

## ENSAIOS SOBRE CORROSÃO: DETERIORAÇÃO DO AÇO-CARBONO EM FUNÇÃO DO TEMPO E DO MEIO

**Fábio Henrique de Souza**

fabio.souza081@academico.ifs.edu.br

**Maria Karolaine Barbosa de Matos**

karolainebmatos@gmail.com

**Yasmin Alves da Silva**

Ysmin380@gmail.com

**Resumo:** A corrosão é muito comum e pode ser qualificada de várias formas, a partir da maneira como atua, considerando os ambientes e situações quais estão submetidos os materiais, e o objeto o qual sofre com processo, causando prejuízos e danos tanto materiais, quanto físicos, em pequena ou em grande escala. O trabalho descrito mostra a ação da corrosão em arruelas de aço carbono, cujo principal componente é o ferro, logo o processo corrosivo é visto a partir da formação da ferrugem. De maneira dinâmica e com baixo custo desenvolveu-se uma metodologia capaz de facilitar o entendimento do processo corrosivo e apresentar as alterações em massa no material metálico usado, levando em conta os meios quais os objetos foram submetidos; podendo perceber, com a interpretação dos resultados obtidos, a influência da aeração e da quantidade de sais dissolvidos no processo da corrosão. Dessa forma, o trabalho é de grande influência para a análise prática do processo corrosivo, tendo em vista as reações que influenciam no desenvolvimento deste.

**Palavras-Chave:** Processo corrosivo, arruelas, ferrugem.

### INTRODUÇÃO

A corrosão é um fenômeno que ocorre com todos os materiais, sejam eles quais forem (JAMBO; FÓFANO, 2009), desde a madeira em sua decomposição biológica até o ser humano, que enfrenta processos de degradação do seu corpo constantemente. Entretanto, de uma forma mais universal, a corrosão pode ser definida como o processo

de deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos (GENTIL, 2009).

Todos os metais na natureza, exceto ouro, platina, prata, mercúrio e cobre, existem no estado combinado, ou seja, na forma de minerais (ou minério), que é termodinamicamente a forma mais estável (RAMANATHANN, 1997). Desse modo, os metais tendem a reagir espontaneamente com os líquidos ou gases do meio ambiente em que são colocados (GENTIL, 2009) a fim de alcançar sua estabilidade, por isso que em muitas das vezes pode-se admitir a corrosão como o inverso do processo siderúrgico, cujo objetivo principal é a extração do metal a partir de seus minérios ou de outros compostos, ao passo que a corrosão tende a oxidar o metal (GENTIL, 2009).

O processo corrosivo consiste em reações de oxirredução, onde os processos de oxidação e de redução são necessariamente co-ocorrentes, pois os elétrons liberados na oxidação são usados na redução (PALMA; TIERA, 2003), sendo que o metal perde seus elétrons e a substância que interage com o mesmo recebe a carga negativa. Logo a corrosão é um modo de destruição do metal, progredindo através de sua superfície (GENTIL, 2009).

Em um metal ideal os átomos metálicos individuais podem ser imaginados como se estivessem distribuídos em um arranjo

regular em três dimensões, com cada átomo cercado por um meio idêntico de átomos. Em outras palavras, cada átomo é indistinguível um do outro. Portanto os átomos metálicos estão todos em estado de energia idêntico, e nenhum átomo tem maior ou menor tendência de ir para a solução que o outro. A probabilidade de todos os átomos irem para a solução é a mesma e a corrosão não ocorre. Em cristais reais, entretanto, a situação é diferente. Em qualquer temperatura diferente do zero absoluto, os átomos do cristal estão em vibração térmica e, em qualquer instante, os estados de energia se diferem. O cristal metálico contém um número de imperfeições que existem nos contornos dos planos cristalinos incompletos, e os átomos situados nestas regiões têm uma maior tendência de ir para a solução que os átomos no meio do cristal (RAMANATHAN, 1997), essa é uma das explicações para a deterioração dos metais.

Quando ocorre a corrosão, o metal perde suas qualidades essenciais, tais como resistência mecânica, elasticidade, ductilidade e o produto de corrosão formado é extremamente pobre em termos destas propriedades (RAMANATHAN, 1997). Sendo assim, esse fenômeno gera uma série de danos e custos, tanto em pequena, quanto em grande escala, podendo ser diretos ou indiretos.

Os custos diretos são aqueles que associados às perdas de materiais, produtos e equipamentos ocasionados pela corrosão (JAMBO; FÓFANO, 2009). Já os custos indiretos são aqueles associados à prevenção dos danos causados pela corrosão às pessoas, meio ambiente e instalações (JAMBO; FÓFANO, 2009).

