

Corrosão:

Um Exemplo Usual de Fenômeno Químico

Fábio Merçon, Pedro Ivo Canesso Guimarães e Fernando Benedito Mainier

Corrosão é um conceito químico conhecido e usualmente empregado no cotidiano. Apesar de ser comumente associado aos metais, este é um fenômeno muito mais amplo e também ocorre com materiais não metálicos. Devido aos seus diversos tipos, esse processo está presente em diferentes situações, sempre associado à redução da vida útil de um determinado bem. No presente trabalho, pretende-se abordar os principais aspectos da corrosão e alguns métodos de prevenção.

► corrosão, eletroquímica, cotidiano ◀

Recebido em 23/09/03; aceito em 12/04/04

De um modo geral, a *corrosão* é um processo resultante da ação do meio sobre um determinado material, causando sua deterioração. A primeira associação que se faz é com a *ferrugem*, a camada de cor marrom-avermelhada que se forma em superfícies metálicas. Apesar da estreita relação com os metais, esse fenômeno ocorre em outros materiais, como concreto e polímeros orgânicos, entre outros. Sem que se perceba, processos corrosivos estão presentes direta ou indiretamente no nosso cotidiano, pois podem ocorrer em grades, automóveis, eletrodomésticos e instalações industriais.

Do ponto de vista econômico, os prejuízos causados atingem custos extremamente altos, resultando em consideráveis desperdícios de investimento; isto sem falar dos acidentes e perdas de vidas humanas provocados por contaminações, poluição e falta de segurança dos equipamentos. Estima-se que uma parcela superior a 30% do aço produzido no mundo seja usada para reposição de peças e

partes de equipamentos e instalações deterioradas pela corrosão (Nunes e Lobo, 1990).

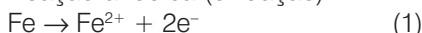
Cientificamente, o termo *corrosão* tem sido empregado para designar o processo de destruição total, parcial, superficial ou estrutural dos materiais por um ataque eletroquímico, químico ou eletrolítico. Com base nesta definição, pode-se classificar a corrosão em: eletroquímica, química e eletrolítica.

Corrosão eletroquímica

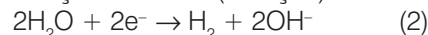
A *corrosão eletroquímica* é um processo espontâneo, passível de ocorrer quando o metal está em contato com um eletrólito, onde acontecem, simultaneamente, reações anódicas e catódicas. É mais frequente na natureza e se caracteriza por realizar-se necessariamente na presença de água, na maioria das vezes a tempe-

ratura ambiente e com a formação de uma pilha de corrosão. Como exemplo, tem-se a formação da *ferrugem* (Equações 1 a 6).

Reação anódica (oxidação):



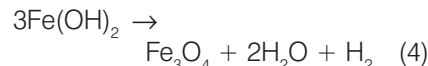
Reação catódica (redução):



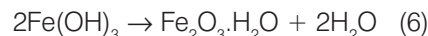
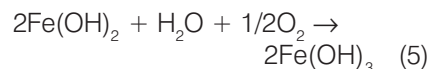
Neste processo, os íons Fe^{2+} migram em direção à região catódica, enquanto os íons OH^- direcionam-se para a anódica. Assim, em uma região intermediária, ocorre a formação do hidróxido ferroso:



Em meio com baixo teor de oxigênio, o hidróxido ferroso sofre a seguinte transformação:



Por sua vez, caso o teor de oxigênio seja elevado, tem-se:



Assim, o produto final da corrosão, ou seja, a *ferrugem*, consiste nos compostos Fe_3O_4 (coloração preta) e $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (coloração alaranjada ou castanho-avermelhada).

Outro exemplo desse tipo de corrosão ocorre quando se colocam dois

Corrosão é um processo resultante da ação do meio sobre um determinado material, causando sua deterioração

metais diferentes ligados na presença de um eletrólito. Na Figura 1, tem-se o exemplo de uma *pilha galvânica*, onde a área anódica (Fe) sofre o desgaste. O *eletrólito* é uma solução condutora ou condutor iônico que envolve simultaneamente as áreas anódicas e catódicas.

Um outro exemplo desse tipo de corrosão, agora em um monumento histórico, é apresentado na Figura 2.

