

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

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

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS BACTÉRIAS OXIDANTES DE FERRO NA TAXA DE CORROSÃO DO AÇO CARBONO AISI 1010

Sara H. de Oliveira^a, Edivânia S. Lima^b, Severino L. U. Filho^c, Maria Alice G. de A. Lima^d, Cezar H. Gonzalez^e,

Abstract

In this work was studied the influence of iron oxidizing bacteria (IOB), the corrosion test specimens of AISI 1010 carbon steel in the presence of seawater. To this end, microorganisms were isolated from seawater collected in the region of Suape-PE. The tests were conducted in aerobic bioreactors in which the test specimens were exposed in the presence of sterile sea water, where they were inoculated microorganisms. In periods of 14, 28, and 42 days we performed calculations of mass loss and corrosion rates, determination of protein and carbohydrates and observation of the film formed through a scanning electron microscope (SEM). The results showed that weight loss and an increased rate of corrosion in the specimens for study conditions. The results showed that there is a direct relationship between the iron oxidizing bacteria and increased the rate of corrosion of carbon steel AISI 1010, under the conditions studied.

Keywords: Microbial Corrosion, AISI 1010 carbon steel, iron oxidizing bacteria, rate of corrosion.

Resumo

Neste trabalho foi estudada a influência das bactérias oxidantes de ferro (BOF), na corrosão em corpos de prova de aço carbono AISI 1010 em presença de água do mar. Para tanto, os micro-organismos foram isolados a partir de água do mar, coletada na região de Suape - PE. Os ensaios foram conduzidos em biorreatores aeróbios nos quais foram expostos corpos de prova em presença de água do mar estéril, onde foram inoculados os micro-organismos. Nos períodos de 14, 28, e 42 dias foram realizados cálculos de perdas de massa e taxa de corrosão, determinação de proteínas e carboidratos e observação do filme formado, por meio microscópio eletrônico de varredura (MEV). Os resultados mostraram que houve perda de massa e uma taxa de corrosão crescentes nos corpos de prova para as condições de estudo. A análise dos resultados mostrou que há uma relação direta entre as bactérias oxidantes de ferro e a intensificação na taxa de corrosão do aço carbono AISI 1010, nas condições estudadas.

Palavras-chave: Corrosão Microbiológica, Aço carbono AISI 1010, Bactérias oxidantes de ferro, Taxa de corrosão.

^a Doutora, Engenharia de materiais - Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

^b Mestre, Engenharia de materiais - Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

^c PHD, Engenheiro Mecânico - Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

^d PHD, Engenheira Química - Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

^e PHD, Engenheiro Mecânico - Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

1 - Introdução

A deterioração do metal devido à atividade microbiana é denominada biocorrosão ou corrosão microbiologicamente induzida (CMI). Muita investigação tem incidido sobre corrosão microbiologicamente induzida de metais e ligas no ambiente marinho (1). O fator principal para a corrosão microbiologicamente induzida é a formação de biofilme sobre a superfície, pois os micro-organismos se aderem formando um consórcio bem estruturado onde vários grupos microbianos podem ser encontrados, podendo, através de sua atividade metabólica, influenciar severamente o processo corrosivo, que é resultado, muitas vezes, do sinergismo entre a superfície do metal, produtos abióticos de corrosão, células bacterianas e seus metabólitos (2). A morfologia do biofilme tem uma influência significativa sobre os efeitos da corrosão. Um biofilme poroso não só libera metabolitos deletérios secretados por bactérias, mas também cria gradientes de pH, oxigênio dissolvido e cloreto. Em contraste, um biofilme compacto com sulfetos de metal pode, em alguns casos, formar uma película protetora sobre a superfície metálica (3).

Dentre os micro-organismos relacionados à CMI podem-se destacar as bactérias oxidantes de ferro (BOF), que oxidam o íon ferroso a íon férrico no seu metabolismo e através desse processo de oxidação, promovem a formação de óxidos e hidróxidos de ferro, que por serem insolúveis, precipitam sobre superfícies podendo ficar aderidos na forma de tubérculos criando condições para a corrosão por aeração diferencial, e ainda criam condições para o desenvolvimento de bactérias anaeróbias embaixo dos tubérculos como as bactérias redutoras de sulfato (4).

