



**UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
MONDLANE**

**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**LICENCIATURA EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL**

**TRABALHO DE LICENCIATURA**

**ESTUDO DE MÉTODOS DE PROTECÇÃO CONTRA CORROSÃO NOS POSTOS  
DE TRANSFORMAÇÃO DA EDM NA CIDADE DE MAPUTO**

**Autora**

Carla Carlos Nhassengo

**Supervisor:**

Eng<sup>o</sup>. Roberto Luciano David

Maputo, Setembro de 2024



**UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
MONDLANE**

**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**LICENCIATURA EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL**

**TRABALHO DE LICENCIATURA**

**ESTUDO DE MÉTODOS DE PROTECÇÃO CONTRA CORROSÃO NOS POSTOS  
DE TRANSFORMAÇÃO DA EDM NA CIDADE DE MAPUTO**

**Autora**

Carla Carlos Nhassengo

**Supervisor:**

Eng<sup>o</sup>. Roberto Luciano David

Maputo, Setembro de 2024



UNIVERSIDADE  
EDUARDO  
MONDLANE

**Estudo De Métodos De Protecção Contra Corrosão Nos Postos De Transformação Da Edm Na Cidade De Maputo, Carla Carlos Nhassengo.**

**TERMO DE ENTREGA DO RELATORIO DE TRABALHO DE LICENCIANTURA**

Declaro que a estudante Carla Carlos Nhassengo entregou no dia \_\_\_/\_\_\_/2024 as três copias do relatório do seu trabalho de licenciatura com a referência : \_\_\_\_\_

**Intitulado: ESTUDO DE MÉTODOS DE PROTECÇÃO CONTRA CORROSÃO NOS POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO DA EDM NA CIDADE DE MAPUTO**

Maputo, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2024

Chefe de secretaria

---

# ÍNDICE

DECLARAÇÃO DE HONRA .....	xii
DEDICATÓRIA .....	xi
AGRADECIMENTOS .....	xii
RESUMO .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
CAPÍTULO I- INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Formulação do problema .....	3
1.3. Justificativa .....	3
1.4. Objectivos .....	4
1.4.1. Objectivo geral .....	4
1.4.2. Objectivos específicos .....	4
CAPÍTULO II- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1. CORROSÃO .....	5
2.1.1 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA CORROSÃO .....	5
2.1.2 MATERIAIS COMUNS EM POSTES DE TRANSFORMAÇÃO .....	7
2.1.3. TIPOS DE AÇO COMUMENTE UTILIZADOS: .....	7
2.1.4. FACTORES QUE INFLUENCIAM A SUSCETIBILIDADE À CORROSÃO ..	8
2.1.4.1. Factores que dependem do meio de ataque:.....	8
2.1.4.2. Factores que dependem da natureza do material da peça:.....	8
2.1.4.3. Factores que dependem das condições de utilização: .....	8
2.1.4.3. Factores que dependem do tempo de uso:.....	8
2.2. CLASSIFICAÇÃO DA CORROSÃO.....	9
2.2.1. Classificação da corrosão em função das Formas: .....	9
2.2.1.1. Corrosão Uniforme.....	9
2.2.1.2 Corrosão por Placas.....	10
2.2.1.3 Corrosão Galvânica .....	11
2.2.1.4 Corrosão por Pites .....	12
2.2.1.5 Corrosão Alveolar .....	13
2.2.1.6 Corrosão cavernosa .....	14
2.2.1.7 Corrosão Filiforme .....	14

2.2.1.8 Corrosão Selectiva.....	15
2.2.1.9 Corrosão por Correntes Vagabundas .....	16
2.2.1.10. Corrosão intergranular.....	16
2.2.1.11. Corrosão Biológica .....	17
2.2.1.12 Corrosão por Fricção.....	18
2.2.2. Classificação da corrosão em função do meio corrosivo .....	19
2.2.2.1. Corrosão Atmosférica.....	19
2.2.2.2 Corrosão em Solos .....	20
2.2.2.3 Corrosão em Águas .....	20
2.2.2.4 Corrosão por produtos químicos .....	20
2.3. Tipos de corrosão .....	21
2.3.1 Corrosão Electroquímica.....	21
2.3.2 Corrosão Electrolítica.....	22
2.3.3 Corrosão química .....	23
2.4 CONTROLE DA CORROSÃO.....	23
2.4.1. Métodos de controle da corrosão.....	24
2.4.1.1. Controle no estágio do projecto ou design estrutural .....	24
i. Selecção de materiais .....	24
ii. Compatibilidade dos materiais.....	25
iii. Mudanças nas condições do processo .....	25
iv. Geometria dos componentes .....	25
v. Acabamentos superficiais.....	26
vi. Manutenção .....	26
vii. Factores económicos.....	27
2.4.1.2 Controle pela influência no metal.....	27
Protecção catódica .....	27
Protecção anódica .....	29
2.4.1.3 Controle pela influência no meio.....	29
2.4.1.4 Controle com revestimentos.....	30
Revestimentos Metálicos .....	31
Revestimentos não-metálicos orgânicos .....	32
□ Tintas: Sistemas de Pintura .....	32

Constituintes das tintas .....	34
Mecanismos de protecção anticorrosiva dos revestimentos por pintura.....	36
Protecção por barreira.....	36
Protecção por passivação ou inibição anódica.....	37
Protecção Catódica.....	38
Revestimentos não-metálicos inorgânicos. ....	38
Anodização .....	39
Cromatização .....	39
Fosfatização .....	40
CAPÍTULO III- CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO .....	41
3.1    TÉCNICAS USADAS PELA EDM PARA O COMBATE A CORROSÃO.....	41
CAPÍTULO IV – METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA.....	43
4.1 Tipo de Pesquisa .....	43
4.2 Classificação quanto a natureza da pesquisa .....	43
4.3 Fontes de pesquisa .....	44
4.4 Aplicação do método de pesquisa.....	44
CAPÍTULO V: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS ...	45
5.1 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	45
5.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	46
5.3.1 ANÁLISE DAS FALHAS IDENTIFICADAS NO SISTEMA DE PROTECÇÃO .....	49
5.3.2 PROPOSTA DE NOVO SISTEMA DE PROTECÇÃO ANTICORROSIVA:	49
5.3.3 PROPOSTA DE PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA:.....	50
5.3.4 PROPOSTA DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS PARA PROTECÇÃO ANTICORROSIVA. ....	50
5.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE DAS SOLUÇÕES .....	55
5.4.1 VIABILIDADE TÉCNICA.....	55
5.4.1.1 Fundações de bases de Betão Isolados .....	55
5.4.1.2. Sistema de Drenagem (Caleiras e Tubos de Queda) .....	56
5.4.1.3. Revestimentos Protectores (Resina Epóxi) .....	56
5.4.1.4. Vedação Metálica.....	57
5.4.1.5. Cobertura Vegetal (Gramma).....	58
5.4.2 VIABILIDADE ECONÓMICA.....	58

5.4.2.1 Custos de Implementação.....	59
5.4.2.2 Custos de não intervenção (Manutenção Correctiva) .....	60
5.4.2.3 Comparação de Custos: Implementação versus Não Intervenção .....	61
5.4.2.4. Viabilidade a Longo Prazo.....	61
5.4.3 VIABILIDADE OPERACIONAL.....	62
5.4.3.1 Recursos Humanos e Capacidade Técnica.....	62
5.4.3.2 Impacto na continuidade das operações .....	63
5.4.4 Facilidade de Implementação.....	64
5.4.5 Disponibilidade de Materiais e Logística.....	65
CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	67
6.1 CONCLUSÕES .....	67
6.2 RECOMENDAÇÕES.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
ANEXO1.....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: PT tipo mono-bloco instalado na Cidade de Maputo. ....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2: Ciclos dos metais. Fonte: Ciência dos Materiais- Callister 8ª ed 2010.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3: Corrosão uniforme em chapa de aço carbono. ....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 4: Corrosão por placas. ....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 5: Corrosão por placas em um PT (imagem ilustrativa). Fonte Acervo da Autora.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 6: Corrosão galvânica. ....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 7: Exemplo de corrosão galvânica. Fonte: Apontamentos de Soldadura e Protecção de metais. UEM-FE Prof. Dr Engº Justino B. Mulima.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 8: orrosão por pites.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 9: Corrosão Alveolar. Fonte: Engenheiro de Materiais (2017).....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 10: Exemplo de corrosão cavernosa. Fonte: Apontamentos de Soldadura e Protecção de metais UEM-FE Prof. Dr Engº Justino B. Mulima.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 11: Exemplo de corrosão filiforme em um duto.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 12: Exemplo de corrosão selectiva Fonte: Apontamentos de Soldadura e Protecção dos metais. UEM-FE Prof. Dr Engº Justino B. Mulima.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 13: Exemplo de corrosão por correntes vagabundas.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 14: Exemplo de corrosão intergranular.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 15: Imagem ilustrativa da corrosão biológica.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 16: Exemplo de corrosão por fricção.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 17 Esquema de uma pilha eletroquímica, destacando os quatro elementos fundamentais. ..</i>	<i>22</i>
<i>Figura 18: Exemplo de corrosão electrolítica, fonte: Apontamentos de Soldadura e Protecção de metais UEM-FE Prof. Dr Engº Justino B. Mulima.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 19: Exemplo de corrosão química, fonte: Apontamentos de Soldadura e Protecção de metais UEM-FE Prof. Dr Engº Justino B. Mulima.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 20: Revestimentos ou isolamento para evitar o contato direto de dois metais. ....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 21 Detalhes construtivos que possibilitam áreas de estagnação de líquidos.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 22: Protecção catódica de uma tubulação subterrânea usando um anodo de sacrifício de magnésio. ....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 23: Protecção catódica de um tanque subterrâneo usando uma corrente impressa. ....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 24: Representação esquemática das tintas que compõem um esquema de pintura. ....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 25: PT sobre uma base de betão. ....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 26: Exemplo de um PT aéreo instalado num dos bairros da cidade de Maputo. Fote: Acervo da autora, foto tirada durante a visita à empresa EDM. ....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 27: PT com ataque corrosivo. ....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 28. Solução de base de cascalho (adaptado).....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 29. Solução construtiva- Alçado frontal. (adaptado). ....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 30. Solução construtiva-Alçado lateral (adaptado). ....</i>	<i>53</i>

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Série galvânica, fonte Gentil (2007).....	48
Tabela 2: Resumo dos Custos de Implementação por PT (adaptado).....	60

## **LISTA DE ABREVIATURAS UTILIZADAS**

**PT**- Posto de Transformação

**EDM**- Electricidade De Moçambique

**PH**- Potencial Hidrogeniônico

**MIC**- Microbiologically Influenced Corrosion

**TRZ**- Tintas Ricas em Zinco

**MT**- Média Tensão

**BT**- Baixa Tensão



## DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, **Carla Carlos Nhassengo** declaro por minha honra que o presente trabalho de licenciatura é exclusivamente da minha autoria, não constituindo cópia de nenhum trabalho realizado anteriormente e as fontes usadas para a realização do trabalho encontram-se referidas na bibliografia.

Assinatura: \_\_\_\_\_

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a Deus, pois sem Ele a realização deste trabalho não seria possível, aos meus Pais que são os meus maiores incentivadores e a minha irmã Áurea que sempre acreditou em mim.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiro quero agradecer a Deus por ter me permitido chegar até aqui e ter concluído o curso, não foi fácil mas tudo valeu a pena, aprendi bastante com os docentes e com os colegas de carteira.

Quero agradecer ao meu supervisor Eng. Roberto David que me acompanhou durante a realização do presente trabalho dando todo auxílio necessário para a elaboração do mesmo.

Aos meus pais que desde o início do curso me incentivaram e não permitiram que eu desistisse do meu sonho, o meu agradecimento é pequeno diante da grandeza do que fizeram por mim, essa conquista é vossa.

Quero agradecer também as minhas irmãs e as minhas amigas, em especial a Áurea e a Sara que me deram todo suporte durante essa trajetória cheia de desafios.

Agradeço a todos que directa ou indirectamente contribuíram para que eu pudesse alcançar este objectivo.

## **RESUMO**

O presente trabalho tem como foco principal compreender o processo de corrosão nos PTs da EDM e fazer um estudo de métodos de protecção contra o mesmo, só assim será possível apresentar uma proposta de melhoria do sistema de protecção anti-corrosiva actual da empresa. A corrosão pode ocorrer através de variadas formas, e sua classificação foi feita por meio de uma avaliação nos PTs da EDM instalados nos bairros da cidade de Maputo. A partir da avaliação é possível identificar a causa da corrosão, apesar da empresa EDM ter um sistema de protecção anti-corrosiva a maior parte dos PTs instalados na cidade de Maputo continua a sofrer ataques corrosivos causando prejuízos a empresa e deixando os passeios da cidade de Maputo com um mau aspecto, para minimizar esses efeitos é preciso combater a corrosão. O estudo da corrosão e dos métodos de protecção contra a mesma é muito importante para poder-se viabilizar economicamente as instalações, saber como evitar as condições de corrosão severas, manter a integridade física das instalações, e proteger adequadamente os materiais contra a corrosão.

**Palavras-chave:** Corrosão, PT's, EDM.

## **ABSTRACT**

This study aims to understand the corrosion process in EDM's transformation stations (PTs) and assess protection methods against it. The goal is to propose improvements to the company's current anticorrosion system. Corrosion occurs in various forms, identified through an evaluation of EDM's PTs installed in Maputo neighbourhoods. Despite EDM's existing protection system, most PTs still suffer corrosion, causing economic losses and affecting the city's appearance. Studying corrosion and protective methods is crucial for maintaining the facilities' integrity and protecting materials.

**Keywords:** Corrosion, PTs, EDM.

# CAPÍTULO I- INTRODUÇÃO

## 1.1.Contextualização

A crescente demanda por energia eléctrica, aliada às condições climáticas adversas e a presença de agentes corrosivos no ambiente, impõe desafios significativos à manutenção da infraestrutura energética. Os postes de transformação, componentes essenciais da rede eléctrica, são particularmente vulneráveis à corrosão, um processo que pode levar à falha destes equipamentos e comprometer a qualidade do fornecimento de energia. Na cidade de Maputo, a corrosão em postes de transformação da empresa EDM representa um desafio significativo, com impactos directos na qualidade de vida da população e na economia local.

Um Posto de Transformação (PT) é uma instalação eléctrica fundamental para a distribuição de energia eléctrica. É nestes equipamentos que a alta tensão proveniente das centrais eléctricas é transformada em baixa tensão, adequada para o consumo doméstico e industrial. No entanto, a exposição contínua a agentes corrosivos, como a humidade, a poluição e os sais presentes no ar, acelera o processo de degradação dos materiais que compõem os PT's, principalmente o aço.

A corrosão em postes de transformação pode ter consequências graves, como a interrupção do fornecimento de energia, a ocorrência de curtos-circuitos e em casos extremos, incêndios. Além disso, a necessidade de substituir os postes danificados gera custos elevados para a empresa de distribuição de energia.

Diante desse cenário, este trabalho tem como objectivo principal identificar os mecanismos de corrosão que afectam os postes de transformação da EDM e propor soluções eficazes para a sua protecção, visando garantir a continuidade do serviço e aumentar a vida útil destes equipamentos. Especificamente, este estudo busca:

- ✓ **Avaliar a extensão da corrosão** em um conjunto de postes de transformação da EDM;
- ✓ **Identificar os principais factores** que influenciam a taxa de corrosão;
- ✓ **Propor métodos de protecção adequados**, considerando as condições locais e as características dos materiais utilizados na construção dos postes.



*Figura 1: PT tipo mono-bloco instalado na Cidade de Maputo.*

*Fonte: Acervo da Autora*

Dentre os componentes de um poste de transformação, os armários de seccionamento são particularmente vulneráveis à corrosão. Construídos predominantemente em aço carbono, estes componentes estão expostos a um ambiente agressivo, caracterizado por elevada humidade, ciclos de molhagem e secagem, e contaminação por sais e poluentes atmosféricos. A combinação desses factores cria as condições ideais para o desenvolvimento de processos electroquímicos que levam à degradação do material.

A corrosão electroquímica, mecanismo predominante na degradação dos armários, ocorre através da formação de pilhas galvânicas. A presença de heterogeneidades no material, como inclusões não metálicas ou variações na composição química, cria zonas anódicas e catódicas, onde ocorrem, respectivamente, a oxidação do metal (corrosão). A conductividade electrolítica do meio aquoso, facilitada pela presença de sais e outros eletrólitos, permite o fluxo de iões e o fechamento do circuito eléctrico, intensificando o processo corrosivo.

As consequências da corrosão nos armários de seccionamento são diversas e podem comprometer significativamente a segurança e a funcionalidade do poste de transformação. A perda de espessura do material metálico reduz a resistência mecânica do armário, tornando-o mais suscetível a danos físicos. Além disso, a corrosão pode provocar o aparecimento de fendas e cavidades, que podem reter água e acelerar ainda mais o processo corrosivo. A formação de produtos de corrosão, como a ferrugem, pode também provocar curto-circuitos, incêndios e falhas no funcionamento dos equipamentos eléctricos.

## **1.2. Formulação do problema**

A corrosão nos armários dos postes de transformação tipo mono-bloco da EDM representa um desafio crítico para a manutenção da infraestrutura eléctrica e a garantia da continuidade do serviço. A degradação acelerada desses componentes, causada principalmente por factores ambientais e pela natureza electroquímica dos materiais, resulta em elevados custos de manutenção, interrupções no fornecimento de energia e riscos à segurança. Diante desse cenário, torna-se imperativo desenvolver e implementar estratégias eficazes para mitigar a corrosão, prolongar a vida útil dos equipamentos e garantir a confiabilidade do sistema eléctrico.

## **1.3. Justificativa**

Na cidade de Maputo, a corrosão em postes de transformação tipo mono-bloco constitui um problema crescente, comprometendo a fiabilidade da rede eléctrica e a qualidade de vida dos cidadãos.

A deterioração destes equipamentos pode acarretar diversas consequências negativas, tais como interrupções no fornecimento de energia, riscos de incêndio, aumento dos custos de manutenção e consequentemente prejuízos económicos para a empresa. Além disso, a falta de energia eléctrica afecta directamente a qualidade de vida da população.

Face a este cenário, torna-se imperativo realizar um estudo aprofundado sobre a corrosão em postes de transformação, com o objectivo de identificar as causas do problema, avaliar a eficácia das soluções existentes e propor medidas para mitigar a corrosão e prolongar a vida útil dos equipamentos.

