

## **Corrosão do aço carbono em meio sulfato na presença da bactéria *Salmonella anatum***

DA SILVA, R.C.B.<sup>1</sup>; PONTES FILHO, T.R.<sup>1</sup>;

<sup>1</sup> Laboratório de Eletroquímica e Corrosão Microbiana (LECOM)  
Departamento de Química/CCT/UECE Campus do Itaperi, Fortaleza, CE. CEP: 60740-020  
e-mail: [rcbs@uece.br](mailto:rcbs@uece.br), [tad\\_ramone@yahoo.com.br](mailto:tad_ramone@yahoo.com.br)

### **RESUMO**

A presença de microorganismos em meios aquosos pode alterar significativamente a interface metal/meio, ou reagir diretamente com a superfície do metal. Assim, colaborando para a deterioração química do material metálico. Este trabalho tem como objetivo avaliar a corrosão do aço em meio sulfato na presença da bactéria *Salmonella anatum*. Para tal feito, foram conduzidos testes de imersão de amostras de aço carbono no meio sulfato, bem como, realizadas análises das amostras por microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de energia dispersiva por raios-X. Também, foram efetuadas medidas de pH do meio. Foi verificada a perda de massa (em termos de concentração total de íons Fe) da amostra para o tempo de imersão. Por outro lado, foi observada a acidificação do meio, variando o pH de 7,3 (no início) para 5,0 (após 21 dias de imersão). As micrografias da superfície do aço evidenciam a extensa formação de biofilme, isto é, observa-se o crescimento de camada de depósito biológico uniforme, porém, não-homogêneo. Sugere-se que ocorre a formação de óxidos de ferro e fosfatos inorgânicos sobre a superfície do aço-carbono.

**Palavras chaves:** aço-carbono, corrosão, *Salmonella*.

## **Carbon steel corrosion into sulphate medium in the presence of bacterium *Salmonella anatum***

### **ABSTRACT**

Microorganisms into aquatic media may alter significantly the metal/media interface, that is, react directly to metal surface. The aim of this work was evaluate the carbon-steel corrosion into sulfate media in the presence of bacterium *Salmonella anatum*. For this purpose, immersion assay with mass loss (in terms of total Fe ions concentration) was conducted; pH measurements of the electrolyte and superficial analysis by scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive by X-rays analysis (EDX) techniques were conducted. It was verified that the corrosion process rate is practically insignificant for seven day-immersion time. The pH medium has changed from 7.3 to 5.0 (after 21 days). The biologic deposit film has grown on the carbon-steel surface. It is suggested iron oxides and inorganic phosphates onto carbon steel surface are formed on carbon steel surface.

**Keywords:** carbon-steel, corrosion, *Salmonella*

### **1 INTRODUÇÃO**

A corrosão pode ser caracterizada como o ataque químico sobre uma superfície metálica por um meio agressivo a este, desta forma há o retorno do material à forma de óxido em uma reação espontânea para todos os metais, exceto os nobres. Vários são os fatores que afetam o processo de corrosão, entre eles, a temperatura, a umidade, os compostos presentes no meio e os microorganismos, sejam estes, bactérias, fungos e/ou vírus.

De acordo com Videla [1], praticamente todos os microorganismos vistos até o momento se relacionam, em menor ou maior grau, aos processos de biocorrosão e bioacumulação (*biofouling*). Os microorganismos influenciam a corrosão de metais ao favorecer reações eletroquímicas que não são comuns em condições livres de microorganismos e pela alteração da superfície de contato com o meio, seja pela fixação dos próprios microorganismos, ou pela liberação de metabólitos no meio. A biocorrosão é, portanto, a deterioração do metal influenciada por microorganismos.

Outro conceito que deve ser frisado é o de biofilme, que é o conjunto formado por microorganismos e seus metabólitos na superfície do material, os biofilmes podem ser encontrados em praticamente qualquer superfície [2]. Essa alteração na superfície permite que novas reações aconteçam, ou que a cinética de reações conhecidas seja alterada, acelerando o desgaste do material. A formação de biofilme na superfície do metal é uma característica básica do processo de biocorrosão que frequentemente não é considerada [25-28]. Por outro lado, tem-se que os microorganismos, principalmente, as bactérias se encontram em qualquer meio. A bactéria *Salmonella*, bactéria muito comum de ser encontrada no meio ambiente tem seu hábitat frequente o trato intestinal de répteis, mamíferos e peixes [4], o que a torna uma bactéria bastante dispersa no ambiente. Segundo Videla [1], as quatro características anatômicas e fisiológicas dos microorganismos mais relevantes aos estudos de biocorrosão, *biofouling* e biodeterioração são a grande velocidade de reprodução; alta relação superfície/volume, alta atividade e flexibilidade metabólica de troca com o meio e distribuição uniforme no ambiente.

Normalmente, os estudos da biocorrosão se baseiam em testes microbiológicos, sendo poucas as referências a métodos alternativos [3,5,26,28,32]. O estudo de corrosão de materiais metálicos é classificado como uma área cientificamente fora de moda, entretanto, é um assunto complexo e interdisciplinar, principalmente no que concerne à ação associada de microorganismos, tendo relevância não só pela possibilidade de redução de perdas econômicas, mas também pela possibilidade de biorremediação de áreas contaminadas por metais pesados [6]. Este trabalho tem como objetivo avaliar a corrosão do aço em meio sulfato na presença da bactéria *Salmonella anatum*. Para este efeito, tem-se a realização do ensaio de imersão, com a perda de massa da amostra em termos de íons Fe totais dissolvidos no meio, recorrendo-se às técnicas de espectrofotometria de absorção atômica (EAA). Foram efetuadas medidas de pH do meio, em intervalos de tempo pré-determinados, bem como, a análise da superfície após o ensaio de imersão e aplicadas as técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e de análise de energia dispersiva de raios-X (EDX).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos foram utilizadas amostras de aço-carbono na forma de discos, com aproximadamente 1cm<sup>2</sup> de área. Foram utilizadas cepas padrão de *Salmonella anatum*, sendo a bactéria cultivada em ágar Müller-Hinton durante 24 horas em temperatura de 37°C, em estufa bacteriológica. A composição química (teor percentual em peso) da amostra de aço carbono foi de 0,040% de C; 0,320% de Mn; 0,011% de P; 0,012% de S; 0,008% de Si e 0,007% de N.

