



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**Licenciatura em Engenharia Mecânica**

**Efeito do Ambiente marítimo na corrosão de contentores de lixo na zona da Costa do Sol: Análise e Proposta de medidas de proteção**

**Autor:** Joaquim Fernandes do Rosário Impuanha

Projecto Final do Curso

**Supervisores:**

Prof<sup>o</sup>. Eng<sup>o</sup> Suleimane Cassamo, MSC

Eng<sup>o</sup> Job Taimo Guitiche

Maputo, 29 de Fevereiro de 2024



# **Efeito do Ambiente marítimo na corrosão de contentores de lixo na zona da Costa do Sol: Análise e Proposta de medidas de proteção**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica, entregue como requisito para a obtenção do grau de licenciatura em Engenharia Mecânica.

**Autor:** Joaquim Fernandes Do Rosário  
Impuanha

**Supervisores:**

Prof<sup>o</sup>. Eng<sup>o</sup> Suleimane Cassamo, MSC

Eng<sup>o</sup> Job Taimo Guitiche

Maputo, 29 de Fevereiro de 2024

## **Aprovação do Júri**

Este trabalho foi examinado no dia \_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_ por nós, membros do júri examinador da Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Eduardo Mondlane.

O presidente da mesa de Júri

---

O arguente

---

O Supervisor

---

Co- Supervisor

---

## Declaração de Honra

Eu, **Joaquim Fernandes Do Rosário Impuanha**, declaro por minha honra que o presente projecto final do curso é resultado de investigação pessoal e de orientações do meu supervisor, e que o seu conteúdo é original, com todas as fontes consultadas devidamente mencionadas no texto e na bibliografia final.

Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para obtenção de qualquer grau académico.

O candidato

---

(Joaquim Fernandes Do Rosario Impuanha)

\_\_/\_\_/\_\_

## Declaração do Supervisor

Eu, declaro que supervisionei o presente trabalho de final do curso, do estudante **Joaquim Fernandes Do Rosario Impuanha** e declaro também que é a primeira vez que este trabalho é entregue para a obtenção de um grau académico numa instituição educacional.

O Supervisor

---

(Suleimane Cassamo Abdulremane)

\_\_/\_\_/\_\_

Co- Supervisor

---

(Job Taimo Guitiche)

\_\_/\_\_/\_\_

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho aos meus Pais, o Senhor Rosário Joaquim Impuanha e a Senhora Palmira Augusto Janze, por sua ajuda e apoio, bem como aos meus irmãos pelo apoio.

## **Agradecimentos**

Primeiramente à Deus pela saúde, pela força de cá estar a apresentar o presente trabalho por fazer parte da minha vida em todas as minha caminhada.

Aos meus pais o senhor Rosário Joaquim Impuanha e a Senhora Palmira Aogosto Jase pelo apoio, amor, e pela força que me proporcionam em toda a minha caminhada.

Aos meus amigos pela ajuda força por estarem sempre presente quando precisava.

À Instituição pela a oportunidade de conhecer a dinâmica universitária, pois pude crescer, aprender e criar amizades.

A todos os professores, pelo conhecimento e pelos ensinamentos transmitidos durante a carreira. Em especial ao Supervisor Eng<sup>o</sup> Job Taimo Guitiche e oa Prof. Eng<sup>o</sup> Suleimane Cassamo, MSC, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

Á todos que directa ou indirectamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado

## Índice

Dedicatória.....	IV
Agradecimentos .....	V
Lista de Figuras .....	X
Lista de Tabelas .....	XI
Lista de gráficos.....	XI
Lista de Símbolos .....	XII
Resumo.....	XIII
Abstract.....	XIV
CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Introdução .....	1
1.2. Problematização.....	3
1.3. Justificativa.....	5
1.4. Hipóteses .....	6
1.5. Objectivos.....	6
1.5.1. Objectivo Geral .....	6
1.5.2. Objectivos Específicos .....	6
1.6. Estrutura do trabalho .....	7
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DE LITERATURA .....	8
2.1. INTRODUÇÃO A CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS.....	8
2.2. CLASSIFICAÇÃO DA CORROSÃO.....	10
2.2.1. Classificação segundo o Meio .....	10
2.2.2. Classificação segundo a Morfologia .....	11
2.3. PRINCIPAIS FORMAS DE CORROSÃO .....	13
2.4. CORROSÃO LOCALIZADA .....	13

2.5. FACTORES QUE PROPORCIONAM A CORROSÃO LOCALIZADA.....	15
2.6. CORROSÃO DEVIDO A FATORES METALÚRGICOS .....	15
2.7. FATORES QUE POTENCIALIZAM A AÇÃO DEGRADANTE DA CORROSÃO.....	17
2.8. CORROSÃO ATMOSFÉRICA .....	17
2.8.1. O ambiente ácido acelera o processo de oxidação .....	20
2.8.2. Efeito do pH .....	20
2.9. MECANISMOS DE CORROSÃO ATMOSFÉRICA .....	21
2.10. CORROSÃO EM ÁGUAS.....	24
2.11. CORROSÃO ELECTROQUÍMICA .....	25
2.12. PILHAS DE CORROSÃO ELETROQUÍMICA .....	26
2.13. PRINCIPAIS TIPOS DE PILHA DE CORROSÃO ELETROQUÍMICA .....	27
2.14. MATERIAIS METÁLICOS.....	31
2.14.1 Características dos materiais metálicos.....	31
2.14.2 Resistência a Corrosão .....	32
2.15. O SISTEMA FERRO-CARBONO.....	32
2.15.1 Aços.....	33
2.15.2 Corrosão nos aços carbono.....	34
2.15.3 Influência dos elementos de liga nos aços carbono.....	35
2.16. AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS E SUA RESISTÊNCIA À CORROSÃO .....	36
2.17. MÉTODOS QUE MELHORAM A RESISTÊNCIA A CORROSÃO .....	37
2.17.1. Técnicas para prevenção de corrosão em estruturas de aço .....	38
2.17.2. Galvanização das partes metálicas .....	39
2.17.3. Pintura das partes metálicas .....	42
2.17.4. Proteção Catódica.....	44
2.17.5. Métodos de Proteção Catódica.....	45

2.17.6. Proteção catódica por corrente impressa.....	46
2.17.7. Ânodos Inertes.....	47
2.18. HISTORIA DO SURGIMENTO DOS CONTENTORES DE LIXO.....	48
2.18.1 Caçamba.....	49
2.18.2 Contentores metálicos.....	49
2.18.3 O processo de fabricação de contentores metálico.....	50
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO.....	51
CAPÍTULO 4 - CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO.....	52
4.1. Caracterização da Área de Estudo.....	52
4.2. Processo de Gestão dos resíduos sólidos na área marginal da Cidade de Maputo.....	53
4.3. Localização dos contentores na zona em estudo.....	55
4.4. Material de estudo.....	55
4.5. Tipo de corrosão experimentado por esse tipo de contentor em ambiente marítimo da Costa do Sol.....	56
4.5.1. Corrosão uniforme.....	56
4.5.2. Corrosão por frestas.....	57
4.5.3. Corrosão por pites.....	58
4.6. Análise de PH, ação do vento, temperatura, humidade, salinidade da água da zona em estudo.....	59
4.6.1. Salinidade da água.....	59
4.6.2. Análise de PH.....	60
4.6.3. Ação do vento.....	60
4.6.4. Temperatura.....	62
4.6.5. Humidade.....	63
4.6.6. Teor de Cloretos.....	65

4.6.7. Radiação Solar.....	65
CAPÍTULO 5 - METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA.....	66
5.1. Material Metálico.....	66
5.2. Proteção dos Contentores Metálicos pelo Método de Galvanização a Frio .....	66
5.3. Proteção Através da Pintura.....	67
5.4. Preparação da Superfície Metálica Para a Pintura .....	72
a) Limpeza Manual .....	74
b) Limpeza com Ferramentas Mecânicas Manuais .....	74
c) Limpeza com Jateamento Abrasivo .....	74
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	76
6.1. CONCLUSÕES .....	76
6.2. RECOMENDAÇÕES .....	77
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78

## Lista de Figuras

Figura 1: Formação da ferrugem por processos eletroquímicos. ....	9	
Figura 2: Formas de corrosão. ....	13	
Figura 3: Corrosão eletroquímica.....	27	
Figura 4: Eletrólito .....	28	
Figura 5: Área anódica e catódica .....	28	
Figura 6: Pilha Galvânica .....	29	
Figura 7: Diferencial Iônico .....	30	
Figura 8: Concentração Iônica Diferencial.....	30	
Figura 9: Aeração Diferencial .....	31	
Figura 10: Ciclo dos metais .....	32	
Figura 11: Aços inoxidáveis obtidos a partir da alteração da composição química do AISI 304. ....	37	
Figura 12: Elementos que formam a processo de corrosão. ....	39	
Figura 13: Galvanização a quente por imersão. ....	40	
Figura 14: Galvanização por borrifamento a quente. ....	40	
Figura 15: Galvanização a frio. ....	41	
Figura 16: Processo de eletrodeposição.....	41	
Figura 17: Processo eletroquímico da eletrodeposição. ....	42	
Figura 18: Esquema para proteção catódica do ferro .....	45	
Figura 19: Sistema de proteção catódica galvânica ou por anodo de sacrifício. ....	45	
Figura 20: Sistema de proteção catódica por corrente impressa .....	47	
Figura 21: Caminhão equipado com equipamento poligüindaste simples e caçambas .....	48	
Figura 22: Caçamba estacionária	Figura 23: Caçamba rollon-off.....	50
Figura 24: Caçamba basculante	Figura 25: Contêiner com rodízio .....	50
Figura 26: Localização geográfica da área de estudo.....		53
Figura 27: Contentor da Ecolife Usado na Zona Urbana no Município de Maputo .....		54
Figura 28: Contentor Usado pela Eviro Service nas Zonas Suburbanas do Município de Maputo .....		54
Figura 29: apresenta uma visão em perspectiva dos contentores. ....		55
Figura 30: A forma como a corrosão uniforme afeta uma peça em aço.....		56
Figura 31: Corrosão por frestas .....		57

Figura 32: Corrosão por pites. ....	58
Figura 33: Unidade de Salinidade Prática dos oceanos. ....	60
Figura 34: Quadro descritivo de tintas ....	68
Figura 35: Componentes A (pigmento: pó de zinco e cargas especiais) e B (resina: epóxi - poliamida) do primer epóxi amida rico em zinco. ....	70
Figura 36: Componentes A (pigmento: tintoriais) e B (resina: poliéster – acrílico – isocianato alifático) do esmalte poliuretano alifático. ....	71
Figura 37: Exemplo de pistola convencional com o recipiente acoplado diretamente à pistola ...	72
Figura 38: Representação esquemática de um conjunto para jateamento abrasivo. ....	75

### **Lista de Tabelas**

Tabela 1: Apresenta características de atmosferas com maior ou menor grau de corrosividade. .	19
Tabela 2: Corrosão do aço carbono em águas doces e salgadas. ....	25
Tabela 3: Espessura mínima de película de tinta anticorrosive. ....	44
Tabela 4: Ânodos Inertes para Sistemas de proteção por Corrente Impressa ....	48
Tabela 5: Direção, velocidade média e rajda do vento em Maputo Costa do Sol (Estatísticas baseadas em observações feitas entre 1/2023 - 12/2023) ....	61
Tabela 6: Temperatura média anual em Maputo Prai do Mira Mar(Estatísticas baseadas em observações feitas entre 1/2023 - 12/2023) ....	63

### **Lista de gráficos**

Gráfico 1: Correlação entre o pH e a taxa de corrosão do ferro. ....	20
Gráfico 2: Influência da humidade relativa atmosférica na corrosão do ferro ....	26
Gráfico 3: Velocidade média do vento em Maputo Costa do Sol (Estatísticas baseadas em observações feitas entre 1/2023 - 12/2023) ....	61
Gráfico 4: Temperatura média anual em Maputo Costa do Sol (Estatísticas baseadas em observações feitas entre 1/2023 - 12/2023) ....	62
Gráfico 5: Níveis de humidade em Maputo Costa do Sol (Estatísticas baseadas em observações feitas entre 1/2023 - 12/2023).....	64

Gráfico 6: Chuva mensal média em Maputo (Estatísticas baseadas em observações feitas entre 1/2023 - 12/2023) .....	64
Gráfico 7: Média de energia solar de ondas curtas incidente em Maputo (Estatísticas baseadas em observações feitas entre 1/2023 - 12/2023) .....	65

### **Lista de Símbolos**

- CCC - Cúbica de corpo centrado.
- CFC - Cúbica de faces centradas.
- CNC – Comando numérico computadorizado
- PSU – Polissulfonas
- PP – Plástico polipropileno
- UV – Radiação ultravioleta
- PEAV – Plástico polietileno
- pH – Potencial hidrogeniônico
- ddp – Diferença de potencial
- PIB – Produto Interno Bruto
- UR – Unidade relativa
- Fe – Ferro
- O<sub>2</sub> – Oxigénio
- OH – Hidróxido
- H<sub>2</sub>O – Agua
- Fe (OH) – Hidróxido férrico
- SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub> – Dióxido de enxofre, Óxido sulfúrico
- CO<sub>2</sub> - Dióxido de carbono
- N<sub>2</sub>O, NO e NO<sub>2</sub> – Óxido Nitroso, Nobélio, Óxidos de azoto.
- H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – Ácido carbônico
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> –Ácido sulfúrico
- Ni– Níquel
- Al– Cobre
- Cu– Alumínio

## **Resumo**

No presente trabalho faz-se a análise dos factores que levam a corrosão dos contentores metálicos na zona da Costa do Sol e propõem-se medidas de protecção a fim de aumentar o tempo de vida útil dos mesmos.

Primeiramente faz-se o estudo dos tipos de contentores de lixo existentes, suas vantagens e desvantagens, bem como a sua importância na sociedade. Em seguida faz-se o estudo do processo de fabricação dos contentores existentes no mercado, faz-se também o estudo do tipo de material do qual são feitos os contentores a fim de constatar que são ou não resistentes à corrosão em ambiente marítimo.

Faz-se o estudo do ambiente costeiro da Costa do Sol, a fim de conhecer a humidade relativa da região, temperatura predominante, escala do vento na região, acidez do ambiente (desde o PH da região até ao tipo de partículas sedimentadas presentes na atmosfera) a fim de analisar-se provocam a aceleração do processo corrosivo naquela região, também estuda-se onde são colocados os contentores no solo (uma vez que o solo também contribui na corrosão), na estrada alcatroada ou pavimentada, ou suspenso como é o caso de contentores cilíndricos metálicos de pequenas dimensões com diâmetro de 700 mm e comprimentos de 1000 mm.

Faz-se o estudo do tipo de corrosão frequentemente experimentado pelos contentores de lixo alocados em ambientes costeiros a fim de encontrar os melhores métodos de protecção desses efeitos, faz-se também o estudo dos tipos de revestimentos a qual os contentores metálicos podem receber para evitar a oxidação do metal em especial atenção na pintura e os tipos de processo de galvanização e os motivos que levam a sua remoção na estrutura.

Após feito todo o estudo acima mencionado faz-se a identificação dos factores que mais influência no aumento da velocidade de corrosão e posterior propor medidas de protecção dos contentores.

Palavras chaves: Corrosão. Protecção Galvânica. Pintura.

## **Abstract**

This work analyzes the factors that lead to the corrosion of metal containers in the Costa do Sol area and proposes protective measures to increase their useful life.

Firstly, the types of existing garbage containers are studied, their advantages and disadvantages, as well as their importance in society. Secondly, the manufacturing process of containers on the market is studied, and the type of material from which the containers are made is also studied, in order to determine whether or not they are resistant to corrosion in the environment in which they are allocated.

The coastal environment of the Costa do Sol is studied in order to know the relative humidity of the region, predominant temperature, wind scale in the region, acidity of the environment (from the PH of the region to the type of sediment particles present in the atmosphere ) in order to analyze whether they cause the acceleration of the corrosive process in that region, also study where the containers are placed on the ground (since the ground also contributes to corrosion), on the tarmac or paved road or suspended, as is the case with cylindrical containers small metals with a diameter of 700 mm and lengths of 1000 mm.

The type of corrosion frequently experienced by garbage containers located in coastal environments is studied in order to find the best methods of protecting these effects. The types of coatings that metal containers can receive to avoid the oxidation of the metal, with special attention to painting and the types of galvanizing processes and the reasons that lead to its removal from the structure.

After carrying out the study mentioned above, the factors that most influence the increase in the rate of corrosion are identified and measures are subsequently proposed to protect the containers.

**Keywords:** Corrosion. Galvanic Protection. Painting

## **CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO**

### **1.1. Introdução**

Quem mora em locais próximos à praia já sabe: a ação da maresia, que traz sais do oceano pelo ar, é cruel para alguns materiais, como o ferro. A exposição contínua à humidade e ao salitre pode acelerar a corrosão e diminuir a vida útil de objetos e eletrodomésticos. Se na orla essa situação já demanda medidas para proteção, prolongar a vida útil de estruturas metálicas e equipamentos se torna um desafio e tanto quando estamos cercados de água salgada por todos os lados. O controle da corrosão é, portanto, um item de grande potencial de ganho, cada vez mais considerado nos processos industriais. A corrosão é um dos principais vilões das instalações industriais e demanda para o seu controle cerca de 3,5% do PIB de alguns países desenvolvidos. (Fonte: <https://medium.com/petrobras/vento>).

A corrosão é um fenómeno natural, espontâneo e irreversível, em que o material sofre degradação, retornando ao seu estado de menor energia. Esse mecanismo de degradação afeta grande parte dos materiais que se tem contacto no dia a dia, seja como ferrugem em uma cerca de ferro, degradação de estacas ou tubulações, onde a corrosão ataca principalmente a região em contacto com o fluido corrosivo, seja interna ou externamente, como canalizações subterrâneas de água, gás e petróleo que atravessam a terra (ROBERGE, 2008).

Este processo de degradação reflete na mudança de características geométricas (afinamento) e mecânicas do material, como elasticidade, ductilidade, entre outras. Algumas formas de corrosão são mais perceptíveis que outras, como o caso da uniforme, em que há perda na superfície do material, reduzindo sua espessura. No entanto, alguns outros processos corrosivos quase não apresentam alteração visual ou redução de massa do material, como o pite, por exemplo. Porém, também provocam mudanças em suas propriedades, podendo o levar a falha. Neste caso, os ensaios usuais de perda de massa e de espessura não são suficientes para garantir a integridade destes materiais, como observado por Roberge (2008).

A corrosão de equipamentos e estruturas ocorre a nossa volta diariamente e, sendo assim, é necessário que se tenha conhecimento do mecanismo deste processo destrutivo para que se possa combatê-lo com eficiência. Segundo (GENTIL, 2011) a corrosão afeta nossa sociedade de diferentes maneiras, quer seja no aspecto econômico, quer seja no aspecto social.

No aspecto econômico pode-se enumerar algumas consequências:

- Troca do equipamento corroído;
- Utilização de maiores coeficientes de segurança;
- Manutenção corretiva e preventiva (p.ex., através da pintura);
- Dano do equipamento;
- Contaminação de produto (que pode ocorrer, p.ex., na indústria alimentícia ou farmacêutica); Perda de eficiência (p.ex., em trocadores de calor);
- Gastos com energia elétrica e combustíveis, como consequência de perdas de água, vapor ou ar comprimido;
- Danos em equipamentos adjacentes;
- Maior capital de giro (pela manutenção de estoques e sobressalentes);

No aspecto social pode-se enumerar algumas consequências:

- Exaustão dos recursos naturais. Foi calculado, na Inglaterra do início dos anos 70, que uma tonelada de aço seria convertida em ferrugem a cada 90 segundos. Além da perda metálica (que inclui os elementos de liga presentes no aço, cujas reservas são limitadas), a energia requerida para produzir uma tonelada de aço, a partir de minério, seria suficiente, naquela época, para fornecer energia para uma família inglesa por três meses;
- Problemas de saúde. A poluição causada pelo vazamento de produtos tóxicos, ou o próprio produto de corrosão, pode causar a contaminação da água, do solo e do ar;

Apesar do aspecto económico ser de grande importância, porém, de maior relevância, é o risco a vidas humanas oriundos de processos corrosivos. Vários acidentes causados por processos de corrosão já foram registrados em viadutos, aeronaves, dutos enterrados, entre outros.

Os elevados custos associados aos processos corrosivos justificam o esforço empenhado em se buscar métodos cada vez mais eficazes de controle deste processo de deterioração.

O conhecimento dos processos corrosivos que atacam essas instalações é de extrema importância, não só pelo património valioso que elas representam para as indústrias, empresas de gás, de petróleo, de mineração, petroquímicas, estaleiros, armadores e companhias de saneamento e águas, mas também para o estudo adequado e perfeita aplicação das técnicas de combate à

corrosão para esses casos, tais como a aplicação dos revestimentos protetores e da proteção catódica na batalha contra a corrosão, em superfícies ou equipamentos que ficam submersos ou instalados em terra (Gomes, 2005).

A proteção catódica é um complemento a um revestimento que impede o contato com o ambiente, atuando em suas falhas. É aplicado na estrutura um “metal de sacrifício”, que tem maior tendência de perder elétrons. Assim, esse metal sofre os efeitos da corrosão no lugar do metal utilizado no duto.

## **1.2. Problematização**

Os processos corrosivos geram impactos econômico, principalmente devido à substituição e reparação de estruturas e equipamentos (CAINES *et al.*, 2017). Gerhardus *et al.* (2016) relatam que, no ano de 2013, o custo gerado com corrosão no mundo foi de aproximadamente 2,5 trilhões de dólares por ano.

