

Ensaio de corrosão de longa duração de metais expostos ao ambiente das estações de tratamento de esgoto

RESUMO

Os ensaios de corrosão em campo são importantes para a determinação do comportamento dos materiais perante determinado meio corrosivo e estimar a sua durabilidade. Neste trabalho avaliou-se o desempenho de materiais metálicos no ambiente agressivo das águas residuais das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Foram produzidos corpos-de-prova (CP) de aço carbono SAE-1010, aço inox AISI-304 e aço galvanizado os quais foram submetidos às condições reais do meio corrosivo em campo. Os materiais analisados foram acompanhados durante 460 dias realizando-se, periodicamente, a inspeção visual e o acompanhamento da perda de massa percentual e da taxa de corrosão. O aço galvanizado teve seu desempenho comprometido quando se iniciou a sua dezincificação, o que inutilizou o material. O SAE-1010 obteve perda de massa constante e taxa de corrosão decrescente. O AISI-304 foi o material que apresentou as menores perdas de massa percentuais e, conseqüentemente, as menores taxas de corrosão.

PALAVRAS-CHAVE: Corrosão; Estação de tratamento de esgoto; Materiais metálicos; Taxa de corrosão.

Marcela Maçaneiromarmacaneiro@hotmail.comorcid.org/0000-0001-9583-8401

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

José Geraldo Machado Filhojose.geraldo@sanepar.com.brorcid.org/0000-0001-9460-0856

Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

Rozane de Fátima Turchielloturchiel@utfpr.edu.brorcid.org/0000-0002-4039-0424

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

José Carlos Alves Galvãogalvao@utfpr.edu.brorcid.org/0000-0002-5009-4979

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

INTRODUÇÃO

Corrosão é a deterioração natural de um material quando este reage com o ambiente no qual está inserido. Diferentes tipos de materiais, ambientes e outros fatores aumentam a complexidade da análise do processo corrosivo. As condições ambientais têm influência significativa no processo de corrosão, portanto no seu controle e prevenção devem ser considerados: a atmosfera, o solo, a água, a presença de produtos químicos, etc. Assim, os meios considerados agressivos são aqueles que aceleram os processos de deterioração dos materiais.

As águas residuais das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) são meios extremamente agressivos, que promovem uma rápida deterioração dos materiais tornando-os impróprios para uso, obrigando sua substituição e, conseqüentemente, paradas para manutenção, além de causar forte impacto na qualidade do efluente a ser lançado no meio ambiente. As águas residuais das ETEs são consideradas eletrólitos que propiciam o processo de corrosão do metal, assim a agressividade deste componente pode alterar-se conforme o conteúdo de sua solução. De forma análoga, estas águas promovem a degradação de concreto, rochas, polímeros e outros materiais presentes nas ETEs (MAÇANEIRO, 2017).

Nenhum material é resistente a todas as situações corrosivas, mas a seleção de materiais é fundamental para evitar muitos tipos de falhas. Disponibilidade de dados de projeto e testes são fatores que influenciam na seleção de materiais, onde deve ser avaliada a resistência à corrosão no ambiente, propriedades mecânicas, custo de manutenção, compatibilidade com outros componentes do sistema, expectativa de vida, confiabilidade e aparência (VERINK, 1984).

Devido à complexidade dos processos corrosivos, as variáveis da combinação material - meio aquoso são amplamente estudadas. Otani e Sakairi (2016) investigaram por técnicas eletroquímicas e testes de imersão os efeitos dos cátions metálicos na corrosão do aço de baixo carbono em água doce. A corrosão do aço carbono em meios aquosos resultando em corrosão uniforme, corrosão por pite e passivação foi examinada em escala laboratorial por Hou *et al.* (2016). Cui *et al.* (2016) estudaram o processo de corrosão na superfície de aço inoxidável após exposição prolongada a ambientes aquosos agressivos verificando que a formação da escala da corrosão é fortemente relacionada aos parâmetros da qualidade da água. Os íons Cl^- e SO_4^{2-} em água de reuso desempenham um papel importante na corrosão do aço inoxidável e promovem a formação das escalas. No trabalho de Li *et al.* (2016) foram analisados o desempenho do aço, ferro fundido e aço galvanizado empregados na tubulação de distribuição de água potável. Os resultados das medições mostraram que o ferro é liberado, principalmente, na forma de partículas férricas. Estes produtos de corrosão comprometem a qualidade da água e leva à água vermelha. Entretanto, apesar da importância e da agressividade do meio, os ambientes das ETEs são pouco estudados.