## **1.4.Objectivos**

### **1.4.1. Objectivo geral**

- ✓ Identificar métodos de protecção contra a corrosão nos PT's da EDM na cidade de Maputo.

### **1.4.2. Objectivos específicos**

- ✓ Avaliar a corrosão nos PT's da EDM através de uma visita numa das instalações da EDM na cidade de Maputo;
- ✓ Identificar o que provoca a corrosão e onde o sistema de protecção anti-corrosiva está a falhar;
- ✓ Escolher o método adequado de protecção contra corrosão para os PT's da EDM na Cidade de Maputo.

## **CAPÍTULO II- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. CORROSÃO**

A corrosão, um processo electroquímico que resulta na deterioração gradual de materiais metálicos, representa um dos principais desafios para a durabilidade de infraestruturas, incluindo os postes de transformação de energia. De acordo com Gentil (2007), a corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por acção química ou electroquímica do meio ambiente. O impacto económico da corrosão é significativo, com estimativas indicando que cerca de 5% da renda de uma nação industrializada é destinada a reparar os danos causados por esse fenómeno (CALLISTER, 2010; SMITH et al., 2018).

Em postes de transformação, a corrosão é acelerada pela exposição a um ambiente agressivo, caracterizado pela presença de humidade, sais, poluentes atmosféricos (como óxidos de enxofre e nitrogénio) e variações de temperatura. Esses factores contribuem para a formação de células electroquímicas na superfície do metal, levando à oxidação e à perda de material. Em regiões com alta humidade e poluição atmosférica, como a cidade de Maputo, a taxa de corrosão pode ser significativamente maior.

A compreensão dos mecanismos de corrosão e dos factores que a influenciam é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de protecção. Nos próximos tópicos, serão abordados os materiais utilizados na fabricação de postes de transformação, os diferentes tipos de corrosão e os métodos de protecção mais utilizados para garantir a durabilidade e a segurança dessas estruturas.

#### **2.1.1 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA CORROSÃO**

Os processos corrosivos estão presentes em todos os locais e a todo instante na nossa vida diária os problemas de corrosão são frequentes e ocorrem nas mais variadas actividades, o estudo da corrosão é importante para poder viabilizar economicamente as instalações industriais, saber como evitar as condições de corrosão severas, é preciso estudar a corrosão para manter a integridade física das instalações e para proteger adequadamente os materiais contra a corrosão.

Admite-se a corrosão como o inverso do processo siderúrgico, cujo o objectivo principal é a extração do metal a partir de seus minérios ou de outros compostos, ao passo que a corrosão tende a oxidar o metal. Assim, por vezes o produto da corrosão do metal é muito semelhante

ao minério do qual é originalmente extraído (GENTIL, 2007) ou seja, basicamente um material metálico quando exposto a condições que favorecem a corrosão sempre tendem a voltar a sua forma original conforme ilustrado na figura abaixo.

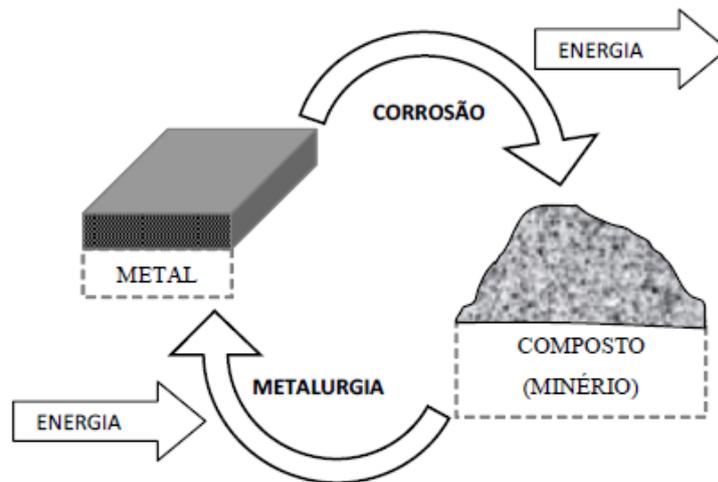


Figura 2: Ciclos dos metais. Fonte: Ciência dos Materiais- Callister 8ª ed 2010

A corrosão é um fenômeno de grande importância por três razões principais:

- ✓ Economia;
- ✓ Segurança e
- ✓ Conservação.

A corrosão pode comprometer a segurança de equipamentos operacionais, levando a falhas que podem ter consequências catastróficas. Além disso, a perda de metal devido à corrosão representa um desperdício não apenas do próprio metal, mas também da energia, água e esforço humano investidos na produção e fabricação das estruturas metálicas. A reconstrução de equipamentos corroídos exige ainda mais recursos, aumentando os custos em termos de metal, energia, água e mão de obra (WINSTON e HERBERT, 2008).

Os prejuízos causados pela corrosão são significativos, e minimizar seus efeitos é essencial. As perdas econômicas podem ser classificadas em dois tipos: directas e indirectas (WINSTON e HERBERT, 2008).

✓ **Perdas directas:**

Envolvem os custos de substituição de peças ou equipamentos corroídos, além dos custos de manutenção e implementação de processos de protecção, como a protecção catódica, recobrimentos e pinturas.

✓ **Perdas indirectas:**

São mais difíceis de mensurar, incluindo paralisações acidentais para reposição de peças corroídas, limpeza de equipamentos, perda de eficiência dos mesmos e perda de materiais.

Este estudo busca explorar métodos eficazes para combater a corrosão, com foco na minimização das perdas econômicas e no aumento da segurança e conservação de recursos.

## 2.1.2 MATERIAIS COMUNS EM POSTES DE TRANSFORMAÇÃO

Os postes de transformação são, em sua maioria, construídos a partir de ligas de aço. A escolha do tipo de aço depende de diversos fatores, como:

- ✓ **Resistência mecânica:** O aço deve ser capaz de suportar as cargas impostas pela rede eléctrica e pelas condições climáticas.
- ✓ **Resistência à corrosão:** A escolha do aço também leva em consideração a sua resistência à corrosão no ambiente em que será instalado.
- ✓ **Custo:** O custo do material é um factor importante na escolha do aço.

## 2.1.3. TIPOS DE AÇO COMUMENTE UTILIZADOS:

- ✓ **Aço Carbono:** É o tipo de aço mais comum devido ao seu baixo custo. No entanto, apresenta baixa resistência à corrosão em ambientes agressivos.
- ✓ **Aço Inoxidável:** Possui alta resistência à corrosão devido ao alto teor de cromo em sua composição. É utilizado em componentes que exigem maior durabilidade, mas seu custo é elevado.
- ✓ **Aço Galvanizado:** O aço carbono revestido com uma camada de zinco oferece boa protecção contra a corrosão atmosférica. É amplamente utilizado em postes de transformação.

- ✓ **Aço Duplex:** Combina as propriedades do aço inoxidável e do aço carbono, oferecendo alta resistência à corrosão e boa trabalhabilidade.

## **2.1.4. FACTORES QUE INFLUENCIAM A SUSCETIBILIDADE À CORROSÃO**

Segundo GENTIL, 2007 os factores que influenciam na corrosão dos materiais são:

- ✓ Material da peça (corpo sólido)
- ✓ Meio circundante (meio corrosivo)
- ✓ Condições de funcionamento (de operação).

Os fenómenos de corrosão dependem de um grande número de factores que podem ser agrupados em quatro classes principais (GENTIL, 2007):

- Factores que definem o modo de ataque (que dependem do meio de ataque ou meio circundante);
- Factores que dependem da natureza do material;
- Factores que definem as condições de utilização;
- Factores que dependem do tempo de uso.

### **2.1.4.1. Factores que dependem do meio de ataque:**

Concentração do reactivo (meio circundante); teor em oxigênio; Ph (nível de acidez) do meio circundante; presença ou não de inibidores; temperatura do meio; pressão do meio circundante; presença ou não de impurezas no meio; presença ou não de partículas sólidas.

### **2.1.4.2. Factores que dependem da natureza do material da peça:**

Composição química do material ou da liga; presença de impurezas no material; tratamentos térmicos (totais ou superficiais); tratamentos mecânicos; adições protectoras.

### **2.1.4.3. Factores que dependem das condições de utilização:**

Estado da superfície (rugoso ou liso); condições de manutenção ou conservação; solicitações mecânicas; uso de inibidores de corrosão.

### **2.1.4.3. Factores que dependem do tempo de uso:**

Envelhecimento natural; temperaturas; modificações dos revestimentos protectores; condições de manutenção ou conservação.

## **2.2. CLASSIFICAÇÃO DA CORROSÃO**

A classificação dos processos corrosivos pode ser apresentada da seguinte maneira:

- ✓ Em função das formas (morfologia) de corrosão;
- ✓ Em função do mecanismo electroquímico de corrosão;
- ✓ Em função do meio corrosivo;
- ✓ Em função das condições operacionais;
- ✓ Em função da localização do ataque corrosivo.

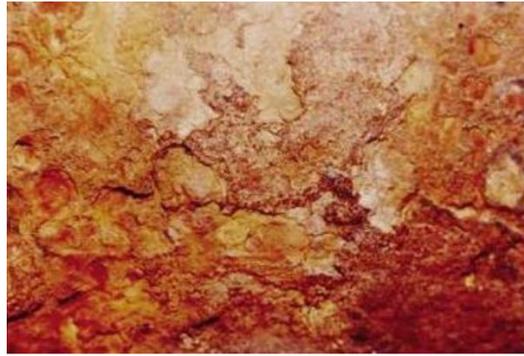
### **2.2.1. Classificação da corrosão em função das Formas:**

A corrosão pode ocorrer sob diferentes formas, e o seu conhecimento é importante no estudo dos processos corrosivos a caracterização da forma auxilia bastante no esclarecimento do mecanismo e na aplicação de medidas adequadas de protecção (GENTIL, 2007). As formas que a corrosão se apresenta são as seguintes:

- ✓ Corrosão Uniforme;
- ✓ Corrosão Galvânica;
- ✓ Corrosão Picada;
- ✓ Corrosão Filiforme;
- ✓ Corrosão Cavernosa;
- ✓ Corrosão Biológica;
- ✓ Corrosão Selectiva;
- ✓ Corrosão Intergranular;
- ✓ Corrosão Acompanhada por acção mecânica (erosão frettinig, cavitação, fadiga);
- ✓ Corrosão por correntes vagabundas;
- ✓ Corrosão Intergranular

#### **2.2.1.1. Corrosão Uniforme**

A corrosão uniforme se manifesta como uma perda de material homogênea em toda a superfície exposta do metal. Esse tipo de corrosão é frequentemente observado em áreas com alta humidade, e é acelerada pela presença de eletrólitos, como sais e ácidos provenientes do solo e da atmosfera. A formação de ferrugem no aço é um exemplo clássico de corrosão uniforme, conforme descrito por Callister (2010).



*Figura 3: Corrosão uniforme em chapa de aço carbono.*

*Fonte: Engenheiro de Materiais(2017)*

### **2.2.1.2 Corrosão por Placas**

A corrosão por placas é um tipo de ataque localizado que se caracteriza pela formação de depósitos de produtos de corrosão que se elevam acima da superfície metálica, criando um aspecto escamoso. Sob essas placas, o metal sofre oxidação, resultando em uma perda de material localizada e na formação de cavidades. Esse processo pode comprometer significativamente a integridade estrutural do material, reduzindo sua resistência mecânica e aumentando o risco de falha.



*Figura 4: Corrosão por placas.*

*Fonte: Gentil (2007)*

Em postes de transformação, a corrosão por placas pode ocorrer em diversas regiões, como:

- ✓ **Em juntas e conexões:** A presença de diferentes metais ou ligas em contacto, como no caso de parafusos e porcas, pode criar células galvânicas que aceleram a corrosão por placas.
- ✓ **Em áreas com retenção de humidade:** Depósitos de sujeira, folhas ou outros materiais orgânicos podem reter humidade e criar condições favoráveis para a formação de células eletroquímicas, intensificando a corrosão.
- ✓ **Em regiões com danos na pintura ou revestimentos:** A perda da protecção superficial expõe o metal ao ambiente corrosivo, facilitando a iniciação e a propagação da corrosão por placas.



*Figura 5: Corrosão por placas em um PT (imagem ilustrativa). Fonte Acervo da Autora*

### **2.2.1.3 Corrosão Galvânica**

A corrosão galvânica ocorre quando dois metais diferentes entram em contacto eléctrico em um eletrólito (um meio condutor de íons, como água salgada ou soluções ácidas). Devido às diferentes reactividades dos metais, surge uma diferença de potencial eléctrico, gerando um fluxo de elétrons entre eles. O metal mais activo (ânodo) tende a se oxidar e corroer mais rapidamente, enquanto o metal menos activo (cátodo) sofre menor corrosão. (FONTANA, 2018).

Um exemplo clássico de corrosão galvânica é a ferrugem acelerada em um parafuso de aço galvanizado fixado em uma estrutura de ferro fundido, imerso em água do mar. O zinco do

parafuso (ânodo) se sacrifica para proteger o ferro fundido (cátodo), corroendo-se mais rapidamente.



*Figura 6: Corrosão galvânica.*

*Fonte: <https://rijeza.com.br/> (2018)*



*Figura 7: Exemplo de corrosão galvânica. Fonte: Apotamentos de Soldadura e Protecção de metais. UEM-FE Prof. Dr Engº Justino B. Mulima*

#### **2.2.1.4 Corrosão por Pites**

É uma forma de corrosão com ataque extremamente localizado que resulta em buracos ou pites no metal (FONTANA, 2018). De acordo com Callister (2010), esses pites penetram o metal a partir de uma superfície horizontal seguindo uma direcção quase vertical. Usualmente, um pite pode ser caracterizado como uma cavidade que apresenta o fundo de forma angulosa e profundidade geralmente maior que seu diâmetro (GENTIL, 2007).

Se trata de uma das formas mais destrutivas e traiçoeiras de corrosão. Causa a falha de equipamentos devido à perfuração mesmo com uma baixa porcentagem de perda de massa da estrutura. Por conseguinte, a corrosão por pites é particularmente traiçoeira porque é uma localizada e intensa forma de corrosão, com isso as falhas frequentemente ocorrem de forma extremamente repentina (FONTANA, 2018).

Uma vez iniciados, os pites se propagam pelo metal a uma taxa crescente. Em adição, esses pites são responsáveis por minar e erodir a superfície à medida que eles crescem, essa tendência torna a detecção dos pites difícil de forma que o dano abaixo da superfície normalmente muito severo do que aparenta a superfície (FONTANA, 2018).



*Figura 8: orrosão por pites.*

*Fonte: <http://stdengenharia1.blogspot.com/> (2019)*

### **2.2.1.5 Corrosão Alveolar**

A corrosão alveolar é uma forma de corrosão localizada e ocorre em superfícies metálicas, produzindo sulcos ou escavações, que são semelhantes a alvéolos, apresentando como característica um fundo arredondado e uma profundidade geralmente menor que o seu diâmetro. (GENTIL 2007).



*Figura 9: Corrosão Alveolar. Fonte: Engenheiro de Materiais (2017)*

### 2.2.1.6 Corrosão cavernosa

A corrosão cavernosa, caracterizada pela formação de cavidades irregulares na superfície do metal, é um fenômeno complexo influenciado por diversos factores, como a composição do material, o ambiente corrosivo e as tensões mecânicas. Segundo Uhlig e Revie (2009) em "Corrosion and Corrosion Control", a corrosão localizada, incluindo a cavernosa, é um dos principais desafios na indústria, pois pode levar à falha prematura de componentes e estruturas.



*Figura 10: Exemplo de corrosão cavernosa. Fonte: Apontamentos de Soldadura e Protecção de metais UEM-FE Prof. Dr Engº Justino B. Mulima*

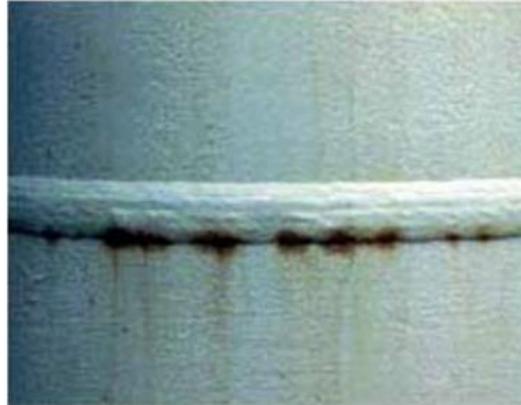
### 2.2.1.7 Corrosão Filiforme

A corrosão filiforme é um tipo de corrosão localizada que ocorre sob camadas finas de revestimentos orgânicos, como tintas ou vernizes, e se caracteriza pela formação de filamentos ou linhas de corrosão que se espalham de forma ramificada. Ela surge geralmente em ambientes húmidos e se desenvolve a partir de pequenos defeitos ou falhas no revestimento, como arranhões ou bolhas.

Segundo Winston e Herbert (2008), a corrosão filiforme resulta da acção conjunta de factores como a presença de humidade, oxigênio e sais que penetram nas pequenas falhas do revestimento, iniciando o processo de corrosão electroquímica entre o metal base e o meio corrosivo.

O mecanismo de formação da corrosão filiforme envolve uma célula de corrosão localizada, onde o oxigênio é reduzido nas áreas expostas e o metal se oxida nas regiões cobertas pelo revestimento danificado. A humidade que penetra sob o revestimento fornece os íons

necessários para o progresso do processo, que se propaga como uma linha filiforme à medida que o oxigênio continua a ser reduzido nas extremidades da célula de corrosão.



*Figura 11: Exemplo de corrosão filiforme em um duto*

*Fonte: Apontamentos de Soldadura e Protecção de metais UEM-FE Prof. Dr Engº Justino B. Mulima*

#### **2.2.1.8 Corrosão Selectiva**

A corrosão selectiva é um tipo de corrosão em que certos componentes de uma liga metálica são corroídos preferencialmente, deixando para trás uma estrutura porosa ou enfraquecida. Esse processo é comum em ligas metálicas, onde um dos elementos é mais suscetível à corrosão em ambientes agressivos.

Segundo Winston e Herbert (2008), a corrosão selectiva ocorre devido à diferença de potencial electroquímico entre os elementos da liga, resultando na dissolução preferencial de um dos componentes enquanto o outro permanece praticamente intacto.

