



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

**Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento da Corrosão em Estruturas
Metálicas para Draga Aruangwa Utilizando Técnicas Online e Offline**

Autor:

Júnior, Miguel Manuel

Supervisor da UEM:

Eng°. Roberto David

Supervisor da EMODRAGA:

Eng° Casemiro Andela

Maputo,



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

**Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento da Corrosão em Estruturas
Metálicas para Draga Aruangwa Utilizando Técnicas Online e Offline**

Autor:

Miguel Manuel Júnior

Supervisor da UEM:

Eng°. Roberto David

Supervisor da EMODRAGA:

Eng° Casemiro Andela

Maputo,



Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento da Corrosão em Estruturas Metálicas da Draga Aruangwa

Utilizando Técnicas Online e Offline . Miguel Manuel Júnior

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que o estudante Miguel Manuel Júnior entregou no dia ____ / ____ /2025 as ____ do cópias do relatório de estágio profissional, intitulado DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DA CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS PARA DRAGA ARUANGWA UTILIZANDO TÉCNICAS ONLINE E OFFLINE.

Maputo, _____, de _____ de 2025

Chefe de Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Miguel Manuel Júnior, declaro, sob palavra de honra, que o presente trabalho de licenciatura com o tema, Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento da Corrosão em Estruturas Metálicas de Dragas Utilizando Técnicas Online e Offline., que apresento para o cumprimento dos requisitos para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Mecânica, foi por mim realizado, com base nos recursos que no mesmo se faz referência.

Miguel Manuel Júnior

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado, com profunda reverência e gratidão, à minha querida Mãe, Esmeralda Manuel. Seu inestimável apoio, marcado pelo amor, pelos sacrifícios e pela dedicação constante, foi fundamental para a concretização desta jornada acadêmica. Seu exemplo de resiliência e generosidade permanecerá uma fonte de inspiração. Que esta conquista honre todo o seu esforço e confiança depositada em mim.

AGRADECIMENTOS

Expressa-se, primeiramente, o reconhecimento a Deus, por ser o sustentáculo essencial que conferiu a resiliência e a saúde necessárias para a conclusão deste projeto.

Manifesto a minha mais profunda gratidão à minha Mãe, Esmeralda Manuel, cujo amor e suporte incondicional, financeiro e moral, foram a base estrutural desta formação. O mesmo apreço é dirigido aos meus irmãos, Agnaldo Ermindo Manuel, Felisberto Ermindo Manuel e Feliciano Micaela Ermindo Manuel, pelo constante incentivo e apoio fraterno.

Ao Engenheiro Roberto David pelo auxílio prestado na elaboração deste relatório e pelos ensinamentos transmitidos ao longo do curso de Engenharia Mecânica.

Estendo os meus agradecimentos ao Engenheiro Viadro Andaque pelos conselhos e ensinamentos partilhados, e ao Engenheiro Casemiro Andela e à Bordada, pela excelente recepção, integração na equipa e pelos valiosos conhecimentos adquiridos durante o período de estágio na EMODRAGA.

Aos colegas e amigos da Faculdade, em particular Ednaldo Hilário Tembe, Ílido Romão Ugembe, Shaad Enoque Muteto, Adelino Cumbe, o meu reconhecimento pela partilha académica e pelo ambiente de colaboração que facilitou a jornada.

Por fim, a todos os indivíduos e entidades que, de forma direta ou indireta, colaboraram na concretização deste estudo, a minha sincera consideração.

NOMENCLATURA E SÍMBULOS

Símbolo	Descrição	Unidade
(R)	Resistência elétrica do elemento sensor	Ω (ohm)
(ρ)	Resistividade elétrica do material	$\Omega \cdot m$
(L)	Comprimento do elemento sensor	m
(A)	Área da secção transversal do elemento sensor	m^2
(M)	Perda de metal medida pelo sensor	mils (0,001 in)
(P)	Espessura ou vida útil nominal da sonda	mils
(S)	Sinal linearizado do sensor (leitura ER)	—
(S_1)	Leitura inicial da sonda ER	—
(S_2)	Leitura final da sonda ER	—
(ΔT)	Intervalo de tempo entre as medições	dias
(C)	Taxa de corrosão	mils/ano (mpy)
(V)	Vazão do fluido	m^3/h
(I)	Corrente elétrica medida no circuito	A (ampere)
(V_{el})	Tensão elétrica de alimentação	V (volt)
(t)	Tempo de operação	s (segundos)

ABREVIATURAS E SIGLAS

Sigla	Significado	Descrição
ER	Electrical Resistance	Técnica de Resistência Elétrica para monitoramento de corrosão
LPR	Linear Polarization Resistance	Técnica de Resistência de Polarização Linear
EIS	Electrochemical Impedance Spectroscopy	Espectroscopia de Impedância Eletroquímica
PLC	Programmable Logic Controller	Controlador Lógico Programável
IHM / HMI	Interface Homem-Máquina / Human-Machine Interface	Interface gráfica de operação e visualização
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	Sistema de supervisão e aquisição de dados
VFD	Variable Frequency Drive	Inversor de frequência
EMODRAGA	Empresa Moçambicana de Dragagens, E.P.	Entidade onde o estágio foi realizado
mpy	Mils per Year	Unidade de taxa de corrosão (milésimos de polegada por ano)
END	Ensaaios Não Destrutivos	Métodos de inspeção sem dano ao material
UT	Ultrasonic Testing	Ensaio ultrassônico para medição de espessura
TIA Portal	Totally Integrated Automation Portal	Software Siemens para programação e integração de sistemas
AI / DI / AO / DO	Analog Input / Digital Input / Analog Output / Digital Output	Entradas e saídas analógicas e digitais do PLC

RESUMOS

O presente relatório de estágio tem como tema “Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento da Corrosão em Estruturas Metálicas para a Draga Aruangwa Utilizando Técnicas Online e Offline”, realizado na empresa EMODRAGA, E.P.. O trabalho tem como principal objetivo propor um sistema inovador de monitoramento contínuo da corrosão em componentes metálicos, combinando medições automatizadas e inspeções visuais para aprimorar o controlo de integridade estrutural e a manutenção preditiva.

A metodologia utilizada baseou-se na aplicação da técnica de Resistência Elétrica (ER) como método online, complementada por monitoramento visual e ultrassônico, de modo a avaliar o desgaste dos materiais em tempo real. O sistema proposto é composto por sensores de corrosão, transdutores de processo (pressão e vazão), um Controlador Lógico Programável (PLC Siemens S7-1200) e uma Interface Homem-Máquina (IHM) para visualização e gestão dos dados.

Os resultados esperados indicam que o sistema permitirá reduzir custos de manutenção, aumentar a segurança operacional e prolongar a vida útil das estruturas metálicas da Draga Aruangwa. O investimento estimado de 9.740 USD apresenta retorno em cerca de dois anos, confirmando a sua viabilidade económica. Conclui-se que o projeto representa uma contribuição significativa para a modernização da manutenção naval em Moçambique, aliando tecnologia, sustentabilidade e inovação industrial.

Palavras-chave: corrosão; monitoramento; manutenção preditiva; automação industrial; EMODRAGA.

ABSTRACT

This internship report, entitled “Development of a Corrosion Monitoring System for Metallic Structures of the Dredger Aruangwa Using Online and Offline Techniques”, was carried out at EMODRAGA, E.P. The main objective of this study is to design an innovative system for continuous corrosion monitoring in metallic components, combining automated measurements and visual inspections to improve structural integrity control and predictive maintenance.

The methodology applied involves the Electrical Resistance (ER) technique as the online method, complemented by visual and ultrasonic inspections for real-time evaluation of material degradation. The proposed system integrates corrosion sensors, process transducers (pressure and flow), a Programmable Logic Controller (Siemens S7-1200 PLC) and a Human-Machine Interface (HMI) for data processing, visualization, and alarm management.

Expected results indicate that the system will reduce maintenance costs, increase operational safety, and extend the service life of the dredger’s metallic structures. The total investment of USD 9,740 has an estimated payback period of two years, demonstrating its technical and economic feasibility. This project represents a significant contribution to the modernization of maritime maintenance in Mozambique, combining technology, sustainability, and industrial innovation.

Keywords: corrosion; monitoring; predictive maintenance; industrial automation; EMODRAGA.

ÍNDICE

NOMENCLATURA E SÍMBULOS.....	iv
ABREVIATURAS E SIGLAS	v
RESUMOS	vi
ABSTRACT	vii
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO.....	1
1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Justificativa.....	1
1.3. Problemática	2
1.4. Objectivos.....	3
1.4.1. Objectivo geral	3
1.4.2. Objectivos específicos	3
CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2 Revisão Bibliográfica.....	4
2.1 Conceito de Navio	4
2.1.1 Barco (<i>boat</i>).....	4
2.1.2 Nomenclatura do Navio.....	4
2.1.3 Casco (<i>hull</i>)	4
2.1.4 Proa (<i>bow</i> ou <i>foreship</i>).....	4
2.1.5 Popa (<i>stern</i> ou <i>aftship</i>).....	4
2.1.6 Bordos (<i>sides</i>).....	4
2.2. Princípios de Funcionamento da Dragagem	5
2.2.1. Conceito de Dragagem	5
2.2.2. Operações de dragagem	5
2.2.2.1. Dragagem de Aprofundamento ou Virgem	6
2.2.2.2. Dragagem de Manutenção.....	6
2.2.2.3. Dragagem de Recuperação Ambiental ou Ecológica	6
2.2.2.4. Dragagem de Mineração	6
2.2.2.5. Dragagens Especiais.....	7
2.2.2.6. Dragagens para Aterros Hidráulicos	7
2.2.3. Equipamentos de dragagem	8
2.2.3.1. Processo de dragagem mecânicos	8
2.2.3.2. Caçamba de Mandíbulas ou Draga de Caçamba (<i>Grab or Clamshell Dredges</i>);.....	8

2.2.3.3. Escavadeiras frontais (<i>Dipper Dredges</i>) ou Retroescavadeiras (<i>Hoes</i>)	9
2.2.3.4. Pás de arrasto (<i>Draglines</i>)	10
2.2.3.5. Dragas de Alcatruzes (<i>Bucket Dredges</i>).....	11
2.2.3.6. Processos hidráulicos de dragagem.....	11
2.2.3.7. Dragas Autotransportadoras de Arrasto (AT).....	12
2.2.3.8. Dragas de Sucção e Recalque com Desagregador (SR).....	13
2.3. Fundamentos de corrosão	14
2.3.1. Importância da corrosão	14
2.3.2. Classificação da corrosão	16
2.3.2.1. Segundo o meio.....	16
2.3.2.2. Segundo a morfologia	16
2.3.3. Formas de proteção contra a corrosão.....	21
2.3.3.1. Inibidores de Corrosão	22
2.4. Monitoramento da corrosão	23
2.4.1. Tipos de métodos de monitoramento de corrosão.....	24
2.4.1.1. Medições de espessura ultrassônicas	26
2.4.1.2. Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS).....	26
2.4.1.3. Cupons para perda de peso.....	27
2.4.1.4. Monitoramento de Resistência Elétrica.....	27
2.4.1.5. Monitoramento de Resistência de Polarização Linear (LPR).....	28
2.4.1.6. Monitoramento Galvânico.....	28
2.4.1.7. Monitoramento visual.....	29
2.5. Manutenção.....	30
2.5.1. Conceito moderno de manutenção	30
2.5.2. Tipos de manutenção.....	30
2.5.3. Manutenção Corretiva.....	30
2.5.4. Manutenção preventiva	31
2.5.5. Manutenção preditiva.....	32
2.5.6. Manutenção detectiva.....	32
CAPÍTULO III – CONTEXTUALIZAÇÃO	33
3. Contextualização	33
3.1. Apresentação da empresa.....	34
3.2. Princípios da empresa	34
3.2.1. Missão	34
3.2.2. Visão.....	34

3.2.3. Valores	34
3.3. O que a EMODRAGA E.P., faz?	35
3.3.1. Sondagem Hidrográfica	35
3.3.2. Dragagem.....	35
3.3.3. Aluguer de equipamentos	35
CAPÍTULO IV – MÉTODO PROPOSTO	36
4.1. Estrutura Geral do Sistema	36
4.2. Técnica de Monitoramento da Corrosão	36
4.2.1. Método Online – Resistência Elétrica (ER)	36
4.2.2. Método Offline – Monitoramento Visual	37
4.2.3. Cálculo da Taxa de Corrosão	37
4.3. Instrumentação e Automação.....	38
4.4. Lógica de Controle	38
4.5. Interface Homem-Máquina (IHM)	38
4.6. Etapas de Implementação	39
4.7 Resultados Esperados	39
CAPÍTULO V – Resultados Esperados e Discussão.....	41
5.1 Introdução	41
5.2 Resultados Esperados	41
5.2.1 Monitoramento Contínuo e Fiável	41
5.2.2 Geração Automática de Dados e Relatórios.....	41
5.2.3 Otimização da Manutenção Preditiva	42
5.2.4 Segurança Operacional e Sustentabilidade	42
5.3 Discussão dos Resultados	42
5.4 Considerações sobre a Aplicação na EMODRAGA.....	43
5.5 Estudo dos Custos para Implementação do Sistema de Monitoramento	43
5.5.1 Estimativa dos Principais Custos	43
5.5.2 Análise de Viabilidade Económica.....	44
5.6 Conclusão Geral do Capítulo	44
Capítulo VI – Conclusões e Recomendações	45
6.1. Conclusões.....	45
6.2. Recomendações	46
7. Referências bibliográficas	47
Apêndices	48
Apêndice A- Sensores de corrosão e circuito elétrico de potência	49

Sensores de corrosão	49
Mapa de quantidades.....	49
Circuito eléctrico de potência.....	50
Apendice B – Circuito eléctrico de comando	51
Circuito eléctrico de comando.....	51
Lógica de controle.....	52
Mapeamento de Entradas e Saídas	52
Apendice C- Algoritmo textual.....	54
Algoritmo textual.....	54
Programa de PLC (linguagem de Texto Estruturado (ST)	54
ANEXOS.....	58
Anexo A - Ficha técnica do Transmissor ER de alta resolução MS2600E.....	59

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1. Introdução

1.1. Contextualização

A corrosão é um dos principais problemas que afetam a durabilidade e a confiabilidade de estruturas metálicas expostas a ambientes agressivos. No sector marítimo, onde a interação constante com a água salgada e a atmosfera húmida acelera os processos corrosivos, este fenómeno representa um desafio crítico para a manutenção e operação de embarcações e equipamentos.

As dragas, embarcações essenciais para actividades de manutenção de canais, portos e rios, operam em condições particularmente severas, sujeitas não apenas à corrosão marinha, mas também a esforços mecânicos, abrasão e variações de temperatura. Nesses sistemas, a corrosão pode comprometer tanto o casco e as tubulações quanto componentes da casa de máquinas, bombas, válvulas e sistemas de refrigeração, impactando diretamente a segurança operacional e aumentando os custos de manutenção.

Tradicionalmente, a inspeção e a avaliação da corrosão em dragas têm sido realizadas de forma periódica, por meio de inspeções visuais e ensaios não destrutivos. Contudo, tais métodos apresentam limitações, pois muitas vezes identificam danos apenas em estágios avançados, quando já houve perda significativa de material ou necessidade de reparos complexos. Nesse contexto, o desenvolvimento e a aplicação de sistemas de monitoramento que combinem técnicas online (com sensores em tempo real) e técnicas offline (inspeções periódicas e cupons de corrosão) surgem como alternativa estratégica para garantir maior confiabilidade e eficiência.

Assim, propor o desenvolvimento de um sistema de monitoramento da corrosão em estruturas metálicas de dragas representa uma contribuição importante para a manutenção preditiva, reduzindo custos, prolongando a vida útil dos equipamentos e assegurando maior disponibilidade operacional nas actividades da Emodraga.

1.2. Justificativa

A escolha do tema “Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento da Corrosão em Estruturas Metálicas de Dragas Utilizando Técnicas Online e Offline” fundamenta-se na

relevância técnica e prática que a corrosão representa no setor marítimo e, em particular, nas operações de dragagem. A corrosão é um dos principais fatores que comprometem a integridade estrutural, a confiabilidade operacional e a vida útil de embarcações, provocando custos elevados com reparações e manutenções corretivas.

Do ponto de vista profissional, a Emodraga desempenha um papel essencial na manutenção de portos, canais e hidrovias em Moçambique, atuando directamente no suporte às actividades logísticas e comerciais do país. Garantir a disponibilidade e a segurança das dragas utilizadas por esta empresa exige estratégias de manutenção mais eficientes e inovadoras, capazes de prevenir falhas antes que ocorram. O desenvolvimento de um sistema de monitoramento da corrosão, integrando técnicas online e offline, atende a essa necessidade e contribui para aumentar a confiabilidade e a sustentabilidade operacional da frota.

No âmbito académico, o tema proporciona a oportunidade de aplicar conhecimentos adquiridos ao longo da formação em Engenharia Mecânica, especialmente nas áreas de materiais, processos de corrosão, ensaios não destrutivos e manutenção preditiva. Trata-se de um trabalho que não apenas reforça a relação entre teoria e prática, mas também amplia o campo de investigação sobre técnicas de monitoramento aplicadas a contextos específicos da engenharia naval e mecânica.