A influência da utilização nas ETEs de perácidos orgânicos na corrosão do aço carbono e aço inoxidável 316L foi estudada por Luukkonen *et al.* (2015). As medidas de corrosão mostraram que os perácidos causam apenas uma taxa de corrosão desprezível. Corrosão biológica no sistema de esgoto e na ETE foi estudada por Stanaszek-Tomal e Fiertak (2016). Choudhury *et al.* (2012) avaliaram a corrosividade de águas residuais municipais tratadas terciariamente

para ligas de aço, cobre e cobre-níquel. Constatou-se que a corrosividade das águas residuais em relação às ligas metálicas aumentou após tratamentos terciários. Faldini, Alves e Miranda (2012) concluíram que o ambiente poluído de uma estação de tratamentos de efluentes favorece a corrosão de corpos de prova de aço carbono SAE 1010.

Assim, o objetivo do presente trabalho é avaliar o processo de corrosão de longa duração em metais expostas às águas residuais das ETEs. Os materiais selecionados foram os que usualmente são empregados na confecção dos equipamentos utilizados nas ETEs: aço carbono SAE 1010, aço inox AISI 304 e aço galvanizado. Para esses materiais foram avaliados, por um período de até 460 dias de exposição, o processo de corrosão por meio de inspeção visual, medidas de perda de massa percentual e taxa de corrosão.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para caracterizar a agressividade das águas residuais da ETE foram realizados ensaios de campo com corpos de prova (CP) submetidos às condições reais do meio corrosivo. Para se verificar a resistência à corrosão do material, bem como a eficiência de uma medida protetora em condições naturais de utilização, é decisiva a análise do comportamento do material em campo (GENTIL, 2003).

Nesse estudo, foram produzidos a partir de tubos metálicos, CPs de aço carbono SAE 1010, aço inox AISI 304 e aço galvanizado, com as características especificadas na **Tabela 1** (comprimento, diâmetro externo e espessura da parede, todos expressos em milímetros). Estes materiais foram escolhidos devido à sua disponibilidade comercial e por serem usualmente empregados na confecção dos equipamentos que compõem as ETEs.

Tabela 1 - Medidas obtidas dos CPs, expressas em milímetros (mm)

Material	Comp.	Diâm. Externo	Esp. da Parede
Aço carbono SAE 1010	100	50	1,5
Aço inox AISI 304	100	30	1
Aço galvanizado	100	40	2

Fonte: Acervo dos autores.

A **Tabela 2** apresenta a composição química do aço carbono SAE 1010 e aço inox AISI 304.

Tabela 2 - Composição química do aço carbono SAE 1010 e aço inox AISI 304

	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	N
Aço carbono SAE 1010	0,08 - 0,13	0,30 - 0,60	0,040 máx	0,050 máx	-	-	-	-
Aço inox AISI 304	0,08	2,00	0,045	0,03	0,75	8,00 - 10,5	18,00 - 20,00	0,10

Fonte: ABNT NBR NM 87 (2000).

A composição química do revestimento empregado para o aço galvanizado é mostrada na **Tabela 3**.

Tabela 3 - Composição química do revestimento para aço o galvanizado, tendo como material base o aço carbono SAE 1010

	Ph	Fe	Cd	Zn
Revestimento	1,60 máx	0,05 máx	0,50 máx	98,00 mín.

Fonte: ABNT NBR 6323 (2016).

A limpeza dos CPs, antes e após a exposição às águas residuais da ETE, foi realizada conforme norma ASTM G1-03 (2011). A solução utilizada para a limpeza dos CPs de aço carbono SAE 1010 e aço inox AISI 304 foi a denominada de Clark, composta de: 20 g/L de trióxido de antimônio (Sb_2O_3), 50 g/L de cloreto estanoso ($SnCl_2$) em ácido clorídrico (HCl). Para o aço galvanizado, a limpeza foi realizada com uma solução básica composta de: 150 mL de hidróxido de amônia (NH_4OH) e 850 mL de água destilada. Os CPs foram depositados no fluxo das águas residuais da ETE, instalados entre o Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado (RALF) e o Filtro Biológico Percolador (FBP). A **Figura 1** ilustra a instalação dos CPs parcialmente imersos no fluxo do efluente.