O aço carbono AISI 1010 é bastante utilizado para serviço de água de resfriamento em indústrias químicas, petroquímicas de energia e indústrias de utilidade. Nesse contexto é importante o estudo da corrosão microbiana do mesmo em presença de bactérias oxidantes de ferro uma vez que esses micro-organismos estão presentes nesses ambientes.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência das bactérias oxidantes de ferro, na taxa de corrosão em cupons de aço carbono AISI 1010, em presença de água do mar.

2 - Metodologia

2.1 - Corpos de prova

Os corpos de prova foram confeccionados com área total de aproximadamente 24,12 cm², considerando as duas faces. Os cupons para análise de superfície por microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram confeccionados na forma retangular com dimensões 30,0 mm x 10,0 mm x 2,5 mm, os quais foram previamente tratados pela imersão em isopropanol e acetona, levados a estufa à 70°C por 30 min., e posteriormente levados ao dessecado por 20 min., em seguida foram jateados com jato de areia para remoção de possíveis incrustações. Após o jateamento, passaram novamente pelo tratamento com isopropanol e acetona. Foram levados à estufa, ao dessecador, pesados ao décimo de miligrama e dispostos nos biorreatores presos à tampa através de fios de nylon.

2.2 - Micro-organismos

Os ensaios foram conduzidos em presença de uma cultura de bactérias oxidantes de ferro obtida a partir de cultivos sucessivos de amostra de água do mar, da praia de Boa Viagem, em meio citrato férrico amoniacal e isolada em Agar citrato férrico amoniacal (Fig. 1). A mesma foi inoculada no sistema de maneira a estabelecer uma concentração inicial de 10^{10} NMP/ mL.



Figura 1 - BOF em agar citrato férrico amoniacal

2.3 - Fluido do processo

Nos ensaios foi utilizada água do mar coletada no complexo Industrial Portuário de Suape, no Cabo de Santo Agostinho-PE, a qual foi esterilizada em autoclave a $121\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 20min., para posteriormente ser acrescida de nutrientes e adicionada nos biorreatores estéreis juntamente com os cupons seguido da inoculação dos micro-organismos.

2.4 - Sistemas estáticos

Os experimentos foram conduzidos em sistemas estáticos constituídos de biorreatores em vidro de 2,0L apresentando volume útil de 1,9L (Fig. 3).



Figura 2 - Biorreator usado nos ensaios.

Um volume de 1,9L de água do mar, contendo 5% de meio rico em nutrientes, foi adicionado aos biorreatores seguido da inoculação dos micro-organismos. Os nutrientes foram adicionados uma única vez, constando de 95 mL de um meio com a composição em g/L de: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 4,12; K_2HPO_4 1,0; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1,26; NH_4Cl 1,0; citrato de sódio 0,5; lactato de sódio 3,5; extrato de levedo 1,0; NaCl 1,0 (1).

Todo o procedimento foi feito em câmara de fluxo laminar para evitar contaminação dos sistemas. Os corpos de prova ficaram no sistema por um período total de 42 dias, sendo as retiradas para análise a cada 14 dias.

Os ensaios foram realizados com o intuito de avaliar a interferência das culturas microbianas na corrosão do aço carbono AISI 1010. Para tanto foram montados dois sistemas, um com BOF e outro abiótico (ABO), ambos em aerobiose.

2.5 - Quantificação celular

Os cupons retirados assepticamente do sistema foram raspados com o auxílio de espátula estéril em solução redutora, composta de 0,124 g/L de Tioglicolato de sódio; 0,1 g/L de Ácido ascórbico; 30 g/L NaCl e 4,0 mL/L de Rezazurina (0,025%), com o fim de se obter uma suspensão celular. A partir dessa suspensão foram feitas diluições decimais sucessivas de 1 mL, as quais foram inoculadas em meio adequado para a quantificação dos micro-organismos através da técnica do número mais provável (NMP) (5-6).

A quantificação das BOF foi feita em meio de citrato férrico amoniacal modificado pela adição de NaCl com a seguinte composição em g/L: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0,5; NaNO_3 0,5; K_2HPO_4 0,5; MgSO_4 0,5; $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,2; Citrato férrico amoniacal 10. O pH do meio foi ajustado para $6,4 \pm 0,2$ e distribuído em tubos de ensaio estéreis tamponados com algodão, em seguida foram esterilizados em autoclave por 20 min. a 121°C .

