



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE RUSSAS

JOSÉ KLEVERTON PINHEIRO MEDEIROS DA SILVA

ESTUDO DE CASO A RESPEITO DA CORROSÃO ENCONTRADA EM
VEÍCULOS AUTOMOTORES

RUSSAS – CE

2023

JOSÉ KLEVERTON PINHEIRO MEDEIROS DA SILVA

ESTUDO DE CASO A RESPEITO DA CORROSÃO ENCONTRADA EM VEÍCULOS
AUTOMOTORES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, Campus Russas, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Camilo Augusto Santos Costa.

RUSSAS - CE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S58e Silva, José Kleverton Pinheiro Medeiros da Silva.
Estudo de caso a respeito da corrosão encontrada em veículos automotores / José Kleverton Pinheiro Medeiros da Silva. – 2023.
63 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Ciência da Computação, Russas, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Camilo Augusto Santos Costa.

1. corrosão. 2. veículos automotivos. 3. prevenção. 4. condições climáticas. 5. estratégias mitigadoras. I. Título.

CDD 005

JOSÉ KLEVERTON PINHEIRO MEDEIROS DA SILVA

**ESTUDO DE CASO A RESPEITO DA CORROSÃO ENCONTRADA EM
VEÍCULOS AUTOMOTORES**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada ao curso de Engenharia Mecânica
da Universidade Federal do Ceará, Campus
Russas, como requisito parcial para obtenção
do título de Engenheiro Mecânico.

Aprovado em: 28/11/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Camilo Augusto Santos Costa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Caroliny Gomes de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Walber Ferreira da Silva
Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA)

A Deus.

Aos meus pais, Joana D'arc e Francisco

José.

AGRADECIMENTOS

Deixarei aqui, agradecimentos importantes a todos que de alguma forma estiveram presentes em minha chegada até este momento.

Agradeço a Deus por sua presença nas mais turbulentas aflições e nas mais nobres vitórias.

Agradeço a minha família, em especial minha mãe, que me proporcionou seus ombros para que pudesse chegar mais longe do que jamais poderia imaginar.

Agradeço a todos os professores que passaram em minha jornada, por facilitar meu aprendizado através de sua dedicação em transmitir o ensinamento com qualidade.

Agradeço a todos os amigos que fiz nessa caminhada, os quais tornaram a jornada mais simples e agradável.

Agradeço ao Prof. Dr. Camilo Augusto, pois quando mais precisei, ele esteve lá, mesmo com todos os seus afazeres, sem esse acompanhamento jamais teria completado meu TCC.

A todos que estiveram presentes não só em minha fase como universitário, mas em todas as outras, deixo aqui meu sincero obrigado, jamais esquecerei de cada momento.

“Se eu vi mais longe, foi por estar
sobre ombros de gigantes”

Isaac Newton.

RESUMO

A corrosão de metais é um fenômeno natural e universal que, ao longo da história, tem representado um desafio significativo para a indústria, a engenharia e a ciência dos materiais. Considerando os efeitos indesejados da corrosão na indústria de veículos automotivos e a importância de compreendê-la para prevenção e controle, este estudo foi concebido para identificar as principais causas desse fenômeno em uma revenda de veículos e propor soluções correspondentes. Utilizando uma metodologia qualitativa, integrou um estudo de caso e pesquisa bibliográfica para coletar dados por meio de observações, entrevistas e análises ambientais. O estudo revelou a prevalência da corrosão devido às condições climáticas extremas, especialmente pela proximidade com o mar e a exposição aos ventos. Além disso, a presença de chuvas influenciou significativamente os níveis de umidade relativa do ar, juntamente com variações bruscas de temperatura diurna e noturna, que foram fatores agravantes no local analisado. Observaram-se também problemas relacionados à geometria dos objetos, formação de pilhas galvânicas e o poder corrosivo dos compostos químicos. Com base nessas descobertas, foram propostas estratégias mitigadoras específicas para cada uma das situações identificadas. Concluiu-se que, apesar da severidade das condições climáticas, a implementação de um conjunto de medidas pode minimizar consideravelmente os efeitos da corrosão.

Palavras-chave: corrosão; veículos automotivos; prevenção; condições climáticas; estratégias mitigadoras; pilha galvânica

ABSTRACT

The corrosion of metals is a natural and universal phenomenon that, throughout history, has posed a significant challenge for the industry, engineering, and materials science. Considering the undesired effects of corrosion in the automotive industry and the importance of understanding it for prevention and control, this study was designed to identify the main causes of this phenomenon in a vehicle dealership and propose corresponding solutions. Using a qualitative methodology, it integrated a case study and bibliographic research to collect data through observations, interviews, and environmental analyses. The study revealed the prevalence of corrosion due to extreme weather conditions, particularly due to proximity to the sea and exposure to winds. Additionally, the presence of rainfall significantly influenced the levels of relative humidity, along with abrupt variations in daytime and nighttime temperatures, which were aggravating factors in the analyzed location. Problems related to the geometry of objects, galvanic pile formation, and the corrosive power of chemical compounds were also observed. Based on these findings, specific mitigating strategies were proposed for each identified situation. It was concluded that, despite the severity of the weather conditions, implementing a set of measures can considerably minimize the effects of corrosion.

Keywords: corrosion; automotive vehicles; prevention; weather conditions; mitigating strategies; galvanic cell

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Corrosão uniforme	18
Figura 2: Corrosão galvânica.....	19
Figura 3: Alveolar.....	20
Figura 4: Corrosão por frestas	21
Figura 5: Ciclo da corrosão	23
Figura 6: Corrosão em caldeira	25
Figura 7: Corrosão em cilindro de veículo diesel.....	26
Figura 8: Perda de massa por tempo.....	28
Figura 9: Geometria de acúmulo de água.....	30
Figura 10: Geometria de solda.....	30
Figura 11: Geometria de acabamento.....	31
Figura 12:Corpos de prova após teste acelerado de corrosão: (a) material sem revestimento; (b) material com revestimento organometálico tipo A (c) Material com revestimento organometálico tipo B	33
Figura 13: Proteção catódica	34
Figura 14: Proteção anódica	35
Figura 15: Entrada de água no cilindro	45
Figura 16: Entrada de água no cárter.....	46
Figura 17: Depósito de cálcio.....	47
Figura 18: Válvula termostática	48
Figura 19: Cabeçote danificado.....	49
Figura 20: Cabeçote novo.....	50
Figura 21: Junta do cabeçote	50
Figura 22: Bloco do motor.....	51
Figura 23: Bomba d'água	52
Figura 24: Bomba d'água comparativa	52
Figura 25: Sistema de freio dianteiro	53
Figura 26: Bomba de combustível.....	54
Figura 27: Teste de corrosão em diferentes fluidos.....	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Temperatura média.....	40
Gráfico 2: Umidade relativa média	41
Gráfico 3: Precipitação média	42
Gráfico 4: Velocidade média dos ventos.....	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Quantificação de falhas	56
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo geral.....	15
1.2	Objetivos específicos.....	15
1.3	Motivação	15
1.4	Estrutura do trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1	Conceito de corrosão	17
2.2	Danos causados pela corrosão	17
2.2.1	<i>Aparência</i>	17
2.2.2	<i>Custos em manutenção</i>	17
2.2.3	<i>Contaminação de objetos</i>	18
2.2.4	<i>Perda de produto</i>	18
2.3	Tipos de corrosão	18
2.3.1	<i>Corrosão uniforme</i>	18
2.3.2	<i>Corrosão galvânica</i>	19
2.3.3	<i>Corrosão alveolar</i>	19
2.3.4	<i>Corrosão por frestas</i>	20
2.4	Meios corrosivos.....	21
2.4.1	<i>Água</i>	21
2.4.2	<i>Umidade</i>	21
2.4.3	<i>Ácidos</i>	22
2.4.4	<i>Bases</i>	22
2.5	Aspectos eletroquímicos	22
2.6	Efeitos causados por temperaturas elevadas.....	24
2.7	Variáveis observadas na água	24
2.7.1	<i>Impurezas</i>	24
2.7.2	<i>Sais</i>	25
2.7.3	<i>Partículas suspensas</i>	25
2.7.4	<i>Velocidade de circulação</i>	26
2.8	Passividade	26
2.9	Materiais observados.....	27
2.9.1	<i>Aço carbono</i>	27
2.9.2	<i>Aço inoxidável</i>	27

2.9.3	<i>Alumínio</i>	28
2.9.4	<i>Cobre e suas ligas</i>	29
2.10	Prevenção e combate à corrosão	29
2.10.1	<i>Projeto</i>	30
2.10.2	<i>Revestimentos metálicos</i>	31
2.10.3	<i>Revestimentos não metálicos inorgânicos</i>	32
2.10.4	<i>Revestimentos não metálicos orgânicos</i>	32
2.10.5	<i>Proteção catódica</i>	34
2.10.6	<i>Proteção anódica</i>	34
3	MATERIAS E MÉTODOS	36
3.1	Caracterização da pesquisa	36
3.2	Obtenção de dados	36
3.3	A empresa	37
3.4	Metodologia empregada	38
3.4.1	<i>Estrutura de análise</i>	38
3.4.2	<i>Entrevistas</i>	38
3.4.3	<i>Inspeção visual</i>	39
3.5	Condições atmosféricas	39
3.5.1	<i>Temperatura</i>	39
3.5.2	<i>Umidade relativa</i>	40
3.5.3	<i>Precipitação</i>	41
3.5.4	<i>Velocidade do vento</i>	42
3.6	Combustíveis	43
3.7	Arrefecimento	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1	Inspeção visual	48
4.2	Problemática e Causalidade	55
4.3	Prevenção e controle	56
4.3.1	<i>Ações mitigadoras quanto a composição</i>	57
4.3.2	<i>Ações mitigadoras quanto a estrutura</i>	57
4.3.3	<i>Ações mitigadoras quanto a proteção superficial</i>	58
4.3.4	<i>Implantação do gerenciamento da corrosão</i>	58

5	CONCLUSÃO.....	59
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	60
	<u>REFERÊNCIAS.....</u>	61

1 INTRODUÇÃO

A corrosão de metais é um fenômeno natural e universal que, ao longo da história, tem representado um desafio significativo para a indústria, a engenharia e a ciência dos materiais. Desde as estruturas monumentais da antiguidade até as mais avançadas aplicações tecnológicas da era moderna, a corrosão desempenha um papel central na durabilidade e no desempenho de uma ampla variedade de objetos, equipamentos e infraestruturas. A sua compreensão e a busca por métodos eficazes de prevenção e controle tornaram-se áreas críticas de pesquisa e desenvolvimento.

A corrosão não é apenas um problema técnico, mas também uma preocupação econômica e ambiental. Os custos associados à corrosão são substanciais, e a sua prevenção é vital para a segurança das estruturas, a vida útil dos materiais metálicos e a sustentabilidade ambiental. Além disso, o conhecimento aprofundado sobre os mecanismos da corrosão e as estratégias de proteção é fundamental para a melhoria contínua de produtos e processos em diversas indústrias.

Desde a revolução industrial, a produção dos itens de consumo cresceu vertiginosamente, visando aumento na margem de lucro através da redução nos custos e consequentemente otimização dos investimentos. Um dos motores para a escalada de produção, utilizando sistemas de produção efetivos, foram a primeira e segunda guerra mundial, pois a demanda de suprimentos exigiu tais melhorias na produção.

De acordo com uma avaliação realizada nos Estados Unidos da América pelo CC Technologies Laboratories, com o apoio da NACE (National Association of Corrosion Engineers), estima-se que os prejuízos causados pela corrosão metálica correspondem a 3,1% do Produto Interno Bruto (PIB) daquele país (KOCH, 2001).

Os significativos desafios técnicos e o alto custo relacionado diretamente à corrosão, incentivam fortemente engenheiros e profissionais técnicos a desenvolverem um conhecimento nos fundamentos da corrosão (NUNES, 2007).

Por ser, em geral, um processo espontâneo, o principal meio corrosivo é a própria atmosfera na qual o metal está exposto e se manifesta, sobretudo, na forma de corrosão úmida (ASM HANDBOOK, 2001).

Sendo assim, torna-se necessária a busca a respeito da identificação das possíveis causas da corrosão visando combater e prevenir seus efeitos indesejados.

Neste trabalho foi realizado um estudo em profundidade da corrosão em metais, tais como os princípios fundamentais que governam esse processo, inovações, métodos de

prevenção e controle. Também foram analisados estudos de caso e aplicações práticas que ilustram a relevância da corrosão em cenários do mundo real. Pretendo contribuir para o entendimento abrangente desse fenômeno complexo e para a disseminação do conhecimento sobre como proteger e preservar os materiais metálicos em nosso mundo moderno.

1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é analisar e avaliar a corrosão de materiais metálicos, abordando suas causas, mecanismos e consequências em veículos automotores de uma concessionária. Além disso, o trabalho tem como meta expor métodos e técnicas de prevenção, controle e mitigação da corrosão, com foco na economia de investimentos em compra de novas peças.

