

Avaliação da corrosão das estações de tratamento de esgoto causada por micro-organismos

Corrosion evaluation of sewage treatment plants caused by micro-organisms

RESUMO

A presença dos microrganismos é um dos elementos cruciais para o tratamento de águas residuais, por esse motivo as estações de tratamento de esgoto (ETEs) - a fim de poder trazer um saneamento adequado à população - utilizam a biotecnologia para a redução de carga orgânica e tratamento dos efluentes. No entanto, esses microrganismos causam o processo de degradação dos materiais que compõem as ETEs. No trabalho foi avaliada a corrosão influenciada microbiologicamente (CIM), sendo empregadas as técnicas de crescimento bacteriano, seleção, isolamento e identificação na análise do microrganismo causador de CIM. Os processos corrosivos foram acompanhados nos materiais comumente utilizados nas ETEs: aço SAE 1010, aço inox AISI 304 e aço galvanizado. Foi realizado o exame visual, determinação de perda de massa, cálculo da taxa de corrosão, análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de raios X por dispersão de energia (EDS). Ficou evidenciado que os microrganismos analisados causam CIM nos materiais estudados. O aço galvanizado foi o material que apresentou maior perda de massa percentual e taxa de corrosão.

PALAVRAS-CHAVE: Corrosão microbiológica. Biotecnologia. Degradação.

ABSTRACT

The presence of microorganisms is one of the crucial elements for the treatment of wastewater, for this reason sewage treatment plants (STP) - in order to bring adequate sanitation to the population - use biotechnology to reduce organic load and effluent treatment. However, these microorganisms cause the process of degradation of the materials that make up the STP. In the work, microbiologically influenced corrosion (MIC) was evaluated, using the techniques of bacterial growth, selection, isolation and identification in the analysis of the microorganism causing MIC. The corrosive processes were followed in the materials commonly used in the STP: SAE 1010 steel, AISI 304 stainless steel and galvanized steel. Were performed the visual examination, determination of mass loss, calculation of the corrosion rate, analysis by scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersion X-ray spectroscopy (EDS). It was evidenced that the microorganisms analyzed cause MIC in the studied materials. Galvanized steel was the material that showed the greatest loss of percentage mass and corrosion rate.

KEYWORDS: Microbiological corrosion. Biotechnology. Degradation.

Karoline Caetano da Silva
karoline_kaitano@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

José Carlos Alves Galvão
galvao@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Mariana Isabeli Valentim
mariana_valen_tim@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Rozane de Fatima Turchiello Gomez
turchiel@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Constantemente as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) são acometidas por diversos tipos de corrosões, uma delas é a corrosão microbiológica, também conhecida como corrosão influenciada microbiologicamente (CIM). A corrosão microbiológica se dá quando o material entra em contato com os microrganismos do meio.

Define-se microrganismo como aquele de forma de vida diminuta, individualmente muito pequenas, para serem vistas a olho nu. O grupo inclui bactérias, fungos (leveduras e fungos filamentosos), protozoários e algas microscópicas (Tortora *et al.*, 2012), estando presente em qualquer meio como exemplo: água, solo e ar.

As bactérias são microrganismos, que estão presentes nas coletas de esgoto e nas ETE, onde também são responsáveis por fazer o tratamento desses resíduos. A presença dos microrganismos é um dos elementos cruciais para o tratamento de águas residuais, a fim de poder trazer um saneamento adequado à população, entretanto esses microrganismos causam o processo de degradação dos materiais que compõem a ETE, sendo que as bactérias desenvolvem considerável parte nesse tratamento.

