taxas de corrosão dos cupons avaliados. Os cupons produzidos pelos três fornecedores apresentam os seguintes valores médios da taxa de corrosão: $0,2931 \pm 0,0415$ mm/ano; $0,3013 \pm 0,0562$ mm/ano e $0,2766 \pm 0,0418$ mm/ano. Levando em consideração o erro, determinado através do desvio padrão em torno da média, os valores são comparáveis e as variações apresentadas não são significativas entre um fornecedor e outro.

Pites de corrosão só foram desenvolvidos nos cupons produzidos pelo fornecedor B, especificamente nas laterais, superior e inferior. Este aspecto pode estar relacionado ao tipo de matéria-prima e processamento utilizado na produção destes cupons, além disto, o tipo de corte utilizado e a usinagem podem contribuir se não forem eliminadas totalmente as regiões afetadas.

Cupons produzidos por diferentes fornecedores podem ser representativos para determinação da taxa de corrosão uniforme, entretanto, em relação à taxa de corrosão puntiforme, desde que os parâmetros como matéria prima, microestrutura, composição química e processamento sejam criteriosamente avaliados.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem à Petrobrás, projeto PETRO-CORROSÃO, pelo suporte financeiro concedido a esta pesquisa.

Referências Bibliográficas

1. TELLES, P.C.S. *Materiais para Equipamentos de Processo*. 6ª. Ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 275p, 2003.
2. GENTIL, V. *Corrosão*. 4ª. ed, Editora LTC, 341 p., 2003.
3. ROBERGE, P.R. *Handbook of Corrosion Engineering*. ISBN: 0-07-076516-2, 1999.
4. BAKER, M.A., CASTLE, J.E. *The initiation of pitting corrosion at MnS inclusions*. *Corrosion Science*, Vol.34, n. 4, pp. 667-682, 1993.

5. BAKER, M.A., CASTLE, J.E. *The initiation of pitting corrosion of stainless steels at oxide inclusions*. Corrosion Science, Vol.33, n. 8, pp. 1295-1312, 1992.
6. SIMOR, E., NOVAIS, A.P. *Gerenciamento da taxa de corrosão por cupons por perda de massa*. 6ª COTEQ – Conferência sobre tecnologia de Equipamentos, Salvador – BA.
7. NÓBREGA, A.C.V, SILVA, D.R., BARBOSA, A.F.F., PIMENTA, G.S. *Monitoração e controle da corrosão em dutos transportadores de gás natural*. 6ª COTEQ – Conferência sobre tecnologia de Equipamentos, Salvador – BA.
- 8 GOLPAERT, H. *Metalografia de produtos siderúrgicos comuns*. 3 ed. São Paulo, Ed. Edgard Blucher Ltda. 412p., 1974.
9. ASTM International. *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens - G1-03*, 9p.
10. ABNT 6210 NBR. *Corrosão atmosférica — Materiais metálicos — Preparo, limpeza e determinação da taxa de corrosão de corpos-de-prova em ensaios de corrosão*, ISBN 978-85-07-01103-3, 9p., 2008.
11. NACE STANDARD RP0775-2005. *Preparation, Instalation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations*, item nº 21017, ISBN 1-57590-086-6, 2005.
12. ASTM G46-94. *Standard Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion*, 2005.
13. ABNT NBR 9771. *Exame e Avaliação da Corrosão por Pite*, 1987.
14. ASM Metals Handbook. *Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys*, v.1, 1618p. 2005
15. OWEN, E.A., YATES, E.L. *JCPDS 01-071-3763*. Chem. Phys 3, 605, 1935.
16. GARDIN, A.I. *JCPDS 03-065-2411*. Kristallografiya 7, 854, 1962.
17. GOSTA, W. *Review Article on the Influence of Sulphide Inclusions on the Corrodibility of Fe and Steel*. Corrosion Science, v.9, p.585-602, 1969.
- 18 CALLISTER, W.D.Jr. *Ciências e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. Tradução de Sérgio M.S. Soares. 5 ed., Ed. LTC, 589p., 2002.
- 19 ALMEIDA, N.L., TIROEL, L.C.O., BERNAL, A.G., LAURINO, E.W., NAGAYASSU, V.Y., JORGE, V.A. *Causa de Ocorrência de Pites em Cupons de Corrosão de Aço Carbono*. Intercorr Abraco_267, Fortaleza/CE, 2010.