A intensidade do processo de corrosão é avaliada pela carga ou quantidade de íons que se descarregam no catodo ou pelo número de elétrons que migram do anodo para o catodo, sendo que a *diferença de potencial da pilha* (ddp) será mais acentuada quanto mais distantes estiverem os metais na tabela de potenciais de eletrodo - Tabela 1 (Nunes e Lobo, 1990).

Corrosão química

A *corrosão química*, também conhecida como *seca*, por não neces-

sitar de água, corresponde ao ataque de um agente químico diretamente sobre o material, sem transferência de elétrons de uma área para outra.

No caso de um metal, o processo consiste numa reação química entre o meio corrosivo e o material metálico, resultando na formação de um produto de corrosão sobre a sua superfície. Um exemplo desse processo é a corrosão de zinco metálico em presença de ácido sulfúrico:



Os polímeros (plásticos e borrachas) também podem sofrer corrosão, ou melhor, uma degradação, pela ação do meio, de solventes ou de oxidantes enérgicos. Nessa corrosão, as reações químicas levam à cisão das macromoléculas, em geral com comprometimento das propriedades físicas e químicas do material, como ocorre na hidrólise do poli(tereftalato de etileno) (PET), apresentada na Equação 8. Dessa forma, há a descaracterização do material com a perda da rigidez e da flexibilidade, acarretando o seu desgaste, além de mudanças no seu aspecto.

A corrosão química decorre do ataque de um agente químico diretamente sobre o material, sem transferência de elétrons de uma área para outra

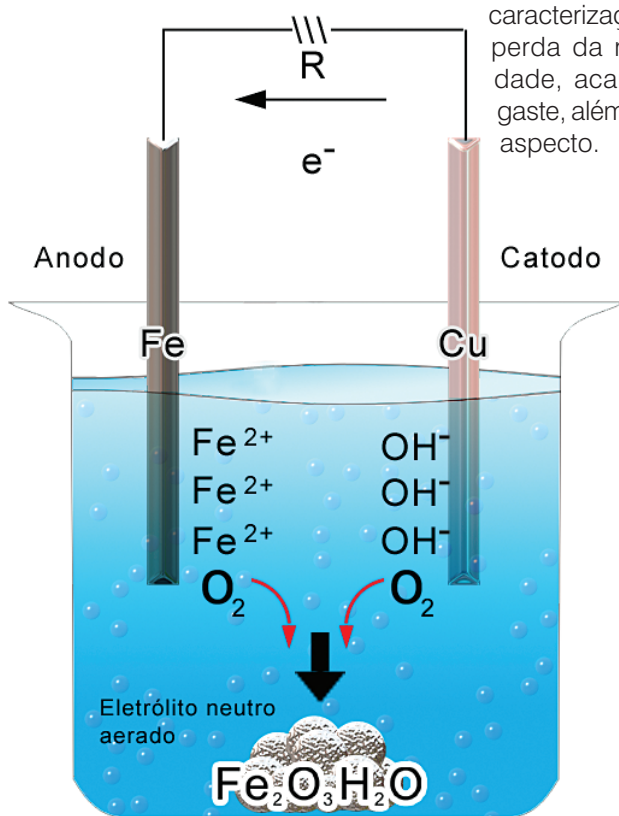


Figura 1: Pilha de corrosão eletroquímica com dois eletrodos diferentes (adaptado de Nunes e Lobo, 1990).



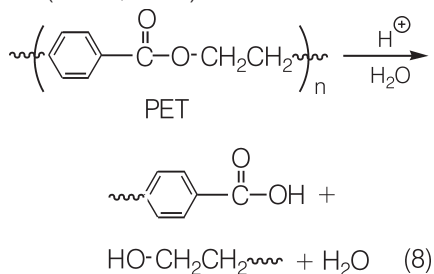
Figura 2: Corrosão eletroquímica, decorrente da exposição atmosférica, no gradil em monumento de ferro fundido situado na Praça Tiradentes (Centro do Rio de Janeiro): (a) vista da coluna do gradil; (b) detalhe ampliado da base da coluna.

Tabela 1: Alguns valores de potenciais padrões de eletrodo*.