No processo de tratamento de esgoto acontece a CIM nos materiais metálicos, sendo que as bactérias são as principais propulsoras. Esse processo de uma corrosão se dá devido a um agressor, que está associado à corrosão eletroquímica, fazendo a transferência de elétrons para um corpo externo que esteja presente ao lado de um metal. Esse conjunto provoca uma liberação de íons para o material metálico que provoca a destruição do metal. Nesse processo podem estar presentes os biofilmes produzidos pelos microrganismos, sendo que os mesmos se mantêm unidos à superfície metálica (LIMA, 2010)

Segundo Gentil (2011), exceto as bactérias frequentemente associada na CIM, pode-se observar também as bactérias que reduzem o sulfato, bactérias oxidantes de ferro e de manganês. A CIM nas estações de tratamento de esgoto constitui um problema sério e seus efeitos resultam na perda de bilhões de dólares por ano (STANASZEK-TOMAL e FIERTAK 2016).

Considerando que a deterioração dos equipamentos e estruturas das ETEs compromete a qualidade do tratamento das águas residuais, a observação e análise do processo de CIM e dos microrganismos que causam esse tipo de degradação contribuem para o desenvolvimento de metodologias eficazes para combater à corrosão e conseqüente melhoria do desempenho do tratamento de esgoto.

MATERIAL E MÉTODOS

O método utilizado na etapa inicial do trabalho foi o de crescimento bacteriano, onde se consistiu em utilizar amostras de materiais em processo de corrosão. Para isso foi empregada a coleta *in situ*, isolamento e acompanhamento do crescimento das culturas de bactérias.

Para o estudo do processo de CIM que degrada os materiais das ETEs foram empregados diferentes materiais: aço carbono SAE 1010, aço inox AISI 304 e aço galvanizado, sendo metais comumente utilizados nos equipamentos das ETEs. Com esses materiais foram confeccionados cupons metálicos com dimensões de 30,0 x 4,5 x 1,3 mm, os quais foram mergulhados individualmente em tubos falcon

contendo meio de cultivo para bactérias Anaeróbias Heterotróficas Totais (BANHT) e nestes tubos foram inoculados os microrganismos da família *Enterobacteriaceae* isolados previamente (Galvão, *et al.*, 2019) e cultivados através do meio Brain Heart Infusion (BHI). Após o preparo do meio, os tubos falcon com os cupons foram mantidos em local com temperatura controlada de $(10 \pm 2)^\circ\text{C}$ até as retiradas para a análise da corrosão provocada por esses microrganismos.

Uma das técnicas empregadas na pesquisa foi o exame visual por ser eficiente na constatação de processos corrosivos de estruturas e equipamentos da ETE. Nesta etapa do trabalho foi gerado arquivo fotográfico dos principais defeitos encontrados na superfície dos cupons submetidos ao processo de CIM.

A seguir, esses cupons foram submetidos ao ensaio de perda de massa; que se constitui a pesagem inicial em balança analítica, repetidos processos de limpeza do material em solução adequada, posterior pesagem até constância de massa, conforme a ASTM G1 - 03 (2017). A solução *Clark*, constituída de trióxido de antimônio (Sb_2O_3), cloreto de estanho (SnCl_2) e ácido clorídrico (HCl), foi empregada na limpeza dos cupons de aço inox AISI 304 e aço carbono SAE 1010; para os cupons em aço galvanizado, utilizou-se a solução básica de hidróxido de amônia e água destilada. Através da diferença entre as massas inicial e final, obtêm-se a perda de massa por corrosão durante o período 60, 120, 180, 270 e 420 dias.

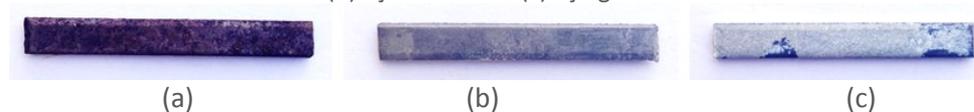
Após a determinação da perda de massa, as amostras dos materiais estudados foram submetidas à análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e Espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDS) no equipamento de marca *Zeiss*, modelo *EVO MA 15*, equipado com detectores *Oxford Instruments* para a microanálise química *EDS X-Max* e *WDS IncaWave 500* com cristais *LiF(200)*, *PET*, *TAP*, *LSM80N* e *LSM80E*.

