



CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Avaliação do processo de biocorrosão de ligas metálicas em diferentes corpos hídricos***Evaluation of metal alloy biocorrosion process in different hydric bodies***

Claudio Rafael Kuhn¹, Helena Bettin Foster², Caroline Oswald³, Ricardo Peraça Toralles⁴, Bernardo dos Santos Vaz⁵

RESUMO

Biocorrosão é uma palavra utilizada para expressar a participação de diferentes tipos de micro-organismos nos fenômenos de corrosão, podendo ocorrer em aerobiose e/ou anaerobiose. Vários micro-organismos produzem metabólitos que influenciam no processo de corrosão, interferindo em diversas atividades industriais, suas instalações e equipamentos. O presente trabalho teve como objetivo analisar a contaminação de ligas de aço carbono por micro-organismos responsáveis pela biocorrosão expostos à água potável estéril e água da Laguna dos Patos na cidade de Pelotas, RS. As amostras (cupons ou corpos de prova) foram submersas nas amostras de águas em biorreatores estáticos durante 42 dias. Foram pesquisados micro-organismos como bactérias produtoras de ácidos e bactérias heterotróficas totais, sendo estas incubadas tanto em meios aeróbios quanto em meios anaeróbios, além da contagem de fungos. Constatou-se que o tempo de exposição dos corpos de prova foi a variável de maior importância ($p < 0,05$) no crescimento microbiano, independente do metabolismo (aeróbio ou anaeróbio) ou grupo de micro-organismo.

Palavras-chave: Corrosão microbiologicamente induzida; biofilme; biocorrosão; bactérias produtoras de ácidos; aço-carbono.

ABSTRACT

Biocorrosion is a word used to express the participation of different types of microorganisms in corrosion phenomena, which may occur in aerobiosis and/or anaerobiosis. Several microorganisms produce metabolites that influence the corrosion process, interfering with various industrial activities, their facilities and equipment. This work aimed to analyze the contamination of carbon steel alloys (test coupons) by microorganisms responsible for biocorrosion exposed to drinking water and water from Laguna dos Patos in the city of Pelotas, RS, Brazil. The test coupons were submerged in the water samples in static bioreactors for 42

¹ Instituto Federal Sul-rio-grandense - IFSul, Câmpus Pelotas/RS - Brasil. E-mail: crkuhn@pelotas.ifsul.edu.br

² Idem. E-mail: helena.foster@hotmail.com

³ Idem. E-mail: carolineosw@live.com

⁴ Idem. E-mail: toralles@pelotas.ifsul.edu.br

⁵ Idem. E-mail: bernardovaz@pelotas.ifsul.edu.br



days. The microorganisms causing biocorrosion were investigated by counting acid-producing bacteria, total heterotrophic bacteria, and incubated in both aerobic and anaerobic media, in addition to fungal counting. It was found that the exposure time of the test coupons was the most important variable ($p < 0,05$) in microbial growth, regardless of metabolism (aerobic or anaerobic) or microorganism group.

Keywords: Microbiologically induced corrosion; biofilm; biocorrosion; acid-producing bacteria; carbon steel.

1. INTRODUÇÃO

Biocorrosão é uma palavra utilizada para expressar a participação de diferentes tipos de micro-organismos nos fenômenos de corrosão. Essa biocorrosão ocorre sinergicamente devido a interações entre consórcios de micro-organismos tais como, bactérias, fungos e/ou algas, que participam de forma ativa no processo de corrosão de superfícies metálicas, sem alterar a natureza eletroquímica do processo de corrosão. (ARGÔLO, 2017; FRAZÃO, 2015; MAGALHÃES, 2016; MARANGONI, 2010; SILVA *et al.*, 2015).