1.2 Objetivos específicos

A seguir são apresentados os objetivos específicos:

- a) Colher dados iniciais para efeito de comparação com os resultados obtidos ao final do estudo.
- b) Identificar todos os pontos da empresa que deverão ser introduzidos no estudo de caso.
- c) Identificar os tipos de corrosão encontrados nos diversos setores do local
- d) Identificar fatores que acentuam a corrosão
- e) Designar formas de prevenção e proteção contra a corrosão
- f) Sugerir mudanças que visem a prevenção da corrosão
- g) Buscar cortes de gastos com manutenções corretivas, que em geral possuem preços mais elevados que preventivas pela necessidade de substituição de peças prematuramente.

1.3 Motivação

A seguir serão listados alguns dos principais pontos que motivaram a abordagem apresentada nesse trabalho, são eles:

- a) Relevância e Abrangência: A corrosão afeta uma ampla variedade de setores industriais, desde a indústria química até a construção civil, passando pela indústria automobilística e de petróleo e gás. Portanto, a compreensão desse fenômeno é relevante em inúmeras aplicações práticas.

- b) **Impacto Econômico:** Os custos associados à corrosão, incluindo reparos, manutenção e substituição de equipamentos e infraestruturas, são substanciais e têm um impacto direto na eficiência operacional e nos recursos financeiros das organizações.
- c) **Sustentabilidade:** Em um mundo cada vez mais preocupado com questões ambientais e sustentabilidade, a prevenção da corrosão desempenha um papel fundamental na redução do desperdício de recursos e na minimização da poluição.
- d) **Segurança e Integridade Estrutural:** A corrosão compromete a segurança de estruturas metálicas, como pontes e edifícios, bem como de equipamentos e os veículos automotores, que são o ponto central desse trabalho. Isso torna a pesquisa em prevenção e controle de corrosão uma prioridade em termos de segurança pública.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho é formado por um total de 7 capítulos, divididos em diferentes pontos a serem abordados.

O primeiro capítulo, chamado de introdução, está voltado para fazer uma breve descrição dos objetivos a serem abordados no trabalho e sua motivação.

O segundo capítulo, chamado de fundamentação teórica, faz um apanhado geral sobre o conceito do assunto principal do trabalho que é a corrosão, assim como explica os tipos, os materiais encontrados, o que podem causar e as estruturas que podem sofrer mais com tal problemática.

O terceiro capítulo, chamado de metodologia, explica mais detalhadamente a estrutura da pesquisa, o local em que o estudo será realizado, o motivo da implantação, relata a respeito da forma com que as análises foram realizadas e a situação inicial da empresa.

O quarto capítulo, chamado de resultados e discussões, disserta sobre quais condições tornaram o ambiente suscetível a corrosão, com ilustrações através de figuras, assim como fornece meios de combater e prevenir a corrosão, que é o foco principal.

O quinto capítulo, chamado de conclusão, temos um aparato geral sobre o que foi possível concluir com o estudo.

O sexto capítulo apresenta sugestões de pontos a serem pesquisados em trabalhos futuros.

O sétimo e último capítulo trata das referências bibliográficas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceito de corrosão

A corrosão é definida como sendo o ataque destrutivo e não intencional de um metal; esse ataque é eletroquímico e, normalmente, tem seu início na superfície do material. (CALLISTER, 2000)

Os meios corrosivos mais frequentemente encontrados são os seguintes: atmosfera, águas naturais, água do mar, solo, produtos químicos, alimentos, substâncias fundidas. Segundo Gentil (2007), quanto menor for a condutividade do eletrólito mais alta será a resistência à corrosão.

A corrosão é geralmente vista como o contraponto do processo siderúrgico, que se concentra na extração do metal a partir de seus minérios ou de outros compostos, ao passo que a corrosão, por sua vez, tende a promover a oxidação do metal. Assim, por vezes, o produto da corrosão do metal é muito semelhante ao minério do qual é originalmente extraído obedecendo ao ciclo dos metais (GENTIL, 2007).

2.2 Danos causados pela corrosão

2.2.1 Aparência

O primeiro dos problemas que pode ser observado está na aparência da estrutura ou objeto, causando-lhe uma impressão de envelhecimento, e consequente desvalorização. Segundo Fontana (2018) Automóveis são pintados pois superfícies enferrujadas não são bem-vistas aos olhos.

Superfícies altamente corroídas e com presença de ferrugem em muitos casos não são agradáveis a visão. Dessa forma, utilizam-se algumas medidas que combatam esse efeito, como aplicação de pinturas e revestimentos. Também há a utilização de alumínio, aço inoxidável, cobre ou outros metais em superfícies externas que causem uma melhor impressão no observador. (ARAÚJO, 2003)

2.2.2 Custos em manutenção

A manutenção necessária após a corrosão tomar conta do objeto observado em geral é mais cara que sua prevenção, não somente em termos financeiros, mas também em confiabilidade. Medidas preventivas são mais desejáveis a gastos recorrentes com substituição de peças corroídas, mão de obra, energia e custos de manutenção do processo (FONTANA, 2018).

Segundo Fontana (2018) o custo com corrosão nos automóveis, em sistemas de combustível, radiadores, sistemas de escape e lataria, estão na casa dos bilhões de dólares por ano.

2.2.3 Contaminação de objetos

Alguns produtos têm seu valor de mercado diretamente associado a sua pureza e qualidade. Desse modo, a ausência de resíduos de corrosão é fator vital para parte dos setores da indústria, como na produção de alimentos, ferramentas médicas e indústria química (FONTANA, 2018)

2.2.4 Perda de produto

Para um material de baixo valor, pequenos vazamentos são toleráveis, porém materiais mais valiosos por volume processado necessitam de ações rápidas e assertivas para a correção do problema (FONTANA, 2018).

2.3 Tipos de corrosão

2.3.1 Corrosão uniforme

Este tipo de corrosão é caracterizado por uma degradação gradual e uniforme da superfície do metal, resultando em perda de material de maneira homogênea. É um processo que ocorre quando o metal entra em contato com um ambiente corrosivo, como a atmosfera, água ou substâncias químicas.

Figura 1: Corrosão uniforme



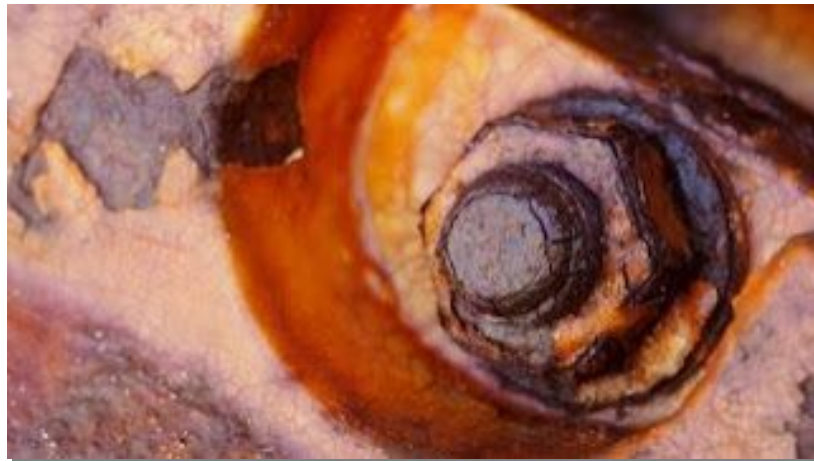
Fonte: <https://stdengenharia1.blogspot.com/2019/02/tipos-de-corrosao.html>

2.3.2 Corrosão galvânica

A corrosão galvânica é um fenômeno eletroquímico que ocorre quando dois metais diferentes estão em contato direto em um ambiente condutivo, como um eletrólito. Esse processo é denominado galvânico em homenagem ao cientista italiano Luigi Galvani, que conduziu experimentos relacionados à eletricidade e à reação entre metais no século XVIII.

A corrosão galvânica é um exemplo clássico de um circuito eletroquímico, onde dois metais diferentes atuam como ânodos e cátodos, com uma solução condutiva (eletrólito) permitindo o fluxo de íons entre eles. O metal menos nobre (o ânodo) tende a corroer-se, liberando elétrons, enquanto o metal mais nobre (o cátodo) atrai esses elétrons e permanece relativamente não afetado. Isso resulta na corrosão seletiva do ânodo, que é uma das características distintivas da corrosão galvânica.

Figura 2: Corrosão galvânica



Fonte: <https://stdengenharia1.blogspot.com/2019/02/tipos-de-corrosao.html>

2.3.3 Corrosão alveolar

A corrosão pontual, também conhecida como corrosão localizada, é um tipo de deterioração que ocorre em pontos específicos de uma superfície metálica, em contraste com a corrosão uniforme, que afeta uniformemente uma grande área. Este fenômeno pode ser altamente destrutivo e é frequentemente associado a ambientes agressivos e condições específicas que favorecem sua ocorrência.

Segundo Fontana (2018), a corrosão por pite consiste em um ataque extremamente localizado resultando em buracos no metal. Geralmente com pequenos diâmetros.

É uma das formas mais destrutivas e insidiosas de corrosão. Causa a falha de equipamentos devido a perfuração mesmo com uma baixa porcentagem de perda de massa da

estrutura. Assim, a corrosão por pites é particularmente insidiosa devido a uma localizada e intensa forma de corrosão, com isso as falhas frequentemente ocorrem de forma extremamente repentina (FONTANA, 2018).

Figura 3: Alveolar



Fonte: <https://www.sulcromo.com.br/noticias-industria/8-tipos-de-corrosao-mais-comuns-na-industria-e-como-reverte-las/>

2.3.4 Corrosão por frestas

A corrosão por frestas é uma forma de corrosão localizada usualmente associada às condições de estagnação de eletrólitos em microambientes. Estes ambientes restritos, onde há impedimento ou dificuldade à difusão de espécies químicas, podem ocorrer em parafusos, porcas e arruelas, materiais de isolamento, depósitos superficiais, películas de tinta descoladas, rebites etc. A corrosão por frestas acontece devido às alterações da química localizada dentro da fresta (PANONNI, 2008).

Os metais e ligas mais suscetíveis à corrosão por frestas são aqueles que formam óxidos protetores em sua superfície quando expostos ao ar, mas que têm dificuldade em manter essa camada protetora nas áreas confinadas das frestas. Isso geralmente ocorre em ligas de aço inoxidável, alumínio e ligas de níquel.

Figura 4: Corrosão por frestas



<https://www.sulcromo.com.br/noticias-corrosao/corrosao-por-frestas-como-evitar-o-problema-em-industrias/>

2.4 Meios corrosivos

2.4.1 Água

A água é um dos meios corrosivos mais comuns. A água pode conter íons dissolvidos que aceleram a corrosão, como íons de cloreto, sulfato e bicarbonato. A água salgada, como a encontrada em ambientes marinhos, é particularmente corrosiva devido à alta concentração de cloreto de sódio. Ela é um eletrólito que permite a condução de íons, o que é fundamental para os processos de corrosão. A água facilita a transferência de elétrons dos metais para o oxigênio dissolvido ou outros agentes oxidantes presentes, levando à degradação do metal.

2.4.2 Umidade

O oxigênio do ar é um agente oxidante que pode causar a corrosão de metais, especialmente em ambientes úmidos. A formação de ferrugem em ferro e a corrosão superficial em outros metais são exemplos de corrosão induzida pelo ar úmido.

Quando os metais estão expostos à umidade, a água pode ser absorvida pela superfície do metal, permitindo a formação de íons metálicos e íons hidroxila, que são componentes essenciais no processo de corrosão.

Em ambientes com alta umidade relativa, como áreas costeiras ou climas úmidos, a corrosão atmosférica é um problema comum. A água presente no ar se condensa na superfície do metal, especialmente durante a noite ou em condições de alta umidade, criando um ambiente propício para a corrosão.

2.4.3 Ácidos

Ácidos fortes, como ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido clorídrico (HCl), são altamente corrosivos para a maioria dos metais. Essas reações podem resultar na dissolução do metal e na formação de sais metálicos solúveis e hidrogênio gasoso, podendo causar danos graves e rápidos aos materiais metálicos.

Os ácidos podem acelerar a corrosão, mesmo que não causem diretamente a dissolução do metal. Isso ocorre porque os ácidos podem remover camadas protetoras de óxidos ou outros produtos de corrosão da superfície do metal, expondo o metal subjacente à corrosão atmosférica ou à ação de outros agentes corrosivos.

2.4.4 Bases

Embora seu efeito geralmente seja menos corrosivo do que o dos ácidos, podem impactar na corrosão dos metais.

Soluções alcalinas, como soluções de hidróxido de sódio ($NaOH$) ou hidróxido de potássio (KOH), também podem ser corrosivas para alguns metais. Eles tendem a promover a corrosão por pite, que é uma forma agressiva de corrosão localizada.

Em soluções onde bases e ácidos coexistem, pode ocorrer uma reação química entre eles. Isso pode resultar em uma neutralização parcial dos ácidos, formando sais neutros, mas ainda há o potencial de causar corrosão. A mistura de substâncias ácidas e alcalinas pode criar condições complexas que influenciam a taxa de corrosão.

Além de tudo as bases podem agir de forma a beneficiar o metal através da criação de camadas protetoras de hidróxidos insolúveis na superfície do metal, agindo como uma barreira que impede a exposição adicional do metal ao ambiente corrosivo.