Em virtude dos trabalhos realizados anteriormente por Rosa (2017) com o isolamento, sequenciamento e identificação dos microrganismos presentes na ETE e por Gonçalves (2018) com a confecção dos cupons metálicos e preparo do meio para análise da ação da CIM, foi possível chegar à idade de 620 dias de exposição ao meio com o microrganismo estudado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No exame visual foi possível constatar os diferentes estados de deterioração do cupom de cada material analisado. Na figura 1 são mostrados os cupons de aço SAE 1010, aço inox AISI 304 e aço galvanizado após um período de 230 dias de imersão no meio contendo microrganismos da família *Enterobacteriaceae*.

Figura 1. Imagens fotográficas dos cupons metálicos. (a) aço SAE 1010, (b) aço AISI 304 e (c) aço galvanizado



Fonte: Autoria própria (2020).

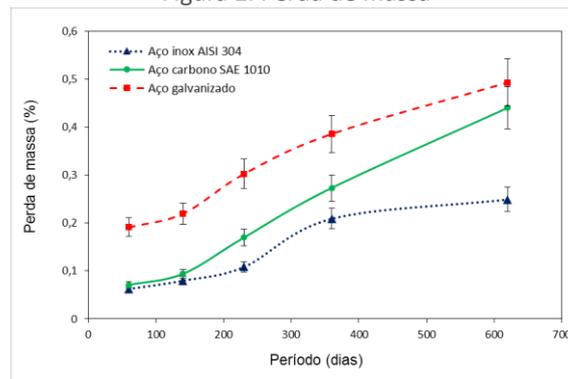
Observa-se na figura 1(a) que o cupom de aço SAE 1010 apresentou uma corrosão uniforme que alcança toda sua superfície. No cupom de aço AISI 304 mostrado na figura 1(b) verificou-se a presença de manchas, um processo menos acentuado de corrosão se comparado com os outros dois cupons, pois esse material

tem em sua composição níquel-cromo e outros materiais que ampliam sua resistência à oxidação e corrosão. Para evitar a corrosão, os tubos de aço carbono são cobertos por uma camada protetora de zinco ou liga de zinco usando o processo de Galvanização. Na figura 1(c), no cupom de aço galvanizado nota-se a formação de manchas escuras que correspondem a uma perda da camada de proteção de zinco.

A perda de massa apresenta-se como uma técnica comumente empregada nas avaliações de estado de corrosão de metais, permitindo um acompanhamento ao longo do tempo. A figura 2 exibe a perda de massa para o aço carbono SAE 1010, aço inox AISI 304 e aço galvanizado.

Observa-se na figura 2 que o aço galvanizado foi o material que apresentou maior perda de massa, principalmente, no período inicial de análise. O aço inox AISI 304 foi o metal de menor perda de massa se comparado com os demais estudados, esse processo era esperado justamente devido suas propriedades de resistência à corrosão. Inicialmente, o aço carbono SAE 1010 tem a perda de massa próxima ao do aço inox, porém essa perda continua aumentando linearmente, enquanto os demais materiais tendem a uma redução na taxa de perda de massa, o que se manifesta mais fortemente no aço inox.

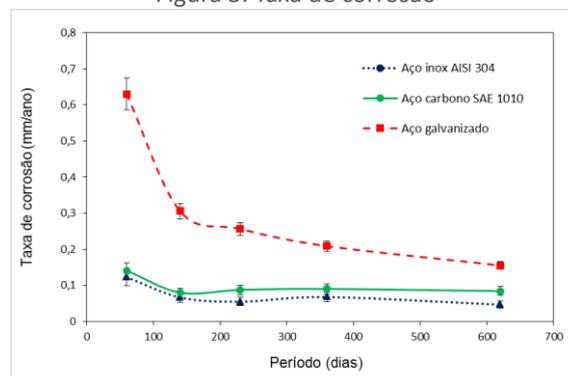
Figura 2. Perda de massa



Fonte: Autoria própria (2020).