A biocorrosão ou corrosão microbiologicamente induzida envolve três componentes fundamentais: metal, solução e micro-organismos e se refere à sua capacidade em iniciar, acelerar ou facilitar as reações de corrosão no meio através de seus metabólitos ativos. (ARGÔLO, 2017; JAVAHERDASHTI, 2008; MIRANDA *et al.*, 2006). Dentre as diferentes espécies envolvidas, destacam-se bactérias oxidantes do enxofre (oxidam o enxofre a sulfato e ácido sulfúrico) que são produtoras de ácido e *Clostridium aceticum* (produz ácido acético); bactérias redutoras de sulfato (BRS) (reduzem sulfato a sulfeto); bactérias oxidantes do ferro (oxidam o ferro a íon férrico); bactérias oxidantes do manganês; além das bactérias produtoras de hidrogênio. Além de bactérias, outros tipos de micro-organismos como fungos e algas podem estar presentes no biofilme, além de protozoários. (FURLAN, 2013; GONÇALVES, 2002). Os danos causados pela biocorrosão são difíceis de avaliar, principalmente em razão da grande variedade de casos que são identificados, além daqueles no qual o micro-organismo é a causa indireta do processo de corrosão. (FONSECA, 2018; FURLAN, 2013; LEWANDOWSKI; BOLTZ, 2011; VIDELA, 2003).

Os biofilmes são ambientes dinâmicos que abrigam micro-organismos, substâncias poliméricas (polissacarídeos e proteínas), além de água, que abriga nutrientes absorvidos, metabólitos, produtos de lise celular e partículas oriundas do ambiente circundante. (SUTHERLAND, 2001). O biofilme faz parte, também, do chamado Biofouling, que se refere ao acúmulo indesejável de depósitos biológicos sobre uma superfície. A formação desse sistema tende a aumentar os níveis de corrosão, ao mesmo tempo em que dificulta a remoção dos seres ali presentes, com significativa perda de desempenho e vida útil dos equipamentos. Seu desenvolvimento sofre interferências de parâmetros de acordo com as características do substrato, do meio aquoso, das propriedades genéticas das células, nutrientes e materiais particulados que estão presente no meio, a força iônica, como também da presença de agentes microbianos. (ARGÔLO, 2017; FURLAN, 2013; VIANA, 2009).



Os biofilmes agem sobre diferentes superfícies metálicas, principalmente ligas de aço-carbono e processos interfaciais, induzindo a importantes mudanças no tipo e concentração de íons, valores do pH, níveis de oxigênio, velocidade de fluxo dos líquidos e capacidade tampão do meio próximo do metal. (FURLAN, 2013). Substâncias agressivas ao meio, como ácidos e sulfetos (produtos do metabolismo), podem acelerar as taxas de reações do processo corrosivo ou mudar o mecanismo da corrosão e não são responsáveis por um único tipo de corrosão. Podem ainda criar zonas de aeração diferencial, com regiões anaeróbicas na superfície do metal, assim deixando desigual o consumo de oxigênio em zonas localizadas. (ARGÔLO, 2017; LITTLE; LEE, 2007; MOURA, 2016).

Devido aos vários problemas gerados pelo fenômeno da biocorrosão para a atividade industrial (com destaque para a indústria naval, dos gasodutos de transporte de gás natural, usinas termoeletricas, refinarias do bioetanol, combustíveis e indústrias químicas), envolvendo grande custo, é crescente o interesse no estudo da corrosão microbiologicamente induzida, sua biodiversidade e seu efeito sob diferentes habitats que interferem diretamente no tipo e intensidade da ação microbiana. (FONSECA, 2018; FRAZÃO, 2015; CORREIA *et al.*, 2010; VIDELA, 2003). Além disso, o potencial naval da região de Pelotas torna necessário o estudo e caracterização de presença desses micro-organismos em processos de corrosão metálica no ambiente costeiro local, de modo a propor métodos para prevenção e controle da ação microbiana.

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral:

Identificar a presença dos micro-organismos indutores de biocorrosão de ligas metálicas de aço carbono (corpos de prova ou cupons) na água da Laguna dos Patos.