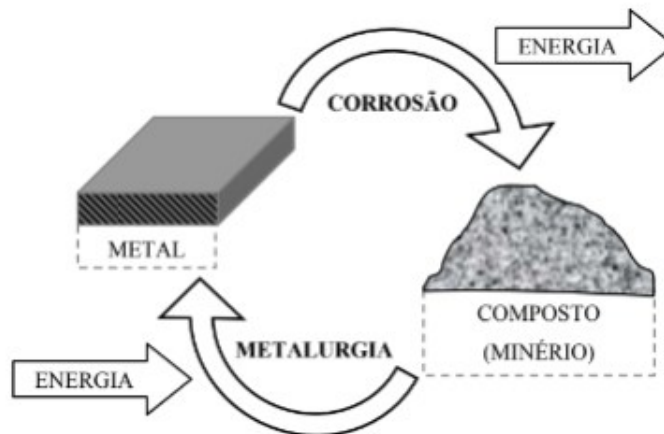
2.5 Aspectos eletroquímicos

Na corrosão eletroquímica, os elétrons são cedidos em determinada região e recebidos em outra, aparecendo uma pilha de corrosão. Esse processo eletroquímico de corrosão pode ser decomposto em três etapas principais: processo anódico que é a passagem dos íons para a solução; deslocamento dos elétrons e íons que é a transferência dos elétrons das regiões anódicas para as catódicas pelo circuito metálico e difusão de ânions e cátions na solução; processo catódico que é a recepção de elétrons, na área catódica, pelos íons ou moléculas existentes na solução. (GENTILL, 2011)

A deterioração de metais e ligas em meios aquosos ou líquidos condutores de

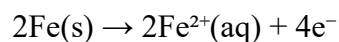
íons, em sua maioria, envolve processos predominantemente de natureza eletroquímica. Uma dessas reações resulta na mudança do metal ou de alguns elementos da liga metálica de um estado em outro não metálico. Os produtos da corrosão podem ser espécies dissolvidas ou produtos sólidos da corrosão.

Figura 5: Ciclo da corrosão

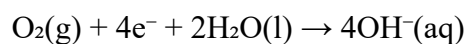


Fonte: Sica (2006)

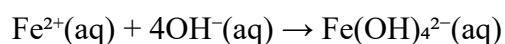
Durante a oxidação, os átomos de metal perdem elétrons e se transformam em íons metálicos positivos chamados cátions. Isso ocorre quando o metal reage com substâncias oxidantes presentes em seu ambiente, como oxigênio, água ou ácidos, abaixo temos um exemplo:



A redução envolve a aquisição de elétrons por outra substância, geralmente um íon metálico. Isso resulta na formação de um metal sólido a partir de íons metálicos em solução, como observado abaixo:



Um dos exemplos mais comuns da corrosão dos metais é a que ocorre no ferro, chamada ferrugem, que é resultado de reações eletroquímicas e pode ser exemplificada pela seguinte equação:



É oportuno destacar a importância da presença do eletrólito no processo eletroquímico da corrosão. Embora, na maioria dos casos, não apareça no produto de corrosão o sal usado como eletrólito, é fundamental a sua presença para se ter a corrosão. Daí em atmosferas marinhas a corrosão ser muito mais severa do que em atmosferas rurais. (GENTILL, 2011)

2.6 Efeitos causados por temperaturas elevadas

A possibilidade de formação de um óxido, sulfeto ou outro composto, sobre um determinado material metálico, pode ser determinada termodinamicamente pelo cálculo da variação de energia livre do sistema respectivo: metal mais oxigênio dando óxido, metal mais enxofre dando sulfeto, ou metal mais outra substância qualquer dando o composto respectivo.

A variação de energia livre na formação do óxido é da mesma ordem que a variação de entalpia (calor de reação à pressão constante). Os óxidos obtidos por reações exotérmicas são os mais fáceis de se formar. Logo, os metais que apresentam esses óxidos podem ser facilmente corroídos. (GENTILL, 2011)

O ferro aquecido a 700°C, em presença de oxigênio sob pressão de uma atmosfera, fica recoberto de uma película de oxidação constituída de três óxidos, na qual a mais espessa é a de FeO, sendo a de Fe₂O₃ bem menos espessa que a de Fe₃O₄ e a de FeO (GENTILL, 2011)

2.7 Variáveis observadas na água

2.7.1 Impurezas

A água, quimicamente pura, é constituída de moléculas, que se apresentam associadas devido às ligações por ponte de hidrogênio. Todas as outras substâncias presentes, dissolvidas ou em suspensão, podem ser consideradas impurezas, como: sais, ácidos, bases e gases dissolvidos, material em suspensão e microrganismos. (GENTILL, 2011)

Materiais metálicos em contato com líquidos em movimento podem experimentar um processo de corrosão intensificada devido à combinação de fatores químicos e mecânicos, como a erosão ilustrada na figura abaixo:

Figura 6: Corrosão em caldeira



Fonte: <https://www.mainflame.com.br/blog/como-prevenir-corrosao-em-caldeiras/>

2.7.2 Sais

Os sais dissolvidos podem agir acelerando ou retardando a velocidade do processo corrosivo. Entre os sais que influenciam com maior frequência os processos de corrosão estão: cloretos, sulfatos, sais hidrolisáveis, sais oxidantes e bicarbonatos de cálcio, de magnésio e de ferro. (GENTILL 2011)

Os ions cloretos têm origem marinha, a partir de gotas ou cristais formados da evaporação da névoa salina, em menor escala também pode ser obtidos através da queima de carvão fóssil (PANONNI, 2009)

O efeito do cloreto de sódio, na corrosão, deve-se ao fato de este sal ser um eletrólito forte, ocasionando, portanto, aumento de condutividade, que é fundamental no mecanismo eletroquímico de corrosão. No caso da corrosão do ferro em água saturada de ar, em temperatura ambiente, observa-se que a taxa de corrosão inicialmente cresce com a concentração de cloreto de sódio e depois decresce, o máximo sendo a 3% de NaCl decrescendo, depois até 26% de NaCl. (GENTILL, 2011)

Portanto o NaCl dissolvido na água acelera o consumo de elétrons o que faz com que o ferro sofra corrosões com maiores velocidades.

2.7.3 Partículas suspensas

Pode-se tomar essas partículas como um problema subjacente ocasionado pela corrosão do material devido a outros motivos. Esses precipitados em movimento por exemplo em um sistema de arrefecimento veicular, faz com que ocorra a erosão das partes, corrosão sob depósitos, que vem a gerar obstrução das vias, deficiência de troca de calor e até mesmo vazamentos.

2.7.4 Velocidade de circulação

A velocidade de circulação da água é importante, pois o seu acréscimo, em geral, aumenta a taxa de corrosão, porque pode remover as camadas de produtos de corrosão aderentes ao material metálico e que estavam retardando o processo corrosivo.

O aumento da velocidade de circulação da água também pode arrastar maior quantidade de oxigênio para a área catódica funcionando como agente despolarizante, acelerando, portanto, o processo corrosivo.

Figura 7: Corrosão em cilindro de veículo diesel



Fonte: <https://portallubes.com.br/2017/08/cavitacao-em-motores-diesel/>

2.8 Passividade

Alguns metais e ligas normalmente ativos, sob condições ambientais específicas, perdem a sua reatividade química e se tornam extremamente inertes. Esse fenômeno, conhecido por passividade, é exibido pelo cromo, ferro, níquel, titânio e muitas das ligas desses metais. Acredita-se que esse comportamento passivo resulte da formação de uma película de óxido muito fina e altamente aderente sobre a superfície do metal, que serve como uma barreira de proteção contra uma corrosão adicional. (CALLISTER, 2000)

Alguns metais e ligas, por exemplo, cromo, níquel, molibdênio, titânio, zircônio, aços inoxidáveis, monel (70% Ni – 30% Cu), se passivam ao ar. Outros somente sofrem passivação em meios muito específicos, como chumbo em ácido sulfúrico, magnésio em água, ferro em ácido nítrico concentrado. (GENTILL, 2011)

No entanto, é importante notar que a passividade não é permanente e pode ser comprometida em certas condições. Fatores como a presença de cloretos, altas temperaturas e tensões mecânicas podem danificar ou enfraquecer a camada protetora, tornando o metal

passivo suscetível à corrosão. Portanto, em ambientes onde a passividade é uma forma de proteção, a manutenção adequada e a consideração de condições adversas são essenciais para garantir a durabilidade do metal.

A passividade de um metal pode ser destruída ou “quebrada”, provocando o início da corrosão por fatores eletroquímicos, mecânicos ou químicos. (SICA, 2006)

Além disso, a passividade é frequentemente explorada em aplicações de engenharia, como na fabricação de peças e componentes de aço inoxidável, onde se confia na formação de camadas passivas para proteger o metal em condições corrosivas. Esse fenômeno é uma prova de como a compreensão e o controle da corrosão são fundamentais para a preservação de infraestruturas, equipamentos e produtos metálicos em uma variedade de setores, desde a indústria química até a aeroespacial.

2.9 Materiais observados

Nenhum material é resistente a todas as situações corrosivas, mas a seleção de materiais é fundamental para evitar muitos tipos de falhas. Disponibilidade de dados de projeto e testes são fatores que influenciam na seleção de materiais, onde deve ser avaliada a resistência à corrosão no ambiente, propriedades mecânicas, custo de manutenção, compatibilidade com outros componentes do sistema, expectativa de vida, confiabilidade e aparência (VERINK, 1984).

2.9.1 Aço carbono

Os aços são ligas ferro-carbono que podem conter concentrações apreciáveis de outros elementos de liga. Alguns dos aços mais comuns são classificados de acordo com a sua concentração de carbono, quais sejam, os tipos com baixo, médio e elevado teor de carbono. (CALLISTER, 2000)

A dureza e a resistência dos aços dependem em grande parte do teor de carbono e do tratamento térmico.(FONTANA, 2018)

A grande gama de aplicações do aço se deve ao baixo custo de obtenção associado a grande versatilidade de propriedades que se pode obter a partir de pequenas mudanças na composição química tratamentos térmicos e/ou no processamento e principalmente da elevada ductilidade aliada a grande tenacidade e elevada dureza.

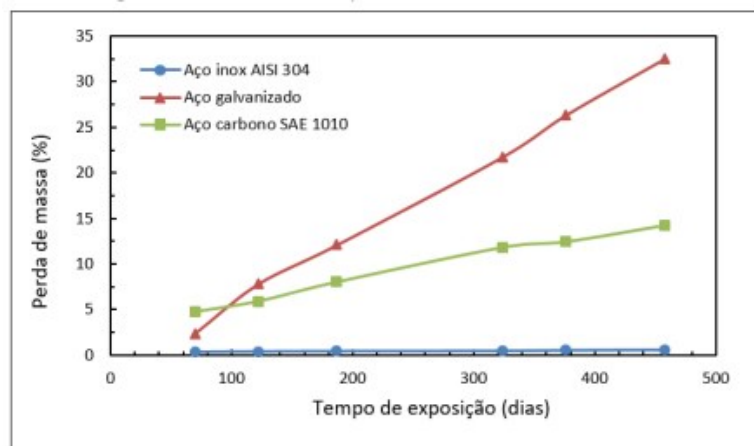
2.9.2 Aço inoxidável

Os aços inoxidáveis são altamente resistentes a corrosão em uma variedade de ambientes, especialmente a atmosfera ambiente. Seu elemento de liga predominante é o cromo; é necessária uma concentração de cromo de pelo menos 11%p. (CALLISTER, 2000)

Alguns aços inoxidáveis possuem mais de 30% de cromo ou menos de 50% de ferro. Suas características de resistência são obtidas graças a formação de um óxido protetor que impede o contato do metal base com a atmosfera agressiva. (PITOL; BECK, 2007)

Segundo um estudo realizado por Maçaneiro (2018), utilizando três corpos de prova utilizados como tubulações de esgoto, temos o seguinte gráfico:

Figura 8: Perda de massa por tempo



Fonte: Maçaneiro (2018)

Segundo Maçaneiro (2018) o aço inox AISI 304 manteve, para todo o período de exposição estudado, a menor perda de massa percentual chegando ao seu valor máximo aos 460 dias em 0,59%. Após os 120 dias o aço galvanizado manteve uma variação de perda de massa constante, chegando a 32,56% aos 460 dias, quando toda a camada protetora foi removida, ficando apenas o substrato de aço. O aço carbono SAE 1010 apresentou aos 460 dias de exposição uma perda de massa de 14,30%.

2.9.3 Alumínio

O alumínio e suas ligas são caracterizados por uma densidade relativamente baixa (1/3 menor que a do aço), condutividade elétrica e térmica elevadas, e uma resistência a corrosão em alguns ambientes comuns, incluindo atmosfera ambiente. A principal limitação do alumínio está na sua baixa temperatura de fusão 660°C. (CALLISTER, 2000)

O alumínio e suas ligas constituem um dos materiais metálicos mais versáteis, econômicos e atrativos para uma vasta série de aplicações. Sua aplicação como metal

estrutural só é menos utilizada que a dos aços.

Redução de peso garante economia de combustível e menor índice de emissões de CO₂, e favorece a performance do torque e a potência dos veículos, mas a leveza do alumínio não é a única vantagem do metal na fabricação de componentes automotivos (AKASHI, 2012).