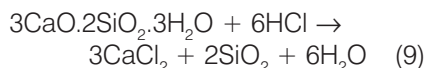
Reação do eletrodo	Potencial padrão, E^0 / V
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2,372
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}$	-1,662
$\text{Ti}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ti}$	-1,630
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0,762
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}$	-0,744
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0,447
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ni}$	-0,257
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}$	-0,126
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2$	0
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	0,342
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}$	0,800
$\text{Pd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pd}$	0,951
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Au}$	1,498

*CRC handbook of chemistry and physics. 79ª ed. Boca Raton: CRC Pres, 1979.

A destruição do concreto, observada nas pontes e viadutos, tem como uma de causas a corrosão química, devida à ação dos agentes poluentes sobre seus constituintes (cimento, areia e agregados de diferentes tamanhos). Essa corrosão também afeta a estabilidade e durabilidade das estruturas, sendo muito rápida e progressiva. Fatores mecânicos (vibrações e erosão), físicos (variação de temperatura), biológicos (bactérias) ou químicos (em geral ácidos e sais) são os responsáveis por esse processo (Gentil, 2003).



O concreto é constituído principalmente por silicatos e aluminatos de cálcio e óxido de ferro, que se decompõem ao entrar em contato com ácidos, conforme representado na Equação 9.



Uma segunda causa para a deterioração do concreto é a corrosão eletroquímica que ocorre nas armaduras de aço-carbono em seu interior. A Figura 3 ilustra dois exemplos de corrosão química em concreto armado e conseqüente exposição da estrutura de vergalhões de aço, a qual é passível de corrosão eletroquímica.

Corrosão eletrolítica

A corrosão eletrolítica se caracteriza por ser um processo eletroquímico, que se dá com a aplicação de corrente elétrica externa, ou seja, trata-se de uma corrosão não-espontânea. Esse fenômeno é provocado por *correntes de fuga*, também chamadas de parasitas ou estranhas, e ocorre com frequência em tubulações de pe-

tróleo e de água potável, em cabos telefônicos enterrados, em tanques de postos de gasolina etc. Geralmente, essas correntes são devidas a deficiências de isolamento ou de aterramento, fora de especificações técnicas. Normalmente, acontecem furos isolados nas instalações, onde a corrente escapa para o solo. A Figura 4 apresenta furos em tubos de aço-carbono causados por esse tipo de corrosão.

Como minimizar os efeitos da corrosão?

A corrosão é um permanente desafio ao homem, pois quanto mais a ciência cria, evolui e a tecnologia avança, mais ela encontra espaço e maneiras de se fazer presente.

Às vezes, o custo de um novo material que substituirá o antigo é de 20 a 50 vezes mais alto, o que inviabiliza a reposição. Assim, na maioria das vezes, é necessário o emprego de uma *técnica anticorrosiva*. Os processos mais empregados para a prevenção da corrosão são a proteção catódica e anódica, os revestimentos e os inibidores de corrosão.

A *proteção catódica* é a técnica que transforma a estrutura metálica que se deseja proteger em uma pilha artificial, evitando, assim, que a estrutura se deteriore (Dutra e Nunes, 1987). É graças à proteção catódica que tubulações enterradas para o transporte de água, petróleo e gás, e grandes estruturas portuárias e plataformas marítimas operam com segurança. A proteção catódica de estruturas metálicas é baseada na injeção de corrente elétrica por meio de duas técnicas: a *proteção por anodos galvânicos* (espontânea) e a *proteção por corrente impressa* (não-espontânea).

A Figura 5 mostra um exemplo de proteção catódica por anodos de zinco, em navios, onde há a formação de uma pilha na qual, em função de seu maior potencial de oxidação, o zinco atua como anodo e protege o ferro do casco do navio.

A *proteção anódica* baseia-se na formação de uma película protetora nos materiais metálicos por aplicação de corrente anódica externa, causando a



Figura 3: Corrosão química em concreto armado: (a) poste; (b) mureta (Boia Viagem, Niterói - RJ).



Figura 4: Corrosão eletrolítica em tubos de aço-carbono provocada por corrente de fuga: (a) em parte de um equipamento; (b) em uma tubulação industrial.



