



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA - UNEB
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA I

CÁLCULO DA TAXA DE CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS

Pré-projeto apresentado como parte dos requisitos para obtenção de parte da nota da I unidade da disciplina Computação Aplicada a Engenharia, do curso de Engenharia de Produção Civil da Universidade do Estado da Bahia - UNEB.

Discentes: Clara Ferreira Santos e João Vinícius Duarte
Orientador: Profº Drº Robson Marinho da Silva

Salvador
2024

Sumário

1	Introdução	5
1.1	Motivações e justificativas	5
1.2	Objetivo	5
1.3	Metodologia de Pesquisa	5
1.4	Cronograma	6
2	Referencial teórico	6
2.1	Tipos de Corrosão	7
2.2	Taxa de Corrosão	11
2.3	Python	11
3	Proposta do programa	12
3.1	Objetivo	12
3.2	Descrição Narrativa	13
4	Script preliminar em Python	15
5	Considerações Parciais	15

Lista de Figuras

1	Corrosão Uniforme	7
2	Corrosão Por Placas	7
3	Corrosão Alveolar	8
4	Corrosão Puntiforme/Pite	8
5	Corrosão Transgular	8
6	Corrosão Intergranular	9
7	Corrosão Filiforme	9
8	Corrosão Esfoliação	9
9	Corrosão Grafítica	10
10	Corrosão por Dezincificação	10
11	Empolamento pelo hidrogênio	10
12	Exemplo de placas de metais diferentes submetidas a mesma condição climática para comparação.	11
13	Linguagem de programação em Python	12

Lista de Tabelas

1	Categorização da taxa de corrosão	13
---	---	----

Resumo

A análise das manifestações patológicas aborda as principais razões por trás das condições patológicas no aço, desde suas origens até os métodos de prevenção e salvaguarda. A presença de anomalias patológicas resulta na deterioração do aço, levando-o a não atender mais aos propósitos para os quais foi concebido. A corrosão é a principal anomalia encontrada no aço, propagando-se pela superfície em contato com agentes corrosivos e resultando na degradação do material metálico. A negligência de medidas preventivas e de reparação compromete o desempenho do aço, acarretando sérios riscos à segurança, portanto, é crucial garantir a manutenção adequada das estruturas metálicas desde as fases iniciais de projeto. No contexto da engenharia de materiais e estrutural, a criação de programas computacionais dedicados ao cálculo da taxa de corrosão em estruturas metálicas assume uma relevância crescente e estratégica. A corrosão, um processo natural e inevitável na interação dos metais com o ambiente, representa uma das principais causas de degradação e falha estrutural em diversos setores industriais e de infraestrutura. Nesse sentido, a disponibilidade de ferramentas computacionais capazes de prever e quantificar a taxa de corrosão é fundamental para a tomada de decisões informadas em relação ao gerenciamento de ativos, planejamento de manutenção e otimização de recursos.

1 Introdução

A corrosão é um fenômeno espontâneo e natural de reações químicas ou eletroquímicas que ocorrem na interface entre o meio corrosivo e o metal. Esse processo representa um meio de deterioração do metal, propagando-se pela superfície e afetando todos os metais sujeitos à corrosão, especialmente em ambientes agressivos. No Brasil, as construções de estruturas metálicas enfrentam desafios significativos devido às condições climáticas variáveis. A região experimenta amplas oscilações de temperatura, frequentemente no mesmo dia, além de volumes consideráveis de precipitação e poluição. Esse ambiente hostil pode causar diversas anomalias nas estruturas metálicas, tornando-se um fator preocupante para sua durabilidade e integridade. Além disso, representa um dos maiores desafios em termos econômicos, ecológicos e de segurança dentro da sociedade quando se trata de lidar com substâncias metálicas. Os gastos imediatos associados a esse material incluem a busca por materiais mais duráveis, aumentos na espessura, aplicação de revestimentos protetores, uso de inibidores de corrosão e métodos eletroquímicos, inspeções regulares, manutenção e reparos frequentes, além da necessidade de monitorar as condições ambientais e de infraestrutura.