O mecanismo de formação da corrosão selectiva envolve uma célula de corrosão galvânica interna, em que o componente menos nobre (anódico) da liga se oxida, sendo dissolvido em solução, enquanto o componente mais nobre (catódico) permanece. Um exemplo clássico é a dezincificação do latão, onde o zinco é corroído preferencialmente, deixando uma estrutura porosa composta principalmente de cobre. A presença de água, cloretos ou outros agentes corrosivos acelera esse processo, afectando significativamente a resistência mecânica do material.



Figura 12: Exemplo de corrosão selectiva Fonte: Apontamentos de Soldadura e Protecção dos metais. UEM-FE Prof. Dr Engº Justino B. Mulima

### 2.2.1.9 Corrosão por Correntes Vagabundas

Se uma corrente eléctrica a fluir por um condutor metálico se desvia para um circuito aquoso, provocará a ionização do metal e criará uma área de rápida corrosão no local onde a corrente é desviada do metal quanto maior for a corrente “vagabunda” tanto maior será a perda do metal este tipo de corrosão destrói coberturas anticorrosivas, acelerando a corrosão. As correntes vagabundas são definidas como sendo aquelas que seguem uma trajectória diferente da que deviam seguir no circuito. (CHILTON, 1973)



Figura 13: Exemplo de corrosão por correntes vagabundas

Fonte: Apontamentos de Soldadura e Protecção dos metais. UEM-FE Prof. Dr Engº Justino B. Mulima.

### 2.2.1.10. Corrosão intergranular

A corrosão intergranular é uma forma de ataque localizado na superfície metálica, na qual um caminho estreito é corroído preferencialmente ao longo dos contornos de grãos. Ela se inicia

sobre a superfície e ocorre devido a células de acção local, na vizinhança imediata de um contorno de grão. A força motriz é a diferença no potencial de corrosão que se desenvolve entre uma zona fina do contorno de grão e o volume dos grãos adjacentes. A corrosão intergranular pode causar uma diminuição na elongação, e em casos severos isto leva à perda marcante nas propriedades de tracção, embora somente um pequeno volume do metal tenha sido corroído.

Em algumas circunstâncias, a região de um contorno de grão torna-se muito reactiva, resultando numa corrosão inter-granular, provocando a desintegração da liga ou perda de resistência mecânica (HAROLDO PONTE, 2001).



*Figura 14: Exemplo de corrosão intergranular*

*Fonte: Apontamentos de Soldadura e Protecção dos metais. UEM-FE Prof. Dr Engº Justino B. Mulima.*

#### **2.2.1.11. Corrosão Biológica**

A corrosão biológica, também conhecida como corrosão microbiologicamente induzida (MIC, do inglês *Microbiologically Influenced Corrosion*), ocorre quando microorganismos, como bactérias, fungos ou algas, influenciam e aceleram o processo corrosivo em metais.

Segundo Winston e Herbert (2008), a corrosão biológica resulta da actividade metabólica de certos microorganismos que, ao produzir substâncias como ácidos, amônia, sulfetos e outros compostos, alteram o ambiente próximo à superfície metálica, favorecendo reacções eletroquímicas corrosivas.

- **Mecanismo de formação**

O mecanismo de formação dessa corrosão envolve a presença de biofilmes, que são camadas de microorganismos que se fixam à superfície do metal. Esses biofilmes criam microambientes

com condições electroquímicas diferentes das áreas circundantes, como variações de pH e concentração de oxigênio. Por exemplo, bactérias redutoras de sulfato produzem sulfeto de hidrogênio, um composto altamente corrosivo que pode acelerar a deterioração do metal. Além disso, o acúmulo de produtos metabólicos pode gerar zonas anódicas e catódicas que intensificam a corrosão localizada.



Figura 15: Imagem ilustrativa da corrosão biológica

Fonte: Apontamentos de Soldadura e Protecção dos metais. UEM-FE Prof. Dr Engº Justino B. Mulima.

#### 2.2.1.12 Corrosão por Fricção

A corrosão por *fretting* (ou corrosão por fricção) é caracterizada pela combinação de desgaste mecânico e corrosão em superfícies em contacto que sofrem movimentos repetitivos de baixa amplitude. Esses movimentos geram atrito que remove as camadas protectoras do metal, expondo-o a um ambiente corrosivo. Conforme explicado por ASM International (2000), "a corrosão por *fretting* ocorre principalmente em componentes sujeitos a vibração e cargas cíclicas, resultando na formação de produtos de corrosão que actuam como abrasivos, acelerando o processo de degradação."

- **Mecanismo de formação**

O mecanismo de formação da corrosão por *fretting* começa com o desgaste superficial causado pelo atrito, que rompe as camadas de óxido protectoras. O metal exposto reage com o oxigênio ou outros agentes corrosivos, formando produtos de corrosão, como óxidos. Esses produtos se acumulam e juntamente com o atrito contínuo, agem como partículas abrasivas, intensificando o desgaste e a corrosão. Essa forma de corrosão é comumente encontrada em componentes sujeitos a vibrações e movimentos repetitivos, como rolamentos e conexões mecânicas.



*Figura 16: Exemplo de corrosão por fricção*

*Fonte: Apontamentos de Soldadura e Protecção dos metais. UEM-FE Prof. Dr Engº Justino B. Mulima.*

## **2.2.2. Classificação da corrosão em função do meio corrosivo**

Os meios corrosivos mais comuns são: a atmosfera, os solos, a água e produtos químicos.

### **2.2.2.1. Corrosão Atmosférica**

A acção corrosiva da atmosfera depende fundamentalmente de factores como: humidade relativa, temperatura, ventos, gases, poluentes atmosféricos em geral. Além destes factores devem ser considerados os factores climáticos como: intensidade e direcção dos ventos, variações cíclicas de temperatura e humidade, chuvas e insolação. A corrosão atmosférica é classificada em seca, húmida ou molhada (GENTIL, 2007).

#### **✓ A corrosão atmosférica seca:**

Ocorre em atmosfera isenta de humidade, sem qualquer presença de filme de eletrólito na superfície metálica. Tem-se uma lenta oxidação do metal com formação do produto de corrosão, podendo o mecanismo ser considerado puramente químico.

#### **✓ A corrosão atmosférica húmida:**

Ocorre em atmosferas com humidade relativa menor que 100%. Tem-se um fino filme de eletrólito depositado na superfície metálica e a velocidade do processo corrosivo depende da humidade relativa, poluentes atmosféricos.

✓ **A corrosão atmosférica molhada:**

A humidade relativa esta perto de 100% ocorre condensação na superfície metálica, observando-se que a superfície fica molhada com o eletrólito como por exemplo chuva, névoa depositadas na superfície metálica.

A atmosfera pode ser classificada como: Rural; industrial; marinha; urbana; urbana-Industrial; outras combinações.

### **2.2.2.2 Corrosão em Solos**

O solo é considerado como um meio corrosivo complexo, dificultando a avaliação da corrosão de estruturas metálicas enterradas. O conhecimento das características do solo é fundamental para a previsão da corrosão, o factor que mais influencia é a natureza do solo. Os principais factores a serem destacados no estudo da corrosão em solos são pH, humidade, aeração, sais dissolvidos, porosidade e microorganismos.

Não somente as características físico-químicas e microbiológicas do solo podem influenciar no processo corrosivo, mas também as condições climáticas, como incidência de chuvas, temperatura e humidade relativa da atmosfera; a composição do material metálico da estrutura enterrada, e a profundidade da sua instalação (GENTIL, 2007).

### **2.2.2.3 Corrosão em Águas**

Os materiais metálicos, quando entram em contacto com água, estão sujeitos a sofrer corrosão. Os factores que mais contribuem para a corrosão metálica em águas são pH, temperatura, sais dissolvidos, gases dissolvidos, matéria orgânica, materiais sólidos suspensos e microorganismos. As águas naturais podem apresentar factores agravantes da sua acção corrosiva, como poluentes, agrotóxicos, efluentes residenciais e industriais, além da sua agitação natural (GENTIL, 2007).

### **2.2.2.4 Corrosão por produtos químicos**

Produtos químicos podem ocasionar o ataque corrosivo ao material metálico de tubulação ou equipamento. A pureza, concentração, pH, temperatura e composição do produto químico são parâmetros importantes para predizer a sua acção corrosiva (GENTIL, 2007). Também se deve

levar em consideração a contaminação do produto químico com os óxidos e hidróxidos formados durante o ataque corrosivo do metal.

De modo a manter as características do material metálico, sem que ocorra o seu ataque, após a obtenção dos produtos químicos deve-se seguir procedimentos de armazenagem, transporte e embalagem, empregando materiais apropriados, resistentes à corrosão (FONTANA, 2018).

### **2.3. Tipos de corrosão**

A classificação do processo de corrosão é feita de diferentes maneiras devido a diferença de materiais, ligas e meios onde ela possa ocorrer, além da diversidade das condições de temperatura e concentração de agentes corrosivos.

#### **2.3.1 Corrosão Electroquímica**

O processo da corrosão eletroquímica é devido ao fluxo de electrões que se deslocam de uma área da superfície metálica para outra, esse movimento de electrões é devido a diferença de potencial de natureza eletroquímica que se estabelece entre as regiões (POURBAIX, 1987).

As reacções que ocorrem na corrosão electroquímica envolvem transferencia de electrões por tanto são reacções anódicas e catódicas (reacções de oxidação e redução), a corrosão electroquímica envolve a presença de uma solução que permite o movimento de iões.

Para que esta corrosão ocorra necessita de 4 componentes:

- ✓ **Área anódica:** superfície onde verifica-se a corrosão (reações de oxidação).
- ✓ **Área catódica:** superfície protegida onde não há corrosão (reações de redução);
- ✓ **Eletrólito:** meio condutor (geralmente líquido) ou condutor iônico;
- ✓ **Circuito:** ligação elétrica entre as áreas anódicas e catódicas.

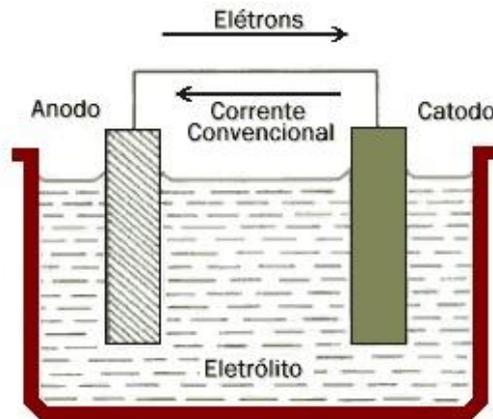


Figura 17 Esquema de uma pilha eletroquímica, destacando os quatro elementos fundamentais.

Fonte: <https://blog.goldtouchsystembr.com.br/wp-content/uploads/2015/09/eletrolise3.jpg>

### 2.3.2 Corrosão Electrolítica

A corrosão electrolítica se caracteriza por ser um processo electroquímico, que se da com a aplicação de corrente eléctrica externa, ou seja trata-se de uma corrosão não espontânea. Esse fenômeno é provocado por correntes de fuga, também chamadas parasitas ou vagabundas, estranhas, e ocorre com frequência em tubulações de petróleo e de água potável, em cabos telefônicos enterrados, em tanques de postos de gasolina etc. (GENTIL, 2007)

Geralmente essas correntes são devido a deficiências de isolamento ou de aterramento fora de especificações técnicas. Normalmente acontecem furos isolados nas instalações, onde a corrente escapa para o solo.

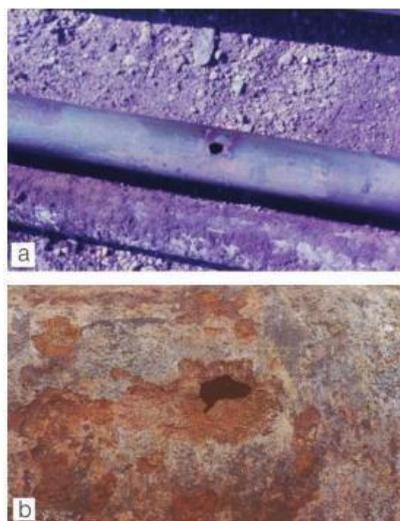


Figura 18: Exemplo de corrosão electrolítica, fonte: Apontamentos de Soldadura e Protecção de metais UEM-FE Prof. Dr Engº Justino B. Mulima

### 2.3.3 Corrosão química

Corrosão química também denominada corrosão em meio não aquoso ou corrosão seca, acontece pelo contacto directo entre o material e o agente corrosivo sem que exista uma solução aquosa para acelerar o processo. É o ataque de algum agente químico directamente sobre determinado material, que pode ou não ser um metal. Ela não precisa da presença de água e não há transferência de elétrons como na corrosão eletroquímica. Esta corrosão é activa pelo aumento da temperatura e assume geralmente a forma de corrosão uniforme. Se não tratada adequadamente esta corrosão pode levar a perda total do material e por isto deve ser evitada e tratada com cautela (FOGAÇA, 2010).



*Figura 19: Exemplo de corrosão química, fonte: Apontamentos de Soldadura e Protecção de metais UEM-FE Prof. Dr Engº Justino B. Mulima*

## 2.4 CONTROLE DA CORROSÃO

O conhecimento do mecanismo das reacções envolvidas no processo corrosivo é pré-requisito para um controle efectivo dessas reacções, nem a corrosão nem seu controle podem ser tratados isoladamente, o estudo de um pressupõe o estudo do outro pois o próprio mecanismo de corrosão pode sugerir alguns modos de combate ao processo corrosivo (GENTIL, 2007).

Controlar a corrosão consiste em obter-se o controle (redução ou anulação) das velocidades de corrosão ou seja: controle de funcionamento das pilhas de corrosão nos casos da corrosão electroquímica e electrolítica; controle do crescimento da película de produtos de corrosão no caso da corrosão química ou oxidação a altas temperaturas.

O meio mais eficiente e barato de evitar a corrosão é projectar correctamente os equipamentos,

de modo a não favorecer o ataque corrosivo.

#### **2.4.1. Métodos de controle da corrosão**

O controle da corrosão inclui todas as medidas tomadas em cada etapa desde o projecto até a fabricação, instalação e utilização do equipamento (GENTIL, 2007). Os diferentes métodos de controle da corrosão podem ser divididos nas seguintes categorias:

- ✓ Controle no estágio do projecto ou design estrutural;
- ✓ Controle pela influência no metal;
- ✓ Controle pela influência no meio;
- ✓ Controle com revestimentos;

##### **2.4.1.1. Controle no estágio do projecto ou design estrutural**

No estágio do projecto devem ser especificados os materiais de construção, o projecto da instalação do processo e dos equipamentos, as condições do processo e a prática de operação. Deve-se considerar aspectos como: selecção de materiais, a compatibilidade dos materiais, mudanças possíveis nas condições do processo, geometria dos componentes, factores mecânicos, métodos de protecção, facilidade de manutenção e factores económicos (GENTIL,2007).

##### **i. Selecção de materiais**

A selecção de materiais apropriados em um determinado ambiente é um factor chave para a estratégia de controle da corrosão (ZAKI AHMAD, 2006).

Nesta fase deve-se definir qual é o critério preponderante: resistência mecânica ou resistência à corrosão? deve-se ter em conta que um material menos nobre mas de boa resistência mecânica poderá ser protegido durante sua utilização. Os seguintes factores devem ser considerados: propriedades químicas, propriedades mecânicas, propriedades físicas, disponibilidade, fabricabilidade e custo. A selecção de materiais é crítica para o projecto de engenharia, a corrosão pode ser minimizada empregando-se um projecto apropriado.

## ii. Compatibilidade dos materiais

Deve-se considerar os efeitos que podem ocorrer como: contacto directo entre metais dissimilares, inversão possível de polaridade, transferência de partículas de um metal para o fluído, influência de possíveis correntes de fuga (GENTIL, 2007).

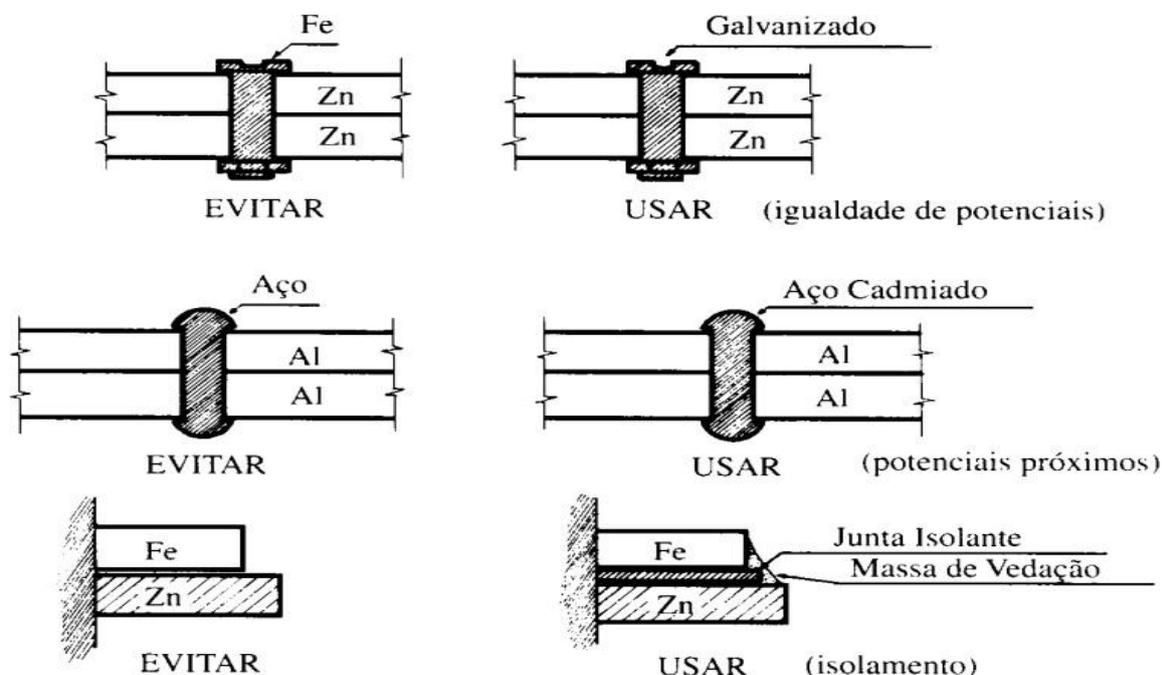


Figura 20: Revestimentos ou isolamento para evitar o contato direto de dois metais.