Por fim, a nível social e económico, a redução dos custos com manutenção correctiva e a maior eficiência das dragas refletem-se na melhoria das operações portuárias e no fortalecimento da infraestrutura de transporte marítimo, contribuindo para o desenvolvimento económico do país. Assim, o presente estudo merece ser explorado por seu carácter inovador, pela relevância prática no sector marítimo e pela contribuição significativa tanto para a academia quanto para a sociedade.

1.3. Problemática

Atualmente, muitas práticas de controle da corrosão em embarcações baseiam-se em inspeções periódicas e intervenções corretivas, que nem sempre conseguem detectar falhas em estágio inicial. Isso resulta em paradas não programadas, maior tempo de inactividade das dragas e perdas económicas para as operações da Emodraga. Por outro lado, os avanços em técnicas de monitoramento da corrosão, tanto online (com sensores em tempo real) quanto offline (com inspeções visuais, cupons e ensaios não destrutivos), oferecem novas possibilidades para aprimorar a manutenção preditiva.

Diante desse cenário, surge a questão central: *Como propor o desenvolvimento de um sistema de monitoramento da corrosão em estruturas metálicas de dragas, que integre técnicas online e offline, de modo a aumentar a confiabilidade operacional, reduzir custos de manutenção e prolongar a vida útil dos equipamentos da Emodraga?*

1.4. Objectivos

1.4.1. Objectivo geral

Desenvolver de um sistema de monitoramento da corrosão em estruturas metálicas de dragas.

1.4.2. Objectivos específicos

- Identificar as principais áreas críticas de corrosão em estruturas metálicas da draga;
- Analisar técnicas de monitoramento da corrosão;
- Elaborar uma proposta de sistema integrado de monitoramento da corrosão, adaptado à realidade operacional da empresa, que suporte práticas de manutenção preditiva.

CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Conceito de Navio

Segundo (Fonseca, 2019), “Embarcação e navio: Embarcação (*vessel*) é um termo de uso geral que designa uma construção feita de madeira, concreto, aço, alumínio ou da combinação desses e outros materiais, que flutua e é destinada a transportar pela água pessoas e/ou cargas diversas sólidas ou líquidas”.

2.1.2 Barco (*boat*)

Segundo (Fonseca, 2019), “Barco (*boat*): tem o mesmo significado, mas usa-se pouco. Navio (*ship*), nau, nave designam, em geral, as embarcações de maior porte; nau e nave são palavras antiquadas, hoje empregadas apenas no sentido figurado; vaso de guerra e belonave eram termos empregados para designar navios de guerra, mas hoje em dia são também pouco usados.”

2.1.2 Nomenclatura do Navio

2.1.3 Casco (*hull*)

É o corpo do navio sem mastreação, ou aparelhos acessórios, ou qualquer outro arranjo. Normalmente, o casco não possui uma forma geométrica definida, e a principal característica de sua forma é ter na maioria dos casos um plano de simetria (plano diametral) que se imagina passar pela quilha.

2.1.4 Proa (*bow ou foreship*)

É a extremidade de vante do navio no sentido de sua marcha normal. Quase sempre tem a forma exterior adequada para mais facilmente fender o mar.

2.1.5 Popa (*stern ou aftship*)

É a extremidade de ré do navio. Quase sempre, tem a forma exterior adequada para facilitar o fluxo da água produzido pelo navio em seu movimento, a fim de tornar mais eficiente a ação do leme e do hélice.

2.1.6 Bordos (*sides*)

São as partes laterais do casco. Boreste (BE) (*starboard side*) à direita e Bombordo (BB) (*port side*) à esquerda, supondo-se o observador situado no plano diametral e olhando para a proa. Em Portugal se diz estibordo em vez de boreste. A seguir será apresentada uma imagem que ilustra a nomenclatura do navio:

NOMENCLATURA DO NAVIO

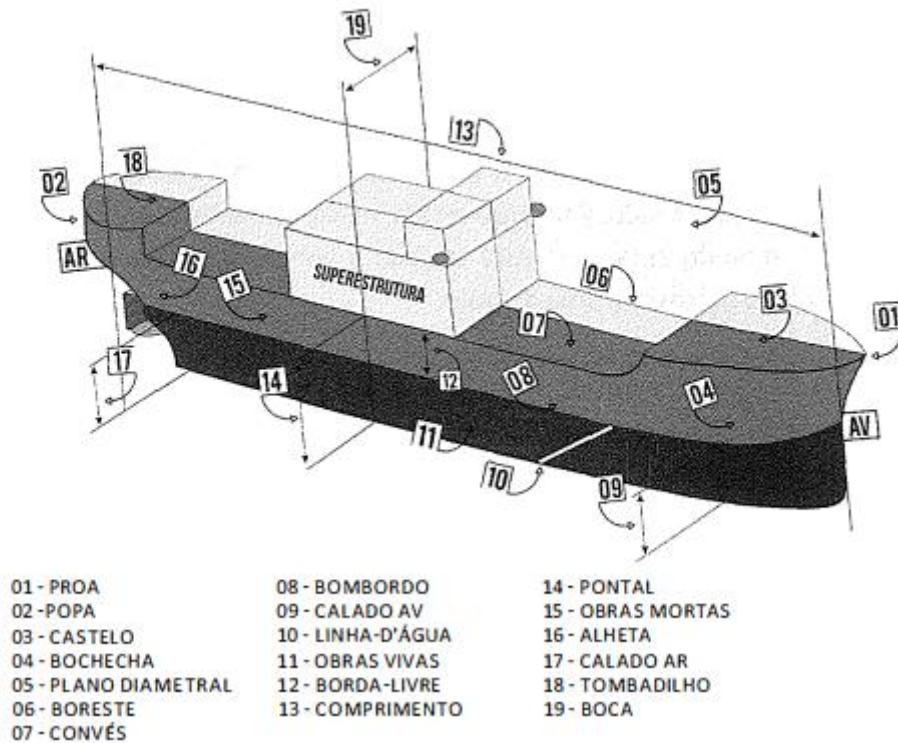


Figura 1: Vista exterior do navio; Fonte: (Fonseca, 2019)

2.2. Princípios de Funcionamento da Dragagem

2.2.1. Conceito de Dragagem

Segundo (Oliveira, 2010), “A dragagem consiste no processo de remoção e/ou relocação de solos e sedimentos do fundo de um curso de água qualquer. Actua não só na necessidade contínua de aprofundamento e alargamento de canais, portos, lagos ou rios, mas também em aterrar pântanos, charcos e áreas alagadas, para serem empregados como terra firme; e utilizando um tipo especial de embarcação, denominada draga”.

2.2.2. Operações de dragagem

As operações de dragagem são classificadas de acordo com suas características e finalidades, envolvendo o processo de dragagem, em evidência as seguintes operações:

- Dragagem de Aprofundamento ou Virgem;
- Dragagem de Manutenção;
- Dragagem de Recuperação Ambiental ou Ecológica;
- Dragagem de Mineração;

- Dragagens Especiais;
- Dragagens para Aterros Hidráulicos.

2.2.2.1. Dragagem de Aprofundamento ou Virgem

Segundo (Oliveira, 2010), “Diz-se que uma dragagem é virgem, devido ao leito aquático nunca ter sido dragado anteriormente. Com isso, o solo marinho apresenta uma grande coesão entre suas partículas. E, desta forma, os equipamentos utilizados para a realização desta operação são mais robustos. É executada para criação, ampliação ou aprofundamento de canais de navegação, bacias de evolução e em outras obras de engenharia, tal como: implantação de áreas aterradas, seja para fins portuários ou industriais”.

2.2.2.2. Dragagem de Manutenção

Segundo (Paroulo, 2014), “Apenas a construção e o aprofundamento dos canais talvez não sejam suficientes devido a taxa de sedimentação no local. Assim, torna-se necessário um processo de dragagem contínuo para manter as características necessárias para a segurança da navegação nas proximidades do porto. Desta forma, é efetuada uma dragagem contínua, chamada de Manutenção.”

2.2.2.3. Dragagem de Recuperação Ambiental ou Ecológica

Segundo (GOES FILHO, 2004), “A dragagem de remediação, ou ambiental, ou sanitária, tem como objectivo principal a limpeza de áreas de dragagem contaminadas e, conquanto tenha características bem distintas das outras, nem sempre é reconhecida como um tipo especial de dragagem. Ela é executada quando se tem necessidade de corrigir ações efetuadas anteriormente, que resultaram em deposição em locais inadequados de sedimentos contaminados”.

2.2.2.4. Dragagem de Mineração

A dragagem aplicada à mineração possui um carácter específico, voltado para a extração de minerais de interesse econômico, como argilas, areias e cascalho, frequentemente utilizados na construção civil. Além disso, esse processo também pode ser empregado na retirada de metais e pedras preciosas, como ouro e diamantes, encontrados em aluviões fluviais (GOES FILHO, 2004).

2.2.2.5. Dragagens Especiais

Este tipo de dragagem caracteriza-se pelo uso de equipamentos especialmente adaptados para situações que exigem operações em grandes profundidades, remoção de escombros que possam interferir na dinâmica do corpo hídrico, recuperação de materiais submersos, entre outras actividades específicas. Além disso, é possível integrar ao processo a utilização de equipamentos robotizados e o apoio de mergulhadores, o que contribui significativamente para aumentar a eficiência e a precisão das operações (Oliveira, 2010).

2.2.2.6. Dragagens para Aterros Hidráulicos

Segundo (Oliveira, 2010), “As dragas hidráulicas ou mecânicas possuem a função de transferir o material das jazidas submersas para a área que se deseja aterrar. O sedimento retirado do fundo marinho pode ser armazenado tanto em batelões acostados a contrabordo da embarcação, quanto em cisternas presentes na própria draga”.

Os aterros hidráulicos podem ser realizados para a construção do leito de rodovias em locais de configuração pantanosa, formação de diques, engordamento² de praias, recuperação de áreas submersas, ou ainda, para reurbanização de zonas costeiras.

Na figura 2 pode-se observar o jateamento da mistura, água mais sedimentos, na região costeira de uma ilha localizada no Reino Unido.



Figura 2: Ilustração da draga autotransportadora de arrasto Sospan Dau, realizando o engordamento da Ilha Hayling no Reino Unido. (Oliveira, 2010).

2.2.3. Equipamentos de dragagem

Os equipamentos de dragagem dividem-se em **dois grandes grupos principais**: os **mecânicos**, que removem o material por meio de escavação direta com caçambas, retroescavadeiras ou conchas, e os **hidráulicos**, que utilizam bombas de sucção para aspirar a mistura de água e sedimentos. Essa divisão reflete a diferença fundamental entre dragagem por escavação física e dragagem por transporte hidráulico.

2.2.3.1. Processo de dragagem mecânicos

Os equipamentos mecânicos de dragagem atuam na remoção de areia, cascalho e sedimentos muito coesivos, como turfa, argila e silte altamente consistente, através da aplicação direta de uma força mecânica para escavar o material do fundo marinho. O material escavado (dragado), geralmente, é transportado para barcas ou barcaças acostadas a contrabordo das dragas, para serem posteriormente lançados até a área de deposição prevista no projeto. As dragas mecânicas podem ser propelidas ou não. As não propelidas são denominadas dragas estacionárias (Oliveira, 2010).

Segundo (Oliveira, 2010), “Os equipamentos de dragagem que utilizam este processo são classificados nas seguintes categorias”:

- Caçamba de Mandíbulas ou Draga de Caçamba (*Grab or Clamshell Dredges*);
- Escavadeiras Frontais (*Dipper Dredges*) ou Retroescavadeiras (*Hoes*);
- Pás de arrasto (*Draglines*);
- Dragas de Alcatruzes (*Bucket Dredges*).

2.2.3.2. Caçamba de Mandíbulas ou Draga de Caçamba (*Grab or Clamshell Dredges*);

A draga de caçamba de mandíbulas é um dos equipamentos de dragagem mais utilizados no mundo, com destaque para a América do Norte e o Extremo Oriente. Trata-se de um guindaste rotativo instalado sobre um pontão flutuante, equipado com uma caçamba acionada por pistão hidráulico a partir da cabine de comando. Durante a escavação, estruturas verticais fixadas no pontão conhecidas como estacas ou “charutos” garantem a estabilidade necessária à operação.

Esse tipo de draga é altamente versátil, pois conta com diferentes modelos de caçambas adaptados a cada finalidade. É amplamente empregada em portos de difícil acesso para

embarcações, na extração de areia e cascalho em grandes profundidades e na remoção de sedimentos finos, como lamas em baías.

A Figura 3 apresenta a configuração estrutural de uma draga de caçamba, destacando seus principais componentes e forma de operação.”

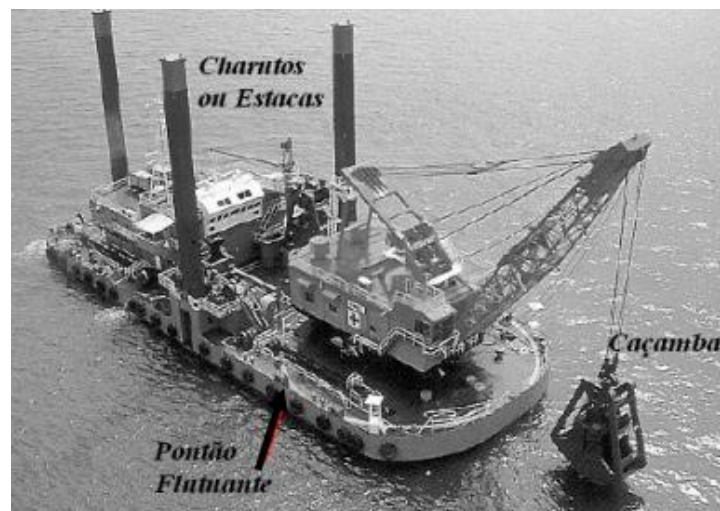


Figura 3: Caçamba de Mandíbulas ou Dragagem de Caçamba (Grab or Clamshell dredges). Fonte: (Oliveira, 2010)

2.2.3.3. Escavadeiras frontais (*Dipper Dredges*) ou Retroescavadeiras (*Hoes*)

As escavadeiras frontais e as retroescavadeiras se diferenciam quanto ao método de trabalho exercido. Enquanto a escavadeira frontal (FIGURA 4) empurra o material do solo marinho no sentido contrário da posição da draga, a retroescavadeira (FIGURA 5) puxa a caçamba no sentido da draga. As retroescavadeiras são as mais utilizadas. Ambas as dragas, através da cabine de comando do equipamento são acionadas hidráulicamente. A profundidade de dragagem é limitada à cerca de quinze metros, podendo alcançar um máximo de vinte e cinco metros.

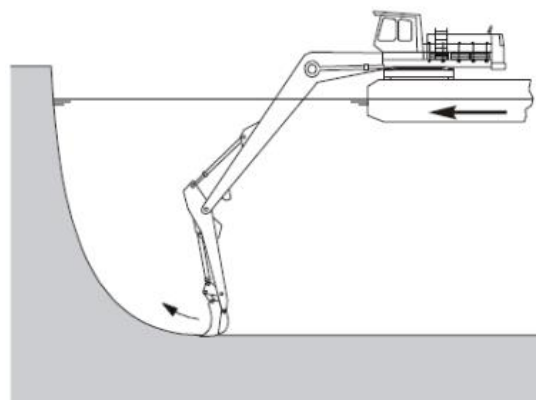


Figura 4: Escavadeira Frontal. Fonte: (Oliveira, 2010)

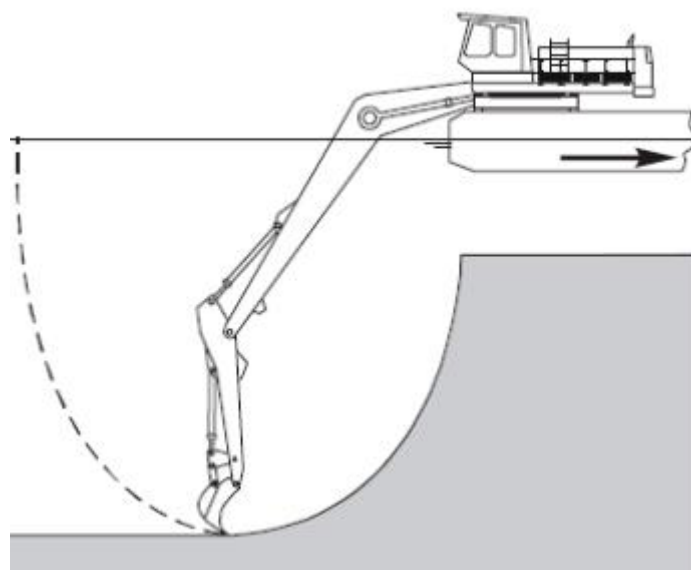


Figura 5: Retroescavadeira. Fonte: (Oliveira, 2010)

2.2.3.4. Pás de arrasto (Draglines)

Segundo (Oliveira, 2010), “A *dragline* é uma ferramenta básica de escavação usada em muitas actividades de mineração de superfície, construção de diques, limpeza de canais e barragens, etc. A configuração estrutural de uma *dragline* consiste em uma caçamba de aço presa a um guindaste movente. A pá é lançada em direção ao solo, por movimento circular do guindaste, “subtraindo-o”. O material “subtraído” do solo é içado em direção ao guindaste, e depositado, normalmente, em caminhões (ulterior utilização em outras actividades) ou em áreas adjacentes a esta escavação”.



