Sistemas Experimentais para o Estudo da Corrosão em Metais

Fábio Merçon, Perdo Ivo Canesso Guimarães e Fernando Benedicto Mainier

A corrosão é um fenômeno químico constantemente presente em nosso dia a dia. Em sala de aula, a corrosão é um tema que proporciona a correlação entre conceitos químicos e suas implicações tecnológicas, sociais e ambientais. No presente trabalho, são apresentados sistemas experimentais simples para o estudo da corrosão em metais. Esses sistemas empregam materiais simples e de baixo custo, não demandando um laboratório para sua utilização.

▶ corrosão, taxa de reação química, aço ◀

>>Recebido em 28/08/2010, aceito em 24/01/2011<<

A corrosão é um processo espontâneo e presente em nosso cotidiano. Esse processo pode ser definido como o fenômeno resultante da ação química ou eletroquímica de um meio sobre um determinado material. Apesar de estar diretamente associada aos metais, a corrosão também ocorre em materiais não metálicos como concreto e polímeros (Gentil, 2003).

Em nossos lares, a corrosão é responsável pela deterioração de utensílios e eletrodomésticos. Nas indústrias, a corrosão acarreta problemas ligados aos custos de manutenção e substituição de equipamentos, perda de produtos e impactos ambientais decorrentes de vazamentos em tanques e tubulações corroídas, sem contar as vidas humanas postas em risco em acidentes e explosões. Outra consequência da corrosão é a deterioração do mobiliário urbano e de monumentos históricos, que apresentam valor incalculável e são lentamente degradados pela ação de poluentes presentes na atmosfera.

Diante de sua importância, a corrosão é um tema que possibilita ao professor abordar diversos conteúdos de Química na educação básica, tais como reações químicas, oxirredução, cinética química, equilíbrio químico e eletroquímica.

Em sala de aula, a corrosão pode se tornar um elemento contextualizador do ensino de Química. A possibilidade de relacionar os conteúdos científicos envolvidos com os aspectos tecnológicos, sociais, econômicos e ambientais favorece a formação da cidadania dos alunos, ampliando seu poder de participação e tomada de decisão e desenvolvendo no aluno habilidades básicas para sua participação na sociedade democrática.

Em um trabalho relevante sobre a importância de um ensino de Química para a formação da cidadania dos estudantes, Santos e Schnetzler (2000) constataram que a inclusão de temas sociais é uma ação fundamental para um ensino comprometido com a cidadania, sendo que o tema *metais, metalurgia e galvanoplastia* foi considerado um dos mais relevantes em uma pesquisa realizada com educadores químicos brasileiros.

O presente trabalho teve por objetivo apresentar um sistema experimental simples que permite abordar o fenômeno de corrosão em metais, bem como interpretar a influência de diferentes fatores que afetam a taxa da reação química de corrosão. Esse sistema é montado com material simples, de baixo custo e fácil aquisição. Por sua simplicidade, o experimento pode ser realizado em sala de aula, não necessitando que a escola possua laboratório.

Material

Arruelas (anilhas) com 2 cm de diâmetro de aço-carbono; caixa plástica com tampa (capacidade 5 L); bomba de aeração para aquário (Brasil S.A.); bomba submersa de recirculação de água para aquário (Sarlo S.A.); suporte acrílico; fio de nylon;

A seção "Experimentação no ensino de Química" descreve experimentos cuja implementação e interpretação contribuem para a construção de conceitos científicos por parte dos alunos. Os materiais e reagentes usados são facilmente encontráveis, permitindo a realização dos experimentos em qualquer escola.

adesivo plástico (Araldite®); varetas (palitos grandes) de madeira; frascos plásticos com tampa (garrafas de PET de água mineral) de 300 mL; palha de aço (Bombril®); solução aquosa de NaCl 3,5% m/v (pode ser substituído por sal de cozinha); solução aquosa de HCl 5% v/v (pode ser substituído por solução comercial do tipo *limpa piso* ou ácido muriático comercial); e balança analítica (Mettler Toledo).

Procedimento

Limpeza das arruelas: Antes e após cada experimento, cada arruela a ser utilizada deve ser limpa com palha de aço para retirada de camada de óxido formada ou outros materiais presentes em sua superfície. Se disponível, recomenda-se uma lavagem com solução ácida e em seguida com água. A manipulação da solução ácida requer atenção e recomenda-se o uso de guarda-pó, calça comprida e sapato fechado. Após a limpeza, a peça de metal deve ser seca com pano ou papel-toalha. Dispondo-se de balança analítica, a peça deve ter sua massa determinada para atividades que envolvam um estudo quantitativo.