Fonte: Corrosão - Gentil, 2007

## iii. Mudanças nas condições do processo

No processo, mudar alguns parâmetros (como temperatura, pH, concentração das espécies agressivas, velocidade do fluído) para o tornar menos agressivo, o que possibilitará o uso de um número maior de materiais (GENTIL,2007).

## iv. Geometria dos componentes

A forma geométrica externa e interna deve facilitar a manutenção, geometrias complexas devem ser evitadas, evitar formas geométricas que retenham combinações corrosivas e contaminantes sólidos e usar aquelas que facilitem o acesso, usar tubulações com formato suave, evitar reduções repentinas de diâmetro estas devem ser graduais, projectar pontos de drenagem para os tanques por exemplo (GENTIL, 2007).

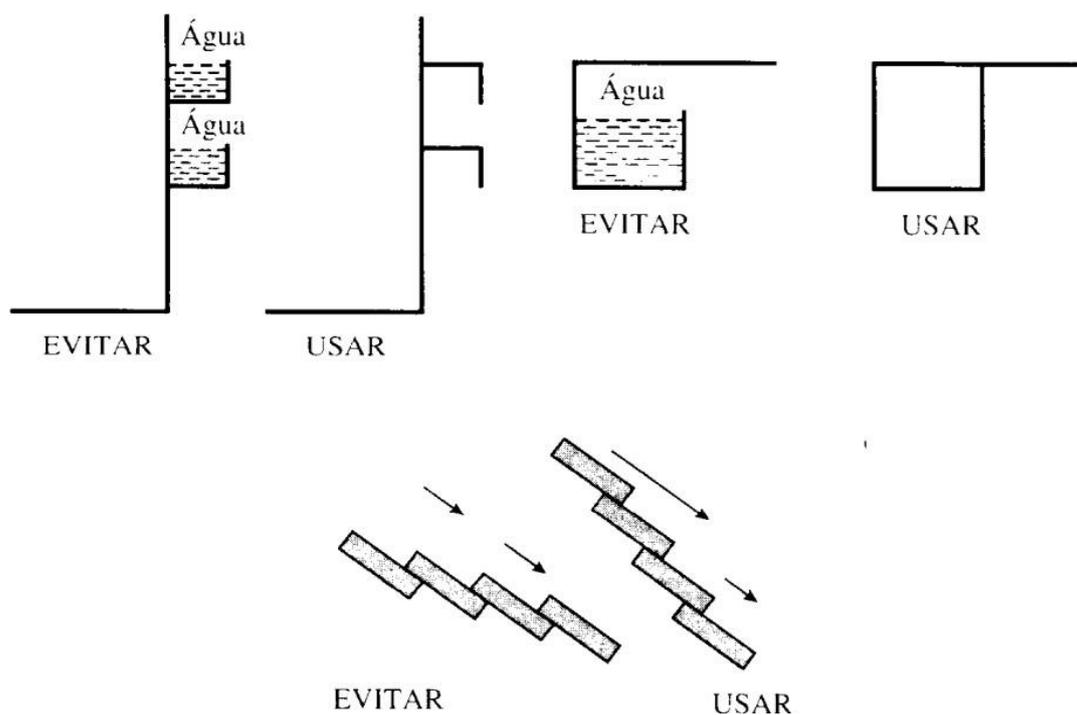


Figura 21 Detalhes construtivos que possibilitam áreas de estagnação de líquidos.

Fonte: Corrosão – Gentil, 2007.

#### v. Acabamentos superficiais

Especificar as características da superfície, evitar superfícies rugosas (retenção de pó, humidade e concentradores de tensões), preferir cantos arredondados e superfícies planas, preferir superfícies inclinadas (secagem e autolimpeza), definir o acabamento desejado se é prevista a aplicação de tintas ou outros revestimentos (GENTIL, 2007).

#### vi. Manutenção

No estágio do projecto deve ser feita uma previsão para que a manutenção regular seja feita de maneira simples e econômica.

- O projecto deve permitir uma inspeção simples das instalações, as partes a serem inspeccionadas devem ser acessíveis, a inspeção ou manutenção de uma parte da instalação deve ter a menor influência sobre as outras partes, a desmontagem das peças deve ser simples,
- O projecto deve prever o acesso de pessoas, ferramentas, luz, ventilação (ZAKI AHMAD, 2006).

## **vii. Factores económicos**

Deve-se considerar os custos de uma maneira global, custo inicial dos materiais, custo devido às paradas das linhas de produção para manutenção ou substituição de peças, custo dos métodos de protecção a serem utilizados, custo de manutenção;

Deve-se definir um nível optimizado de controle da corrosão, ou seja um custo mínimo dentro de um período de operação especificado (GENTIL, 2007).

### **2.4.1.2 Controle pela influência no metal**

Após a selecção de um metal para um ambiente específico, o comportamento do metal em relação à corrosão pode ser controlado ajustando seu potencial nesse meio.

Para isso, podem ser aplicadas a protecção catódica ou a protecção anódica. Esses dois métodos actuam directamente no potencial do metal, sendo amplamente utilizados na protecção de estruturas e tubulações submersas e subterrâneas (GENTIL, 2007).

#### **Protecção catódica**

A protecção catódica é provavelmente a mais importante de todas as abordagens à controlar a corrosão. Usando uma corrente eléctrica aplicada externamente, a corrosão é reduzida essencialmente a zero, uma superfície metálica protegida catodicamente pode ser mantida em um ambiente corrosivo sem deterioração por tempo indefinido. Existem dois tipos de protecção catódica: protecção catódica por corrente impressa e protecção catódica de ânodo de sacrifício também conhecida como protecção catódica galvânica (WINSTON and HERBERT, 2008).

Esta protecção é empregada em estruturas enterradas ou submersas não pode ser usada em estruturas aéreas porque necessita de um electrolito continuo o que não se consegue na atmosfera. Na protecção catódica podemos ter duas variantes: por ânodos de sacrifício (também chamada protecção galvânica) e por corrente impressa ou imposta.

- **Proteção por ânodos de sacrifício**

A protecção por ânodos de sacrifício consiste em conectar a estrutura a um metal menos nobre que se comportará como ânodo, a estrutura sendo cátodo, segundo o mesmo princípio descrito

para a corrosão galvânica.

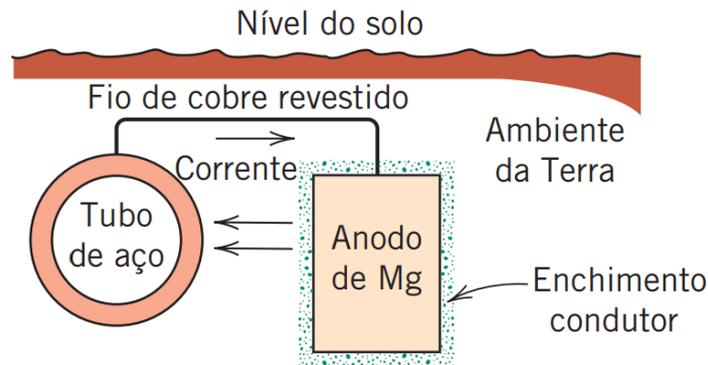


Figura 22: Proteção catódica de uma tubulação subterrânea usando um anodo de sacrifício de magnésio.

Fonte: *Ciência e engenharia de materiais : uma introdução* / William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch 9ª ed (2016)

O metal oxidado é com frequência chamado de anodo de sacrifício, e o magnésio e o zinco são comumente usados para essa finalidade, visto que estão localizados na extremidade anódica da série galvânica. Essa forma de protecção galvânica, para estruturas enterradas no solo, está ilustrada na figura 22.

- **Protecção catódica por corrente impressa**

A protecção catódica por corrente impressa consiste em injectar elétrons para a estrutura a proteger com auxílio de uma fonte de corrente de maneira a diminuir seu potencial.

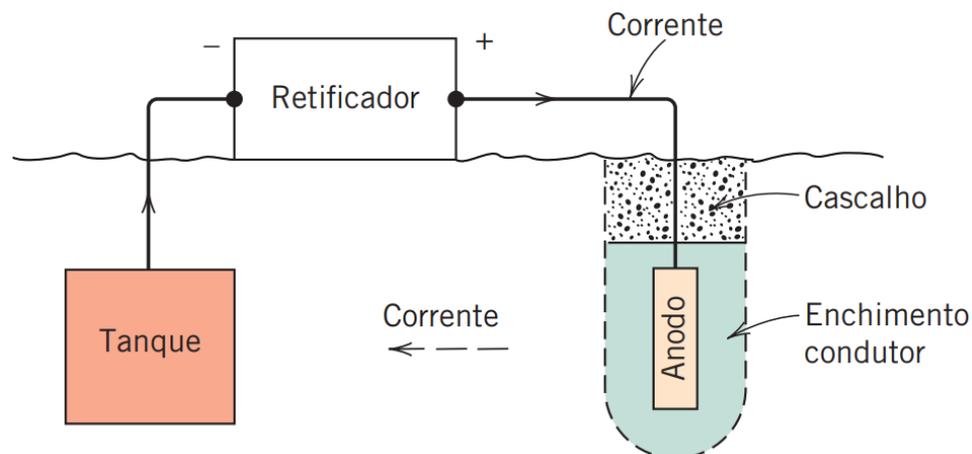


Figura 23: Protecção catódica de um tanque subterrâneo usando uma corrente impressa. Fonte: *Ciência e engenharia de materiais : uma introdução* / William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch 9ª ed (2016)

Com a utilização da protecção catódica consegue-se manter as instalações metálicas livres da corrosão por um tempo indeterminado, mesmo que não seja aplicado sobre suas superfícies nenhum tipo de revestimento e que as condições agressivas do meio (solo, água e outro eletrólito) sejam extremamente severas. A grande virtude desta técnica é permitir o controle seguro da corrosão em instalações que por estarem enterradas ou imersas não podem ser inspeccionadas ou revestidas periodicamente (GENTIL, 2007).

### **Protecção anódica**

A aplicação da protecção anódica faz com que a dissolução do filme de óxido seja impossível e qualquer falha que apareça no filme é reparado de forma automática pela formação de um novo filme ou película protectora. O êxito desse sistema vai depender do exacto controle do potencial, pois um potencial não adequado (muito alto) pode ocasionar a dissolução do metal (GENTIL, 2007). Este tipo de protecção só pode ser aplicada a metais ou ligas que se passivem, como ferro, níquel, cromo e respectivas ligas, e não pode ser aplicada para zinco, prata e cobre. Com esta protecção a corrente inicialmente aplicada é elevada, porém é pequena para manter a passividade o que limita o uso deste método em meios muito agressivos.

A protecção anódica é baseada na formação de uma película protectora em metais por correntes anódicas aplicadas externamente. A protecção anódica possui vantagens únicas, por exemplo a corrente aplicada é geralmente igual à taxa de corrosão do sistema protegido, assim a protecção anódica não apenas protege, mas também oferece um meio directo para monitorar a taxa de corrosão de um sistema (PIERRE, 2000).

#### **2.4.1.3 Controle pela influência no meio**

A agressividade de um meio pode ser diminuída alterando um dos parâmetros seguintes: composição do meio, velocidade do meio, temperatura ou adicionando ao meio inibidores de corrosão (GENTIL, 2007).

**Composição do meio:** eliminando as espécies agressivas (por exemplo os íons Cl<sup>-</sup> para os aços); alterando o pH da solução, o efeito do pH é variável e depende do metal; alterando o teor de oxigênio e oxidantes.

- **Velocidade do meio:** se a cinética do processo de corrosão for controlada pela transferência de carga (ativação), não há efeito da velocidade do meio; se a cinética do processo de corrosão for controlada pela difusão da espécie que se reduz (por exemplo O<sub>2</sub> dissolvido), o efeito da velocidade do meio é variável.
- **Temperatura:** temperatura afecta a cinética do processo de corrosão se o controle é por ativação; se o processo for controlado pela difusão (por exemplo a redução de O<sub>2</sub>), a influência da temperatura é complexa. Quando a temperatura aumenta, o coeficiente de difusão do oxigênio aumenta e conseqüentemente a densidade de corrente limite catódica aumenta.
- **Inibidores da corrosão:** Os inibidores de corrosão são substâncias que adicionadas em pequenas quantidades a um sistema metal/meio diminuem a velocidade de corrosão do metal. Existem três grandes classes de inibidores: inibidores formando um filme protector sobre o metal; inibidores de adsorção e inibidores em fase vapor.

#### 2.4.1.4 Controle com revestimentos

Revestimentos anti-corrosivos são películas aplicadas sobre as superfícies das peças (metálicas) com o objectivo de aumentar a sua resistência a corrosão atmosférica, aquosa e no solo. O seu principal mecanismo de protecção é por barreira, mas dependendo da sua natureza, poderá também proteger por inibição anódica ou por protecção catódica (GENTIL, 2007).

O revestimento deve apresentar uma boa resistência mecânica e não deve permitir que o meio circundante entre em contacto com a peça a ser protegida. A eficiência desses revestimentos protectores depende todavia do preparo da superfície receptora, uma superfície bem limpa, livre de ferrugem, graxa, sujidades e humidade é tida como o melhor substrato a um bom recobrimento protector (GENTIL, 2007).

Os revestimentos anti-corrosivos podem ser: **metálicos, não-metálicos orgânicos e não-metálicos inorgânicos.**

## Revestimentos Metálicos

Consistem na interposição de uma película metálica entre o meio corrosivo e o metal que se quer proteger. Os processos mais comuns são: cladização; reposição por imersão a quente; metalização; eletrodisposição; cementação-difusão.

- **Cladização:** É um método de revestimento para controle da corrosão muito usado na indústria química. Pode ser feito pela laminação conjunta, a quente, de chapas do metal base e do revestimento, pelo processo de explosão. A complexidade do equipamento é que vai ditar o método mais indicado. Na maioria dos casos faz-se revestimento somente no lado da chapa que fica em contacto com o meio corrosivo. A espessura da camada de revestimento é de 2 – 4 mm (GENTIL, 2007).
- **Imersão a quente:** É o revestimento metálico que se obtém por imersão do material metálico em um banho do metal fundido. É um processo muito usado para revestimento de aço com estanho, com cobre, com alumínio e com zinco. No caso de revestimento de aço-carbono, com alumínio tem-se aluminização. O aço aluminizado é obtido por imersão do aço em banho de alumínio puro fundido a 650 °C. No caso do zinco a operação de revestimento é chamada de galvanização ou zincagem por imersão a quente, obtendo-se então o aço galvanizado. A galvanização é um sistema com boa resistência a corrosão sendo essa a principal razão do seu emprego (GENTIL, 2007).
- **Metalização:** consiste na aplicação de um revestimento metálico ou não-metálico usando-se uma pistola de aspersão ou metalização. Basicamente uma pistola de metalização é dotada de chama oxi-acetilênica e é alimentada com fio ou pó do material metálico a ser usado como revestimento. A liga ou o metal é aquecida até a fusão e por meio de ar comprimido é projectada sob a forma de finíssimas partículas em um substrato adequadamente preparado como por exemplo por jateamento abrasivo. São também usadas pistolas em que o aquecimento não é feito por chama oxi-acetilênica, sendo usado um aquecimento por meio de arco elétrico ou voltaico. A metalização é muito usada para diversos fins como recuperação de peças gastas, aplicação de revestimentos duros, e também para

protecção contra corrosão. São usadas metalizações com zinco, alumínio, estanho, chumbo, cobre, cromo, níquel, latão, aço inoxidável, etc. Em alguns casos na protecção contra corrosão procura-se combinar a metalização com a pintura para aumentar a durabilidade do revestimento (GENTIL, 2007).

- **Eletrododposição:** É um processo comumente utilizado pois se consegue revestimento muito fino e relativamente livre de poros. É economicamente importante porque se consegue protecção adequada com uma camada bem fina evitando-se excesso do metal eletrodepositado, que pode ser caro. Utiliza-se a eletrododposição para revestimento com ouro, prata, cobre, estanho, níquel, cádmio, cromo e zinco (GENTIL, 2007).
- **Cementação-difusão:** O material metálico é posto no interior de tambores rotativos em contacto com mistura de pó metálico e um fluxo adequado. Esse conjunto é aquecido a altas temperaturas permitindo a difusão do metal no material metálico. Esse processo é utilizado por exemplo para revestimentos com alumínio, o processo é chamado calorização, consistindo em colocar o material em presença de mistura de pó de alumínio, óxido de alumínio e pequena quantidade de cloreto de amônio como fluxo (GENTIL, 2007).

### **Revestimentos não-metálicos orgânicos**

Este tipo de revestimento não-metálico consiste na interposição de uma camada de natureza orgânica entre a superfície metálica e o meio corrosivo (GENTIL, 2007). Os principais revestimentos orgânicos são os seguintes:

- **Tintas: Sistemas de Pintura**

Dentre as técnicas de protecção anticorrosiva existentes, a aplicação de revestimentos por pintura é sem dúvida alguma uma das mais utilizadas e difundidas, principalmente na protecção do aço. Isto não quer dizer que ela seja a melhor ou a mais eficiente. O que se procura fazer na prática é seleccionar a técnica mais adequada de protecção, em função das condições de exposição e de trabalho dos equipamentos e das estruturas em geral. Como técnica de protecção anticorrosiva, a pintura possui uma série de características importantes, tais como facilidade de aplicação e de manutenção, relação custo/benefício

atraente (FRAGATA, 2016).

Quando se vai proteger uma estrutura ou um equipamento, por meio de revestimentos por pintura, na realidade o que se vai fazer é a aplicação de um esquema de pintura sobre a superfície a ser protegida. Para fins de protecção anticorrosiva de estruturas metálicas ou de equipamentos, um esquema de pintura é composto, na maioria dos casos por três tipos de tinta: tinta de fundo ou primária (“primer”), tinta intermediária e tinta de acabamento (FRAGATA, 2016).

- **Tintas de fundo ou primárias (“primers”):** são aquelas que são aplicadas directamente ao substrato. Portanto, estão em contacto directo com o mesmo e possuem as seguintes características: são as que contêm na composição os pigmentos ditos anticorrosivos, pois estes para exercerem o seu mecanismo de protecção química ou electroquímica necessitam de estar em contacto directo com o substrato.
- **Tintas intermediárias:** são tintas normalmente utilizadas nos esquemas de pintura com a função de aumentar a espessura do revestimento, com um menor número de demãos, com o objectivo de melhorar as características de protecção por barreira do mesmo. Para tal, estas tintas são formuladas com alto teor de sólidos a fim de poderem proporcionar altas espessuras por demão.
- **Tintas de acabamento:** são as tintas que têm a função de conferir a resistência química ao revestimento, pois são elas que estão em contacto directo com o meio corrosivo. Além disso, são as tintas que conferem a cor final aos revestimentos por pintura.