Objetivos Específicos:

Identificar a presença grupos de micro-organismo identificados como agentes causadores de corrosão utilizando técnicas de contagem para análise de bactérias produtoras de ácidos (aeróbias e anaeróbias), bactérias heterotróficas totais e fungos.

Avaliar estatisticamente o efeito das variáveis: tempo de exposição dos corpos de prova; o grupo de micro-organismo indutor de biocorrosão; tipo de metabolismo predominante (aeróbio ou anaeróbio) sobre os corpos de prova expostos à água da Laguna dos Patos.

3. METODOLOGIA

Amostras: Foram utilizadas placas de aço-carbono, denominadas cupons ou corpos prova, com dimensões de 3,0 x 10,0 x 0,2cm (largura, comprimento e espessura) tendo uma área média de 7,50cm², considerando-se apenas as duas faces maiores.

Indução ao processo de biocorrosão:

Os corpos de prova/cupons (previamente lixados e dessecados) foram expostos por imersão em biorreatores contendo diferentes corpos hídricos (água destilada estéril e água doce) por 42 dias, sob incubação em temperatura ambiente, havendo a adição



de solução nutriente a cada 14 dias para a manutenção da viabilidade dos micro-organismos presentes nas amostras de água. (OLIVEIRA, 2013). Os biorreatores (sistemas estáticos abertos) utilizados consistiram em recipientes de vidro apresentando capacidades de até 20 litros.

As amostras de água doce foram coletadas junto à Laguna dos Patos, na cidade de Pelotas, RS. A coleta utilizou frascos de vidro âmbar, com capacidade de 1L; o traslado destas amostras levou em média de 30 minutos. A presença de micro-organismos contaminantes neste fluido favorece a formação de depósitos sobre os corpos de prova/cupons.

Análises microbiológicas:

As análises microbiológicas dos cupons foram realizadas durante os 42 dias de exposição dos corpos de prova/cupons, com quantificação dos micro-organismos sésseis (fixados aos cupons) a cada 14 dias (tempos 0, 14, 28 e 42) da seguinte forma: retiravam-se os cupons de cada biorreator (contendo água doce da Laguna dos Patos e água destilada estéril - controle) e estes foram submetidos a coleta por raspagem (em condições de assepsia) para as seguintes análises microbiológicas:

As bactérias anaeróbias produtoras de ácidos foram incubadas por 28 dias a $30\pm 1^\circ\text{C}$ em Caldo Vermelho de Fenol, em jarros de anaerobiose; as bactérias anaeróbias heterotróficas totais foram incubadas nas mesmas condições, porém em meio Fluido Tioglicolato. A quantificação ocorreu através da Técnica de Número Mais Provável (NMP) com série de cinco tubos para cada uma das três diluições em triplicata e de fungos através da técnica de Contagem em placas. (APHA, 2012; OLIVEIRA, 2013; SILVA *et al.*, 2005).

A análise de bactérias aeróbias produtoras de ácidos foi realizada em Caldo Vermelho de Fenol, com pH ajustado para 7,2 com incubação por 48 horas a $30\pm 1^\circ\text{C}$. A enumeração de bactérias aeróbias heterotróficas totais foi realizada em Meio Fluido Tioglicolato, com incubação a $30\pm 1^\circ\text{C}$ durante 48h. (APHA, 2012; FRAZÃO, 2015).

Para a enumeração dos fungos utilizou-se a técnica de Contagem em placas e a inoculação tipo pour plate (TORTORA *et al.*, 2012) em Ágar Sabouraud Dextrose com pH 5,0 e incubação a $30\pm 1^\circ\text{C}$, por 5 a 7 dias, sendo os resultados expressos em UFC/mL ou g. (APHA, 2012; OLIVEIRA, 2013).

A análise dos dados obtidos foi feita estatisticamente através de uma análise de variância (ANOVA) seguida do teste de Tuckey, para comparações múltiplas de médias.