O procedimento experimental foi realizado utilizando-se o meio sulfato, constituído por: Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1molL<sup>-1</sup>; Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 0,1molL<sup>-1</sup>; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 0,05molL<sup>-1</sup> e C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> 0,1molL<sup>-1</sup>. Os componentes deste meio foram escolhidos com vista a suprir as necessidades básicas para o crescimento bacteriano [7]. Para eliminar gases oxigênio e dióxido de carbono, foi realizado o borbulhamento de gás nitrogênio previamente seco no interior do meio sulfato.

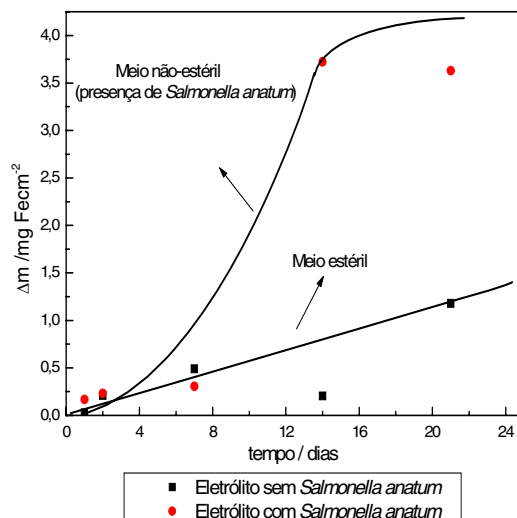
A preparação das amostras consistiu do polimento mecânico de uma das faces da amostra, para a retirada de óxidos de ferro e outros resíduos, e até atingirem o brilho especular. A face exposta foi desengordurada em álcool etílico. A outra face foi isolada com material adesivo inerte. Após o polimento as amostras tiveram suas massas medidas em balança analítica de precisão e, em seguida, foram imersas no meio e após intervalos de tempo pré-determinado, as amostras foram retiradas, lavadas exaustivamente com água bidestilada e álcool etílico anidro, secadas e pesadas. Os experimentos de perda de massa (em termos da quantidade total de íons Fe dissolvido no meio) foram conduzidos mantendo-se um perfil hidrodinâmico uniforme e estável, ou seja, sem agitação do meio. Estes experimentos foram realizados mantendo-se atmosfera inerte de gás nitrogênio seco sobre a superfície do eletrólito. O acompanhamento da variação do pH do meio foi realizado com o uso de pHmetro da Marconi, modelo, PA-200 à temperatura ambiente do laboratório (em torno de 25°C). Também, foi verificada a concentração total de íons ferro no meio sulfato através da técnica de espectrofotometria de absorção atômica (EAA), onde se utilizou o espectrofotômetro de absorção atômica, modelo SPECTRAA55, da Varian.

Após o ensaio de imersão, as amostras contendo o biofilme foram analisadas topograficamente por meio das técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e de análise por espectroscopia de energia dispersiva por raios-X (EDX), utilizando o microscópio eletrônico de varredura, da Phillips, modelo XL-30. Estas técnicas permitem avaliar não somente a morfologia microbiana, as características da superfície do metal, como também, classificar os diferentes tipos de corrosão [8, 9, 12-17], além de fornecer informações sobre o tipo de ataque produzido pela bactéria [10, 11]. As amostras submetidas a estas análises não necessitaram de nenhum tipo de recobrimento metálico a fim de facilitar o seu desempenho.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise em EAA teve como intuito nos permitir acompanhar a velocidade do processo corrosivo, através do acompanhamento da concentração de íons ferro dissolvidos no meio.

A Figura 1 ilustra a velocidade do processo corrosivo nas amostras de aço-carbono em meio sulfato na presença e na ausência da bactéria *Salmonella anatum*.



**Figura 1:** Concentração total de íons Fe em meio sulfato em função do período de imersão.

O gráfico mostrado na Figura 1 denota um acentuado perfil corrosivo na amostra imersa no meio contendo bactéria, demonstrando evidentemente a forte influência da bactéria *Salmonella anatum* na corrosão do aço. Após 2 dias a amostra de aço-carbono imersa no meio, efeito dos microorganismos sobre a corrosão é detectável. Jiglestssova *et al.* [20] afirmam que a taxa de corrosão no início do processo está relacionada com a dissolução predominante em regiões de defeitos na superfície do metal. Portanto, o processo corrosivo que ocorre na superfície do aço carbono é similar em ambas as condições, com e sem a presença do fungo. É muito interessante comparar as curvas uma vez que, após 2 dias, a corrosão é acelerada pela presença da *Salmonella*. Por outro lado, o processo torna-se incessante e constante (o perfil praticamente não se modifica). O biofilme formado que cobre toda a superfície do metal tende a inibir a corrosão. No entanto, Marchal *et al.* [34] apontam que a disponibilidade de íons Fe em solução depende do consumo microbiano por bactérias redutoras de sulfato. Sendo assim, a concentração de íons Fe em solução é diminuída. Provavelmente ambas as declarações estejam corretas, se considerar que aqueles processos estejam acontecendo.

Por outro lado, tem-se que o ataque à superfície metálica acarretaria no surgimento de partículas de material inorgânico insolúvel que poderiam ser originados das reações de íons Fe com outras espécies iônicas da solução. Estas reações são expressas pelas equações abaixo.