Luder *et al.* (2018) identificaram que a qualidade da água potável pode ser prejudicada devido à geração de resíduos metálicos provenientes de processos corrosivos nos sistemas de distribuição, comprometendo a saúde dos consumidores.

O processo corrosivo também compromete a segurança de instalações. Luder *et al.* (2018) relataram o rompimento de uma tubulação em um sistema de geração de vapor industrial, cuja causa raiz foi a deterioração provocada pela corrosão na superfície interna.

Na indústria petroquímica, o processo corrosivo é preocupante devido às severas condições de processamento e à natureza inflamável e tóxica dos produtos. Portanto, vazamentos causados pela corrosão de materiais podem causar danos irreversíveis ao homem e ao meio ambiente (GROYSMAN, 2017).

Do ponto de vista ambiental, os desdobramentos de acidentes causados por corrosão são fontes de poluição e ameaçam a integridade da flora e a fauna locais (SASTRI, 2011).

No geral, metais podem estar sujeitos a ambientes potencialmente corrosivos cujos efeitos podem comprometer as aplicações (BUCHWEISHAIJA, 2009). Um exemplo de liga metálica suscetível à corrosão é o aço carbono. Alguns dos problemas associados à corrosão estão listados e detalhados a seguir.

➤ **Aparência**

A aparência de um material pode ser importante de forma que a corrosão do mesmo se torna indesejável. Dependendo da aplicação do material pode-se, a partir de uma análise de custo-benefício, se eleger um material resistente à corrosão ou uma forma de proteção que pode ser um revestimento polimérico, cerâmico ou metálico ou ainda a través de processos de proteção anódica ou catódica. Como exemplo da utilização de materiais resistentes à corrosão, por motivo de aparência, pode-se citar a utilização de aço inoxidável em esquadrias na construção civil.

➤ **Manutenção**

A manutenção de uma planta industrial pode ter seu custo sensivelmente reduzido pela utilização de materiais resistentes à corrosão. Neste caso é necessário um estudo de custo benefício pois muitas vezes se torna economicamente mais viável a utilização de materiais resistentes à corrosão, mesmo que mais caros, que se ter que fazer uma manutenção periódica de pintura, por exemplo.

➤ **Interrupção do Processo**

Frequentemente uma linha de produção ou parte de um processo para devido a falhas inesperadas provocadas por corrosão.

➤ **Contaminação do Produto**

A contaminação do produto ocasionado por resíduos da corrosão de parte da planta de produção gera queda no preço final do produto sendo que em alguns casos, devido a um efeito catalítico do produto de corrosão, ocorre a decomposição do produto, causando perda total.

➤ **Perda de Material**

A perda de material, causada por corrosão, ocorre principalmente por vazamentos nos dutos e tanques.

➤ **Saúde e Segurança**

Quando a corrosão causa vazamento de materiais tóxicos, inflamáveis ou radioativos tem-se, conseqüentemente, problemas ambientais, de segurança e de saúde.

### **1.3. Justificativa**

O fenómeno de deterioração do material metálico abala o mundo inteiro e as suas consequências não são enfrentadas somente em estruturas e maquinas, mas como também na saúde e segurança das pessoas e do ambiente.

A priori, é comum associar a corrosão com gastos no setor industrial, uma vez que é necessário calcular os custos corretivos (reparos e reposições) e os custos preventivos (revestimentos, proteções e entre outros) desses equipamentos.

O assunto a ser trabalhado é relevante ao considerarmos que grande parte dos recipientes metálicos utilizados no armazenamento de resíduos sólidos ficam expostos ao ar atmosférico, o qual contém humidade e poluição, factores geradores de corrosão.

A concepção deste projecto tem em particular vista resolver problemas da necessidade de aumentar o tempo de vida dos contentores metálicos de lixo nas zonas costeiras em particular na Costa do Sol devido a elevada velocidade de corrosão que lá corre, pois com o presente projecto vai-se entender como ela afeta o material metálico que compõe o contentor e desenvolver técnicas de prevenção e controle do fenómeno corrosivo. Serão abordadas técnicas utilizadas para evitar com que a corrosão danifique os contentores metálicos e comprometa o seu funcionamento.

#### **1.4. Hipóteses**

Para garantir uma maior longevidade estrutural dos contentores metálicos, algumas práticas são imprescindíveis, tais como:

- Utilização de materiais resistentes à corrosão;
- Aplicação de pintura que ofereça uma boa proteção anticorrosiva à estrutura;
- Emprego do método de galvanização para tornar as estruturas de aço mais resistentes à corrosão;

#### **1.5. Objectivos**

##### **1.5.1. Objectivo Geral**

- Analisar o efeito do Ambiente marítimo na corrosão de contentores de lixo na zona da Costa do Sol e investigar quais as melhores estratégias para a proteção dos mesmos.

##### **1.5.2. Objectivos Específicos**

Durante a realização desse trabalho a fim de atingir o objetivo geral, pretende-se:

- Estudar o processo de fabricação de contentores metálicos;
- Estudar os tipos de corrosão que os contentores metálicos experimentam quando alocados em ambiente costeiro;
- Discutir o mecanismo responsável pelo surgimento da corrosão em contentores alocados na Costa do Sol;
- Analisar a utilização dos métodos de galvanização, pintura, proteção catódica como técnica para prevenir corrosão nos contentores;

## **1.6. Estrutura do trabalho**

O presente trabalho é constituído por 6 capítulos, onde no primeiro capítulo foi apresentado a introdução contextualizada do estudo, a formulação do problema de pesquisa, as hipóteses da pesquisa, os objectivos gerais e específicos, a justificativa do estudo, a metodologia aplicada e a definição da estrutura da monografia.

No capítulo 2 foram abordados os tipos de corrosão mais comuns em estruturas metálicas bem como as causas e consequências da corrosão na estrutura, os tipos de ambiente corrosivos, os mecanismos da corrosão atmosférica, os tipos de matérias que são fabricados os contentores em especial atenção no aço carbono e o aço inox e a sua resistência à corrosão em diferentes meios corrosivos. Assim, foram abordados três tipos de corrosão: corrosão uniforme, corrosão por frestas e corrosão por pites.

No capítulo 3 Metodologia do Trabalho

No capítulo 4 foi feita a Contextualização da Investigação

No capítulo 5 foram discutidos as formas de prevenção das patologias citadas no capítulo 2.

Por fim, foram apresentados no capítulo 6 as conclusões e recomendações.

## **CAPÍTULO 2 - REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. INTRODUÇÃO A CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS**

Em maior ou menor extensão, a maioria dos materiais experimenta algum tipo de interação com um grande número de ambientes diversos (Callister, 2008). Com frequência, tais interações comprometem a utilidade de um material como resultado da deterioração das suas propriedades mecânicas. Esses efeitos devem ser levados em consideração na hora da escolha do material mais adequado para um tipo de projeto a fim de garantir que os componentes não falhem prematuramente (Askeland; Phulé 2008).

Em seus projetos, um grande desafio para todos os profissionais que empregam metais – além de outros tipos de materiais tais como concretos e plásticos – é impedir que estes sofram ataques corrosivos/destrutivos (Shackelford, 2008). Como a prevenção completa é muito difícil, as perdas devem ser minimizadas. Os mecanismos de deterioração são muito diversos para os diferentes tipos de materiais, mas, para os metais, existe uma efetiva perda de material, seja por dissolução (corrosão) ou pela formação de uma incrustação ou película de material não metálico (oxidação).

O problema da corrosão metálica apresenta proporções significativas. Em termos econômicos, foi estimado que aproximadamente 5% da receita de um país industrializado são gastos na prevenção da corrosão e na manutenção ou na substituição de produtos perdidos ou contaminados como resultado das reações de corrosão. Isso sem falar dos acidentes ou perdas de vidas humanas provocadas por contaminações, poluição e falta de segurança dos equipamentos (Merçon et al., 2004).

De acordo com Feltre (2005), a corrosão é um fenômeno natural e, por isso, temos que aprender a conviver com a sua ocorrência. A corrosão atua principalmente nos materiais metálicos que compõem a sua estrutura: armaduras, esquadrias, vigas de aço, etc.

Ainda segundo Feltre (2005, p. 324), o fenômeno de corrosão nas estruturas construídas por aço ocasiona estragos, muitas vezes invisíveis, em edifícios, navios, automóveis, etc., causando prejuízos que são calculados, em nosso país, na casa dos bilhões de dólares por ano, além de

trazer risco para população em. No mundo calcula-se que 20% do ferro produzido são para substituir estruturas que foram afetadas pela corrosão.

A maioria dos metais é corroída de algum modo por efeito da água e da atmosfera, portanto, as espécies presentes na água (principalmente espécies iônicas) acabam tendo uma importância muito grande nos processos de deterioração dos metais. Por exemplo, a acidez devido à presença de espécies na água, que pode ser medida por meio dos valores de pHs, tem um papel fundamental na corrosão dos metais.

Ainda segundo Feltre (2005, p. 324), a corrosão é sempre uma deterioração dos metais provocada por processos eletroquímicos (reações de oxirredução). O ferro, por exemplo, enferruja porque se estabelece uma diferença de potencial elétrico (ddp) entre um ponto e outro da estrutura de aço, em presença de humidade (gota de água) como apresentado na figura 1.

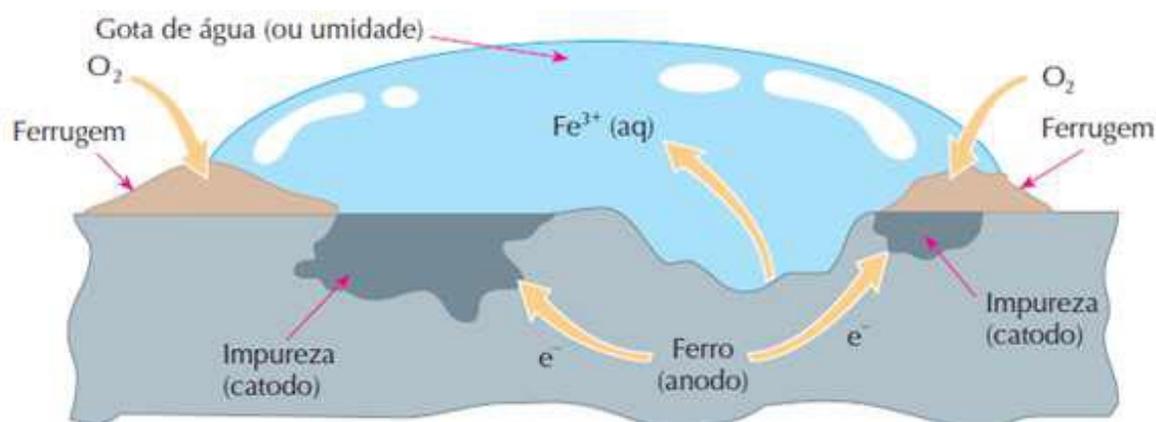
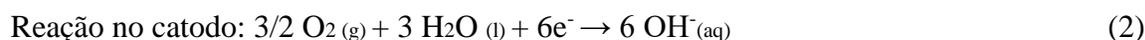
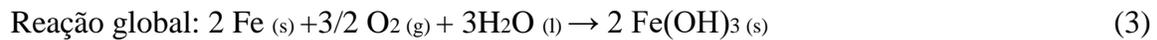


Figura 1: Formação da ferrugem por processos eletroquímicos.

Fonte: FELTRE (200, p. 324).

De acordo com Feltre (2005), as ligas metálicas são formadas por vários elementos que contêm impurezas (incluindo outros metais). Admite-se, por isso, que o ferro de um lado e as impurezas de outro funcionam como dois polos de uma pilha, possibilitando reações químicas, tais como:





Como se pode ver os autores descrevem a corrosão como sendo a deterioração do material pela ação química ou eletroquímica do meio, causar a perda das suas propriedades como a resistência mecânica, elasticidade e ductilidade.

Uma vez que a corrosão é provocada por uma reação química, a velocidade com a qual esta se processa dependerá, até certo ponto, da temperatura e da concentração das espécies envolvidas. Outros fatores, tais como os esforços mecânicos e a erosão, também podem contribuir para a corrosão (Smith, 1998).

## **2.2. CLASSIFICAÇÃO DA CORROSÃO**

De acordo com Pannoni (2007), a corrosão ocorre através de várias formas e sua classificação pode ser feita através da aparência do metal afetado. Os processos de corrosão podem ser classificados segundo o MEIO em que ocorrem e segundo sua MORFOLOGIA. A seguir são apresentadas as classificações e suas definições.

### **2.2.1. Classificação segundo o Meio**

#### **a) Corrosão Química**

A corrosão química se refere a um ataque de um agente químico sem que haja um meio para transferência de elétrons, e é muitas vezes chamada de corrosão seca pelo fato de não necessitar da presença de água. Para estruturas metálicas, trata-se de uma reação entre um meio corrosivo e o metal ou entre duas espécies distintas, formando um produto sobre a superfície resultante da reação (MERÇON, 2004).

A corrosão química é caracterizada por:

- Ter ausência da água líquida, por isto é também conhecida como corrosão em meio não aquoso ou corrosão seca;
- Ter temperaturas elevadas, sempre acima do ponto de orvalho da água, por isto é também conhecida como oxidação em altas temperaturas;
- Ter interação direta entre o metal e o meio corrosivo.

## **b) Corrosão Eletroquímica**

Em todos os casos de corrosão ocorre a participação de íons metálicos. No entanto, define-se corrosão eletroquímica para os casos em que ocorre um transporte simultâneo de eletricidade através de um eletrólito. A este importante grupo pertencem a corrosão em soluções salinas e água do mar, a corrosão atmosférica, a corrosão em solos, etc.

O processo de corrosão eletroquímica é considerado espontâneo e é o mais presente na indústria de óleo e gás, ocorrendo na presença de um eletrólito, em temperatura variável e formando uma pilha de corrosão (MERCÇON, 2004). Neste processo, verifica-se, simultaneamente, um processo de redução no agente oxidante, tendo seu número de oxidação diminuído a partir do ganho de elétrons. Em uma célula eletroquímica, têm-se os eletrodos denominados de anodos e catodos. No anodo, ocorre o processo de oxidação, em que a espécie química doa elétrons ou oxigênio, verificando-se uma perda de massa do eletrodo e um aumento da concentração de íons em solução. No catodo, tem-se o processo inverso, as espécies químicas recebem elétrons ou oxigênio, verificando-se um ganho de massa do eletrodo e, conseqüentemente, um menor número de íons em solução (SILVA, 2016).

### **2.2.2. Classificação segundo a Morfologia**

A classificação segundo o meio é útil no estudo dos mecanismos de ataque, entretanto, querendo-se avaliar os danos causados pela corrosão torna-se mais conveniente se fazer uma classificação segundo a Morfologia.

#### **a) Corrosão Uniforme**

A corrosão uniforme, também denominada de corrosão generalizada, consiste no ataque de toda a superfície metálica em contato com o meio corrosivo com a conseqüente diminuição da espessura. Essa corrosão ocorre devido à micro-pilhas de ação local, sendo o mais comum tipo de corrosão e tem como conseqüência uma ação uniforme sobre a superfície metálica. Tendo em vista que a perda de espessura é aproximadamente a mesma em toda a superfície metálica, essa

forma é caracterizada por apresentar o desgaste de mais fácil acompanhamento, sendo um tipo de corrosão importante podendo levar o equipamento a falhas significativas (ZIMER, 2009).

#### **b) Corrosão Alveolar**

A corrosão alveolar se processa na superfície metálica produzindo sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos, apresentando fundo arredondado e profundidade geralmente menor que seu diâmetro.

Segundo Telles (2003) a corrosão alveolar é uma variante da corrosão por pites, na qual o diâmetro das cavidades é maior e a profundidade menor.

#### **c) Corrosão Por pite**

Também conhecida como corrosão puntiforme, a corrosão por pite é a forma localizada de ataque mais agressivo. Ocorre em pontos ou pequenas áreas produzindo os pites. É de difícil visualização, pois apresenta pequeno diâmetro e elevada profundidade. A análise por microscopia eletrônica de varredura é importante ferramenta para a detecção e caracterização da corrosão por pites (RAMANATHAN, 1998).

Este tipo de ataque, assim como a intergranular e intragranular, é uma das formas mais perigosas em que a corrosão pode-se apresentar. Neste caso a quantidade de material afetado não guarda relação com a magnitude dos inconvenientes. Durante a corrosão puntiforme, ou pite, o ataque se localiza em um ponto isolado da superfície metálica e se propaga até o interior do metal, muitas vezes transpassando (GENTIL, 2011). Uma variação deste tipo de corrosão é a corrosão em frestas.

## 2.3. PRINCIPAIS FORMAS DE CORROSÃO

A corrosão pode ocorrer sobre diferentes formas e variados processos corrosivos. Elas se destacam uma das outras através da causa, aparência e forma de ataque. Têm-se abaixo as formas de corrosão que podem ocorrer em aço carbono, apresentando classificação das formas de corrosão metálica, de acordo com a sua morfologia, fatores mecânicos, meio corrosivo, causa ou mecanismo (GENTIL, 2011).

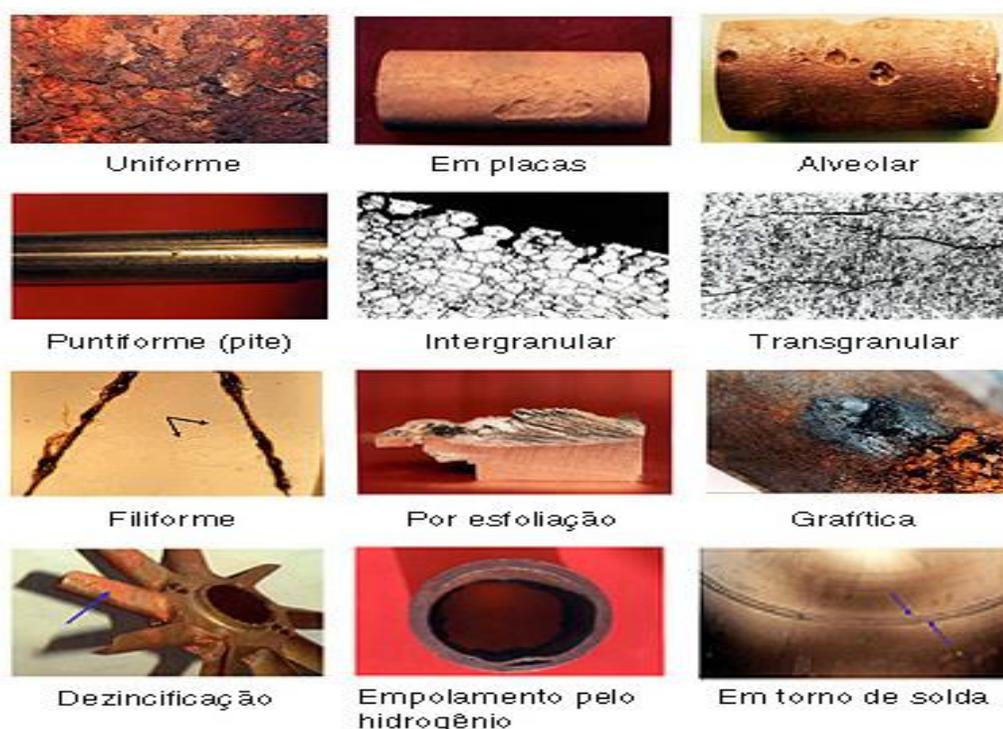


Figura 2: Formas de corrosão. Fonte: ZIMER (2009, p.56)

É possível identificar cada tipo de corrosão por meio da observação visual. Em muitos casos, é suficiente usar apenas o olho nu, mas há situações em que a quantificação se torna útil ou necessária (FONTANA, 2018).

## 2.4. CORROSÃO LOCALIZADA

### a) Corrosão Filiforme

Ocorre em camadas das superfícies em forma de finos filamentos que se propagam em diferentes direções e que não se cruzam, nas estruturas metálicas revestidas com filmes poliméricos, tintas ou com metais, geralmente ocasionando o deslocamento de revestimento,

Tipo de corrosão mais superficial mais fácil de combater tem se observado com mais frequência quando a umidade relativa do ar está a 85% em revestimento permeáveis a penetração de oxigênio e água, ou apresentando risco e ou falhas, ou regiões de aresta, (GENTIL, 2003).

#### **b) Corrosão em Placas**

A corrosão por placas ocorre de uma forma localizada. Nos locais em que ocorre são formados depósitos de produtos de corrosão, e irão aumentando com o tempo de ataque, representando elevado relevo na morfologia da superfície do material. Sob os depósitos, o material metálico é consumido por oxidação, formando-se placas com escavações, ocasionando a redução das propriedades mecânicas e estruturais do material (GENTIL, 2011).

#### **c) Corrosão por Pontos**

Corrosão extremamente localizada caracterizada por aparecimento de pequenas depressões sobre a superfície metálica. A corrosão por pontos é observada sobre superfícies com pouca ou nenhuma corrosão generalizada (ZIMER, 2009).

#### **d) Corrosão por fresta**

Normalmente é localizada e está ligada à estagnação de substâncias - eletrólitos - em ambientes muito pequenos, onde as espécies químicas possuem dificuldade de difusão, alterando as condições químicas dentro da fresta. Este tipo de corrosão costuma ocorrer em superfícies menores, como gaxetas, suportes, rebites, juntas, parafusos e pontos de solda (DOMINGOS, 2008). Normalmente, esta forma de corrosão envolve metais que contém ferro em sua composição e estão expostos a meios oxidantes (GENTIL, 1996).