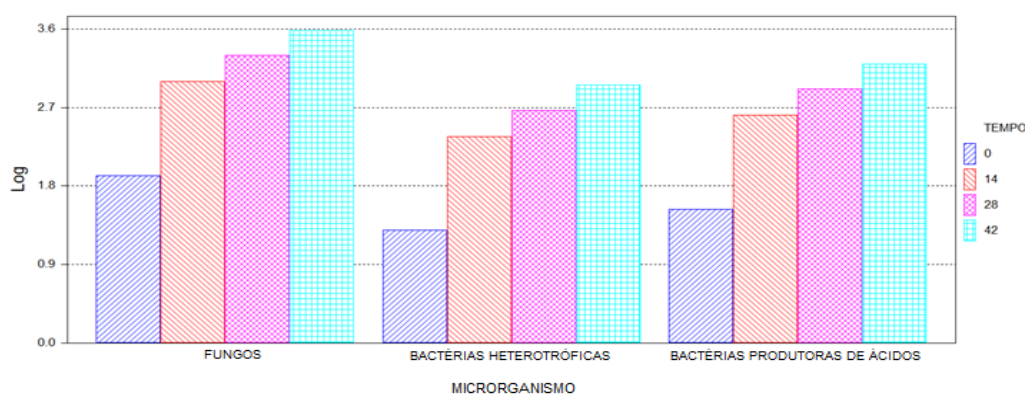
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os cupons de aço-carbono expostos à água da Laguna dos Patos apresentaram crescimento dos grupos pesquisados de micro-organismos indutores de corrosão na sua superfície. Isso caracteriza um biofilme com uma microbiota bastante diversificada presente na água da Laguna dos Patos e corrobora com a característica atribuída à água doce como um dos principais veículos que favorecem a biocorrosão, ou seja, a deterioração de metais influenciada por micro-organismos, além de apresentar impurezas e contaminantes. (OLIVEIRA, 2013; GENTIL, 2011).



A variação da concentração celular para os diferentes grupos de micro-organismos pesquisados sobre os cupons mostrou uma mesma tendência de crescimento ao longo do tempo (figura 1). Embora estes grupos de micro-organismos não difiram entre si dentro das condições do experimento, a concentração de fungos foi maior em todos os tempos analisados, seguidos das bactérias produtoras de ácidos (sem diferença entre aeróbias e anaeróbias) e de bactérias heterotróficas totais.

Figura 1 - Comparação dos grupos de micro-organismos em diferentes tempos de incubação.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A formação de biofilmes é um processo que se inicia assim que o metal é imerso no meio. Isso possibilita não só o crescimento, mas a liberação de produtos do metabolismo microbiano no meio e a formação de exopolímeros (constituídos por polissacarídeos, lipídeos, proteínas e DNA extracelular). (MAGALHÃES, 2016; OLIVEIRA, 2013; MOURA, 2016).

O crescimento de micro-organismos indutores de biocorrosão em sistemas de água doce também foi observado no estudo de Oliveira (2013), onde bactérias aeróbias e anaeróbias foram as maiores influenciadoras do fenômeno de biocorrosão e bactérias anaeróbias produtoras de ácidos inicialmente presentes não sobreviveram, provavelmente devido à sua baixa concentração inicial no fluido de pesquisa; concomitantemente, as bactérias anaeróbias heterotróficas totais apresentaram crescimento praticamente constante ao longo do período estudado.

Outros grupos de micro-organismos relacionados com a biocorrosão em água doce são bactérias oxidantes do enxofre, as bactérias redutoras de sulfato associadas à corrosão em ferro fundido, aço carbono, aço inoxidável e suas ligas; bactérias precipitantes do ferro e manganês; bactérias produtoras de exopolímeros; *Pseudomonas*; fungos e algas. (FRAZÃO, 2015; MARANGONI, 2010; OLIVEIRA, 2013).

