

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

PQI 3406 – Corrosão e Seleção de Materiais

APOSTILA

Prof.^a. Dr.^a. Idalina Vieira Aoki

**SÃO PAULO
2021**

Aula 1

Corrosão

Definição, Importância e Terminologia

1. Definição

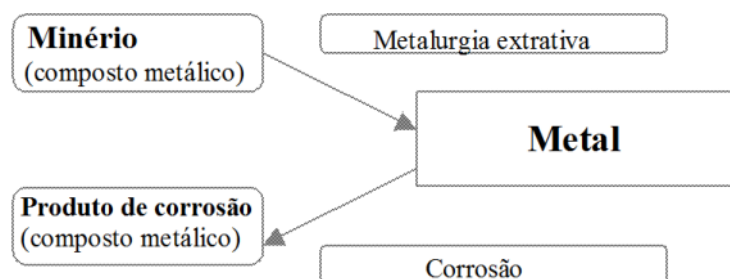
Corrosão é o processo em que um metal ou liga metálica, usado como material de construção, é transformado do estado metálico para uma forma combinada (produto de corrosão), por uma interação com o meio onde está inserido, levando-o à falha em serviço.

A interação entre o metal e o meio pode ser de natureza química ou eletroquímica e estar associada a esforços mecânicos.

Uma outra conceituação, simples, diz que a corrosão é o processo inverso do processo metalúrgico extrativo (vide figura 1.1). Parte-se do metal e tem-se como resultado da interação deste com o meio onde está inserido, o produto de corrosão, uma forma combinada do metal. Esse processo é espontâneo, podendo haver liberação de energia, pois o conteúdo energético do produto de corrosão é menor que o do metal de partida.

Embora a conceituação de corrosão abranja todos os materiais, aqui será tratada apenas a corrosão metálica envolvendo metais e suas ligas.

Figura 1.1



2. Importância Sócio-Econômica

Sendo a corrosão um processo destrutivo e presente em boa parte dos setores das atividades humanas, assume importância social e econômica para todos os cidadãos, desde um médico quando tem que escolher o material para a confecção de implantes ortopédicos ou mesmo de material de uso cirúrgico, até uma senhora dona-de-casa que tem que conviver com eletrodomésticos que apresentam falhas de funcionamento ou de estética pelo fato destes produtos não atenderem a requisitos mínimos de proteção contra a corrosão.

2.1 Importância Social

A importância social pode ser discutida com relação a três aspectos: segurança, saúde e desenvolvimento tecnológico.

O aspecto **segurança** está presente quando se tem que manipular, estocar ou transportar produtos perigosos ou extremamente agressivos à saúde humana, e qualquer falha na escolha de materiais resistentes à corrosão, projeto ou construção de peças e componentes de equipamentos, nesses sistemas, pode resultar em acidentes graves colocando em risco muitas vidas humanas. O mesmo pode ocorrer quando da falha imprevisível de partes críticas de: equipamentos industriais como vasos pressurizados e caldeiras, meios de transporte como automóveis, aviões e navios, e estruturas de edifícios, viadutos e pontes.

Com relação ao aspecto **saúde**, pode-se salientar os possíveis problemas advindos da contaminação com íons metálicos de alimentos acondicionados em embalagens metálicas, como consequência da corrosão destas. É preciso lembrar da possibilidade de contaminação da água potável de abastecimento, se materiais metálicos inadequados (construção de tubos ou revestimentos protetores) são usados nas tubulações de distribuição. São conhecidos alguns casos de saturnismo causados pelo emprego inadvertido de tubulações de chumbo – muito comuns alguns anos atrás, na construção de redes de esgotos e águas servidas – no reparo caseiro de trechos de tubulações da rede de água potável. O emprego de ligas não resistentes à corrosão em meio de soro fisiológico, pode causar a rejeição de peças utilizadas em implantes ortopédicos ou odontológicos e, por isso, esforços constantes são despendidos para o desenvolvimento de materiais resistentes à corrosão e biocompatíveis, destacando-se nesse uso, na atualidade, as ligas de titânio.