A equação (1) representa a reação de íons  $\text{Fe}^{3+}$  com íons fosfato e a conseqüente formação do sal de fosfato de ferro, que é insolúvel em solução tampão. No entanto, a reação, a reação colocada na equação (2) expressa a formação de hidróxido de ferro. Abdel-Gaber *et al.* [35] propõem que a dissolução de ferro em aços carbono é estimulada através do caminho catalítico da reação entre Fe e ânions de ácidos inorgânicos adsorvidos sobre a superfície. Este fato explicaria o aumento da taxa de corrosão na presença da bactéria ao incrementar a quantidade de íons inorgânicos a partir do metabolismo bacteriano.

Provavelmente, estes produtos são uma mistura de óxidos/hidróxidos de ferro e de fosfatos inorgânicos, como sugerem os dados fornecidos dos espectros de EDX destas amostras. Por outro lado, verifica-se que após 14 dias o perfil do processo corrosivo no meio não-estéril tendo a ser constante. Tal fato

pode estar associado aos produtos insolúveis da corrosão do aço aderidos à superfície metálica, como mencionado por Videla [33]. E, também, como afirmam alguns pesquisadores [29-31], devido à formação do biofilme aeróbico e à atividade metabólica da bactéria.

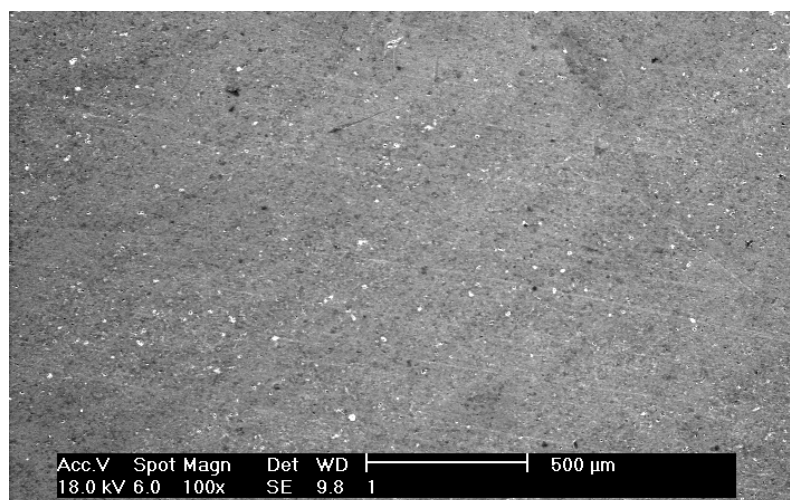
Para os períodos de imersão pré-estabelecidos, foi medido o valor do pH do meio. A Tabela 1 mostra a variação do pH do meio sulfato, onde se faz a comparação da variação do pH em meio contendo a amostra de aço, na presença e na ausência de bactéria.

**Tabela 1:** Variação do pH do meio sulfato em função do tempo de imersão das amostras de aço-carbono em temperatura ambiente igual a 25°C.

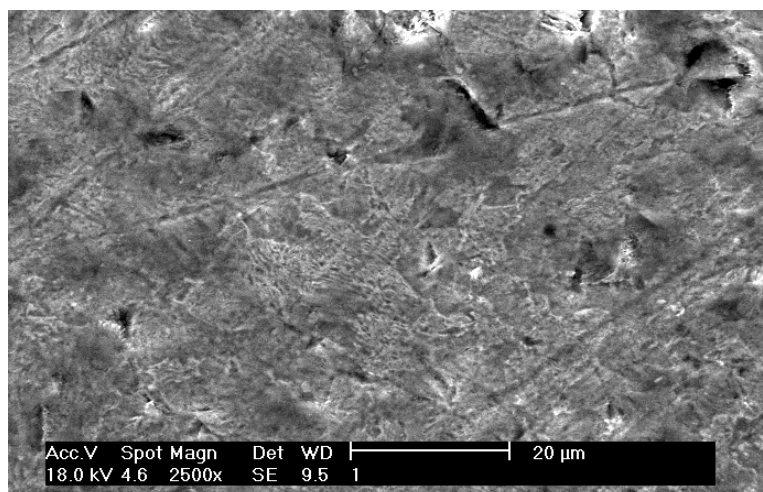
Tempo (dias)	Valor do pH em meio estéril	Valor de pH no meio na presença de <i>Salmonella anatum</i>
0	7,3	7,3
1	7,1	7,3
2	7,4	7,4
7	7,2	6,1
14	7,1	5,8
21	7,0	5,7

O pH do meio sulfato estéril (ausente de bactéria) admite um valor em torno da neutralidade (pH  $\approx$  7,0); variações significativas nas características da superfície do aço-carbono tampouco das do meio não são verificadas. Todavia, em meio não-estéril (na presença da bactéria), é observada a alteração do valor do pH do eletrólito a partir do tempo de imersão de 7 dias, continuamente diminuindo até atingir o valor de 5,7 em 21 dias de imersão. Por vez, este comportamento evidencia que as modificações na superfície do aço-carbono devido à presença da bactéria impõem alterações nas condições físico-químicas do meio, que provavelmente estão associadas à atividade metabólica das bactérias, pois há o consumo de nutrientes e aumento de produtos metabólicos. É sabido que, após a metabolização de glicose pelas bactérias do gênero *Salmonella*, diversos ácidos são liberados [18], o que pode ocasionar uma diminuição do pH do meio, contribuindo para uma maior formação de sais insolúveis de ferro. Este último aspecto será investigado futuramente.

Em virtude da observação apenas dos aspectos inerentes à corrosão do aço provocada pela formação do biofilme, são apresentados a seguir aqueles resultados associados apenas ao biofilme aderido à superfície do aço carbono. As Figuras 2 e 3 mostram as micrografias da superfície do aço de baixo carbono obtidas após 1 dia de imersão no meio não-estéril.