Com o alumínio nos motores, em substituição ao ferro fundido, o comportamento acústico e térmico é superior (uma vez que possui maior capacidade de absorção de ruídos e vibrações, e de dissipação do calor), e há ganhos de agilidade e de melhoria nos processos produtivos, pois é possível produzir peças de maior complexidade construtiva, precisão dimensional e melhor usinabilidade, não havendo a necessidade de pintura ou outros tratamentos de superfície, gerando economia e permitindo melhor acabamento superficial com excelente resistência à corrosão (AKASHI, 2012).

Não somente questões mercadológicas, reutilização e peso, mas o alumínio também é consideravelmente mais resistente a corrosão que o ferro fundido, quando ambos são aplicados as mesmas condições de uso.

2.9.4 Cobre e suas ligas

O cobre e suas ligas são o terceiro metal mais utilizado no mundo. Perdendo apenas para os aços e para o alumínio e suas ligas. ((PITOL; BECK, 2007))

O cobre possui uma capacidade quase ilimitada de ser submetido a deformação plástica a frio. Além disso, ele é altamente resistente a corrosão em diversos ambientes, que incluem a atmosfera, a água do mar, e alguns produtos químicos. (CALLISTER, 2000)

As ligas de cobre mais comuns são latões, onde o zinco na forma de uma impureza substitucional, é o elemento de liga predominante. Amplamente utilizado em radiadores automotivos. (CALLISTER, 2000)

Os bronzes são ligas de cobre com vários elementos, como estanho, alumínio, silício e o níquel e são relativamente mais resistentes do que os latões, porém ainda possuem um elevado nível de resistência a corrosão. São amplamente aplicados em mancais, buchas e anéis de pistões.

2.10 Prevenção e combate à corrosão

Todos os processos de proteção apresentam sua eficiência sob as condições preestabelecidas de custos e benefícios. Em nível industrial, são excelentes para inibição da

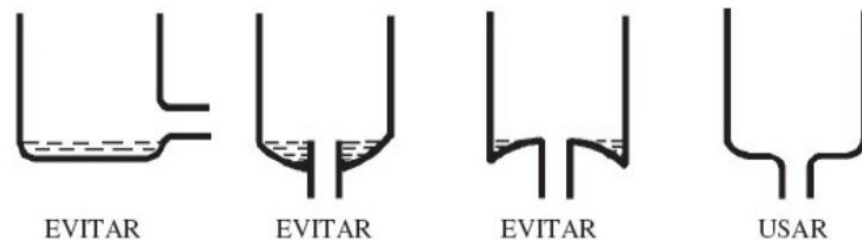
agressividade do meio corrosivo sobre a superfície metálica. (OLIVEIRA, 2012)

2.10.1 Projeto

Rabald (1968), Uhlig (1958), Lee (1950), Telles (1979), Pludek (1977), Landrum (1989), Dechema (1992) e Schweitzer (1995) apresentam informações que orientam no sentido do emprego correto de materiais metálicos e não metálicos, sendo de grande valia na fase de projetos de equipamentos e instalações industriais.

- a) Facilitar a completa drenagem de líquidos, evitando áreas de estagnação de água ou de soluções corrosivas
- b) Manter lisas e livres de reentrâncias e frestas as superfícies por onde passam líquidos, para evitar gradientes de concentração de oxigênio e de íons metálicos nos lugares de acúmulo de líquido, que provocariam corrosão por pilha de aeração diferencial ou por pilha de concentração iônica;

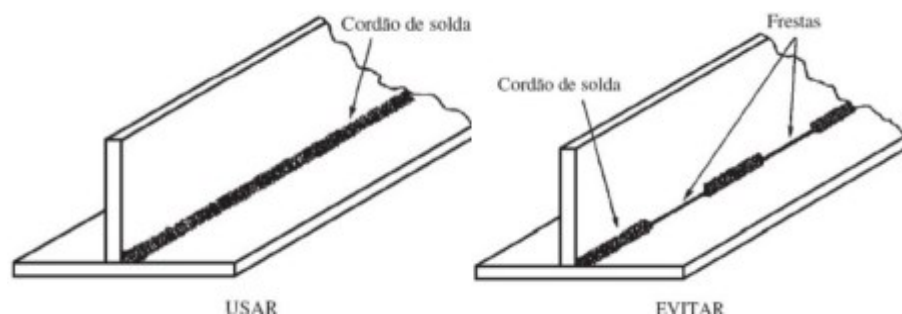
Figura 9: Geometria de acúmulo de água



Fonte: Gentil (2011)

- c) Utilizar soldas bem-acabadas e contínuas (no sentido de evitar bolsas, reentrâncias etc.) e aliviadas de tensões, em lugares onde seria possível usar esse tipo de junção;

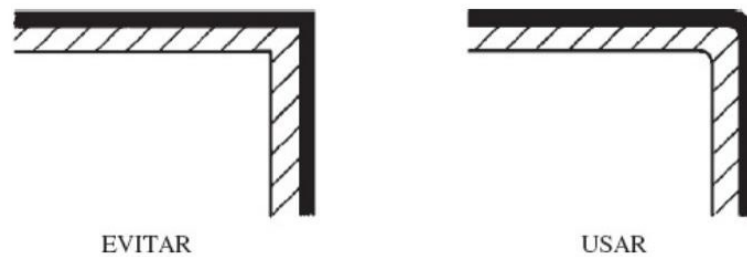
Figura 10: Geometria de solda



Fonte: Gentil (2011)

- d) Não formar ângulos fechados e estrangulamentos desnecessários nas tubulações, a fim de evitar turbulência e ação erosiva do meio, como impingimento e cavitação
- e) Evitar cantos vivos onde películas protetoras de tintas possam romper-se mais facilmente

Figura 11: Geometria de acabamento



Fonte: Gentil (2011)

2.10.2 Revestimentos metálicos

Além de cumprir funções decorativas, de resistência, elétricas e de endurecimento superficial, os revestimentos metálicos também desempenham um papel essencial na proteção contra a corrosão. (OLIVEIRA, 2012)

A proteção contra a corrosão, ao utilizar metais em revestimentos anticorrosivos, se baseia na formação de películas protetoras compostas por óxidos, hidróxidos e outros compostos que reagem com os oxidantes presentes no ambiente corrosivo. A eficácia desse processo depende da formação de camadas de óxidos aderentes. Alguns dos metais mais comuns usados para esse fim são o alumínio, o cromo, o níquel e o zinco. (OLIVEIRA, 2012)

As técnicas mais frequentemente usadas para aplicação de revestimentos metálicos são: cladização, imersão a quente, aspersão térmica (metalização), eletrodeposição, cementação, deposição em fase gasosa e redução química. (GENTIL, 2011)

A cladização ou cladeamento é um método de revestimento, para controle de corrosão, muito usado na indústria química. Pode ser feito pela laminação conjunta, a quente, de chapas do metal-base e do revestimento, pelo processo de explosão ou por solda. (GENTIL, 2011)

Imersão a quente é o revestimento metálico que se obtém por imersão do material metálico em um banho do metal fundido. É um processo muito usado para revestimento de aço com estanho, com cobre, com alumínio e com zinco. (GENTIL, 2011)

É um processo comumente utilizado, pois se consegue revestimento muito fino e relativamente livre de poros. É economicamente importante porque se consegue proteção adequada com uma camada bem fina, evitando-se excesso do metal eletro depositado, que pode ser caro. (GENTIL, 2011)

Na cementação o material metálico é posto no interior de tambores rotativos em contato com mistura de pó metálico e um fluxo adequado. Esse conjunto é aquecido a altas temperaturas, permitindo a difusão do metal no material metálico. Esse processo é utilizado, por exemplo, para revestimentos com alumínio, zinco e silício. (GENTIL, 2011)

Na deposição em fase gasosa, a substância volatilizada, contendo um sal do metal a ser usado como revestimento, é passada sobre o material aquecido a ser revestido, resultando em deposição do metal ou em formação de uma liga com o metal base do substrato. (GENTIL, 2011)

Na redução química os revestimentos obtidos pela redução de íons metálicos existentes na solução. O metal é precipitado, formando uma película aderente à base metálica. É um método conveniente para revestir peças de formas complicadas e interior de tubos que sejam difíceis de serem revestidos por outros métodos. (GENTIL, 2011)

2.10.3 Revestimentos não metálicos inorgânicos

Os revestimentos não metálicos inorgânicos são aqueles constituídos de compostos inorgânicos que são depositados diretamente na superfície metálica ou formados sobre essa superfície. Entre os revestimentos inorgânicos depositados sobre superfícies metálicas e mais usados em proteção contra corrosão podem ser citados: esmaltes vitrosos, vidros, porcelanas, cimentos, óxidos, carbetos, nitretos, boretos e silicetos. (GENTIL, 2011)

Os revestimentos formados diretamente na superfície metálica são obtidos por reações químicas entre o material dessa superfície e o meio adequado. Uma vez formados, os produtos resultantes dessas reações protegem o material metálico contra posterior ação corrosiva. (GENTIL, 2011)

2.10.4 Revestimentos não metálicos orgânicos

Dentre as técnicas de proteção anticorrosiva existentes, a aplicação de tintas ou esquemas de pintura é uma das mais empregadas. A pintura, como técnica de proteção anticorrosiva, apresenta uma série de propriedades importantes, tais como facilidade de aplicação e de manutenção, relação custo-benefício atraente (GENTIL, 2011)

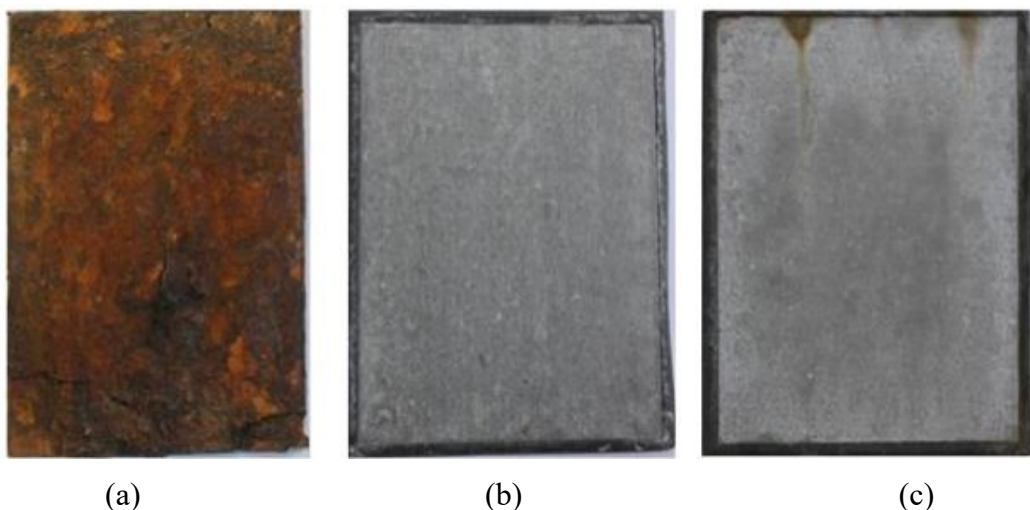
Um revestimento anticorrosivo muito empregado para superfície interna é a pintura com resina epóxi, um polímero termorrígido que possui pelo menos dois anéis de três membros chamado de epóxi. (TORRES, 2019)

Silva (2016), estudou a eficiência da aderência dessa pintura em corpos de prova de aço carbono através do ensaio de aderência à tração, utilizando tinta epóxi ‘Novolac’ curada com poliamina sem solvente pigmentada com flocos de vidro e tinta epóxi poliamina de alta espessura, sem solvente, formulado com pigmentos anticorrosivos sem flocos de vidro.

A avaliação da eficácia dos revestimentos baseou-se na realização de um teste de aderência à tração até a ruptura, que permitiu identificar a origem das falhas na aderência. Observou-se que a tinta curada com poliamida, isenta de solvente e contendo pigmentação com flocos de vidro, apresentou uma aderência superior ao metal. Portanto, essa camada de proteção demonstrou maior eficácia na prevenção do processo de corrosão.

Saliba (2013), realizou estudos a respeito da resistência à corrosão do aço com revestimentos não metálicos orgânicos utilizando chapas de aço galvanizado e dois tipos de fabricantes de material protetor. O teste foi realizado de forma acelerada através do teste de 80 ciclos GMW 14872, simulando um material com 10 anos de uso, e indicou uma melhores resultados se comparados a tratamentos de galvanização. A figura 12 demonstra os corpos de prova após os testes.

Figura 12 - Corpos de prova após teste acelerado de corrosão: (a) material sem revestimento; (b) material com revestimento organometálico tipo A (c) Material com revestimento organometálico tipo B



Fonte: SALIBA (2013)

Levando-se em consideração a poluição causada pelos solventes das tintas no início

dos anos 50 na Europa, alternativas passaram a ser elaboradas, entre elas, surgiu o revestimento orgânico em pó, que trazia consigo um avanço quanto à tecnologia de aplicação e acabamento industrial, já que o produto dispensava o uso de solventes, evitando, assim, o efeito poluente causado pelos mesmos, tornando-se uma opção sustentável para as indústrias (PEDRO, 2013).