Figura 1 - Instalação dos CPs no leito do efluente



Fonte: Acervo dos autores.

Os CPs, inicialmente identificados, foram retirados da ETE em tempos pré-estabelecidos: 70, 120, 180, 320, 380 e 460 dias para acompanhamento do processo de degradação por inspeção visual, perda de massa e pela taxa de corrosão. Para o cálculo da perda de massa (Δm) dos CPs, após a limpeza mencionada anteriormente, conforme a norma determina, procedeu-se à secagem e à pesagem em balança analítica, sendo usada a seguinte equação:

$$\Delta m = m_i - m_f \quad (1)$$

sendo m_i a massa inicial do CP medida previamente à exposição e m_f a massa final do CP medida após diferentes períodos de exposição no leito do efluente. Para o cálculo da taxa de corrosão em função do tempo de exposição, expressa em milímetros por ano (mm/ano), foi utilizada a seguinte equação:

$$T_c = \frac{\Delta m \cdot K}{A \cdot t \cdot \rho} \quad (2)$$

sendo Δm a perda de massa calculada na **Equação 1**, K o fator de conversão para a unidade de tempo, valor tabelado de $8,76 \cdot 10^4$ para milímetros por ano (mm/ano), A a área do corpo de prova expressa em cm^2 , t o tempo de exposição expresso em horas e ρ a densidade do material.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

INSPEÇÃO VISUAL

Na **Figura 2** pode-se observar que, para o aço carbono SAE 1010 em contato com as águas residuais, após 70 dias de exposição, ocorreu a formação de uma camada de lodo característica escura envolvendo a superfície do CP.

Figura 2 - CP de aço carbono SAE 1010 após 70 dias de exposição no leito do efluente



Fonte: Acervo dos autores.

Para os CPs feitos de aço inox AISI 304, após 70 dias de exposição no leito de efluente, foi observado que os mesmos apresentaram regiões de coloração diferente, conforme pode ser visualizado no CP da esquerda da **Figura 3** com indicação (a). Na indicação (b) pode ser observada uma região de corrosão. Já para o aço galvanizado, CP da direita na **Figura 3**, foi observado que o mesmo apresentou sua superfície coberta com uma camada predominantemente esbranquiçada com pontos específicos de deterioração na indicação (c), apontando que o revestimento foi danificado. Uma característica importante encontrada nos CPs, após terem sido submetidos a períodos maiores de exposição (320, 380 e 460 dias), foi o aumento da adesão de material (aumento da camada de lodo). Esta camada foi identificada em todos os CPs dos materiais estudados, sendo que ela ofereceu certa resistência ao decorrer do processo de

limpeza. Após sua remoção, observou-se um nível elevado do processo de degradação dos CPs de aço galvanizado, comparado com os CPs de aço carbono SAE 1010 e aço inox AISI 304.

Figura 3 - CPs de aço inox AISI 304 (esquerda) e aço galvanizado (direita) após 70 dias de exposição no leito do efluente



Fonte: Acervo dos autores.

Estudos descritos na literatura relatam a formação da camada de precipitação (camada de lodo, mostrada na **Fig. 2**), como os de Enning e Garrelfs (2014), que revelam que bactérias no período de três meses podem produzir este tipo de precipitação, sendo a mesma atribuída ao sulfeto formado a partir do sulfato consumido. Portanto, as bactérias tem ação de transformar sulfato em sulfeto. Os resultados também mostraram que, nesta camada, ainda pode existir o acúmulo de grãos de areia aumentando o volume da crosta formada.

De acordo com Gentil (2003), pode-se atribuir a formação observada na **Figura 3**, CP de aço inoxidável, indicação (a), como sendo uma camada de óxido constituída na superfície metálica e na indicação (b) como um processo de corrosão localizada. No CP de aço galvanizado, a camada branca estima-se ser o produto de oxidação do zinco, que é conhecida como dezincificação. Foi verificada na indicação (c) a ocorrência de perfurações na camada de revestimento, sendo que podem acontecer desgastes uniformes em um tubo vindo a fragmentar a camada de revestimento com o aumento da velocidade do fluxo. Observam Mainier, Lima e Quelhas. (2002) que a camada esbranquiçada que surge no aço galvanizado é oriunda dos produtos de corrosão formados a partir de zinco, mais especificamente hidróxidos de zinco e carbonato de zinco.