Por esse motivo, a avaliação e o cálculo da taxa de corrosão em estruturas metálicas representam um elemento fundamental na engenharia, bem como na gestão de ativos industriais e de infraestrutura. A corrosão, fenômeno intrínseco à interação de metais com o ambiente circundante, é uma das principais causas de deterioração e falha estrutural em sistemas metálicos, acarretando consequências econômicas, ambientais e de segurança significativas. Portanto, ao longo deste estudo, será explorado o papel do Python na concepção de um programa capaz de estimar a taxa de corrosão em estruturas metálicas, mostrando que compreender e quantificar a taxa de corrosão é primordial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de mitigação de danos.

1.1 Motivações e justificativas

As estruturas metálicas desempenham um papel fundamental na engenharia civil e industrial, sendo amplamente empregadas na construção de edifícios, pontes, torres de transmissão, equipamentos industriais e uma variedade de outras aplicações. A popularidade e prevalência dessas estruturas são atribuídas às suas propriedades mecânicas superiores, incluindo resistência, durabilidade e capacidade de suportar cargas significativas.

Sendo assim, a criação de um programa em linguagem Python para o cálculo da taxa de corrosão em estruturas metálicas é crucial para a avaliação correta do risco de degradação, implementação de estratégias de manutenção adequadas, a segurança operacional e a sustentabilidade de infraestruturas metálicas em diversas áreas da engenharia.

1.2 Objetivo

O objetivo geral deste projeto de pesquisa é elaborar um programa através da linguagem Python capaz de realizar cálculo da taxa de corrosão em estruturas metálicas. Espera-se, dessa forma, um script capaz de executar os cálculos da maneira correta e confiável, que auxilie na compreensão, previsão e redução dos efeitos corrosivos sobre materiais metálicos, contribuindo assim para o desenvolvimento de soluções mais eficazes na engenharia de materiais e estrutural.

1.3 Metodologia de Pesquisa

Para realizar os estudos propostos, conforme consta nos objetivos, pretende-se seguir os seguintes passos:

1. Aprofundamento teórico de autores que versaram cálculo de taxa de corrosão;
2. Análise de exemplos práticos;
3. Verificar as funções do Python para utilização no programa;
4. Teste no programa realizado para averiguar o desempenho.

1.4 Cronograma

	30 dias	60 dias	90 dias
Definição do projeto	x		
Aprofundamento teórico	x		
Análise de exemplos práticos	x		
Verificar as funções do Python para utilização no programa		x	
Teste no programa realizado para averiguar o desempenho		x	
Finalização do pré-projeto de pesquisa		x	
Apresentação do pré-projeto		x	

2 Referencial teórico

De acordo com Gentil [2007], a corrosão é definida como a deterioração de um material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente juntamente ou não com esforços mecânicos (tração, compressão, flexão e torção).

A corrosão também pode ocorrer em materiais não-metálicos, por exemplo, na borracha, madeira, concreto e polímeros. Neste caso, a corrosão ocorre por meio da ação química ou térmica do meio sobre o material. A perda da elasticidade da borracha, devido à oxidação por ozônio, altera suas propriedades; as madeiras que são expostas a elevados teores de umidade, liberam vapores ácidos orgânicos, reduzindo sua resistência mecânica; e a deterioração do cimento do tipo Portland, o qual é empregado no concreto, é causada pela ação dos íons sulfato. Todos esses fenômenos são considerados corrosão, mas o termo mais empregado para designá-los é degradação Callister [2000].

Assim, quando ocorre a deterioração do metal devido ao processo de oxidação, inicia-se o fenômeno da corrosão. Em um ciclo negativo, ocorre um aumento na perda do metal, que se torna cada vez mais vulnerável aos danos resultantes do contato com o ambiente. Se o metal contiver ferro em sua composição, isso resulta na formação de ferrugem. Quando os metais ferrosos estão oxidados e corroídos, começam a produzir hidróxido ferroso, levando à formação da camada avermelhada conhecida como ferrugem. A ferrugem compromete a integridade do metal e, em alguns casos, torna a sua recuperação inviável, dependendo da extensão do dano.