#### **e) Corrosão em torno do cordão de solda**

A corrosão localizada em torno de cordão de solda ocorre em aços inoxidáveis e aços com um teor de carbono acima de 0,03%. Essa forma de corrosão se processa intergranularmente, e ocorre devido à formação de pilha galvânica entre os diferentes materiais da matriz metálica e o metal da solda (GENTIL, 2011).

## **2.5. FACTORES QUE PROPORCIONAM A CORROSÃO LOCALIZADA**

Segundo Gentil (2006), os factores mais frequentemente envolvidos em casos de corrosão localizada (como pites e alvéolos), em superfícies de chapas metálicas são:

- ❖ A relação entre áreas catódica e anódica;
- ❖ A composição química do meio corrosivo ou do material metálico podem influenciar significativamente no ataque por pites;
- ❖ Aeração diferencial;
- ❖ Variação de pH e produtos de corrosão presentes na superfície metálica ou formados durante o processo de corrosão.

## **2.6. CORROSÃO DEVIDO A FATORES METALÚRGICOS**

### **a) Corrosão Intergranular**

A corrosão intergranular ocorre nos grãos da rede cristalina do material metálico. Os contornos de grão se tornam reativos, sob certas condições, sofrendo oxidação, e assim o metal perde resistência mecânica e torna-se susceptível a fraturas. O processo de corrosão intergranular decorre do empobrecimento principalmente nos elementos Cr, Mo, Si e P, os quais proporcionam resistência à corrosão, devido à precipitação de carbonetos e/ou nitretos nos contornos de grãos.

A corrosão intergranular ocorre quando existe um caminho preferencial para a corrosão na região dos contornos de grãos, devido à presença de células de ação local nas vizinhanças dos contornos, o ataque inicia nos contornos e cresce para o interior dos grãos.

Esses precipitados são normalmente mais nobres do que a matriz metálica, atuando como cátodo, tornando a região adjacente anódica e susceptível à corrosão intergranular (RAMANATHAN, 1998).

### **b) Corrosão Intragranular**

A corrosão Intragranular surge nos grãos da rede cristalina do material metálico, sendo uma das mais perigosas formas de corrosão, no qual tem muito reduzido a sua resistência mecânica e pode fraturar à menor sollicitação de força. Nesse caso, o processo também pode ser denominado de corrosão sobtensão fraturante (GENTIL, 2011).

Algumas vezes denominada corrosão sob tensão fraturante que resulta da ação combinada de uma tensão de tração e de um ambiente corrosivo, ambas as influencias são necessárias, pequenas trincas se formam e se direcionam perpendicular à tensão, (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

Existem outros tipos de formas de corrosão como galvânica que ocorre quando dois metais ou ligas de composições diferentes são acoplados eletricamente enquanto são expostos a um eletrólito. O metal menos nobre, ou mais reativo naquele ambiente específico sofrerá corrosão, o metal mais nobre o catodo será protegido contra a corrosão, (CALLISTER; RETHWISCH, 2016). Mas a corrosão galvânica por muitas vezes pode servir de benefício em determinados ambientes como mar, por exemplo, aonde são instalados os anodos de sacrifício nos cascos de navios feitos de ligas de zinco ou manganês onde em contato com outro aço em ambiente de água salgada o anodo absorve catodicamente o desgaste preservando a integridade da estrutura metálica.

#### **c) Corrosão por Esfoliação**

A corrosão por esfoliação ocorre com a formação de múltiplas camadas paralelas à superfície metálica, sendo em materiais extrudados ou chapas, os quais tiveram seus grãos alongados e achatados, criando as condições necessárias para que inclusões ou segregações, presentes nos metais, sejam deformadas em planos alongados (GENTIL, 2011).

#### **d) Empolamento pelo hidrogênio**

O hidrogênio penetra no material metálico, e como tem pequeno volume atômico, difunde-se rapidamente e em regiões com descontinuidades, com inclusões e vazios, exercendo pressão e originando formação de bolhas. 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, (GENTIL, 2003).

#### **e) Corrosão Grafitada**

Ocorre nas tubulações de ferro fundido, cinzento ou modular, usadas para águas, em esgotos, drenagem dentre outras utilizações, sendo o grafite o material muito mais catódico que o ferro, os

veios ou nódulos de grafite do ferro fundido agem como área catódica enquanto o ferro age como área anódica transformando – se em produto de corrosão, (NUNES, 2010).

## 2.7. FATORES QUE POTENCIALIZAM A AÇÃO DEGRADANTE DA CORROSÃO

- **Erosão:** Remoção do material superficial pela ação de vários impactos de partículas sólidas ou líquidas.
- **Fricção:** Atrito entre duas superfícies metálicas ou não.
- **Cavitação:** O fenômeno cavitação ocorre em áreas com altas velocidades de fluxos e rápidas mudanças de pressões. Isto causa colapso de bolhas de gás ou vapor projetando forças poderosas na superfície metálica removendo a camada de passivação e desta forma potencializando a corrosão.
- **Fadiga:** É o resultado de ações combinadas de tensões cíclicas.
- **Ruptura:** Induzida pelo Meio Ambiente: Formas de falhas que são produzidas em materiais com tensões residuais.
- **Trincas sob tensão:** Propagação de trinca devido a uma tensão aplicada.

## 2.8. CORROSÃO ATMOSFÉRICA

A corrosão atmosférica é a função do tempo em que a superfície metálica está recoberta por eletrólitos (tempo de umedecimento) e da velocidade média de corrosão durante estes períodos em que a superfície está umedecida (PANNONI, 2002). Dessa forma, a propagação da corrosão está sujeita a condições climáticas do lugar de exposição, e é dependente da umidade relativa da atmosfera, da direção e frequência da chuva, da neblina, do orvalho, da temperatura do ar e da superfície metálica, da velocidade dos ventos, da quantidade de horas de insolação e dos poluentes presentes na atmosfera.

A corrosão atmosférica tem recebido nos últimos anos vários estudos, visando verificar a agressividade do meio diante de determinados metais, com o intuito de diminuir prejuízos decorrentes desse processo.

A atmosfera industrial apresenta a presença de SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub> resultante da queima de combustível, as partículas de pó são captadas pela umidade formando o ácido sulfúrico, além da umidade

elevada. Quando esses gases entram em contato com atmosfera úmida ocorre à formação de ácido sulfúrico, o que agrava ainda mais o processo corrosivo. Segundo Roberge (1999), enxofre, óxido de carbono, ácido carbônico e o ácido sulfúrico, derivados da queima de combustível de veículos, estão presentes nessa atmosfera contribuindo ainda mais para o processo de oxidação dos metais.

Já a atmosfera marinha de acordo com Gentil (2007) é um ambiente muito agressivo, pois a alta concentração de sais de cloretos e sulfetos presentes no mar faz com que estes sais acabem presentes na atmosfera ocorrendo à sedimentação desses compostos na superfície do metal e como a umidade é elevada, a tendência a reagir com água provocando corrosão é muito alta.

A água do mar não é pura e por causa da ação do vento e de outras condições ambientais, as partículas de água do mar se espalham, entrando em contato com objetos metálicos que são corroídos. Esse processo é acelerado pela presença dos íons na água do mar e nos evaporitos, que são micropartículas presentes no ar que apresentam sais. Esses íons fazem uma ponte salina, o que possibilita o fenômeno de oxirredução entre o oxigênio do ar e os metais (fonte: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/maresia-corrosao-dos-metais.htm>).

Enquanto que a atmosfera rural não apresenta poluentes industriais, mas pode conter poeira orgânica e inorgânica, seus principais constituintes são a umidade, O<sub>2</sub> e o CO<sub>2</sub>. Segundo Leite (2006) é uma atmosfera pouco corrosiva, mas pode tornar-se altamente corrosiva caso exista uma alta taxa de emissão de nitrogênio, proveniente de insumos agrícolas e a atmosfera urbana por possuir grande densidade populacional, provoca alterações no meio e de acordo com Morelli (2005) essas alterações provocam chuvas ácidas, deposição de partículas sólidas e lançamento de dióxido de carbono na atmosfera, provocando danos às estruturas presentes nesse meio. Na tabela 1 são apresentados as características de atmosferas com maior ou menor grau de corrosividade.

Tabela 1: Apresenta características de atmosferas com maior ou menor grau de corrosividade.

<i>Atmosfera mais corrosiva</i>	<i>Atmosfera menos corrosiva</i>
Altos níveis de poluição, especialmente dióxido de enxofre, cloretos e particulados.	Baixos níveis de poluição.
Altos níveis de umidade persistente.	Pouca chuva com baixa umidade ou chuvas pesadas frequentes.
Temperaturas moderadas a altas com umidades moderadas a altas e/ou condensação.	Temperaturas baixas, especialmente longos períodos abaixo de 0°C.
Deposição frequente de partículas oceânicas(maresia) e pouca chuva.	Temperaturas altas com baixa umidade.
Regiões abrigadas expostas ao sal e poluentes corrosivos.	

Fonte: (PANNONI, 2002)

O ambiente terrestre atual é naturalmente oxidativo, portanto espontaneamente, os metais tendem a sofrer oxidação quando em contato com essas substâncias. Além disso, à medida que substâncias ácidas estão presentes na água, a velocidade de oxidação dos metais tende a aumentar. A chuva é normalmente ácida (valores de pH menor que 7) devido à presença de ácido carbônico (formado pela reação entre o gás carbônico e a água:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ ).

Quando a água está saturada de gás carbônico, o valor de pH fica em torno de 5,6. Portanto, até valor de pH = 5,6, não usamos o termo chuva ácida para esse tipo de precipitação (Maia et al., 2005). No entanto, a presença de poluentes tais como óxidos de enxofre ( $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$ ) e de nitrogênio ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ ), presentes na atmosfera, principalmente em atmosferas poluídas, forma ácidos, aumentando a acidez da chuva. Existem registros de chuvas com valor de pH em torno de 2,0, lembrando que a escala de pH é logarítmica, isto é, para cada unidade de pH, temos uma variação de 10 unidades na concentração de  $\text{H}^+$ . Isso significa que, de 5,6 para 2, temos um aumento de quase 4 000 vezes na concentração de  $\text{H}^+$  (Maia et al., 2005).

O ar atmosférico, devido à presença de gás oxigênio (compõe 20% do ar seco) e água (presente na forma de vapor), é um ambiente propício à oxidação. Por exemplo, ligas de aço, cujo

principal metal constituinte é o ferro, quando expostas ao oxigênio e à água ( $O_2$  e  $H_2O$ ), sofrem corrosão com o passar do tempo e formam a ferrugem, que é uma mistura de óxidos e hidróxidos de ferro hidratados. Dependendo do valor de pH e das concentrações de gás oxigênio e água, essa mistura tem proporções diferentes, principalmente, das seguintes espécies:  $Fe_3O_4/Fe_2O_3$ .  $H_2O/Fe(OH)_2/Fe(OH)_3$ . Quanto maior o teor de  $Fe_3O_4$  mais percebemos que o objeto em questão está sofrendo corrosão.

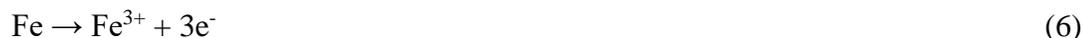
### 2.8.1. O ambiente ácido acelera o processo de oxidação

Quanto mais ácido o ambiente (maior concentração de íons  $H^+$ ), maior a velocidade de oxidação das estruturas metálicas. Em um ambiente ácido, o processo predominante de oxidação pode ser representado da seguinte maneira:

Redução do  $O_2$  por ação dos íons hidrogênio:



Oxidação dos íons metálicos:



Quanto mais ácido um meio, maior a diferença entre a concentração de íons  $H^+$  em relação aos íons  $OH^-$  (meio ácido:  $[H^+] > [OH^-]$ ).

### 2.8.2. Efeito do pH

O efeito da acidez na velocidade de corrosão do ferro, em água aerada e em temperatura ambiente, pode ser verificado no gráfico 3 (Gentil 2011).

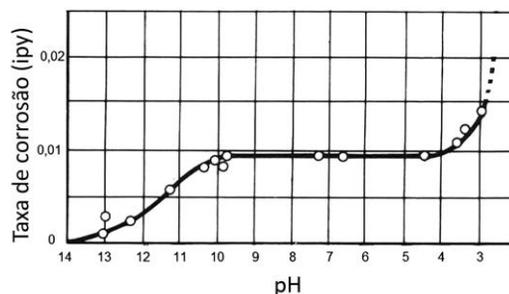


Gráfico 1: Correlação entre o pH e a taxa de corrosão do ferro

Fonte: Gentil (2011)

Verifica-se uma interferência cada vez mais positiva (aumento da corrosão) quando temos valores de pH abaixo de 4. Para valores de pH entre 4 e 10, a taxa de corrosão mante-se constante. Quando os valores de pH são maiores que 10, esse aumento mais pronunciado da alcalinidade do meio faz com que a taxa de corrosão diminua, pois o ferro se torna passivo em presença de álcalis e oxigênio dissolvido.

## 2.9. MECANISMOS DE CORROSÃO ATMOSFÉRICA

A corrosão atmosférica é composta por fatores químicos e físicos. A atmosfera é formada por uma mistura de gases sendo os principais o oxigênio e o nitrogênio, mas apresenta uma série de contaminantes que segundo Viana (1980) são de proporções que variam de acordo com as condições climáticas locais e a proximidade da fonte desses contaminantes, participando ativamente no processo de deterioração dos materiais. Os principais fatores que afetam o processo corrosivo são:

- **Humidade:** sendo a corrosão atmosférica um processo eletroquímico, a água presente na atmosfera constitui um dos fatores principais nesse fenômeno. De acordo com Viana (1980) a água que se deposita na superfície metálica pode ser proveniente do processo de adsorção e condensação, que são determinadas pela humidade relativa do ar. Segundo Silva (1989) o tempo de superfície úmida é uma variável crítica, ele indica o tempo durante o qual a superfície metálica está coberta por uma película de água, tornando possível o processo corrosivo, este tempo varia de acordo com as condições climáticas locais;

A humidade relativa pode ser definida como a percentagem da pressão de vapor de água na atmosfera em relação à pressão de saturação da atmosfera, à mesma temperatura.

Segundo (GUEDES *et al.*, 2009) a humidade relativa do ar e as variações de temperatura levam à ciclos de períodos úmidos e secos, os chamados ciclos *wet-dry*. Os ciclos *wet-dry* são uma característica crítica da corrosão atmosférica com a alternância de períodos secos e molhados que influenciam drasticamente os mecanismos da corrosão.

Estudos têm mostrado que durante um ciclo *wet-dry* à pressão atmosférica, a corrosão do aço pode ser dividida em três fases: fase molhada, fase úmida e a etapa de secagem. Na fase molhada, a principal reação anódica é a redução da ferrugem, e pouco oxigênio é reduzido. Já na etapa úmida, a principal reação catódica é a redução do oxigênio. Na etapa seca, a ferrugem é novamente oxidada, sendo o processo auto-catalítico. A taxa de corrosão e as modificações da camada de oxidação são, assim, relacionadas com o número e a frequência dos ciclos *wet-dry*.

- **Ação dos ventos:** está relacionada com a dispersão dos poluentes atmosféricos. Feliu (1999) constatou que o impacto do vento com a superfície marítima origina a formação de bolhas, que formam gotículas que dão origem ao aerossol, liberando partículas de sais sobre as superfícies expostas. Piazzola (1997) observou que a concentração do aerossol marinho é maior para ventos com velocidades entre 7 e 11 m.s-1.
- **Temperatura:** segundo Cascudo (1997) o aumento da temperatura diminui a possibilidade da condensação de vapor de água sobre a superfície metálica diminuindo a velocidade de corrosão devido à diminuição da permanência do eletrólito sobre o material, mas leva um aumento na velocidade de reações e da mobilidade iônica. Enquanto que a diminuição provoca a condensação, aumentando assim a umidade local;
- **Partículas sedimentáveis na atmosfera:** de acordo com Gentil (2007) as partículas sólidas são as responsáveis por tornar a atmosfera mais corrosiva devido a alguns fatores, em geral estas partículas retêm mais facilmente a umidade sobre o metal, dando origem a eletrólitos ativos, ou seja, ocorre um aumento na condutividade sobre a superfície;
- **Radiação solar:** para Brambilla (2009) este fator influencia diretamente na temperatura superficial, proporcionando ciclos de seco e molhado, o aumento na temperatura pode aumentar ou reduzir a corrosão;

- **Precipitação:** segundo Brambilla (2009) a precipitação por um lado pode provocar a dissolução dos íons provenientes do mar, por outro pode diminuir a concentração de eletrólitos.
- **Teor de cloretos:** para Singh (2008) o íon cloreto é um dos principais contaminantes naturais do ambiente marinho provocando grande degradação estrutural no aço, esta degradação varia dependendo das condições climáticas. Sendo sua principal fonte a água do mar, onde eles se encontram misturados com sódio, magnésio e cálcio, como estes sais são higroscópicos, promovem a condensação da água sobre os metais aumentando assim a taxa corrosiva.

Os cloretos são encontrados em ambientes marinhos e são sedimentados no formato de pequenas gotas ou cristais produzidos pela evaporação das gotículas carregadas pelo vento que vem do mar. A sedimentação dos sais (portanto, a agressividade) diminui de forma efetiva com o aumento da distância da proximidade costeira; grande parte dos cloretos fica retido por decantação ou filtração pelas espécies vegetativas nos primeiros 5 km do continente adentro (PANNONI, 2002).

- **Sulfatos:** o dióxido de enxofre é um gás produzido devido à queima de combustíveis fósseis, que podem ser o carvão e derivados de petróleo ou o processo de atividade vulcânica. Esse gás é solubilizado nas águas da chuva e no orvalho, de modo que forma ácido sulfúrico devido à presença (catalítica) de ferrugem ou íon ferroso na superfície metálica (PANNONI, 2002):
- **Solos:** Os solos contêm umidade e sais minerais, alguns solos apresentam também características ácidas ou básicas. O eletrólito constitui-se principalmente da água com sais dissolvidos. Estruturas, tubulações, estacas metálicas enterradas, tanques, cabo de transmissão de energia entre outros, os fatores que influenciam na corrosividade dos solos devem ser considerados em conjunto na classificação aos processos corrosivos observados em estrutura da corrosão, fatores externos como correntes de interferência e a existência de aterramentos podem agravar enormemente os problemas de corrosão.

Os solos com resistividade elétrica muito corrosivos são para valores até 3.000 ohm.cm, quanto ao PH, o solos podem ser considerados corrosivos para metais como (AL, Zn, Pb, Sn e Sb), quanto a presença de bactérias aeróbicas (geradoras de ácidos por fermentação de matérias orgânicas que promovem despolarização catódica, (NUNES; KREISCHER, 2010).

## **2.10. CORROSÃO EM ÁGUAS**

Materiais metálicos sofrem corrosão quando entram em contato com água. Diversos fatores influenciam a corrosão metálica em água, como o pH, temperatura, sais dissolvidos, gases dissolvidos, matéria orgânica, materiais sólidos suspensos e micro-organismos.

**Águas naturais (rios, lagos e subsolo)** estas águas podem conter sais minerais, eventualmente ácidos ou bases, resíduos industriais, poluentes diversos e gases dissolvidos. O eletrólito constitui-se principalmente da água com sais dissolvidos. Os outros constituintes podem acelerar o processo corrosivo (NUNES; KREISCHER, 2010).

**A água do mar** é uma solução salina complexa, consistindo predominantemente de cloretos de sódio e magnésio, outros minerais solúveis, micro-organismos e organismos animais e vegetais. A maioria dos sais dissolvidos se ioniza e aumenta a condutividade elétrica da água, a qual tem potencializada sua ação corrosiva, promovendo ataques severos aos metais submersos (LAQUE, 1975).

A taxa de corrosão referenciada para o aço carbono em água do mar é 130 mm/ ano, sendo linear até um tempo de 8 anos. Depois desse período a taxa de corrosão decresce a um patamar mais baixo e constante. O aumento da velocidade da água em geral aumenta a taxa de corrosão (SILVA, 2010). A tabela 2 mostra as taxas de corrosão do aço carbono em determinadas águas.

Tabela 2: Corrosão do aço carbono em águas doces e salgadas

Águas	Taxas de corrosão (mm/ano)		
	1 ano	8 anos	16 anos
Doce	150	65	45
Salgada	195	80	75

Fonte: Panossian, 1993

## 2.11. CORROSÃO ELECTROQUÍMICA

A diferença entre os mecanismos da corrosão electroquímica e da corrosão química é abordado por Gentil (2007), que cita que no mecanismo electroquímico ocorrem reacções químicas com transferência de carga ou electrões através de um electrólito, enquanto no mecanismo químico ocorrem reacções químicas directas entre o material metálico e o meio corrosivo.

A corrosão electroquímica é o tipo de corrosão que ocorre com mais frequência na natureza, envolvendo reacções de oxirredução devido à enorme presença da água como solvente no meio ambiente e devido ao fator umidade presente no ar atmosférico. Este tipo de reacção acontece com a transferência de elétrons (NUNES; DUTRA, 2007).

Segundo Coutinho (2017), acontece através da formação de uma pilha, numa pilha de corrosão precisa acontecer à reacção de oxidação e de redução juntas. Conforme Telles (2003, p. 53) “as diversas formas de corrosão electroquímicas ocorrem necessariamente em meios húmidos, com presença de água ou humidade”.

Segundo Gentil (2006) cita que, em atmosfera de baixa humidade relativa, o ferro praticamente não sofre corrosão, de forma que, em atmosfera com humidade relativa próxima de 60% a corrosão é lenta, mas acima de 70% ela é acelerada, sendo chamado de humidade crítica o valor da humidade relativa acima do qual verifica-se uma rápida aceleração do processo corrosivo. O gráfico 2 mostra a influência da humidade relativa na corrosão do ferro.