Figura 6: dragline. Fonte: (CAT, 2014)

2.2.3.5. Dragas de Alcatruzes (*Bucket Dredges*)

A draga de alcatruzes (FIGURA 7) é capaz de operar continuamente na remoção do material do fundo aquático. E isto, se dá, devido à presença do rosário ou caçamba de alcatruzes, responsável pela escavação do fundo e lançamento destes sedimentos em batelões lameiros acostados a contrabordo da draga. A dragagem ocorre de forma contínua e se pode controlar com precisão a profundidade a que se escava, tornando está muito mais eficiente em relação às outras dragas mecânicas. No entanto, as dragas de alcatruzes são muito caras, não são apropriadas para o trabalho em águas rasas e ocupam uma considerável área de atuação, dificultando ou impossibilitando sua ação em pequenas zonas.

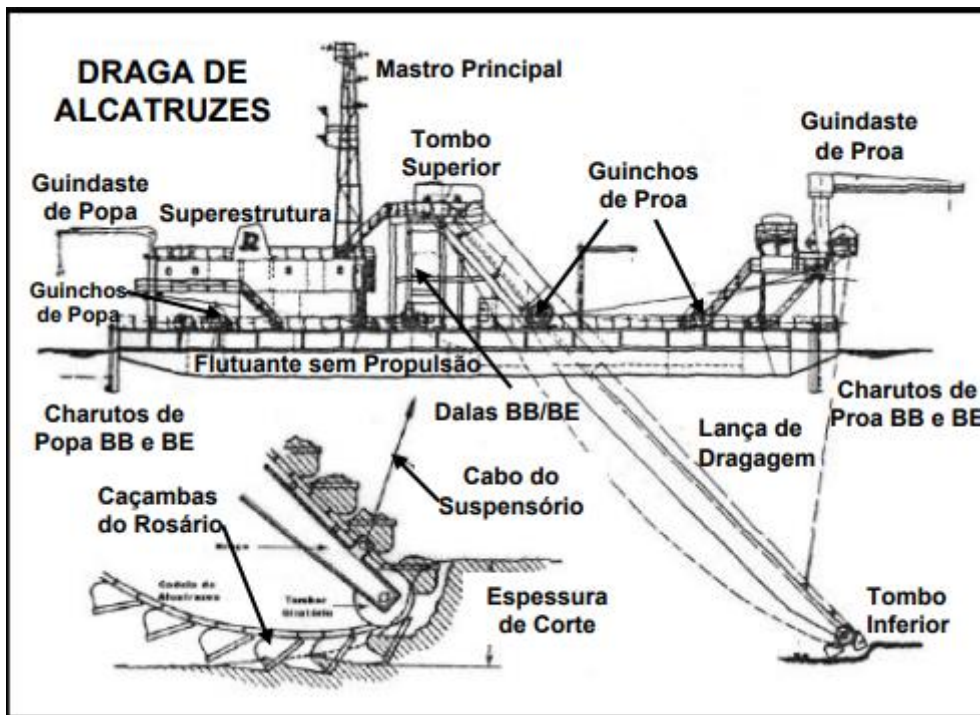


Figura 7: Ilustração do esquema operacional de uma draga de alcatruzes mostrando o conjunto de caçambas que atuam continuamente na remoção do material de fundo.. Fonte: (SOARES, 2006)

2.2.3.6. Processos hidráulicos de dragagem

Uma das principais características desse processo é o uso de bombas hidráulicas para succionar e recalcar os sedimentos, que podem ser desagregados mecanicamente, por meio de cortadores, ou hidraulicamente, através de jatos de água de alta pressão. Entre os principais equipamentos destacam-se as Dragas Autotransportadoras (*Trailing Suction Hopper Dredgers – TSHD*) e as Dragas de Sucção e Recalque (*Cutter Suction Dredgers*

– CSD), que podem ser autopropulsoras ou depender de rebocadores para locomoção, (SOARES, 2006).

Durante a remoção do material dragado é formada uma mistura de água com o material sólido do leito, que é bombeado para tubulações flutuantes a distâncias compatíveis com a potência dos equipamentos – no caso de dragas de sucção e recalque – ou em bombeamentos para dentro de cisternas – no caso de dragas autotransportadoras, (GOES FILHO, 2004), que também possuem a alternativa de recalcar os sedimentos em tubulações. Existe ainda a possibilidade de bombear o produto da dragagem para batelões acostados a contrabordo das dragas.

2.2.3.7. Dragas Autotransportadoras de Arrasto (AT)

Segundo (Oliveira, 2010), “Uma draga de sucção autotransportadora de arrasto – *hopper trailing suction dredge* – é uma embarcação com propulsão própria, utilizada para operações em áreas tanto desabrigadas, como em áreas portuárias. Equipadas com: tanques de fundo móvel (cisterna), responsável pelo armazenamento do material removido do fundo do corpo hídrico, bombas hidráulicas presentes no tubo de sucção – aspiram o solo a ser subtraído -, e uma boca de dragagem (*drag head*), que varia de acordo com o material presente na composição do solo marinho que será dragado”.

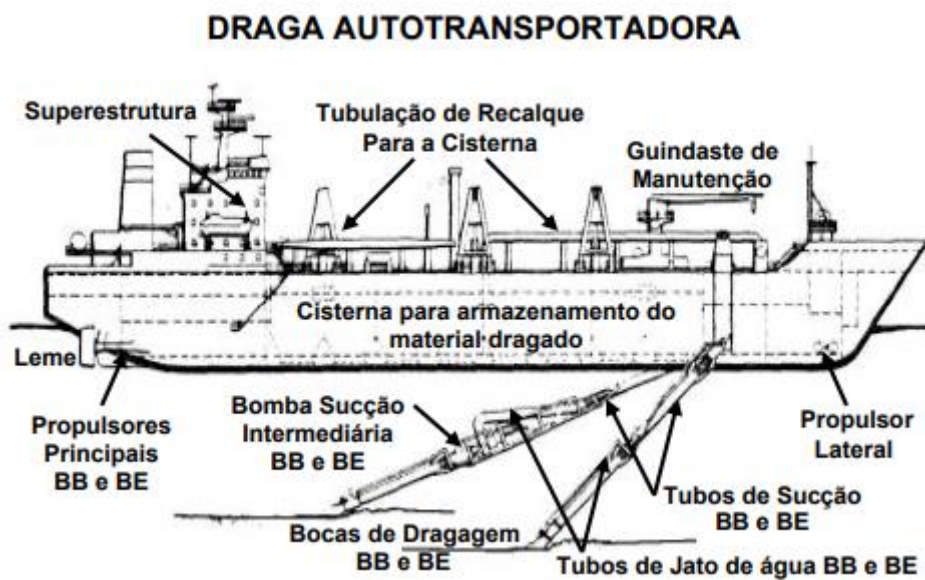


Figura 8: Ilustração do esquema operacional de uma draga autotransportadora mostrando a atuação das duas bocas e dos dois tubos de sucção durante a dragagem, dispostos em cada lado da embarcação.. Fonte:

(SOARES, 2006)

Grande quantidade de água é aspirada juntamente com o sedimento do fundo. Tendo em vista, uma maior eficiência da actividade das ATs, as cisternas possuem em sua parte superior dois vertedores, cuja função é a eliminação de material leve e o excesso de água, proporcionando o armazenamento de material sedimentado (mais denso), que gradualmente é decantado no fundo da cisterna. Após o enchimento da cisterna com um volume adequado de material sedimentado, os tubos de sucção da draga são erguidos, para em seguida ocorrer à descarga do material.

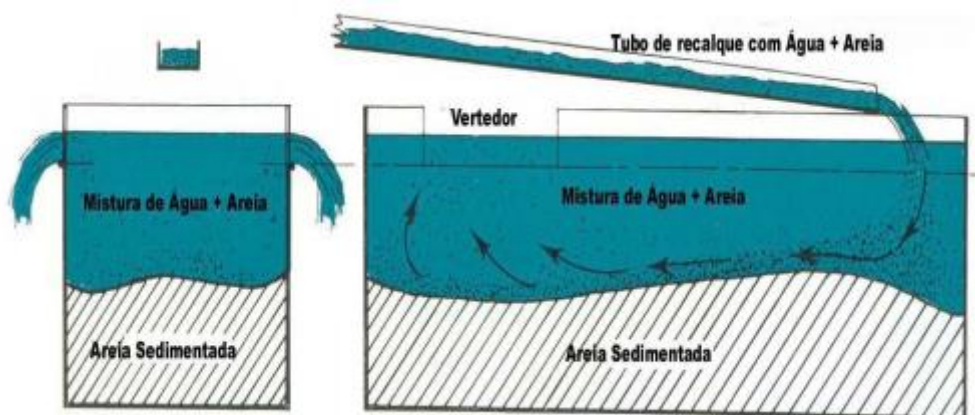


Figura 9: Seção transversal e longitudinal da cisterna de uma draga autotransportadora, mostrando seu enchimento... Fonte: (GOES FILHO, 2004)

2.2.3.8. Dragas de Sucção e Recalque com Desagregador (SR)

As dragas de sucção e recalque (*cutter suction dredges*) são, normalmente, equipamentos sem propulsão que atuam em regiões costeiras, sendo muito utilizadas em aterros hidráulicos para construção de aeroportos ou restauração de praias. Geralmente, são equipadas com um desagregador mecânico instalado na extremidade da lança de dragagem junto ao tubo de sucção, que atua por rotação desagregando o material do leito, o qual é aspirado pela bomba de dragagem. Estas dragas, como as dragas mecânicas, também são conhecidas como estacionárias e a utilização dos charutos, normalmente localizados a ré, juntamente com as lanças e âncoras de arinque, funcionam para dar apoio durante a dragagem, possibilitando o avanço e o giro da draga *swing* movimento responsável pelo ciclo de corte de dragagem, (SOARES, 2006).

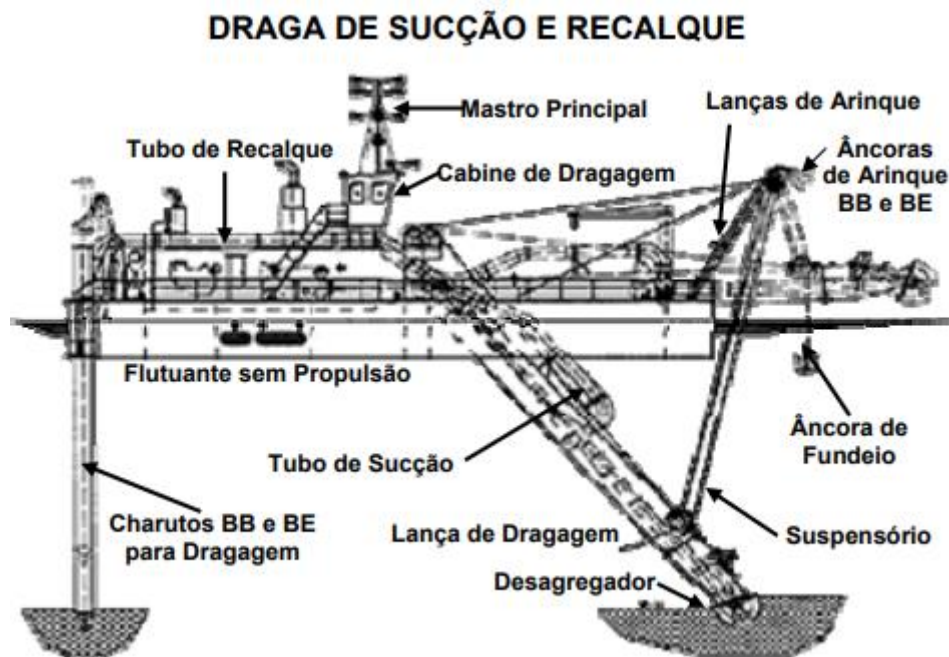


Figura 10: Esquema operacional de uma draga de sucção e recalque equipada com desagregador na extremidade da lança de dragagem, evidenciando as âncoras de arinque, responsáveis pelo movimento lateral, e os charutos de fixação, que em conjunto possibilitam o ciclo de corte característico desse tipo de equipamento. Fonte: (GOES FILHO, 2004)

2.3. Fundamentos de corrosão

A corrosão é definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos. A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso, (GENTIL, Corrosão, 1996).

2.3.1. Importância da corrosão

Os problemas de corrosão são bastante comuns e manifestam-se nas mais diversas áreas, como nas indústrias química, petrolífera, petroquímica, naval, da construção civil, automotiva, além dos meios de transporte aéreo, ferroviário, marítimo e rodoviário. Também se fazem presentes nos sistemas de comunicação, como as telecomunicações, bem como em áreas da saúde, a exemplo da odontologia (em restaurações metálicas e próteses) e da medicina (em aplicações ortopédicas). Além disso, obras de arte, como monumentos e esculturas, também estão sujeitas a esse fenômeno, (GENTIL, Corrosão, 1996).

As perdas econômicas resultantes da corrosão nessas atividades podem ser classificadas em diretas e indiretas.

São perdas diretas:

- a) Os custos de substituição das peças ou equipamentos que sofreram corrosão, incluindo-se energia e mão-de-obra;
- b) Os custos e a manutenção dos processos de proteção (proteção catódica, recobrimentos, pinturas, etc.).

As perdas indiretas são mais difíceis de avaliar, mas um breve exame das perdas típicas dessa espécie conduz à conclusão de que podem totalizar custos mais elevados que as perdas diretas e nem sempre podem ser quantificados. São perdas indiretas:

- a) Paralisações acidentais:
 - Para a limpeza de permutadores de calor ou caldeiras;
 - Para a substituição de um tubo corroído, o que pode custar relativamente pouco, mas a parada da unidade pode representar grandes custos no valor da produção;
- b) Perda de produto, como perdas de óleo, soluções, gás ou água através de tubulações corroídas até se fazer o reparo;
- c) Perda de eficiência:
 - Diminuição da transferência de calor através de produtos de corrosão em trocadores de calor;
 - Nos motores automotivos, os anéis de segmentos dos pistões e as paredes dos cilindros são continuamente corroídos pelos gases de combustão e condensados. A perda das dimensões críticas faz com que haja um excesso de consumo de óleo e gasolina, quase igual ou maior do que o causado pelo desgaste natural devido ao uso;
 - Incrustações nas superfícies de aquecimento de caldeiras ocasionam aumento no consumo de combustível: incrustações de baixa condutividade térmica e elevada espessura provocam baixa transferência de calor, ocasionando queda na eficiência da caldeira com conseqüente aumento no consumo de combustível;
 - Entupimento ou perda de carga em tubulações de água, obrigando a custo mais elevado de bombeamento, devido a deposição de produtos de corrosão;

2.3.2. Classificação da corrosão

Segundo (ROSA, 2018), “A corrosão pode-se classificar segundo o meio em que estes fenômenos ocorrem e segundo a sua morfologia. Na continuação são apresentadas as classificações e suas definições”.

2.3.2.1. Segundo o meio

Segundo (ROSA, 2018) ,“A corrosão pode se classificar segundo o meio em corrosão química ou eletroquímica podem do ser:

- a) **Corrosão química:** São os casos em que o metal reage com um meio não iônico como, no caso de oxidação ao ar a alta temperatura.

- b) **Corrosão eletroquímica:** É a corrosão que ocorre na presença de íons metálicos. No entanto, neste tipo de corrosão ocorre um transporte simultâneo de eletricidade através de um eletrólito. Neste grupo estão incluídas a corrosão em soluções salinas e água do mar, a corrosão atmosférica, e a corrosão em solos.

2.3.2.2. Segundo a morfologia

No que diz respeito a morfologia, a corrosão pode ser classificada como: uniforme, pite, intergranular, filiforme, por esfoliação, ataque por hidrogênio. Representações destes tipos de podem ser observadas na Figura 11. As definições de cada uma das classificações são apresentadas a seguir.