Segundo Wolyneec [2003], os mecanismos eletroquímicos ocorrem em reações químicas que envolvem transferência de carga ou elétrons por meio de uma interface ou eletrólito. A corrosão eletroquímica é uma ação espontânea que pode ocorrer quando o metal se encontra em conexão com um eletrólito, onde ocorrem simultaneamente os processos anódico e catódico.

Os metais raramente são encontrados no estado puro. Eles quase sempre são encontrados em combinação com um ou mais elementos não-metálicos presentes no ambiente. Minérios são, de modo geral, formas oxidadas do metal. Os fenômenos de corrosão de metais envolvem uma grande variedade de mecanismos que, no entanto, podem ser reunidos em quatro grupos, a saber:

- Corrosão em meios aquosos (90)
- Oxidação e corrosão quente (8)

- Corrosão em meios orgânicos (1,8)
- Corrosão por metais líquidos (0,2)

Entre parênteses está indicada, de forma estimada, a porcentagem de cada um dos tipos de corrosão. A partir disso, é possível observar que de fato o meio mais propício para que a corrosão ocorra é meio exposto a líquidos.

2.1 Tipos de Corrosão

A corrosão em material metálico pode ser classificada em 11 tipos: uniforme, por placas, alveolar, puntiforme ou por pites, intergranular, transgranular, filiforme, esfoliação, corrosão gráfitica, dezincificação, empolamento pelo hidrogênio Gentil [2007] . Sendo definidos da seguinte maneira:

A. Uniforme

Corrosão que se processa em toda extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme de espessura. Segundo Gentil [2007], esta terminologia é usada, por alguns, como corrosão generalizada, que, porém, não deve ser empregada apenas para corrosão uniforme, pois pode-se ter, também corrosão por pite ou alveolar generalizada, isto é, em toda extensão da superfície corroída.



Figura 1: Corrosão Uniforme

B. Placas

Esse tipo de corrosão afeta apenas algumas partes do material, ou seja, é localizada em regiões da superfície metálica e não em toda extensão formando placas com escavações. Além disso, determinadas partes se soltam.

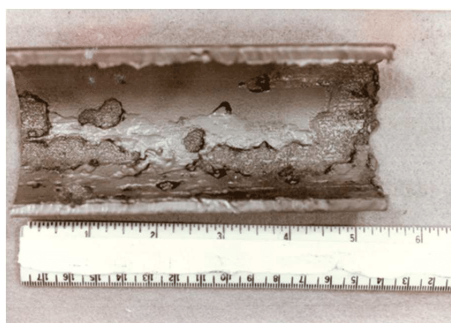


Figura 2: Corrosão Por Placas

C. Alveolar

Corrosão que se processa na superfície metálica produzindo sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos, apresentando fundo arredondado e profundidade geralmente menor que

seu diâmetro. Esse tipo de corrosão pode evoluir e ocasionar uma corrosão galvânica. É percebida com frequência em rolos que lidam com valor e cilindros hidráulicos.



Figura 3: Corrosão Alveolar

D. Puntiforme ou Pite

Corrosão que ocorre em pontos ou pequenas áreas localizadas na superfície metálica produzindo pites, que são cavidades que apresentam o fundo em forma angulosa e profundidade geralmente maior do que o seu diâmetro.



Figura 4: Corrosão Puntiforme/Pite

E. Transgranular

Este tipo de corrosão se processa nos grãos cristalinos da rede cristalina do material metálico, o qual, pela perda de suas propriedades mecânicas poderá fraturar à menor sollicitação mecânica, assim como no caso da corrosão intergranular, sendo que seus efeitos são muito mais catastróficos que o caso da corrosão intergranular.

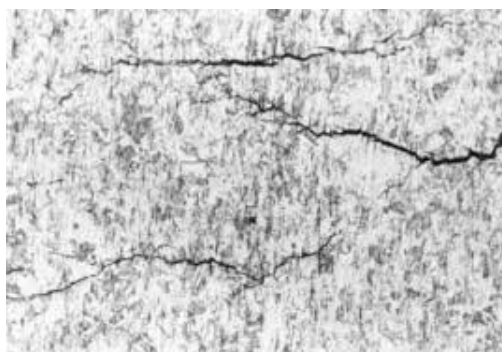


Figura 5: Corrosão Transgular

F. Intergranular

Este tipo de corrosão localiza-se entre os grãos da estrutura cristalina do material metálico, o qual perde suas propriedades mecânicas e pode fraturar quando submetido a esforços

mecânicos menores que o esperado, como é o caso da corrosão sob tensão fraturante (stress corrosion cracking, SCC).