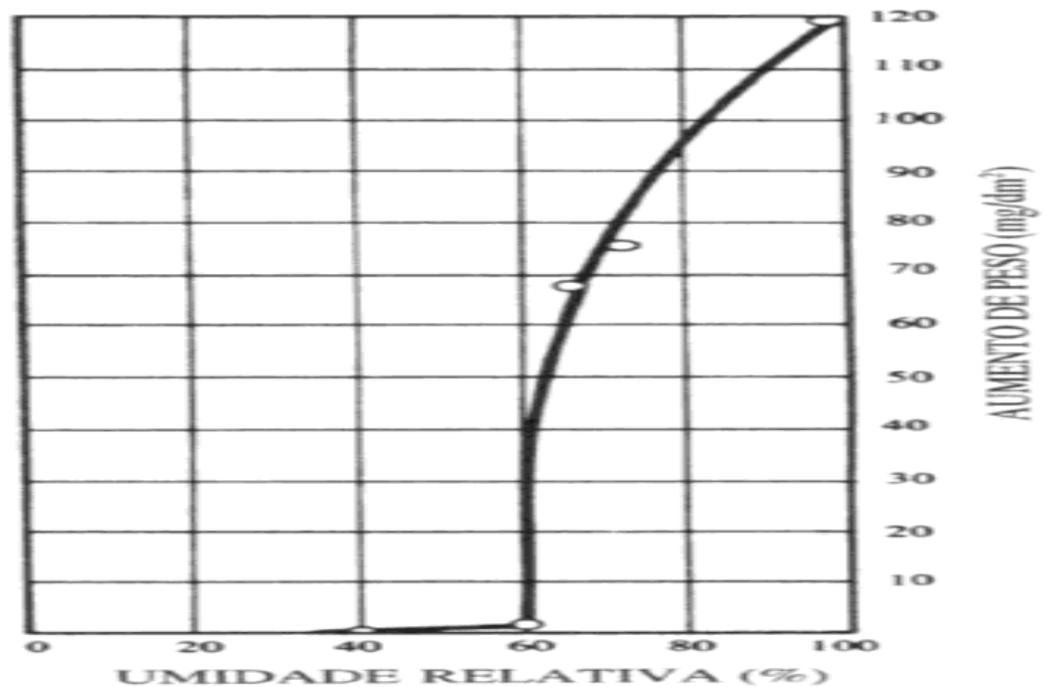


Gráfico 2: Influência da umidade relativa atmosférica na corrosão do ferro

Fonte: Gentil (2007, p. 56)

Segundo Zayed et al. (2005, p. 6), “a umidade relativa crítica é a umidade abaixo da qual a água não se formará em superfície de metal limpa e, portanto, a corrosão electroquímica ou húmida também não ocorre. A espessura e a composição química do filme de água são importantes”. Segundo Moreira (2014), além da formação desse filme passivo, devido à presença do oxigênio dissolvido, outro processo ocorre simultaneamente na corrosão em água do mar, que é a desintegração desta camada, devido à ação do íon cloreto, que leva vários metais a sofrerem a corrosão por pites, que segundo Gentil (1996) é uma das formas mais frequentes de degradação em meio salino, juntamente com a corrosão uniforme, placas ou alvéolos.

## 2.12. PILHAS DE CORROSÃO ELETROQUÍMICA

Segundo Gentil (2007) uma pilha electroquímica é constituída por: ânodo, cátodo, electrólito e o circuito metálico. A retirada de qualquer um desses componentes elimina a pilha, e consequentemente, reduz a possibilidade de corrosão electroquímica.

- Área catódica: superfície protegida onde não há corrosão (reações de redução) em um dos eletrodos;
- Área anódica: superfície onde existe a corrosão (reações de oxidação) em um dos eletrodos;
- Eletrólito: solução condutora ou condutor iônico que envolve simultaneamente as áreas anódicas e catódicas;
- Ligação elétrica: entre as áreas anódicas e catódicas.

Segundo Telles (2003) as irregularidades microscópicas no próprio material metálico são as causas mais comuns de diferenças de potencial. A falta de homogeneidade no eletrólito também propicia a formação de potenciais diferentes no metal, formando a pilha. A figura 3 mostra um esquema da Corrosão eletroquímica.

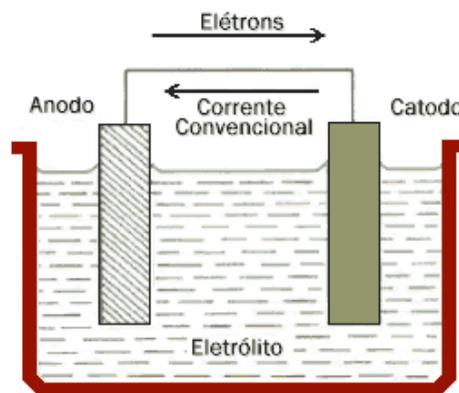


Figura 3: Corrosão eletroquímica

Fonte: Site Engenhariaix - <http://www.engenhariaix.com>

## 2.13. PRINCIPAIS TIPOS DE PILHA DE CORROSÃO ELETROQUÍMICA

### a) Pilha de ação local

É, provavelmente, a mais frequente que existe, pois devido às diferenças de composição química, textura do material, tensões internas e outras coisas, ela aparece em um mesmo metal. As causas da ocorrência dela são: materiais de diferentes épocas de fabricação; estados diferentes de tensões e deformações; inclusões, segregações, bolhas, trincas; acabamento superficial da superfície; gradiente de temperatura; tratamentos térmicos diferentes; e diferença no tamanho e contornos de

grão (Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>). A figura 4 mostra um esquema de pilha de ação local.

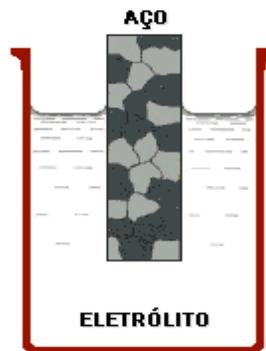


Figura 4: Eletrólito

Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>

#### c) Pilha Ativa-Passiva

Este tipo de pilha acontece nos metais que formam uma película protetora, como o alumínio, cromo, titânio, aços inoxidáveis e etc.

Esta película protetora é constituída por uma fina camada do produto da corrosão do material. Se ela for danificada por ação mecânica em algum ponto será formada uma área ativa (anódica) na presença de uma área passiva (catódica) com o aparecimento de uma forte pilha, que proporciona corrosão, de acordo com a figura 5 (Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>).



Figura 5: Área anódica e catódica

Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>

#### d) Pilha De Eletrodo Diferente

Esta Pilha surge sempre que dois metais ou ligas metálicas diferentes são postos em contato elétrico junto com um eletrólito.

Quanto mais distante estiverem os materiais na tabela de potenciais no eletrólito usado, mais será a diferença de potencial da pilha. Esta pilha também é denominada pilha galvânica (Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>). A figura 6 mostra um esquema de pilha galvânica.

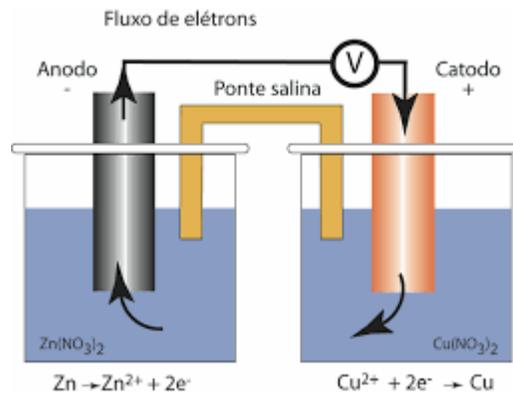


Figura 6: Pilha Galvânica

Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>

#### e) Pilha De Concentração Iônica Diferencial

Esta pilha surge sempre que um material metálico é colocado em concentrações diferentes dos seus próprios íons, e ela acontece porque o eletrodo se torna mais ativo quando decresce a concentração de seus íons no eletrólito.

Esta pilha é bem frequente em frestas quando o meio corrosivo é um líquido, pois o interior da fresta recebe pouca movimentação de eletrólito neste caso, o que faz com que haja a tendência de ficar mais concentrado com íons de metal (área catódica), enquanto que a parte externa da fresta fica menos concentrada (área anódica), gerando a corrosão das bordas da fresta (Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>). A figura 7 e 8 mostram esquemas de pilha de concentração iônica diferencial.



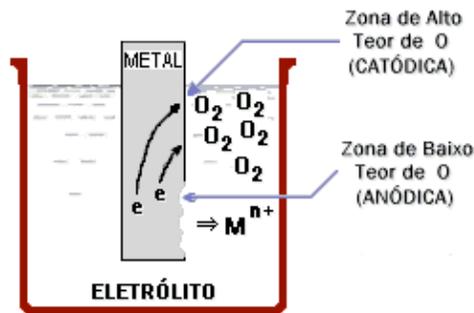


Figura 9: Aeração Diferencial

Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>

## 2.14. MATERIAIS METÁLICOS

Os materiais são extremamente importantes na vida das pessoas desde os primórdios da humanidade, os engenheiros e projetistas sempre tiveram como missão escolher os materiais mais adequados para determinada aplicação na indústria e no mundo globalizado. Os materiais metálicos podem ser classificados em metálicos, não metálicos e híbridos. Dentre os materiais metálicos estão os ferrosos e não ferrosos. Nos não metálicos estão cerâmicos, os vidros, e os polímeros, e os materiais híbridos são aqueles que se constituem exatamente daqueles que são compostos de dois ou mais materiais, sendo um com função estrutural e outro como ligante, afirma (NUNES, 2012).

Para determinar qual material metálico deve ser aplicado na fabricação de um equipamento deve observar os fatores relacionados ao beneficiamento e tratamento os quais costuma denominar de propriedades que são as propriedades mecânicas (tração, compressão, torção e cisalhamento) resiliência, tenacidade e dureza.

### 2.14.1 Características dos materiais metálicos

Os materiais metálicos apresentam características e propriedades que os tornam extremamente importantes nos projetos de engenharia e como parte integrante da vida dos seres humanos. Embora não se tenha definições muito precisas é comum denominar-se característica aqueles aspectos que são próprios dos materiais metálicos e que são importantes na seleção dos mesmos.

Definir com qual material será utilizado deve se levar em consideração as propriedades mecânicas como resistência a corrosão (NUNES; KREISCHER 2010).

### 2.14.2 Resistência a Corrosão

Um material é dito resistente a corrosão em um determinado meio, quando ele apresenta reduzidas taxas de desgaste compatível com a vida projetada do equipamento ou instalação. Um material metálico torna-se resistente a corrosão quando ele é capaz de se passivar (formar película de produto de corrosão auto protetora) e manter esta passivação naquele meio por um determinado tempo, (NUNES; KREISCHER, 2010).

A resistência à corrosão é uma propriedade típica dos materiais metálicos que tem a tendência natural de retornar a condição de composto, tudo isto porque eles estão em equilíbrio metaestável e a tendência destes materiais é retornar a forma de composto e liberar a energia retida no processo de obtenção, a figura a seguir mostra o ciclo dos metais, (NUNES; KREISCHER, 2010).

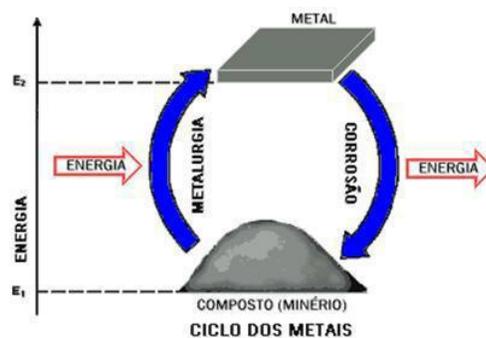


Figura 10: Ciclo dos metais

Fonte: NUNES; KREISCHER (2010)

### 2.15. O SISTEMA FERRO-CARBONO

As ligas ferro-carbono são consideradas umas das primordiais dentre as ligas ferrosas. O carbono é uma impureza no ferro e juntamente com a ferrita  $\alpha$ , com a ferrita  $\delta$  e com a austenita forma solução sólida. Apesar de presente em baixas concentrações, o carbono afeta as propriedades

mecânicas do ferro elevando a resistência, aumentando a dureza e diminuindo a ductilidade (SILVA, 2010).

O ferro altera sua estrutura quando aquecido. Essa característica é designada de alotropia. A forma estável à temperatura ambiente é a ferrita  $\alpha$  (ferro  $\alpha$ ), que apresenta uma estrutura cristalina CCC (cúbica de corpo centrado). A transformação alotrópica da ferrita para **austenita** (ferro  $\gamma$ ) acontece à 912°C para uma estrutura cristalina CFC (cúbica de faces centradas). A austenita permanece inalterada até 1394°C, até que uma nova transformação alotrópica ocorre, modificando novamente a estrutura cristalina, a qual passa a ser CCC. Essa fase é conhecida como **ferrita  $\delta$**  (ferro delta), e enfim o ferro se funde a 1538°C (SILVA, 2010).

### 2.15.1 Aços

O aço é a liga ferrosa passível de deformação plástica que em geral apresenta teor de carbono entre 0,008 e 2% (m) na sua forma combinada e/ou dissolvida e que pode conter elementos de liga adicionados ou residuais máximos de Cr =0,20%, Ni =0,25%, Al= 0,10%, B = 0,0030%, Cu =0,35% (m/m) (SILVA, 2010).

Segundo (PANNONI, 2006) os aços-carbono podem ser subdivididos em:

- ❖ Aços de baixo teor de carbono, com teor de carbono inferior a 0,3% são aços que possuem grande ductilidade, bons para o trabalho mecânico e soldagem (construção de pontes, edifícios, navios, caldeiras e peças de grandes dimensões em geral). Estes aços não são temperáveis;
- ❖ Aços de médio carbono, com quantidade de carbono entre 0,3 e 0,7% %, são aços utilizados em engrenagens, bielas, etc.. São aços que, temperados e revenidos, atingem boa tenacidade e resistência;
- ❖ Aços de alto teor de carbono, com concentração de carbono que ultrapassa 0,7% São aços de elevada dureza e resistência após a têmpera, e são comumente utilizados em molas, engrenagens, componentes agrícolas sujeitos ao desgaste, pequenas ferramentas, etc..

O aço-liga é o aço-carbono que possui outros elementos de liga ou apresenta os elementos residuais em teores acima daqueles definidos como normais. Segundo (SILVA, 2010) os aços-liga, da mesma forma que os aços-carbono, também podem ser subdivididos:

- ❖ Aços de baixo teor de ligas, contendo elementos de liga em quantidades inferiores a 8%;
- ❖ Aços de alto teor de ligas, com elementos de liga acima de 8%;

### **2.15.2 Corrosão nos aços carbono**

O ferro é um metal próximo da extremidade anódica da série galvânica, tal característica impele a ele a dificuldade de haver algum caso em que o aço carbono não seja corroído. As condições as quais o aço carbono apresenta boa resistência à corrosão são quando o meio é fortemente alcalino sem aplicação de tensão, em meios de total ausência de água ou humidade.

O aço carbono sofre uma forma de corrosão uniforme ou generalizada quando este entra em contato com a atmosfera ou qualquer outro meio contendo oxigênio, água ou humidade, produzindo uma camada de ferrugem. A ferrugem normalmente não passiva o aço, uma vez que a camada de óxidos é altamente porosa e isso ocasiona a continuidade do processo de corrosão. Os meios os quais podem admitir que o progresso da ferrugem seja muito lento são em atmosferas não poluídas e com humidade inferior a 60%. Em geral, é obrigatório o uso de revestimento anticorrosão ou pintura em peças de aço carbono que estejam em contato com a atmosfera.

Elementos de liga adicionados em pequenas quantidades, tais como cromo, cobre, nióbio ou níquel, implicam em uma melhoria sensível na resistência do aço à corrosão atmosférica, dando origem a aços que dispensam pintura, tais aços são chamados de “aços patináveis”. Esses aços possuem uma camada de óxido muito aderente e protetora que serve como revestimento.

Quando o aço carbono encontra-se em situações em que esse esteja enterrado ou em contato com o solo, há uma necessidade de revestimento protetor, visto que o contato do aço com o solo pode levar a um grave processo de corrosão uniforme e corrosão por pites perfurante.

Ambientes que possuem pH acima de 11 geralmente são propícios à ocorrência de passivação do aço. Para os casos em que se encontram águas salgada ou salobra, o aço carbono não é indicado em qualquer caso, devido à acentuada corrosão por pites e corrosão generalizada, dessa forma nessas situações exige-se a utilização de revestimentos anticorrosivos ou pintura, ou proteção catódica.

### 2.15.3 Influência dos elementos de liga nos aços carbono

Segundo Coburn (1961), o cobre é o elemento de liga que influencia fortemente de maneira positiva no comportamento frente à corrosão dos aços de baixo teor de liga. Uma vez que a quantidade de Cu no aço é maior que 0,1%, a taxa de corrosão sofre uma diminuição, principalmente, em atmosfera industrial e semi-rural e, em uma proporção menor, em atmosfera marinha. Entretanto, a vantagem da utilização do Cu não é melhorada quando o teor desse no aço for maior que 0,3%.

Os aços que utilizam o **níquel** como liga, têm o aumento da resistência frente à corrosão, que varia quase linearmente com o aumento do teor do elemento de liga no aço. Quando há um aumento do teor de Cu nestes aços, a taxa de corrosão diminui de forma geral nos ambientes industrial e marinho (sendo menor em atmosfera industrial e maior em atmosfera marinha) (CARMONA, 2005).

O uso do **chromo (Cr)** como elemento de liga para aços tem diferentes efeitos, pois, quando o teor de Cr varia entre 0,61 e 1,3% e o teor de Cu e de P é de 0,01% e de Ni < 0,05%, a taxa de corrosão é elevada em todas as atmosferas. Para os mesmos aços, uma vez que se aumenta o teor de Cr, a taxa de corrosão decresce nas atmosferas industrial e rural (sendo menor na rural) e cresce na atmosfera marinha. Quando se eleva o teor dos outros elementos de liga principalmente do cobre, a taxa de corrosão diminui de forma pronunciada em todas as atmosferas sendo menor em atmosfera industrial e maior em atmosfera marinha (CARMONA, 2005).

**O alumínio (Al)** é largamente usado como um desoxidante e um refinador de grão. Como o Al forma nitretos com nitrogênio, ele é geralmente um elemento de liga em aços de nitretação. O alumínio também é usado em aços de baixo teor de carbono com estrutura martensítica.

O alumínio aumenta a resistência à corrosão em aços baixo carbono. De todos os elementos de liga, o alumínio é um dos elementos mais eficazes no controle de temperatura e tamanho de grão, entretanto, tem a desvantagem da tendência para promover a grafitização (TOTTEN, 2006).

**Molibdênio (Mo)** é muito importante para os aços baixa liga. Dissolve-se ligeiramente em cementita, e carbonetos de molibdênio são formados quando o teor de Mo no aço é elevado o

suficiente. Molibdênio pode induzir endurecimento secundário durante a têmpera dos aços e melhora a fluência de deformação de aços baixa liga a temperatura elevada. A adição de Mo produz aços de grão fino, aumenta a capacidade de endurecimento, e melhora a resistência à fadiga. O molibdênio aumenta a resistência à corrosão, e é usado em ligas de Cr de aço inoxidável ferrítico e em aços inoxidáveis austeníticos Cr-Ni. Altos teores de Mo reduzem a susceptibilidade do aço inoxidável sofrer corrosão localizada por pite (TOTTEN, 2006).

**O vanádio (V)** se dissolve na cementita e influencia na capacidade de endurecimento da liga. O vanádio é um refinador de grão, e promove a tenacidade da liga. Carbonetos e nitretos de vanádio promovem o endurecimento em aços microligados após a laminação controlada. O vanádio afeta o endurecimento secundário da têmpera, por conseguinte, aumenta a dureza a quente. O vanádio aumenta a resistência à fadiga, promove a soldabilidade dos aços tratáveis termicamente e retarda a taxa de fragilização da têmpera (TOTTEN, 2006).

## **2.16. AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS E SUA RESISTÊNCIA À CORROSÃO**

Os aços inoxidáveis são ligas de ferro e carbono que contém pelo menos 11% de cromo em sua composição, são exemplo de materiais que foram desenvolvidos para uso em condições corrosivas leves a severas e são classificados, de maneira geral como: ferrítico, austenítico, martensítico, duplex e superduplex (MELO, 2011).

Os austeníticos são ligas de Fe-Ni-Cr que pertencem à série 300 da família dos aços e entre os demais grupos são aqueles que apresentam melhor resistência à corrosão em alguns meios agressivos, tendo ligas que apresentam boa resistência à corrosão por pites. Podem ter sua estrutura alterada de acordo com a variação da composição química, como mostra a Figura 11, em que um aço AISI 304 pode ter sua estrutura e propriedades modificadas acrescentando-se diferentes elementos, como o molibdênio que causa o aumento da resistência a formação de pite. A resistência desses aços à corrosão se deve principalmente à fina camada de óxido em sua superfície, constituída principalmente de óxido de cromo e níquel e/ou hidróxidos, que se formam de maneira natural sobre a superfície do metal e reduz a taxa de corrosão (COSTA, 2012).