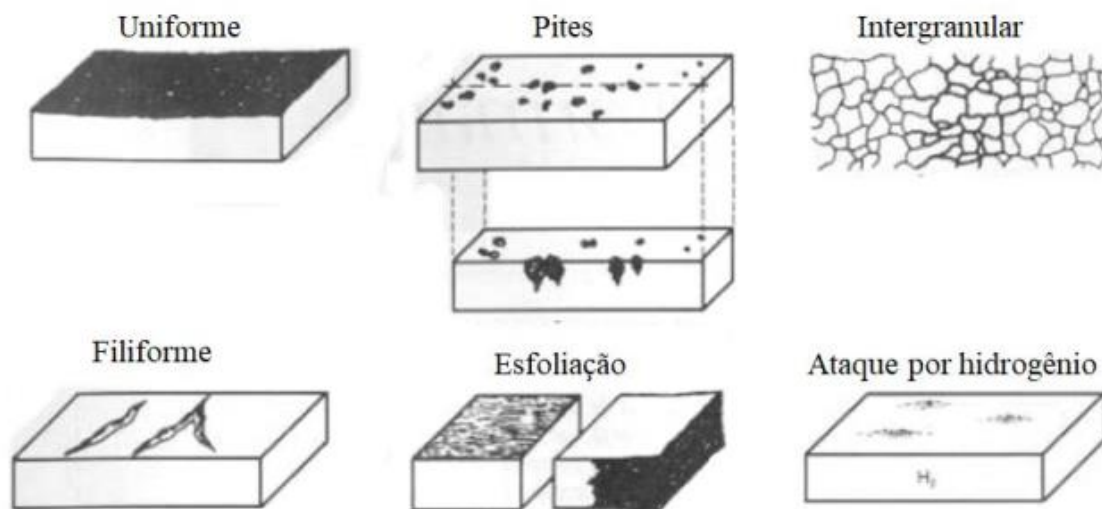


Figura 11: Alguns tipos de corrosão segundo a morfologia. Fonte: (ROSA, 2018)

a) Corrosão uniforme

Segundo (GENTIL, Corrosão, 1996), “A corrosão se processa em toda a extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme de espessura. É chamada, por alguns, de corrosão generalizada, mas essa terminologia não deve ser usada só para corrosão uniforme pois pode-se ter, também, corrosão por pite ou alveolar generalizadas, isto é, em toda a extensão da superfície corroída”.

b) Corrosão intergranular

A corrosão intergranular, como o próprio nome indica, desenvolve-se preferencialmente ao longo dos contornos de grão em determinadas ligas metálicas, quando expostas a ambientes específicos. O resultado desse processo é a deterioração macroscópica do material, que se fragmenta ao longo desses contornos. Esse fenômeno é particularmente comum em alguns tipos de aços inoxidáveis. Quando esses aços são submetidos a temperaturas entre 500°C e 800°C (950°F a 1450°F) por tempo suficientemente longo, tornam-se suscetíveis ao ataque intergranular. Nessa faixa térmica, ocorre a precipitação de partículas de carbeto de cromo (Cr_{23}C_6), formadas pela reação entre o cromo e o carbono presentes na liga. Esses precipitados concentram-se ao longo dos contornos de grão (Figura 12), pois tanto o cromo quanto o carbono difundem-se até essas regiões para reagir. Como consequência, forma-se uma zona empobrecida em cromo adjacente ao contorno de grão, a qual apresenta alta vulnerabilidade à corrosão (CALLISTER & RETHWISCH, 2016).



Figura 12: Ilustração esquemática de partículas de carbeto de cromo que se precipitaram ao longo dos contornos de grão no aço inoxidável, e as respectivas zonas exauridas de cromo. Fonte: (CALLISTER & RETHWISCH, 2016)

Esse problema é especialmente crítico em processos de soldagem de aços inoxidáveis, sendo, por isso, muitas vezes denominado corrosão associada ao cordão de solda (Figura 13).

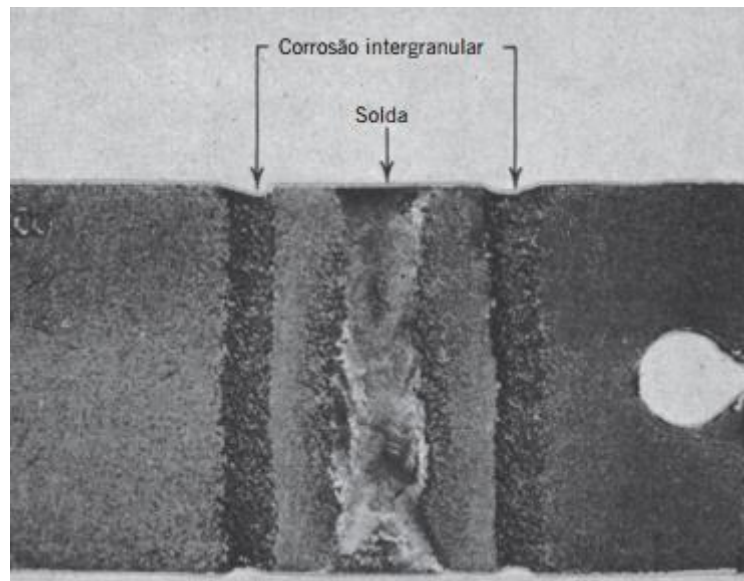


Figura 13: Corrosão em torno do cordão de solda em um aço inoxidável. As regiões ao longo das quais as ranhuras se formaram foram sensibilizadas conforme a solda esfriava. Fonte: (CALLISTER & RETHWISCH, 2016)

c) Corrosão por pites (*Pitting*)

Segundo (CALLISTER & RETHWISCH, 2016), “A corrosão por pites é outra forma muito localizada de ataque corrosivo, na qual pequenos pites ou buracos se formam. Ordinariamente, eles penetram a partir do topo de uma superfície horizontal para o interior do material, em uma direção quase vertical. Esse é um tipo de corrosão extremamente traiçoeiro, que com muita frequência permanece sem ser detectado e acarreta uma perda de material muito pequena até ocorrer a falha. Um exemplo de corrosão por pites está ilustrado na Figura 14”.

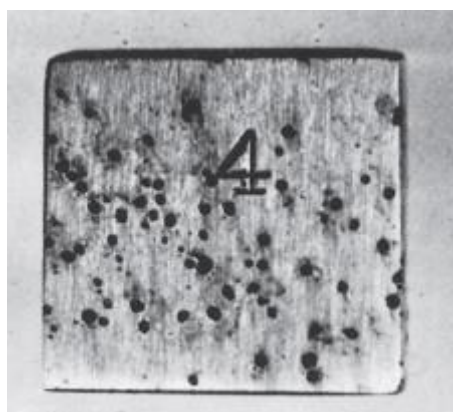


Figura 14: Pites em uma chapa de aço inoxidável 304 causados por uma solução contendo ácido e cloreto. Fonte: (CALLISTER & RETHWISCH, 2016)

d) Corrosão filiforme

Segundo (GENTIL, Corrosão, 1996), “A corrosão se processa sob a forma de finos filamentos, mas não profundos, que se propagam em diferentes direções e que não se ultrapassam, pois admite-se que o produto de corrosão, em estado coloidal, apresenta carga positiva, daí a repulsão. Ocorre geralmente em superfícies metálicas revestidas com tintas ou com metais, ocasionando o deslocamento do revestimento. Tem sido observada mais frequentemente quando a umidade relativa do ar é maior que 85% e em revestimentos mais permeáveis a penetração de oxigênio e água ou apresentando falhas, como riscos, ou em regiões de arestas”.

e) Corrosão por esfoliação

Segundo (GENTIL, Corrosão, 1996), “A corrosão se processa de forma paralela a superfície metálica. Ocorre em chapas ou componentes extrudados que tiveram seus grãos alongados e achatados, criando condições para que inclusões ou segregações, presentes no material, sejam transformadas, devido ao trabalho mecânico, em plaquetas alongadas”.

f) Corrosão por hidrogênio

O hidrogênio em estado atômico apresenta elevada capacidade de difusão em materiais metálicos. Quando gerado na superfície, ele migra para o interior e tende a acumular-se em descontinuidades já existentes, como laminações ou inclusões não metálicas. Esse hidrogênio pode ter diferentes origens, resultando, por exemplo, da decomposição da água de cristalização presente em alguns tipos de revestimento de eletrodos utilizados em processos de soldagem, de determinadas reações de corrosão ou, ainda, da exposição a atmosferas ricas em hidrogênio, entre outros mecanismos. Uma vez difundido, o hidrogênio pode combinar-se com outros átomos de hidrogênio ou até mesmo com átomos de carbono, passando do estado atômico para o molecular (H_2). Essa transformação gera uma expansão volumétrica associada à formação das moléculas, o que provoca o aparecimento de elevadas pressões internas nas regiões defeituosas do material, favorecendo o surgimento e a propagação de falhas estruturais (ROSA, 2018).

g) corrosão galvânica

A corrosão galvânica ocorre quando dois metais com composições diferentes são acoplados eletricamente enquanto são expostos a um eletrólito, com isso o metal menos nobre, ou mais reativo em um determinado ambiente sofrerá corrosão, o material mais inerte, o catodo será protegido contra a corrosão (CALLISTER & RETHWISCH, 2016). Por exemplo, parafusos de aço corroem quando em contato com o latão em um ambiente marinho; ou, se tubulações de cobre e de aço são unidas em um aquecedor de água doméstico, o aço corroerá na vizinhança da junção.

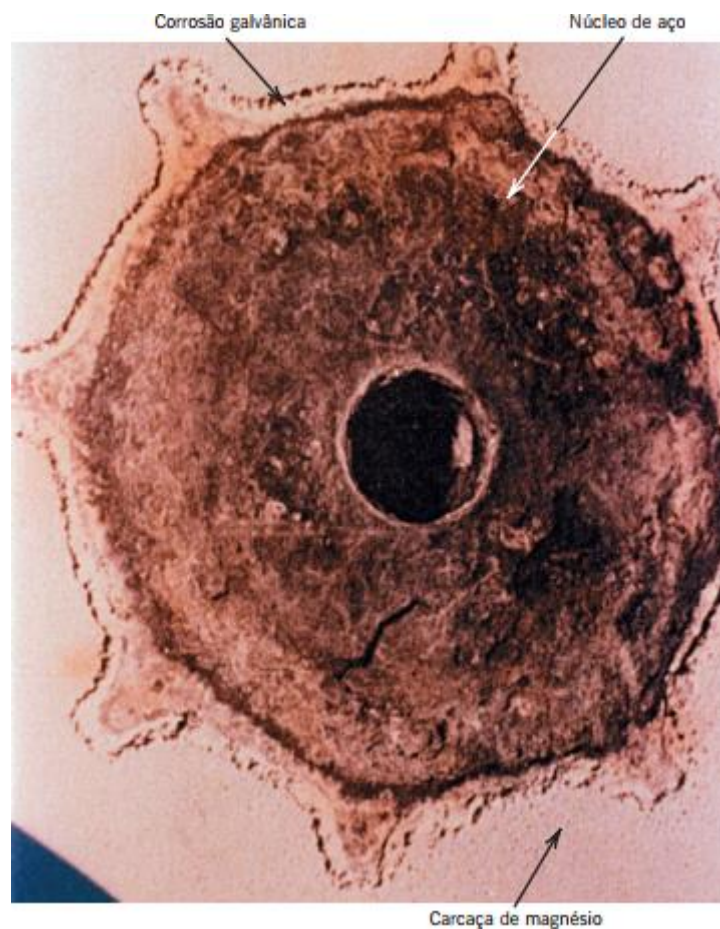


Figura 15: Fotografia que mostra a corrosão galvânica ao redor da entrada de uma bomba de drenagem de estágio simples encontrada em embarcações pesqueiras. A corrosão ocorreu entre uma carcaça de magnésio que foi fundida ao redor de um núcleo de aço.. Fonte: (CALLISTER & RETHWISCH, 2016)

2.3.3. Formas de proteção contra a corrosão

Nem a corrosão nem o seu controle podem ser analisados de forma isolada, uma vez que o entendimento de um implica necessariamente o estudo do outro. Isso ocorre porque o próprio mecanismo de corrosão fornece indícios e orientações sobre os métodos mais adequados para combater o processo corrosivo. Assim, ao investigar um fenômeno de corrosão, é fundamental considerar tanto as variáveis relacionadas ao material metálico quanto aquelas associadas ao meio corrosivo e à forma como este é aplicado.

A ocorrência da corrosão eletroquímica exige a presença simultânea de três componentes fundamentais: o metal, o eletrólito e o oxigênio. Dessa forma, a eliminação de qualquer um desses elementos impede o desenvolvimento do processo corrosivo. Com base nesse princípio, estruturam-se os principais métodos de proteção contra a corrosão, que incluem a desaeração do eletrólito, a redução ou eliminação da umidade do ar, a adição de inibidores capazes de remover o oxigênio livre presente no eletrólito, além da aplicação de revestimentos orgânicos ou inorgânicos. Esses métodos atuam como barreiras protetoras, isolando o metal do contato com o eletrólito, com o oxigênio ou com ambos (LUZ, 2018).

Quando aplicados de maneira adequada, conseguem impedir de forma eficaz a ocorrência da corrosão electroquímica.

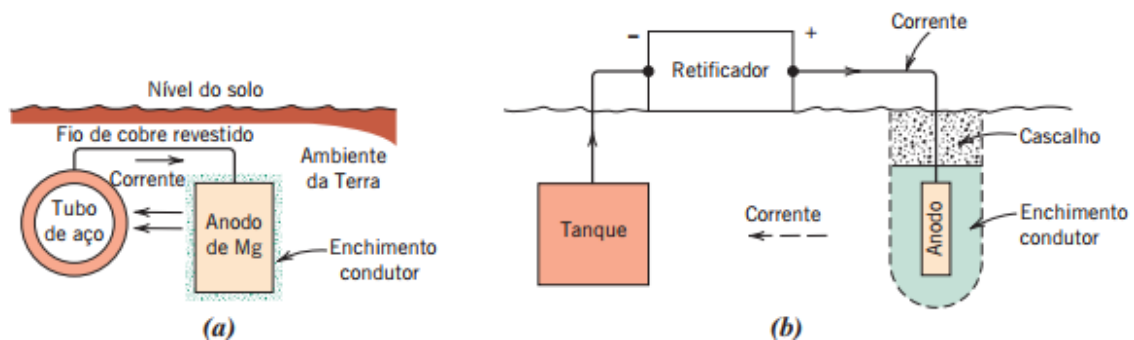


Figura 15: Proteção catódica (a) de uma tubulação subterrânea usando um anodo de sacrifício de magnésio e (b) um tanque subterrâneo usando uma corrente impressa. Fonte: (CALLISTER & RETHWISCH, 2016)

Segundo (CALLISTER & RETHWISCH, 2016), “Os inibidores são substâncias que, quando adicionadas ao ambiente em concentrações relativamente baixas, diminuem sua corrosividade. O inibidor específico depende tanto da liga quanto do ambiente corrosivo. Vários mecanismos podem ser responsáveis pela eficácia dos inibidores. Alguns reagem e virtualmente eliminam uma espécie quimicamente ativa presente na solução (tal como o oxigênio dissolvido)”.

a) Proteção catódica

Segundo (CALLISTER & RETHWISCH, 2016), “Um dos meios mais eficazes para a prevenção da corrosão é a proteção catódica; ela pode ser usada para prevenir todas as oito diferentes formas de corrosão discutidas anteriormente e pode, em algumas situações, interromper por completo a corrosão”.

A proteção catódica consiste basicamente no fornecimento de elétrons, a partir de uma fonte externa, para o metal que se deseja proteger, de modo a transformá-lo em cátodo. Com isso, a reação de oxidação, que naturalmente ocorreria, é forçada a seguir no sentido inverso, ou seja, na direção da redução. Uma das técnicas mais utilizadas nesse processo é a formação de um par galvânico, no qual o metal a ser protegido é conectado eletricamente a outro metal mais reativo no ambiente em questão. Esse metal mais ativo sofre oxidação e, ao ceder elétrons, garante a proteção do primeiro contra a corrosão. O metal que se sacrifica nesse processo recebe a denominação de ânodo de sacrifício, sendo o magnésio e o zinco exemplos comuns, por estarem localizados na extremidade anódica da série galvânica. Esse método de proteção galvânica é amplamente empregado em estruturas enterradas no solo, como ilustrado na Figura 15.

b) Proteção anódica

Segundo (LUZ, 2018), “Este tipo de proteção contra a corrosão surgiu em 1954, e o seu funcionamento se dá através da formação de um filme de óxido protetor por aplicação de corrente anódica externa, que possibilite a passivação do material metálico”.

A aplicação da proteção 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 de óxido. Este tipo de proteção só pode ser aplicada a metais ou ligas que se passivem, com o ferro, níquel, cromo e respectivas ligas, e não pode ser aplicada para zinco, prata e cobre. Com esta proteção a corrente inicialmente aplicada é elevada, porém é pequena para manter a passividade o que limita o uso deste método em meios muito agressivos e também as condições de operação na proteção anódica são bem definidas por medições eletroquímicas.

2.3.3.1. Inibidores de Corrosão

Os inibidores de corrosão são substâncias químicas adicionadas a um meio corrosivo com o objectivo de reduzir a velocidade do ataque ao metal. Eles atuam formando uma barreira

física ou química que dificulta a reação eletroquímica entre o metal, o eletrólito e o oxigênio. Por sua versatilidade, representam uma das estratégias mais econômicas e eficazes no controle da corrosão, tanto em sistemas industriais quanto em aplicações temporárias de proteção (GENTIL, Corrosão, 1996).

2.4. Monitoramento da corrosão

Segundo, (GENTIL, Corrosão, 2017), “O monitoramento da corrosão pode ser definido como uma forma sistemática de medição da corrosão ou da degradação de um determinado componente de um equipamento, com o objetivo de auxiliar a compreensão do processo corrosivo e/ou obter informações úteis para o controle da corrosão e das suas consequências”. Implícita a essa definição está a ideia de que as técnicas de monitoramento possuem a capacidade de detectar alterações no comportamento de materiais e componentes frente à corrosão, além de possibilitar a medição, em tempo real, das variações na taxa de corrosão. As informações obtidas podem ser devidamente tratadas e utilizadas para subsidiar as decisões das equipes de manutenção e engenharia de corrosão das unidades de produção. Esses dados também permitem identificar aspectos relevantes da actividade química incluindo a corrosividade e da actividade biológica dos fluidos e águas de processo. Os métodos de monitoramento são igualmente capazes de gerar informações que possibilitam estabelecer correlações entre a cinética da corrosão e variáveis de processo, como pH, temperatura e vazão, quando essas variáveis estão disponíveis ou podem ser monitoradas em laboratório e em campo. Tais informações são fundamentais para diagnosticar problemas de corrosão e otimizar estratégias de controle, como, por exemplo, o uso de inibidores.