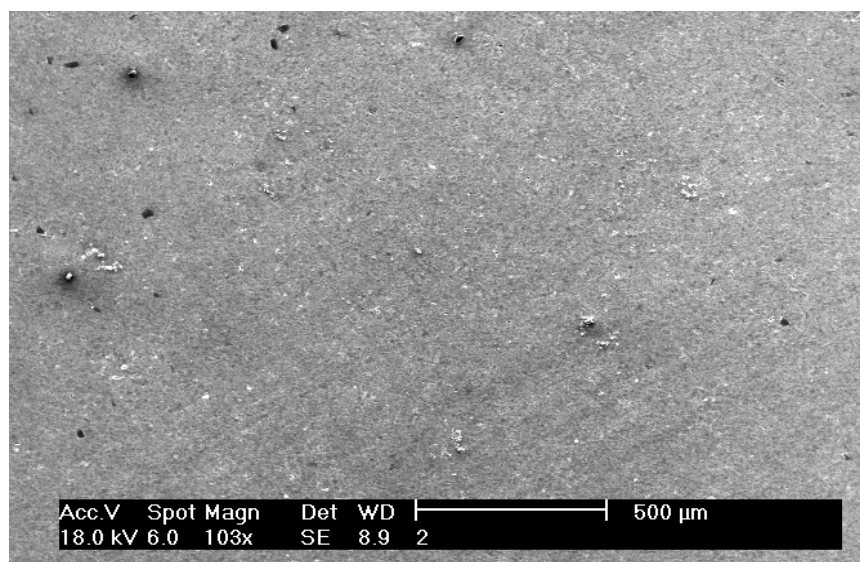
**Figura 2:** Superfície da amostra de aço-carbono no meio sulfato após 1 dia de imersão. Aumento: 100X.



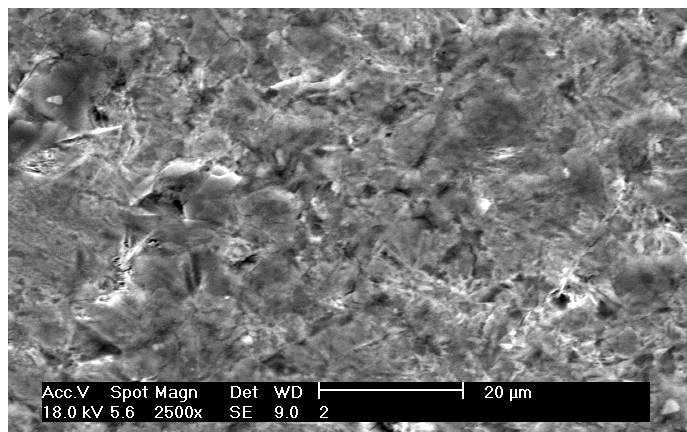
**Figura 3:** Superfície da amostra de aço-carbono no meio sulfato após 1 dia de imersão. Aumento: 2500X.

Verifica-se a formação de uma camada fina de biofilme, como mostra a Figura 2. No entanto, foi realizada a retirada do biofilme para esta amostra específica. Esta foi lavada com água destilada e etanol anidro. Com isto, os precipitados insolúveis foram retirados por arraste, não podendo, portanto, serem evidenciados na análise microscópica. A Figura 3 mostra a micrografia da superfície após este tratamento. É evidenciada a formação de pites e exibem-se as ranhuras devido ao polimento da amostra na ocasião tratamento inicial da mesma. Provavelmente o meio possui potencial para a promoção de corrosão localizada, como encontrado por vários autores [1, 4, 8, 12, 16, 20, 35].

As Figuras 4 e 5 ilustram as micrografias das superfícies de amostras de aço-carbono obtidas após o ensaio de imersão em meio sulfato contendo a bactéria *Salmonella anatum*, em período de 2 dias.

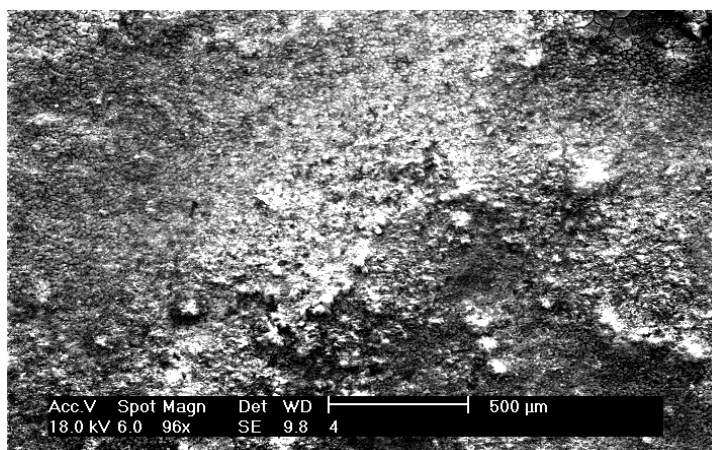


**Figura 4:** Superfície da amostra de aço-carbono no meio sulfato após 2 dias de imersão. Aumento: 100X.

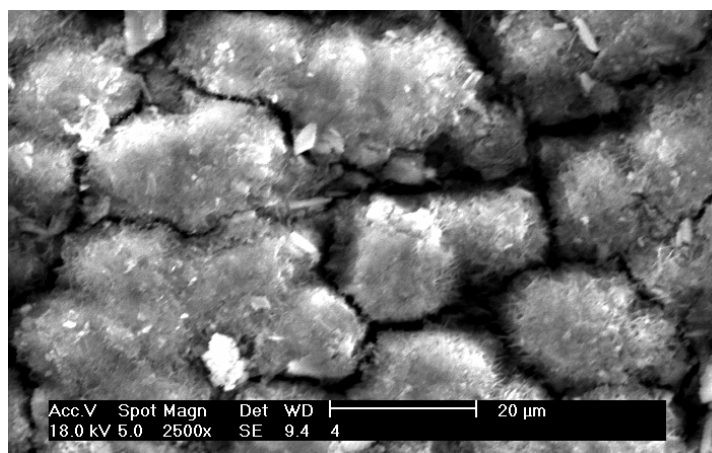


**Figura 5:** Superfície da amostra de aço-carbono no meio sulfato após 2 dias de imersão. Aumento: 2500X.

Nas Figuras 6 e 7 estão ilustradas as micrografias oriundas da análise microscópica de amostras imersas em meio sulfato contendo a bactéria *Salmonella anatum* após 14 dias de imersão.