A pintura eletrostática consiste na utilização da atração das cargas opostas encontradas na tinta e na superfície que a receberá, podendo o composto ser em pó ou líquido.

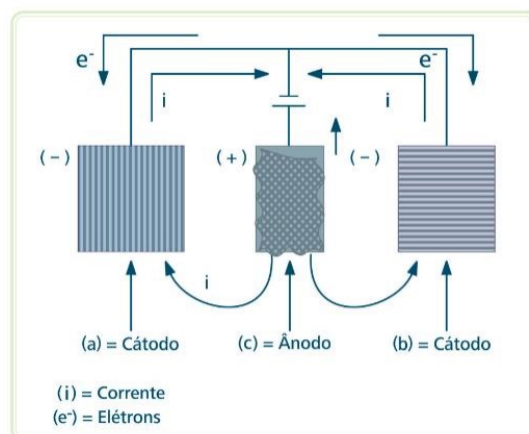
2.10.5 Proteção catódica

A proteção catódica foi sugerida a primeira vez em 1820 por humphrey davy. (Robert H. Heidersbach, Dr. Rust, Inc)

O mecanismo de proteção visa eliminar as áreas anódicas da superfície do metal de forma que toda a superfície protegida possa se tornar catódica. Quando é estabelecido um circuito onde um bloco metálico imerso em um eletrólito que, carregado com uma força eletromotriz, cujo polo positivo ligado a esse bloco e o polo negativo ligado a dois blocos, vai torná-los cada vez mais negativos, fazendo-os funcionar como cátodos.

Ora, conseqüentemente, quem cede elétrons fica anódico e quem os recebe fica protegido da corrosão. (OLIVEIRA, 2012)

Figura 13: Proteção catódica



Fonte: Oliveira 2012

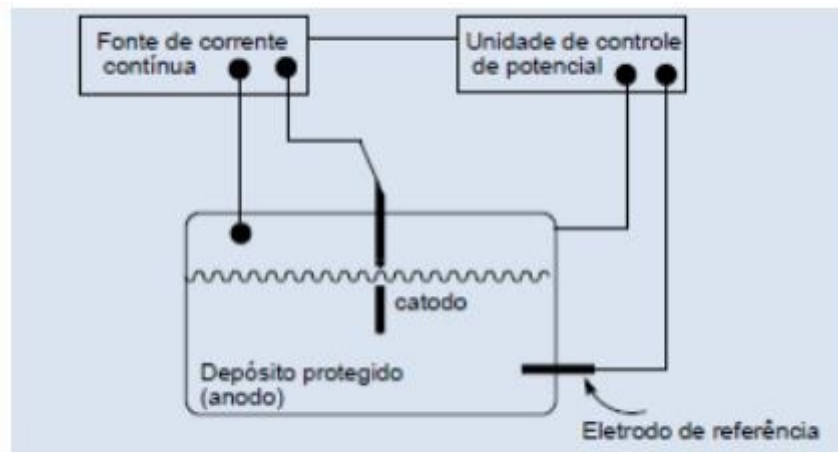
2.10.6 Proteção anódica

Esse método foi utilizado pela primeira vez em uma para proteger a planta de um equipamento em 1950, mas seu sucesso comercial ocorreu em meados de 1970. (CARL, 2014)

De maneira simples, baseia-se na formação de uma película protetora, nos materiais metálicos, por aplicação de corrente anódica externa. Essa corrente ocasiona polarização anódica, que possibilita a passivação do material metálico. (GENTIL, 2011)

O êxito desse sistema vai depender do exato controle do potencial, pois um potencial não adequado (muito alto) pode ocasionar a dissolução do metal. Condições ideais são aquelas em que o material metálico requer pequena corrente para manter o estado passivo, o que assegura resistência à corrosão e pequeno consumo de energia, tornando o processo economicamente viável. (GENTIL, 2011)

Figura 14: Proteção anódica



Fonte: FRAUCHES-SANTOS, 2013

3 MATERIAS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da pesquisa

Lehfeld (1991) refere a pesquisa como sendo a inquisição, o procedimento sistemático e intensivo, que tem por objetivo descobrir e interpretar os fatos que estão inseridos em uma determinada realidade. Para Gil (1999), o método científico é um conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos utilizados para atingir o conhecimento. Segundo Yin (2001), o estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo dos fatos objetos de investigação, permitindo um amplo e pormenorizado conhecimento da realidade e dos fenômenos pesquisados.

O estudo em questão se dedicou à realização de uma investigação descritiva voltada para a compreensão e caracterização do fenômeno da corrosão, buscando elucidar detalhadamente o processo por meio de uma abordagem embasada em metodologia científica. A pesquisa empreendida teve como objetivo principal oferecer uma análise aprofundada e sistemática desse fenômeno, permitindo a identificação de seus mecanismos, fatores desencadeantes e possíveis estratégias de mitigação ou prevenção.

A abordagem descritiva adotada neste estudo permitiu a coleta de dados relevantes e a elaboração de uma análise minuciosa sobre os processos corrosivos, considerando variáveis como tipos de materiais afetados, ambientes propícios à corrosão, agentes causadores e consequências associadas. Essa metodologia científica proporcionou uma compreensão mais ampla e detalhada do fenômeno, contribuindo para o avanço do conhecimento nessa área específica.

3.2 Obtenção de dados

O estudo atual abrangeu uma variedade de metodologias para a obtenção de dados, desde entrevistas até revisões bibliográficas, com o objetivo de oferecer informações concretas e abrangentes sobre o fenômeno da corrosão em veículos.

Iniciando com uma fase de entrevistas informais para obtenção de informações iniciais para utilização nas próximas etapas.

Seguido de observações minuciosas no local que será abordado no presente trabalho, foram catalogadas e analisadas em profundidade as diversas manifestações de corrosão nos veículos, identificando a frequência e os tipos predominantes. Paralelamente, uma documentação fotográfica detalhada foi realizada para melhor ilustrar e documentar as problemáticas identificadas.

Na fase subsequente, foram conduzidas entrevistas informais com funcionários experientes da empresa, proporcionando insights valiosos sobre os desafios associados à corrosão. Suas vivências práticas no ambiente permitiram destacar áreas críticas de incidência, problemas mais graves e estratégias adotadas para enfrentar essa questão. Meu envolvimento como mecânico no local reforçou e validou os principais problemas mencionados pelos funcionários.

A terceira etapa concentrou-se na organização metódica e síntese de todas as informações coletadas, visando apresentar dados concretos e significativos para embasar o estudo.

Posteriormente, foi realizada uma extensa revisão bibliográfica abrangendo diversas fontes científicas e técnicas. Esta busca abordou não apenas o fenômeno da corrosão, mas também fatores ambientais, como o clima local, a influência da proximidade do mar, a variedade de materiais utilizados nos veículos e os tipos específicos de corrosão associados. Essa revisão enriqueceu significativamente o entendimento sobre o tema.

Além disso, para fundamentar informações climáticas, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foi consultado, fornecendo dados precisos sobre temperatura média, precipitação, velocidade do vento e outras variáveis climáticas relevantes. Eles oferecem um contexto valioso para compreender a dinâmica climática e sua possível influência na corrosão dos veículos.

3.3 A empresa

A empresa selecionada, situada na Avenida Sargento Herminio, 3200, em Fortaleza-CE, é uma entidade atuante no segmento de compra e venda de automóveis novos e seminovos, acumulando mais de três décadas de experiência no mercado e mantendo um estoque com mais de 100 veículos. O corpo de funcionários diretos conta com 10 colaboradores distribuídos em distintos setores, abrangendo serviços gerais, manutenção automotiva, embelezamento veicular e vendas.

Os automóveis são resguardados sob um telhado metálico, sem a presença de paredes ao longo da loja, o que gera preocupações significativas em relação aos efeitos corrosivos causados pela exposição às intempéries, frequentemente trazidas pelos ventos. Esta exposição intempestiva pode acarretar custos adicionais e demandar realocação de recursos consideráveis.

A proximidade com o mar, situado a meros 2,7km da empresa, emerge como um ponto crucial de preocupação. Esta proximidade a torna altamente suscetível à maresia, um fator

preponderante quando se discute os problemas de corrosão em veículos.

Uma avaliação inicial da situação foi conduzida com o propósito de estabelecer uma estimativa preliminar dos possíveis ganhos financeiros após a implementação de medidas para controle da corrosão.

Os custos mensais estimados foram delineados: aproximadamente R\$ 720 em gastos com bombas de combustível; R\$ 150,00 destinados a descarbonizantes para limpeza de bicos injetores; cerca de R\$ 800,00 com componentes do sistema de arrefecimento dos veículos. Ademais, estima-se um gasto superior a R\$ 500 por veículo em reparos de funilaria devido à corrosão. Esses números demonstram a significativa influência dos efeitos corrosivos nos custos operacionais da empresa.

3.4 Metodologia empregada

3.4.1 Estrutura de análise

Iniciou-se o estudo com entrevistas informais direcionadas aos funcionários e gestores locais, abrangendo questionamentos pertinentes ao tema abordado na pesquisa.

Em seguida, adentrou-se ao campo para verificar empiricamente a consistência das informações obtidas nas entrevistas. Cada veículo presente no local foi minuciosamente avaliado individualmente, verificando componentes como bomba d'água, válvula termostática, radiador e demais elementos correlatos.

A etapa subsequente envolveu a consolidação dessas informações, permitindo obter uma perspectiva abrangente sobre a extensão dos problemas identificados de forma geral.

Por fim, propuseram-se melhorias para o ambiente estudado, visando a redução máxima dos índices de corrosão de forma preventiva. Este enfoque preventivo visa preservar a estrutura original do objeto, minimizando a necessidade de substituições. A sugestão dessas melhorias objetiva mitigar os efeitos corrosivos identificados, promovendo uma maior durabilidade e integridade dos veículos.

3.4.2 Entrevistas

Foram conduzidas entrevistas informais com colaboradores mais experientes, visando coletar informações detalhadas sobre os defeitos veiculares recorrentes associados à corrosão e os procedimentos adotados para tratá-los.

Esses diálogos também abordaram as áreas de maior dispêndio financeiro relacionadas a esses problemas, assim como as medidas preventivas implementadas. Essas informações

foram cruciais para embasar uma análise mais precisa e abrangente.

Paralelamente, foram realizadas indagações aos gestores, visando compreender as metodologias existentes para combater a corrosão já aplicadas no local. Essa abordagem permitiu obter uma visão holística das estratégias e práticas já implementadas para minimizar os efeitos corrosivos nos veículos da empresa.

O conhecimento advindo dessas entrevistas e diálogos, tanto com os funcionários mais antigos quanto com os gestores, ofereceu uma base sólida para a avaliação e proposição de medidas mais eficientes e direcionadas no enfrentamento da corrosão, buscando aprimorar as práticas existentes e introduzir estratégias complementares, visando à preservação e durabilidade dos veículos.

3.4.3 Inspeção visual

Nesta seção, é realizada uma análise detalhada por meio de inspeção visual, complementada por imagens dos pontos mais suscetíveis a falhas devido à corrosão nos veículos da concessionária. Essas imagens foram selecionadas para representar de maneira precisa as áreas afetadas, muitas vezes evidenciando peças deslocadas de suas posições originais, demonstrando a necessidade de substituição e contribuindo para uma ilustração mais clara e abrangente dos danos ocasionados pela corrosão nos veículos automotores em estoque. Essa análise visual detalhada oferece uma compreensão mais profunda das áreas e componentes mais impactados pela corrosão, permitindo uma identificação precisa dos pontos críticos que demandam intervenção e ação preventiva.

3.5 Condições atmosféricas

3.5.1 Temperatura

A temperatura do ar tem influência direta na corrosão de metais, embora seu impacto geralmente seja menos agressivo do que outros fatores, como a umidade e a presença de agentes corrosivos. Em geral, temperaturas mais elevadas tendem a acelerar reações químicas, o que pode incluir as reações de corrosão. Portanto, em ambientes mais quentes, a corrosão pode ocorrer a uma taxa mais rápida.

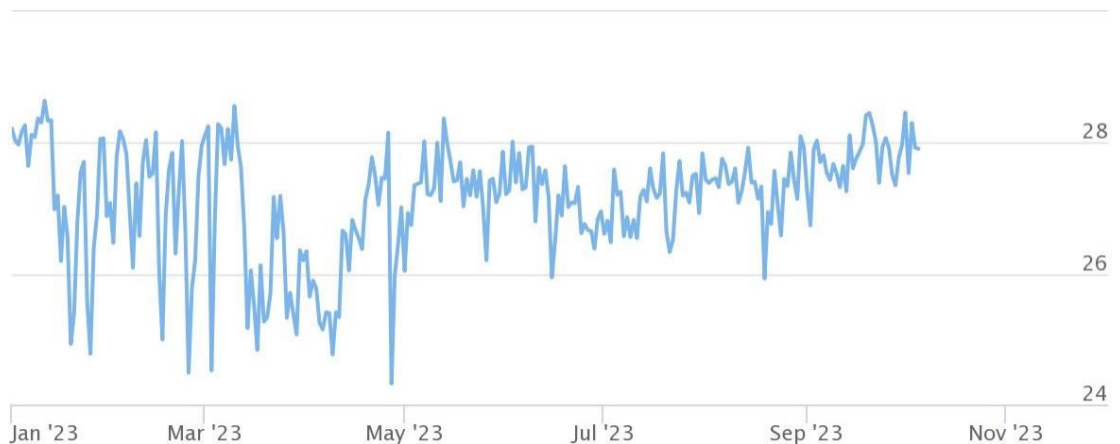
As variações de temperatura também levam à formação de condensação na superfície de metais. Quando a temperatura cai, a água do ar pode se condensar na superfície do metal, criando condições favoráveis para a corrosão, uma vez que a água facilita as reações corrosivas devido a presença de eletrólitos que permitem a transferência de elétrons criando

assim uma espécie de pilha.