O monitoramento da corrosão encontra sua aplicação mais nobre e avançada em instalações e equipamentos de grande responsabilidade operacional, nos quais se exige um elevado nível de controle. Nesses casos, o monitoramento é considerado uma ferramenta essencial dentro do programa de gestão da corrosão, pois permite obter informações relevantes sobre a evolução do processo corrosivo e acompanhar de forma sistemática os parâmetros operacionais envolvidos. Entre esses parâmetros destacam-se a composição química da carga ou do meio corrosivo, a temperatura do processo e o teor de contaminantes, factores directamente associados ao aumento da agressividade corrosiva.

Para esse fim, empregam-se sistemas de monitoramento on-line, que possibilitam tanto o acompanhamento da cinética do processo corrosivo por meio de sondas de corrosão quanto o controle contínuo das principais variáveis operacionais, como ocorre com o uso de medidores on-line de pH (GENTIL, Corrosão, 2017). A análise integrada desses dados permite identificar alterações capazes de reduzir significativamente a intensidade da corrosão, mantendo-a sob controle efetivo. Esse acompanhamento é viabilizado por redes informatizadas de transmissão e processamento de dados, aliadas a recursos computacionais que garantem maior precisão e rapidez no diagnóstico e na tomada de decisão.

Segundo (GENTIL, Corrosão, 2017), Um programa de monitoramento de corrosão pode ser empregado com vários objectivos, podendo-se destacar os seguintes:

- Caracterização da natureza do ataque corrosivo;
- Determinação da taxa de corrosão;
- Avaliação dos procedimentos de prevenção e controle da corrosão eventualmente adotados, como, por exemplo, a seleção de tratamentos químicos mais adequados, a caracterização da eficiência e da dosagem ótima de inibidores;
- Análise de falhas decorrentes de problemas de corrosão e diagnóstico *online* sobre o “estado” da superfície em contato com o meio corrosivo;
- Auxílio no desenvolvimento de novas formas de controle da corrosão e de pesquisa de natureza tecnológica na área de corrosão e proteção;
- Execução de testes e ensaios de avaliação do comportamento de materiais, inibidores, revestimentos etc., tanto em campo como em bancada de laboratório.

2.4.1. Tipos de métodos de monitoramento de corrosão

Segundo (GENTIL, Corrosão, 1996), Os métodos de monitoramento podem ser classificados em:

a) Métodos não destrutivos

Foram propositadamente colocados em primeiro plano, uma vez que são indispensáveis para indicar a presença de ataque, fissuras, trincas, reduções de espessura de parede, defeitos internos, vazamentos, porosidades e outras formas de dano. São empregados por

ocasião das paradas ou com equipamentos em operação; alguns ensaios, como os de emissão acústica, já se encontram disponíveis para utilização em tempo real.

b) Métodos analíticos

São essencialmente complementares aos de engenharia de corrosão e não menos importantes. São extremamente úteis para os casos de corrosão controlados por parâmetros de meio, como, por exemplo, a corrosão em águas ácidas contaminadas por H₂S, em que o pH, a concentração de cianeto livre e a qualidade da água são as principais variáveis de controle do processo corrosivo.

c) Métodos de engenharia de corrosão

De natureza não eletroquímica, como o método dos cupons, podem ser aplicados tanto em meios aquosos como em ambientes gasosos. Já os métodos eletroquímicos tomam partido da natureza eletroquímica da maioria dos processos corrosivos, podendo ser utilizados, com sucesso, em inúmeras aplicações. Permitem, por exemplo, a caracterização do estado eletroquímico (se ativo ou passivo) do material em questão, através das medidas de potencial, bem como possibilitam a determinação, em certas circunstâncias, da velocidade instantânea de corrosão, através, por exemplo, do método da resistência de polarização, mais popularmente conhecido como método da polarização linear. Envolvem basicamente medidas de potencial e de corrente, o que possibilita, com o avanço atual da eletrônica, a captação e análise contínua dos resultados de forma *on-line*. Permitem também a detecção de alterações sensíveis na cinética do processo corrosivo, o que torna os métodos eletroquímicos extremamente atraentes para efetuar o acompanhamento *in situ* da evolução do processo corrosivo em equipamentos industriais, através de sistemas de aquisição de dados informatizados.

A seguir será apresentada uma tabela que irá fornecer uma visão, mas específica de cada método de monitoria de corrosão.

Grupo de Métodos	Técnicas	Tipo de medição
Ensaio Não Destrutivo	<ul style="list-style-type: none">• Teste ultrassônico;• Teste de correntes parasitas;• Radiografia industrial;	Direto, offline

	<ul style="list-style-type: none"> • Termografia. 	
Sistemas de monitoramento de corrosão	<ul style="list-style-type: none"> • Cupons para perda de peso; • Monitoramento de resistência elétrica; • Monitoramento do polarização linear; • Medições de penetração de hidrogênio; 	Direto, online
Química Analítica	<ul style="list-style-type: none"> • Medição de pH • Gás dissolvido (O₂, CO₂, H₂S) • Contagem de íons metálicos (Fe₂⁺, Fe₃⁺) • Análise microbiológica 	Indireto, offline
Dados operacionais	<ul style="list-style-type: none"> • pH Taxa de fluxo (velocidade) • Pressão, Temperatura 	Indireto, online

Tabela 1: Tipos de monitoria. Fonte: (VOLIRO, 2025)

2.4.1.1. Medições de espessura ultrassônicas

A biometria ultrassônica A-scan é um método eficiente para medir a espessura remanescente de materiais, permitindo detectar perdas por corrosão, erosão ou desgaste natural. Baseia-se na medição do tempo de trânsito das ondas ultrassônicas, e tecnologias como o multieco aumentam a precisão. Os medidores portáteis são leves, fáceis de usar e fornecem resultados em tempo real, favorecendo decisões rápidas. Contudo, exigem acesso direto à superfície e várias medições em grandes áreas. Em estruturas de grande porte, como tanques, torres e pontes, o processo pode ser demorado e requerer andaimes ou cordas, ocasionando paradas operacionais prolongadas (VOLIRO, 2025).

2.4.1.2. Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS)

A espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) é outro método de END amplamente utilizado para monitoramento de corrosão. Ao analisar a resistência do objeto de teste ao fluxo elétrico, é possível obter dados de alta fidelidade sobre a taxa de corrosão do ativo,

a integridade do revestimento protetor e a eficácia de diferentes sistemas de mitigação de corrosão.

2.4.1.3. Cupons para perda de peso

A técnica de perda de peso, ou cupons de corrosão, consiste em expor amostras metálicas ao ambiente operacional e avaliar a perda de massa após determinado período (geralmente 90 dias). O método fornece uma taxa média de corrosão e permite identificar diferentes formas de ataque, como corrosão uniforme, por pites, frestas, galvânica, por erosão e microbiologicamente influenciada. É uma técnica simples e eficaz para estimar o desempenho de materiais em serviço, mas apresenta limitações: gera resultados lentos (até quatro vezes ao ano) e pode não indicar alterações em ambientes pouco agressivos. Por isso, é frequentemente utilizada em conjunto com métodos mais sensíveis, como resistência elétrica (ER) e resistência de polarização linear (LPR), (VOLIRO, 2025).

2.4.1.4. Monitoramento de Resistência Elétrica

A técnica de resistência elétrica (ER) é um método de monitoramento on-line que mede a taxa de corrosão e a perda total de metal em equipamentos e estruturas. É aplicável a praticamente todos os ambientes, sendo especialmente eficaz em meios com eletrólitos pobres ou descontínuos, como vapores, gases, solos e hidrocarbonetos húmidos. Suas aplicações incluem sistemas de petróleo e gás, refinarias, dutos enterrados, sistemas de água de alimentação, chaminés e estruturas arquitetônicas. O sistema consiste em uma sonda com sensor metálico semelhante ao do equipamento monitorado, conectada a um instrumento que pode operar de forma contínua ou portátil, permitindo coleta de dados em tempo real ou periódica.

A técnica de resistência elétrica (ER) baseia-se no fato de que a resistência de um elemento metálico é dada pela relação entre o seu comprimento (L), a área da seção transversal (A) e a resistividade elétrica do material (ρ). A resistência elétrica de um elemento metálico ou de liga é dada por:

$$R = r \frac{L}{A} \quad (1)$$

Quando ocorre corrosão, há redução da área da seção transversal, o que provoca um aumento proporcional na resistência elétrica do elemento. Na prática, o monitoramento é realizado por meio de sondas ER que possuem dois elementos: um exposto, diretamente em contato com o meio corrosivo, e outro de referência, selado no corpo da sonda e

protegido contra corrosão. A comparação contínua entre a resistência do elemento exposto e do elemento de referência permite determinar a taxa de corrosão de forma precisa e em tempo real. A medição da relação de resistência do elemento exposto ao elemento protegido é feita conforme mostrado na Figura 1.

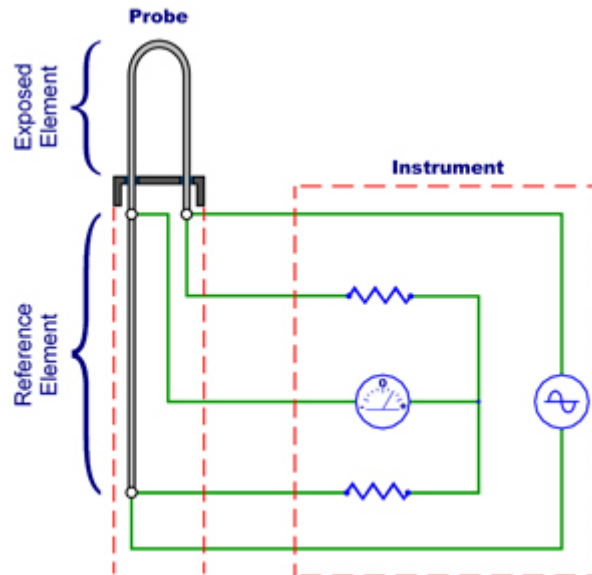


Figura 16: Sonda/Instrumento. Fonte: (Metal Samples, 2025)

2.4.1.5. Monitoramento de Resistência de Polarização Linear (LPR)

A técnica de resistência de polarização linear (LPR) mede a taxa de corrosão por meio da aplicação de um pequeno potencial de polarização (cerca de 10 mV) e da análise da corrente necessária para mantê-lo. Com base na equação de Tafel, é possível estimar a corrosão em unidades como mm/ano ou mpy. Diferentemente dos cupons de perda de peso e das sondas de resistência elétrica (ER), o LPR fornece medições instantâneas e é altamente sensível a processos iniciais de corrosão, sendo amplamente utilizado em tanques, vasos de pressão, dutos e na avaliação da eficácia de revestimentos protetores. Contudo, apresenta limitações, pois só é confiável em ambientes aquosos e relativamente limpos, podendo gerar leituras imprecisas em meios com emulsões ou gases, devido à incrustação dos eletrodos (VOLIRO, 2025).

2.4.1.6. Monitoramento Galvânico

O monitoramento galvânico também utiliza os princípios da química elétrica para medir a diferença nos potenciais eletroquímicos de dois metais diferentes (um ânodo e um cátodo) colocados em um eletrólito (por exemplo, água ou água do mar). A sonda de

monitoramento medirá a corrente elétrica gerada como parte da reação, indicativa da taxa de corrosão (VOLIRO, 2025).

O monitoramento galvânico ajuda a estimar a velocidade da corrosão em metais mais vulneráveis. Portanto, é frequentemente usado para monitorar:

- Corrosão bimetalica (por exemplo, aço e cobre)
- Ataques de fendas e corrosão
- Trincas assistidas por corrosão
- Taxas de decaimento de solda

É frequentemente utilizado em navios, plataformas de petróleo offshore e oleodutos submersos, onde a água do mar atua como um eletrólito contínuo. Da mesma forma, é um bom método de monitoramento de corrosão para sistemas de oleodutos com proteção catódica, caldeiras industriais contendo água doce e diversos tanques de armazenamento metálicos.

Semelhante ao LPR, o monitoramento galvânico fornece dados em tempo real sobre as taxas de corrosão. No entanto, os sistemas galvânicos não exigem calibração frequente, facilitando sua manutenção em campo. No entanto, factores como níveis de salinidade e temperatura podem influenciar a corrente galvânica, levando a medições imprecisas.

2.4.1.7. Monitoramento visual

O monitoramento visual continua sendo uma prática amplamente utilizada em grandes infraestruturas, sobretudo quando a instalação de sensores de LPR ou ER não é viável técnica ou economicamente. Esse método permite identificar sinais visíveis de corrosão, como ferrugem, pites, trincas, descoloração e falhas iniciais em revestimentos protetores. O uso de drones equipados com câmeras HD tem ampliado a eficácia da inspeção, especialmente em activos de difícil acesso, como torres, tubulações, chaminés e plataformas offshore. A principal vantagem é a rapidez e o baixo custo, permitindo inspecionar grandes áreas em pouco tempo sem a necessidade de andaimes ou içamentos. Entretanto, as imagens podem ser inconclusivas, exigindo medições complementares ou processamento adicional para confirmar a extensão da corrosão.

2.5. Manutenção

Sistemas de produção industriais estão sujeitos à deterioração em consequência do uso e vida útil. Essa deterioração pode levar ao aumento dos custos de produção, menor qualidade e a possibilidade de um acidente. Portanto um processo de manutenção é importante para reduzir a probabilidade dessas ocorrências

2.5.1. Conceito moderno de manutenção

Há até bem pouco tempo, o conceito predominante era de que a Missão da Manutenção era a de restabelecer as condições originais dos equipamentos/sistemas. Hoje, a Missão da Manutenção é:

Segundo (KARDEC & NASCIF, 2001), “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequados”.

2.5.2. Tipos de manutenção

Segundo (KARDEC & NASCIF, 2001), algumas práticas básicas definem os tipos principais de manutenção que são:

- Manutenção Corretiva Não Planejada;
- Manutenção Corretiva Planejada;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Manutenção Detectiva;
- Engenharia de Manutenção;

2.5.3. Manutenção Corretiva

A **manutenção corretiva** consiste na atuação destinada a corrigir falhas ou restaurar o desempenho de equipamentos e sistemas que passaram a operar abaixo do esperado. Trata-se da intervenção realizada quando um defeito é identificado ou quando o equipamento apresenta desempenho insatisfatório. Importa destacar que a manutenção corretiva não deve ser confundida com manutenção de emergência, embora esta possa ocorrer como um de seus desdobramentos (KARDEC & NASCIF, 2001).

Existem duas condições principais que levam à necessidade de manutenção corretiva:

1. Desempenho deficiente, identificado por meio do acompanhamento das variáveis operacionais.
2. Ocorrência efetiva de falha, que interrompe parcial ou totalmente o funcionamento do equipamento.

O objetivo central da manutenção corretiva é corrigir ou restaurar as condições de operação, garantindo que o equipamento volte a desempenhar suas funções dentro dos parâmetros aceitáveis.

A manutenção corretiva pode ser classificada em duas categorias:

- **Manutenção Corretiva Não Planejada:** ocorre de forma aleatória, após a manifestação inesperada de falhas. Nesses casos, não há tempo para preparação adequada, o que frequentemente resulta em custos elevados, paradas não programadas, perdas de produção e impacto negativo na qualidade do produto. Apesar de suas desvantagens, ainda é amplamente praticada em muitos setores industriais.
- **Manutenção Corretiva Planejada:** refere-se à intervenção programada com base em falhas conhecidas ou previamente detectadas. Nesse caso, há tempo para preparar recursos, peças e mão de obra, minimizando custos e impactos negativos na operação.

2.5.4. Manutenção preventiva

Segundo (KARDEC & NASCIF, 2001), “Manutenção Preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo”.

A manutenção preventiva tem como objetivo antecipar e evitar falhas, sendo obrigatória em setores críticos, como a aviação, onde a segurança é prioritária. Sua implementação exige definir periodicidade e substituição de componentes com base não apenas em recomendações de fabricantes, mas também nas condições operacionais e ambientais específicas de cada instalação. Na prática, podem ocorrer dois cenários: falhas antes do prazo estimado para a intervenção ou substituições prematuras de componentes. Além disso, mesmo em planos preventivos, não se pode descartar a possibilidade de falhas entre intervalos de manutenção, o que pode demandar ações corretivas.

2.5.5. Manutenção preditiva

A manutenção preditiva, também chamada de manutenção sob condição, consiste em acompanhar parâmetros de desempenho para prever falhas e intervir somente quando o equipamento atinge limites pré-estabelecidos de degradação. Representa uma mudança de paradigma na gestão da manutenção, pois privilegia a disponibilidade, já que as medições são realizadas com os equipamentos em operação (KARDEC & NASCIF, 2001).

Esse tipo de manutenção permite preparar previamente os serviços e decisões operacionais, configurando-se, na prática, como uma forma de manutenção corretiva planejada. Para sua aplicação, é necessário que os sistemas permitam monitoramento confiável, que os custos sejam justificáveis e que as falhas possam ser acompanhadas em sua progressão.

Entre as vantagens estão a redução de falhas inesperadas, o aumento da segurança operacional, a diminuição de acidentes e a otimização dos custos de manutenção, evitando intervenções desnecessárias. Embora a instalação de sistemas de monitoramento contínuo on-line apresente custo inicial elevado (cerca de 1% do capital do equipamento), o retorno é favorável, com relação custo/benefício estimada em 1/5. Assim, a manutenção preditiva oferece os melhores resultados em termos de disponibilidade e continuidade da produção, minimizando paradas não programadas e perdas associadas.