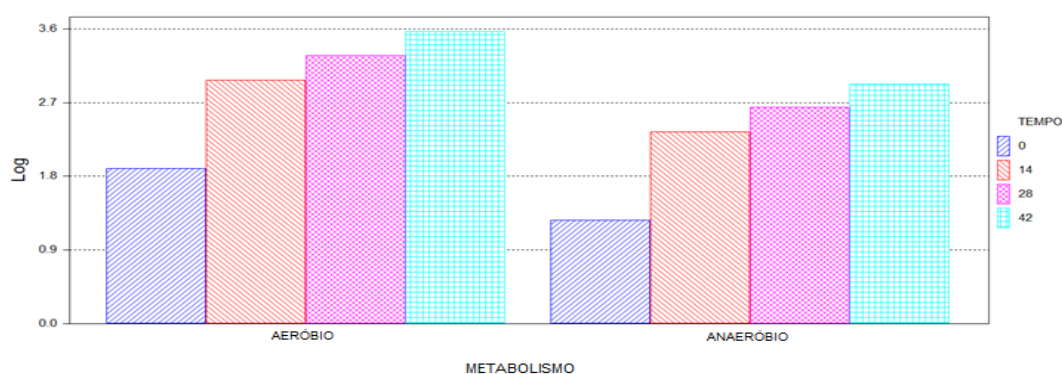
Os fungos têm sido associados juntamente com as bactérias como agentes facilitadores da biocorrosão em ligas metálicas devido a produção de ácidos orgânicos no meio (oxálico, lácticos, acéticos e cítricos) gerados a partir da absorção de substâncias orgânicas. Diversos gêneros são citados, como *Fusarium sp.* e *Penicillium sp.*, associados à produção de ácidos com a consequente corrosão por pites e também a corrosão sob tensão fraturante em ligas de aço revestido e *Hormoconis sp.* que contribui para aumento na quantidade de biomassa e adesão. (LITTLE; LEE, 2007;



RODRIGUES *et al.*, 2013). Em amostras coletadas de biofilmes em estruturas metálicas expostas à água doce na região amazônica, Correia e colaboradores (2010) encontraram gêneros como *Curvularia spp.* e *Penicillium spp.*

Considerando o tipo de metabolismo (oxidativo ou redutor), tanto micro-organismos aeróbios como anaeróbios se desenvolveram na superfície dos cupons de aço-carbono, em uma condição semelhante de crescimento durante os diferentes tempos de exposição à água da Laguna dos Patos (figura 2), observando-se uma maior concentração do grupo de aeróbios.

Figura 2 - Crescimento microbiano de acordo com o metabolismo em diferentes tempos de incubação.



Fonte: Elaborada pelos autores.

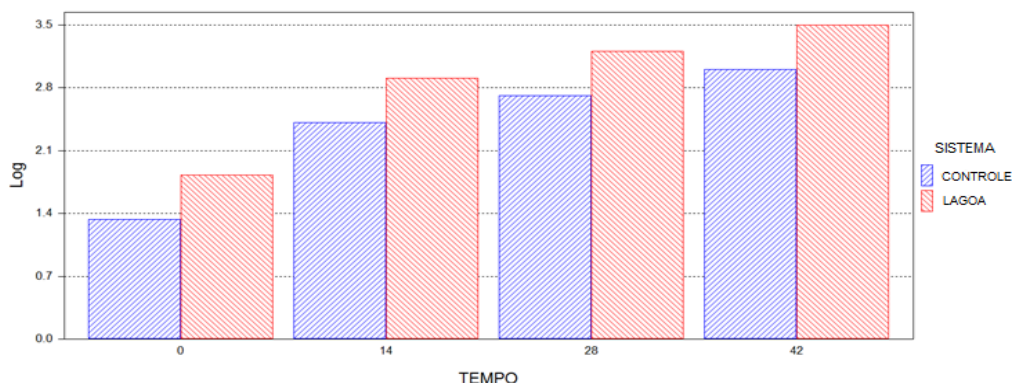
A presença de maior concentração de micro-organismos aeróbios nas condições do experimento pode indicar uma condição de colonização inicial sobre a superfície dos cupons. A presença de bactérias aeróbias e anaeróbias facultativas é característica de fases iniciais de colonização dos biofilmes em adesão às superfícies, criando condições favoráveis para a presença de outros micro-organismos em fases posteriores, como o aumento na produção de exopolímero, aumento na densidade populacional e estabilidade da colônia. (FRAZÃO, 2015; MAGALHÃES, 2016; RODRIGUES, 2013). Assim, a utilização de tempos maiores de exposição dos cupons (até 90 dias, por exemplo) poderia evidenciar uma maior presença do grupo de micro-organismos anaeróbios sobre os cupons expostos à água da Laguna dos Patos.