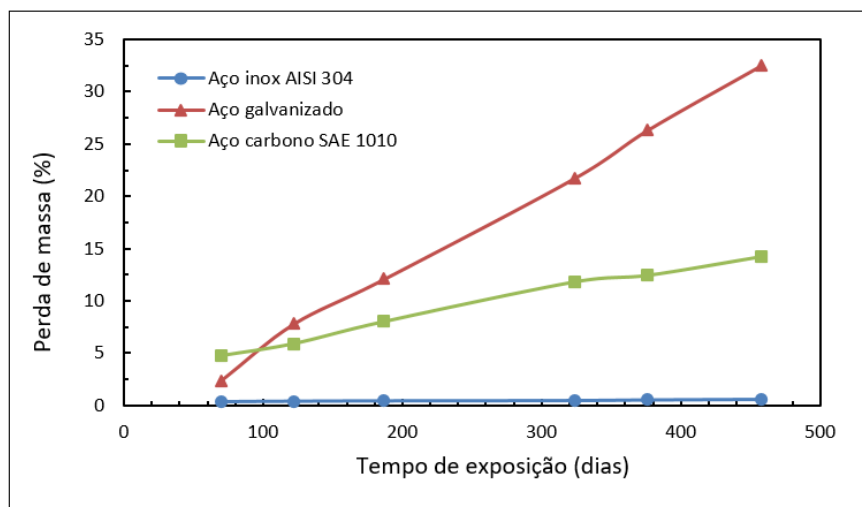
Aços revestidos com cobertura de zinco, também foram estudados por Delaunois, Tosar e Vitry (2014), sendo que os autores avaliaram o processo de

corrosão e seu impacto sobre a qualidade da camada de proteção. Para esse estudo, tubos de aço foram inseridos em meio de cultura na presença de bactérias e após um tempo de exposição foram identificados precipitados pretos e liberação de H_2S . Embora tubos galvanizados sejam mais resistentes, os estudos apontaram um processo de corrosão elevado em comparação a outros meios.

PERDA DE MASSA PERCENTUAL

A perda de massa dos três materiais metálicos estudados foi calculada de acordo com a **Equação 1** e está apresentada, de forma percentual, na **Figura 4**.

Figura 4 – Perda de massa percentual dos materiais metálicos



Fonte: Acervo dos autores.

Observa-se na **Figura 4** que aos 70 dias o material que apresentou maior perda de massa foi o aço carbono SAE 1010 com 4,78%, seguido pelo aço galvanizado (2,37%) e o material com menor perda de massa foi o aço inox AISI 304 com 0,32%. Aos 120 dias a perda de massa do aço galvanizado foi maior do que a do aço carbono SAE 1010 (5,93%), passando de 2,37% aos 70 dias para 7,79% aos 120 dias, isto se deve ao início do processo de colapso da camada protetora de zinco deste material.

O aço inox AISI 304 manteve, para todo o período de exposição estudado, a menor perda de massa percentual chegando ao seu valor máximo aos 460 dias em 0,59%. Após os 120 dias o aço galvanizado manteve uma variação de perda de massa constante, chegando a 32,56% aos 460 dias, quando toda a camada protetora foi removida, ficando apenas o substrato de aço. O aço carbono SAE 1010 apresentou aos 460 dias de exposição uma perda de massa de 14,30%.