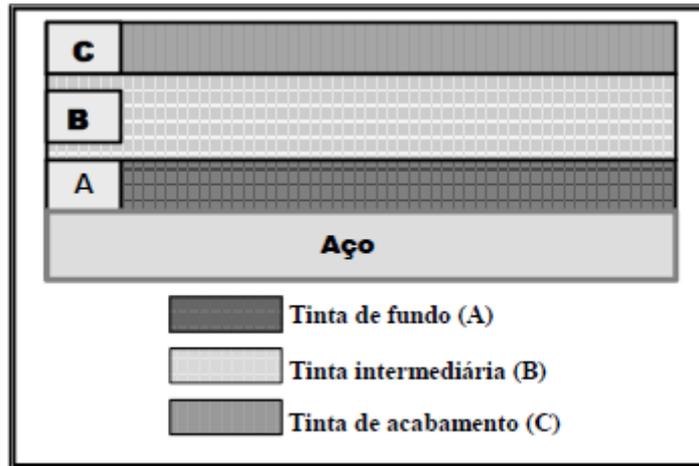


Figura 24: Representação esquemática das tintas que compõem um esquema de pintura.

Fonte: Fragata (2016)

### Constituintes das tintas

Os materiais básicos de uma pintura ou de um esquema de pintura são as tintas. Logo, é de extrema importância para qualquer profissional que actue no campo da protecção anticorrosiva conhecer os constituintes básicos das tintas e a função de cada um deles dentro da composição das mesmas (FRAGATA, 2016).

### Os constituintes básicos das tintas são os seguintes:

- i. **Veículo fixo ou veículo não volátil:** é o constituinte ligante ou aglomerante das partículas de pigmento e o responsável pela continuidade e formação da película de tinta. É nele que está presente as resinas da tinta. Logo, a maioria das propriedades físico-químicas das tintas é função dos tipos de resinas presentes em suas respectivas composições. As resinas utilizadas na fabricação de tintas são em sua maioria, de natureza orgânica (FRAGATA, 2016).
- ii. **Solventes ou veículos voláteis:** são substâncias puras utilizadas tanto para auxiliar na fabricação das tintas, na solubilização de resinas e no controle de viscosidade, como na aplicação das mesmas. Apesar de serem substâncias voláteis, o balanço correcto dos solventes dentro da composição de uma tinta é um factor extremamente importante para se obter películas de boa qualidade e com as propriedades físico-químicas desejadas (FRAGATA, 2016).
- iii. **Aditivos:** são substâncias empregadas em pequenas concentrações nas formulações das

tintas com o objetivo de conferir às mesmas, ou às películas, determinadas propriedades específicas. O número de aditivos dentro de uma indústria de tintas é muito grande. Existem aditivos necessários às etapas de fabricação, de estocagem e de aplicação das tintas, bem como para melhorar a resistência da película às condições reais de serviço (FRAGATA, 2016). Dentre os aditivos mais comuns, empregados na fabricação de tintas, pode-se citar:

**Secantes:** têm a finalidade de melhorar a secatividade das películas, ou seja, reduzir o tempo de secagem. São empregados, basicamente, nas tintas alquídicas e óleo-resinosas em geral, em que o mecanismo de formação da película ocorre através da reacção química com oxigênio (O<sub>2</sub>) do ar. Os secantes mais empregues são os naftenatos octoatos de cobalto, chumbo, manganês, cálcio e zinco;

- **Anti-sedimentantes:** reduzem a tendência de sedimentação dos pigmentos, impedindo que se forme um sedimento duro e compacto no fundo do recipiente durante o período de estocagem da tinta;
- **Umectantes:** melhoram as características de dispersão e moagem dos pigmentos;
- **Nivelantes:** conferem às tintas melhores propriedades de aplicação, fazendo com que as películas possuam melhor nivelamento;
- **Antifungos:** são empregados, em geral, nas tintas de base aquosa, para prevenir a deterioração das mesmas por fungos e/ou bactérias.

**Pigmentos:** são partículas sólidas finamente divididas, insolúveis no veículo fixo, e são utilizados para se obter uma série de propriedades, como por exemplo: anticorrosivas, estéticas/decorativas, impermeabilizantes, etc. (FRAGATA, 2016) de uma forma simples, os pigmentos podem ser classificados em três importantes grupos a saber:

- **Anticorrosivos:** são aqueles que conferem protecção anticorrosiva ao aço por mecanismos químicos ou eletroquímicos, como por exemplo o zinco metálico em pó (Zn), o zarcão (Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), os cromatos e os fosfatos de zinco e os metaboratos de bário;
- **Opacificantes:** como o próprio nome indica, são os pigmentos que conferem cor e

opacidade às tintas. Não se deve confundir pigmentos opacificantes com anilinas ou corantes. Estes últimos, apesar de fisicamente sólidos em seu estado normal, são solúveis no veículo da tinta. Eles conferem cor mas não conferem opacidade. Uma tinta que contenha baixo teor de pigmento opacificante em sua composição, certamente não terá bom poder de cobertura. Neste caso, além do pintor ter dificuldades na aplicação para cobrir a superfície que está sendo pintada, haverá um consumo maior de tinta para se obter a opacidade desejada.

- **Cargas ou extensores:** não conferem cor e nem opacidade às tintas bem como não interferem na cor final da película. Podem ser utilizadas por várias razões, como por exemplo para reduzir o custo final do produto, para melhorar certas propriedades da película, como resistência à abrasão, pela incorporação de cargas de alta dureza, para fosquear uma tinta e para aumentar o teor de sólidos, no caso de tintas de alta espessura. Portanto, são pigmentos que podem ser utilizados por razões técnicas ou econômicas.

### **Mecanismos de protecção anticorrosiva dos revestimentos por pintura**

Entende-se por mecanismo de protecção anticorrosiva de um esquema de pintura a forma pela qual ele é capaz de proteger o aço contra a corrosão. O mecanismo da protecção anticorrosiva, conferida por um esquema de pintura ao aço (substrato de referência), depende essencialmente do tipo de pigmento presente na tinta de fundo ou “primer” e, em alguns casos, também do tipo de resina da mesma. Assim sendo, existem basicamente três mecanismos de protecção: barreira, passivação ou inibição anódica e protecção catódica (FRAGATA, 2016).

#### **Protecção por barreira**

Neste tipo de mecanismo, o esquema de pintura atua no sentido apenas de isolar o substrato do meio corrosivo, ou seja, evitando o contacto dos agentes causadores da corrosão com a superfície do substrato. As tintas de fundo, dos esquemas de pintura que apresentam este mecanismo, não contêm a presença de pigmentos considerados anticorrosivos. Logo, a eficiência de um esquema de pintura de protecção por barreira é função da:

- Resistência das tintas ao meio corrosivo e das características técnicas das mesmas;
- Espessura do revestimento e

- Impermeabilidade do revestimento aos agentes causadores da corrosão ( $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_2$ ,  $SO_3$ , etc). Quanto mais impermeável o revestimento melhor a proteção por barreira

### **Proteção por passivação ou inibição anódica**

Neste tipo de mecanismo, as tintas de fundo dos esquemas de pintura contêm pigmentos com características básicas ou com uma determinada solubilidade capazes de na presença de água e oxigênio, gerarem substâncias inibidoras de corrosão. Nestas condições ocorre a formação de uma camada passiva sobre a superfície do metal, impedindo assim a sua passagem para a forma iônica, isto é, que sofra corrosão (FRAGATA, 2016). Dentre os pigmentos mais comuns pode-se destacar:

- **Zarcão ( $Pb_3O_4$ ):** trata-se de um pigmento com características básicas. Em tintas que contenham óleos vegetais, em especial o óleo de linhaça, este pigmento reage com os ácidos graxos, presentes na composição dos mesmos, o que conduz a formação de sabões metálicos de chumbo. Na presença de água e oxigênio, estes sabões sofrem cisão e liberam produtos inibidores de corrosão. Se o veículo fixo contiver o óleo de linhaça, os produtos liberados com melhores propriedades inibidoras são o azelato e o pelargonato de chumbo.
- **Cromato de zinco ( $4ZnO.4CrO_3.K_2O.3H_2O$ ):** a passivação conferida por este pigmento é atribuída à sua solubilidade limitada em água, na qual ocorre a liberação do íon cromato que é um excelente inibidor anódico. Embora sendo um pigmento anticorrosivo bastante eficiente, não é recomendável utilizar esquemas de pintura com tintas de fundo pigmentadas com cromato de zinco para proteção de estruturas metálicas expostas em condições de alta humidade relativa ou imersas em água.
- **Fosfato de zinco ( $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ ):** trata-se de um pigmento atóxico e comparado aos anteriores, é relativamente novo no campo das tintas anticorrosivas. Na realidade, o seu desenvolvimento e introdução na indústria de tintas surgiu da necessidade de se substituir o cromato de zinco e o zarcão. O seu mecanismo de passivação ou inibição ainda não está bem definido. O conceito mais aceite estabelece que em atmosferas

industriais, nas quais o eletrólito possui características ácidas, o fosfato de zinco torna-se mais solúvel. A hidrólise do fosfato de zinco pode gerar a formação de ácido fosfórico, o qual reage com a superfície do aço e forma uma camada de fosfato de ferro.

### **Protecção Catódica**

Apresentam este mecanismo de protecção anticorrosiva as tintas contendo pigmentos metálicos, anódicos em relação ao ferro, em teores bastante elevados na película seca, a fim de permitir um bom contacto eléctrico entre as partículas do pigmento e o substrato de aço. Na indústria de tintas, o zinco metálico em pó é o único pigmento capaz de proporcionar às tintas este mecanismo de protecção anticorrosiva. Tais tintas são conhecidas como “tintas ricas em zinco” (TRZ).

O termo “ricas em zinco” deve-se ao facto destas tintas possuírem elevados teores de zinco metálico na película seca, o que possibilita a obtenção de uma boa continuidade eléctrica entre as partículas de zinco e o substrato (aço), bem como proporciona a protecção desejada, pois quanto maior o teor de zinco melhor a protecção anticorrosiva. O teor de zinco metálico na película seca, em função do tipo de resina da tinta, pode variar de 75% a 90%.

Uma tinta rica em zinco (TRZ) pode proteger o aço pelo princípio básico da protecção catódica, bastando para isso que haja condições para o estabelecimento da pilha galvânica, ou seja, a presença de: ânodo, cátodo, contacto eléctrico, e eletrólito. No caso do aço pintado com uma tinta rica em zinco tem-se o ânodo (Zn do pigmento), o cátodo (Fe do substrato) e contacto eléctrico, uma vez que a tinta está em contacto directo com o substrato. Assim, no caso da presença de um eletrólito, a TRZ protegerá o aço pelo mecanismo de protecção catódica (FRAGATA, 2016).

### **Revestimentos não-metálicos inorgânicos.**

Os revestimentos não-metálicos inorgânicos são aqueles constituídos de compostos inorgânicos que são depositados diretamente na superfície metálica ou formados sobre essa superfície. Entre os revestimentos inorgânicos depositados sobre as superfícies metálicas e mais usados em protecção contra corrosão podem ser citados: esmaltes vitrosos, vidros, porcelanas, cimentos, óxidos, carbetos, nitretos, boretos e silicetos.

Os revestimentos formados directamente na superfície metálica são obtidos por reacções químicas entre o material dessa superfície e o meio adequado. Uma vez formados, os produtos resultantes dessas reacções protegem o material metálico contra posterior acção corrosiva.

Entre os processos usados para a obtenção de revestimentos inorgânicos obtidos por reacção entre o substrato e o meio estão a anodização, cromatização e fosfatização (GENTIL, 2007).

### **Anodização**

A anodização envolve a oxidação electrolítica de uma superfície para produzir uma incrustação de óxido fortemente aderente que é mais espessa do que a naturalmente filme ocorrido. A anodização é um processo electroquímico durante qual alumínio é o ânodo. A corrente eléctrica que passa por um o eletrólito converte a superfície do metal em um óxido de alumínio durável. A diferença entre galvanização e anodização é que o revestimento de óxido é parte integrante do substrato metálico em vez de ser um metal deposição de revestimento. A superfície oxidada é dura e resistente à abrasão, e fornece algum grau de resistência à corrosão. No entanto, não se pode confiar na anodização para fornecer resistência à corrosão a ligas propensas à corrosão, e protecção adicional por pintura é normalmente necessário. Felizmente, o revestimento anódico proporciona uma excelente superfície tanto para pintura como para colagem. Revestimentos anódicos quebram quimicamente em soluções altamente alcalinas (pH 8,5) e soluções altamente ácidas (pH 4,0). Eles também são relativamente frágeis e podem rachar, portanto protecção suplementar, como pintura, é particularmente importante com ligas propensas à corrosão sob tensão (PIERRE, 2000).

### **Cromatização**

Cromatização é um processo em que o revestimento obtido é produzido em soluções contendo cromatos ou ácido crômico. Esse revestimento pode ser feito sobre o metal ou sobre camadas de óxidos ou fosfatos. No primeiro caso o objectivo é aumentar a resistência a corrosão como no aço galvanizado, para evitar a corrosão ou oxidação branca ou melhorar a derencia de tintas sobre materiais metálicos

Usam-se ativadores (como sulfatos, nitratos, cloretos,...) para acelerar a corrosão do metal base e a formação de H<sub>2</sub> que são as reacções iniciadoras do processo de cromatização.

Os revestimentos de cromatos actuam como barreira entre o metal base e o meio. O conceito mais aceite é que eles inibem as reacções catódicas.

A cromatização pode ser feita em meio básico ou ácido, geralmente em temperaturas ambientes, não necessitando de aquecimento. O tempo de tratamento varia de segundos a alguns minutos e o revestimento pode ser aplicado por imersão ou por jateamento (spray). Depois da cromatização o material deve ser cuidadosamente lavado e seco (GENTIL, 2007).

### **Fosfatização**

Fosfatização é um processo em metalurgia de protecção superficial de metais, que consiste em se recobrir peças metálicas com fosfatos de zinco, ferro e manganês. Devido a pouca solubilidade dos fosfatos, estes elementos químicos depositam-se na superfície metálica na qual pretende-se a protecção na forma de fina camada de cristais sob determinadas condições.

Servem como um revestimento de conversão no qual uma solução diluída de ácido fosfórico, a qual pode ser aplicada via spray ou imersão, quimicamente reage com a superfície da parte sendo revestida para formar uma camada de fosfatos cristalinos insolúveis. A forma do revestimento e a velocidade de sua formação, dependem dos fosfatos em questão e dos processos e condições durante sua formação. Estas películas de fosfato possuem as seguintes propriedades principais: alto poder isolante químico e eléctrico, baixa porosidade, as quais em conjunto atuarão para impedir a transmissão de correntes eléctricas galvânicas, grande aderência à superfície metálica, boa adesividade a lubrificantes assim como a tintas e vernizes; baixo custo de aplicação, são usadas sobre peças de aço carbono, aço galvanizado e alumínio para aumentar a resistência à corrosão (DUFOUR, 2006).

## **CAPÍTULO III- CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO**

### **3.1 TÉCNICAS USADAS PELA EDM PARA O COMBATE A CORROSÃO**

A empresa EDM (Eletricidade de Moçambique) adquire os armários dos Postos de Transformação (PTs) de uma fornecedora chamada TECNEL. Uma das exigências da empresa é que o material seja resistente à corrosão. O controle da corrosão começa desde a fase inicial do projecto, quando a empresa opta por usar aço galvanizado como material para a fabricação dos armários.

Após a fabricação dos armários e antes da instalação nos passeios públicos, a EDM toma algumas medidas preventivas para evitar problemas relacionados à corrosão. Uma das acções implementadas é a construção de uma base de cimento ou concreto reforçado, como ilustra a figura 25, de forma a elevar os armários, evitando assim o contacto directo com o chão. Esse procedimento é essencial em áreas propensas a alagamentos, como algumas regiões da cidade de Maputo, onde os passeios frequentemente ficam submersos devido as chuvas, agravando o risco de corrosão.

Outra medida importante utilizada pela EDM é a instalação de PTs aéreos, como ilustra a figura 26, em áreas onde não é viável a instalação de armários tradicionais nos passeios. Nos bairros periféricos, onde há falta de drenagem adequada, os PTs são colocados em estruturas elevadas para minimizar o contacto com o solo e, conseqüentemente, o risco de corrosão.

Além disso, a EDM realiza inspecções periódicas nos PTs já instalados, focando na manutenção preventiva e correctiva. As manutenções incluem a verificação do estado das estruturas metálicas, a observação de sinais visuais de corrosão, e a substituição de componentes danificados. O processo de manutenção também envolve a análise físico-química do óleo transformador de potência, verificando o grau de degradação do equipamento.

Essas inspecções são realizadas pelo menos uma vez ao ano, mas dando uma volta pela cidade de Maputo é possível encontrar varios PTs que apresentam ataque corrosivo, gerando assim riscos potenciais à segurança das pessoas, o que pode causar avarias nos equipamentos que pode provocar a interrupção do fornecimento da energia eléctrica e deixa os passeios da cidade de Maputo com um mau aspecto, por isso é importante resolver esse problema.



*Figura 25: PT sobre uma base de betão.*

*Fonte: Acervo da autora, foto tirada num dos bairros da cidade de Maputo*



*Figura 26: Exemplo de um PT aéreo instalado num dos bairros da cidade de Maputo.*

*Fote: Acervo da autora, foto tirada durante a visita à empresa EDM.*

## **CAPÍTULO IV – METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA**

### **4.1 Tipo de Pesquisa**

Para obter os resultados e respostas acerca da problematização apresentada no presente trabalho, foi utilizado o método de pesquisa descritiva.

A pesquisa descritiva descreve as características de determinadas populações ou fenômenos. Uma de suas peculiaridades está na utilização de técnicas padronizadas de colecta de dados, tais como o questionário e a observação sistemática (GIL, 2008).

Esse tipo de pesquisa busca descrever um fenômeno ou situação em detalhe, especialmente o que está ocorrendo permitindo abranger, com exatidão, as características de uma situação (SELLTIZ et al. 1965).