Na figura 3 são observados os valores da taxa de corrosão dos metais submetidos à degradação em meio contendo microrganismo.

Figura 3. Taxa de corrosão



Fonte: Autoria própria (2020).

O gráfico da figura 3 obtido indica que o aço galvanizado proporciona maiores

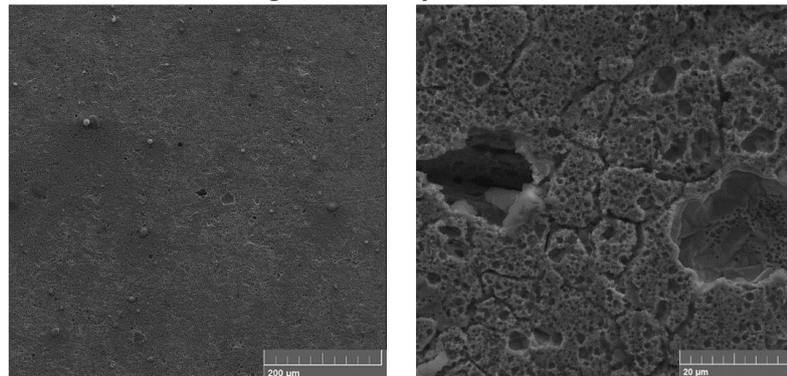
valores de taxa de corrosão nos períodos iniciais, intensificando o que foi observado em relação à perda de massa, visto que esta perda acontece de forma acumulativa ao longo do tempo. Nas idades finais do período analisado existe uma leve tendência do aço galvanizado aproximar-se dos valores da taxa de corrosão do aço 1010 e aço inox.

Os aços carbono SAE 1010 e inox AISI 304 exibiram menores taxas de corrosão quando comparados como aço galvanizado. Ratificando o observado na perda de massa, o aço 1010 demonstra uma tendência de constância de taxa de corrosão, indicando que o processo inicial se mantém ao longo do tempo diferentemente do aço galvanizado que tem elevada taxa de corrosão no período inicial e posterior redução dessa taxa. Esta ocorrência deve-se principalmente ao fato do aço galvanizado perder sua camada protetora de zinco, camada essa que fornece ao material a propriedade de maior resistência à corrosão, enquanto perdura, aderida ao substrato.

Nas figuras 4, 5 e 6, estão apresentadas as imagens de microscopia eletrônica de varredura dos cupons metálicos após 230 dias de imersão em meio de cultura para produzir a corrosão induzida por microrganismos.

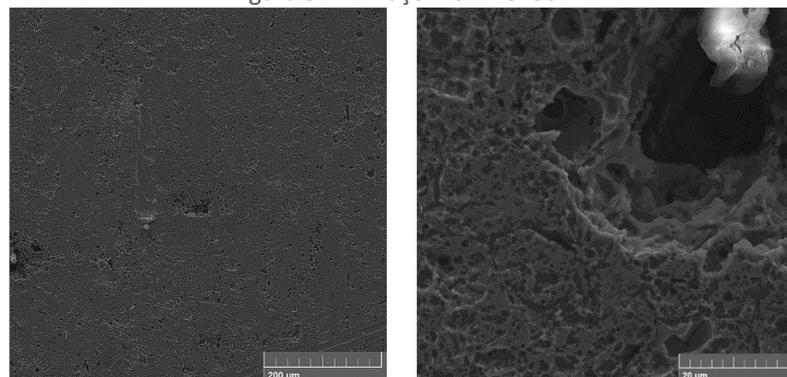
Nos cupons de aço SAE 1010 e inox AISI 304 são observados nas imagens de MEV (figuras 4 e 5) micro defeitos em sua superfície. Esses micro defeitos podem ser devido à instauração de corrosão por pites.