2.5.6. Manutenção detectiva

A manutenção detectiva, mencionada na literatura a partir da década de 1990, consiste em ações voltadas para identificar falhas ocultas em sistemas de proteção que não são perceptíveis aos operadores ou equipes de manutenção. Seu objectivo é garantir a confiabilidade operacional, assegurando que dispositivos de segurança, como alarmes, sinalizações e sistemas de desligamento automático (*shutdown* ou *trip*), estejam sempre em funcionamento (KARDEC & NASCIF, 2001). Essa prática envolve testes periódicos, como o acionamento de botões de verificação em painéis de alarme, e deve ser realizada por profissionais qualificados, devido à complexidade dos sistemas. Com o avanço da automação industrial e a crescente utilização de controladores lógicos programáveis (CLPs), sistemas digitais de controle distribuído (SDCD) e arquiteturas supervisórias, a manutenção detectiva ganhou ainda mais relevância, tornando-se essencial em plantas industriais modernas para preservar a segurança e evitar falhas catastróficas.

CAPÍTULO III – CONTEXTUALIZAÇÃO

3. Contextualização

Neste capítulo procede-se à contextualização geral do trabalho de fim de curso, apresentando, numa primeira fase, a Emodraga – Empresa Moçambicana de Dragagens, E.P., o presente trabalho de fim de curso surge no âmbito do estágio curricular realizado na EMODRAGA, E.P. – Empresa Moçambicana de Dragagens, entidade responsável por garantir o acesso e a navegabilidade nos portos e canais do país. Durante as operações de dragagem, as embarcações estão constantemente expostas a ambientes marinhos agressivos, o que acelera processos de corrosão em suas estruturas metálicas. A corrosão representa um dos maiores desafios para a durabilidade e segurança operacional das dragas, afetando diretamente o desempenho dos equipamentos e a eficiência das actividades da empresa.

As estruturas metálicas das dragas, como o casco, tubulações, bombas, válvulas e componentes da casa de máquinas, constituem o esqueleto funcional e estrutural dessas embarcações. Elas são responsáveis por garantir a integridade física da draga, suportar esforços mecânicos, vibrações e pressões hidrodinâmicas, além de proporcionar resistência e estabilidade durante as operações de dragagem. No entanto, devido à interação contínua com a água salgada, humidade e variações térmicas, essas estruturas tornam-se vulneráveis à degradação eletroquímica, comprometendo sua funcionalidade e reduzindo a vida útil do activo.

Nesse contexto, o monitoramento da corrosão assume papel estratégico na gestão da manutenção industrial, pois permite detectar precocemente os danos estruturais, evitando falhas catastróficas, paragens não programadas e custos elevados com reparações. O desenvolvimento de um sistema de monitoramento combinado utilizando técnicas online e offline visa fornecer dados contínuos e confiáveis sobre o comportamento corrosivo, permitindo que as equipas de manutenção tomem decisões baseadas em condições reais de operação.

Assim, a proposta deste trabalho está alinhada com as necessidades práticas da EMODRAGA, que busca modernizar as suas estratégias de manutenção e garantir maior confiabilidade às suas dragas, como a Draga Aruangwa, cuja operação é fundamental para o bom funcionamento dos portos nacionais. Além de sua relevância técnica, o estudo

contribui academicamente ao demonstrar a aplicação de conceitos de engenharia mecânica, ciência dos materiais e instrumentação industrial no desenvolvimento de soluções de monitoramento adaptadas ao ambiente marítimo moçambicano.

Portanto, o desenvolvimento de um sistema de monitoramento da corrosão em estruturas metálicas não apenas reforça a importância da preservação dos activos navais, mas também promove uma abordagem sustentável e preventiva na manutenção, assegurando a eficiência operacional, a segurança estrutural e a redução de custos ao longo do ciclo de vida das embarcações da EMODRAGA.

3.1. Apresentação da empresa

A EMODRAGA, E.P - Empresa Moçambicana de Dragagens, é uma empresa constituída como Empresa Pública em 1994, ao abrigo do Decreto N° 38/94 de 13 de Setembro. Tem a sua sede na Beira e pode exercer a sua função em todo o território nacional. Contando com mais de 25 anos de experiência, mais de 100 projectos executados com sucesso com qualidade excepcional, somos a empresa líder do serviço de dragagens ao nível nacional. A nossa missão diária é garantir o acesso à navegação aos portos Moçambicanos. A sua sede está localizada na rua Costa Serrão N°150/1° Andar, Beira – Sede.

3.2. Princípios da empresa

3.2.1. Missão

A nossa missão diária é garantir o acesso à navegação aos portos moçambicanos.

3.2.2. Visão

A nossa visão é a prestação de serviços de dragagem com qualidade, valorizando sempre o capital humano.

3.2.3. Valores

1. **Segurança:** A segurança virá sempre em primeiro lugar enquanto esforçamo-nos por executar projectos sem acidentes.
2. **Inovação:** A inovação é a peça-chave para otimizar o nosso trabalho. Buscamos implementar novas ideias que tornem os nossos processos mais eficientes.
3. **Dedicação:** Dedicamo-nos diariamente em fazer os nossos serviços, os melhores e mais preferidos pelos nossos clientes.

3.3. O que a EMODRAGA E.P., faz?

3.3.1. Sondagem Hidrográfica

Obtenção de dados batimétricos, maregráficos, fluvimétricos, topo-geodésicos, de ondas, correntes e outros, em áreas marítimas, fluviais, lacustres e em canais naturais ou artificiais, navegáveis.

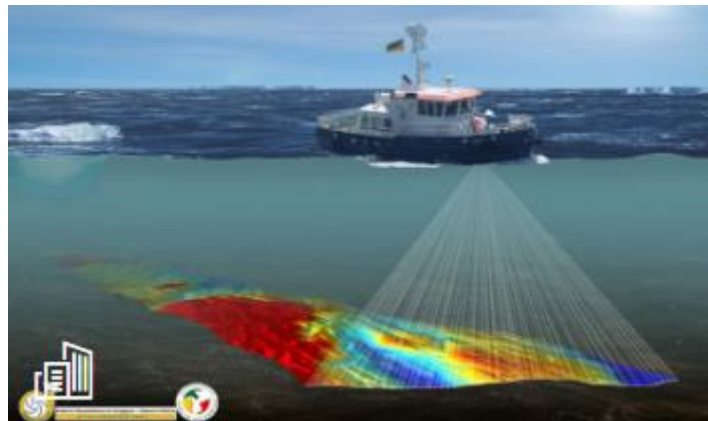


Figura 17: Sondagem hidrográfica. Fonte: (EMODRGA E.P., 2025)

3.3.2. Dragagem

Limpeza, desassoreamento, alargamento, desobstrução, remoção, derrocamento ou escavação de material do fundo de rios, lagoas, mares, baías e canais.

3.3.3. Aluguer de equipamentos

Oferecemos todos os tipos de equipamentos necessários para realizar serviços de dragagem para outras entidades.

CAPÍTULO IV – MÉTODO PROPOSTO

Para esse relatório serão usadas as técnicas de monitoramento por resistência elétrica e monitoramento visual.

4.1. Estrutura Geral do Sistema

O sistema proposto tem como finalidade o monitoramento contínuo da corrosão nas estruturas metálicas para Draga Aruangwa, integrando técnicas online (Resistência Elétrica – ER) e offline (monitoramento visual).

A arquitetura baseia-se em três etapas principais:

1. Aquisição de Dados – Coleta de sinais provenientes de sensores de corrosão (ER), sensores de processo (pressão e vazão) e dispositivos elétricos do sistema hidráulico. 2. Processamento e Análise – Tratamento e conversão dos dados em tempo real, cálculo de taxas de corrosão e geração de alarmes.

3. Geração de Relatórios – Visualização e armazenamento histórico de medições através da Interface Homem-Máquina (IHM).

O sistema será supervisionado por um Controlador Lógico Programável (PLC Siemens S7-1200), com comunicação Ethernet (Profinet/Modbus TCP) para integração futura com sistemas SCADA.

4.2. Técnica de Monitoramento da Corrosão

4.2.1. Método Online – Resistência Elétrica (ER)

A técnica de Resistência Elétrica (ER) mede a taxa de corrosão pela variação da resistência elétrica de um sensor metálico exposto ao meio corrosivo. O princípio baseia-se na relação:

$$R = \rho \times \frac{L}{A} \quad (1) \text{ onde:}$$

- R é a resistência elétrica;
- ρ é a resistividade do material;
- L é o comprimento; A é a área da secção transversal.

À medida que ocorre corrosão, há diminuição da área A, aumentando proporcionalmente a resistência R. O sistema compara a resistência de um elemento exposto e outro de referência (protegido), convertendo a variação em taxa de corrosão (%/tempo).

As sondas ER (segundo a referência Metal Samples, 2025) serão instaladas em trechos críticos da linha hidráulica, com saídas analógicas de 4–20 mA para o PLC. Cada sensor fornecerá dados contínuos sobre o nível de oxidação local.

4.2.2. Método Offline – Monitoramento Visual

O monitoramento visual será executado de forma periódica, visando complementar os dados obtidos pelas sondas ER. Serão observados sinais de corrosão como ferrugem, descoloração, bolhas, falhas em revestimentos e trincas estruturais. Os pontos de inspeção manual estarão equipados com portas de medição ultrassônica (thickness measurement ports), possibilitando verificações com medidores de espessura quando necessário.

4.2.3. Cálculo da Taxa de Corrosão

Ao medir a sonda de Resistência Elétrica (ER), o instrumento gera um sinal linearizado (S), proporcional à perda total de metal do elemento exposto (M). Esse valor depende da espessura e da geometria do sensor. No cálculo da perda de metal, fatores geométricos e dimensionais são incorporados à “vida útil da sonda” (P). Assim, a perda de metal é dada por:

$$M = \frac{(S/P)}{1000} \quad (2)$$

A perda de metal é convencionalmente expressa em mils (0,001 polegadas), da mesma forma que a espessura do elemento. A taxa de corrosão (C) é calculada a partir da variação do sinal da sonda em dois momentos distintos, segundo a expressão:

$$C = \frac{(P \times 365 \times (S_2 - S_1))}{(\Delta T \times 1000)} \quad (3)$$

Onde:

- C = taxa de corrosão (mils por ano – mpy);
- P = vida útil da sonda (mils);
- S1 = leitura inicial da sonda;
- S2 = leitura final da sonda;
- ΔT = intervalo de tempo entre as leituras (em dias).

Essa relação permite converter as leituras do sensor ER em uma taxa quantitativa de perda metálica anual, servindo como base para o acompanhamento preditivo e correlação com inspeções visuais (Metal Samples, 2025).

4.3. Instrumentação e Automação

O sistema conta com sensores de corrosão, pressão, vazão, detectores de vazamento e válvulas motorizadas. As bombas são acionadas por inversores de frequência (VFD), com partida suave, ajuste automático de rotação e monitoração de corrente para detectar cavitação ou obstrução.

4.4. Lógica de Controle

O sistema realiza varreduras contínuas dos sensores a cada segundo. Os dados são convertidos em valores percentuais de corrosão e comparados com dois níveis de alarme:

- Pré-alarme ($\geq 20\%$): Exibição de aviso na IHM (cor amarela).
- Crítico ($\geq 35\%$): Fechamento automático da válvula, parada das bombas, ativação de sirene e luz de alarme (cor vermelha). A função de emergência força o desligamento geral e fechamento de todas as válvulas. A cada ciclo, os valores são armazenados em um histórico de 100 amostras por sensor para geração de gráficos de tendência em tempo real.

4.5. Interface Homem-Máquina (IHM)

A IHM apresenta gráficos dinâmicos representando “Corrosão (%) \times Tempo (s)” para cada trecho monitorado. Cores: Verde: $<20\%$ | Amarelo: $20-35\%$ | Vermelho: $>35\%$. O operador pode silenciar alarmes, exportar relatórios e visualizar históricos de cada ponto.

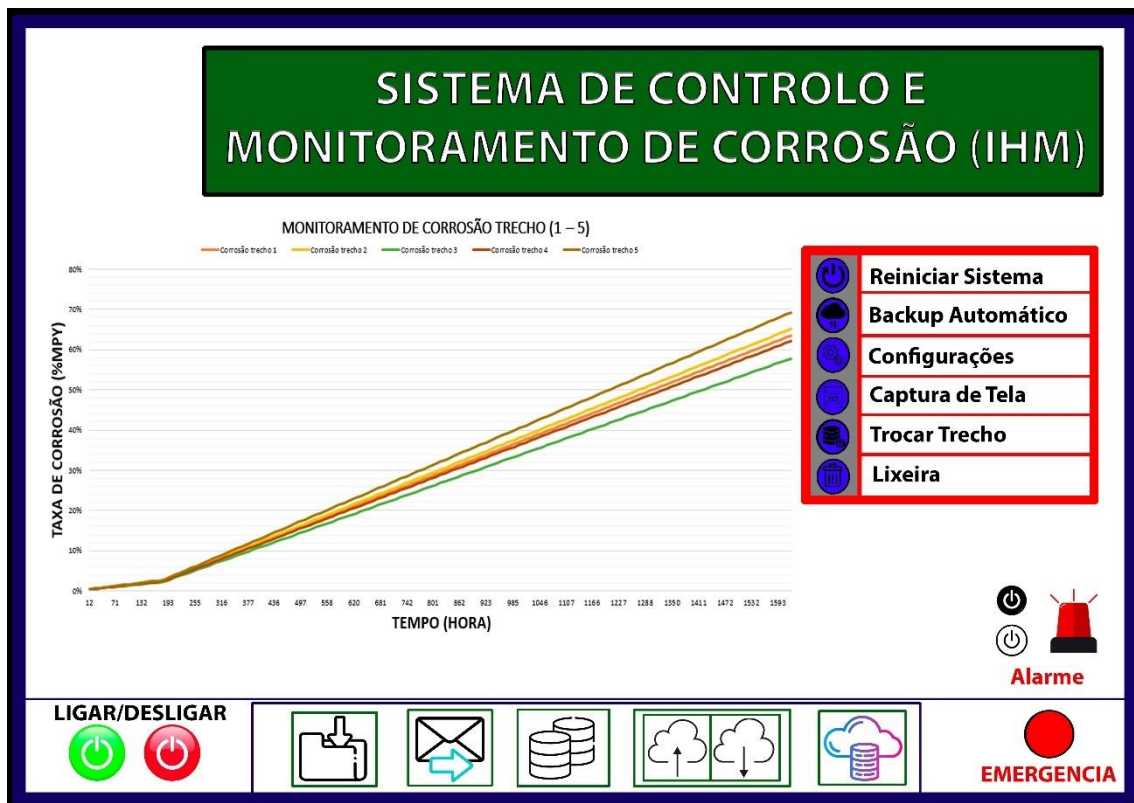


Figura 18. Apresentação da tela de monitoramento em tempo real com metodo ER Fonte: autor

4.6. Etapas de Implementação

1. Levantamento dos pontos críticos.
2. Instalação das sondas ER e sensores de processo.
3. Configuração do PLC e integração com inversores de frequência e válvulas motorizadas.
4. Desenvolvimento do programa em Texto Estruturado (ST) no TIA Portal.
5. Desenvolvimento da IHM com gráficos em tempo real e alarmes visuais.
6. Testes funcionais e calibração das sondas.
7. Treinamento dos operadores e validação dos relatórios de monitoramento.

4.7 Resultados Esperados

Com a implementação do sistema, espera-se:

- Redução de falhas não programadas nas dragas nas casas da maquinas e bombas.
- Melhoria na eficiência da manutenção preditiva.

- Aumento da vida útil das estruturas metálicas.
- Geração automática de dados históricos para diagnóstico e decisão.
- Modernização do controle operacional, alinhada às práticas da Indústria 4.0.

CAPÍTULO V – Resultados Esperados e Discussão

5.1 Introdução

O presente capítulo apresenta os resultados esperados, a discussão teórica e uma análise econômica preliminar para a implementação do sistema de monitoramento da corrosão em estruturas metálicas da Draga Aruangwa.

O estudo baseia-se nas metodologias e configurações descritas no Capítulo IV, considerando as técnicas online (Resistência Elétrica – ER) e offline (monitoramento visual) integradas a um sistema automatizado de supervisão com PLC Siemens S7-1200 e Interface Homem-Máquina (IHM).

5.2 Resultados Esperados

A aplicação prática do sistema proposto permitirá o acompanhamento contínuo e fiável da corrosão nas estruturas metálicas da draga. Através da integração entre sensores, automação e monitoramento visual, espera-se alcançar os seguintes resultados principais:

5.2.1 Monitoramento Contínuo e Fiável

O sistema garantirá a medição em tempo real da perda metálica em pontos críticos da estrutura, permitindo identificar antecipadamente o início de processos corrosivos. A interface gráfica (IHM) exibirá as condições dos sensores com codificação de cores:

Estado	Faixa (%)	Cor na IHM	Ação
Normal	< 20	Verde	Operação normal
Alerta	20–35	Amarelo	Inspeção recomendada
Crítico	> 35	Vermelho	Fechamento de válvulas, desligamento das bombas e alarme sonoro

Tabela 2: Interface Grafica. Fonte: Autor

Com isso, o operador poderá reagir antes da falha estrutural, evitando paragens não programadas e perdas de produção.