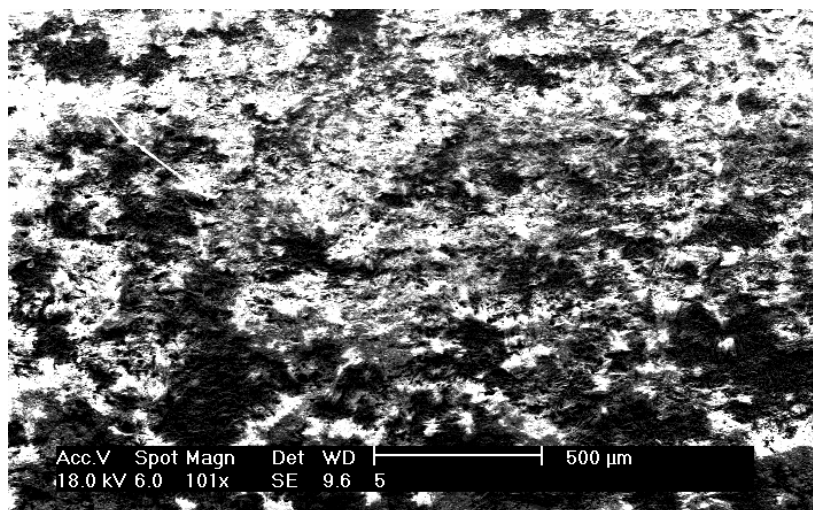
**Figura 6:** Superfície da amostra de aço-carbono no meio sulfato após 14 dias de imersão. Aumento: 100X.



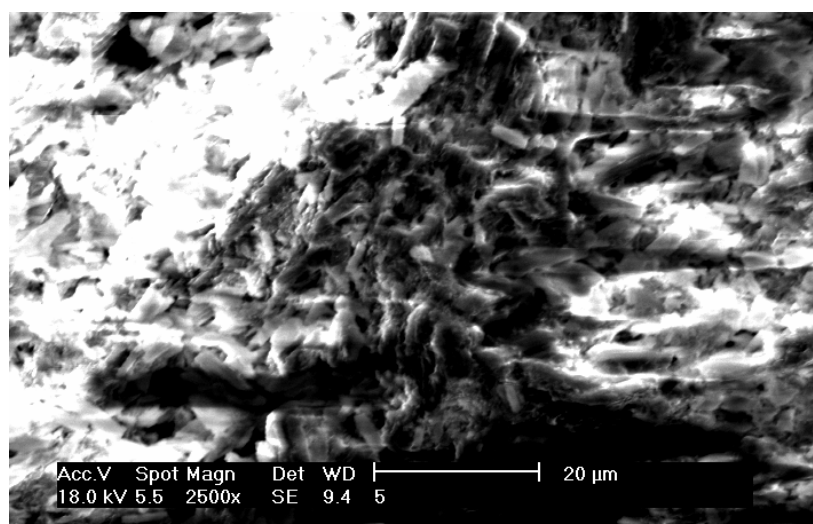
**Figura 7:** Superfície da amostra de aço-carbono no meio sulfato após 14 dias de imersão. Aumento: 2500X.

Observa-se que o processo de corrosão na superfície do aço é bastante acentuado com a intensa formação de produtos insolúveis sobre a superfície e o provável crescimento do biofilme sobre o aço.

As Figuras 8 e 9 apresentam as micrografias da superfície de amostras de aço obtidas após 21 dias de imersão.



**Figura 8:** Superfície da amostra de aço-carbono no meio sulfato após 21 dias de imersão. Aumento: 100X.



**Figura 9:** Superfície da amostra de aço-carbono no meio sulfato após 21 dias de imersão. Aumento: 2500X.

Através das imagens micrográficas, pode-se observar uma continuidade no padrão de corrosão, havendo também o acúmulo de material biológico sobre a superfície do aço.

A partir das análises por EDX das superfícies das amostras de aço-carbono, após ensaio de imersão com bactéria, têm-se espectros ilustrados nas Figuras 10-14.

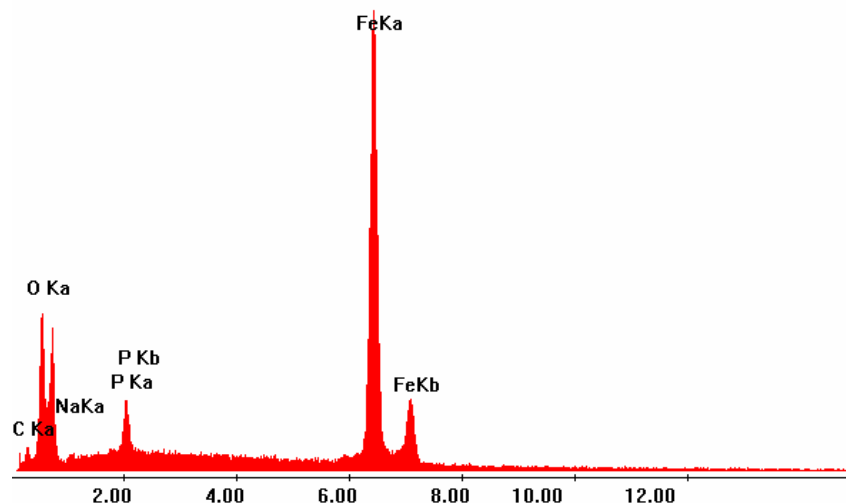


Figura 10: Espectro da superfície do aço em meio sulfato não-estéril após 1 dia de imersão.