Figura 4. MEV aço SAE 1010



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 5. MEV aço inox AISI 304

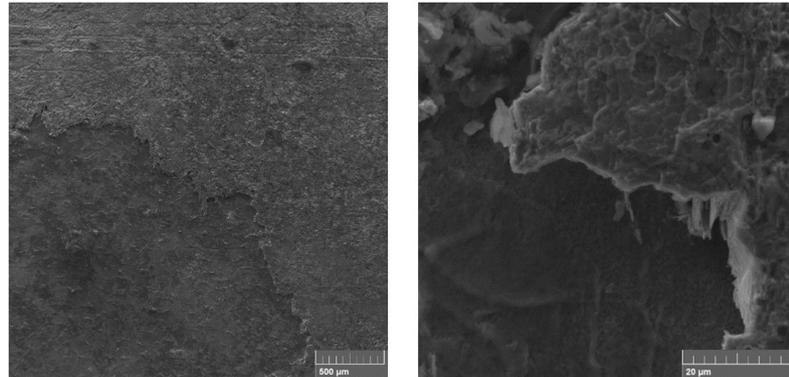


Fonte: Autoria própria (2020).

A figura 6 mostra a imagens de microscopia eletrônica de varredura dos

cupons de aço galvanizado, onde pode ser observados defeitos na camada de revestimento de proteção de zinco. Ao perder a camada de zinco o aço galvanizado deixa exposto o material de substrato que neste caso tem-se o aço SAE 1010, em outros termos o aço galvanizado, depois de perder totalmente esta camada, passa a ter o processo corrosivo exclusivamente do material base do substrato.

Figura 6. MEV aço galvanizado

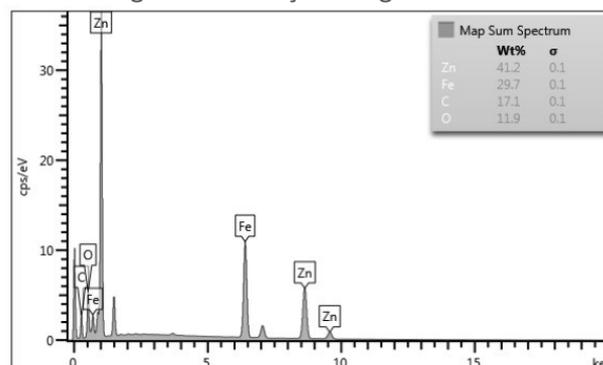


Fonte: Autoria própria (2020).

Durante o procedimento de limpeza dos cupons de aço galvanizado a camada de Zn desprendida do substrato pôde ser completamente removida com a solução de hidróxido de amônia, o que proporciona uma elevada perda de massa percentual e conseqüente taxa de corrosão corroborando com os gráficos anteriormente ilustrados nas figuras 2 e 3. No comentário preciso de DELAUNOIS *et al.* (2014), como a taxa de corrosão do aço galvanizado as vezes é muito importante para ser descrita por mecanismos de corrosão comuns, outros tipos de corrosão foram objeto de investigação (HERRERA e VIDELA, 2009; CETIN e AKSU, 2009; POGREBOVA, *et al.*, 2001): biocorrosão por bactérias redutoras de sulfato (BRS) em ambientes deficientes de oxigênio, tais como sistemas de encanamento, purificadores de água e aquecedores de água e, neste contexto, podem ser inseridos os ambientes das estações de tratamento de esgoto objeto de estudo desse trabalho.

Na figura 7, apresenta-se a constituição elemental por espectroscopia de raios X por dispersão de energia após 230 dias de processo de CIM do aço galvanizado.

Figura 7. EDS aço inox galvanizado



Fonte: Autoria própria (2020).

A constituição elementar por EDS do cupom de aço galvanizado (figura 7) apresenta o Zn e Fe correspondentes ao observado por MEV (figura 6) confirmando ser o processo de perda da camada protetora.

No aço galvanizado a camada de zinco metálico impede a oxidação do substrato, porém em ambientes como a água do mar, por exemplo, oxidam o zinco mais rápido, diminuindo sua vida útil. A CIM causada por microrganismos da família *Enterobacteriaceae* compromete a camada protetora de Zn o que contraindica o uso desse material nas ETes.