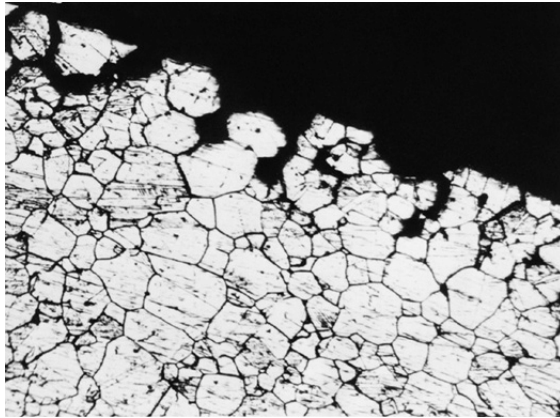


Figura 6: Corrosão Intergranular

G. Filiforme

Este tipo de corrosão se processa sob a forma de finos filamentos, mas não profundos, que se propagam em diferentes direções e que não se cruzam. Ocorre geralmente em superfícies metálicas revestidas com filmes poliméricos, tintas ou metais ocasionando o deslocamento do revestimento. Ocorre com mais frequência em ambientes cuja umidade relativa do ar é maior que 85 por cento.

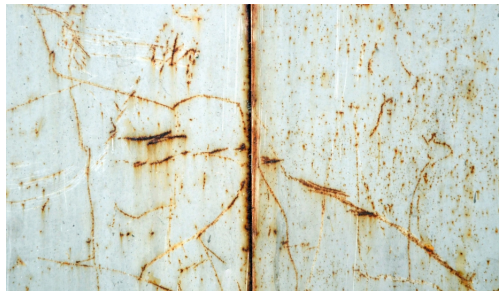


Figura 7: Corrosão Filiforme

H. Esfoliação

A corrosão se processa de forma paralela à superfície metálica. Ocorre em chapas ou componentes extrudados que tiveram seus grãos alongados e achatados.



Figura 8: Corrosão Esfoliação

I. Grafitica

O ferro fundido cinzento sofre esse tipo de corrosão, em temperatura ambiente, com a conversão do ferro metálico, deixando a área corroída com aspecto escuro, característico da grafita, que fica intacta e que pode ser facilmente retirada com espátula.

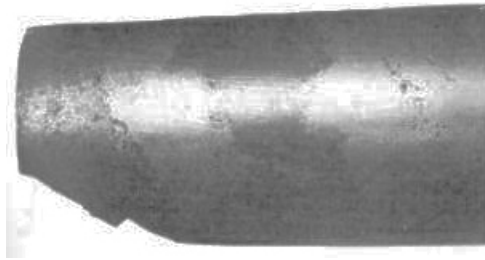


Figura 9: Corrosão Grafitica

J. Dezincificação

Essa corrosão ocorre em ligas de cobre-zinco (latões), corroendo, preferencialmente, o zinco e observando-se o aparecimento de regiões com coloração avermelhada, característica do cobre, diferenciando da coloração amarela típica dos latões.



Figura 10: Corrosão por Dezincificação

K. Empolamento pelo hidrogênio

Se o hidrogênio for gerado na superfície de um material, ele migra para o interior e acumula-se em defeitos existentes, como laminações ou inclusões não metálicas. O hidrogênio acumulado passa da forma atômica a molecular e provoca o aparecimento de altas pressões no interior da falha. Quando o acúmulo de hidrogênio ocorre em falhas próximas à superfície, a deformação pode provocar empolamentos, sendo comum denominar este processo de empolamento pelo hidrogênio.