A corrosão pode, de um modo geral, ser classificada como corrosão seca ou corrosão aquosa (RAMANATHAN, 1997).

As formas, ou tipos, de corrosão podem ser apresentadas considerando-se a aparência ou forma de ataque e as diferentes causas da

corrosão e seus mecanismos.

Assim, pode-se ter corrosão de várias formas, quando se considera a morfologia do processo corrosivo, tem-se corrosão uniforme, por placas, alveolar, puntiforme ou por pite, intergranular (ou intercristalina), intragranular (ou transgranular ou transcristalina), filiforme, por esfoliação gráfitica, dezincificação, em torno de cordão de solda e empolamento pelo hidrogênio. Gentil (2009) diz também que é possível qualificar a corrosão a partir das causas e mecanismos, podendo se desenvolver por aeração diferencial, eletrolítica ou por correntes de fuga, galvânica, associada a solicitações mecânicas (corrosão sob tensão fraturante), em torno de cordão de solda, seletiva (gráfitica ou dezincificação), empolamento ou fragilização pelo hidrogênio.

Há outras maneiras de se classificar a corrosão, levando em consideração os fatores mecânicos (corrosão sob tensão, sob fadiga, por atrito ou associada à erosão), o meio corrosivo (corrosão atmosférica, pelo solo, induzida por microrganismos, pela água do mar, por sais fundidos etc.) ou a localização do ataque (corrosão por pite, uniforme, intergranular, transgranular, etc.).

Dentre os diversos materiais que podem sofrer a corrosão o aço carbono é o mais usado na indústria de maneira geral e, cerca de 20% do aço produzido destina-se a reposição de partes de equipamentos, peças ou instalações corroídas (FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2013), sendo o aço carbono uma liga metálica composta, predominantemente, de ferro, percebe-se que o composto formado pela corrosão é a popular ferrugem (óxidos de ferro II e III).

Em suma, a corrosão é um processo bastante comum, que acomete, desde grandes monumentos históricos, até simples latas de refrigerante e sabendo que a ferrugem é o exemplo mais comum de corrosão e o quanto ela está presente no cotidiano contemporâneo desenvolveu-se o projeto. Entretanto, de forma sintética, o trabalho objetivou analisar o processo corrosivo numa

liga metálica de aço-carbono, através da perda de massa e surgimento da ferrugem.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para desenvolver o projeto baseou-se no procedimento utilizado por Merçon et al. (2010).

Os materiais utilizados foram garrafas de plástico (pet de refrigerante com capacidade de 200 ml), arruelas de aço carbono, NaCl, esponja de aço e água.

Confeccionou-se os sistemas utilizando as garrafas de plástico. Para produzir os sistemas abertos cortou-se duas das garrafas pela metade e empregou-se apenas a parte do fundo para o trabalho, como mostra a figura 1. Já para a elaboração dos sistemas fechados, utilizou-se duas garrafas inteiras com tampa, da forma como está apresentado na figura 2.



Figura 1 - Esquema de construção dos sistemas abertos.



Figura 2 - Esquema de construção dos sistemas fechados

Preparou-se uma solução de cloreto de

sódio (3,5% m/v) e colocou-se 20 ml dessa em um sistema aberto e 20 ml noutro fechado. O mesmo fez-se com a água, sendo que foram distribuídas duas arruelas em cada sistema e as mesmas foram numeradas de 1 a 8, tendo em vista que as arruelas de número ímpar foram identificadas com um pedaço de linha amarrado nas mesmas, como indica a figura 3.

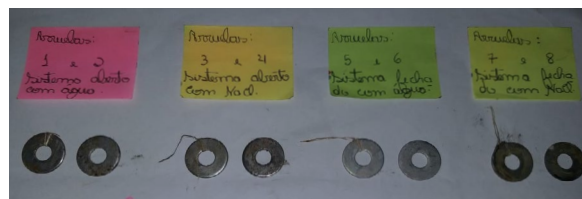


Figura 3 - Arruelas numeradas e identificadas

A cada semana eram substituídos os fluidos onde estavam submersas as arruelas e, no intervalo de duas semanas, era realizada a pesagem. Antes de pesar cada arruela fazia-se a limpeza de cada, retirando, com auxílio de uma esponja de aço, a camada de ferrugem formada. Na primeira pesagem foram medidas as massas das arruelas antes de desenvolver o experimento.

Nos sistemas abertos, foram provocadas perturbações manuais, de forma que agitou-se manualmente os dois sistemas abertos três vezes por dia todos os dias, a fim de aumentar a oxigenação no sistema.