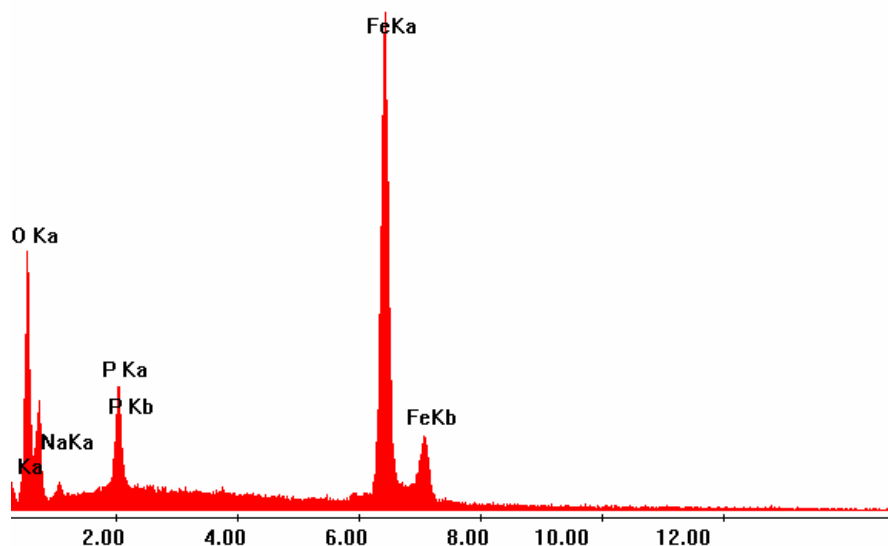


Figura 11: Espectro da superfície do aço em meio sulfato não-estéril após 2 dias de imersão.

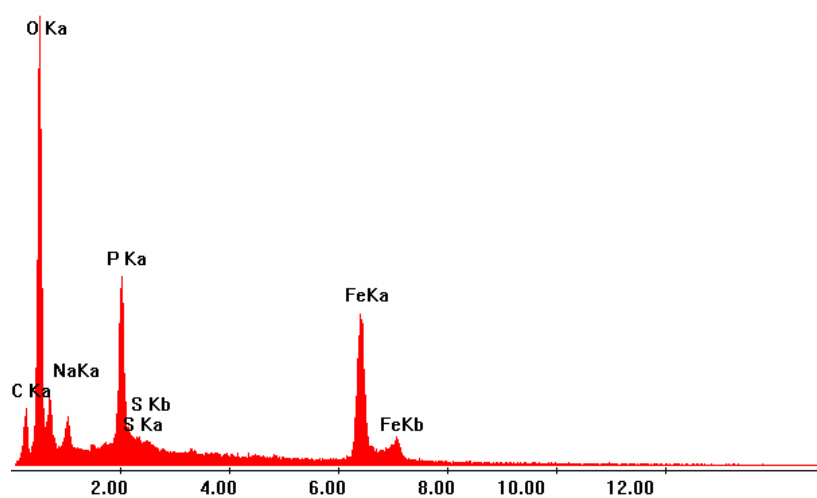
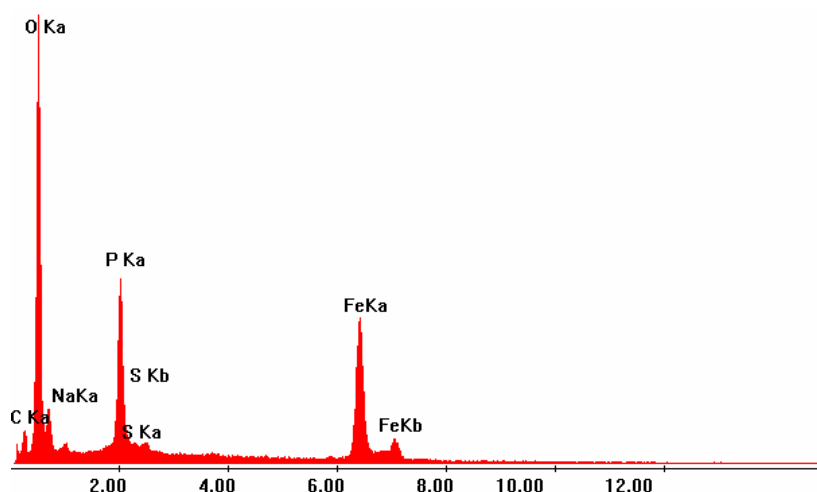
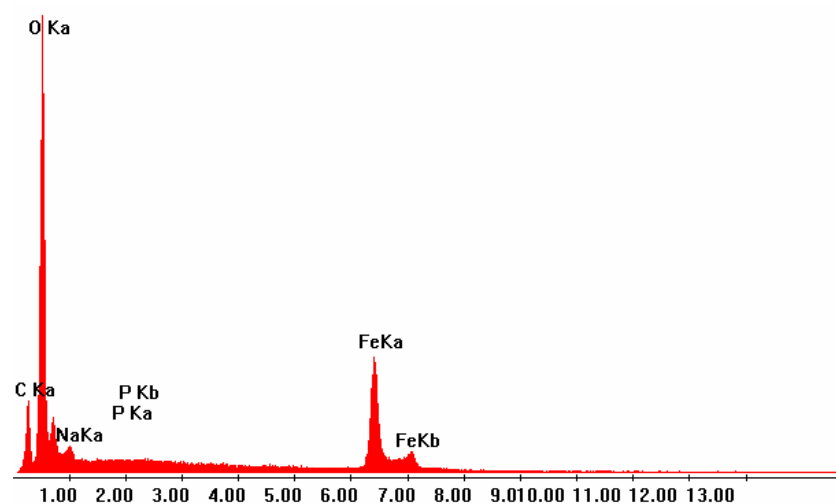


Figura 12: Espectro da superfície do aço em meio sulfato não-estéril após 7 dias de imersão.