A concentração microbiana nos corpos de prova apresentou diferença ($p < 0,05$) a partir dos 14 dias de exposição, sendo os tempos de 28 e 42 dias atingindo as maiores concentrações, tanto para os cupons do sistema controle (água estéril, suplementada com nutrientes) como para os expostos à água da Laguna dos Patos.

Os metabólitos produzidos por micro-organismos podem acelerar as taxas de reações do processo corrosivo ou mudar o mecanismo da corrosão e a interação sobre a superfície do metal, ocorrendo em aerobiose e/ou anaerobiose. Eles podem causar a corrosão localizada, principalmente na forma de pites, abertura de fendas em estruturas metálicas, surgimento de células de aeração diferencial, além do aumento da corrosão galvânica. (FRAZÃO, 2015; LITTLE; LEE, 2007; MAGALHÃES, 2016; MOURA, 2016; OLIVEIRA, 2013).



Figura 3 - Concentração microbiana em diferentes tempos de incubação.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A formação de biofilmes nos equipamentos metálicos, principalmente de aço carbono, quando submersos em água, são os responsáveis por causar problemas em diversas áreas. Os custos e perdas econômicas ligados ao processo de corrosão podem afetar direta ou indiretamente os processos produtivos, com a necessidade de substituição de peças e materiais precocemente, bem como maior frequência em processos de proteção, alcançam questões de saúde e segurança, contaminação de produto, perda de eficiência, dentre outros. (FONSECA, 2018; FRAZÃO, 2015; GENTIL, 2011; MAGALHÃES, 2016; OLIVEIRA, 2013).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas condições estudadas, foi detectada a presença de todos os grupos de micro-organismos pesquisados (fungos, bactérias produtoras de ácido - aeróbias e anaeróbias e heterotróficas totais) sobre a superfície dos cupons de aço-carbono, caracterizando a formação de biofilmes e evidenciando um sistema biótico complexo presente na água da Laguna dos Patos. Embora sem uma predominância significativa de um grupo específico de micro-organismos nesses biofilmes, a maior concentração de fungos e a não diferenciação entre bactérias aeróbias e anaeróbias sugere um período inicial de colonização sobre os corpos de prova. O tempo de incubação dos corpos de prova mostrou-se como um parâmetro significativo para o crescimento dos micro-organismos indutores de biocorrosão, sendo os tempos de 28 e 42 dias de exposição aqueles com a maior concentração de micro-organismos sobre os cupons de aço-carbono.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH OF WATER AND WASTEWATER. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: APHA, 2012.



ARGÔLO, E. J. **Estudo da biocorrosão do aço carbono AISI 1020 imerso em diferentes teores de água do mar e diesel S10 BX**. 2017. 160 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

CORREIA, A. F.; SEGOVIA, J. F. O.; BEZERRA, R. M.; GONÇALVES, M. C. A.; ORNELAS, S. S.; SILVEIRA, D.; CARVALHO, J. C. T.; DINIZ, S. P. S. S.; KANZAKI, L. I. B. Aerobic and facultative microorganisms isolated from corroded metallic structures in a hydroelectric power unit in the Amazon region of Brazil. **Air, Soil and Water Research**, v.3, p.113-121, 2010.