Figura 11: Empolamento pelo hidrogênio

2.2 Taxa de Corrosão

A taxa de corrosão é uma medida que avalia a rapidez com que um metal se deteriora em determinado ambiente. Essencialmente, representa a velocidade na qual a corrosão afeta o metal, levando em consideração as condições ambientais, o tipo de metal e as características da peça em análise. Esses resultados desempenham um papel crucial na determinação do metal mais adequado para ser empregado em um ambiente específico. Por exemplo, a necessidade de manutenção em estruturas metálicas é substancialmente maior em regiões costeiras em comparação com áreas do interior do Brasil, devido à influência da umidade e da salinidade do ar. Utilizando os dados obtidos por meio desses cálculos, é viável estabelecer um planejamento de manutenção que atenda às exigências de setores industriais, entre outros. A avaliação correta das taxas de corrosão é, de modo geral, de grande importância para a determinação da vida útil provável de equipamentos e instalações industriais.



Figura 12: Exemplo de placas de metais diferentes submetidas a mesma condição climática para comparação.

2.3 Python

A linguagem de programação Python é muito interessante como primeira linguagem de programação devido à sua simplicidade e clareza. Embora simples, é também uma linguagem poderosa, podendo ser usada para administrar sistemas e desenvolver grandes projetos. É uma linguagem clara e objetiva, pois vai direto ao ponto, sem rodeios Menezes [2010]. Emergindo como uma ferramenta versátil e eficaz na criação de programas computacionais destinados, por exemplo, a calcular a taxa de corrosão de estruturas metálicas.

A versatilidade do Python é uma característica fundamental que o torna adequado para o desenvolvimento de programas voltados à análise da corrosão. Sua sintaxe clara e legível facilita a implementação de algoritmos complexos, proporcionando uma compreensão intuitiva e eficiente das operações realizadas no cálculo da taxa de corrosão. Essa clareza na codificação é essencial para a transparência e a replicabilidade dos resultados obtidos, aspectos cruciais no contexto acadêmico e científico. Segundo Menezes [2010], a linguagem Python foi escolhida por simplificar o trabalho de aprendizado e fornecer grande poder de programação. Como é um software livre, disponível praticamente para qualquer tipo de computador, sua utilização não envolve a aquisição de licenças de uso, muitas vezes a um custo proibitivo.

De acordo com Cruz [2015], o uso do Python é importantíssimo, visto que tal linguagem conta com uma vasta biblioteca-padrão e documentação, as quais possibilitam que muitas coisas sejam feitas sem dependências adicionais, o que por sua vez resulta em um rico ecossistema de melhoria da produtividade dos desenvolvedores. Essas bibliotecas reduzem

mm/ano não é recomendado o seu uso, nas condições avaliadas.

Faixa considerada	Intensidade de Corrosão
menor que 0,025 mm/ano	Baixa
0,025 a 0,12 mm/ano	Moderada
0,13 a 0,25 mm/ano	Alta
maior que 2,5 mm/ano	Severa

Tabela 1: Categorização da taxa de corrosão

3.2 Descrição Narrativa

1. Função "calcular taxa corrosao (W, D, A, T)":

- Esta função é definida para calcular a taxa de corrosão com base no peso da perda de metal (W), na densidade do metal (D), na área da superfície (A) e no tempo de exposição (T).

- Dentro da função, a taxa de corrosão é calculada e o resultado é retornado.

2. Entrada de dados do usuário:

- O programa solicita ao usuário que insira o peso da perda de metal em gramas, a densidade do metal em g/cm³, a área da superfície do metal em cm² e o tempo de exposição em horas.

- Os valores inseridos são armazenados nas variáveis W, D, A e T, respectivamente.

3. Cálculo da taxa de corrosão:

- O programa chama a função "calcular taxa corrosao" com os valores fornecidos pelo usuário (W, D, A e T) para calcular a taxa de corrosão.

4. Determinação do nível de corrosão:

- Com base na taxa de corrosão calculada, o programa determina o nível de corrosão.
- Se a taxa de corrosão estiver abaixo de 0,025, o programa imprime "A corrosão é Baixa."

- Se a taxa de corrosão estiver entre 0,025 e 0,12, imprime "A corrosão é Moderada."

- Se a taxa de corrosão estiver entre 0,13 e 0,25 (inclusive), imprime "A corrosão é Alta."

- Caso contrário, imprime "A corrosão é severa."