Foram feitas diluições sucessivas da suspensão celular em água de diluição 30 g/L de NaCl e inoculadas em tubos de ensaio contendo o meio de citrato férrico amoniacal. A determinação do crescimento celular foi feita após um período de incubação de 14 dias a temperatura de $30 \pm 1^\circ\text{C}$. O crescimento celular foi evidenciado pela presença de um precipitado ferruginoso característico do hidróxido de ferro.

2.6 - Caracterização bioquímica dos biofilmes nos cupons

O cupom, após ser retirado do sistema, teve a sua superfície raspada em recipiente contendo 15mL de solução de NaCl 0,85% e centrifugado a 10.000 rpm por 10 min. Em seguida o sobrenadante foi filtrado com membrana 0,2 μm em aparato de filtração da milipore, para separar as células microbianas. Uma alíquota de 1 mL deste filtrado foi retirada para análise de carboidratos e uma alíquota de 0,2 mL para análise de proteínas (7).

2.6.1 - Análise de carboidratos

A 1mL das amostras retiradas para análises, foi adicionado 1mL de fenol a 5% e homogeneizado em Vortex. Em seguida adicionou-se 5 mL de ácido sulfúrico concentrado aos tubos e colocado em banho de gelo, mantendo-se por 10 min. em temperatura ambiente. Fez-se triplicatas de cada análise. Foi feita a leitura da absorbância em 490 nm de

comprimento de onda em espectrofotômetro UV visível utilizando-se curva padrão de glicose entre 0 µg/mL e 100 µg/mL (7-8).

2.6.2 - Análise de proteínas

Adicionou-se a 0,2 mL das amostras retiradas para análises, 1 mL de uma solução recém preparada composta por: 10 mL de solução de Na₂CO₃ a 2% em NaOH 0,1N ; 0,1 mL CuSO₄ 1% e 0,1 mL de tartarato de sódio e potássio a 2%. Em seguida utilizou-se o Vortex para homogeneização e posteriormente deixou-se em repouso por 10 min.; Após o repouso, adicionou-se a cada amostra 0,1 mL de reagente de Folin-Ciocalteu (Merck) diluído 1N. Deixou-se em repouso por 30 min. e fez-se a leitura em espectrofotômetro de absorvância em comprimento de onda 750 nm. Utilizou-se curva padrão de albumina serica bovina entre 0 e 300 µg/mL (9).

2.7 - Perdas de massa e taxa de corrosão

Com o objetivo de determinar as perdas de massa, os cupons foram pesados antes de serem expostos nos meios e após a retirada do biofilme formado em cada período de exposição, após passarem pelo processo de decapagem ácida, onde foram banhados em solução de ácido clorídrico 26% por 5 s, lavados em água corrente, neutralizados com solução de NaOH a 10% (p/v) durante 5 s, e novamente lavados em água corrente. Por fim, os cupons foram imersos em álcool isopropílico por 5 s depois em acetona por mais 5 s. Os cupons tratados foram secos em estufa a 70 °C ± 1 por 30 min. e levados ao dessecador por 20 min., efetuando-se assim a pesagem final(8). Os resultados das perdas de massa foram utilizados nos cálculos das taxas de corrosão as quais foram calculadas e classificadas de acordo com a norma (10).

2.8 - Análises das superfícies dos cupons

As superfícies dos cupons de aço carbono AISI 1010 foram analisadas através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) para análise do biofilme. Para tanto, após sua retirada dos ensaios, esses cupons foram tratados com a finalidade de manter a integridade do material a ser visualizado. Para a fixação do material biológico, os cupons foram mantidos por no mínimo, durante 24 h em glutaraldeído 2,5%. Após esse tempo, os cupons foram retirados dessa solução e lavados três vezes em tampão cacodilato 0,1 mol/L, sendo cada tempo de lavagem de 15 min.. Em seguida, o material biológico aderido aos cupons foi desidratado, em série crescente de 15 min. cada, em álcool etílico 30, 50, 70 e 99,8%. Por fim, efetuou-se o ponto crítico de secagem do material em equipamento de ponto crítico da marca BAL-TEC CPD – Critical Point Dryer 030. A finalidade desse procedimento foi substituir todo o líquido residual do biofilme por CO₂ líquido, que a 31 °C e 73 atm de pressão rapidamente converte-se em CO₂ gasoso (11). Findo o tempo de secagem, a superfície do material foi submetida à metalização em ouro (15 nm de espessura) no aparelho Sputter Coater SCD-040 Electron Probe Microanalyzer. Os cupons então metalizados foram examinados quanto ao biofilme bacteriano através de MEV, empregando-se para tal um microscópio Zeiss DSM 940 dotado de um sistema automático de análise de imagens.