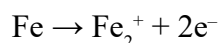
Durante o período de oito semanas foi desenvolvido o experimento e com base nos resultados obtidos realizou-se o tratamento dos dados, podendo-se interpretar os mesmos nas relações absolutas e relativas das variações mássicas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

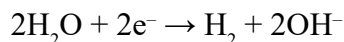
A formação de uma camada de ferrugem foi identificada por conta da coloração avermelhada no material metálico que antes possuía cor metálica e brilho característico do ferro (principal constituinte do aço carbono), com isso entende-se foi desenvolvida a corrosão

uniforme, já que a ferrugem se processou em toda a extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme da espessura (GENTIL,2009). Ao final do experimento obteve-se os dados representados nas tabelas 1 e 2 e percebeu-se que a perda de massa foi maior nos sistemas abertos e com solução salina.

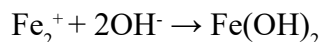
De acordo com Merçon *et al.* (2010), Palma e Tiera (2003), Gentil (2009) e muitos autores a formação da ferrugem começa quando o ferro sofre oxidação (perde elétrons para o meio), conforme indica a seguinte reação:



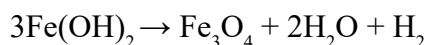
A água se reduz (recebe os elétrons perdidos pelo ferro, liberando hidroxilas e moléculas de hidrogênio.



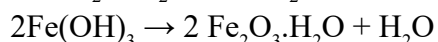
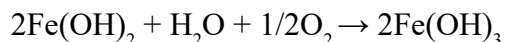
Posteriormente, o íon ferro II reage com a hidroxila e resulta na produção de hidróxido ferroso.



Em meios pouco oxigenados ocorre a formação de óxido de ferro II.



Em meios muito oxigenados forma-se hidróxido de ferro III e, em seguida, há formação de óxido de ferro III em maior quantidade que nos ambientes pouco oxigenados.



Constatou-se que, mesmo provocando perturbações manuais nos sistemas abertos, não pôde ser notada, de maneira significativa,

a presença de mais oxigênio devido à pouca perda de massa. Exemplificando as variações em massa das arruelas 3 (qual estava num sistema aberto) e 7 (qual estava num sistema fechado), como apresentado na tabela 1, não se observa muito contraste já que as diferenças entre a massas iniciais e finais são, respectivamente, 0.0559g e 0.0553g. De forma mais sucinta, de acordo com a tabela 2, percebe-se que a corrosão, em massa, no sistema aberto com água foi de 1.170% enquanto no sistema fechado com água o percentual encontrado foi de 0.140%. Com isso entende-se que um dos fatores que acelera a corrosão é a presença de oxigênio dissolvido pois esse consome os elétrons gerados na reação anódica (GENTIL, 2009).

Mais de uma fase pode existir simultaneamente em um sistema isolado com um componente, com volume e quantidade fixos, e com determinados valores de pressão e temperatura (BALL, 2005). As moléculas da superfície de um líquido (no caso, a água) podem escapar por evaporação, em seguida, a pressão exercida pelo vapor no espaço acima do líquido começará a aumentar. Depois de um curto período, a pressão do vapor atingirá um valor constante (BROWN, 2011) qual é chamado de vapor de pressão. Quando eram vistas gotas de água nas paredes das garrafas de plástico diz-se que foi notado o vapor de pressão, já que a evaporação e a condensação eram simultâneas e equivalentes e ocorreram a fim de garantir o equilíbrio termodinâmico do sistema. Dessa forma, percebe-se que, com a evaporação da água, era diminuída a concentração de oxigênio dissolvido e dessa forma era dificultado o processo corrosivo, por isso a corrosão atingiu mais lentamente nos ensaios fechados.

O fato de nos sistemas com sal dissolvido ter ocorrido a corrosão de maneira mais acelerada entre as arruelas pode ser explicado pois o processo de formação da ferrugem depende do transporte de elétrons, por isso

só ocorre na presença de água (para que seja de forma natural), e quando há mais sais dissolvidos, há uma maior presença de íons, o transporte da carga se dá de maneira mais acelerada e é favorecido o processo corrosivo do ferro. Levando em conta esses fatores pode-

se entender o fato da corrosão no litoral ocorrer de forma mais acelerada, pois o ar, tanto é mais úmido, quanto conta com a presença de partículas que facilitam o transporte de elétrons e, com isso, a formação da ferrugem.