Figura 1.2

Cilindro de Titânio 99,99% puro, usinado, que se comporta como uma raiz dentária artificial

Outro aspecto relevante com relação à importância social da corrosão é o desenvolvimento tecnológico que resulta da procura de ligas resistentes e processos de proteção eficiente como revestimentos metálicos, poliméricos, tintas, inibidores etc.

Também não se pode desprezar os aspectos de conservação de energia e de conservação de reservas minerais, pois sempre que um metal corrói está se jogando a energia que foi empregada na sua obtenção e, como o produto de corrosão não apresenta viabilidade prática ou econômica de ser reciclado, também se contribui para a exaustão das reservas minerais. Um estudo já antigo revelou que se produz 40% a mais de metais para repor as perdas por corrosão e que desse montante, 65% é recuperado pela reciclagem da sucata e 35% é efetivamente perdido na forma de produto de corrosão, de onde o metal é irre recuperável.

2.2 Importância Econômica

Fica mais fácil compreender a importância econômica da corrosão quando se faz o exercício de imaginar a situação hipotética da não existência do fenômeno de corrosão.

Assim, podemos imaginar que seriam poucos os metais e ligas desenvolvidas, certamente alguns aços e cobre seriam suficientes para atender as necessidades de resistência mecânica e condutividade elétrica. Além disso, não se teria nenhuma grande indústria de tintas, de revestimentos metálicos ou de outro método de proteção qualquer. Uma indústria que não teria se desenvolvido, de forma alguma, seria a indústria aeronáutica, pois dependeu, principalmente, do desenvolvimento de ligas resistentes à corrosão em elevadas temperaturas. A indústria de produção de energia por via nuclear e a indústria de transporte de líquidos e gases por dutos de longa distância também devem seu desenvolvimento aos avanços criados no setor de prevenção contra corrosão. Sabendo-se o quanto essas indústrias representam na geração de riquezas, em nível mundial, pode-se afirmar que, na ausência de corrosão, a economia mundial seria de outro porte.

Alguns países fizeram levantamentos sobre quanto representavam os custos advindos de corrosão sobre as suas economias. O levantamento feito pelos EUA,

em 1975, pelo NBS (National Bureau of Standards) chegou à cifra de 4,2% do PIB, contra os 3,5% a que se chegou na Inglaterra, no famoso relatório Hoar. No Brasil, ainda não se conduziu nenhum estudo desta natureza, e aqui, adota-se a cifra de 3,5% do PIB como a estimativa destes custos. Em 1982, esses custos representavam 126 bilhões de dólares para os norte-americanos.

É importante ressaltar que esses custos não seriam muito diminuídos se medidas acertadas fossem sempre tomadas na proteção contra a corrosão, pois eles englobam os chamados custos diretos corretivos (aqueles decorrentes de reparos de falhas e substituição de componentes) e os custos diretos preventivos (os decorrentes da aplicação de métodos de prevenção contra corrosão ou de superdimensionamento) e os custos indiretos (provenientes de perda de produto valioso, lucros cessantes em função de paradas na produção e contaminação de produtos etc.).

3. Classificação da Corrosão

Há várias formas de se classificar a corrosão e elas variam de autor para autor. Numa tentativa de mostrar as formas mais comumente adotadas, tem-se:

- quanto ao mecanismo de interação: corrosão química
corrosão eletroquímica
- quanto à forma de ataque: corrosão uniforme ou generalizada
corrosão localizada
- quanto à presença de água: corrosão a úmido
corrosão a seco
- quanto à temperatura: corrosão a baixas temperaturas
corrosão a elevadas temperaturas (>200°C)

Dentre essas formas de classificação, a mais simples e que ajuda na identificação e diagnóstico do tipo de falha ocorrida é quanto à forma de ataque. Essa classificação se baseia no exame visual do componente corroído a olho desarmado ou com o auxílio de uma lupa.

3.1 Corrosão Generalizada

É o ataque uniforme onde a superfície corrói em toda a sua extensão, sem áreas preferenciais de ataque. Pode ser expressa em termos de perda de massa por unidade de área exposta do metal e por unidade de tempo, como: miligramas por decímetro quadrado por dia (mmd) ou qualquer outra unidade do Sistema Internacional de Unidades.