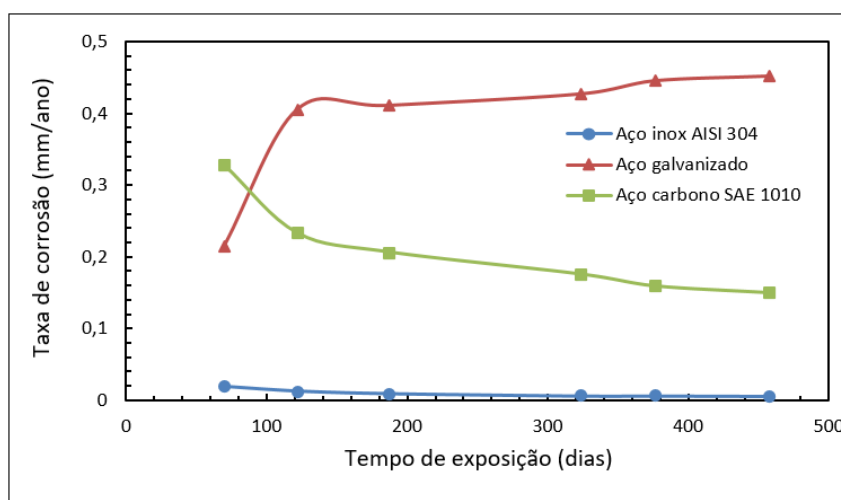
Dados da literatura corroboram com os observados nesse trabalho em relação ao maior efeito de corrosão nos CPs de aço galvanizado. Delaunoi, Tosar e Vitry (2014) observaram defeitos na camada protetora de zinco, causados por vários processos de corrosão. Quando ocorrem falhas ou porosidades nos revestimentos zincados, o zinco funciona como anodo, enquanto a superfície do aço exposta ao meio corrosivo é protegida catodicamente (MAINIER; LIMA; QUELHAS; 2002). Figueira *et al.* (2013) verificaram que o zinco em contato com a

solução simulada de poro de concreto foi oxidado e a reação catódica resultou de hidrólise de água com hidrogênio.

TAXA DE CORROSÃO

Para a avaliação do desempenho dos materiais estudados foram calculadas as taxas de corrosão ao longo do tempo de exposição no leito do efluente, conforme mostrado na **Figura 5**.

Figura 5 – Taxa de corrosão dos materiais metálicos



Fonte: Acervo dos autores.

Observa-se na **Figura 5**, que o aço galvanizado apresentou inicialmente uma taxa de corrosão aos 70 dias de 0,215 mm/ano, passando rapidamente para 0,405 mm/ano aos 120 dias devido à considerável perda de massa em razão da deterioração da camada protetora de zinco, seguindo uma taxa de corrosão crescente atingindo o valor de 0,451 mm/ano aos 460 dias. A taxa de corrosão do aço carbono SAE 1010 foi a maior para o tempo de exposição de 70 dias quando comparado com os outros materiais tendo o valor de 0,327 mm/ano, indicando que o material foi rapidamente influenciado pelos processos de corrosão. Apresentando uma variação de perda de massa constante, sua taxa de corrosão foi decrescendo ao longo do tempo de exposição, chegando ao valor de 0,150 mm/ano. O material que apresentou menor taxa de corrosão foi o aço inox AISI 304 com um valor inicial aos 70 dias de 0,019 mm/ano, ainda com um taxa de perda de massa constante, a taxa de corrosão ao final de 460 dias foi de 0,005 mm/ano, indicando que este material apresenta melhor desempenho em relação aos outros materiais frente às solicitações de corrosão ao longo do tempo estudado no ambiente das ETEs. Os valores acentuados obtidos da taxa de corrosão para os CPs de aço galvanizado resultantes do presente trabalho podem ser comparados com o processo de corrosão investigado por Ilhan-Sungur, Cansever e Cotuk (2007), que indicaram as bactérias redutoras de sulfato (BRS) como agentes responsáveis pela corrosão dos CPs de aço galvanizado. A taxa de corrosão do aço galvanizado não foi correlacionada com a contagem das BRS. As bactérias estavam em fase logarítmica com a concentração de zinco dissolvida na solução. Segundo Basheer *et al.* (2013) o aço galvanizado perdeu sua utilidade quando exposto a ambientes com bactérias e formação de biofilme. Assim,

apresentaram estudo para proteger o aço galvanizado a frente de tal ataque de biocorrosão por meio de modificação química do revestimento de zinco com composto W-TiO₂ sintetizado e incorporado no banho de zinco. Os resultados mostraram que o compósito era efetivo no controle do crescimento de bactérias e na formação de biofilme. Os valores da taxa de corrosão do aço carbono SAE 1010 verificados no presente trabalho, foram próximos aos valores calculados por Faldini, Alves e Miranda (2012) em ensaios com anéis de aço em efluente de ETEs. Choudhury *et al.* (2012) observaram taxa similar quando utilizado hexametáfosfato de sódio como inibidor da corrosão. Segundo Boffardi (2000) o aço carbono SAE 1010 sem proteção apresenta-se como pouco indicado para uso nas ETEs.