5.2.2 Geração Automática de Dados e Relatórios

O PLC armazenará leituras de todos os sensores e as transferirá para a IHM, onde serão gerados gráficos históricos e relatórios automáticos. Esses relatórios poderão ser usados para:

- Analisar a tendência da corrosão ao longo do tempo;
- Correlacionar com vazão, pressão e temperatura;
- Planejar intervenções preditivas de manutenção;
- Documentar o desempenho estrutural da draga em auditorias técnicas.

5.2.3 Otimização da Manutenção Preditiva

Com a aplicação do sistema, espera-se:

- Redução nas manutenções corretivas;
- Aumento da disponibilidade operacional da draga;
- Menor custo de substituição de componentes;
- Prolongamento da vida útil das estruturas metálicas.

5.2.4 Segurança Operacional e Sustentabilidade

A integração de sensores de processo (pressão, vazão, vazamento) e intertravamentos automáticos garante proteção contra falhas mecânicas (como cavitação ou obstrução). Além disso, a abordagem preventiva reduz o descarte prematuro de peças, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e económica das operações da EMODRAGA.

5.3 Discussão dos Resultados

O sistema proposto representa um avanço significativo para a manutenção naval e industrial. A combinação entre sensores ER e monitoramento visual assegura uma análise completa da corrosão, integrando dados quantitativos e observações diretas. A implementação de um PLC Siemens S7-1200, com comunicação Profinet/Modbus TCP, garante a precisão e estabilidade necessárias à automação marítima, além de permitir futuras expansões para sistemas SCADA. A equação de cálculo da taxa de corrosão, baseada na metodologia da Metal Samples Company, confere base científica robusta às medições, permitindo converter variações elétricas em valores quantitativos de perda metálica (mils/ano). Do ponto de vista técnico e económico, a proposta é viável, moderna e escalável, podendo ser adaptada a outras dragas ou equipamentos industriais sujeitos à corrosão. Em suma, o sistema traduz-se em maior confiabilidade operacional, segurança e redução de custos.

5.4 Considerações sobre a Aplicação na EMODRAGA

Na realidade operacional da EMODRAGA, onde as dragas operam em ambientes altamente salinos e abrasivos, a implementação deste sistema permitirá:

- Monitorar continuamente os componentes mais suscetíveis, como bombas, tubulações e válvulas;
- Registrar as condições de corrosão em tempo real, evitando deterioração acelerada;
- Facilitar a planificação de paradas técnicas de forma racional;
- Apoiar decisões estratégicas de manutenção e renovação de ativos.

O impacto global esperado é a diminuição das paradas emergenciais, aumento da eficiência logística e otimização do ciclo de vida dos equipamentos.

5.5 Estudo dos Custos para Implementação do Sistema de Monitoramento

5.5.1 Estimativa dos Principais Custos

A implementação do sistema requer investimento inicial em sensores, controladores, instrumentação e integração de software. A Tabela 2 apresenta uma estimativa dos principais custos associados ao projecto piloto da Draga Aruangwa.

Componente / Serviço	Quantidade	Custo Unitário (USD)	Custo Total (USD)
Sondas de Resistência Elétrica (ER)	13	280	3.640
Sensores de pressão e vazão (4–20 mA)	4	150	600
Controlador Lógico Programável (PLC Siemens S7-1200)	1	950	950
Módulos de Expansão (Analogico e Digital)	2	250	500
Interface Homem-Máquina (IHM – Painel Touch 7”)	1	700	700
Inversor de Frequência (VFD) com partida suave	2	650	1.300

Cablagem e conectores industriais	—	—	450
Mão-de-obra de instalação e configuração	—	—	1.200
Software de programação (TIA Portal e SCADA opcional)	—	—	400
Total Estimado (USD)	—	—	9.740

Tabela 3: Estimativa do custo de implementação. Fonte: Autor

Estimativa com base em catálogos Siemens, Metal Samples e custos médios de instrumentação industrial (2025).

5.5.2 Análise de Viabilidade Económica

O investimento estimado de aproximadamente 9.700 USD pode ser considerado baixo a médio porte para sistemas de automação naval. Os benefícios diretos incluem:

- Redução média anual de 3.000–4.000 USD em custos de manutenção corretiva;
 - Diminuição de paradas não programadas, equivalente a 1–2 dias/ano de operação (representando até 10.000 USD em economia indireta);
 - Maior durabilidade dos equipamentos críticos (bombas, tubulações e válvulas).
- Com base nesses valores, o retorno do investimento (ROI) ocorre em aproximadamente 2 anos de operação, comprovando a viabilidade económica e técnica do sistema.

5.6 Conclusão Geral do Capítulo

O estudo demonstrou que a implementação do sistema de monitoramento da corrosão é tecnicamente exequível e financeiramente vantajosa. A proposta contribui para a modernização da manutenção marítima em Moçambique, oferecendo ganhos em eficiência, segurança e sustentabilidade. A aplicação prática na Draga Aruangwa servirá como modelo piloto para expansão futura em outras embarcações da EMODRAGA, consolidando uma gestão inteligente de ativos navais com base em dados de monitoramento em tempo real.

Capítulo VI – Conclusões e Recomendações

6.1. Conclusões

O presente trabalho teve como objectivo desenvolver um sistema de monitoramento da corrosão em estruturas metálicas da Draga Aruangwa, combinando técnicas online (Resistência Elétrica – ER) e offline (monitoramento visual), visando aumentar a confiabilidade operacional e reduzir custos de manutenção.

Os resultados obtidos demonstram que a proposta é tecnicamente viável e economicamente vantajosa, permitindo a detecção precoce da corrosão, o acompanhamento contínuo das condições estruturais e a geração automática de relatórios e gráficos em tempo real. A integração entre sensores de processo, PLC Siemens S7-1200 e Interface Homem-Máquina (IHM) proporciona um sistema automatizado e seguro, com alarmes visuais e sonoros em situações críticas. O custo total estimado para implementação é de aproximadamente 9.740 USD, com retorno do investimento previsto em dois anos, o que comprova a viabilidade económica do projeto.

A principal contribuição do estudo é a introdução de um modelo híbrido de monitoramento adaptado às condições operacionais da EMODRAGA, que integra instrumentação, automação e técnicas de inspeção, representando um avanço na modernização da manutenção preditiva naval em Moçambique. A nível académico, o trabalho reforça a aplicação prática dos conhecimentos em corrosão, materiais e controle automático, enquanto, no âmbito profissional, oferece uma solução sustentável para aumentar a eficiência e segurança das dragas.

Apesar dos resultados positivos, o estudo apresenta limitações, como a ausência de testes experimentais em campo e a necessidade de validação prática do sistema. Recomenda-se, portanto, a implementação de um projeto piloto na Draga Aruangwa, a integração futura com sistemas SCADA para supervisão remota e a capacitação técnica do pessoal da EMODRAGA para operação e manutenção do sistema.

Conclui-se que o sistema proposto é inovador, sustentável e economicamente exequível, constituindo uma contribuição relevante para o aprimoramento das práticas de manutenção industrial e para o fortalecimento da engenharia marítima moçambicana.

6.2. Recomendações

Com base nos resultados obtidos e nas observações realizadas durante o desenvolvimento deste trabalho, recomenda-se:

- **A implementação prática e gradual do sistema proposto**, iniciando com a instalação piloto na Draga Aruangwa, de modo a validar a precisão dos sensores de Resistência Elétrica (ER) e o desempenho da Interface Homem-Máquina (IHM) em ambiente real de operação;
- **A capacitação técnica dos operadores e da equipa de manutenção da EMODRAGA**, garantindo a correta interpretação dos dados de corrosão e o manuseamento seguro do sistema automatizado, promovendo assim a autonomia e o fortalecimento das competências internas;
- **A integração futura com plataformas SCADA e módulos de análise preditiva**, permitindo o acompanhamento remoto e a correlação de variáveis como pressão, vazão e temperatura, com o intuito de aperfeiçoar a gestão de manutenção preditiva;
- **A ampliação do estudo para incluir outras técnicas complementares de monitoramento**, como a espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) e a resistência de polarização linear (LPR), a fim de aumentar a precisão e a abrangência das medições;
- **O estabelecimento de parcerias entre a EMODRAGA e instituições académicas ou industriais**, para apoiar o desenvolvimento contínuo de soluções inovadoras, sustentáveis e adaptadas à realidade do setor marítimo moçambicano.

7. Referências bibliográficas

- (25 de Setembro de 2025). Fonte: EMODRGA E.P.: <https://www.emodraga.co.mz/services.php>
- CALLISTER, W. D., & RETHWISCH, D. (2016). *Ciência e Engenharia de Materiais uma introdução* (9. ed ed.). (S. M. SOARES, Trad.) Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.
- CAT. (2014). 8200 Dragline. *CATALOGO*. Acesso em 21 de Setembro de 2025, disponível em <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C809470>
- Fonseca, M. M. (2019). *Arte Naval*. Rio de Janeiro: SERVIÇO DE DOCUMENTAÇÃO DA MARINHA.
- GENTIL, V. (1996). *Corrosão* (3ª Edição ed.). Rio De Janeiro: Livros Tecnicos e Científicos Editora S.A.
- GENTIL, V. (2017). *Corrosão* (6.ªEdição ed.). Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: LTC.
- GOES FILHO, H. (2004). *DRAGAGEM E GESTÃO DOS SEDIMENTOS*. Rio De Janeiro: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.
- KARDEC, A., & NASCIF, J. (2001). *Manutenção: Função Estratégica* (2ª ed.). Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda.
- LUZ, E. G. (2018). *Monitoramento da corrosão no aço carbono sae 1020, aço galvanizado, alumínio e cobre, considerando as condições climáticas serranas e litorâneas de santa catarina*. LAGES - SC: Centro Universitário Unifacvest.
- Metal Samples*. (24 de Setembro de 2025). (Metal Samples Company) Fonte: Metal Samples: <https://www.alspi.com/erintro.htm#>
- Oliveira, U. B. (2010). *A DRAGAGEM E OS IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE*. Rio de Janeiro: UEZO.
- Paroulo, J. P. (2014). *O PROCESSO DE DRAGAGEM: Os equipamentos mais modernos e seus métodos de funcionamemto*. Rio de Janeiro: Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.
- ROSA, Y. E. (2018). *Resistência ao desgaste, corrosão e sinergia dp aço duplex uns S32205 com e sem nitretação a plasma em baixa temperatura*. Curitiba: UTFPR.
- SOARES, C. R. (2006). *AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE DRAGAGEM POR INJEÇÃO DE ÁGUA*. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. MARÇO: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.
- Souza, W. L. (2011). *CORROSÃO EM NAVIOS: TÉCNICAS ANTICORROSIVAS*. Rio de Janeiro.
- VOLIRO*. (24 de Setembro de 2025). Fonte: VOLIRO: <https://voliro.com/blog/corrosion-monitoring/>

Apêndices

Apêndice A- Sensores de corrosão e circuito elétrico de potência

Sensores de corrosão

1. Sondas electroquímicas (corrente de corrosão / potencial) — contínuo, dá indicação de taxa de corrosão relativa. Instalar em todos os trechos expostos (1→nó, nó→B, 2→D, vertical entre D↔E, 3→H, 4→K...). com saída analógica (4–20 mA);

2. Inspeções periódicas por ultrassom (thickness measurement ports), instalados em curvas, uniões e outros pontos críticos para medições UT manuais.

5) Sensores e actuadores adicionais

Transdutores de pressão (4–20 mA) — instalar: amontante e jusante de cada bomba e antes/ depois de válvulas de controle.

Sensor de vazamento (detector de fluido em áreas de piso) em pontos críticos.

Actuadores de válvulas eléctricos com retorno de posição;

Mapa de quantidades

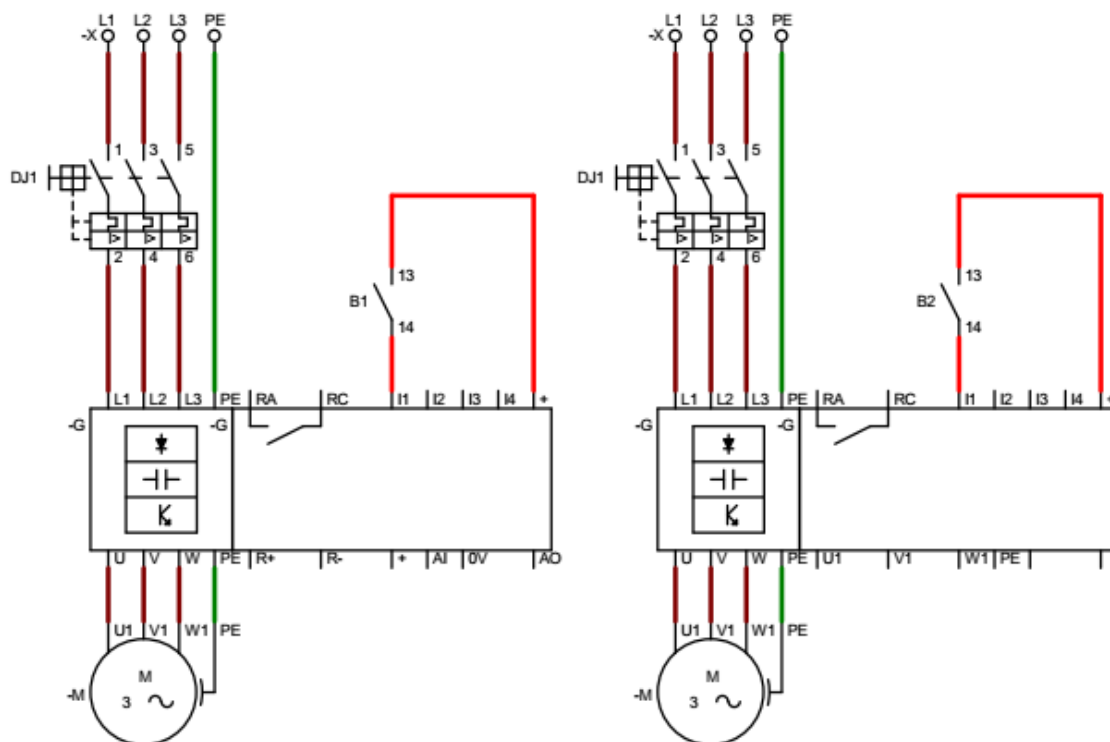
Quantidade de trechos:

1 ↔ A	A ↔ B	B ↔ B'	E ↔ F	D ↔ E
C ↔ D	2 ↔ C	3 ↔ I	I ↔ J	D ↔ H
4 ↔ K	K ↔ H	M ↔ H		

Elemento	Especificações	Entradas		Saídas	
		Digital	Analógica	Digital	Analógica
Bombas eléctricas (Contactor)		2		2	
Inversor de frequência			3	1	2
Válvulas solenóides (ON/OFF)		4		4	
Sensores de corrosão (cada trecho)			13		
Botões de comando (Star, Stop, Alarme, válvulas)		7			
Total		13	16	7	2
Total (25%)		16	20	9	3

PLC: 1x rack modular: 20 Entradas digitais, 10 Saídas digitais, 20 entradas analógicas e 3 saídas analógicas. Também com comunicação ethernet (Profinet / Modbus TCP) para IHM ou futuramente com SCADA e comunicação com inversor de frequência (VFD).

Circuito eléctrico de potência



O circuito de potência é responsável por alimentar e proteger os motores eléctricos do sistema hidráulico, principalmente as bombas.

Cada componente possui uma função específica dentro da cadeia de alimentação, protecção e accionamento dos motores.

O disjuntor geral, identificado como DJ1, tem a função de proteger toda a instalação eléctrica contra curtos-circuitos e sobrecargas de alta intensidade. É o ponto de entrada da energia proveniente da rede trifásica.

O inversor de frequência (VFD) é um componente essencial no accionamento das bombas do sistema (B1 e B2). Ele permite controlar a velocidade do motor de forma suave, ajustando a rotação conforme a demanda hidráulica. Além disso, o VFD reduz picos de corrente durante a partida e possibilita o controle automático de pressão e vazão com base em sinais analógicos vindos do PLC.