3 - Resultados e discussão

3.1 - Monitoramento microbiológico

A Figura 3 mostra o filme formado pelas BOF na superfície do cupom onde se pode observar a formação de produtos de corrosão em forma de tubérculos esponjosos com coloração castanho-avermelhado, característicos do filme formado pela BOF. Esses tubérculos são formados por depósitos de óxidos e hidróxidos de ferro metabolizados pelas bactérias oxidantes do ferro que oxidam o íon ferroso a férrico, e a partir dessa oxidação obtêm a energia necessária para seus processos vitais (1- 4).

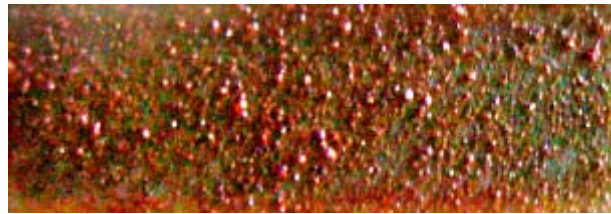


Figura 3 - Superfície do cupom recoberta por biofilme em sistema contendo BOF

O gráfico da Fig. 4 apresenta a colonização das superfícies dos cupons, em função do tempo, expostos à água do mar na presença de bactérias oxidantes de ferro em aerobiose. Decorridos 14 dias, foi evidenciado um número da ordem de 10^{14} NMP/cm², um valor bastante significativo que mostra a adaptação do micro-organismo ao meio e a capacidade das células das BOF em se aderir a superfície do metal. Decorridos 28 dias observou-se uma população máxima da ordem de 10^{18} , aproximadamente. Esse pico de crescimento era esperado uma vez que a literatura define um período de crescimento para as bactérias oxidantes de ferro em torno de 14 a 28 dias. Pode-se constatar um decréscimo para 10^6 no período de 42 dias, provavelmente, esse decréscimo foi devido à escassez de nutrientes, uma vez que eles foram adicionados uma única vez, no início do experimento.



Figura 4 - Quantificação de BOF na superfície do cupom de aço carbono AISI 1010

3.2 - Caracterização bioquímica dos biofilmes

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** caracteriza os exopolissacarídeos (carboidratos e proteínas), expelidos pelos micro-organismos nos biofilmes dos cupons. Pode-se perceber que houve uma predominância das proteínas.

A composição química dos EPS é muito heterogênea e complexa, mas de uma maneira geral, são os polissacarídeos que predominam (65% do EPS) seguidos por proteínas, substâncias húmicas, ácidos nucleicos, glicoproteínas, fosfolípidos, entre outros (12).

Os EPS são considerados um dos fatores que aceleram ou inibem os processos corrosivos nos metais. Estes exopolímeros, que ancoram as bactérias sésseis nas superfícies metálicas, têm capacidade de se ligar com os íons metálicos com alta afinidade formando complexos que podem diminuir a reação de corrosão; caso na sua constituição possuam grupamentos ácidos, estes EPS aumentam a corrosão do aço por diminuição do pH interfacial (13).

Tabela 1 - Caracterização bioquímica dos biofilmes

<i>Carboidratos ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)</i>	$4,5 \pm 1,1$
<i>Proteínas ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)</i>	$33,0 \pm 1,55$

3.3 - Perda de massa dos cupons de aço carbono aisi 1010

A representação gráfica das perdas de massa dos cupons de aço carbono AISI 1010, nas diferentes condições estudadas está apresentada na Fig.5.