Para analisar a corrosão nos PTs da EDM na cidade de Maputo foi necessário fazer uma visita as instalações da EDM localizada na Av. das FPLM para obter toda informação relacionada aos PTs, sua instalação, manutenção e poder avaliar os PTs através de uma visita guiada em alguns bairros da cidade de Maputo, e assim poder identificar o que provoca a corrosão e escolher as técnicas adequadas para evitar o ataque corrosivo nos PTs.

### **4.2 Classificação quanto a natureza da pesquisa**

O presente trabalho quanto a natureza da pesquisa classifica-se como qualitativa. A abordagem de cunho qualitativo trabalha os dados buscando seu significado, tendo como base a percepção do fenômeno dentro do seu contexto. O uso da descrição qualitativa procura captar não só a aparência do fenômeno como também suas essências, procurando explicar sua origem, relações e mudanças e tentando intuir as consequências (TRIVINOS, 1987).

O conceito de pesquisa qualitativa envolve cinco características básicas que configuram este tipo de estudo: ambiente natural, dados descritivos, preocupação com o processo, preocupação com o significado e processo de análise indutivo (Bogdan & Biklen, 2003).

### **4.3 Fontes de pesquisa**

As fontes de pesquisa utilizadas para elaborar o presente trabalho foram fontes de pesquisa secundárias como livros, trabalhos acadêmicos, artigos, apontamentos e afins, que foram seleccionados para ajudar a encontrar a melhor solução para o problema em causa.

### **4.4 Aplicação do método de pesquisa**

A visita a empresa EDM realizou-se no dia 13 de Agosto de 2024 na Av. Das FPLM onde foi feita a entrevista a um dos gestores do departamento da empresa que deu todas as informações realacionadas aos PTs e acompanhou o processo de avaliação dos PTs dando explicação sobre como ocorre o processo de instalação e manutenção dos mesmos.

## **CAPÍTULO V: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### **5.1 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Depois de efetuar-se a visita a empresa EDM para a recolha de toda informação relacionada aos PTs e feita a análise/avaliação dos PTs constatou-se que a maior parte dos PTs instalados na cidade de Maputo sofre ataque corrosivo. O tempo de vida estimado dos PTs é de 10 anos mas devido ao ataque corrosivo não chegam a atingir o tempo de vida esperado. Foi necessário primeiro identificar o que provoca a corrosão nos PTs, durante a inspeção verificou-se que a humidade é a causa da corrosão nos PTs, sendo assim a sua classificação em função do meio corrosivo trata-se de corrosão atmosférica.

Quanto ao tipo trata-se de corrosão electroquímica, os processos de corrosão electroquímica são os mais frequentes na natureza e realizam-se necessariamente na presença de líquidos (água, solução aquosa...), em temperaturas abaixo do ponto de orvalho, sendo a grande maioria na temperatura ambiente, a classificação da corrosão em função do mecanismo electroquímico é corrosão galvânica.

Para instalar os PTs nos passeios da cidade de Maputo a empresa faz uma cama/base feita de betão para assentar o PT, mas dando uma volta pela cidade de Maputo em alguns passeios ainda é possível encontrar PTs instalados no chão dos passeios o que pode acelerar o ataque corrosivo, uma vez que a cidade de Maputo tem sérios problemas de drenagem e nos dias de chuva os passeios ficam inundados e a água fica estagnada por vários dias. As camas de betão também podem em algum momento contribuir para que ocorra o ataque corrosivo nos PTs devido ao seu formato que não permite que a água escorra. Foi possível observar bastante lixo nos PTs e presença de urina, o que também contribui para o ataque corrosivo.

Os armários dos PTs tipo mono-bloco são fabricados com aço galvanizado, o aço é revestido com zinco porque esse metal protector não enferruja tão facilmente. E depois os PTs são pintados com uma tinta de óleo com a cor que identifica a empresa EDM, a empresa também optou por fazer a manutenção preventiva dos PTs como uma forma de protecção contra a corrosão

Apesar do sistema de protecção anti-corrosiva os PTs continuam a sofrer ataques corrosivos o que prova que o sistema de protecção da empresa está a falhar em alguns aspectos e deve ser melhorado.



*Figura 27: PT com ataque corrosivo.*

*Fonte: Acervo da autora, foto tirada num dos bairros da cidade de Maputo*

## **5.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Com os resultados obtidos verificou-se que o sistema de protecção anti-corrosiva da empresa em alguns aspectos está a falhar, o que faz com que a maioria dos PTs instalados na cidade de Maputo sofra ataque corrosivo.

A humidade é a causa da corrosão nos PTs, nos dias de chuva a cama de betão que a EDM faz para assentar os PTs retém a água devido ao seu formato que não permite que a água escorra e quando entra em contacto com o PT mais o ar atmosférico ocorre uma pilha de aeração (oxigenação) diferencial, esta pilha é formada por concentrações diferentes de oxigênio.

A corrosão atmosférica também ocorre através da condensação da humidade na superfície do metal.

Nos PTs que foram instalados directamente no chão dos passeios a corrosão ocorre devido ao contacto entre o PT e a água das chuvas que fica estagnada nos passeios mais o ar atmosférico e a presença de poluentes sólidos. O ar contém humidade, sais em suspensão, gases industriais, poeira, etc. O eletrólito constitui-se da água que condensa na superfície metálica, na presença de sais ou gases presentes no ambiente. Outros constituintes como poeira e poluentes diversos como o lixo, urina, podem acelerar o processo corrosivo.

A EDM optou por fazer as camas de betão para assentar os PTs e assim evitar com que estes fiquem em contacto com a água das chuvas que fica estagnada nos passeios por dias mas a empresa não implementou esta medida de protecção em todos os PTs, na cidade de Maputo ainda é possível encontrar PTs instalados directamente no chão nos passeios.

A classificação da corrosão que os PTs sofrem quanto ao tipo trata-se de corrosão electroquímica, O processo de corrosão electroquímica é devido ao fluxo de elétrons, que se desloca de uma área da superfície metálica para a outra. Esse movimento de elétrons é devido a diferença de potencial, de natureza electroquímica, que se estabelece entre as regiões.

As reacções que ocorrem na corrosão electroquímica envolvem transferência de electrões. Portanto são reacções anódicas e catódicas (reacções de oxidação e redução), os PTs são feitos de aço galvanizado e no aço galvanizado encontramos dois tipos de metais o aço e o zinco, quando o zinco e o aço estão em contacto na presença de um eletrólito, uma corrente passará do zinco para o aço, havendo fissura no revestimento. O revestimento de zinco funciona como uma barreira que protege o aço.

A corrosão electroquímica envolve a presença dum solução que permite o movimento de iões. Os principais mecanismos são: corrosão em água ou em soluções aquosas; corrosão atmosférica; corrosão em solos; corrosão em sais fundidos.

Feita a análise da corrosão nos PTs, a classificação em função do mecanismo electroquímico é corrosão galvânica. A corrosão galvânica é a corrosão que acontece quando dois metais distintos com potenciais distintos são colocados em contacto eléctrico em um eletrólito, neste caso o material que os PTs são fabricados é um material galvanizado que é o aço com revestimento de zinco. A diferença que existe no potencial eléctrico entre os metais distintos serve como força propulsora para que a corrente eléctrica circule pelo eletrólito. O eletrólito é quase sempre um meio aquoso que conduz electricidade. Pode ser qualquer tipo de humidade que esteja em contacto com os dois metais, incluindo condensados, orvalhos, chuvas, massas

de água (enchentes, etc.), resíduos húmidos em contacto com os dois metais, humidade no solo, etc.

*Tabela 1: Série galvânica, fonte Gentil (2007)*

<b>Material</b>	<b>Volt*</b>
Magnésio comercialmente puro	-1,75
Liga de magnésio (6% Al. 3% Zn 0,15% Mn)	-1,60
Zinco	-1,10
Liga de alumínio (5% Zn)	-1,05
Alumínio comercialmente puro	-0,80
Aço (limpo)	-0,50 a -0,80
Aço enferrujado	-0,20 a -0,50
Ferro fundido (não-grafitizado)	-0,50
Chumbo	-0,50
Aço em concreto	-0,20
Cobre, bronze, latão	-0,20
Ferro fundido com alto teor de silício	-0,20
Aço com carepa de laminação	-0,20
Carbono, grafite, coque	+0,30

Uma outra forma de protecção contra corrosão que a empresa adoptou é a manutenção preventiva dos PTs. A manutenção preventiva consiste em inspecção visual de todos os equipamentos, materiais e outros componentes do PT, limpeza geral, verificação de todos os apertos, designadamente: das ligações eléctricas, ensaios de isolamento e de rigidez dieléctrica dos quadros BT e MT, mas durante a avaliação dos PTs foi possível observar bastante lixo nos PTs o que demonstra que a limpeza durante a manutenção esta mais focada nos equipantos internos do PT e não em toda a instalação.

Uma vez que a sujidade, o acúmulo de poeira são factores que podem acelerar o ataque corrosivo a limpeza dos PTs é muito importante, bem como a inspecção visual do PT que consiste em detectar quaisquer danos visíveis que o equipamento eventualmente terá sofrido como é o caso da corrosão, quanto mais cedo for dectetada mais fácil será o seu controle permitindo uma melhor avaliação dos danos e das medidas correctivas a aplicar.

## 5.3 PROPOSTA DE SISTEMA ANTICORROSIVO E PLANO DE MANUTENÇÃO

### 5.3.1 ANÁLISE DAS FALHAS IDENTIFICADAS NO SISTEMA DE PROTECÇÃO

A investigação revelou que a principal falha no sistema anticorrosivo da EDM está relacionada à humidade e à água acumulada ao redor dos PTs, principalmente devido a factores como:

- **Camas de betão mal projectadas**, que não permitem a drenagem adequada da água das chuvas, formando uma pilha de aeração diferencial e acelerando o processo corrosivo.
- **Instalação directa no chão** de alguns PTs, que favorece o contacto constante com água, ar atmosférico e poluentes sólidos presentes no ambiente, intensificando o processo de corrosão.
- **Corrosão Galvânica**, identificada como o principal mecanismo corrosivo, dado o uso de aço galvanizado nos PTs. A presença de um eletrólito, como a humidade do ar ou água condensada, facilita a transferência de elétrons entre o zinco e o aço, acelerando o desgaste.

### 5.3.2 PROPOSTA DE NOVO SISTEMA DE PROTECÇÃO ANTICORROSIVA:

Para mitigar os problemas identificados, sugere-se a implementação de um sistema mais robusto de protecção anticorrosiva:

- **Redesenho das camas de betão** com uma inclinação adequada para permitir a drenagem eficiente da água da chuva, evitando seu acúmulo ao redor dos PTs.
- **Aplicação de revestimentos protectores de alta durabilidade**, como pinturas anticorrosivas ou revestimentos em resina epóxi, nos PTs, incluindo a base e a parte inferior, para evitar a exposição prolongada à humidade.
- **Instalação de barreiras de protecção contra humidade** em todos os PTs que ainda estão directamente em contacto com o chão, criando uma camada de isolamento entre o equipamento e o ambiente externo.
- **Monitoramento do desgaste do revestimento de zinco** nos PTs, implementando uma camada extra de protecção caso a corrosão comece a aparecer.

### 5.3.3 PROPOSTA DE PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA:

A manutenção preventiva deve ser ajustada para garantir uma protecção mais efectiva contra a corrosão:

- **Limpeza abrangente** de toda a instalação do PT, incluindo as áreas externas, para remover lixo, poeira, poluentes sólidos e resíduos que possam acelerar a corrosão.
- **Inspeções visuais detalhadas** focadas na detecção precoce de sinais de corrosão, fissuras no revestimento e acúmulo de humidade ao redor das camas de betão.
- **Ensaio periódico de rigidez dielétrica e verificação das ligações eléctricas** para garantir que não há falhas no isolamento, que podem levar à degradação acelerada do material.
- **Revisão do ciclo de manutenção**, com intervenções a cada seis meses em locais com maior exposição à corrosão e humidade, priorizando os PTs instalados em áreas com maior acúmulo de água.
- **Aplicação de tratamentos anticorrosivos** durante cada inspeção, reforçando a protecção do aço galvanizado com um novo revestimento de zinco.

Com as falhas do sistema actual de protecção contra corrosão devidamente analisadas, a implementação das propostas de melhorias visa prolongar a vida útil dos PTs e garantir maior eficiência na protecção contra a corrosão. O novo plano de manutenção, aliado a um sistema anticorrosivo mais eficiente, será fundamental para reduzir os custos com substituição de PTs e minimizar riscos de falhas operacionais causadas pela corrosão.

### 5.3.4 PROPOSTA DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS PARA PROTECÇÃO ANTICORROSIVA.

como referido antes, os principais meios de corrosão são: corrosão em água ou em soluções aquosas; corrosão atmosférica; corrosão em solos. Constata-se que maior parte das vezes as chapas e estruturas das estações de transformação de corrente eléctrica da EDM, tem se encontrado em situações de risco, tais como:

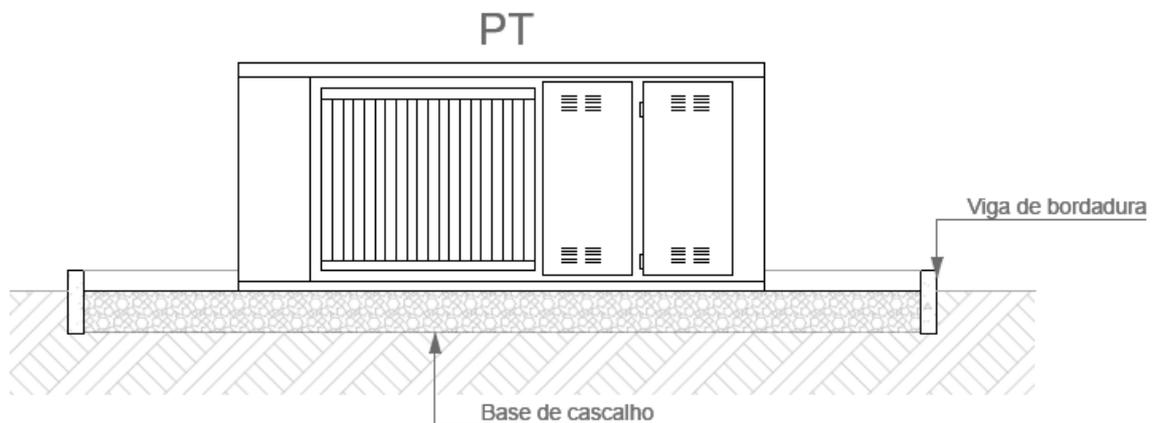
- Contacto directo destas estruturas com o chão;

- Exposição total ao contacto com as águas pluviais devido a falta de meios de gestão e dissipação de águas pluviais;
- Exposição a vandalismos, urina e deposição de objectos variados, por acção humana.

Portanto, propõem-se a seguir medidas para minimizar significativamente a exposição das estruturas envolventes dos PT's a estes perigos que se associam ao elevado risco de corrosão:

- Para reduzir o **contacto directo da estrutura do PT com o chão** propõe-se a utilização de bases de suporte que possam barrar este contacto e sobre os quais estarão assentes os PTs. Estas estruturas para além de apenas barrar o contacto com o chão também devem ter a capacidade de suportar e distribuir seguramente as cargas sobre si impostas ao solo. Três alternativas distintas são apresentadas para os suportes de barramento com o chão: **base de cascalho, 4 bases isoladas de betão e cama de betão ou radier.**

- a) **Base de cascalho:** consiste em construir uma camada de cascalho/brita sobre o chão, sobre o qual estará assente o PT, evitando o contacto directo destes dois elementos. Deve levar viga de bordadura/lancil para evitar que o solo a volta possa entrar e se misturar com o cascalho. Tem a vantagem de possuir menos custos relativamente ao betão e de permitir uma rápida dissipação de águas pluviais interceptadas, devido a sua alta permeabilidade.

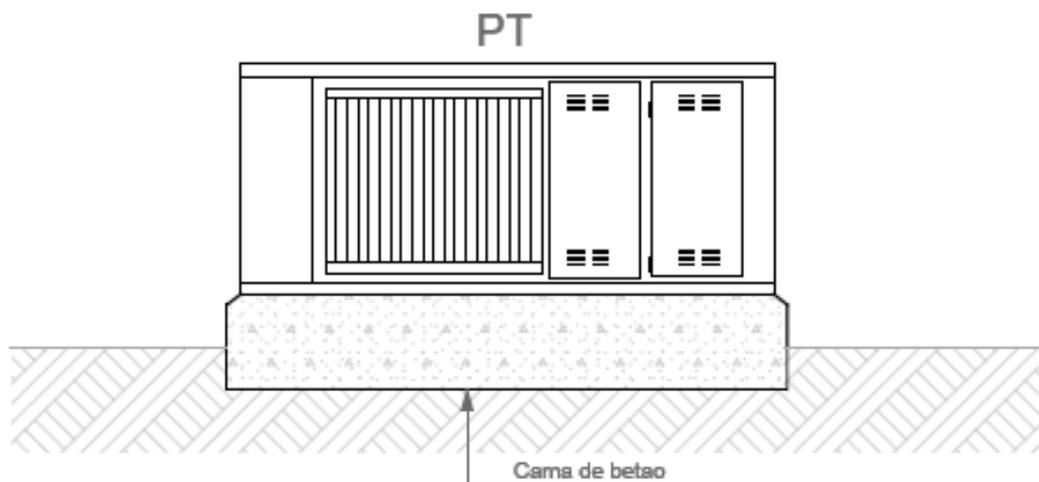


*Figura 28. Solução de base de cascalho (adaptado)*

- b) **Colchão de betão/radier:** esta solução consiste em construir acima do solo natural compactado, uma laje de betão que envolva todo o perímetro do PT. Esta laje absorve as cargas das instalações do PT e as distribui para o solo e cria uma sobrelevação que

impede o contacto das chapas com o solo. A designação de radier é dada por ter um funcionamento similar a de um tipo de fundação rasa comum na construção civil, que segundo (BARROS, 2011) consiste numa laje continua que envolve todos elementos da edificação.

Para garantir dissipação imediata de águas pluviais e evitar concentração de partículas nas arestas de contacto das chapas com a cama, estas irão contar com um boleado ou chanfradura nas arestas superiores. Esta é a solução mais eficiente para fundação da estrutura e barramento com o solo, porém é mais dispendiosa por demandar grandes volumes de betão que é um material extremamente caro (custo de cimento e britas).