Ensaios em sistema estático: Em 4 frascos plásticos com tampa de 300 mL (garrafas de PET de água mineral), adicione 20 mL de água destilada (pode ser substituída por água de torneira ou água filtrada) e uma arruela previamente limpa e pesada. Em seguida, feche cada um dos frascos e deixe em repouso sob temperatura ambiente. O ensaio é idealizado para 1 mês de duração, sendo que a cada semana a arruela de um desses frascos é removida, limpa, seca e tem sua massa determinada. O mesmo experimento deve ser repetido, substituindo-se a água destilada pela solução de NaCl 3,5%.

Ensaios em sistema dinâmico: Na montagem do sistema dinâmico, a bomba de recirculação de água foi adaptada ao suporte acrílico e o conjunto foi fixado na base da caixa plástica com o auxílio de um adesivo plástico (Araldite®) (Figura 1a). A bomba de aeração foi fixada na tampa da caixa (Figura 1b), sendo que a tubulação foi passada por pequenos furos nessa mesma tampa, de forma que os difusores de ar ficassem no interior da caixa.

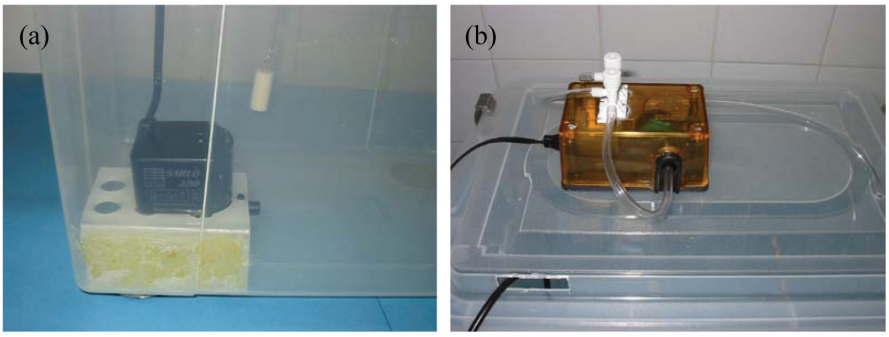

Figura 1. Fixação das bombas: (a) bomba de recirculação; (b) bomba de aeração

As peças metálicas foram presas em um palito de madeira, o qual foi suspenso no interior da caixa por dois fios de nylon presos em suas extremidades. Na Figura 2a, pode-se observar o sistema montado, sendo que, na Figura 2b, tem-se o detalhe desse posicionamento dos corpos de prova e do funcionamento dos aeradores.

Nos ensaios no sistema dinâmico, foi usado um conjunto de 4 arruelas previamente limpas e pesadas e 5 L de água destilada (novamente pode ser substituída por água de torneira). O ensaio é idealizado para 1 mês de duração, sendo que a cada semana uma das arruelas deve ser removida, limpa, seca e ter sua massa determinada. O mesmo experimento deve ser repetido, substituindo-se a água por solução de NaCl 3,5%.

Interpretação dos resultados

Apesar dessa variedade de materiais presentes no mundo contemporâneo, o aço continua sendo o mais empregado na maioria dos segmentos de bens de produção. Aço é uma denominação genérica para ligas de ferro e carbono, sendo os mais comuns o aço-carbono que contém entre 0,2 e 15% de carbono, e o aço inoxidável que, além desses elementos, contém cromo e, em alguns casos, níquel. Apesar de ser mais suscetível à corrosão, por sua menor relação custo/resistência mecânica e a facilidade de solda e conformação, o aço-carbono é o material mais utilizado em instalações industriais (Telles, 2000).

Como o principal metal presente no aço é o ferro, sua corrosão pode ser representada por um mecanismo cujas reações dependem das características do meio. Em meio neutro ou básico, tem-se a oxidação do metal (Equação 1) e a redução da água (Equação 2).

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2\,e^- \quad (1)$$

$$2\,H_2O + 2\,e^- \rightarrow H_2 + 2\,OH^- \quad (2)$$

Os íons Fe^{2+} e OH^- reagem formando o hidróxido ferroso:

$$Fe^{2+} + 2\,OH^- \rightarrow Fe(OH)_2 \quad (3)$$

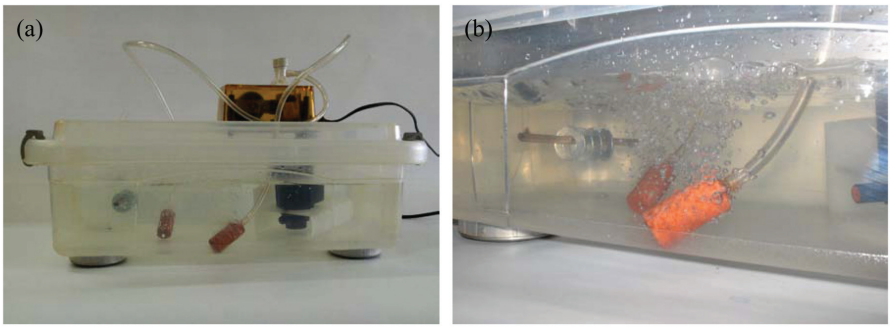

Figura 2. Sistema dinâmico de corrosão: (a) sistema em operação; (b) detalhe das arruelas e dos aeradores.