Além disso, existe a dilatação e a contração térmicas que ocorrem devido a variações de temperatura dos materiais. Esse ciclo de expansão e contração pode levar à formação de microfissuras ou rachaduras nos revestimentos protetores, expondo o metal subjacente à ação corrosiva.

Abaixo são expostos dados da variação de temperatura no ano de 2023.

Gráfico 1: Temperatura média



Fonte: inmet – Instituto Nacional de Meteorologia (2023)

Pode ser observado que de janeiro a maio de 2023 as temperaturas variam cerca de 4 graus em pequenos períodos. Enquanto de junho a setembro de 2023 temos temperaturas mais estáveis.

3.5.2 Umidade relativa

A umidade do ar desempenha um papel significativo na corrosão de metais, fornecendo uma fonte constante de água para a superfície do metal, através por exemplo da:

- a) **Condensação:** Em ambientes com variações acentuadas de temperatura, a umidade do ar pode condensar na superfície do metal quando a temperatura cai. Isso cria condições favoráveis para a corrosão, já que a água acumulada facilita as reações corrosivas por possuir eletrólitos e agentes ácidos.
- b) **Pontos de orvalho:** O ponto de orvalho é a temperatura na qual o ar se satura com vapor de água, levando à condensação. Nas áreas onde a temperatura do metal atinge ou cai abaixo do ponto de orvalho, a umidade do ar se condensa na superfície do metal, aumentando o risco de corrosão.

Gráfico 2: Umidade relativa média



Fonte: inmet – Instituto Nacional de Meteorologia (2023)

3.5.3 Precipitação

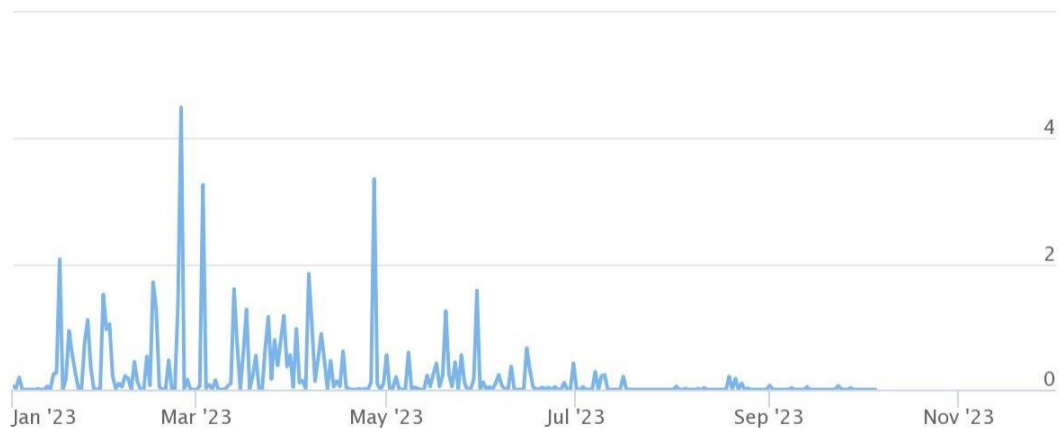
A precipitação, em particular a chuva, influencia a corrosão de metais, principalmente devido à água que é depositada sobre as superfícies metálicas. A influência da precipitação na corrosão inclui os seguintes fatores:

Água: A precipitação, como a chuva, fornece uma fonte direta de água para a superfície do metal. A água é essencial para o processo de corrosão, uma vez que permite que as reações químicas ocorram entre o metal e os agentes corrosivos presentes no ambiente, como oxigênio e íons.

Ácidos na chuva: A chuva ácida é uma forma de precipitação que contém ácidos, como ácido sulfúrico e ácido nítrico, que podem aumentar a taxa de corrosão. Esses ácidos reagem diretamente com os metais, acelerando o processo corrosivo.

Partículas suspensas: A precipitação pode conter partículas sólidas ou partículas de poeira suspensas no ar. Quando essas partículas entram em contato com a superfície do metal na chuva, podem acelerar a corrosão, agindo como abrasivos que removem os revestimentos protetores e expõem o metal à ação corrosiva.

Gráfico 3: Precipitação média em milímetros



Fonte: inmet – Instituto Nacional de Meteorologia (2023)

3.5.4 Velocidade do vento

A velocidade do vento pode ter influência na corrosão de metais, embora o impacto não seja tão direto quanto outros fatores, como a umidade ou a presença de substâncias corrosivas. A influência da velocidade do vento na corrosão está relacionada principalmente a fatores secundários, que podem agravar ou atenuar o processo de corrosão.

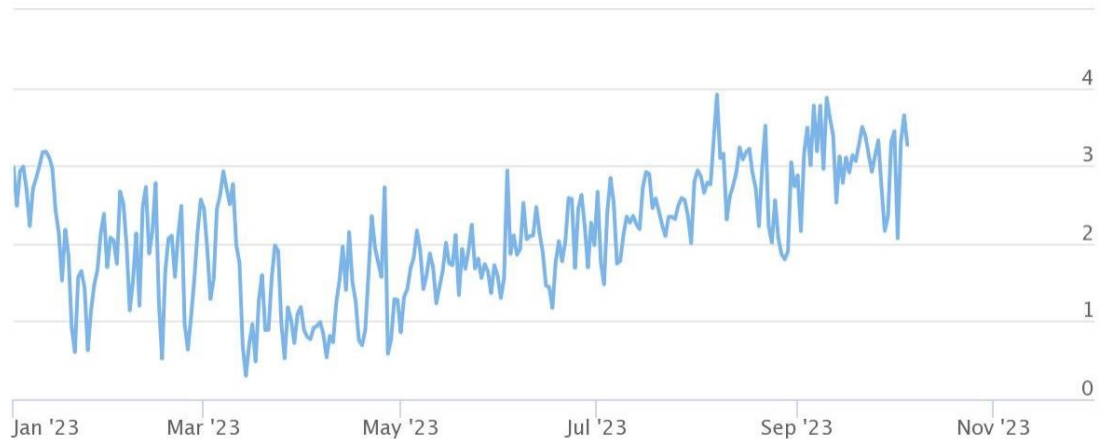
Segundo Morcilo et al. (2000), velocidades acima de 3 m/s são fator preponderante no que diz respeito ao nível de agressividade de um ambiente próximo da influência marinha.

Em regiões costeiras ou expostas a ventos marítimos, os ventos podem transportar gotículas de água salgada que, quando depositadas em metais, podem causar corrosão atmosférica acelerada devido ao teor de sal.

Portanto, embora a velocidade do vento em si não seja um agente corrosivo direto, ela pode afetar a corrosão de metais ao transportar poluentes e partículas que contribuem para o processo de degradação.

A combinação de vento com outros fatores, como umidade, poluentes atmosféricos e abrasão mecânica, pode resultar em taxas de corrosão mais elevadas em certas condições ambientais. Para proteger os metais em ambientes ventosos, é importante considerar medidas de proteção, como revestimentos protetores e a escolha de ligas metálicas resistentes à corrosão.

Gráfico 4: Velocidade média dos ventos



Fonte: inmet – Instituto Nacional de Meteorologia (2023)

3.6 Combustíveis

Foulkes et al. (1980) descobriram que a gasolina contendo 15% de metanol causa danos corrosivos em materiais como cobre, latão, aço carbono, zinco e aços revestidos com chumbo e estanho. Eles também observaram que a presença de água, sais e ar amplifica significativamente essa corrosão causada pela gasolina. Em uma pesquisa separada, Paraminova e Filatova (2004) mostraram que a aplicação de uma camada de cromo em chapas de aço revestidas com chumbo e estanho, comumente usadas em tanques de automóveis, aumenta em 20 vezes a resistência dessas chapas à corrosão quando expostas à gasolina. Resultados semelhantes foram corroborados por Cho et al. (2000) que examinaram a resistência à corrosão de aço galvanizado revestido com cromo. Eles observaram que o revestimento melhora a resistência à corrosão do aço galvanizado, mesmo na presença de gasolina fora dos padrões ou misturas de álcool-gasolina.

Duarte et al. (2004) destacaram a viabilidade do uso de PET (polietileno tereftalato) como material de revestimento para os aços empregados nos tanques de automóveis, uma vez que não há corrosão do material metálico na presença de gasolina, álcool combustível ou diesel. Os compostos associados à corrosão das placas de aço galvanizado foram identificados como óxidos e carbonatos de ferro e zinco. Evitar a formação desses compostos é crucial, já que podem causar desgaste e interferir no funcionamento de partes do veículo, como no sistema de injeção, por exemplo.

Duarte et al. (2004) verificaram o poder corrosivo do álcool combustível sobre aço doce, associado provavelmente à presença de cloretos. A resistência à corrosão de ligas de alumínio, silício e cobre em etanol, puro ou com adição de ácido e cloretos, foi avaliada

através de testes de perda de massa, espectroscopia de impedância eletroquímica e polarização potencio dinâmica. Essa liga, que é usada em cilindros automotivos, não apresentou corrosão significativa em etanol. Posteriormente, obteve-se resultado similar ao se testar a compatibilidade entre esse tipo de liga e um condensado de combustível, que simula o produto da combustão de combustível com alto teor de álcool.

Trasatti et al. (2004) avaliaram o efeito do conteúdo de água sobre a corrosão de uma liga alumínio e silício em soluções etanoicas, utilizando ensaios de perda de massa e técnicas de polarização. Os resultados indicaram que com até 2% de água, a corrosão é desprezível; com 10%, a taxa de corrosão aumenta; e, com 20% de água, a taxa de corrosão diminui, devido à passivação do material.

Lins et al. (2005) realizaram ensaios de imersão de ligas de Ferro, manganês, alumínio, silício e carbono em álcool combustível e gasolina. As ligas imersas em álcool combustível apresentaram corrosão por pites, com aumento da concentração de ferro, manganês, cloro e oxido de silício na solução alcoólica. Entretanto, as ligas imersas em gasolina não sofreram nenhum processo corrosivo.

Já se tratando de diesel, por conta da presença de compostos de enxofre em sua composição, a corrosão pode se manifestar devido a essas substâncias. Além disso, há uma possível associação com a degradação microbiana do diesel, que pode levar à redução do seu pH. Em particular, os aços presentes nos tanques podem ser corroídos pelo diesel deteriorado.

3.7 Arrefecimento

Segundo Lima (1989), as propriedades físicas fundamentais dos líquidos utilizados como aditivos para o sistema de arrefecimento são o ponto de congelamento e o ponto de ebulição, sendo os mesmos determinantes para sua escolha e aplicação.

A água mais adequada para diluir o aditivo concentrado é a destilada ou desmineralizada, entretanto a diluição também pode ser feita em uma água comum, desde que ela apresente alta qualidade, sendo limpa, com baixos níveis de cloretos e sulfatos (LIMA, 1989).

Segundo Landulfo (2017), O uso prolongado de um fluido inadequado pode, além de reduzir a eficiência do sistema, diminuir a vida útil dos componentes.

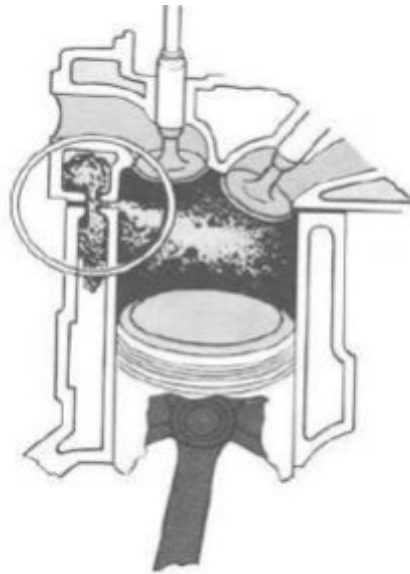
Adição de solução anticongelante a base de etileno-glicol ajuda a evitar a corrosão em partes metálicas do motor. Sua proporção em relação a água varia de acordo com a recomendação de cada fabricante e geralmente está entre 30% a 50% de aditivo em relação a água (BONNICK e NEWBOLD, 2011).

Conforme Lima (1989), a temperatura do ponto de ebulição do líquido de arrefecimento varia conforme a concentração de etileno-glicol na água. Também há uma variação de acordo com a pressão em que o líquido se encontra, essas características são apresentadas na tabela abaixo.