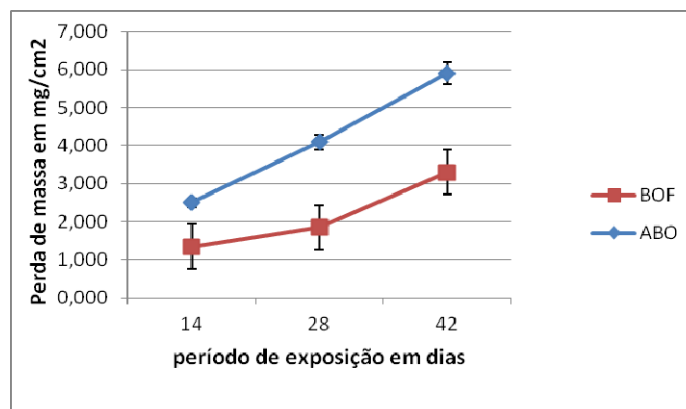


Figura 5 - perdas de massa dos cupons de aço carbono AISI 1010, nas diferentes condições estudadas.

Analisando o gráfico observa-se que em ambos os sistemas, biótico e abiótico, a perda de massa aumentou gradativamente com o tempo. No entanto a maior perda de massa é observada para o sistema abiótico (ABO), isso se deve a associação do ambiente agressivo, no caso, água do mar e a presença de oxigênio, que pode comportar-se com acelerador do

processo eletroquímico de corrosão (13). Em águas salgadas, ou seja, de elevada condutividade, anodo e catodo tende a se distanciar e por isso há formação do produto de corrosão pouco aderente á superfície metálica resultando em um depósito poroso pouco efetivo como barreira protetora (13).

No sistema contendo bactérias oxidantes do ferro observa-se inicialmente uma inibição a perda de massa, porem posteriormente é observado um crescimento considerável neste parâmetro. Neste caso tem-se a associação do meio agressivo, a água do mar, com o oxigênio e micro-organismos que formam um biofilme bastante poroso não caracterizando um filme protetor (14).

3.4 - Taxa de corrosão

A Tabela 2 mostra as taxas médias de corrosão dos corpos de prova para cada sistema nos períodos de estudo, e as respectivas classificações de acordo com a NACE (10).

Ambos os sistemas apresentaram taxas de corrosão moderada. O sistema ABO apresentou taxas decrescentes de corrosão, enquanto que o sistema BOF teve sua taxa de corrosão crescendo com o tempo. Pode-se ter uma visão melhor dessa variação observando o gráfico da Fig. 6.

Tabela 2- Taxa de corrosão e classificação do processo corrosivo

Tempo dias	SISTEMAS			
	ABO		BOF	
	Taxa (mm/ano)	Corrosividade	Taxa (mm/ano)	Corrosividade
14	0,083	Moderada	0,045	Moderada
28	0,068	Moderada	0,031	Moderada
42	0,065	Moderada	0,036	Moderada

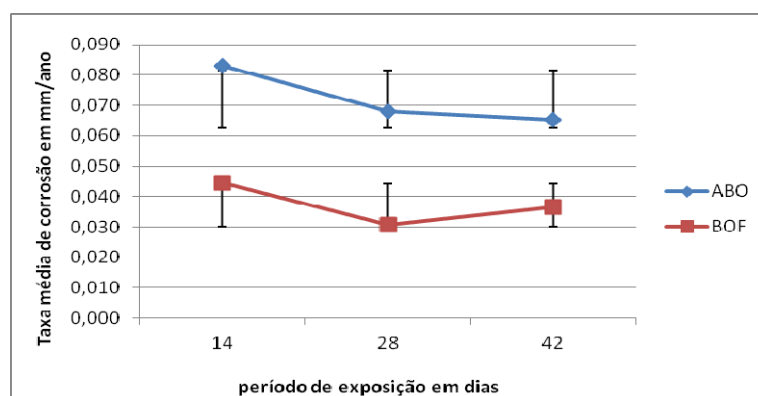


Figura 6 - Representação gráfica da taxa de corrosão em função do tempo

No sistema abiótico a queda na taxa de corrosão pode ser causada pela hidrólise de sais, que agem como inibidores de corrosão para alguns metais, passivando o ferro em presença de oxigênio dissolvido (15). Segundo Gentil (16) alguns destes sais como o fosfato e o silicato formam películas insolúveis constituídas de fosfatos ou silicatos de ferro, que agem como barreiras protetoras contra a corrosão.

No sistema biótico houve um decréscimo na taxa de corrosão até o 28º dia, porém após esse período esta taxa cresceu significativamente provavelmente, devido ao rompimento do filme uma vez que as BOF produzem biofilme poroso e de pouca aderência a superfície., houve um aumento na taxa de corrosão (1).