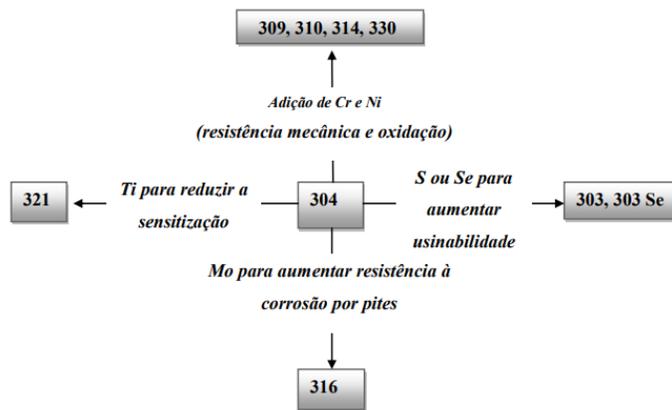


Figura 11: Aços inoxidáveis obtidos a partir da alteração da composição química do AISI 304.

Fonte: Costa, 2012

Apesar do que parece indicar o nome “aço inoxidável” esses materiais podem sofrer o processo de degradação, principalmente se forem submetidos aos ambientes corrosivos, como atmosferas salinas, cuja presença de íons agressivos e/ou biofilmes microbianos, ambos inevitáveis na água do mar natural, pode comprometer essa passividade, limitando a aplicabilidade de algumas ligas de aço inoxidável em ambientes marinhos (AGUIRRE et. al. 2017).

Geralmente os aços inoxidáveis sofrem corrosão por pite, caracterizado por uma forma de corrosão localizada que envolve a quebra da camada passivada de um metal ou ligas por um meio agressivo, ocasionando falhas nas propriedades mecânicas e enfraquecimento de estruturas, sem que haja grandes perdas de massa metálica (COSTA, 2012).

## 2.17. MÉTODOS QUE MELHORAM A RESISTÊNCIA A CORROSÃO

Alguns materiais de elevado uso industrial possuem baixa resistência à corrosão na maioria dos meios. Esta resistência pode ser melhorada, até mesmo podendo ser obtida no seu mais elevado grau, utilizando técnicas ou métodos de proteção anticorrosiva.

As técnicas e métodos de prevenção à corrosão devem ser bem definidos, isso inclui na seleção dos materiais, a alteração do ambiente, o projeto, os revestimentos e a proteção catódica. Para minimizar os efeitos da corrosão nos materiais metálicos existem algumas ligas que são adicionados em sua composição como o zinco. As ligas de zinco são os mais utilizados pelo seu

maior potencial de oxidação em comparação ao ferro, baixa velocidade de corrosão comparada ao aço carbono, também as ligas de zinco são adequadas para fundições com molde, por causa do seu ponto de fusão baixo e ausência de reação corrosiva e moldes de aço. Revestimentos de zinco sobre ligas ferrosas são meios importantes de proteção anticorrosão, este método pode ser chamado também de galvanização, afirma (SHACKELFORD 2008).

Ainda segundo SHACKELFORD (2008, p. 438) um dos meios mais eficazes para prevenção da corrosão é a proteção catódica, ela pode ser usada para prevenir as diversas formas de corrosão e pode em algumas situações, interromper por completo a corrosão.

Os revestimentos constituem-se em películas interpostas entre o metal e o meio corrosivo, ampliando a resistência à corrosão do material metálico.

Os revestimentos podem ser: metálicos, não metálicos, inorgânicos ou orgânicos. A sua utilização pode ser no aumento da resistência à corrosão atmosférica, na imersão e na corrosão pelo solo.

O uso de inibidores de corrosão tornou-se importante para a proteção de metais, devido a sua elevada eficiência. Dentre os inibidores mais conhecidos e comuns, estão os compostos inorgânicos que, na maioria das vezes, mostram-se tóxicos e prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente. Por essa razão e devido à exigência crescente de desenvolver processos e usar produtos químicos não agressivos ao ecossistema, a busca por inibidores de corrosão naturais e não tóxicos aumentou consideravelmente nos últimos anos.

### **2.17.1. Técnicas para prevenção de corrosão em estruturas de aço**

O surgimento da corrosão necessita das interações de três fatores para que aconteça, tais fatores são: material metálico, meio corrosivo e condições de operações, cada um desses fatores vão contribuir para o surgimento da corrosão, a figura a seguir demonstra essa interação entre os elementos que formam a processo de corrosão (ELETROBRAS 2019).

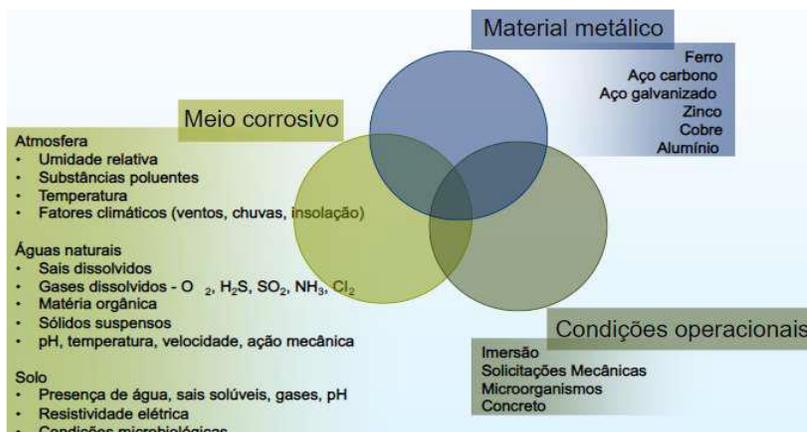


Figura 12: Elementos que formam a processo de corrosão.

**Fonte:** ELETROBRAS (2019)

Para fim de evitar a corrosão, é necessário eliminar ou isolar um dos três componentes. De acordo com esse princípio, alguns dos métodos para evitar a corrosão são: diminuição ou eliminação da humidade do ambiente, deserdção do eletrólito, emprego de revestimentos inorgânicos ou orgânicos no metal, adição de inibidores de corrosão no eletrólito ou no revestimento. Tais métodos são utilizados para criar uma barreira física na qual o metal é separado do eletrólito, do oxigênio ou de ambos (PANOSSIAN, 1993)

### 2.17.2. Galvanização das partes metálicas

Segundo Castro (1999), nesse processo as peças da estrutura metálica serão revestidas com um metal de sacrifício, o qual terá a função de proteger a estrutura metálica e, no caso de algum arranhão na estrutura, o metal de sacrifício oxida protegendo o aço da estrutura metálica. No caso do aço carbono, o zinco é um dos materiais mais utilizados.

Os métodos de galvanização já são utilizados em torres de transmissão de energia e mesmo estando expostos ambientes extremos resistem muito bem aos intempéries. De acordo como Bertolini (2010), os principais tipos de galvanização são:

### a) Galvanização a quente por imersão

Conforme mostrado na Figura 13, a peça em aço é submersa em um banho de zinco fundido a temperatura de 450° C. Quando a peça é retirada do banho e resfriada, forma-se uma camada metálica resistente à corrosão sobre sua superfície com espessura de 80 a 100 µm.



Figura 13: Galvanização a quente por imersão.

Fonte: (GOES, 2019)

### b) Galvanização por borrifamento a quente

Conforme mostrado na Figura 14, o zinco fundido é aspergido sobre a superfície do aço com um jato de ar. Forma-se assim uma camada de pequenas gotas que solidificam e ficam aderidas ao aço, sendo que a espessura pode variar de 200 a 300 µm. Porém o revestimento por borrifamento é mais poroso do que o por imersão deixando algumas brechas na camada protetora que são vedadas com a formação do óxido da corrosão.

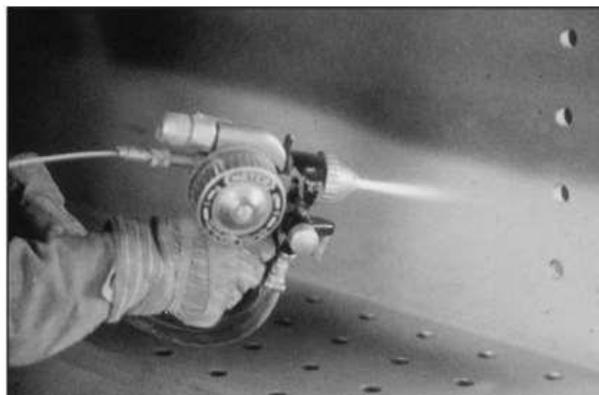


Figura 14: Galvanização por borrifamento a quente.

Fonte: (ABRACO, 2019)

### c) Galvanização a frio

Conforme mostrado na Figura 15, a galvanização a frio consiste na aplicação de um pó fino de zinco suspenso em uma matéria orgânico ou inorgânico. A concentração de zinco deve ser elevada de 91 a 95 % e o material deve ser aplicado como uma tinta. Esse tipo de galvanização pode ser aplicada como demão de fundo em uma pintura comum. Possui espessura de 70 a 75  $\mu\text{m}$ , mas se for utilizada como método final de proteção contra corrosão a sua espessura deverá ser aumentada para 120 a 200  $\mu\text{m}$ .



Figura 15: Galvanização a frio.

Fonte: (TAPMATIC, 2019)

### d) Galvanização por eletrodeposição

Conforme mostrado na Figura 16, as partes metálicas que vão receber a proteção são submersa em banho com sais de zinco. Uma corrente catódica atrai os íons  $\text{Zn}_{2+}$  para a superfície do aço onde se depositam como zinco metálico, formando uma película protetora com espessura de 5 a 25  $\mu\text{m}$ .



Figura 16: Processo de eletrodeposição.

Fonte: (NAKAHARA, 2019)

No esquema de célula de eletrodeposição apresentado na figura 17, é demonstrado o funcionamento do processo de galvanoplastia por processo de eletrólise, onde é introduzida uma carga elétrica nos materiais (o que vai receber o revestimento e o doador), o material que vai receber o revestimento será energizado com a carga negativa (cátodo) e o material doador será energizado com a carga positiva (ânodo). A diferença de potencial elétrico entre as peças possibilitará com que os íons do anodo sejam atraído pelo cátodo assim formando o revestimento de proteção.

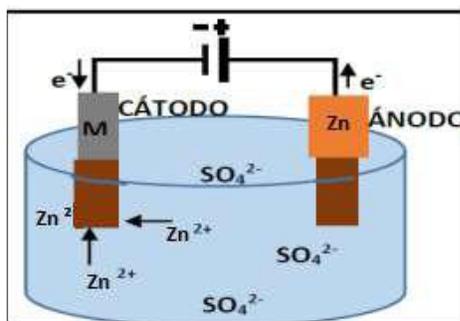


Figura 17: Processo eletroquímico da eletrodeposição.

Fonte: (CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2016)

### 2.17.3. Pintura das partes metálicas

De acordo com Oliveira (2012), As tintas são revestimentos não metálicos de natureza orgânica. É o método convencional mais utilizado no combate à corrosão pelo seu baixo custo e facilidade de aplicação em relação aos outros métodos já citados.

Vários fatores devem ser analisados (custo, objetivo da estrutura, condições ambientais, etc...), para definir o sistema de proteção mais adequado para determinada situação.

Os revestimentos orgânicos utilizados podem ser classificados em dois tipos: revestimentos convencionais (utilizados principalmente para a proteção de estruturas expostas ao ambiente atmosférico, como atmosferas rurais, industriais, marinhas), e revestimento de alta espessura (utilizados para a proteção de estruturas metálicas enterradas ou submersas em água doce ou salgada, como tubulações).

O funcionamento desse sistema de proteção é bem simples. Para a corrosão ocorrer é necessário uma reação química entre o meio corrosivo e o aço. A aplicação da película protetora de tinta evita o contato entre o meio corrosivo e aço da estrutura, garantido uma longa vida para as estruturas de aço. O processo de pintura é feito logo após as peças serem fabricadas, evitando assim a exposição do material ao meio ambiente no processo de transporte evitando o aparecimento de corrosão nos perfis da estrutura de aço.

Para um bom resultado com esse método deve-se preparar toda a superfície para receber a camada de tinta. O método mais eficaz é o de jateamento com areia. Nesse caso, todas as impurezas, resíduos de óleo e qualquer tipo de contaminante que dificultaria à aderência da camada protetora na superfície metálica serão removidos e com tal processo ainda aumentamos a rugosidade das peças proporcionando uma melhor ancoragem da camada de zarcão que e o material mais aplicados como camada base em estruturas de aço, pois tem a função anticorrosivo, garantindo assim um bom isolamento das estruturas contra os intemperes.

Segundo Pannoni (2007), as principais classes de tintas utilizadas na proteção do aço carbono são:

- Alquílicas: mais conhecidas como esmaltes sintéticos, são tintas mono componentes de secagem ao ar. São utilizadas em interiores secos e abrigados, ou em exteriores não poluídos. Como as resinas utilizadas são saponificáveis, não resistem ao constante molhamento ou imersão em água.
- Epoxídicas: São tintas bi componentes que secam ao ar. A secagem da tinta se da pela reação químicas entre os dois componentes da tinta. São mais impermeáveis e mais resistentes aos agentes químicos do que as alquílicas. Resistem a umidade, imersão em água doce ou salgada e diversos produtos químicos.
- Poliuretânicas: são tintas bi componentes. São resistentes ao intemperismo e são indicadas para pintura de acabamento em estruturas expostas.
- Acrílicas: são tintas mono componentes a base de solvente orgânico ou água. Assim como as tintas poliuretânicas, são indicadas para pintura de acabamento. Tem boa resistência a ação do sol.

De acordo com Pannoni (2007), na elaboração de um sistema de pintura, todos os fatores devem ser considerados, como o ambiente, substrato, preparação de superfície, tintas, sequência de aplicação, número de demãos, espessura da camada de tinta, tipos de aplicação e a que condições de trabalho serão submetida às estruturas de aço que receberá o tratamento contra corrosão, quanto maior a qualidade de execução em cada etapa, maior será o tempo que a proteção das estruturas de aço vão resistir aos efeitos dos intemperes, evitando à exposição do aço a umidade e evitando surgimento da corrosão. A espessura mínima da película de tinta, para que seja eficaz e que cumpra sua finalidade na proteção anticorrosiva, em relação ao ambiente de exposição, admiti os seguintes valores. Gentil (2006). A tabela 2 mostra a espessura mínima de película de tinta anticorrosivo a ser aplicado na superfície metálica em função da gravidade do meio onde se encontra.

Tabela 3: Espessura mínima de película de tinta anticorrosive

Atmosfera altamente agressiva	> 250 $\mu\text{m}$
Imersão permanente (em água salgada)	> 300 $\mu\text{m}$
Superfícies aquecidas	75 a 120 $\mu\text{m}$
Atmosfera com agressividade média	> 160 $\mu\text{m}$
Atmosfera pouco agressiva	> 120 $\mu\text{m}$

Fonte: Gentil (2006, p. 269)

#### 2.17.4. Proteção Catódica

No caso do revestimento metálico, o metal utilizado no recobrimento pode ter potencial de oxidação maior (sofre oxidação com mais facilidade) ou menor (sofre oxidação com mais dificuldade). Esse processo ocorre quando o metal utilizado na proteção possui potencial de oxidação maior que do ferro. Nesse caso funciona como anodo e o ferro como catodo daí o nome de proteção catódica, o metal utilizado na proteção é chamado de proteção de metal de sacrifício ou ano de sacrifício, (MAIA; BIANCHI 2006). À medida que o metal de sacrifício que atua como anodo vai sendo oxidado ele fornece elétrons ao ferro que atua como catodo evitando sua oxidação, quando o metal for consumido, ele é substituído e continua protegendo a tubulação, conforme mostra na figura abaixo.

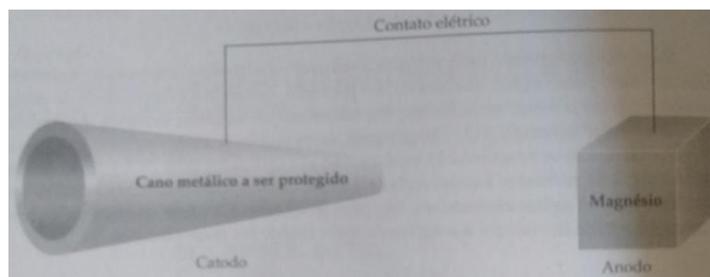


Figura 18: Esquema para proteção catódica do ferro

Fonte: Maia; Bianchi (2006)

Como pode observar acima o anodo composto por magnésio irá absorver a corrosão. A característica fundamental do mecanismo eletroquímico da corrosão só pode ser verificada em presença de um eletrólito. A reação é composta de duas reações parciais: anódica e catódica, que se processam em pontos distintos.

### 2.17.5. Métodos de Proteção Catódica

Existem dois métodos para a aplicação de um sistema de proteção catódica: por anodos de sacrifício, e por corrente impressa. Em qualquer dos dois métodos de proteção existe um suprimento de corrente contínua em quantidade tal que, penetrando, por exemplo, em uma tubulação enterrada, é suficiente para eliminar as pilhas de corrosão normalmente nela existentes. A escolha, na prática, do método a ser utilizado, depende da análise de várias considerações técnicas e econômicas (GOMES,1990). A figura 19 mostra um esquema de proteção catódica por anodo de sacrifício.

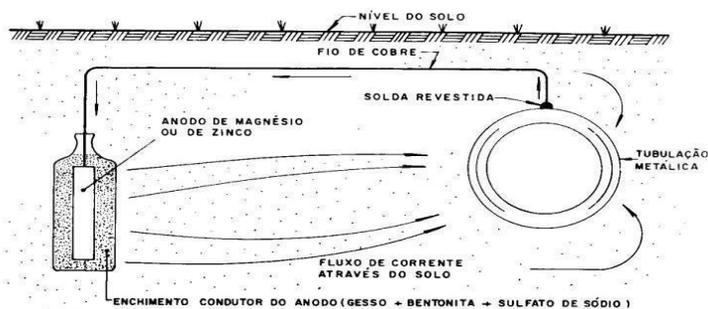


Figura 19: Sistema de proteção catódica por anodo de sacrifício.

Fonte: Gomes (1990)

Em grandes estruturas metálicas como cascos de navios os ânodos são conectados eletricamente ao equipamento a proteger. Forma-se, desse modo, um par galvânico e o potencial misto se posicionará em um valor intermediário entre os de corrosão dos dois materiais. A quantidade, tamanho e distribuição dos ânodos são de suma importância para conseguir uma proteção efetiva, devido a uma série de fatores.

O solo ou a água em que estão imersos os equipamentos podem ser mais ou menos condutores, com o que a distribuição de correntes e potenciais é influenciada. Não é conveniente em grandes estruturas, colocar os ânodos encostados no metal a proteger, pois isto fará com que haja uma grande concentração de corrente nesta região com menor influência sobre regiões mais longínquas o que torna a distribuição do potencial muito heterogênea. O zinco como ânodo é usado bastante em água do mar, como em navios, barcos, etc.

#### **2.17.6. Proteção catódica por corrente impressa**

A proteção catódica por corrente impressa é usada quando se deseja proteger grandes estações de tratamento, onde a corrente de proteção catódica necessária é superior a 5 Ampere. Nesse processo, a diferença de potencial entre os anodos e as estruturas metálicas é garantida por um retificador de corrente contínua, construído e dimensionado especialmente para essa finalidade, (GOMES, 1990).

A fonte de elétrons é uma corrente impressa a partir de uma fonte de energia externa de corrente contínua, o terminal negativo da fonte de energia está conectado a estrutura a ser protegida, o outro terminal está ligado a um anodo inerte, o qual nesse caso, está enterrado no solo, um material de enchimento de alta condutividade proporciona um bom contato elétrico entre o anodo e o solo ao seu redor. Existe a passagem de corrente entre o catodo e o anodo através do solo, completando o circuito elétrico. A figura 20 mostra um esquema de proteção catódica por corrente impressa.

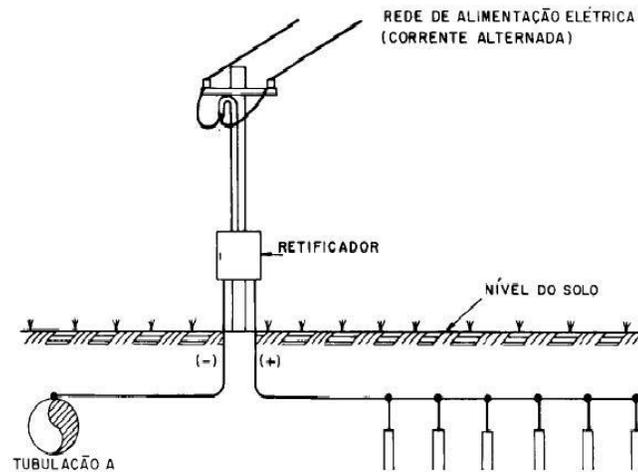


Figura 20: Sistema de proteção catódica por corrente impressa

Fonte: (Gomes, 1990)

### 2.17.7. Ânodos Inertes

Os ânodos usados em sistemas por corrente impressa diferem fundamentalmente dos ânodos galvânicos pelo fato de serem inertes, apresentando um desgaste bastante baixo e possuindo vida mais longa.

Nos últimos anos foram desenvolvidos ânodos não metálicos, à base de polímeros especiais. Para os diversos tipos e características dos ânodos inertes, construídos de materiais apropriados, os ânodos, ao liberarem corrente para o solo em direção à estrutura que se encontra ligada ao negativo do retificador, sofrem desgaste suave, que depende do material utilizado e da densidade de corrente ( $a/m^2$ ) aplicada nas suas superfícies.

Os ânodos são instalados na posição vertical ou horizontal, sendo comum o uso de enchimento condutor de coque metalúrgico moído. Quando o coque é convenientemente compactado em torno do ânodo, obtém-se menor resistência de saída da corrente para o solo, além da diminuição do consumo do ânodo, uma vez que boa parte da corrente é descarregada por intermédio do coque metalúrgico. A tabela 4 mostra os diferentes tipos de ânodos inertes usados no sistema de proteção por corrente impressa.