CONCLUSÃO

No exame visual ficou evidenciado que os microrganismos da família *Enterobacteriaceae* causam CIM quando analisados os cupons metálicos de aços SAE 1010, AISI 304 e galvanizado inseridos em meio contendo esses microrganismos.

O aço galvanizado foi o material que apresentou maior perda de massa percentual e taxa de corrosão quando comparado com os aços SAE 1010 e AISI 304. Esses resultados sugerem a perda da camada protetora de zinco metálico do material. O aço AISI 304 foi o material estudado de menor perda de massa e taxa de corrosão apontando ser o material mais resistente ao processo de corrosão induzida por microrganismos.

Com procedimentos de MEV e EDS foi possível evidenciar nas imagens e espectros a degradação por CMI dos materiais estudados. Esses procedimentos foram convenientes para estabelecer a relação entre os resultados de perda de massa percentual e taxa de corrosão e a constatação do comprometimento da camada protetora de Zn do aço galvanizado, contraindicando o uso desse material nas ETes.

A corrosão induzida por microrganismos ainda é pouco conhecida em diversos ambientes agressivos aos materiais metálicos e deve ser objeto de novos trabalhos. Nas estações de tratamento de esgoto, ambiente extremamente agressivo para os equipamentos e sua estrutura, os processos corrosivos das mais diversas ordens devem ser amplamente estudados para que se obtenha melhor desempenho e durabilidade, visando uma melhor qualidade no tratamento das águas residuais e consequente progresso para o meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR pelo apoio em materiais, equipamentos e recursos humanos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G1 - 03**: Standard Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens. West Conshohocken, 2017.

CETIN, D.; AKSU, M. L. Corrosion behavior of low-alloy steel in the presence of *Desulfotomaculum* sp. **Corrosion Science**, v. 51, n. 8, p. 1584-1588, 2009.

DELAUNOIS, F.; TOSAR, F.; VITRY, V. Corrosion behaviour and biocorrosion of galvanized steel water distribution systems. **Bioelectrochemistry**, v. 97, p. 110-119, 2014.

GALVÃO, J. C. A. et al. Identificação molecular de microrganismo envolvido em processo de biocorrosão. In: RODRIGUES, T. A.; LEANDRO NETO, J. (org.). **Práticas de Produção Agrícola e Conservação Ambiental**. Ponta Grossa: Atena, 2019. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/post-artigo/21357>. Acesso em: 11.06.2020

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

GONÇALVES, A. P. O.; GALVÃO, J. C. A. Estudo da corrosão microbiológica em materiais metálicos das estações de tratamento de esgoto. In: XXII SICITE UTFPR **Anais eletrônicos...** Apucarana, 2018.

HERRERA, L. K.; VIDELA, H. A. Role of iron-reducing bacteria in corrosion and protection of carbon steel. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 63, n. 7, p. 891-895, 2009.

LIMA, E. S. de. Biocorrosão: sinergismo microbiano e influência nas características de corrosão e propriedades mecânicas do aço carbono aisi 1010. Orientador: Urtiga Filho, S.; Lima, M. A. G. A. 2010. 75 f. Dissertação (Mestrado). Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010. Disponível em: https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/4934/1/arquivo2005_1.pdf Acesso em: 11.06.2020

POGREBOVA, I. S. et al. Mechanism of inhibition of corrosion of steel in the presence of sulfate-reducing bacteria. **Materials Science**, v. 37, n. 5, p. 754-761, 2001.

ROSA, L. R. V. **Seleção e Quantificação de Micro-Organismos Causadores de Biocorrosão**. Ponta Grossa - Paraná, 2017.

STANASZEK-TOMAL, E.; FIERTAK, M. Biological corrosion in the sewage system and the sewage treatment plant. **Procedia engineering**, v. 161, p. 116-120, 2016.

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