Em termos práticos, quando se quer dimensionar a parede de um tanque ou a espessura de parede de uma tubulação, a expressão da velocidade de corrosão do metal em termos de perda de massa não ajuda muito e, por isso, é comum se trans-

formarem essas velocidades de corrosão, calculadas ou medidas em termos de perda de massa, em outras que indiquem penetração ou perda de espessura por unidade de tempo, podendo-se utilizar tal velocidade para prever a vida útil de um equipamento ou dimensionar um novo equipamento para uma dada vida útil desejada. Para tanto, basta dividir a velocidade de corrosão expressa em termos de massa pela massa específica do metal, utilizando unidades coerentes. Assim:

$$\text{Perda de Espessura (L/\theta)} = \frac{\text{Perda de Massa [M/L}^2 \cdot \theta]}{\text{Massa específica [M/L}^3]}$$

A perda de espessura pode ser expressa em unidades do sistema inglês, comumente encontradas nos manuais de corrosão, em ipy (polegadas por ano); mpy (milésimos de polegada por ano); mmpy (milímetros por ano) ou em unidades do S.I. como submúltiplos do metro tal como $\mu\text{m/ano}$ (micrômetros por ano).

3.2 Corrosão Localizada

É o ataque que se estabelece em áreas preferenciais ou pontos discretos. As formas localizadas de ataque são as mais prejudiciais aos equipamentos pois, embora se tenha menor perda de massa, elas podem levar à perfurações profundas ou mesmo à fratura do metal, comprometendo o desempenho do equipamento, bem como a segurança dos operadores.

A caracterização da forma de ataque auxilia no esclarecimento da causa e do mecanismo de corrosão, bem como na aplicação de medidas de prevenção e proteção.

4. Terminologia Usada na Identificação dos Tipos de Corrosão

Quando se deseja identificar o tipo de corrosão que deu origem a uma falha, depara-se com inúmeras formas de dar nome ao tipo de corrosão ou falha.

Em alguns casos o nome da corrosão está associado ao tipo de ataque, ao meio corrosivo, à causa do ataque, aos fatores mecânicos associados à falha e até aos produtos de corrosão. A Tabela 1.1 mostra alguns exemplos de termos empregados.

Tabela 1.1 – Terminologia usada na identificação dos tipos de corrosão versus diversos fatores

<u>TIPO DE ATAQUE</u>	<u>MEIO AGRESSIVO</u>	<u>CAUSA DO ATAQUE</u>	<u>FATORES MECÂNICOS</u>	<u>PRODUTOS DE CORROSÃO</u>
Uniforme	Úmida	Pilha de concentração	Sob tensão	Escurecimento
Pite	Seca	Par bimetálico	Sob fadiga	Enferrujamento
Intergranular	Atmosférica	Célula ativo passiva	Erosão	Carepa
Seletiva	Por imersão	Corrente de fuga	Atrito	
Transgranular	Em solo	Impingimento		
Catastrófica	Em água do mar	Fragilização por H ₂		
Esfoliação	Sais fundidos	Fragilização Cáustica		
Filiforme	Microbiológica			
	Alta temperatura			
	Por metal líquido			

5. Principais Tipos de Corrosão

Os casos mais frequentes de corrosão e responsáveis por boa parcela das perdas econômicas e número de falhas em serviço são listados abaixo:

Corrosão atmosférica
 Corrosão galvânica
 Corrosão por pite
 Corrosão por aeração diferencial
 Corrosão intergranular
 Corrosão eletrolítica ou por corrente de fuga
 Corrosão seletiva

Corrosão associada a solicitações mecânicas
 corrosão sob tensão fraturante
 corrosão sob fadiga
 corrosão-erosão
 cavitação
 corrosão por atrito oscilante

fragilização por metal líquido
fragilização por hidrogênio
fratura por álcalis
Corrosão microbológica
Corrosão ou oxidação a temperaturas elevadas
Corrosão em armaduras de concreto