Tabela 4: Ânodos Inertes para Sistemas de proteção por Corrente Impressa

Ânodo	Densidade de corrente recomendada (a/m <sup>2</sup> )	Desgaste média (Kg/A . ano)
Grafite	até 3	0,2
Ferro/silício (Fe-Si)	até 15	0,35
Ferro/silício/cromo (Fe-Si-Cr)	até 15	0,35(2)
Chumbo/antimonio/prata (Pb-Sb-Ag)	50/100	0,10
Titânio platinizado (Ti-Pt)	até 1.000	Desprezível
Nióbio platinizado (Nb-Pt)	até 700	Desprezível
Tântalo platinizado (Ta-Pt)	até 1.100	Desprezível
Titânio oxidado	até 1.100	Desprezível
Magnetita (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	até 115	0,04
Ferrita (0,4 MO .0,6 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	até 115	0,0004(3)
Ferrita (0,1 MO .0,9 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	até 115	0,002(3)

## 2.18. HISTORIA DO SURGIMENTO DOS CONTENTORES DE LIXO

Em 1935 George Roby Dempster desenvolveu uma caixa estacionária (caixa Bin) para coleta de lixo e resíduos das obras de construções civis na cidade Knoxville em Tennessee nos Estados Unidos, atualmente conhecida como caçamba. Juntamente com seus três irmãos formaram a incorporadora Irmãos Dempster onde também desenvolveram o equipamento de poligüindaste que seria fixado no chassi do caminhão para remoção das caçambas do local da coleta até a destinação dos materiais coletado. A figura abaixo mostra um caminhão equipado com equipamento poligüindaste simples e caçambas desenvolvidos pêlos irmãos Dempster.



Figura 21: Caminhão equipado com equipamento poligüindaste simples e caçambas

Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/George\\_Roby](http://en.wikipedia.org/wiki/George_Roby)

### **2.18.1 Caçamba**

É uma grande caixa de metal utilizada para armazenamento e transporte de resíduos levados por caminhões equipados com poligüindaste. Estes contentores são utilizados em muitos lugares, incluindo ruas, parques, edifícios públicos e residências.

#### **Algumas das vantagens desse tipo de produto incluem:**

- ❖ Armazenamento seguro: Os contentores de lixo são projetados para armazenar lixo de forma segura, evitando a dispersão de resíduos e maus odores.
- ❖ Transporte fácil: Os contentores de lixo são feitos para serem facilmente transportados, o que permite a coleta e descarte do lixo com maior eficiência.
- ❖ Variações de tamanho: Existem diferentes tamanhos de contentores de lixo disponíveis, para atender a diferentes necessidades de armazenamento.

Os contentores de lixo são de grande importância porque permitem a coleta e o armazenamento seguro de resíduos sólidos, evitando a propagação de odores desagradáveis e a disseminação de doenças. Além disso, a utilização de contentores de lixo ajuda a manter as áreas públicas limpas e organizadas, contribuindo para um ambiente mais agradável e saudável.

Os contentores de lixo são geralmente fabricados com materiais como plástico, metal ou aço inox, cada um com suas próprias vantagens, como durabilidade, facilidade de limpeza e resistência à corrosão.

### **2.18.2 Contentores metálicos**

Dentre os tipos de caçambas existentes estão: as estacionárias (Figura 22), basculantes (Figura 24, de rollon-off (Figura 23) e contêineres com rodízio (Figura 25).



Figura 22: Caçamba estacionária



Figura 23: Caçamba rollon-off



Figura 24: Caçamba basculante



Figura 25: Contêiner com rodízio

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Caçamba>

### 2.18.3 O processo de fabricação de contentores metálico

O processo de fabricação de contentores de lixo pode incluir a moldagem do metal, o corte e dobra de aço, a soldagem, o revestimento com tinta e a montagem final. A escolha do material a ser utilizado depende da aplicação específica do contentor, assim como das necessidades de durabilidade, resistência e custo.

Em certas áreas e regiões, a utilização de recipientes feitos a partir de aço galvanizado tem muitas vantagens sobre o uso de recipientes de plástico. Não apenas são mais robustos, à prova de vandalismo e resistentes ao fogo, como ainda têm uma aparência mais elegante.

As desvantagens dos contentores metálicos incluem sua dificuldade de manuseio, elevado peso, elevado custo de fabricação e menor durabilidade em relação a contentores plásticos.

### **CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO**

O presente trabalho foi desenvolvido com base em:

- ❖ Sessões de consulta com os supervisores da faculdade para a correcção e rectificação de possíveis erros presentes no projecto;
- ❖ Pesquisa bibliográfica que consistiu na consulta de manuais relacionados com a temática abordada disponíveis na biblioteca da faculdade de Engenharia;
- ❖ Visitas ao campo e abordagem/paradigma dos trabalhadores locais da área em estudo;
- ❖ Entrevista feita a um funcionário do Município de Maputo;
- ❖ Consulta em sites de internet sobre matéria relacionada com a temática abordada;

Os autores que mais contribuíram para este trabalho foram: GENTIL, Vicente, 2007; FELTRE, R. 1998.

## **CAPÍTULO 4 - CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO**

### **4.1. Caracterização da Área de Estudo**

A praia de Costa de Sol localiza-se no sul de Moçambique, na Cidade de Maputo, banhada pela Baía de Maputo, com os paralelos 25°55'22.59" S e 32°38'27.64" E. A praia é protegida pela Ilha da Xefina Grande e Ilha da Inhaca à Este, Litoral da Ponta Maona à Sul, Litoral da Catembe à Sudeste Cossa (2018).

Costa de sol é uma praia arenosa, com dunas altas e cobertas por vegetação bastante frágil. Anualmente recebe turistas, constituindo uma das praias mais visitadas de Moçambique. Estas características são atribuídas à todas praias da zona sul de Moçambique Langa (2007). A praia apresenta extensos bancos de areia que providenciam momentos de lazer a vários milhares de pessoas que semanalmente frequentam a praia, especialmente aos fins-de-semana.

O clima da região é tropical, verão tem muito mais pluviosidade que o inverno e de acordo com a Köppen e Geiger a classificação do clima é Aw. A temperatura média é de 22.7 °C e a pluviosidade média anual é 781 mm Agosto é o mês mais seco com 15 mm e Janeiro cai a maioria da precipitação, com uma média de 160 mm Fevereiro (temperatura média de 26.2 °C) é o mês mais quente do ano e Julho (temperatura média de 18.5 °C) é o mês mais frio.

A figura 26 mostra a área de estudo onde-se encontram instalados os contentores metálicos de lixo ao longo da avenida da marginal da Cidade de Maputo.



Figura 26: Localização geográfica da área de estudo  
(Fonte: Google Earth).

#### **4.2. Processo de Gestão dos resíduos sólidos na área marginal da Cidade de Maputo**

Na primeira pergunta relacionada com a gestão dos resíduos sólidos no Município de Maputo, o entrevistado (um proeminente fonte do Município de Maputo), disse que a gestão de resíduos sólidos na cidade de Maputo é feita a dois níveis, nomeadamente: recolha primária e recolha secundária.

De acordo com o entrevistado o sistema de recolha primária de resíduos sólidos é feita por microempresas e consiste na recolha porta-a-porta ou em pontos pré-selecionados num bairro, utilizando Carinhas de mão, enquanto o sistema de recolha secundário é feita por operadores privados usando camiões.

Posteriormente esta recolha é entregue aos provedores, isto é, a empresas privadas que fazem a recolha, nomeadamente a Ecolife e a Enviro Service. A Ecolife é uma empresa privada que actua na zona urbana, usando especificamente os contentores plásticos. A figura 27 mostra o tipo de contentor de lixo usado pela empresa Ecolife



Figura 27: Contentor da Ecolife Usado na Zona Urbana no Município de Maputo

Fonte: autor (2023)

Para a zona urbana foi estabelecido o horário das 15 às 19 horas no qual os munícipes devem depositar os resíduos sólidos nos contentores disponibilizados e a empresa responsável faz a devida recolha no período nocturno a partir das 19:30 h. Portanto, na zona urbana o sistema de recolha de resíduo sólido usado é a recolha primária, onde os munícipes depositam os resíduos sólidos produzidos nos contentores e a empresa prestadora de serviços passa a recolher.

A Enviro Service também uma empresa privada, faz a recolha dos resíduos sólidos na zona suburbana do Município de Maputo e usa contentores de 4,0 M<sup>3</sup>. A figura 28 mostra o tipo de contentor de lixo usado pela empresa Enviro Service.



Figura 28: Contentor Usado pela Enviro Service nas Zonas Suburbanas do Município de Maputo

Fonte: autor (2023)

### 4.3. Localização dos contentores na zona em estudo

Na área da Marginal da cidade de Maputo, os locais onde a presença de contentores metálicos bem como contentores plásticos são; em frente do restaurante Costa do Sol onde foram alocados 2 contentores poliméricos com a empresa Ecolafi, em frente do Supermercado Royal onde foram alocados 4 contentores poliméricos com a empresa Ecolafi, em frente da Builders Warehouse onde foram alocados 3 contentores cilíndricos metálicos, em frente do Condomínio Trinfo onde foi alocado 1 contentor metálico com a empresa Eviro Service, em frente do Colégio Educare onde foram alocados 2 contentores poliméricos com a empresa Ecolafi, em frente da Cowork onde foi alocado 1 contentor poliméricos com a empresa Ecolafi, ao lado da paragem Elena Parque foi alocado 1 contentor metálico com a empresa Eviro Service e em frente do Mercado Peixe foi alocado 1 contentor metálico com a empresa Eviro Service.

### 4.4. Material de estudo

Este trabalho visou estudar o efeito do Ambiente marítimo na corrosão de contentores metálicos de lixo. Usou-se como objeto de estudo 2 contentores alocados ao longo da avenida marginal. Trata-se de contentores de 4,0 m<sup>3</sup> de volume com um comprimento de 2065 mm e uma altura de 1115 mm, compostos por chapas metálicas, barras retangulares e circulares metálicos ligados através do processo de soldadura MIG, com aplicação dupla de solda para maior resistência, reforços externos na horizontal e vertical, pinos de elevação em tubos metálicos com diâmetro de 2" (50,8mm), Cantoneira do eixo de basculamento de 5/16" (8,00mm) de espessura, peças em acabamento por corte a plasma e a laser, pintura de acabamento em poliuretano. A figura 29 mostra os contentores de lixo em estudo.



Figura 29: apresenta uma visão em perspectiva dos contentores.

Fonte: autor (2023)

#### 4.5. Tipo de corrosão experimentado por esse tipo de contentor em ambiente marítimo da Costa do Sol.

##### 4.5.1. Corrosão uniforme

Segundo Silva (2017) a corrosão uniforme é caracterizada pela superfície coberta por uma camada de óxido de ferro e pela perda uniforme de espessura das estruturas do aço que são afetadas por esse tipo de corrosão. É a forma mais comum de corrosão e pode ser facilmente detectada por ser bem visível quando ocorre. Esse tipo de corrosão ocorre devido à exposição da estrutura metálica sem proteção ao meio ambiente, projetos mal executado, com perfis e vigas acumulando água ou exposição do aço carbono a um ambiente agressivo. Trata-se da forma menos agressiva de corrosão, a qual se estende de forma homogênea sobre toda a superfície metálica, sendo sua penetração média e igual em todos os pontos. São apresentadas nas figuras abaixo partes do contentor sujeitas a corrosão uniforme.

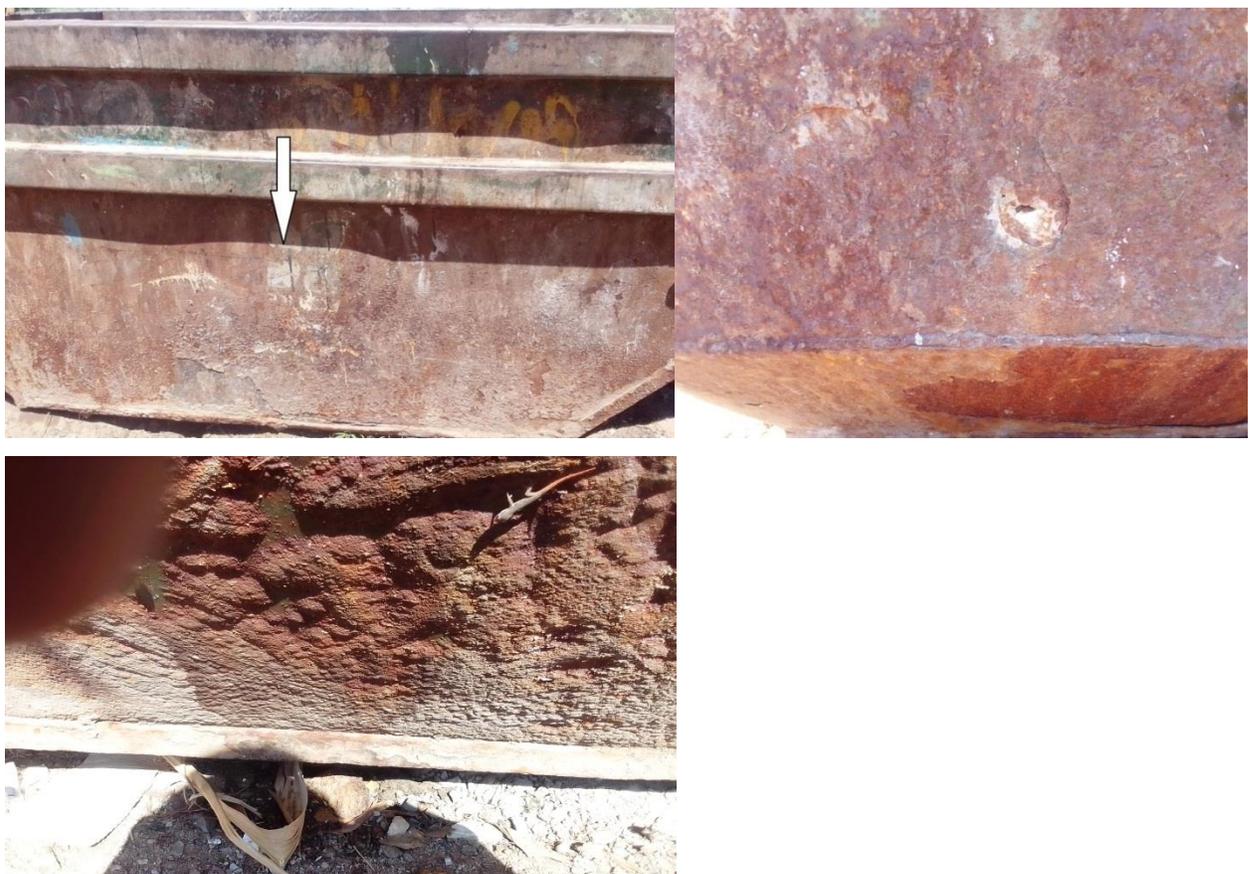


Figura 30: A forma como a corrosão uniforme afeta uma peça em aço.

Fonte: autor (2023)

Segundo Castro (1999), o tratamento de corrosão uniforme baseia-se inicialmente na avaliação do comprometimento da área afetada. Se a corrosão estiver agido somente superficialmente será necessário somente uma limpeza ou jateamento com areia para eliminar os traços da corrosão e realização de uma nova pintura. Caso a corrosão tenha afetada a peça metálica de maneira a reduzir sua seção transversal, comprometendo sua estabilidade, existem duas opções: reforço ou substituição da peça afetada pela corrosão. Assim, caso a corrosão esteja afetando somente uma parte da peça metálica, pode-se adicionar chapas soldadas da mesma espessura ou superior da peça original garantido a estabilidade da estrutura. Porém, caso a área afetada pela corrosão uniforme seja extensa em relação ao comprimento da peça metálica afetada, será mais viável a substituição da mesma por outra.

#### 4.5.2. Corrosão por frestas

Surge nas uniões dos perfis metálicos, onde apresentam espaços que acumulam humidade. Essas são difíceis de identificar, pois agem em uma pequena área enquanto o restante do perfil permanece em perfeitas condições.

A principal causa da formação da corrosão por frestas é a exposição a um eletrólito, devido ao acúmulo de água nas frestas. Devido a esse facto ocorre uma corrosão conhecida como pilha de aeração diferencial, em que na borda da fresta teremos uma região com um maior teor de oxigênio do que no interior da fresta, é nessa região com menor concentração de oxigênio que ocorre a corrosão. Independente se tenha ou não um revestimento de proteção nas peças, à corrosão pode surgir. São apresentadas nas figuras 37 peças sujeitas a corrosão por frestas.



Figura 31: Corrosão por frestas

Fonte: autor (2023)

Por se tratar de uma corrosão que ocorre em lugares de difícil acesso, é complexo avaliar o quanto a corrosão por frestas é profunda (CASTRO, 1999). Assim, caberá ao inspetor avaliar sua extensão: se a mesma estiver em estágio inicial, será necessário uma limpeza superficial, eliminar a humidade que tenha dado início a corrosão. Após feito a limpeza, aplica-se um selante adequado na entrada da fresta. Desta forma, a entrada de humidade no interior da fresta é impedida, eliminando o seu mecanismo de formação.

Caso a corrosão esteja em um estado avançado, onde a estabilidade da estrutura metálica esteja sendo comprometida, tem-se a opção do reforço ou substituição. Porém, como a corrosão por frestas atinge principalmente as áreas de ligações das estruturas de aço, o ideal é realizar a substituição do elemento afetado, pois o reforço não será uma solução definitiva, tendo em vista que não será eliminada toda a corrosão da área afetada.

#### **4.5.3. Corrosão por pites**

É a forma mais agressiva de manifestação dessa patologia, agindo em pequenas áreas e perfurando o metal. Trata-se de um processo difícil de ser identificado, pois tem tamanho reduzido e fica encoberto com camadas de óxido de ferro.

Ocorre geralmente em locais expostos a meios aquosos ou com drenagem insuficiente. Pode ser originado pela deposição concentrada de material nocivo ao aço, por pilha de aeração diferencial ou por pequenos furos que possam permitir a infiltração e o acúmulo de líquido na peça. É apresentada na figura 32 a corrosão por pites.

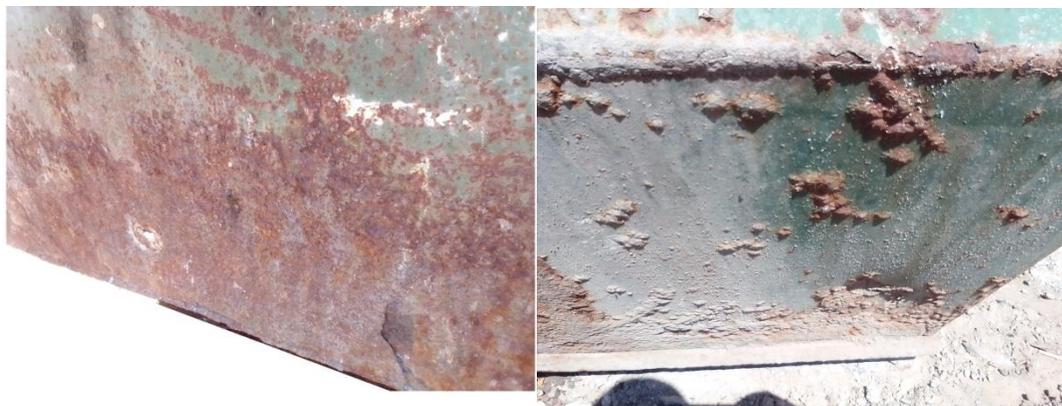


Figura 32: Corrosão por pites.

Fonte: autor (2023)

Para evitar esse tipo de corrosão, as peças não devem acumular humidade na superfície e todos os depósitos de água encontrados devem ser removidos durante as manutenções. A intervenção deve ser realizada com base no quanto a peça da estrutura foi afetada pela corrosão por pites. Deve-se efetuar limpeza no local e se a estrutura não estiver comprometida, pode-se cobrir o furo aplicando um selante apropriado, evitando assim o acúmulo de substâncias no interior desses furos e novamente iniciando o processo de corrosão. A manutenção da corrosão por pites não é muito diferente das citadas anteriormente e o método a se adotar reforço ou substituição vai depender do quanto à corrosão afetou a peça metálica.

Como o aço carbono é o material predominante na fabricação dos perfis das estruturas de aço, deve-se garantir que as estruturas estejam livres de todas as formas de corrosão supracitadas a fim de possibilitar que as estruturas possuam uma vida útil de acordo com o projetado. Um dos grandes desafios da engenharia é tentar contornar esses possíveis ataques de corrosão ainda na fase de projeto respeitando o designer e a funcionalidade das estruturas que serão projetados. Muitas estruturas serão erguidas em locais onde o ambiente é propício para o aparecimento de corrosão. Em tais situações o projetista deverá ter um cuidado maior com a prevenção à corrosão.

#### **4.6. Análise de PH, ação do vento, temperatura, humidade, salinidade da água da zona em estudo.**

##### **4.6.1. Salinidade da água**

A salinidade é o conteúdo de sais dissolvidos em uma dada quantidade de água. Usualmente, a salinidade da água é referida como a massa de sais em uma unidade de massa de água. Por isso, a unidade actualmente mais usada é g/kg, que equivale a partes por mil, cujo símbolo é ‰.

A medida de salinidade é referida numa escala própria, conhecida por PSU (*Practical Salinity Unit* ou Unidade de Salinidade Prática), determinada com base na relação directa entre a condutividade eléctrica da água e a sua salinidade.