*Figura 29. Solução de cama de betão ou radier. (adaptado)*

- c) **Bases isoladas de betão:** os bases de betão isoladas são elementos que funcionam num modo semelhante as sapatas isoladas, em que a carga total da estrutura é dividida pelos elementos da fundação e estes funcionam isoladamente (BARROS, 2011). Esta solução apresenta uma vantagem quanto ao custo em relação a laje de betão por não demandar o preenchimento de toda área no perímetro do PT com betão.

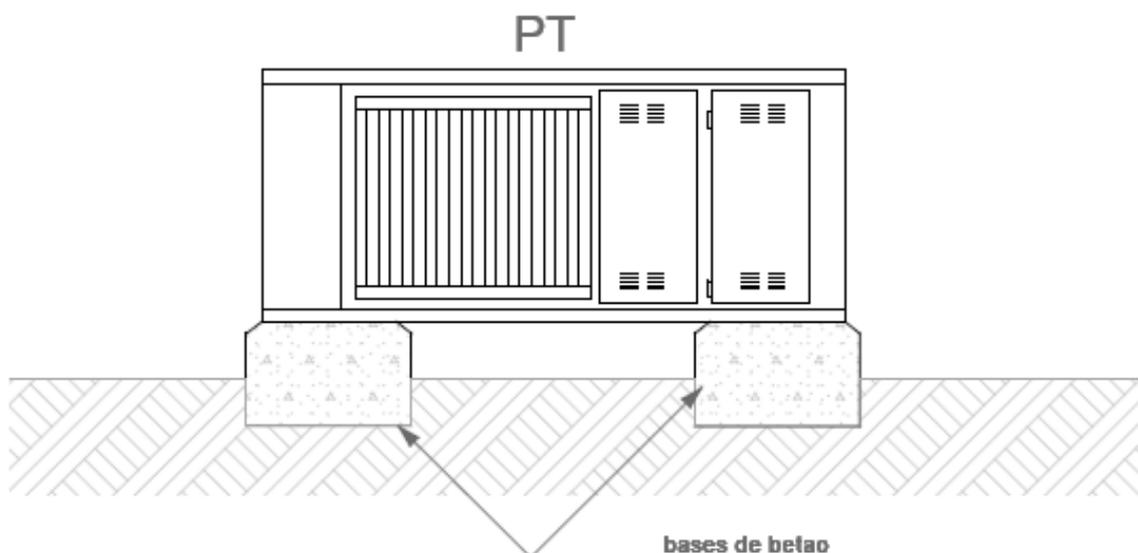


Figura 30. Solução de bases isoladas de betão(adaptado).

Dentre as três opções apresentadas a mais atraente é de bases isoladas de betão pois oferece maior segurança como fundação a um custo relativamente menor, garante uma sobrelevação em relação ao solo, evitando contacto com o mesmo e são facilmente executáveis.

As zonas das bases poderão estar susceptíveis a erosão, portanto, para fazer face a este risco apresentam -se como soluções a aplicação de uma camada fina de cascalho por cima do solo e uso de vegetação (relvas) que é a mais económica.

- Para o problema **do escoamento de águas pluviais** propõem-se a montagem de caleiras e tubos de queda nos bordos das águas da cobertura. Esta solução poderá permitir a recolha e condução das águas caídas até ao solo minimizando o contacto com as outras partes da estrutura do PT além da cobertura;
- Por fim, para fazer face **a riscos de vandalismo, urina e deposição de objectos variados por accção humana**, recomenda-se a aplicação de vedações com recurso a redes metálicas, com uma entrada de acesso restrito para técnicos e profissionais sempre que se justificar a sua entrada.

Como resultado, resulta uma combinação de medidas construtivas anticorrosivas que podem ser aplicadas nos PTs: uso de 4 bases isoladas de betão na fundação a serem montados nos quatro cantos do PT; montagem de caleiras e tubos de queda na cobertura;

construção de vedação metálica para restringir o acesso e uso de cobertura vegetal para impedir a erosão nas zonas da fundação, como mostra a figura abaixo:

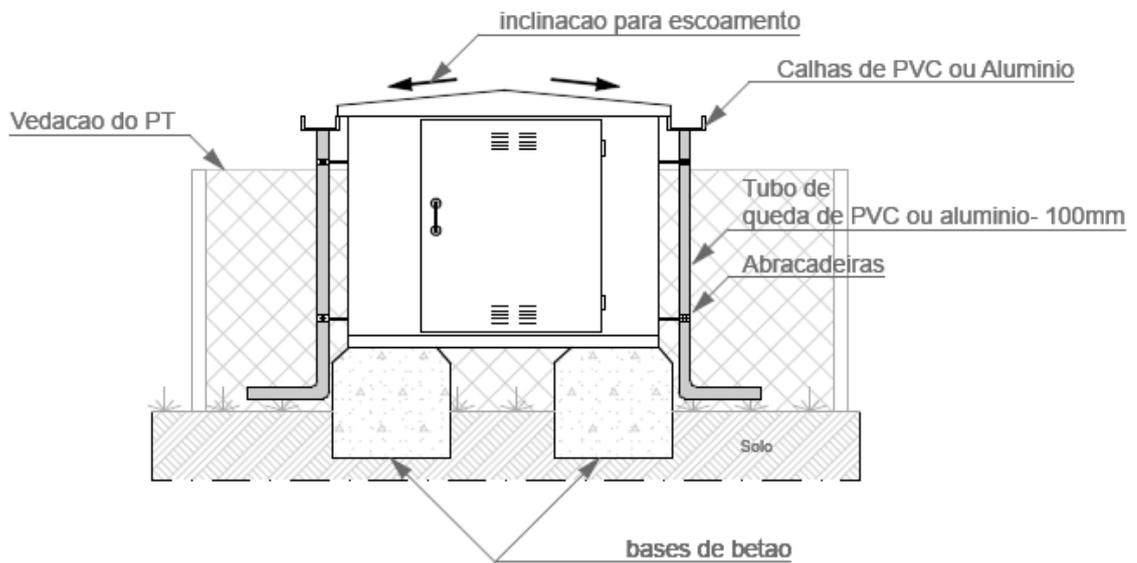


Figura 29. Solução construtiva- Alçado frontal. (adaptado).

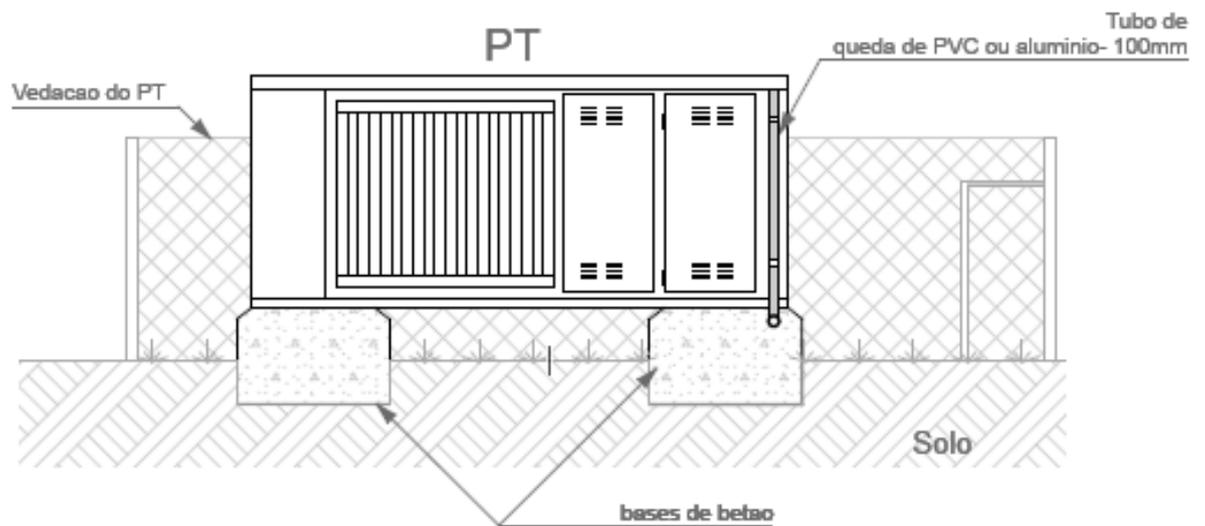


Figura 30. Solução construtiva- Alçado lateral (adaptado).

## 5.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE DAS SOLUÇÕES

A análise da viabilidade de qualquer solução implica a consideração de factores técnicos, económicos e operacionais, de modo a garantir que as medidas propostas não só são aplicáveis, mas também sustentáveis a longo prazo. Nesta secção, será avaliada a forma como as soluções anticorrosivas propostas podem ser implementadas com eficiência, tendo em conta as condições operacionais dos Postos de Transformação (PTs) da EDM na cidade de Maputo.

### 5.4.1 VIABILIDADE TÉCNICA

A viabilidade técnica das soluções propostas para combater a corrosão nos Postos de Transformação (PTs) da EDM baseia-se na capacidade de cada solução em resolver eficazmente os problemas identificados, utilizando materiais e métodos que já foram testados e aplicados em situações semelhantes. Abaixo, detalha-se como cada solução proposta pode ser tecnicamente implementada, suas vantagens e as melhores práticas para garantir uma execução eficiente.

#### 5.4.1.1 Fundações de bases de Betão Isolados

A utilização de bases de betão isoladas para suportar os PTs visa eliminar o contacto directo dos equipamentos com o solo, uma das principais causas da corrosão galvânica observada. Esta solução é tecnicamente viável e amplamente utilizada em infraestruturas que exigem durabilidade em ambientes com alto teor de humidade ou salinidade.

- **Materiais e Execução:** Os blocos de betão podem ser pré-fabricados e transportados para o local da instalação, o que facilita a construção e minimiza o tempo de execução. A escolha de betão de alta resistência é crucial para garantir que as fundações suportem o peso dos PTs ao longo de anos, sem deterioração significativa.
- **Vantagens Técnicas:** O betão é um material de baixa permeabilidade, o que significa que impede a penetração de água e humidade no interior dos PTs, reduzindo assim o risco de corrosão. Além disso, o uso das bases isoladas proporciona uma camada de protecção adicional contra a infiltração de água subterrânea, afastando os PTs das áreas onde a água se acumula naturalmente.
- **Considerações Técnicas:** A correcta instalação dos bases de betão deve ser feita em terrenos previamente compactados e nivelados, garantindo a estabilidade e segurança

da estrutura. Além disso, é fundamental que sejam realizados ensaios de resistência do betão para assegurar que o material utilizado atenda às normas de construção vigentes.

#### **5.4.1.2. Sistema de Drenagem (Caleiras e Tubos de Queda)**

A implementação de um sistema de drenagem eficiente, composto por caleiras e tubos de queda, é essencial para desviar a água da chuva das superfícies críticas dos PTs, evitando o acúmulo de água e, conseqüentemente, a corrosão. Este sistema é particularmente importante em áreas com alta pluviosidade, como a cidade de Maputo.

- **Materiais e instalação:** Caleiras e tubos de queda podem ser fabricados a partir de materiais como aço galvanizado ou plásticos reforçados, que são altamente resistentes à corrosão. O aço galvanizado, por exemplo, possui uma camada protectora de zinco que impede a oxidação do material base, aumentando a sua durabilidade. A instalação destes componentes deve ser feita de forma a garantir que toda a água é adequadamente canalizada para fora das áreas críticas, sem deixar espaços para infiltração.
- **Eficiência técnica:** A principal função do sistema de drenagem é assegurar que a água da chuva seja escoada rapidamente para longe das fundações dos PTs. Isso reduz o tempo de exposição das superfícies metálicas à humidade, evitando a corrosão por exposição prolongada à água.
- **Considerações técnicas:** A manutenção periódica das caleiras e tubos é essencial para evitar o bloqueio causado por detritos como folhas e terra. Sistemas entupidos podem aumentar o risco de acúmulo de água e, conseqüentemente, de corrosão. A inclinação adequada das caleiras deve ser verificada durante a instalação para garantir o escoamento correcto da água.

#### **5.4.1.3. Revestimentos Protectores (Resina Epóxi)**

A aplicação de revestimentos anticorrosivos, como a resina epóxi, em superfícies metálicas expostas dos PTs é uma solução técnica que garante uma barreira física contra agentes corrosivos, como a água e o oxigénio. A resina epóxi é amplamente utilizada em indústrias que lidam com ambientes agressivos devido à sua excelente resistência à corrosão.

- **Aplicação e eficiência:** A resina epóxi é aplicada como uma camada fina e impermeável sobre superfícies metálicas, criando uma barreira que impede a acção de agentes externos. Além disso, a resina epóxi é altamente resistente à abrasão e às variações de temperatura, o que a torna adequada para ambientes externos.
- **Durabilidade:** A aplicação de revestimentos de resina epóxi pode prolongar significativamente a vida útil dos PTs, evitando a necessidade de substituições frequentes. Dependendo das condições ambientais e da qualidade da aplicação, a resina epóxi pode proteger os equipamentos por até 20 anos antes de necessitar de manutenção.
- **Considerações Técnicas:** A superfície dos PTs deve ser devidamente preparada antes da aplicação da resina epóxi, através de métodos como jato de areia ou desgorduramento, para garantir a aderência do revestimento. Além disso, a aplicação deve ser feita em condições climáticas adequadas (sem humidade excessiva ou chuvas), de forma a garantir a cura adequada da resina.

#### 5.4.1.4. Vedação Metálica

A instalação de vedações metálicas ao redor dos PTs tem como principal objetivo proteger as estruturas contra atos de vandalismo e evitar o contacto com agentes externos que possam acelerar o processo de corrosão, como detritos ou substâncias corrosivas.

- **Materiais e construção:** As vedações podem ser construídas com redes de aço galvanizado ou outros materiais resistentes à corrosão. A escolha de uma vedação de alta durabilidade garante que, além de proteger o PT, a estrutura da vedação também não se degrade ao longo do tempo, especialmente em áreas expostas à humidade.
- **Protecção contra vandalismo:** A vedação não apenas protege o equipamento, mas também restringe o acesso de pessoas não autorizadas que possam causar danos ao PT ou despejar substâncias corrosivas nas proximidades. Isso reduz significativamente a probabilidade de intervenções corretivas devido a vandalismo.
- **Manutenção:** A vedação deve ser inspeccionada periodicamente para garantir que não haja danos ou corrosão na própria estrutura. Em caso de detecção de corrosão, pequenas

reparações podem ser feitas, como a aplicação de tinta protectora, para manter a sua eficácia.

#### **5.4.1.5. Cobertura Vegetal (Grama)**

A cobertura vegetal ao redor dos PTs, como a plantação de grama, é uma medida complementar que ajuda a controlar a erosão do solo e a manter a humidade controlada nas imediações dos PTs. Além disso, a vegetação serve como uma barreira natural contra o acúmulo de poeira e detritos que podem acelerar a corrosão.

- **Implementação e Manutenção:** A grama pode ser plantada em torno das bases isoladas, criando uma cobertura natural que absorve a água da chuva e evita a formação de poças. No entanto, a vegetação requer manutenção periódica, como irrigação em épocas de seca e poda para evitar o crescimento descontrolado.
- **Benefícios Técnicos:** A cobertura vegetal também actua como uma camada de protecção contra a radiação solar directa, reduzindo o aquecimento excessivo do solo ao redor das fundações e protegendo os materiais contra as variações térmicas que podem contribuir para a degradação dos componentes dos PTs.

A análise técnica mostra que as soluções propostas são todas viáveis do ponto de vista da sua execução prática. Com a correcta implementação e manutenção, estas soluções podem prolongar significativamente a vida útil dos PTs e prevenir falhas prematuras causadas pela corrosão. O uso de materiais duráveis e tecnologias testadas, combinado com a experiência das equipas de manutenção da EDM, garantirá que as soluções sejam eficazes e sustentáveis a longo prazo.

#### **5.4.2 VIABILIDADE ECONÓMICA**

A análise da viabilidade económica das soluções propostas é crucial para determinar se os benefícios superam os custos iniciais e a longo prazo. Com base na entrevista e nas informações recolhidas junto ao departamento de manutenção da EDM, a seguir será feita uma avaliação

dos custos de implementação, comparação com os custos de manutenção correctiva, e o retorno do investimento esperado.

#### **5.4.2.1 Custos de Implementação**

A implementação das soluções anticorrosivas envolve uma série de custos directos associados à aquisição de materiais e mão de obra especializada. Abaixo está uma estimativa detalhada com base nos preços mencionados na entrevista e nos recursos necessários para cada solução:

##### **Bases de betão Isoladas:**

- **Materiais:** O custo do betão utilizado para fazer bases isoladas pode variar conforme o volume necessário e o tipo de betão (alta resistência). Estima-se que o custo por PT para a construção das bases seja aproximadamente 20.000 MZN.
- **Mão de Obra:** A instalação das bases requer mão de obra especializada, com um custo adicional estimado em 15.000 MZN por PT.

**Custo total por PT: 35.000 MZN**

##### **Sistema de Drenagem (Caleiras e Tubos de Queda):**

- **Materiais:** Caleiras e tubos de queda fabricados em aço galvanizado ou materiais compósitos têm um custo estimado de **10.000 MZN** por PT.
- **Mão de Obra:** A instalação do sistema de drenagem, que inclui a fixação das caleiras e a ligação dos tubos de queda, tem um custo estimado de **7.500 MZN** por PT.

**Custo total por PT: 17.500 MZN**

##### **Revestimento Protetor (Resina Epóxi):**

- **Materiais:** O custo da aplicação de resina epóxi em todas as superfícies metálicas expostas de um PT é estimado em **25.000 MZN**.
- **Mão de Obra:** O processo de aplicação de revestimento requer uma preparação adequada das superfícies e a mão de obra especializada é avaliada em **10.000 MZN**.

**Custo total por PT: 35.000 MZN**

##### **Vedação Metálica:**

- **Materiais:** A construção de uma vedação metálica ao redor dos PTs com redes galvanizadas custa cerca de **30.000 MZN** por PT.
- **Mão de Obra:** A instalação da vedação exige a montagem e fixação de postes e redes, com um custo estimado de **12.000 MZN** por PT.