Segundo Bonnick e Newbold (2011), a corrosão no sistema de arrefecimento é muito prejudicial ao motor, podendo ocorrer principalmente através das seguintes maneiras:

- a) Corrosão direta: pode acontecer quando há a combinação da água do sistema de arrefecimento com o oxigênio do ar, resultando na formação de partículas de ferrugem. Essas partículas têm o potencial de danificar a bomba d'água, os selos e causar vazamentos.

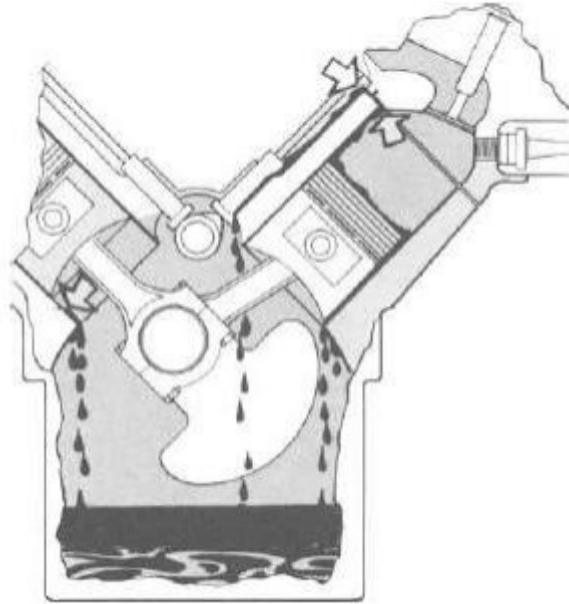
Figura 15: Entrada de água no cilindro



Fonte: Lima 1989

- b) Ataque eletromecânico: é ocasionado pelo uso de metais diversos na construção do motor, gerando corrente elétrica entre esses metais e o líquido de refrigeração. Isso resulta na remoção de material de um ponto e seu depósito em outro. A figura 26 ilustra um exemplo de vazamento provocado pela corrosão por ataque eletromecânico.

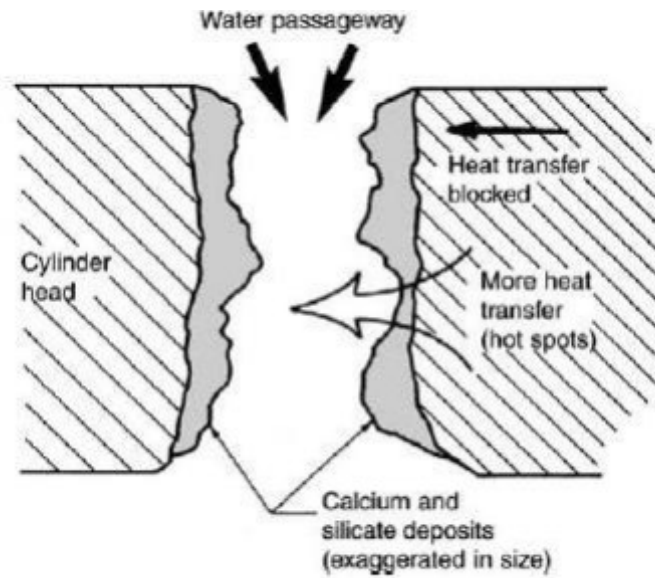
Figura 16: Entrada de água no cárter



Fonte: lima 1989

- c) A cavitação: surge principalmente devido à rotação veloz do rotor da bomba d'água, o que cria bolhas de vapor. Essas bolhas provocam pequenos impactos que resultam na remoção de material do próprio rotor.
- d) O depósito de minerais é originado pela acumulação de cálcio e silicato provenientes do uso de água contaminada (ver figura 27). Essa deposição de material resulta na diminuição da condutividade térmica entre a superfície metálica e o fluido, podendo também restringir o fluxo do líquido de arrefecimento em certas situações.

Figura 17: Depósito de cálcio



Fonte: lima 1989

Segundo Bonnick e Newbold (2011), a verificação da concentração de aditivo no líquido de arrefecimento é feita com o auxílio de um hidrômetro e um termômetro, aferindo a densidade do fluido

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos dados climáticos revelou as principais razões por trás da severidade climática na área. Apesar da diminuição exponencial dos cloretos à medida que nos afastamos do litoral, a influência dos ventos amplifica sua disseminação para o interior do continente, intensificando o processo corrosivo. Os registros de temperatura, umidade e precipitação indicam padrões cíclicos de períodos úmidos e secos. Esses ciclos, combinados à presença de poluentes, agravam ainda mais os efeitos da corrosão.

Além das configurações geométricas de certas peças, fatores como o ambiente em que estão inseridas, o tempo de utilização, a falta de proteção em elementos corroídos e a acessibilidade desempenharam papéis igualmente cruciais. Essa análise permitiu identificar estratégias mitigadoras para prevenir ou controlar as irregularidades mencionadas.

4.1 Inspeção visual

A Figura 18 oferece uma representação visual da superfície externa de uma válvula termostática, na qual são perceptíveis evidências de oxidação. Este fenômeno é atribuído ao contato com líquidos inadequados para o sistema de arrefecimento, como a água da torneira, que frequentemente contém quantidades significativas de eletrólitos. Tal composição propicia a formação de uma ponte entre o catodo e o anodo, desencadeando danos corrosivos. Além disso, a presença de elevadas temperaturas, contribui para agravar esse processo. A circulação de micropartículas no sistema também é um fator a considerar como agravante da corrosão. Esses fatores, em conjunto, intensificam os efeitos corrosivos, resultando na oxidação visível na válvula termostática apresentada.

Figura 18: Válvula termostática



Fonte: autor (2023)

A Figura 19 oferece uma representação do cabeçote de um veículo de combustão no ciclo otto. Destaca-se na galeria de fluido de arrefecimento, identificada pela letra “B”, níveis avançados de corrosão, em sua maior parte do tipo alveolar, que culminaram na deformação do material presente nessa área específica.

Na seção marcada como “A”, observam-se as válvulas de admissão à esquerda e de escape à direita, ambas exibindo marcas de oxidação ferrosa, em sua forma uniforme, devido à passagem do líquido de arrefecimento das galerias para a câmara de combustão. Essa problemática surgiu em decorrência do comprometimento da junta responsável pela vedação entre o cabeçote e o bloco do motor, influenciada pelas elevadas temperaturas operacionais do motor.

O impacto direto das altas temperaturas sobre a junta de vedação resultou na deterioração do material, permitindo a infiltração do líquido de arrefecimento em áreas não designadas para tal, ocasionando os sinais de oxidação observados nas válvulas e na galeria de fluido de arrefecimento. Esse quadro ilustra vividamente os efeitos da corrosão em componentes essenciais do motor, evidenciando a importância de medidas preventivas para preservar a integridade estrutural e funcional do veículo.

Figura 19: Cabeçote danificado



Fonte: autor (2023)

Para efeito de comparação temos na figura 20 a imagem de um cabeçote novo, em plena condição de utilização.

Figura 20: Cabeçote novo



Fonte: autor (2023)

Na Figura 21, há uma representação visual do ponto previamente mencionado, referente à junta do cabeçote, em que predominam dois tipos de corrosão, uniforme e por frestas devido a sua junção com o bloco do motor. É possível identificar claramente alguns pontos críticos de falha na junta, visualmente evidentes à esquerda da figura.

Para fins de comparação, à direita da imagem, encontra-se uma junta nova e original. Essa comparação visual oferece uma clara distinção entre a junta comprometida pelo desgaste e os defeitos identificados, em contraponto à aparência íntegra e sem falhas da junta nova.

Essa ilustração permite uma análise visual direta das áreas de comprometimento e falha na junta do cabeçote, realçando a importância de manutenções preventivas e da substituição oportuna desses componentes para garantir a eficiência e a durabilidade do sistema do motor.

Figura 21: Junta do cabeçote



Fonte: autor (2023)

Na Figura 22, à direita, apresenta-se o bloco do motor de um veículo em estado pleno de utilização. Nesse ponto, são claramente identificados o cilindro, os pistões e a extensão das galerias de líquido de arrefecimento que se estendem do cabeçote.

Já à esquerda, observamos um bloco semelhante, porém, este foi afetado pela corrosão decorrente do trabalho em temperaturas elevadas e do uso de fluidos de arrefecimento inadequados.

As diferenças entre os dois blocos são evidentes, especialmente no bloco afetado pela corrosão, onde se observam sinais visíveis de danos ocasionados pelo processo corrosivo. Esses danos comprometem a estrutura e a integridade do bloco, ilustrando vividamente os efeitos adversos da corrosão em componentes fundamentais do motor. Essa comparação serve como um exemplo claro da importância de condições apropriadas de operação e manutenção preventiva para preservar a funcionalidade e a vida útil dos componentes do motor do veículo.

Figura 22: Bloco do motor

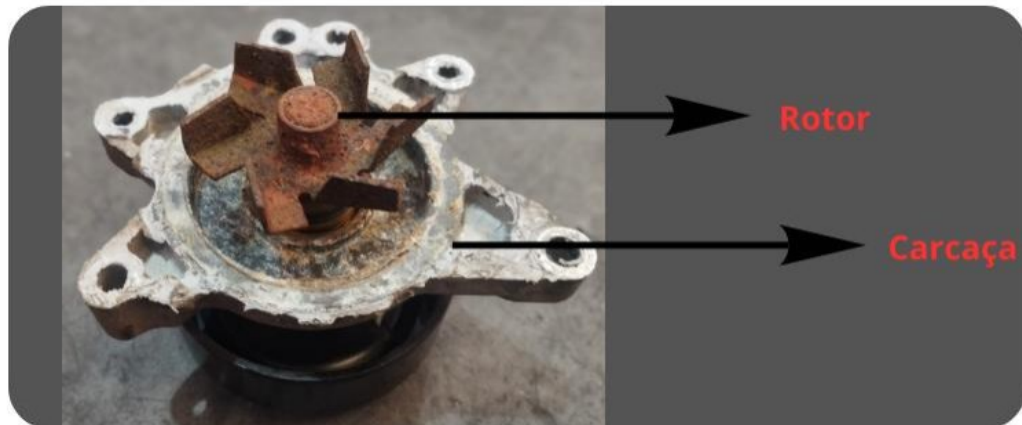


Fonte: autor (2023)

Na Figura 23, é apresentada uma imagem de uma bomba d'água veicular, onde são evidenciados sinais de óxido ferroso no rotor devido a corrosão no formato uniforme e um enfraquecimento estrutural da carcaça resultante da corrosão em seu formato alveolar. Essa ação corrosiva resultou na redução significativa da vida útil dessa bomba d'água.

Logo em seguida, temos outra figura que compartilha semelhanças marcantes com a imagem anterior, especialmente no que se refere aos efeitos da corrosão sofridos pelo componente veicular. Essa comparação visual destaca os impactos adversos da corrosão, não apenas em um, mas em múltiplos componentes críticos do sistema automotivo, ressaltando a importância de medidas preventivas e a manutenção adequada para preservar a funcionalidade e a durabilidade dos equipamentos do veículo.

Figura 23: Bomba d'água



Fonte: autor (2023)

Figura 24: Bomba d'água comparativa



Fonte: autor (2023)

Na Figura 25, é retratado um conjunto de componentes do freio dianteiro de um veículo, composto, em geral, por disco, pastilhas e pinça. Observou-se que na área de atrito entre o disco e a pastilha, não há vestígios de ferrugem; ao contrário, é possível notar um metal polido. No entanto, os arredores do disco de freio estão completamente afetados pela corrosão. É importante ressaltar que a pinça de freio, embora seja composta por ferro fundido, não exibiu sinais de corrosão.

Essa observação clara e contrastante entre as áreas sem corrosão e aquelas afetadas enfatiza a possibilidade de solucionar o problema por meio de uma mudança nos materiais empregados. Alternativamente, a aplicação de uma camada de tinta especialmente desenvolvida para resistir a altas temperaturas poderia ser uma medida eficaz para proteger os

componentes do sistema de freio contra os efeitos corrosivos, prolongando sua vida útil e mantendo sua eficiência operacional.

Figura 25: Sistema de freio dianteiro



Fonte: autor (2023)

Na Figura 26, é retratada uma bomba de combustível de um veículo flex, exibindo um ataque severo causado pela corrosão, principalmente no tipo uniforme. Esse componente é submetido a um tratamento superficial de zincagem durante sua fabricação, destinado a oferecer uma camada protetora. No entanto, devido à presença de agentes agressivos na composição dos combustíveis utilizados, essa camada protetora foi completamente eliminada ao longo do tempo, resultando na exposição do metal base e, por consequência, no processo corrosivo.

A exposição prolongada a esses agentes corrosivos presentes nos combustíveis, especialmente em veículos flex, acabou comprometendo a integridade da camada de zincagem, deixando o metal vulnerável à corrosão. Essa ilustração destaca os desafios enfrentados na proteção contra a corrosão em componentes automotivos, especialmente em áreas expostas a agentes agressivos, enfatizando a necessidade de soluções mais duráveis e resistentes para preservar a funcionalidade desses componentes.

Figura 26: Bomba de combustível



Fonte: autor (2023)

Na Figura 27, é evidenciada a ação corrosiva nos metais presentes no sistema de arrefecimento veicular quando submetidos ao uso de um aditivo de baixa qualidade ou, até mesmo, à utilização de água da torneira. Dois recipientes são apresentados, cada um contendo um prego de metal e uma fração de palha de aço, ambos nas mesmas proporções.