CONCLUSÕES

Na inspeção visual foi possível verificar que os materiais estudados: aço carbono SAE 1010, aço inox AISI 304 e aço galvanizado expuseram características de processo de corrosão. O aço carbono SAE 1010 apresentou a formação de uma camada de lodo encobrindo todo o corpo de prova e conseqüente formação de biofilme nesta camada. O aço inox AISI 304 apresentou no CP regiões de coloração diferente e de corrosão localizada. Para o aço galvanizado a superfície do CP foi coberta com uma camada predominantemente esbranquiçada, sendo esta considerada como a dezincificação do material. Também foram observadas perfurações na camada de revestimento devido ao processo corrosivo do material. O material que apresentou menor perda de massa percentual foi o aço inox AISI 304 com o valor máximo de 0,59% aos 460 dias de exposição. O aço galvanizado alterou a perda de massa de 2,37% aos 70 dias para 7,79 % aos 120 dias, indicando início do processo de colapso da camada protetora de zinco e chegando a uma perda de massa de 32,56% aos 460 dias. Aos 70 dias o material que apresentou maior perda de massa foi o aço carbono SAE 1010 com 4,78% e com uma variação constante, apresentou aos 460 dias de exposição uma perda de massa de 14,30%.

O aço galvanizado apresentou inicialmente uma taxa de corrosão 0,215 mm/ano (70 dias) alterando para 0,405 mm/ano (120 dias) em razão da deterioração da camada protetora de zinco, atingindo o valor de 0,451 mm/ano aos 460 dias. A taxa de corrosão do aço carbono SAE 1010 foi a maior para o tempo de exposição de 70 dias com o valor de 0,327 mm/ano, indicando que o material foi rapidamente influenciado pelos processos de corrosão. O aço inox AISI 304 apresentou uma taxa de corrosão aos 460 dias de 0,005 mm/ano, a menor taxa quando comparada com os demais materiais estudados.

O aço galvanizado teve seu desempenho comprometido quando se iniciou a dezincificação inutilizando o material. O aço carbono SAE 1010 teve variação de perda de massa constante e taxa de corrosão decrescente, promovidas a partir de um rápido processo de deterioração. O aço inox AISI 304 pode ser considerado um material com melhor desempenho quando consideradas as solicitações de corrosão. Em estudos futuros poderão ser considerados o emprego de outros materiais resistentes à corrosão como os polímeros, bem como uma análise mais aprofundada a respeito dos processos de corrosão induzida por microorganismos.

Long Duration Corrosion Tests of Metals Exposed to the Environment of Sewage Treatment Plants

ABSTRACT

Field corrosion tests are undoubtedly important to determine the behavior of the materials facing a certain corrosive environment. In this work, the performance of metallic materials in the aggressive environment of the wastewater of the Sewage Treatment Plants was evaluated. Specimens of SAE-1010 carbon steel, AISI-304 stainless steel and galvanized steel were produced, which were subjected to the real conditions of the corrosive environment in the field. The analyzed materials were monitored during 460 days and the visual inspection, monitoring of the percentage mass loss and the corrosion rate were carried out periodically. The galvanized steel had its performance compromised when its dezincification started. The SAE-1010 had variation of the constant mass loss and decreasing corrosion rate promoted from a rapid deterioration process. AISI-304 was the material that presented the lowest percentage mass losses and, consequently, the lowest corrosion rates.

KEYWORDS: *Corrosion; Sewage treatment plant; Metallic materials; Corrosion rate.*

Ensayos de corrosión de larga duración de metales expuestos a ambientes de estaciones de tratamiento de aguas cloacales

RESUMEN

Los ensayos de corrosión hechos en campo son importantes para determinar el comportamiento de los materiales cuando sometidos a determinados medios corrosivos. En este trabajo hemos estudiado el desempeño de materiales metálicos en el ambiente de las aguas residuales de las Estaciones de Tratamiento de Líquidos Cloacales. Fueron producidos cuerpos de prueba de aceros al carbono SAE-1010, inoxidable AISI-304 y galvanizado, los que fueron sometidos a las condiciones corrosivas reales. Los materiales analizados fueron acompañados durante 460 días, efectuando periódicamente una inspección visual, una determinación de la pérdida porcentual de masa e de tasa de corrosión. El acero galvanizado tiene la integridad comprometida a partir del momento en que comienza la descincificación. El acero al carbono SAE-1010 tuvo variación de pérdida de masa constante y una tasa de corrosión decreciente. El acero inoxidable AISI-304 fue el que presentó las menores pérdidas porcentuales de masa y las menores tasas de corrosión.