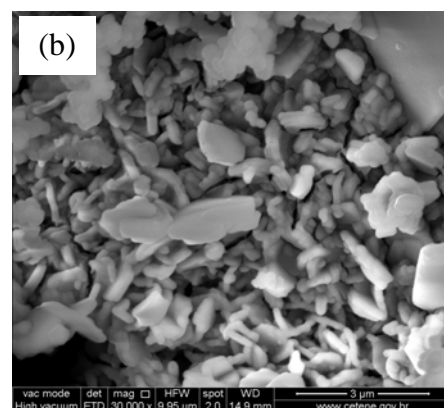
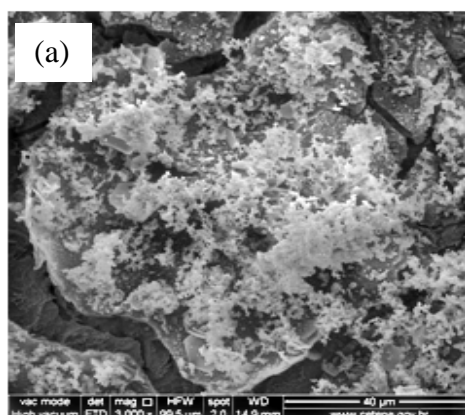
3.5 - Análises das superfícies dos cupons

As superfícies dos cupons cobertas por biofilme foram observadas através da microscopia eletrônica de varredura.

A Figura 7(a) mostra o filme formado no aço quando exposto ao sistema abiótico (água do mar estéril). Pode-se constatar a presença de um filme poroso com a presença de rachaduras sem características de filme protetor.

No biofilme formado em presença de BOF, os produtos de corrosão apresentam-se em forma de depósitos esponjoso, como mostrado na Figura 7(c). Esses depósitos provavelmente são óxidos de ferro. Com uma ampliação de 30.000 x, Figura 7(d), pode-se identificar a presença de rachaduras no biofilme o que pode justificar o aumento na taxa de corrosão para esse sistema nas condições de estudo.

Embora a quantificação de micro-organismos sésseis tenha revelado uma população com valores relativamente altos, as imagens da microscopia eletrônica de varredura não identificaram, pelo menos nas várias regiões observadas, a presença de células microbianas. Possivelmente, isso se deve à colonização desses micro-organismos em nichos mais profundos do biofilme, e por se tratar de água do mar, que apresenta uma concentração elevada de sais, esses biofilmes provavelmente poderiam estar por eles recobertos.



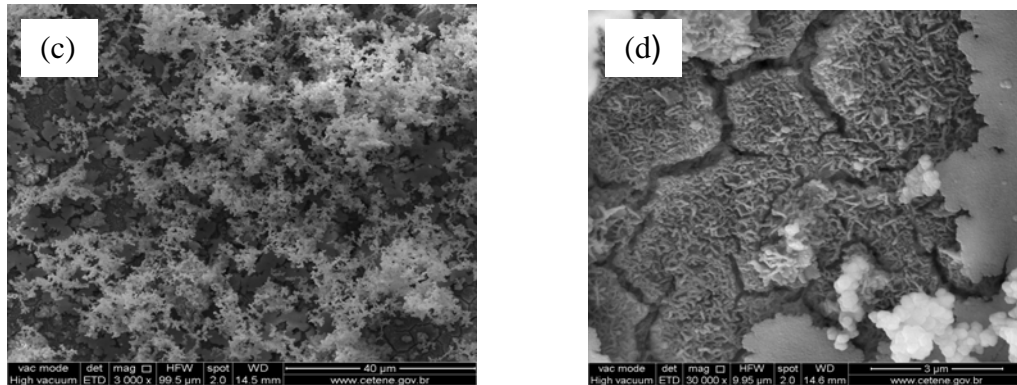


Figura 7 – MEV das superfícies dos corpos de prova de aço carbono AISI 1010 expostos em água do mar no período de 28 dias: aumento de (3.000 e 30.000) X respectivamente. ABO (a) e (b); BOF (c) e (d).