No frasco à esquerda, preenchido com um líquido de coloração rosa representando o fluido apropriado, não são observados sinais de corrosão. Em contraste, a embalagem à direita, contendo água da torneira, encontra-se completamente tomada pelos efeitos corrosivos nos metais.

Essa ilustração enfatiza claramente a diferença nos resultados quando se emprega o fluido adequado em comparação com a utilização de água da torneira ou aditivos de baixa qualidade. Os danos visíveis na embalagem à direita evidenciam os efeitos prejudiciais da corrosão nos metais do sistema de arrefecimento veicular quando submetidos a fluidos inadequados, destacando a importância de utilizar os produtos corretos para a preservação dos componentes automotivos

Figura 27: Teste de corrosão em diferentes fluidos



Fonte: autor (2023)

4.2 Problemática e Causalidade

Levando em consideração que a loja a época do estudo possuía cerca de 103 carros em seu estoque, temos alguns dados

Abaixo temos uma tabela que indica alguns dos tipos mais comuns de falha por corrosão encontrados nos veículos do estabelecimento. Para que o estudo pudesse ser realizado foi feita uma primeira análise, testando os veículos individualmente, e fazendo em seguida seu acompanhamento mensal. Foram levados em consideração todos os carros, desde os recentemente adquiridos, até os que possuem anos no estabelecimento, que são também os com maior índice de reprovação em relação aos mais novos.

Quadro 1: Quantificação de falhas

Resultados após inspeção inicial			
	Falhas	Recuperáveis	Causa
Bomba d'água	40	0	A causa principal é a falta de fluido apropriado no sistema de arrefecimento; A causa secundária é o desgaste natural; Esforço mecânico
Bomba de combustível	70	50	Tanque de combustível vazio; Combustíveis de baixa qualidade; não acionamento por longos períodos
Selos de água	20	0	Divide as mesmas causas encontradas na bomba d'água com excessão do esforço mecânico.
Radiador	25	5	Entupimento das vias causado por falta de manutenção; fluido de arrefecimento inadequado

Fonte: autor 2023

Observa-se que a maior parte das falhas se concentra nas bombas de combustível, sujeitas a corrosão química, mas também apresentam os maiores índices de recuperação, pois em geral possuem apenas um travamento do seu sistema, sendo facilmente destravadas. Por outro lado, as bombas d'água têm um índice de falhas mais elevado devido à exposição direta a altas temperaturas e ao contato com os fluidos de arrefecimento, além de enfrentarem maior demanda mecânica, o que acelera suas falhas. Sua recuperação torna-se inviável pois sua falha em geral causa vazamentos de água, não compensando os custos com soldagem e possíveis novas falhas.

Em geral, os radiadores e os selos de água costumavam falhar em conjunto: ao resolver o problema de um, o outro também falhava. Isso se deve principalmente à composição de materiais mais frágeis e às exigências mecânicas semelhantes entre eles. Assim como nas bombas d'água, não é viável o reparo dessas peças em geral, apenas dos radiadores quando estão apenas obstruídos.

4.3 Prevenção e controle

A mitigação da corrosão envolve a implementação de ações para reduzir ou evitar os efeitos prejudiciais da corrosão em vários tipos de materiais e ambientes, ressalta-se que aquelas são propostas para a empresa analisada. Existem várias estratégias que podem ser adotadas para controlar diferentes formas de corrosão. Desse modo seguem algumas ações

para controle e prevenção da corrosão na empresa estudada.

4.3.1 Ações mitigadoras quanto a composição

Isolar eletricamente materiais diferentes que entram em contato é fundamental para evitar a formação de pares galvânicos, que podem causar corrosão. Uma abordagem é o uso de ânodos de sacrifício, que se corroem em vez do metal principal, protegendo-o de danos.

O desenho apropriado dos componentes é crucial para prevenir o contato direto entre metais distintos. Uma sugestão adicional é empregar um terceiro metal que seja anódico a ambos, corroendo preferencialmente para atuar como ânodo de sacrifício.

Além dessas medidas, é recomendado o uso de arruelas e luvas não metálicas para isolar eletricamente os materiais, impedindo o fluxo de elétrons necessário para a corrosão. Isso elimina a formação de pares galvânicos, deixando o metal sujeito apenas à corrosão atmosférica.

4.3.2 Ações mitigadoras quanto a estrutura

Fortalecer as estruturas é essencial para reduzir a concentração de tensões, sendo fundamental o uso de materiais mais resistentes à corrosão e ao desgaste. A escolha das medidas mitigadoras adequadas depende do tipo de corrosão e das condições específicas de operação. Em muitos casos, uma abordagem combinada, incluindo seleção criteriosa de materiais, tratamentos de superfície, monitoramento e manutenção regular, é crucial para controlar efetivamente a corrosão, assegurando a integridade e a longevidade dos materiais e das estruturas.

Reduzir as tensões na estrutura ou componente, sempre que possível, é uma estratégia importante, assim como manter um controle rigoroso da composição do ambiente e do material. O uso de tratamentos térmicos específicos para aliviar tensões residuais e minimizar a suscetibilidade à corrosão é também recomendado.

A aplicação de técnicas de soldagem apropriadas é crucial para minimizar a formação de zonas afetadas pelo calor suscetíveis à corrosão.

Algumas configurações atuais favorecem o acúmulo de água da chuva, que se acumula. Para mitigar esse problema, sugere-se reposicionar a estrutura de forma a permitir uma melhor passagem de correntes de ar, evitando o acúmulo de resíduos oriundos das atividades da rua.

4.3.3 Ações mitigadoras quanto a proteção superficial

Monitorar e controlar de maneira rigorosa o ambiente microbiológico no sistema de arrefecimento e de combustíveis é essencial. Isso inclui o uso de revestimentos resistentes ao ataque microbiologicamente influenciado (MIC) e a aplicação de aditivos biocidas ou tratamentos específicos para inibir o crescimento de microrganismos.

Além disso, a aplicação de revestimentos protetores, como tintas, galvanização e revestimentos de polímeros, cria uma barreira física entre o metal e o ambiente corrosivo.

Selecionar materiais naturalmente resistentes à corrosão, como aço inoxidável e ligas de alumínio, é uma estratégia eficaz. Controlar o ambiente ajustando o pH, temperatura e concentração de agentes corrosivos também é fundamental.

No caso da tubulação já protegida, sugerir uma revitalização do revestimento utilizando periodicamente substâncias anticorrosivas pulverizando-as no local necessário.

No caso dos problemas encontrados na lataria do veículo, uma alternativa prática seria preparar a superfície, removendo sujeira, ferrugem e outras impurezas. Após isso, aplicar um primer para melhor aderência da camada de tinta, seguido por múltiplas camadas de tinta.

É crucial realizar manutenções periódicas para retocar o revestimento, cobrindo áreas mais danificadas, pois isso é menos oneroso do que esperar pelo desgaste completo do revestimento e, então, revitalizar toda a pintura.

4.3.4 Implantação do gerenciamento da corrosão

Recomenda-se a instauração de um sistema de gerenciamento de corrosão eficaz, pois isso aprimora a capacidade de uma organização de lidar com as ameaças relacionadas à corrosão de ativos, tanto no presente quanto no futuro. Esse sistema é composto por um conjunto documentado de procedimentos que abrangem o planejamento, implementação e monitoramento da integridade dos ativos, com foco na prevenção proativa da corrosão, em detrimento de reparos corretivos.

Assim sendo, um sistema de gerenciamento eficiente deve englobar planos para a vida útil desejada dos ativos, juntamente com procedimentos e práticas que visem prevenir a corrosão. Isso inclui a inspeção e monitoramento dos ativos existentes, além do gerenciamento ativo por meio de indicadores-chave, tudo alinhado com os objetivos, estratégias e políticas da empresa.

5 CONCLUSÃO

Em conclusão, a investigação realizada neste Trabalho de Conclusão de Curso sobre a corrosão em veículos revela a importância crucial de entender, prevenir e mitigar os efeitos adversos que a corrosão pode ter em automóveis. A corrosão não é apenas um problema estético, mas também um desafio que afeta a segurança, o desempenho e a durabilidade dos veículos.

Este estudo destacou vários pontos essenciais, incluindo a influência de fatores ambientais, a utilização de materiais mais resistentes à corrosão, os processos de proteção anticorrosiva e a importância da manutenção regular. É imperativo que a indústria automobilística e os proprietários de veículos estejam cientes dos riscos associados à corrosão e adotem medidas proativas para controlá-la.

Como a tecnologia automotiva avança e as regulamentações ambientais se tornam mais rigorosas, a pesquisa contínua e o desenvolvimento de soluções inovadoras são essenciais para minimizar os impactos da corrosão. Além disso, a conscientização do público sobre a importância da prevenção da corrosão é fundamental para garantir a segurança e a eficiência dos veículos, bem como para reduzir os custos de manutenção ao longo do tempo.

À medida que avançamos em direção a um futuro de veículos mais seguros, eficientes e duráveis, é fundamental que a indústria automobilística e a sociedade como um todo considerem a corrosão como um desafio a ser enfrentado de maneira proativa.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros fica a sugestão do estudo da aplicação de metodologias de previsão da corrosão através da análise de dados atmosféricos, levantando os principais efeitos de cada característica climática, e sua capacidade de acelerar o processo corrosivo em cada tipo de material.

Fica também sugerido um estudo de caso a respeito da eficiência de cada um dos modelos de controle da corrosão, para que possa existir um levantamento de dados concretos a respeito da eficiência de cada medida mitigante.

REFERÊNCIAS

- KOCH, G.H.; BRONGERS, M.P.H.; THOMPSON, N.G.; VIRMANI, Y.P.; PAYER, J.H.; “Corrosion costs and preventive strategies in the US”. **CC Technologies Laboratories Inc. to FHWA** (Federal highway Administration), 2001.
- MIRACLE, Daniel B. et al. **ASM handbook**. Materials Park, OH: ASM international, 2001.
- GENTIL, V.; **CORROSÃO**, 5ª edição – 2007.
- LEHFELD, N. A. S.; Barros, A. J. P. B. Projeto de pesquisa: **Propostas metodológicas**. 1991. 102 p.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- YIN, R. K. Estudo de caso: **planejamento e métodos**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- SELLTIZ, C.; WRIGHTSMAN, L. S.; COOK, S. W. **Métodos de pesquisa das relações sociais**. São Paulo: Herder, 1965.
- TORRES, Emanuelle dos Santos. **Proteção contra corrosão de metais empregados em tanques de armazenamento de combustíveis**. São José dos Campos, 2019.
- SILVA, Marcela Lélis. **Tratamento Anticorrosivo da Superfície Interna em Tanques de Armazenamento de Derivados do Petróleo com Resina Epóxi**. Revista Científica Semana Acadêmica, nº 000085, 01/07/2016. Fortaleza, 2016.
- VERINK, E. D. **Corrosion Basics and Introduction**, L.S. Van Delinder, ed., National Association of Corrosion Engineers, Houston, TX, 1984, p. 352.
- AKASHI, A. **Aumentam as apostas no uso do alumínio** – Outubro, 2012.
- FOULKES, F. R.; KALIA, R. K.; KIRK, D. W.; **Can. J. Chem. Eng.** 1980, 58, 654.
- PARAMONOV, V. A.; FILATOVA, N. G.; **Prot. Met.** 2004, 40, 82.
- DUARTE, L. T.; SILVA, E. M. P.; BRANCO, J. R. T.; LINS, V. F. C.; **Surf. Coat. Tech.** 2004, 182, 261
- TRASATTI, S. P.; SIVIERI, E.; MAZZA, F. **Em Trends in Electrochemistry and Corrosion at the Beginning of the 21st Century**; Brillas, E.; Cabot, P., eds.; Publicacions de la Universitat de Barcelona: Barcelona, 2004, p. 1083-1095.
- LINS, V. F. C.; FREITAS, M. A.; SILVA, E. M. P.; **Appl. Surf. Sci.** 2005, 250, 124.
- CHO, S.; LEE, J.; NOH, S.; **Mechanical Working and Steel Processing Conference Proceedings** 2000, 38, 295.

BONNICK A. NEWBOLD D. **A Practical Approach to Motor Vehicle Engineering and Maintenance**, 3ª ed. Routledge: Elsevier, 2011.

LANDULFO, F. **Água no radiador? Mas nem pensar! O Mecânico**, Osasco, ed. 283, p. 46-48, 2017.

LIMA, J. OTTERMAN, G. **Manual on Selection and Use of Engine Coolants and Cooling System Chemicals**. 4th ed. Baltimore: ASTM, 1989.

PITOL, Alexandre; Beck, Daniel.; **Tecnologia dos materiais** Passo Fundo, 2007.

PANNONI, Fabio Domingos. **Fundamentos da corrosão**. [S. l.: s. n.], 2008.

PANONNI, Fábio Domingos. Projeto e Durabilidade. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia e Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2009. 71 p.

VIDELA, Hector A.. Biotecnologia.3.ed.São Paulo: Edgard Blucher Ltda,1993. 65p.(**Corrosão Microbiológica**, v.4).