A salinidade da água do mar varia, cerca de 90% das águas oceânicas têm 34–35 g de sólidos dissolvidos por litro, o que produz uma medida salina de 3,4 e 3,5‰.

A água do mar não é pura e por causa da ação do vento e de outras condições ambientais, as partículas de água do mar se espalham, entrando em contato com objetos metálicos que são

corroídos. Esse processo é acelerado pela presença dos íons na água do mar e nos evaporitos, que são micropartículas presentes no ar que apresentam sais. Esses íons fazem uma ponte salina, o que possibilita o fenômeno de oxirredução entre o oxigênio do ar e os metais. A figura 33 mostra a unidade da salinidade prática dos oceanos.

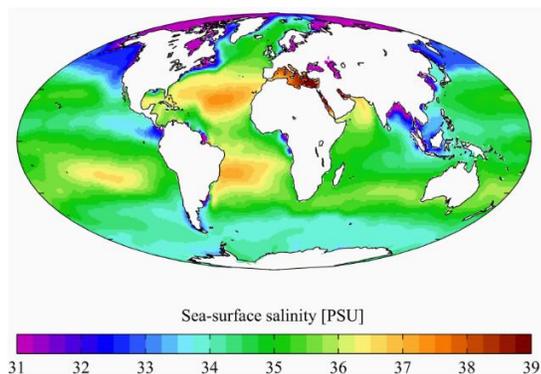


Figura 33: Unidade de Salinidade Prática dos oceanos.

Fonte: [http:// en.wikipedia.org/wiki/George\\_Roby](http://en.wikipedia.org/wiki/George_Roby)

#### 4.6.2. Análise de PH

A água do mar é levemente alcalina e tem um pH pré-industrial de cerca de 8,2. Nos últimos tempos, atividades antropogénicas têm aumentado em constância a quantidade de dióxido de carbono da atmosfera; por volta de 30–40% do CO<sub>2</sub> adicionado é absorvido pelos oceanos, formando ácido carbônico e diminuindo o pH (agora abaixo de 8,1) por meio do processo de acidificação oceânica. No ano de 2100, é esperado que esse índice chegue a 7,7, representando um aumento de três vezes na concentração de íon hidrogênio, o que será uma significativa mudança no fim do século.

#### 4.6.3. Ação do vento

Está relacionada com a dispersão dos poluentes atmosféricos. Feliu (1999) constatou que o impacto do vento com a superfície marítima origina a formação de bolhas, que formam gotículas que dão origem ao aerossol, libertando partículas de sais sobre as superfícies expostas. Piazzola (1997) observou que a concentração do aerossol marinho é maior para ventos com velocidades entre 7 e 11 m.s<sup>-1</sup>. O gráfico 3 e a tabela 5 mostram a velocidade média do vento em Maputo,

Costa do Sol ao longo de um ano e ao longo de um dia apartir das 02h-23h, bem como a rajada do vento e a sua direção.

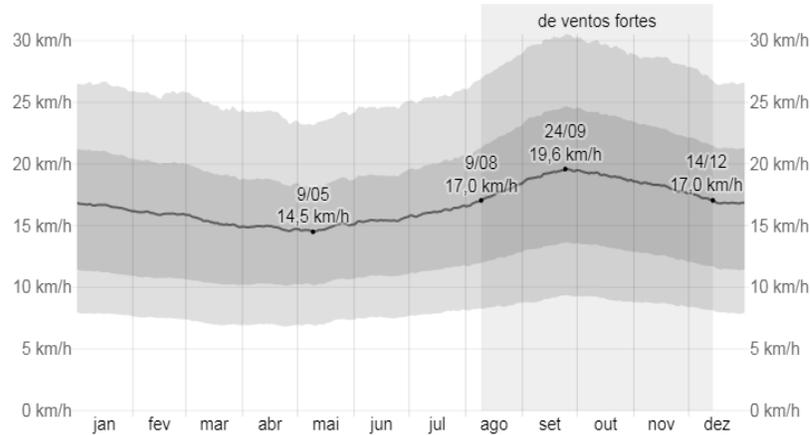


Gráfico 3: Velocidade média do vento em Maputo Costa do Sol (Estadísticas baseadas em observações feitas entre 1/2023 - 12/2023)

Fonte: <https://pt.weatherspark.com/Clima-em-Maputo-Mocambique>

Tabela 5: Direção, velocidade média e rajada do vento em Maputo Costa do Sol (Estadísticas baseadas em observações feitas entre 1/2023 - 12/2023)

**Previsão Maputo Costa do Sol**  
 Fuso horário: UTC +2 | Nascer do sol: 03:21 | Pôr do sol: 16:42  
 Última atualização: 12:33 hora local

Data local	Domingo, Jan 28								Segunda, Jan 29							
Hora local	02h	05h	08h	11h	14h	17h	20h	23h	02h	05h	08h	11h	14h	17h	20h	23h
Direção do vento	↙	↘	↘	↘	↙	↙	↙	↙	↙	↘	↘	↘	↙	↙	↙	↙
Velocidade do vento (kts)	2	0	2	6	12	13	9	6	4	2	3	7	11	13	10	7
Rajada (kts)	4	2	3	6	12	14	13	8	6	4	4	7	11	14	15	10

Data local	Segunda, Fev 05							Terça, Fev 06								
Hora local	02h	05h	08h	11h	14h	17h	20h	23h	02h	05h	08h	11h	14h	17h	20h	23h
Direção do vento	↘	↘	↘	↘	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	
Velocidade do vento (kts)	4	1	5	6	12	15	10	17	17	14	17	15	12	16	17	13
Rajada (kts)	7	3	7	8	12	22	16	28	29	25	26	17	15	18	24	22

Fonte: <https://pt.windfinder.com/windstatistics/maputo-costa-do-sol>

A velocidade horária média do vento em Maputo, Costa do Sol, passa por variações sazonais significativas ao longo do ano. A época de mais ventos no ano dura 4,1 meses, de 9 de agosto a 14 de dezembro, com velocidades médias do vento acima de 17,0 quilómetros por hora. O mês de ventos mais fortes em Maputo é setembro, com 19,2 quilómetros por hora de velocidade média horária do vento. A época mais calma do ano dura 7,9 meses, de 14 de dezembro a 9 de agosto. O mês de ventos mais calmos em Maputo é maio, com 14,8 quilómetros por hora de velocidade média horária do vento.

#### 4.6.4. Temperatura

Segundo Cascudo (1997) o aumento da temperatura diminui a possibilidade da condensação de vapor de água sobre a superfície metálica diminuindo a velocidade de corrosão devido à diminuição da permanência do eletrólito sobre o material, mas leva a um aumento na velocidade de reações e da mobilidade iônica. Enquanto que a diminuição provoca a condensação, aumentando assim a humidade local causando a ocorrência do processo corrosivo. O gráfico 4 e a tabela 6 mostra a temperatura média anual em Maputo, Costa do Sol.

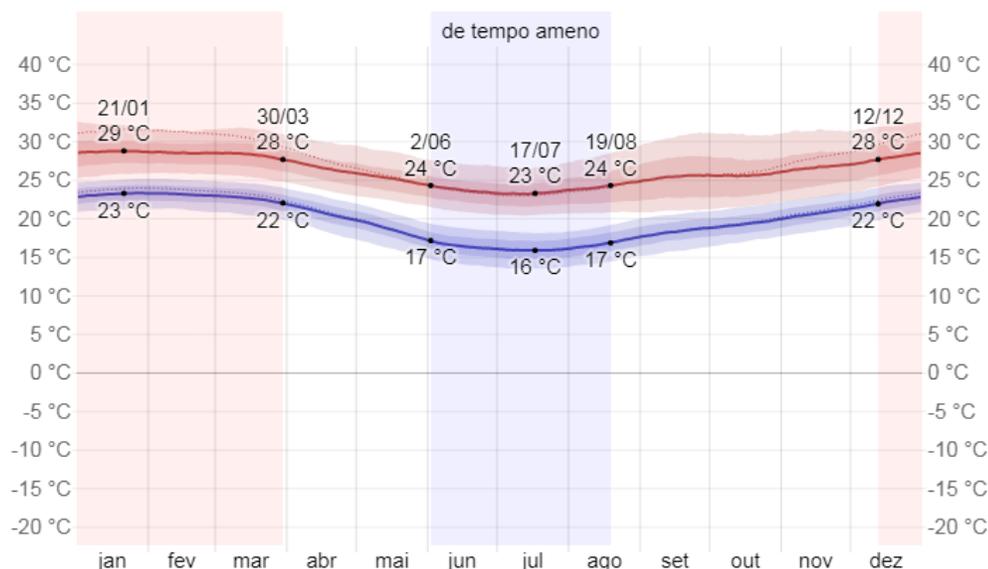
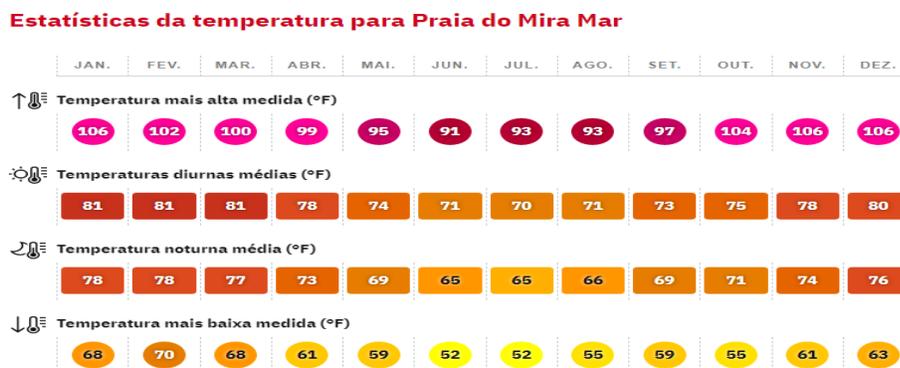


Gráfico 4: Temperatura média anual em Maputo Costa do Sol (Estatísticas baseadas em observações feitas entre 1/2023 - 12/2023)

Fonte: <https://pt.weatherspark.com/Clima-em-Maputo-Mocambique>

Tabela 6: Temperatura média anual em Maputo Prai do Mira Mar(Estatísticas baseadas em observações feitas entre 1/2023 - 12/2023)



Fonte: <https://pt.windfinder.com/windstatistics/Praia-do-Mira-Mar>

A estação morna permanece por 3,5 meses, de 12 de dezembro a 30 de março, com temperatura máxima média diária acima de 28 °C. O mês mais quente do ano em Maputo é janeiro, com a máxima de 29 °C e mínima de 23 °C, em média.

A estação fresca permanece por 2,5 meses, de 2 de junho a 19 de agosto, com temperatura máxima diária em média abaixo de 24 °C. O mês mais frio do ano em Maputo é julho, com a mínima de 16 °C e máxima de 23 °C, em média.

#### 4.6.5. Humidade

Sendo a corrosão atmosférica um processo eletroquímico, a água presente na atmosfera constitui um dos fatores principais para o fenómeno de corrosão. De acordo com Viana (1980) a água que se deposita na superfície metálica pode ser proveniente do processo de adsorção e condensação, que são determinadas pela humidade relativa do ar. Segundo Silva (1989) o tempo de superfície húmida é uma variável crítica, ele indica o tempo durante o qual a superfície metálica está coberta por uma película de água, tornando possível o processo corrosivo, este tempo varia de acordo com as condições climáticas locais.

Segundo Gentil (2006) cita que, em atmosfera de baixa humidade relativa, o ferro praticamente não sofre corrosão, de forma que, em atmosfera com humidade relativa próxima de 60% a corrosão é lenta, mas acima de 70% ela é acelerada, sendo chamado de humidade crítica o valor da humidade relativa acima do qual verifica-se uma rápida aceleração do processo corrosivo.

Caso haja, além da humidade, a presença de outras substâncias poluentes, a velocidade de corrosão é acelerada. O gráfico 5 mostra os níveis de humidade em Maputo, Costa do Sol.

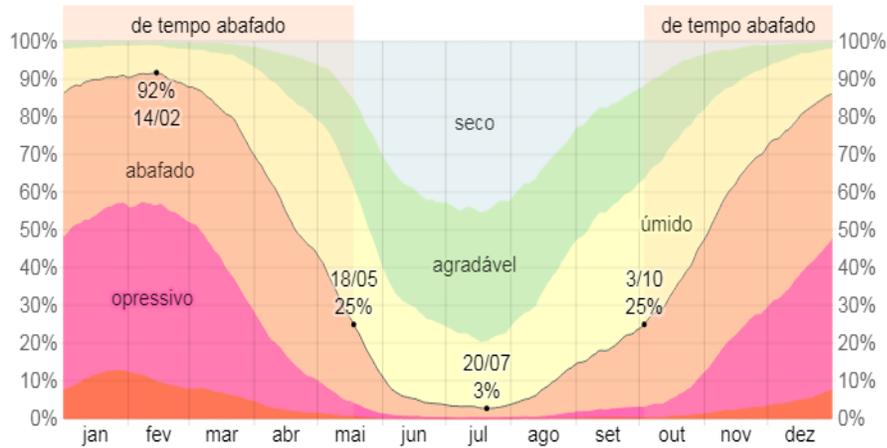


Gráfico 5: Níveis de humidade em Maputo Costa do Sol (Estatísticas baseadas em observações feitas entre 1/2023 - 12/2023)

Fonte: <https://pt.weatherspark.com/Clima-em-Maputo-Mocambique>

Pontos de orvalho mais baixos provocam uma sensação de mais secura. Pontos de orvalho mais altos provocam uma sensação de maior humidade. Diferente da temperatura, que em geral varia significativamente do dia para a noite, o ponto de orvalho tende a mudar mais lentamente. O gráfico 6 mostra a chuva mensal média em Maputo.

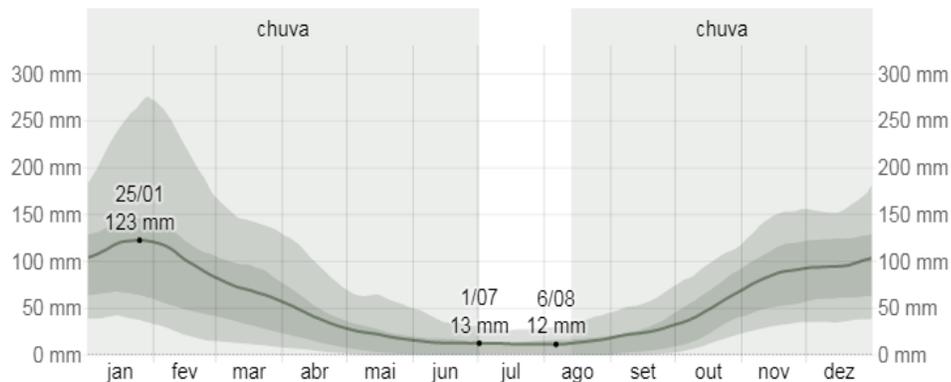


Gráfico 6: Chuva mensal média em Maputo (Estatísticas baseadas em observações feitas entre 1/2023 - 12/2023)

Fonte: <https://pt.weatherspark.com/Clima-em-Maputo-Mocambique>

Demonstração da precipitação da chuva acumulada durante um período contínuo de 31 dias ao redor de cada dia do ano. Maputo tem variação sazonal extrema na precipitação mensal de chuva. O período chuvoso do ano dura 11 meses, de 13 de agosto a 1 de julho, com precipitação de chuva de 31 dias contínuos mínima de 13 milímetros. O mês mais chuvoso em Maputo é janeiro, com média de 120 milímetros de precipitação de chuva.

O período sem chuva do ano dura 1,4 mês, de 1 de julho a 13 de agosto. O mês menos chuvoso em Maputo é julho, com média de 12 milímetros de precipitação de chuva.

#### 4.6.6. Teor de Cloretos

Os cloretos são encontrados em ambientes marinhos e são sedimentados no formato de pequenas gotas ou cristais produzidos pela evaporação das gotículas carregadas pelo vento que vem do mar. A sedimentação dos sais diminui de forma efetiva com o aumento da distância da proximidade costeira; grande parte dos cloretos fica retido por decantação ou filtragem pelas espécies vegetativas nos primeiros 5 km do continente (PANNONI, 2002).

#### 4.6.7. Radiação Solar

A radiação solar influencia diretamente na temperatura superficial, proporcionando ciclos de seco e molhado, o aumento na temperatura pode aumentar ou reduzir a corrosão. O gráfico 7 mostra a média de energia solar de ondas curtas incidente em Maputo.

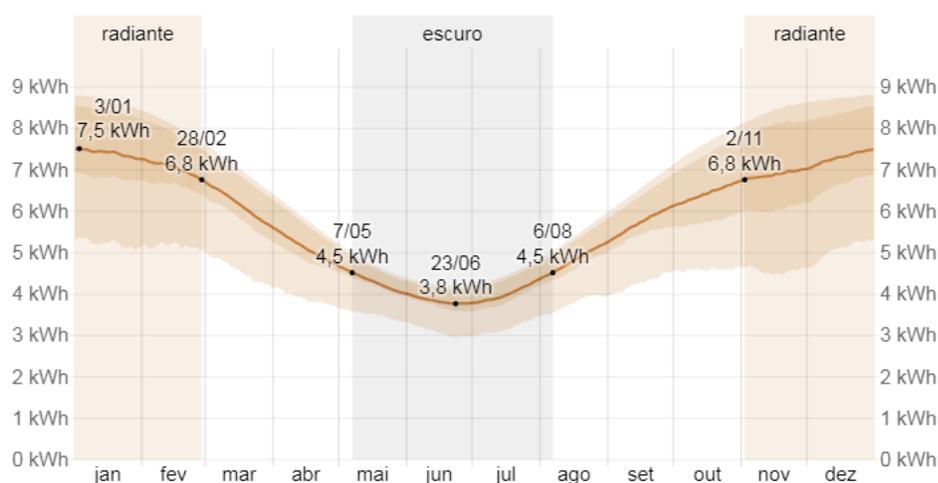


Gráfico 7: Média de energia solar de ondas curtas incidente em Maputo (Estatísticas baseadas em observações feitas entre 1/2023 - 12/2023)

Fonte: <https://pt.weatherspark.com/Clima-em-Maputo-Mocambique>

## **CAPÍTULO 5 - METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA**

Segundo Shackelford (2008, p. 438) “A corrosão pode ser impedida pela cuidadosa seleção de materiais, projetos, revestimentos protetores, proteção galvânica (anodos de sacrifícios ou diferença de potencial imposta) e inibidores químicos”.

### **5.1. Material Metálico**

Os contentores metálicos de lixo em estudo são fabricados através do aço carbono que geralmente sofre uma forma de corrosão uniforme quando este entra em contato com a atmosfera ou qualquer outro meio contendo oxigênio, água ou humidade, produzindo uma camada de ferrugem. A ferrugem normalmente não passiva o aço, uma vez que a camada de óxidos é altamente porosa e isso ocasiona a continuidade do processo de corrosão. Os meios os quais podem admitir que o progresso da ferrugem seja muito lento são em atmosferas não poluídas e com humidade inferior a 60%.

Nota: Em geral, é obrigatório o uso de revestimento anticorrosão ou pintura em estruturas de aço carbono que estejam em contato com a atmosfera.

Elementos de liga adicionados em pequenas quantidades, tais como cromo, cobre, nióbio ou níquel, implicam em uma melhoria sensível na resistência do aço à corrosão atmosférica, dando origem a aços que dispensam pintura, tais aços são chamados de “aços patináveis”. Esses aços possuem uma camada de óxido muito aderente e protetora que serve como revestimento.

Quando o aço carbono encontra-se em situações em que esse esteja enterrado ou em contacto com o solo (como é o caso em estudo onde o contentor de lixo alocado no mercado peixe está em contacto com o solo marinho), há uma necessidade de revestimento protetor, visto que o contacto do aço com o solo pode levar a um grave processo de corrosão uniforme e corrosão por pites perfurante.

### **5.2. Proteção dos Contentores Metálicos pelo Método de Galvanização a Frio**

A proteção dos contentores metálicos de lixo por galvanização a frio surge como a melhor alternativa para efetuar manutenção na proteção destas superfícies. Este método permite maior

vida útil (pois cria uma barreira protetora contra corrosão) da estrutura, aumentando a sua resistência à corrosão.

Algumas vantagens do método de galvanização a frio:

- Pode ser aplicada no próprio local onde se encontram as estruturas metálicas. Assim não há gastos com desmontagem de peças para um banho de galvanização. Também não haverá custos com transporte e nova montagem da estrutura.
- Sua aplicação funciona como se fosse um processo de pintura, utilizando pincel ou o jato da lata em aerossol.
- Não requer mão-de-obra especializada.

Ainda que não seja possível evitar totalmente a corrosão, é possível diminuir a velocidade desse processo e com isso melhorar a vida útil das suas peças. A galvanização a frio pode ser aplicada como demão de fundo em uma pintura comum. Possui espessura de 70 a 75  $\mu\text{m}$ , mas se for utilizada como método final de proteção contra corrosão a sua espessura deverá ser aumentada para 120 a 200  $\mu\text{m}$ .

### **5.3. Proteção Através da Pintura**

Outra técnica de proteção anticorrosivo que pode ser usado para a proteção dos contentores metálicos de lixo e a aplicação de tintas ou de sistemas de pintura, pois apresenta uma série de propriedades importantes, tais como facilidade de aplicação e de manutenção, relação custo-benefício, e pode proporcionar segundo (Gentil, 2003):

- Finalidade estética;
- Auxílio na segurança industrial;
- Impedir a incrustação de microrganismos marinhos em cascos de embarcações;
- Impermeabilização;
- Permitir maior ou menor absorção de calor, através do uso correto das cores;
- Diminuição da rugosidade superficial.