Em meio com baixo teor de oxigênio, tem-se a formação de Fe_3O_4:

$$3\ Fe(OH)_2 \rightarrow Fe_3O_4 + 2\ H_2O + H_2 \quad (4)$$

Em meios onde o teor de oxigênio é elevado, tem-se a formação de $Fe_2O_3.H_2O$:

$$2\ Fe(OH)_2 + H_2O + 1/2\ O_2 \rightarrow \rightarrow 2\ Fe(OH)_3 \quad (5)$$

$$2\ Fe(OH)_3 \rightarrow 2\ Fe_2O_3.H_2O + H_2O \quad (6)$$

Diversas variáveis podem afetar esse processo, sendo que, com os experimentos realizados, foi possível analisar a influência de três fatores: salinidade, aeração e agitação. Caso a escola não possua uma balança analítica, esses experimentos propiciam apenas uma observação qualitativa do processo, no qual os alunos podem observar a corrosão nos diferentes tipos de ensaio e concluir sobre os efeitos de cada um dos fatores analisados. No entanto, caso disponha de uma balança analítica, pode-se realizar um estudo quantitativo do processo, determinando a taxa de corrosão do aço-carbono em cada meio e sistema estudado.

Os resultados obtidos devem ser organizados na forma de gráficos. Nos gráficos da Figura 3, são apresentados os resultados que representam a variação de massa percentual de metal em função do tempo de ensaio para os dois meios corrosivos em estudo: água e solução salina (NaCl 3,5%); e para os dois sistemas experimentais utilizados: estático e dinâmico.

Após quatro semanas de experimento, para o sistema estático, obteve-se as variações de massa das peças metálicas de 0,66% e 0,77% nos meios com água e solução aquosa de cloreto de sódio, respectivamente. No sistema dinâmico, obtiveram-se variações de 7,88% e 16,13% nos respectivos meios. No sistema dinâmico, observou-se um ajuste linear para os resultados experimentais. A partir dos respectivos coeficientes angulares, estimou-se a taxa de corrosão: 6,01 e 12,6 $g.m^{-2}.dia^{-1}$ para os experimentos em água destilada e solução salina, respectivamente. Esses resultados encontram-se de acordo com dados relatados pela literatura específica, que indicam uma taxa de corrosão entre 2,4 e 24 $g.m^{-2}.dia^{-1}$ (Gentil, 2003). Os resultados obtidos permitem concluir que os três fatores analisados (salinidade, aeração e agitação) agravaram a corrosão nas arruelas.

Em ambos os sistemas, constatou-se que em solução salina a corrosão é mais intensa do que em água. A presença de íons no meio corrosivo, como o cloreto, prejudica a eficiência da camada de passivação e favorece o processo de corrosão. A camada de passivação é uma película de óxido, hidróxido, hidreto ou sal do próprio metal que se forma sobre a superfície metálica, impedindo o contato direto entre o metal e o meio corrosivo (Porubaix, 1987). Outro fator agravante da presença de íons está no aumento da condutividade elétrica do meio. Em meios de baixa condutividade, as regiões catódica e anódica estão muito próximas, de forma que a camada protetora de óxido é formada adjacente à superfície metálica, tornando-se assim uma barreira ao processo difusivo e retardando a corrosão. Já em meios de condutividade elevada, os íons gerados migram com maior facilidade, de forma que o óxido se forma afastado da superfície e não proporciona um efeito protetor.

Ao se comparar os resultados obtidos nos dois sistemas, verificou-se que a aeração e a agitação do meio acarretaram um aumento significativo na corrosão. Apesar de favorecer a passivação (formação de óxido protetor), geralmente, o oxigênio contribui para aumentar a corrosão por sua ação despolarizante. Essa ação consiste na remoção do hidrogênio formado no processo e que, ao adsorver sobre a superfície metálica, torna-se uma barreira protetora que reduz a corrosão. Com a aeração, o oxigênio reage com o hidrogênio, formando água, despolarizando a superfície e favorecendo a corrosão.

Apesar de a salinidade favorecer a corrosão, o aumento da concentração de sal reduz a solubilidade do oxigênio, o que acarreta a redução da corrosão. Da combinação desses efeitos, tem-se que, para o ferro em água saturada de oxigênio e temperatura ambiente, as maiores taxas de corrosão ocorrem entre 3 e 3,5% de NaCl.

Em relação à agitação do meio, a circulação favorece a remoção do produto de corrosão formado sobre a superfície metálica, o que evitaria o processo corrosivo. O aumento da velocidade de circulação do meio também facilita o transporte de oxigênio para a região catódica, contribuindo para favorecer sua ação despolarizante.