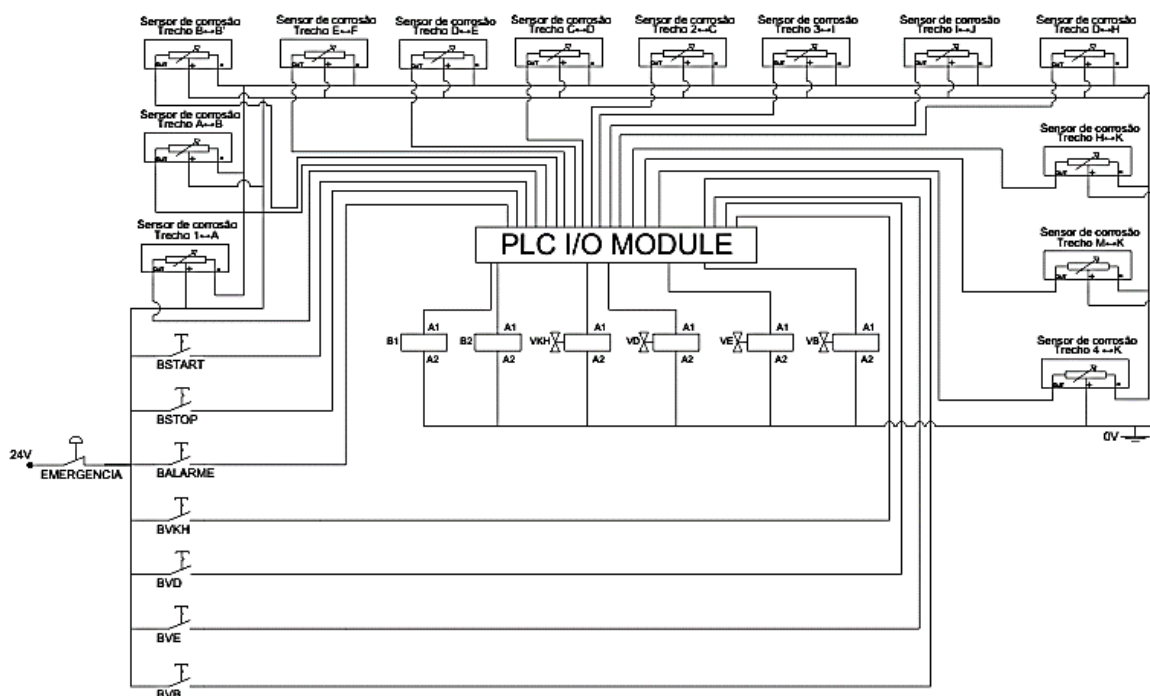
Os motores eléctricos, identificados como M1 e M2, são do tipo trifásico e alimentam as bombas hidráulicas do sistema. A potência e rotação desses motores são dimensionadas de acordo com o fluxo e a pressão exigidos pelo circuito hidráulico.

As fases da rede (L1, L2, L3) indicam a alimentação trifásica, enquanto o neutro (T) é representado como referência eléctrica quando utilizado.

Apêndice B – Circuito eléctrico de comando

Circuito eléctrico de comando

O circuito de comando é o cérebro que controla a operação dos motores e válvulas do circuito hidráulico. Trabalha com tensões mais baixas (especificamente 24 V DC) e interliga botões, sinalizadores, sensores, relés e entradas/saídas do controlador.



Legenda do circuito

BSTART – Botão iniciar (o sistema de controlo de corrosão);

BSTOP – Botão para interromper o fluxo normal do programa;

BALRME – para interromper o alarme, após esse ser activado;

BVKH – Botão para accionar a válvula solenóide do trecho G à H

BVD – Botão para accionar a válvula solenóide D

BVE – Botão para accionar a válvula solenóide E

BVE – Botão para accionar a válvula solenóide B

B1, B2 – Contactor de accionamento da bomba 1 e bomba 2, respectivamente;

EMERGÊNCIA – botão de segurança em caso de emergência (desliga a alimentação do sistema);

VKH – Contactor para accionar a válvula solenóide do trecho G à H

VD – Contactor para accionar a válvula solenóide D

VE – Contactor para accionar a válvula solenóide E

VB – Contactor para accionar a válvula solenóide B

Lógica de controle

O sistema possui 13 sensores de corrosão, um por trecho, para monitorar onde está o problema. Apenas 4 válvulas (e 4 botões) controlam o fluxo do circuito, cada válvula actua em um conjunto de trechos;

Mapeamento de Entradas e Saídas

Entradas digitais

Endereço	Símbolo	Descrição
I0.0	BSTART	Botão iniciar sistema
I0.1	BSTOP	Botão parar sistema
I0.2	BALRME	Botão silenciar alarme
I0.3	EMERGENCIA	Botão de emergência
I0.4	BV1	Botão válvula 1 (VKH)
I0.5	BV2	Botão válvula 2 (VD)
I0.6	BV3	Botão válvula 3 (VE)

I0.7	BV4	Botão válvula 4 (VB)
------	-----	----------------------

Saídas digitais

Endereço	Símbolo	Descrição
Q0.0	V1	Válvula 1(VKH)
Q0.1	V2	Válvula 2 (VD)
Q0.2	V3	Válvula 3 (VE)
Q0.3	V4	Válvula 4 (VB)
Q0.4	PUMP1	Contator bomba 1 (B1)
Q0.5	PUMP2	Contator bomba 2 (B2)
Q0.6	SIRENE	Alarme sonoro
Q0.7	LUZ_ALARME	Luz indicadora de alarme

Entradas analógicas (13 sensores)

Endereço	Símbolo	Descrição
IW64	CORR_1	Sensores de corrosão. Trecho (1 ↔ A)
IW66	CORR_2	Sensores de corrosão. Trecho (A ↔ B)
IW68	CORR_3	Sensores de corrosão. Trecho (B ↔ B')
IW70	CORR_4	Sensores de corrosão. Trecho (E ↔ F)
IW72	CORR_5	Sensores de corrosão. Trecho (D ↔ E)
IW74	CORR_6	Sensores de corrosão. Trecho (C ↔ D)
IW76	CORR_7	Sensores de corrosão. Trecho (2 ↔ C)
IW78	CORR_8	Sensores de corrosão. Trecho (3 ↔ I)
IW80	CORR_9	Sensores de corrosão. Trecho (I ↔ J)
IW82	CORR_10	Sensores de corrosão. Trecho (D ↔ H)
IW84	CORR_11	Sensores de corrosão. Trecho (4 ↔ K)
IW86	CORR_12	Sensores de corrosão. Trecho (K ↔ H)
IW88	CORR_13	Sensores de corrosão. Trecho (M ↔ H)

Apendice C- Algoritmo textual

Algoritmo textual

1. Cada sensor de corrosão é lido, convertido em %.
2. Se valor \geq limite de pré-alarme (**20%**), mostra aviso na IHM.
3. Se valor \geq limite crítico (**35%**), acciona alarme, fecha válvula correspondente, desliga bombas, acende luz e toca sirene.
4. **Botão BALRME** silencia a sirene (luz permanece acesa).
5. **Botões BV1–BV4** permitem abrir/fechar válvulas **somente se não houver alarme activo**.
6. **Emergência**: fecha todas as válvulas, desliga bombas, liga sirene e luz.
7. A cada ciclo de varredura ($\Delta t = 1$ s), registrar o valor de corrosão de cada sensor no buffer histórico correspondente.
8. Calcular o valor médio móvel (η) de corrosão por trecho, conforme:

$$\eta(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CorrPct_{i(t)}$$

9. Enviar à IHM os dados de corrosão média e instantânea de cada trecho via variáveis do tipo REAL.
10. Na IHM, gerar gráficos dinâmicos “Corrosão (%) \times Tempo (s)” com actualização contínua para cada trecho (1 a 13).
11. Quando o valor ultrapassar 20% \rightarrow exibir cor amarela no gráfico;
12. Quando ultrapassar 35% \rightarrow exibir cor vermelha e travar válvula associada.

Programa de PLC (linguagem de Texto Estruturado (ST))

Programa em ST compatível com PLC da Siemens S7-1200.

```
VAR
(* ENTRADAS DIGITAIS *)
BSTART AT %I0.0 : BOOL; // Botão iniciar sistema
BSTOP AT %I0.1 : BOOL; // Botão parar sistema
BALRME AT %I0.2 : BOOL; // Botão silenciar alarme
EMERG AT %I0.3 : BOOL; // Botão de emergência
BV1 AT %I0.4 : BOOL; // Botão válvula 1
BV2 AT %I0.5 : BOOL; // Botão válvula 2
BV3 AT %I0.6 : BOOL; // Botão válvula 3
BV4 AT %I0.7 : BOOL; // Botão válvula 4

(* SAÍDAS DIGITAIS *)
V1 AT %Q0.0 : BOOL; // Válvula 1 (trechos 1-3)
```

```

V2 AT %Q0.1 : BOOL; // Válvula 2 (trechos 4-6)
V3 AT %Q0.2 : BOOL; // Válvula 3 (trechos 7-10)
V4 AT %Q0.3 : BOOL; // Válvula 4 (trechos 11-13)
PUMP1 AT %Q0.4 : BOOL; // Bomba 1
PUMP2 AT %Q0.5 : BOOL; // Bomba 2
SIRENE AT %Q0.6 : BOOL; // Alarme sonoro
LUZ_ALARME AT %Q0.7 : BOOL; // Luz de alarme

(* ENTRADAS ANALÓGICAS (13 SENSORES) *)
CORR_1 AT %IW64 : INT;
CORR_2 AT %IW66 : INT;
CORR_3 AT %IW68 : INT;
CORR_4 AT %IW70 : INT;
CORR_5 AT %IW72 : INT;
CORR_6 AT %IW74 : INT;
CORR_7 AT %IW76 : INT;
CORR_8 AT %IW78 : INT;
CORR_9 AT %IW80 : INT;
CORR_10 AT %IW82 : INT;
CORR_11 AT %IW84 : INT;
CORR_12 AT %IW86 : INT;
CORR_13 AT %IW88 : INT;

(* VARIÁVEIS INTERNAS *)
CorrPct : ARRAY[1..13] OF REAL;
LIMITE_PREALARME : REAL := 20.0;
LIMITE_CRITICO : REAL := 35.0;
SistemaLigado : BOOL := FALSE;
AlarmeGeral : BOOL := FALSE;
SireneSilenciada : BOOL := FALSE;

(* HISTÓRICO PARA GRÁFICO *)
Historico_Corr : ARRAY[1..13, 0..99] OF REAL; // 100 amostras por sensor
IndiceAmostra : INT := 0;
TempoCiclo : TIME := T#1S;
Temporizador : TON;
END_VAR

(* FUNÇÃO CONVERSÃO INT → % *)
FUNCTION RawToPercent : REAL
VAR_INPUT
raw : INT;
END_VAR
RawToPercent := REAL(raw) * 100.0 / 27648.0;
IF RawToPercent < 0 THEN RawToPercent := 0; END_IF;
IF RawToPercent > 100 THEN RawToPercent := 100; END_IF;

(*ROTINA DE EMERGÊNCIA *)
IF EMERG THEN
V1 := FALSE; V2 := FALSE; V3 := FALSE; V4 := FALSE;
PUMP1 := FALSE; PUMP2 := FALSE;
SIRENE := TRUE; LUZ_ALARME := TRUE;
SistemaLigado := FALSE;
RETURN;
END_IF;

(*COMANDO DE PARTIDA/PARADA*)
IF BSTART THEN SistemaLigado := TRUE; END_IF;
IF BSTOP THEN
SistemaLigado := FALSE;

```

```

PUMP1 := FALSE; PUMP2 := FALSE;
END_IF;

(*MONITORAMENTO GERAL*)
IF SistemaLigado THEN

  (* --- LEITURA E CONVERSÃO DOS 13 SENSORES --- *)
  CorrPct[1] := RawToPercent(CORR_1);
  CorrPct[2] := RawToPercent(CORR_2);
  CorrPct[3] := RawToPercent(CORR_3);
  CorrPct[4] := RawToPercent(CORR_4);
  CorrPct[5] := RawToPercent(CORR_5);
  CorrPct[6] := RawToPercent(CORR_6);
  CorrPct[7] := RawToPercent(CORR_7);
  CorrPct[8] := RawToPercent(CORR_8);
  CorrPct[9] := RawToPercent(CORR_9);
  CorrPct[10] := RawToPercent(CORR_10);
  CorrPct[11] := RawToPercent(CORR_11);
  CorrPct[12] := RawToPercent(CORR_12);
  CorrPct[13] := RawToPercent(CORR_13);

  AlarmeGeral := FALSE;

  (*VERIFICAÇÃO DE CORROSÃO POR TRECHO*)
  // Trecho 1 a 3
  IF      (CorrPct[1]>=LIMITE_CRITICO)      OR      (CorrPct[2]>=LIMITE_CRITICO)      OR
(CorrPct[3]>=LIMITE_CRITICO) THEN
    V1 := FALSE; AlarmeGeral := TRUE;
  END_IF;

  // Trecho 4 a 6
  IF      (CorrPct[4]>=LIMITE_CRITICO)      OR      (CorrPct[5]>=LIMITE_CRITICO)      OR
(CorrPct[6]>=LIMITE_CRITICO) THEN
    V2 := FALSE; AlarmeGeral := TRUE;
  END_IF;

  // Trecho 7 a 10
  IF      (CorrPct[7]>=LIMITE_CRITICO)      OR      (CorrPct[8]>=LIMITE_CRITICO)      OR
(CorrPct[9]>=LIMITE_CRITICO) OR (CorrPct[10]>=LIMITE_CRITICO) THEN
    V3 := FALSE; AlarmeGeral := TRUE;
  END_IF;

  // Trecho 11 a 13
  IF      (CorrPct[11]>=LIMITE_CRITICO)      OR      (CorrPct[12]>=LIMITE_CRITICO)      OR
(CorrPct[13]>=LIMITE_CRITICO) THEN
    V4 := FALSE; AlarmeGeral := TRUE;
  END_IF;

  (*AÇÕES DE ALARME*)
  IF AlarmeGeral THEN
    PUMP1 := FALSE;
    PUMP2 := FALSE;
    SIRENE := TRUE;
    LUZ_ALARME := TRUE;
  END_IF;

END_IF; (* SistemaLigado *)

(*SILENCIAR ALARME*)
IF BALRME THEN
  SIRENE := FALSE;

```

```

SireneSilenciada := TRUE;
END_IF;

(*COMANDOS MANUAIS DAS VÁLVULAS (SEM ALARME)*)
IF NOT AlarmeGeral THEN
  IF BV1 THEN V1 := NOT V1; END_IF;
  IF BV2 THEN V2 := NOT V2; END_IF;
  IF BV3 THEN V3 := NOT V3; END_IF;
  IF BV4 THEN V4 := NOT V4; END_IF;
END_IF;

(*REGISTO DE DADOS PARA GRÁFICO DE CORROSÃO (IHM)*)
Temporizador(IN:=TRUE, PT:=TempoCiclo);

IF Temporizador.Q THEN
  IndiceAmostra := IndiceAmostra + 1;
  IF IndiceAmostra > 99 THEN IndiceAmostra := 0; END_IF;

  FOR i := 1 TO 13 DO
    Historico_Corr[i,IndiceAmostra] := CorrPct[i];
  END_FOR;

  Temporizador(IN:=FALSE);
END_IF;

(* ===== ENVIO DOS DADOS À IHM (DB COMPARTILHADO) ===== *)
DB_Corrosao.Indice := IndiceAmostra;
FOR i := 1 TO 13 DO
  DB_Corrosao.Sensor[i,*] := Historico_Corr[i,*];
END_FOR;

```

ANEXOS

Anexo A - Ficha técnica do Transmissor ER de alta resolução MS2600E

Model MS2600E

High Resolution ER Transmitter 4-20 mA Analog Output

Metal Samples new compact MS2600E ER Transmitter (ERT) measures all types of electrical resistance (ER) corrosion probes. The new high-resolution, 16-bit measurement provides faster response, obtaining corrosion rates in hours instead of days. The transmitter can be remote or direct-mounted (shown).

The transmitter is available in a weather-proof (IP66) stainless steel enclosure designed for applications which do not permit aluminum enclosures (such as offshore environments or Zone 0 hazardous areas).



*MS2600E direct mounted
to a retrievable probe*

The MS2600E is completely loop-powered, so installation is simple. A two-wire connection is all that is required for both instrument power and data transmission. Setup is also simple, using a set of switches to select the probe type to be measured.



Technical Specifications

Model

MS2600E - High Resolution ER 4-20mA Transmitter

Physical Data

Instrument Weight:	3.70 lb. (1.68 Kg)
Total Weight w/ Accessories:	5.76 lb. (2.61 Kg)
Instrument Dimensions:	6.0"H x 4.0"Dia (15.25cm H x 10.16cm Dia)
Operating Temperature:	-40° to 158°F (-40° to 70°C)
Storage Temperature:	-40° to 176°F (-40° to 80°C)
Enclosure Material:	316 Stainless Steel
Enclosure Rating:	IP66
Mounting Specifications:	Direct probe mount (standard) May be pole mounted using optional hardware (Up to a 2.5" (6.35cm) Dia. pole)

Performance Data

Measurement Type:	ER measurement using any standard ER probe type (Wire Loop, Tube Loop, Cylindrical, Flush, Strip, etc.)
Range:	0-100% of probe life
Resolution:	0.0015% of Probe Life (16-bit)
Cycle Time:	1 Minute

Electrical Data

Power Requirements:	11 to 28 VDC
Maximum Probe Cable Distance:	30 ft (9.1 m)
Output Specifications:	4-20mA Current Loop Output

Hazardous Location Certifications

Europe and Worldwide (ATEX and IECEx)	II 1 G Ex ia IIC T4 Ga - 40°C ≤ Tamb ≤ + 70°C Ex ia IIC T4 Ga - 40°C ≤ Tamb ≤ + 70°C ATEX Certificate No: ITS14ATEX27981X IECEx Certificate No: IECEx ITS 14.0010X
USA and Canada (ETL)	Ex ia IIC T4 Ga Class I, Division 1, Groups A, B, C & D, T4 Class I, Zone0, AEx ia IIC T4 Ga -40° C ≤ Ta ≤ +70° C

Included Accessories

33' (10 meters) Current Loop Wiring Harness, Meter Prover, Operations Manual

Optional Accessories

Probe Extension Cable, Remote Mounting Hardware