As tintas são suspensões homogêneas de partículas sólidas (pigmentos) dispersas em um líquido (veículo), em presença de componentes em menores proporções, chamados de aditivos (Pannoni,

2004). A Figura abaixo mostra uma representação esquemática indicando alguns componentes de tintas convencionais.

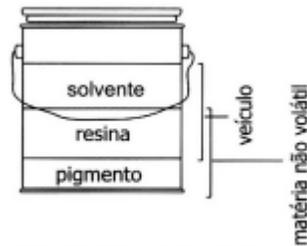


Figura 34: Quadro descritivo de tintas

Fonte: Pannoni (2004).

Em suspensão na tinta líquida, os pigmentos são aglomerados pela resina após a secagem, formando uma camada uniforme sobre a estrutura. Os pigmentos promovem a cor, opacidade, coesão e inibição do processo corrosivo, e também a consistência, a dureza e resistência da película.

Os pigmentos anticorrosivos mais utilizados nas tintas de proteção de estruturas de aço carbono são:

- Zarcão;
- Fosfato de zinco;
- Zinco metálico;
- Cromato de zinco;
- Óxido de ferro;
- Alumínio.

Os solventes têm por finalidade dissolver a resina e, pela diminuição da viscosidade, facilitam a aplicação da tinta. Os solventes mais comuns utilizados em tintas são os líquidos orgânicos e a água.

Os ligantes (veículos) mais comuns são as resinas e os óleos. Eles têm a função de envolver as partículas de pigmento e mantê-las unidas entre si e a estrutura. A resina proporciona impermeabilidade, continuidade e flexibilidade à tinta, além de aderência entre esta e o substrato.

As resinas se solidificam através da simples evaporação do solvente ou pela polimerização, com ou sem intervenção do oxigênio do ar. Em alguns casos, adicionam-se os chamados plastificantes (aditivos), que não sendo voláteis, permanecem na película após a secagem.

Os aditivos são os compostos empregados, em pequenas concentrações, nas formulações das tintas com o objetivo de lhes conferir determinadas características que sem eles seriam inexistentes (Gentil, 2003).

As tintas podem ser classificadas em grupos que apresentam semelhanças. As classificações mais comuns das tintas são feitas pelo tipo de resina empregada ou pigmento utilizado (Pannoni, 2004).

As tintas de fundo (primers) são classificadas de acordo com o principal pigmento anticorrosivo participante, enquanto que as tintas intermediárias e de acabamento são usualmente classificadas de acordo com a resina empregada.

Os tipos de tintas mais importantes para a proteção de estruturas de aço carbono, tendo como classificação o tipo de resina, são:

- Alquílicas;
- Epoxídicas;
- Poliuretânicas;
- Acrílicas.

As tintas de fundo são aplicadas diretamente sobre a superfície metálica limpa, em uma ou mais demãos. Elas contêm pigmentos inibidores de corrosão e são utilizadas para a proteção dos aços estruturais.

Elas são classificadas de acordo com os pigmentos inibidores adicionados em sua composição. Além disso, as tintas de fundo são formuladas com altos teores de pigmentos e, por isso, são semibrilhantes ou foscas.

Cada um destes pigmentos inibidores pode ser incorporado em uma certa variedade de ligantes, gerando, por exemplo, tintas de fundo alquílicas à base de fosfato de zinco, tintas epoxídicas à base de fosfato de zinco, etc.

- Primer Epóxi Amida Rico em Zinco

Trata-se de uma tinta de fundo anticorrosiva bi-componente de alto desempenho que oferece boa proteção em ambientes agressivos. Apresenta alta resistência à corrosão em ambientes industrial e marítimo. Apresenta boa resistência ao calor seco para temperatura máxima de 150°C. É indicada para pintura de proteção galvânica de alto desempenho em superfícies de aço-carbono em indústrias químicas, petroquímicas, indústria de papel e celulose, usinas elétricas e estruturas em alto mar. Pode ser utilizada para pintura de estruturas novas e pintura de manutenção com alto desempenho de resistência à oxidação. Pode ser aplicada em espessura seca de até 80 micrômetros por demão.

As tintas epóxi bi-componentes não secam por si só. São modificadas com ácidos graxos ou necessitam de agentes de cura para formar um filme sólido à temperatura ambiente. A Figura abaixo mostra o pigmento e a resina do primer epóxi amida rico em zinco.



Figura 35: Componentes A (pigmento: pó de zinco e cargas especiais) e B (resina: epóxi - poliamida) do primer epóxi amida rico em zinco.

Fonte: Nunes e Lobo, 1998.

- Esmalte Poliuretano Alifático

Trata-se de um esmalte poliéster acrílico curado com isocianato-alifático, de dois componentes, que forma um filme aderente e flexível. Apresenta boa resistência às intempéries e à luz solar, com ótima retenção de brilho. É indicada como tinta de acabamento para superfícies metálicas de aço-carbono em ambientes de corrosão moderada a severa. Deve ser aplicada sobre demão primária ou intermediária de tinta epóxi anticorrosiva. A Figura abaixo mostra o pigmento e a resina do Esmalte Poliuretano Alifático.



Figura 36: Componentes A (pigmento: tintoriais) e B (resina: poliéster – acrílico – isocianato alifático) do esmalte poliuretano alifático.

Fonte: Nunes e Lobo, 1998.

O esmalte poliuretano alifático é sem dúvida, entre os diversos tipos de tintas existentes, uma das mais nobres. Este tipo de tinta apresenta excelente resistência aos raios ultravioletas. É também uma tinta de dois componentes, tendo alto desempenho e resistência às intempéries. Possui grande dureza, flexibilidade, ótimo brilho e excelente resistência a uma grande quantidade de agentes químicos e à abrasão. Sua reação é de uma resina poliéster e um isocianato alifático. As várias camadas de pintura devem, naturalmente, ser compatíveis entre si.

A seleção adequada do método de aplicação e a observância de alguns requisitos básicos durante todo o período de aplicação têm influência tão grande no desempenho do esquema de pintura quanto às tintas utilizadas. Dentre os métodos de aplicação de tintas estão (Nunes e Lobo, 1998):

- Trincha;
- Rolo;
- Pistola convencional (a ar comprimido);
- Pistola sem ar (air less);
- Pintura eletrostática;
- Pintura eletroforética.

O melhor método para a aplicação da tinta nos contentores metálicos e através da pistola convencional (a ar comprimido), onde a tinta depositada no recipiente é expulsa em direção ao bico da pistola pela ação da pressão do ar (Nunes e Lobo, 1998). A Figura 37 mostra uma pistola convencional (a ar comprimido).

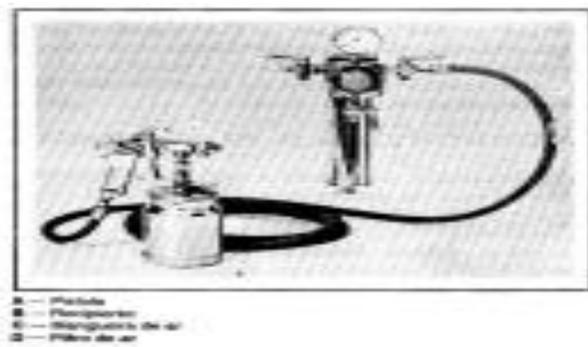


Figura 37: Exemplo de pistola convencional com o recipiente acoplado diretamente à pistola

Fonte: Nunes e Lobo, 1998.

As tintas como qualquer outro componente de uma estrutura metálica também estão suscetíveis à ação das intempéries e também sofrem processos de deterioração, que podem ser acelerados ou não, de acordo com o tipo de tinta empregado e as condições ambientais (Cândido, 2002).

Durante a vida útil do revestimento, depois de algum tempo, o eletrólito tende a alcançar a superfície metálica devido à porosidade natural da película, dando início ao processo corrosivo. Portanto a falha do revestimento se dará sempre por corrosão embaixo da película, exceto nos casos em que haja proteção catódica ou danos por ação mecânica, de forma que a película de tinta seja inicialmente atacada ou danificada antes do comprometimento do aço. Isso implica na necessidade de se programar repinturas de tempos em tempos, de acordo com a vida útil da tinta estipulada pelo fabricante, ou de acordo com o estado de degradação desta, verificada em manutenção preventiva.

Porém existem determinadas situações em que a tinta não se comporta conforme o esperado, podendo ou não comprometer a eficiência da proteção.

#### **5.4. Preparação da Superfície Metálica Para a Pintura**

Levando-se em conta que a preparação ideal de uma superfície metálica é dificilmente obtida, esse lado da questão envolve não só problemas de ordem técnica como também econômica.

Não existe um tratamento preparatório de superfícies metálicas de caráter universal. São diversas as variáveis: o tipo do metal, fim a que se destina, condições econômicas, além da quantidade e qualidade das impurezas, a serem removidas. Pode-se definir como impurezas as substâncias encontradas na superfície e que podem interferir, seja no processamento, seja na qualidade da

proteção visada. Nelas enquadram-se os seguintes tipos de substâncias (Furtado, 1981; Gentil, 2003):

- ❖ Oleosas;
- ❖ Semi-sólidas;
- ❖ Ólidas;
- ❖ Óxidos e produtos de corrosão.

Uma vez caracterizadas, de maneira sumária, as sujidades mais comuns que se apresentam em uma superfície metálica, os meios de remoção mais frequentemente usados são detergência, solubilização, ação química e ação mecânica. Estes meios podem ser empregados isoladamente ou associados. São muitos os fatores que devem ser levados em consideração, entre os quais o estado inicial do material a ser tratado, o equipamento disponível [Cândido, 2002; Gentil, 2003].

No caso de execução de uma pintura industrial, a preparação da superfície metálica constitui uma etapa muito importante. A preparação da superfície metálica é definida pelo esquema de pintura, uma vez que varia em função da natureza das tintas que se vai aplicar e com o desempenho esperado pelo esquema de pintura.

A preparação é realizada com dois grandes objetivos: o primeiro consiste em remover da superfície materiais que possam impedir o contato direto da tinta com a mesma; o segundo diz respeito à necessidade de se criar um adequado perfil de rugosidade, capaz de permitir a ancoragem mecânica da primeira demão da tinta de fundo à superfície metálica que se quer proteger (Fontana, 1967).

A preparação da superfície para pintura por limpeza mecânica envolve três operações:

- ❖ Inspeção;
- ❖ Limpeza com solvente e remoção de defeitos superficiais;
- ❖ Limpeza por ação mecânica.

Os principais tipos de limpeza por ação mecânica, de interesse para a pintura de equipamentos e instalações industriais, são:

### **a) Limpeza Manual**

Consiste na remoção da camada de óxidos e outros materiais não muito aderentes, por meio de ferramentas manuais, tais como escovas de aço, raspadores, lixas, etc.

### **b) Limpeza com Ferramentas Mecânicas Manuais**

Consiste na remoção da camada de óxidos e outros materiais não muito aderentes, por meio de ferramentas mecânicas manuais, tais como escovas rotativas, martelões de agulhas, lixadeiras, etc.

### **c) Limpeza com Jateamento Abrasivo**

Consiste na remoção da camada de óxidos e outras substâncias depositadas sobre a superfície, por meio da aplicação de um jato abrasivo de areia, granalha de aço ou escória de cobre. O jato abrasivo é obtido pela projeção, sobre a superfície, de partículas de abrasivo, impulsionadas por um fluido, em geral o ar.

Dentre os tipos de limpeza acima mencionados a limpeza com jateamento abrasivo é o mais adequado e recomendável para aplicação de pintura em contentores metálicos de lixo, por ser de grande rendimento de execução, proporcionar uma limpeza adequada e deixar na superfície uma rugosidade satisfatória para uma boa ancoragem da película de tinta (Nunes e Lobo, 1998).

A figura 38 mostra um esquema de um conjunto para jateamento abrasivo onde esse processo é constituído basicamente dos seguintes componentes :

- ❖ compressor;
- ❖ separador de umidade;
- ❖ filtro de óleo;
- ❖ vaso de pressão;
- ❖ válvula de mistura ar-abrasivo;
- ❖ sistemas de controle remoto;
- ❖ mangueiras;
- ❖ bicos;
- ❖ abrasivo.

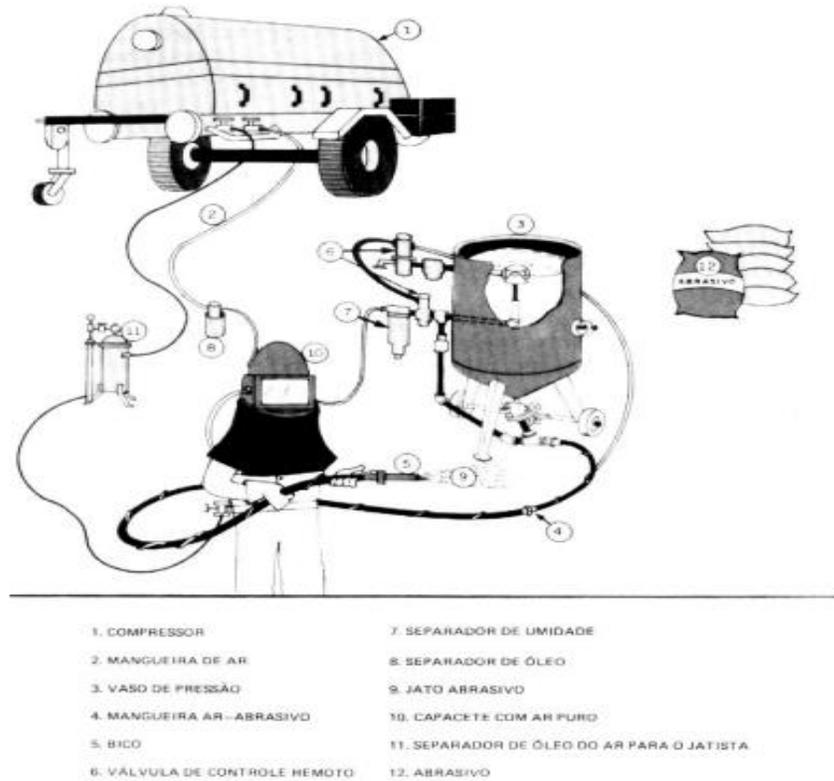


Figura 38: Representação esquemática de um conjunto para jateamento abrasivo

Fonte: Nunes e Lobo, 1998.

## CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados e discussões apresentados neste trabalho, a seguir são descritas as conclusões e recomendações, relacionados ao tema desenvolvido.

### 6.1. CONCLUSÕES

- ❖ Durante a fabricação dos contentores metálicos de lixo recorres-se à moldagem do metal, o corte, a dobra de aço carbono, o revestimento com tinta, à soldadura das chapas metálicas com cordão de soldadura descontínua que pode ter a função de eliminar a humidade presente no interior do contentor, mas por sua vez esse tipo de cordão de soldadura permite a formação da corrosão por fresta quando não ocorre a saída completa da humidade na fresta devido a diversas partículas presentes no interior do contentor.
- ❖ Em ambientes costeiros os tipos de corrosão mais predominante são a corrosão uniforme, por pites e os alvéolos, pois estes tipos de corrosão oferecem grandes perigos à estrutura.
- ❖ Um dos fatores mais influentes na aceleração do processo corrosivo na Costa do Sol são as partículas sedimentadas do mar pelo ar atmosférico que acabam estando presentes na superfície da estrutura, Esse processo é acelerado pela presença dos íons na água do mar e nos evaporitos, que são micropartículas presentes no ar que apresentam sais. Esses íons fazem uma ponte salina, o que possibilita o fenómeno de oxirredução entre o oxigênio do ar e os metais,  
Conclui-se também que durante a recolha de resíduos ocorre a remoção do revestimento por ação mecânica provocado assim o início da corrosão na quela região.
- ❖ Feito a análise do revestimento que deve ser aplicados nas superfícies do contentor metálico a fim de melhor combater a corrosão concluiu-se que se deve aplicar tintas de fundo do tipo Primer Epóxi Amida Rico em Zinco onde deve ser aplicada em espessura seca de até 80 micrómetros por demão, e em seguida deve ser aplicado o Esmalte Poliuretano Alifático sobre demão primária ou intermediária de tinta epóxi anticorrosiva.

## 6.2. RECOMENDAÇÕES

- ❖ Evitar a queimada de resíduos sólidos depositados nos contentores, a fim de evitar a carbonização do revestimento reduzindo assim a sua capacidade de proteção da estrutura.
- ❖ Instalar suportes por meio de soldadura que sirvam como base para os contentores alocados no solo.
- ❖ Recomenda-se programar repinturas de tempos em tempos, de acordo com a vida útil da tinta estipulada pelo fabricante, ou de acordo com o estado de degradação desta, verificada em manutenção preventiva.
- ❖ Recomendada-se a utilização de contentores plásticos, uma vez que são resistentes a corrosão neste tipo de ambiente.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DUTRA, A. C.; NUNES, L. P. Protecção Catódica: técnica de combate à corrosão. 4<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

NUNES, L. P.; LOBO A. C. O. Pintura Industrial na Protecção Anticorrosiva. 4<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

ROBERGE, P. R. Handbook of Corrosion Engineering. 2<sup>a</sup> ed. New York: MCGraw-Hill, 2000.

SCHWEITZER, P. A. Fundamentals of corrosion: mechanisms, causes, and preventative methods. 1<sup>a</sup> ed. Boca Raton: CRC Press, 2009

GENTIL, V. Corrosão. 3<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996.

GENTIL, Vicente. Corrosão. 5<sup>a</sup>.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007

GENTIL, Vicente. Corrosão. 2<sup>a</sup>.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

SHACKELFORD, J.F. Ciência dos materiais. 6<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Pearson, 2008.

MAIA, D.J.; GAZOTTI, W.A.; CANELA, M.C.; SIQUEIRA, A.E. Chuva ácida: um experimento para introduzir conceitos de equilíbrio químico e acidez no ensino médio. Química Nova na Escola, n. 21, p. 44-46, 2005

CALLISTER JR., W.D. Fundamentos da ciência e engenharia de materiais. 2<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

ASKELAND, D.R.; PHULÉ, P.P. Ciência e engenharia dos materiais. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

SMITH, W.F. Princípios de ciência e engenharia dos materiais. São Paulo: McGraw-Hill, 1998

ELETROBRAS, Fundamentos de Corrosão Metálica. Disponíveis em <https://slideplayer.com.br/slide/10356599/>.

PANNONI, Fábio Domingos. Princípios da Proteção de Estruturas Metálicas em Situação de Corrosão. 4<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: [s. n.], 2007. 90 p.

KIM. K. H; LEE. S. H; NAM. N. D; KIM. J.G. Effect of cobalt on the corrosion resistance of low alloy steel in sulfuric acid solution. Corrosion Science, v. 53, p. 3576–3587, 2011

SILVA. N.P, Aços inoxidáveis, CCT - Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2010.

OLIVEIRA, Antônio. Corrosão e tratamento de superfície. Belém-PA: E-tec, 2012

FELTRE, R. Físico-Química. São Paulo: Moderna, 1998.

DOMINGOS, F. Apostila Fundamentos da corrosão. 2008. Apostila de corrosão. Universidade de São Paulo.

RAMANATHAN, Lalgudi V. Corrosão e seu controle. São Paulo: Hemus, 1988

SILVA, André; VEIGA, Willian A. Influência da atmosfera marinha na velocidade de corrosão de ligas metálicas. Joinville: UNISOCIESC, 2019.

VIANA, R. O. O Programa de Corrosão Atmosférica Desenvolvido pelo CENPES. Boletim Técnico PETROBRÁS, v. 23, n. 1, 1980.

FELIU, S.; MORCILLO, M.; CHICO, B. Effect of Distance From Sea on Atmospheric Corrosion Rate. Corrosion, v. 55, n. 9, 1999.

NUNES, L P. Fundamentos de resistência à corrosão. Rio de Janeiro: Interciência, 2007.

LAQUE, F. L Marine Corrosion. Nova York: John Wiley & Sons, 1975.

GUEDES; MONNERAT, Revista Engenharia de Interesse Social, VOL. 1, NUM. 2, 2017

FONTANA, Mars Guy et al. Corrosion engineering. McGraw-hill, 2018

LU, W. K. et al. Corrosion inhibition of metals by conductive polymers. New York: T.A. Skotheim, 1998.

NUNES, Laerce de Paula, KREISCHER, Anderson Teixeira. Introdução a metalurgia e aos materiais metálicos, RJ, Interciência, 2010.

SHACKELFORD F. James. Introdução a ciência dos materiais para engenheiros, SP: Prentice Hall, 2008

GEMELLI, E. Corrosão de materiais metálicos e sua caracterização. Rio de Janeiro: LTC, 2001

CHANDA, M. Plastics technology handbook. 5 th ed. Boca Raton: CRC, 2018. 1012 p

CRAWFORD, R. J.; KEARNS, M. P. Practical guide to rotational moulding. 2<sup>a</sup>. ed. Shrewsbury: Smithers Rapra Technology, 2012. 244 p.

FLETES, R. C. V. et al. Preparation and characterization of multilayer foamed composite by rotational molding. Polymer Engineering and Science, v. 56, n. 3, p. 278-286, 2015. DOI: 10.1002/pen.24253.

BRYCE, D. M. Plastic injection molding: manufacturing process fundamentals. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 1996. v. 1, 282 p.

HARADA, J. Moldes para injeção de termoplásticos: projetos e princípios básicos. São Paulo: Artliber, 2004. 308 p.

ROSATO, D.; ROSATO, D.; ROSATO, M. Injection molding handbook. 3<sup>a</sup>. ed. Norwell: Kluwer Academic, 2000. 1457 p.