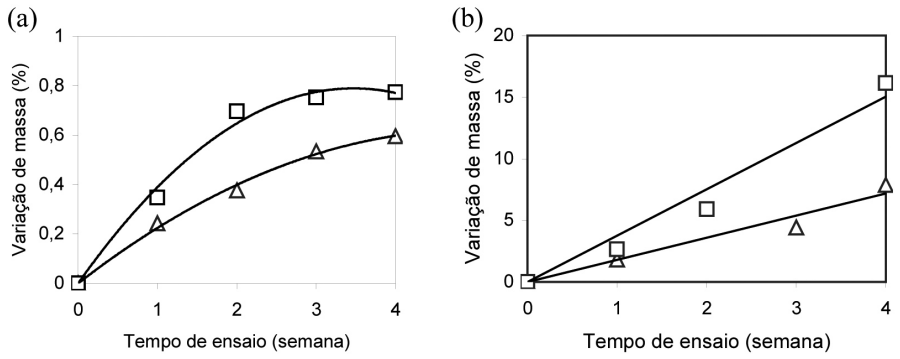

Figura 3. Variação de massa de metal em função do tempo de ensaio paras os sistemas (a) estático e (b) dinâmico: □ solução aquosa de NaCl 3,5 % m/v e △ água destilada.

Considerações finais

Os experimentos propostos reproduzem de forma simples situações que ocorrem em nosso cotidiano, possibilitando a compreensão de fatores importantes que afetam a taxa da reação química de corrosão. Os experimentos propostos permitem uma abordagem contextualizada de conteúdos de Química na educação básica, favorecendo a discussão de questões que envolvem ciência, tecnologia, sociedade e ambiente.

Questões propostas:

1 – Em um experimento, verificou-se a taxa de corrosão de 10 $g.m^{-2}.dia^{-1}$. Assumindo-se que o processo pode ser representado pela equação química: $4\ Fe + 3\ O_2 \rightarrow 2\ Fe_2O_3$, calcule as taxas de consumo de ferro metálico, de oxigênio molecular e de formação de óxido de ferro III em $mol.m^{-2}.dia^{-1}$.

2 – Duas placas metálicas do mesmo material e com as mesmas dimensões são utilizadas para a sinalização de trânsito e estão posicionadas em uma praia e em uma estrada no meio de uma serra. Para um mesmo intervalo de tempo, qual das duas placas apresentará maior incidência de corrosão? Justifique sua resposta.

3 – Indique possíveis impactos causados pela corrosão de metais nos âmbitos social, econômico e ambiental.

4 – Dispondo-se do sistema de ensaio dinâmico, avalie a influência, em separado, da aeração e da agitação. Para isso, faça um experimento apenas com agitação e, em seguida, apenas com aeração. É possível afirmar que o experimento apenas com aeração é isento de agitação?

Fábio Merçon (mercon@uerj.br), formado em Engenharia Química e Licenciatura em Química pela UERJ, doutor em Ciências em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ, é docente do Instituto de Química da UERJ e do Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira (CAP/UERJ). **Perdo Ivo Canesso Guimarães** (canesso@uerj.br), formado em Química Industrial pela UFF, licenciado em Química pela UERJ, doutor em Ciência e Tecnologia de Polímeros pelo IMA/UFRJ, é docente do Instituto de Química da UERJ. **Fernando Benedicto Mainier** (mainier@nitnet.com.br), formado em Engenharia Química pela UFRJ e doutor em Ciências pela UFRJ, é docente do Departamento de Engenharia Química da UFF.

Referências

GENTIL, V. *Corrosão*. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2003.

POURBAIX, M. *Lições de corrosão electroquímica*. 3. ed. Trad. M. E. M. Almeida e C. M. Oliveira. Bruxelas: CEBELCOR, 1987.

SANTOS, W.L.P. e SCHNETZLER, R.P. *Educação em química*: compromisso com a cidadania. 2. ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2000.

TELLES, P.C.S. *Tubulações industriais*: materiais, projeto e montagem. 9. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000

Para saber mais

ABRACO. Associação Brasileira de Corrosão: http://www.abraco.org.br

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P.I.C. e MAINIER, F.B. Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico. *Química Nova na Escola*, n. 19, p. 11-14, 2004.

Abstract: *Experimental sytems to study metal corrosion.* Corrosion is a chemical phenomenon commonly present in our daily life. In classroom, corrosion is a subject that provides a correlation among chemical concepts and technological, social and ambiental aspects. In this work, simple experimental systems were presented to study the corrosion of metals and alloy-metallics. These systems were developed with simple and low-costs materials, not allowing a laboratory for its use.
Keywords: corrosion, chemical reaction rate, steel.