**Figura 13:** Espectro da superfície do aço em meio sulfato não-estéril após 14 dias de imersão.



**Figura 14:** Espectro da superfície do aço em meio sulfato não-estéril após 21 dias de imersão.

As análises por EDX sugerem a diminuição na concentração de ferro na superfície da amostra, bem como aumento na concentração de carbono. Tal fato evidencia que, simultaneamente ao acúmulo de material biológico sobre a superfície do aço, como encontrado na literatura [19-22], ocorre a dissolução do ferro e outras reações de deterioração do aço, levando a conseqüente formação de óxidos e/ou hidróxidos de ferro. Pode-se observar, também, gradativo incremento na concentração de oxigênio. Isto provável seja provocado não somente pela formação de óxidos/hidróxidos de ferro, como também, pela formação de fosfatos inorgânicos. No entanto, após o 14<sup>o</sup> dia de imersão, observa-se certo decréscimo na concentração de fósforo e de sódio. Certamente, este fato esteja associado ao consumo de nutrientes do meio para ao metabolismo bacteriano. Por outro lado, não foram observados compostos de enxofre na superfície da amostra de aço-carbono. Provavelmente, as bactérias suspensas no meio consomem e/ou respiram sulfato. Outro fato a ser destacado é que algumas bactérias aumentam significativamente a corrosão quando se desenvolvem em um biofilme aeróbico, que domina a corrosão durante os primeiros estágios de acúmulo do biofilme, se depositando hidróxidos de ferro (principais produtos da corrosão) que são facilmente transformados em sulfeto de ferro, FeS, causando uma maior corrosão do metal devido à atividade das bactérias. Em um biofilme totalmente anaeróbico, a natureza e extensão da corrosão estão intimamente ligadas ao acúmulo de sulfeto de ferro dentro do biofilme; somente em condições abióticas (sem microorganismos) e aeróbicas, a corrosão do metal é proporcional ao oxigênio dissolvido no meio, portanto se acumulam mais hidróxidos de ferro sobre a superfície do metal, principalmente em elevadas concentrações de oxigênio dissolvido [23, 24].

Todavia, este fato merece maiores esclarecimentos para o presente caso e será investigado em trabalhos futuros.

#### 4 CONCLUSÃO

A corrosão da superfície do aço carbono foi investida em meio sulfato contendo a bactéria *Salmonella anatum*. O processo corrosivo do aço é bastante evidenciado ao se verificar o aumento da dissolução de ferro para o período de imersão na presença da bactéria. O acúmulo de depósito insolúvel na superfície ocorre, uma vez que são formados compostos inorgânicos tais como óxidos de Fe e de fosfatos, como sugerem as análises de MEV e EDX. Provavelmente, o pH do meio é modificado pela atividade bacteriana no biofilme.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FUNCAP (proc. nº 744/03) pelo apoio financeiro para a execução deste trabalho.

#### 6 BIBLIOGRAFIA

- [1] VIDELA, H.A., CHARACKLIS, W.G., “Biofouling and Microbially Influenced Corrosion”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 29, pp. 195-212, 1992.
- [2] O'TOOLE, G.A., KAPLAN, B., KOLTER, R., “Biofilm formation as microbial development”, *Annu Ver Microbiol*, v. 54, pp. 49-79, 2000.
- [3] BEECH, I.B., GAYLARDE, C.C., “Recent Advances in the Study of Biocorrosion: an overview”, *Journal Brazilian Microbiology*, v. 30, pp. 177-190, 1999.
- [4] CHAMBERLAIN, A.H.L., CAMPBELL, H.S., “Staining procedures for characterising biofilms in corrosion investigations”, *British Corrosion Journal*, v. 23, pp. 197-199, 1988.
- [5] DOWLING, N.J.E., MITTELMAN, M.W., WHITE, D.C., “Effects of selection and fate of substrates supplied to anaerobic bacteria involved in the corrosion of pipe-line steel”, *Journal of Industrial Microbiology*, v. 10, pp. 207-215, 1992.
- [6] GAYLARDE, C.C., JOHNSTON, J.M., “The Effect of *Vibrio anguillarum* on the Anaerobic Corrosion of Mild Steel by *Desulfovibrio vulgaris*”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 18, pp. 111-116, 1982.
- [7] JACK, R.F., RINGELBERG, D.B., WHITE, D.C., “Differential corrosion rates of carbon steel by combinations of *Bacillus* sp., *Hafnia alvei* and *Desulfovibrio gigas* established by phospholipid analysis of electrode biofilm”, *Corrosion Science*, v. 33, pp. 1843-1853, 1992.
- [8] OBUEKWE, C.O., WESTLAKE, D.W.S., PLAMBECK, J.A., COOK, F.D., “Corrosion of mild steel in cultures of ferric iron reducing bacterium isolated from crude oil I. Polarization characteristics”, *Corrosion*, v. 37, n. 8, pp. 461-467, 1981.
- [9] KERESZTES, Z., FELHŐSI, I. e KÁLMÁN, E., “Role of Redox Properties of Biofilms in Corrosion Processes”, *Electrochim Acta*, v. 46, pp. 3841-3849, 2001.
- [10] VIDELA, H.A., “Prevention and control of biocorrosion”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 49, pp. 259-270, 2002.
- [11] GEORGE, R.P., MARSHALL, D., NEWMAN, R.C. “Mechanism of a MIC probe”, *Corrosion*, v. 45, pp. 1999-2115, 2003.
- [12] AZAMBUJA, D.S., HOLZLE, L.R., MULLER, I.L., “Electrochemical behaviour of iron in neutral solutions of acetate and benzoate anions”, *Corrosion*, v. 41, pp. 2038-2097, 1999.