5. print():

- A função print() é utilizada para exibir mensagens para o usuário, como instruções para inserir os dados de entrada ou para imprimir o resultado do cálculo da taxa de corrosão e o nível de corrosão.

6. float()

- A função float() é crucial em programas Python que lidam com entrada de dados que representam valores numéricos, especialmente quando esses valores são inseridos pelo usuário.

7. input()

- A função input() é uma função embutida em Python que permite que um programa interaja com o usuário, solicitando entrada de dados por meio do teclado. No programa em questão, a função input() é utilizada para coletar os seguintes dados: peso da perda de metal (W), densidade do metal (D), área de amostra do metal (A) e tempo de exposição (T).

8. def

- A palavra-chave def é usada para definir uma função personalizada em Python. No programa, é usada para definir três funções personalizadas: "calcular taxa corrosao", "entrada dados" e "determinar nivel corrosao".

9. If, elif e else

- A estrutura condicional if é usada para realizar verificações condicionais no programa. No programa, é usada para determinar o nível de corrosão com base na taxa de corrosão calculada. Cada bloco if, elif e else contém condições que são avaliadas e, dependendo do resultado, executa o bloco de código correspondente.

4 Script preliminar em Python

```
#algoritmo que calcula a taxa de corrosao de estruturas metalicas

#vamos definir uma funcao para W , D , A, T em calcular_taxa_corrosao

def calcular_taxa_corrosao(W, D, A, T):

    taxa_corrosao = 87,6 * (W / (D * A * T))
    return taxa_corrosao

W = float(input(" Digite o peso da perda de metal em gramas: "))
D = float(input(" Digite a densidade do metal em g/cm : "))
A = float(input(" Digite a area da superficie do metal em cm : "))
T = float(input(" Digite o tempo de exposicao em horas: "))

#atribuir taxa a calcular taxa de corrosao
taxa = calcular_taxa_corrosao(W, D, A, T)

# Calculo da taxa de corrosao
taxa_corrosao = 87.6 * (W / (D * A * T))

# Determina o do nivel de corrosao
#Se a taxa de corrosao for menor que 0,025 imprima
"A corrosao e Baixa"
if taxa_corrosao < 0.025:
    print("A corrosao e Baixa.")
#Se a taxa de corrosao for entre 0.025 a 0.12 imprima
"A corrosao e Moderada"
elif 0.025 <= taxa_corrosao <= 0.05:
    print("A corrosao e Moderada.")
#Se a taxa de corrosao for entre 0.13 a 0.25 imprima
"A corrosao e Alta"
elif 0.13 <= taxa_corrosao <= 0.12:
    print("A corrosao e Alta.")
#Se n o imprima "A corrosao e severa"
else:
    print("A corrosao e severa.")
```

5 Considerações Parciais

A partir da pesquisa realizada, é notório a importância e necessidade de calcular as taxas de penetração da maneira correta, bem como conhecer os tipos de corrosão. Pois, o conteúdo apresentado tem utilidade não só em determinadas disciplinas do curso de Engenharia Civil, mas também na vida do profissional na área da construção civil, de modo que seja possível garantir uma construção segura. A corrosão é um dos principais problemas enfrentados por estruturas metálicas, como pontes, dutos, tanques, e navios. Ao calcular a taxa de corrosão, os engenheiros podem monitorar a degradação dos materiais ao longo do tempo e

implementar medidas preventivas para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas. Com base na taxa de corrosão calculada, os engenheiros podem tomar decisões informadas sobre a manutenção, reparo ou substituição de componentes metálicos. Isso ajuda a otimizar os recursos disponíveis e a reduzir custos associados à manutenção corretiva.

Referências

LTC Gentil, V. editora, 5 a edição. *Rio de Janeiro*, 2007.

William Callister. *Ciência E Engenharia de Materiais: Uma Introdução* . Grupo Gen-LTC, 2000.

Stephan Wolynech. *Técnicas eletroquímicas em corrosão Vol. 49*. Edusp, 2003.

Nilo Ney Coutinho Menezes. Introdução a programação com python. *São Paulo: Novatec*, page 34, 2010.

Felipe Cruz. *Python: Escreva seus primeiros programas*. Editora Casa do Código, 2015.