Figura 5: Proteção catódica por anodo de zinco em casco de navio: (a) vista inferior do navio em dique seco; (b) fixação do anodo de zinco no casco do navio.

passivação do metal. Apesar desse método ser eficiente, apresenta aplicação restrita pois necessita de condições específicas (Gentil, 2003).

Os revestimentos protetores geralmente são aplicados sobre superfícies metálicas formando uma barreira entre o metal e o meio corrosivo e, conseqüentemente, impedindo ou minimizando o processo de corrosão. As tintas, como as epoxídicas e o zarcão, são revestimentos muito utilizados na proteção de tubulações industriais, grades e portões. A *galvanização* é um método que consiste na superposição de um metal menos nobre sobre o metal que será protegido. É uma técnica muito empregada, como no caso de parafusos de ferro galvanizados com zinco.

Os *inibidores de corrosão* são substâncias inorgânicas ou orgânicas que, adicionadas ao meio corrosivo, objetivam evitar, prevenir ou impedir o desenvolvimento das reações de corrosão, sejam elas na fase gasosa, aquosa ou oleosa.

Nas últimas décadas, com o intuito de evitar ou minimizar os inconvenientes causados pelos processos corrosivos, têm sido desenvolvidos e estudados novos materiais mais resistentes e duradouros, como ligas metálicas, polímeros e cerâmicas. Grandes indústrias em todo o mundo

também têm investido em pesquisas no sentido de repensar projetos e processos em busca de soluções combinatórias, ao mesmo tempo mais eficazes e menos onerosas.

A corrosão no ensino de Química

Ao avaliar os diferentes tipos de corrosão, tem-se um conjunto de fenômenos químicos que representam situações comuns no dia-a-dia do aluno de Ensino Médio, como danos em eletrodomésticos e monumentos históricos. Assim, esse tema permite desenvolver diversos conteúdos, como reações de compostos inorgânicos, oxi-redução, cinética química, equilíbrio químico e eletroquímica, além dos casos de corrosão em polímero orgânicos. Ao se contextualizar o ensino, tem-se a possibilidade de abordar a relação entre a Química e os aspectos sociais, econômicos, ambientais e históricos, bem como do desenvolvimento de atividades interdisciplinares.

Fábio Merçon (mercon@uerj.br), licenciado em Química e engenheiro químico pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), doutor em Ciências (Engenharia Química) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), é docente do Departamento de Ciências da Natureza do Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira da UERJ e do Departamento de Tecnologia dos Processos Bioquímicos do Instituto de Química da UERJ (IQ-UERJ). **Pedro Ivo Canesso Guimarães**

(canesso@uerj.br), doutor em Ciência e Tecnologia de Polímeros pela UFRJ, químico industrial pela Universidade Federal Fluminense (UFF) e licenciado em Química pela UERJ, é docente do Departamento de Química Orgânica do IQ-UERJ. **Fernando Benedito Mainier** (mainier@nitnet.com.br), doutor em Ciências e engenheiro químico pela UFRJ, é docente do Departamento de Engenharia Química da UFF.

Referências bibliográficas

DUTRA, A.C. e NUNES, L.P. *Proteção catódica - Técnica de combate à corrosão*. Rio de Janeiro: Editora Técnica, 1987.

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

NUNES, L.P. e LOBO, A.C.O. *Pintura industrial na proteção anticorrosiva*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1990.

Para saber mais

BOCCHI, N.; FERRACIN, L.C. e BIAGGIO, S.R. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. *Química Nova na Escola*, n. 11, p. 3-7, 2000.

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

MAINIER, F.B.; GUIMARÃES, P.I.C. e MERÇON, F. Experimentos utilizados na determinação de taxas de corrosão em materiais metálicos. *Anais do XXX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*. Piracicaba, SP, 2002.

Abstract: Corrosion – A Common Example of Chemical Phenomenon – Corrosion is a known and commonly used chemical concept. In spite of being usually associated to metals, this is a much more wide-ranging phenomenon that occurs with non-metallic materials too. Due to its several types, this process is present in different situations, always associated to the reduction of the useful life of a given good. This work deals with the main aspects of corrosion and some of its prevention methods.

Keywords: corrosion, electrochemistry, quotidian