- [13] PRINZ, H., STREHBLow, H.H., “Investigations on pitting corrosion of iron in perchlorate electrolytes”, *Corrosion*, v. 40, n. 10, pp. 1671-1683, 1998.
- [14] IGNATIADIS, I., AMALHAY, M., “Experimental study of corrosion of two stainless steels during the oxidative bacterial dissolution of pyrite using sass loss and electrochemical techniques”, *Metalurgical Processes*, v. 62, pp. 199-215, 2001.
- [15] VIDELA, H.A., *Biocorrosão, Biofouling e Biodeterioração de Materiais*, 1ª ed. São Paulo: Edgar Blücher Ltda., pp. 148, 2003.
- [16] PENDYALA, J., AVCI, R., GEESEY, G.G., STOODLEY, P., HAMILTON, M., HARKIN, G. “Chemical effects of biofilm colonization on 304 stainless steel”, *Journal of Vacuum Science and Technology A*, v. 14, pp. 1755-1760, 1996.
- [17] LEE, W., DEBEER, D., “Oxygen and pH microprofiles above corroding mild steel covered with a biofilm”, *Biofoul.*, v. 8, pp. 273-280, 1995.
- [18] WOODWARD, D.L., KHAKHRIA, R., JOHNSON, W.M., “Human salmonellosis associated with exotic pets”, *Journal of Clinical Microbiology*, pp. 2786-2790, 1997.
- [19] GEESEY, G.G., STUPY, M.W., BREMER, P.J., “The dynamics of biofilms”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 30, pp. 2-3, pp. 135-154, 1992.
- [20] JIGLETsoVA, S.K., RODIM, V.B., KObELEV, V.S., ALEKSANDROVA, N.V., RASULOVA, G.E., KHOLODENKO, V.P. *et al.* “Studies of initial stages of biocorrosion of steel”, *Applied Biochemistry Microbiology*, v. 36, n. 6, pp. 550-554, 2000.
- [21] KORYAKOVA, M.D., NIKITIN, V.M., ZVYAGUNTSEV, A.YU., BELOGUROVA, L.S. *et al.* “Effect of polluted harbor waters on fouling and biocorrosion of steel”, *Russian Journal of Marine Biology*, v. 28, n. 2, pp. 127-131, 2002.
- [22] BRIGMON, R.L., MARTIN, H.W., ALDRICH, H.C., “Biofouling of groundwater systems by *Thiothrix spp*”, *Current Microbiology*, v. 35, 169-174, 1997.
- [23] LITTLE, B., WAGNER, P., MANSFELD, F., “An overview of microbiologically influenced corrosion”, *Electrochemical Acta*, v. 37, pp. 2185-2194, 1992.
- [24] SOMLEV, J.M., TISHKOV, N.B., “Model of anaerobic corrosion by sulphate reducing bacteria”, *Geomicrobiology Journal*, v. 12, pp. 53-57, 1994.
- [25] BEECH, W.B., “Corrosion of technical materials in the presence of biofilms-current understanding and state-of-the art methods of study”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 53, pp. 177-183, 2004.
- [26] ANGELL, P., “Understanding microbially influenced corrosion as biofilm-mediated changes in surface chemistry”, *Curr. Opinion Biotechnol.*, v. 10, pp. 269-272, 1999.
- [27] BEECH, I B. e SUNNER, J. “Biocorrosion: Towards Understanding Interaction between Biofilms and Metals”, *Current Opinion in Biotechnology*, v. 15, pp. 181-186, 2000.
- [28] JOHANSSON, L-S., SAASTAMOINEN, T., “Investigating early stages of biocorrosion with XPS: AISI 304 stainless steel exposed to *Burkholderia* species”, *Applied Surface Science*, pp. 144-145, pp. 244-248, 1999.
- [29] DZIERZEWICZ, Z., CWALINA, B., CHODUREK, E., WILCZOKT, T., *et al.*, “The relationship between microbial metabolic activity and biocorrosion of carbon steel”, *Research in Microbiology*, v. 148, pp. 785-793, 1997.
- [30] CHONGDAR, S., GUNASEKARAN, G., KUMAR, P., “Corrosion inhibition of mild steel by aerobic biofilm”, *Electrochimica Acta*, v. 50, pp. 4655-4665, 2005.

- [31] GUNASEKARAN, G., CHONGDAR, S., GAONKAR, S.N., KUMAR, P., *et al.*, “Influence of bacteria on film formation inhibiting corrosion”, *Corrosion. Science*, v. 46, pp. 1953-1967, 2004.
- [32] SILVA, A.M.A. *et al.*, “An evaluation of the corrosion behavior of aluminum surfaces in presence of fungi using atomic force microscopy and others tests”, *Anti-Corrosion Methods and Materials*, v. 54, n. 5, pp. 289-293, 2007.
- [33] VIDELA, H.A., “Metal dissolution redox in biofilms”, In: W.G. Characklis, P.A. Wilderer (eds.), *Structure and Function of Biofilms*, pp. 301, John Wiley&Sons, Chichester, UK, 1996.
- [34] MARCHAL, R., CHAUSSEPIED, B., WARZYWODA, M., *et al.*, “Effect of ferrous ion availability on growth of a corroding sulfate-reducing bacterium”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 47, pp. 125-131, 2001.
- [35] ABDEL-GABER, A.M., KHALIL, M., ABOU EL-FETOUH, A., *et al.*, “The dissolution mechanism of steel in inorganic acids”, *Anti-Corrosion Methods and Materials*, v. 50, n. 6, pp. 442-447, 2003.