**Tabela 1** - Variação mássica de cada arruela

Variação total nas massas de cada arruela								
Pesagem	Sistema Aberto				Sistema Fechado			
	Água		Solução		Água		Solução	
	1	2	3	4	5	6	7	8
1ª	2,6050g	2,7179g	2,6558g	2,7214g	2,9182g	2,6970g	2,3832g	2,3130g
2ª	2,6045g	2,7166g	2,6505g	2,7093g	2,9171g	2,6967g	2,3805g	2,3100g
3ª	2,6015g	2,7153g	2,6449g	2,6857g	2,9163g	2,6962g	2,3775g	2,3093g
4ª	2,5959g	2,7109g	2,6378g	2,6705g	2,9154g	2,6940g	2,3445g	2,2801g
5ª	2,5894g	2,7094g	2,5999g	2,6583g	2,9147g	2,6924g	2,3279g	2,2611g
Perda Total em Massa	0,0156g	0,0085g	0,0559g	0,0631g	0,0035g	0,0046g	0,0553g	0,0519g

**Tabela 2** - Variação média percentual das massas.

Taxa percentual média de corrosão				
Pesagem	Sistema Aberto		Sistema Fechado	
	Água	Solução	Água	Solução
1ª	0%	0%	0%	0%
2ª	0.035%	0.320%	0.020%	0.115%
3ª	0.080%	0.540%	0.025%	0.075%
4ª	0.185%	0.410%	0.055%	1.325%
5ª	0.150%	0.940%	0.040%	0.765%
Taxa Média Total	1.170%	2.210%	0.140%	2.280%

## CONCLUSÕES

A corrosão do ferro, principal componente das arruelas de aço-carbono, ocorreu de maneira uniforme visto que, após a retirada do produto da corrosão, o material apresentava a cor e brilho iniciais e a perda de massa foi distribuída uniformemente apenas pela superfície metálica.

O processo de corrosão nos sistemas abertos ocorreu de maneira mais acelerada, mas não considerável, pois para que isso

fosse possível, seria necessária a aeração dos ensaios, sendo que essa possibilitaria um aumento expressivo na concentração de oxigênio dissolvido, proporcionando uma maior rapidez nas reações e, com isso, aumento da corrosão na superfície do metal.

Foi possível entender a ação da pressão de vapor e a existência do equilíbrio termodinâmico nos sistemas fechados, estes são responsáveis pela diminuição do oxigênio dissolvido no meio aquoso e, com isso, é proporcionada a retardação no processo

de deterioração do ferro.

Nos ensaios que continham solução salina foi possível notar uma maior formação de ferrugem. Em meio aquoso os sais se dissociam em cátions e ânions, favorecendo o transporte de carga e as reações de oxirredução, necessárias para o desenvolvimento da corrosão.

Em síntese, com o desenvolvimento dos ensaios, quais foram simples e econômicos, e a partir dos resultados obtidos, pôde-se entender um processo tão comum que é a formação da ferrugem, levando em consideração as vertentes que propiciam a corrosão do ferro, a importância do conhecimento acerca do mesmo e os fatores que influenciam o desenvolvimento da corrosão.

## REFERÊNCIAS

- BALL, D. W. **Físico-Química Vol. 1**, 1ª ed. São Paulo: CENGAGE, 2005
- BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E.; BURDGE, J. R. **Química: a ciência central**, 9ª ed. São Paulo: Pearson Education, 2011
- CODARO, E.; ACCIARI, H.; SILVA, M.; PEREIRA, M. **CORROSÃO DO AÇO: UMA ABORDAGEM DO COTIDIANO NO ENSINO DE ENGENHARIA**; 2014. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/5/Artigos/126360.pdf>>. Acesso em 25 ago. 2019
- GENTIL, V. **Corrosão**, 5ª ed., Rio de Janeiro: editora LTC, 2009
- FRAUCHES-SANTOS, C.; ALBUQUERQUE, M. A.; OLIVEIRA, M. C. C.; ECHEVARRIA, A. **A Corrosão e os Agentes Anticorrosivos**; 2013. Disponível em: <<http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v6n2a09.pdf>>. Acessado em 25 ago. 2019
- JAMBO, H. C. M.; FÓFANO, S. **CORROSÃO: Fundamentos, Monitoração e Controle**. Rio de Janeiro: Editora Petrobrás, 2009
- MERÇON, F.; GUIMARÃES, P.; MAINIER, F. **Sistemas Experimentais para o Estudo da Corrosão em Metais**; 2010. Disponível em: <[http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc33\\_1/08-EEQ6810.pdf](http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc33_1/08-EEQ6810.pdf)>. Acesso em 25 ago. 2019
- PALMA, M.; TIERA, V. **Oxidação de metais**; 2002. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc18/A12.PDF>>. Acessado em 25 ago. 2019
- RAMANATHAN, L. V. **CORROSÃO E SEU CONTROLE**, 1ª ed. São Paulo: Hemus Editora, 1999