4 - Conclusões

- As bactérias oxidantes de ferro, quando estudadas isoladamente em água do mar apresentaram influência na taxa de corrosão do aço carbono AISI 1010 nas condições de estudo.
- Inicialmente a BOF formou um filme protetor na superfície dos cupons, o qual posteriormente, provavelmente devido a sua porosidade provocou um aumento na taxa de corrosão;
- Inicialmente, no sistema abiótico foi observada uma taxa de corrosão superior ao sistema biótico, isso se deve a natureza eletrolítica da água do mar e ao fato de não haver formação de filme passivo, o que pode ocorrer em sistemas bióticos.
- Observou-se que inicialmente a tendência no sistema biótico é a formação de biofilme o que pode causar, em determinadas condições, uma passivação do material. Porém dependendo do metabolismo do micro-organismo, da morfologia do biofilme e das condições do meio, posteriormente pode levar a corrosão severa do material exposto.

5 - Referências bibliográficas

- (1) CONGMIN XU, YAOHENG ZHANGA, GUANG XU CHENG, WENSHENG ZHU AXI'AN JIAOTONG. Pitting corrosion behavior of 316L stainless steel in the media of sulphate-reducing and iron-oxidizing bacteria. *Materials characterization* 59 (2008) 245–255.
- (2) GONZÁLEZ, J.E.G., SATANA, F.J.H., MIRZA-ROSCA, J.C. 1998. Effect of bacterial biofilme on 316SS corrosion in natural seawater by eis. *Corrosion Science*, v. 40, p.2141-2154.
- (3) VIDELA, H. A., 1996. *Manual of Biocorrosion*, Lewis Publishers, New York, p. 37-39,212

-
- (4) STAROSVETSKY, D.; ARMON, R.; YAHALOM,; STAROSVETSKY, J. Pitting corrosion of carbon steel by iron bacteria. *International Biodeterioration*, v.47, p.79-87,2001.
 - (5) KOCH, G.H.; BRONGERS, M.P.H.; THOMPSON, N.G.; VIRMANI, Y.P.; PAYER, J.H. Corrosion costs and preventive strategies in the US. Report by CC Technologies Laboratories Inc. to Federal Highway Administration (FHWA), Office of Infrastructure Research and Development Report FHWA-RD-01-156, 2001.
 - (6) HARRISON JR., A.P. Microbial succession and mineral leaching in a artificial coal spoil. *Applied and Environmental Microbiology*, v.131, p.68-76, 1982.
 - (7) CHONGDAR. S.; GUNASEKARAN, G; KUMA, P. Corrosion inhibition of mild steel by aerobic biofilm. *Electrochimica Acta* 50 (2005) 4655–4665.
 - (8) DUBOIS, M. GILLES, K. A. , HAMILTON, J. K. , REBERS, P. A. , SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analitical Chemistry*, v. 28, n.3, p. 350-356, 1956.
 - (9) O.H. Lowry, N.J. Rosebrough, A.I. Farr, R.J. Rundall, *Biol. Chem.* 193 (1951) 265.
 - (10) NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS. **NACE-RP-07-75: preparation, installation, analysis, and interpretation of corrosion coupons in oilfield operations.** Houston, 2005. 19 p.
 - (11) GOLDSTEIN , J.; NEWBURY, D.; Joy, D.; LYMAN, C.; ECHLIN, P.; LIFSHIN, E.; SAWYE, L.; MICHAEL, J. “Advanced scanning electron microscopy and x-ray microanalysis”. 3 ed. New York: Plenum Press , 2003. 724p
 - (12) CHONGDAR. S.; GUNASEKARAN, G; KUMA, P. Corrosion inhibition of mild steel by aerobic biofilm. *Electrochimica Acta* 50 (2005) 4655–4665.
 - (13) HAMILTON,W.A. Role of surfate-reducing bacteria in corrosion of mild steel: A review. *Biofouling*, v.8, p.165-194,1995.
 - (14) SHENG, XIAOXIA; TING, YEN-PENG; PEHKONEN, S. O.I. The influence of sulphate-reducing bacteriabiofilm on the corrosion of stainless steel AISI 316, *Corrosion Science*, 49, 2007, 2159 a 2176.
 - (15) GUNASEKARAN, G *et al.* Influence of bactéria on film formation inhibiting corrosion. *Corrosion Science*, V.46, p.1953-1967, 2004.
 - (16) GENTIL, V. *Corrosão*. 5^a ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2007- Reimpresão 2007. 341p.