FRAZÃO, D. M. **Estudo do processo de biocorrosão na superfície do aço carbono ASTM A283, exposto em óleo diesel S10 e água doce**. 2015. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

FONSECA, R. S.; FERREIRA, V. C. M.; LAGO, D. C. B.; SENNA, L. F.; GONÇALVES, M. M. M. Avaliação de biocidas naturais no controle da biocorrosão em aço carbono 1020 por *Desulfovibrio alaskensis*. In: INTERCORR, 2018, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRACO/USP, 2018.

FURLAN, B. G. **Corrosão microbiana**. 2013. 47 f. Monografia (Graduação em Engenharia Bioquímica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

GONÇALVES, N. J. **Potencialidade do tratamento por choque com biocidas na remoção e/ou formação de biofilmes**. 2002. 146 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

JAVAHERDASHTI, R. **Microbiologically influenced corrosion: an engineering insight**. Engineering Materials and Processes. Sydney: Springer, 2008.

LEWANDOWSKI, Z.; BOLTZ, J. P. Biofilms in water and wastewater treatment. In: WILDERER, Peter (ed.). **Treatise on water science**. Oxford: Academic Press, 2011. v.4. p.529-570.

LITTLE, B. J.; LEE, J. S. **Microbiologically influenced corrosion**. New Jersey: R. Winston Review, Series, 2007.

MAGALHÃES, V. A. V. **Bentonita sódica com propriedade antibacteriana para inibição de biocorrosão em poços tubulares profundos**. 2016. 64 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2016.

MARANGONI, P. R. D. **Caracterização de biofilmes formados em superfícies metálicas e biocorrosão**. 2010. 103 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia, Parasitologia e Patologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.



MIRANDA, E.; BETHENCOURT, M.; BOTANA, F. J.; CANO, M. J.; SÁNCHEZ-AMAYA, J. M.; CORZO, A.; GARCÍA DE LOMAS, J.; FARDEAU, M. L.; OLLIVIER, B. Biocorrosion of carbon steel alloys by an hydrogenotrophic sulfate-reducing bacterium *Desulfovibrio capillatus* isolated from a Mexican oil field separator. **Corrosion Science**, v.48, p.2417-2431, 2006.

MOURA, M. C. **Avaliação de lectina solúvel em água de sementes de Moringa oleifera (WSMoL) no controle da biocorrosão**. 2016. 123 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Bioquímica e Fisiologia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

OLIVEIRA, E. S. D. **Biocorrosão em cupons de aço carbono expostos à água doce**. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Industrial) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

RODRIGUES, T.; OLIVEIRA, A. de; COUTINHO, D.; GUERREIRO, L.; GALVÃO, M.; SOUZA, P.; CHARRET, S.; OLIVEIRA, V. de; LUTTERBACH, E. M. Diversidade de micro-organismos relacionados com a biocorrosão no sistema óleo e gás. **Corrosão e Proteção de Materiais**, Lisboa, v.32, n.4, p.100-104, 2013.

SILVA, M. V. F.; PEREIRA, M. C. P.; CODARO, E. N.; ACCIARE, H. A. Corrosão do aço carbono: uma abordagem do cotidiano no ensino de química. **Revista Química Nova**, São Paulo, v.38, n.2, p.293-296, 2015.

SILVA, N.; NETO, R. C.; JUNQUEIRA, V. C.; SILVEIRA, N. F. **Manual de métodos de análise microbiológica da água**. São Paulo: Varela Editora e Livraria Ltda., 2005.

SUTHERLAND, I. W. The biofilm matrix: an immobilized but dynamic microbial environment. **Trends in Microbiology**, v.9, p.222-227, 2001.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

VIANA, M. G. **Avaliação de naturais sobre biofilmes formados em sistema dinâmico**. 2009. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

VIDELA, H. A. **Biocorrosão, biofouling e biodeterioração de materiais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2003.

Submetido em: **08/10/2019**

Aceito em: **26/06/2020**