PALABRAS CLAVE: Corrosión; Estaciones de tratamiento de aguas cloacales; Materiales metálicos; Tasa de corrosión.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UTFPR – PPGEM pelo suporte financeiro à pesquisa e à Companhia de Saneamento do Paraná pelo amparo dos trabalhos em campo.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G1 - 03**: Standard Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens. West Conshohocken, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 87**: Aço carbono e ligados para construção mecânica - Designação e composição química - Especificação. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6323**: Galvanização por imersão a quente de produtos de aço e ferro fundido – Especificação. Rio de Janeiro, 2016.

BASHEER, R. *et al.* Effect of W–TiO₂ composite to control microbiologically influenced corrosion on galvanized steel. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 97, n. 12, p. 5615-5625, 2013.

BOFFARDI, B. P. **Standards for Corrosion Rates**, AWT Analyst, Spring 2000, USA.

CHOUDHURY, M. R. *et al.* Corrosion management in power plant cooling systems using tertiary-treated municipal wastewater as makeup water. **Corrosion Science**, v. 61, p. 231-241, 2012.

CUI, Y. *et al.* Stainless steel corrosion scale formed in reclaimed water: Characteristics, model for scale growth and metal element release. **Journal of Environmental Sciences**, v. 48, p. 79-91, 2016.

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

ENNING, D.; GARRELF, J. Corrosion of iron by sulfate-reducing bacteria: new views of an old problem. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 80, n. 4, p. 1226-1236, 2014.

FALDINI, S. B.; ALVES, W. J. S.; MIRANDA, L. F. Corrosão em guarda-corpos de aço carbono não revestidos, em uma estação de tratamento de esgotos. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, v. 11, n. 1, 2012.

FIGUEIRA, R. B. *et al.* Ureasilicate hybrid coatings for corrosion protection of galvanized steel in cementitious media. **Journal of The Electrochemical Society**, v. 160, n. 10, p. C467-C479, 2013.

GENTIL, V. **Corrosão**, 2a edição. Rio de Janeiro, LTC, 2003.

HOU, Y. *et al.* Monitoring of carbon steel corrosion by use of electrochemical noise and recurrence quantification analysis. **Corrosion Science**, v. 112, p. 63-72, 2016.

ILHAN-SUNGUR, E.; CANSEVER, N.; COTUK, A. Microbial corrosion of galvanized steel by a freshwater strain of sulphate reducing bacteria (*Desulfovibrio* sp.). **Corrosion Science**, v. 49, n. 3, p. 1097-1109, 2007.

LI, M. *et al.* Characteristics of iron corrosion scales and water quality variations in drinking water distribution systems of different pipe materials. **Water Research**, v. 106, p. 593-603, 2016.

LUUKKONEN, T. *et al.* Comparison of organic peracids in wastewater treatment: Disinfection, oxidation and corrosion. **Water Research**, v. 85, p. 275-285, 2015.

MAÇANEIRO, M. **Processo de degradação nos componentes utilizados em distribuidores rotativos instalados nas estações de tratamento de esgoto**. 2017. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR.

MAINIER, F. B.; LIMA, G. B. A.; QUELHAS, O. L. G. **Aspectos da corrosão de tubos galvanizados utilizados na construção civil**. IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu, 2002.

OTANI, K.; SAKAIRI, M. Effects of metal cations on corrosion of mild steel in model fresh water. **Corrosion Science**, v. 111, p. 302-312, 2016.

STANASZEK-TOMAL, E.; FIERTAK, M. Biological Corrosion in the Sewage System and the Sewage Treatment Plant. **Procedia Engineering**, v. 161, p. 116-120, 2016.

VERINK, E. D. **Corrosion Basics and Introduction**, L.S. Van Delinder, ed., National Association of Corrosion Engineers, Houston, TX, 1984, p. 352.

Recebido: 16 de agosto de 2017.

Aprovado: 09 de março de 2018

DOI:

Como citar: MAÇANEIRO, M. *et al.* Ensaios de corrosão de longa duração de metais expostos ao ambiente das estações de tratamento de esgoto. **Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada**, Ponta Grossa, v. 5, n.1, p. 01-13, maio de 2018..

Contato: Marcela Maçaneiro marmacaneiro@hotmail.com

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