**Custo total por PT: 42.000 MZN**

#### **Cobertura Vegetal (Gramma):**

- **Materiais:** O custo do plantio de grama ao redor dos PTs é relativamente baixo, cerca de **2.500 MZN** por PT.
- **Mão de Obra:** A preparação do solo e o plantio da vegetação requerem uma mão de obra estimada em **3.500 MZN** por PT.

**Custo total por PT: 6.000 MZN**

*Tabela 2: Resumo dos Custos de Implementação por PT (adaptado)*

<b>Item</b>	<b>Custo Estimado (MZN)</b>
Bases de Betão Isoladas	35.000
Sistema de drenagem	17.000
Revestimento protector (Resina Epóxi)	35.000
Vedação Metálica	42.000
Cobertura Vegetal	6.000
Total por PT	135.000

#### **5.4.2.2 Custos de não intervenção (Manutenção Correctiva)**

Com base na entrevista, a vida útil de um PT da EDM é de aproximadamente **10 anos**(ANEXO 1), e a instalação de um novo PT custa cerca de **1.000.000,00 MZN**, incluindo a aquisição de todos os equipamentos necessários. A EDM também gasta entre **250.000,00 e 300.000,00 MZN** para adquirir os armários de protecção dos PTs (ANEXO 1).

- **Manutenção Correctiva:** Sem a implementação de medidas de protecção contra corrosão, os PTs podem sofrer falhas imprevistas, o que acarreta custos significativos de manutenção correctiva. A substituição de componentes corroídos, como os armários dos PTs, pode custar entre **250.000,00 e 300.000,00 MZN** por evento. Além disso, as falhas podem causar interrupções no fornecimento de energia, o que traz impactos econômicos tanto para a EDM como para os seus consumidores.
- **Interrupções e perdas operacionais:** As falhas dos PTs causadas pela corrosão não resultam apenas em custos de reparação, mas também em perdas operacionais devido à interrupção do serviço. Estes custos, embora difíceis de quantificar, afectam directamente a produtividade da empresa e a fiabilidade do fornecimento de energia.

#### 5.4.2.3 Comparação de Custos: Implementação versus Não Intervenção

Ao comparar os custos de implementação das soluções anticorrosivas (**135.500,00 MZN/PT**) com os custos potenciais de manutenção correctiva e substituição de componentes corroídos, fica evidente que a implementação das soluções é economicamente vantajosa.

- **Economia a Longo Prazo:** Se as soluções propostas forem implementadas, a vida útil dos PTs poderá ser prolongada, reduzindo significativamente a necessidade de substituição precoce de componentes caros como os armários (cujo custo é de até **300.000,00 MZN**). Além disso, a redução nas intervenções correctivas e nas interrupções do serviço representa uma economia significativa a longo prazo.
- **Retorno do Investimento (ROI):** Embora o custo inicial de implementação seja de **135.500,00 MZN** por PT, os benefícios económicos acumulados ao longo de 10 a 20 anos, incluindo a redução dos custos de manutenção correctiva e a melhoria da fiabilidade operacional, justificam plenamente o investimento inicial. Em termos práticos, o ROI é elevado, considerando que a não intervenção poderia custar muito mais a longo prazo devido às falhas imprevistas e às reparações necessárias.

#### 5.4.2.4. Viabilidade a Longo Prazo

A longo prazo, a implementação destas soluções reduz significativamente o risco de falhas associadas à corrosão e prolonga a vida útil dos PTs para além do período médio de 10 anos. Esta longevidade adicional representa uma economia acumulada não apenas em termos de custos de substituição, mas também na redução da necessidade de manutenções anuais

corretivas dispendiosas. Além disso, a melhoria na eficiência operacional e na fiabilidade do fornecimento de energia reduz as perdas económicas associadas a interrupções imprevistas.

A análise da viabilidade económica demonstra que os custos de implementação das soluções anticorrosivas, embora relativamente elevados, são justificados pelos benefícios a longo prazo. As soluções propostas não só reduzem os custos de manutenção correctiva, como também aumentam a eficiência operacional dos PTs da EDM. Ao comparar o custo de **135.500,00 MZN** por PT com os custos potenciais de falhas e substituições não previstas, é evidente que o investimento nas soluções sugeridas é economicamente viável e necessário para garantir a sustentabilidade da infraestrutura da EDM.

### **5.4.3 VIABILIDADE OPERACIONAL**

A viabilidade operacional das soluções anticorrosivas depende de diversos factores, como a disponibilidade de recursos humanos e materiais, o impacto sobre as operações da EDM e a facilidade de implementação. Para garantir que as soluções possam ser aplicadas sem comprometer a continuidade do fornecimento de energia e a eficiência dos Postos de Transformação (PTs), é fundamental avaliar como cada uma delas pode ser integrada no contexto operacional da empresa.

#### **5.4.3.1 Recursos Humanos e Capacidade Técnica**

A EDM dispõe de uma equipa qualificada e experiente no que diz respeito à manutenção dos PTs, como foi observado durante a visita e entrevista com o Engenheiro David Chissaque. As soluções propostas podem ser implementadas e mantidas pelas equipas de manutenção existentes, sem a necessidade de contratar serviços externos especializados, o que facilita a aplicação das medidas sem grande impacto financeiro adicional.

##### **1. Equipa de Manutenção da EDM**

- As equipas de manutenção da EDM já estão habituadas a realizar intervenções preventivas anuais nos PTs (ANEXO 1). Essas intervenções podem ser adaptadas para incluir a aplicação das soluções anticorrosivas, como a verificação do estado das bases de betão, a inspecção das caleiras e a reaplicação do revestimento de resina epóxi.
- **Capacitação técnica:** As soluções propostas, como a aplicação de revestimentos de resina epóxi e a instalação de sistemas de drenagem, exigem conhecimentos técnicos

básicos, que podem ser facilmente adquiridos através de uma formação interna. Esta formação pode ser ministrada por fabricantes ou fornecedores dos materiais, sem grandes custos adicionais.

## **2. Plano de Manutenção Integrada**

- As soluções anticorrosivas podem ser integradas no plano de manutenção preventiva já existente da EDM. Isso significa que, em vez de realizar manutenções correctivas de emergência, a empresa pode programar essas intervenções preventivas ao longo do ano, garantindo que os PTs estejam protegidos contra a corrosão de forma contínua.
- **Operacionalidade do plano:** A manutenção preventiva, como a limpeza das caleiras, verificação da vedação metálica e reaplicação de resina epóxi, pode ser realizada durante as manutenções periódicas, sem a necessidade de grandes intervenções adicionais ou interrupções no fornecimento de energia.

### **5.4.3.2 Impacto na continuidade das operações**

Um dos maiores desafios na implementação de qualquer solução correctiva em infraestruturas críticas como os PTs é garantir que as operações continuem de forma ininterrupta. Neste caso, é importante avaliar como as soluções propostas podem ser implementadas sem comprometer o fornecimento de energia e causando o mínimo impacto possível nas operações da EDM.

#### **1. Execução das Soluções Durante Manutenção Preventiva**

- **Mínima Interrupção:** As intervenções relacionadas à instalação das bases de betão, instalação de sistemas de drenagem e aplicação de revestimentos podem ser realizadas durante as manutenções preventivas regulares que ocorrem, em média, uma vez por ano (ANEXO 1). Isso significa que a implementação das soluções pode ser feita sem a necessidade de desligar os PTs fora dos períodos programados.
- **Cronograma de Intervenção:** O cronograma de manutenção preventiva pode ser ajustado para incluir a implementação das soluções propostas de forma gradual, o que permite que os trabalhos sejam realizados em diferentes PTs ao longo do ano, minimizando assim o impacto nas operações. Esta abordagem escalonada é ideal para evitar sobrecarga de trabalho e garantir que todas as medidas sejam aplicadas sem pressa e com qualidade.

## **2. Alternativas para minimizar interrupções:**

- **Manuntenção fora do horário de pico**

Quando for necessário interromper o funcionamento de um PT para realizar as intervenções, a EDM pode optar por realizar o trabalho fora dos horários de pico ou durante períodos de menor consumo energético, como à noite ou durante fins de semana, minimizando assim o impacto sobre os clientes.

- **Backup de Energia:**

Em áreas onde a interrupção do serviço pode causar problemas significativos, a EDM pode usar geradores temporários ou transferir a carga para outros PTs próximos, garantindo que o fornecimento de energia seja mantido enquanto as soluções são implementadas.

### **5.4.4 Facilidade de Implementação**

A facilidade de implementação das soluções é um factor essencial para garantir a viabilidade operacional. As soluções anticorrosivas sugeridas foram escolhidas não só pela sua eficácia, mas também pela facilidade com que podem ser aplicadas no contexto dos PTs existentes da EDM.

#### **1. Bases de Betão Isoladas:**

A instalação de bases de betão isoladas é uma prática já conhecida pelas equipas de manutenção da EDM. Como mencionado pelo Engenheiro Chissaque, a EDM já utiliza camas de betão para evitar o contacto direto dos PTs com a água estagnada (ANEXO 1). Este conhecimento prévio facilita a implementação da solução em outros PTs que ainda não possuem essa proteção adequada.

#### **2. Sistema de Drenagem (Caleiras e tubos de queda)**

A instalação de caleiras e tubos de queda é uma solução prática e relativamente fácil de implementar. O equipamento necessário para esta instalação é acessível, e as equipas de manutenção da EDM têm a capacidade técnica para realizar esse trabalho sem dificuldades.

Além disso, o material utilizado, como o aço galvanizado, é leve e fácil de manusear, o que acelera o processo de instalação.

### **3. Revestimento Protector (Resina Epóxi)**

A aplicação de revestimentos de resina epóxi é uma solução eficaz e prática. O processo de aplicação pode ser feito de forma manual e não requer o uso de equipamentos pesados. Com o devido treinamento, as equipas de manutenção da EDM podem aplicar o revestimento nas superfícies metálicas expostas, garantindo que o PT esteja protegido contra a corrosão. Além disso, a resina epóxi tem um tempo de cura relativamente rápido, permitindo que as operações do PT sejam retomadas rapidamente após a intervenção.

### **4. Vedação Metálica:**

A instalação de vedações metálicas ao redor dos PTs é uma solução simples, que requer apenas postes de suporte e redes galvanizadas. A instalação pode ser feita rapidamente pelas equipas da EDM, e uma vez instalada, a vedação requer pouca manutenção. Isso facilita a implementação e garante que os PTs estejam protegidos contra vandalismo e detritos que possam acelerar o processo de corrosão.

## **5.4.5 Disponibilidade de Materiais e Logística**

A implementação das soluções depende da disponibilidade dos materiais necessários para as intervenções, como betão, aço galvanizado, resina epóxi e redes metálicas. A EDM, por ser uma grande empresa nacional, tem acesso fácil a fornecedores de materiais de construção e manutenção, garantindo que os materiais possam ser adquiridos e entregues com rapidez.

### **1. Logística e Aquisição de Materiais**

A maioria dos materiais necessários para a implementação das soluções, como o betão e o aço galvanizado, pode ser adquirida de fornecedores locais, o que reduz os custos e os prazos de entrega. Para materiais mais especializados, como a resina epóxi, é possível recorrer a fornecedores internacionais, mas estes materiais também estão disponíveis em revendedores locais, facilitando a logística de aquisição.

## **2. Estoque de Segurança:**

Para garantir que as intervenções possam ser realizadas no momento oportuno, a EDM pode manter um estoque de segurança de materiais como redes galvanizadas, resina epóxi e tubos de drenagem, permitindo que as soluções sejam aplicadas imediatamente quando necessário.

A viabilidade operacional das soluções anticorrosivas propostas é clara, dado que a EDM já possui os recursos humanos e técnicos necessários para a sua implementação. As equipas de manutenção podem facilmente integrar estas soluções no plano de manutenção preventiva já existente, garantindo uma aplicação eficiente com mínima interrupção nas operações. A facilidade de acesso aos materiais e a logística simples contribuem ainda mais para o sucesso da implementação, permitindo à EDM aplicar as soluções de forma escalonada e sem impacto significativo no fornecimento de energia.

## **CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **6.1 CONCLUSÕES**

O estudo realizado permitiu identificar as principais causas da corrosão nos Postos de Transformação (PTs) da EDM, destacando a humidade, o contacto directo com o solo e a manutenção inadequada como os principais factores contribuintes. Embora a empresa tenha implementado algumas medidas de protecção, como a utilização de bases de betão, estas não foram suficientes para prevenir a degradação dos PTs devido à corrosão galvânica, agravada por falhas no sistema de drenagem e pela falta de cuidados regulares com os equipamentos.

A corrosão nos PTs instalados na cidade de Maputo apresenta um impacto significativo, tanto em termos económicos, com custos elevados para a substituição, como em termos de segurança e eficiência da rede eléctrica. O sistema actual de protecção, ainda que útil, demonstrou ser ineficaz na prevenção do avanço do processo corrosivo.

O estudo permitiu identificar métodos eficazes de protecção contra a corrosão nos PTs da EDM, com base em observações práticas e análises técnicas. As soluções propostas garantem uma melhoria significativa na durabilidade e eficiência dos PTs, reduzindo os custos de manutenção correctiva e aumentando a fiabilidade do sistema de distribuição de energia na cidade de Maputo. Com a implementação das recomendações, espera-se que a EDM possa mitigar os problemas de corrosão e garantir um fornecimento de energia estável e seguro a longo prazo.

### **6.2 RECOMENDAÇÕES**

Com base nas conclusões, são recomendadas as seguintes acções para mitigar o problema da corrosão nos PTs da EDM

1. Implementação imediata das soluções propostas
2. Revisão e Expansão do Plano de Manutenção Preventiva
3. Formação das Equipas de Manutenção
4. Monitorização Contínua dos PTs
5. Prioridade em Áreas Críticas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASM International. **ASM Handbook: Volume 13A - Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection**. Materials Park, OH: ASM International, 2009.
- [2] ASM International. **ASM Handbook, Volume 13: Corrosion**. ASM International, 2000.
- [3] **Apontamentos da disciplina de Soldadura e Proteção de Metais** do Prof. Dr. Justino B. Mulima, UEM-FENG
- [4] BARROS, Carolina. **Apostila de fundações - Técnicas construtivas de edificações**. Rio Grande do Sul, 2011.
- [5] CALLISTER, W. D. Jr., Rethwisch, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 9ª ed.** Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- [6] CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- [7] CHILTON, J.P. **Principle of metallic corrosion**, Chemical society, 2º edition, 1973.
- [8] FONTANA, G.M., **Corrosion Engineering**, Mc Graw-hill, International editions, Third edition, 2018
- [9] FRAGATA, F.L. **A Pintura Como Técnica de Proteção Anticorrosiva**, São Paulo, 2016.
- [10] GENTIL, V. **Corrosão**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- [11] GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projectos de Pesquisa**, São Paulo, 2008.
- [12] HAROLDO, Ponte. **Fundamentos da corrosão**, 2001.
- [13] PIERRE, R.Roberge. **Handbook of corrosion engineering**, The McGraw-Hill companies, 2000.
- [14] POURBAIX, M. **Lições de corrosão electroquímica**, Cebelcor, Bruxelas, 3ª edição, 1987
- [15] SELLTIZ, Claire. **Métodos de Pesquisa**, Editora da Universidade de São Paulo, 1965.

- [16] SMITH, W. R. **Fundamentos de Engenharia de Corrosão**. São Paulo: Blucher, 2018.
- [17] TREVINOS, A.N.S, **Introdução a Pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**, Atlas, São Paulo, 1987.
- [18] WINSTON, A. & HERBERT, L. **Corrosion and Corrosion Control**. Wiley Interscience, Fourth edition, 2008.
- [19] ZAKI, Ahmad. **Principles of corrosion engineering and corrosion control**, First edition, 2006.

## **ANEXO 1: ENTREVISTA AO FUNCIONÁRIO DA EDM**

### **Guião de entrevista**

#### *Entrevistado*

**Nome:** David Chissaque

**Data e local da entrevista:** 13/08/2024 empresa EDM localizada na Av. Das FPLM em Maputo

**Cargo:** Chefe de departamento de planeamento e estatística

**Tempo de Trabalho:** 14 anos

**Formação:** Engenharia eléctrica

#### **Questões**

##### **1- O que é um PT e qual é a sua função?**

**R:** PTs (postos de transformação) são instalações onde se procede à transformação da energia eléctrica de média tensão para baixa tensão, com a finalidade de alimentar a rede de distribuição de baixa tensão, um posto de transformação é constituído essencialmente por três componentes: equipamentos de interrupção e protecção, um ou mais transformadores responsáveis pela transformação da tensão média tensão para baixa tensão; quadro geral de baixa tensão de onde partem os diversos ramais da rede baixa tensão.

##### **2- Qual é o material usado para fabricar os PTs?**

**R:** Os PTs são fabricados principalmente em aço galvanizado, que proporciona resistência à corrosão.

##### **3- Que medidas são tomadas para garantir a longevidade dos PTs e prevenir falhas inesperadas?**

**R:** Para assegurar a longevidade dos PTs e evitar falhas imprevistas, realiza-se manutenção preventiva regular. Este processo inclui a verificação do estado dos componentes e intervenções antes que ocorram danos graves.

#### **4- Como funciona o sistema de protecção anti-corrosiva das cabines dos PTs?**

**R:** O sistema de protecção anti-corrosiva baseia-se na utilização de materiais resistentes à corrosão para a construção das cabines. Além disso, as cabines são pintadas para protecção adicional, e são assentadas sobre uma base de betão, evitando o contacto directo com o solo ou com água acumulada, que poderia acelerar o processo de corrosão. A manutenção preventiva inclui a limpeza das cabines para evitar o acúmulo de poeira e humidade, fatores que contribuem para a corrosão.

#### **5- Quanto gastam na instalação de um PT?**

**R:** O custo de instalação de um PT, considerando todos os equipamentos necessários, é de aproximadamente 1.000.000 MZN (um milhão de meticais).

#### **6- Quanto gastam na aquisição do armário do PT**

**R:** O custo de aquisição de um armário de PT varia entre 250.000,00 MZN e 300.000,00 MZN, dependendo das especificações e dos fornecedores.

#### **7- Qual é o tempo de vida de um PT?**

**R:** A vida útil estimada de um PT é de aproximadamente 10 anos, desde que seja realizada a manutenção adequada.

#### **8- De quanto em quanto tempo a manutenção é feita?**

**R:** A manutenção dos PTs é realizada, no mínimo, uma vez por ano, como parte do programa de manutenção preventiva da empresa.