



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE RUSSAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

GERSON GABRIEL OLIVEIRA MESQUITA

**ESTUDO DE CASO SOBRE A CORROSÃO EM UMA PLANTA DE EXTRAÇÃO DE
OURO**

RUSSAS
2022

GERSON GABRIEL OLIVEIRA MESQUITA

**ESTUDO DE CASO SOBRE A CORROSÃO EM UMA PLANTA DE EXTRAÇÃO DE
OURO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharela em Engenharia Mecânica.

Orientador: Profa. Dra. Caroliny Gomes de Oliveira

RUSSAS

2022

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

M544e Mesquita, Gerson Gabriel Oliveira.

Estudo de caso sobre a corrosão em uma planta de extração de ouro / Gerson Gabriel Oliveira Mesquita. – 2022.

57 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia Mecânica, Russas, 2022.

Orientação: Profa. Dra. Caroliny Gomes de Oliveira .

1. Corrosão. 2. Pilha galvânica. 3. Corrosão por frestas. 4. Ações mitigadoras. 5. Intempérie. I. Título.

CDD 620.1

GERSON GABRIEL OLIVEIRA MESQUITA

**ESTUDO DE CASO SOBRE A CORROSÃO EM UMA PLANTA DE EXTRAÇÃO DE
OURO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica
do Campus Russas da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Mecânica

Aprovada em: 12/07/2022.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Caroliny Gomes de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

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

Prof. Ms. Ramon Rudá Brito Medeiros
Universidade Federal do Ceará (UFC)

RESUMO

Considerando os impactos da corrosão na indústria mundial e a importância da sua compreensão para seu controle e prevenção, o presente trabalho foi proposto para identificar suas principais causas desta corrosão e dessa forma propor soluções para uma empresa de extração de ouro. Trata-se de um estudo de natureza aplicada que uniu objetivos exploratórios e descritivos, onde por meio de uma abordagem qualitativa, uniu estudo de caso e pesquisa bibliográfica para condução da pesquisa, produzindo dados na forma de observações, entrevistas e do clima. A partir disso, foi mostrada a presença da corrosão por intempérie devido a proximidade do mar e a ação dos ventos. Ao mesmo tempo, a presença de chuvas e sua influência nos valores de umidade relativa do ar, juntamente com a variação de temperatura entre o dia e a noite, constituíram fatores agravantes para a corrosão no local estudado, além disso, foram constatados problemas de geometria, pilha galvânica e frestas. A partir disso, foram propostas soluções na forma de ações mitigadoras para cada situação, levando a conclusão de que apesar da severidade do clima observado, um conjunto de medidas pode minimizar os efeitos da corrosão.

Palavras-chave: corrosão; pilha galvânica; corrosão por frestas; ações mitigadoras; intempérie.

ABSTRACT

Considering the impacts of corrosion on the world industry and the importance of its understanding for its control and prevention, the present work was proposed to identify its main causes and thus propose solutions for a gold extraction company. It is an applied study that joined exploratory and descriptive objectives, where through a qualitative approach, it joined case study and bibliographic research to conduct the study, producing data in the form of observations, interviews and the climate. From this, the presence of weathering corrosion was shown due to the proximity of the sea and the action of the winds. Thus, the presence of rain and its influence on the values of relative humidity of the air, together with the variation in temperature between day and night, constitute aggravating factors for weathering corrosion in the studied place, in addition, there were geometry, galvanic cell and crevice problems. From this, solutions were proposed in the form of mitigating actions for each situation, leading to the conclusion that despite the severity of the observed climate, a set of measures can minimize the effects of corrosion.

Keywords: corrosion; galvanic cell; crevice corrosion; mitigating actions; weathering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corrosão uniforme	18
Figura 2 - Corrosão por placas	18
Figura 3 - Corrosão galvânica	19
Figura 4 - Corrosão por pites	20
Figura 5 - Corrosão por pites	20
Figura 6 - Principais reações eletroquímicas de corrosão	21
Figura 7 - Efeito acumulado da corrosão em aço carbono	25
Figura 8 - Influência da umidade relativa na corrosão atmosférica	26
Figura 9 - Efeito da umidade relativa e da poluição do ar na corrosão do ferro	27
Figura 10 - Disposição de cantoneiras	37
Figura 11 - Configurações de soldagem	37
Figura 12 - Painel elétrico soldado em coluna metálica	45
Figura 13 - Visualização da fresta entre painel e coluna	45
Figura 14 - Tubulação de água de processo	46
Figura 15 - Cobertura da casa de compressores	47
Figura 16 - Corrosão em coluna	48
Figura 17 - Sapata de coluna metálica	49
Figura 18 - Flange de tubulação	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Intensidade do vento em m/s.....	41
Gráfico 2 - Umidade relativa mensal média histórica	42
Gráfico 3 - Temperatura média e temperatura mínima média mensal.....	43
Gráfico 4 - Precipitação média anual em mm	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Corrosividade dos ambientes para o aço carbono	28
Quadro 2 - Mecanismos causadores de falhas em plantas industriais	30
Quadro 3 - Não conformidades encontradas e suas causas	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 <i>Objetivo geral</i>	15
1.1.2 <i>Objetivo específico</i>	15
1.2 Justificativa	15
1.3 Estrutura do trabalho	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 A corrosão.....	17
2.2 Tipos de corrosão.....	17
2.2.1 <i>Corrosão uniforme</i>	17
2.2.2 <i>Corrosão por placas</i>	18
2.2.3 <i>Corrosão galvânica</i>	18
2.2.4 <i>Corrosão por pites</i>	19
2.2.5 <i>Corrosão por frestas</i>	20
2.3 O mecanismo eletroquímico	20
2.4 A célula de corrosão	21
2.5 Passividade	23
2.6 Corrosão por intempérie.....	24
2.7 Fatores que influenciam na corrosão atmosférica	24
2.7.1 <i>Umidade</i>	24
2.7.2 <i>Particulados</i>	26
2.7.3 <i>Composição do eletrólito superficial</i>	26
2.7.4 <i>Agressividade ambiental</i>	28
2.8 Efeito da intempérie nos metais	29
2.8.1 <i>Aparência</i>	29
2.8.2 <i>Manutenção e custos de operação</i>	29
2.8.3 <i>Paralisação no funcionamento da planta</i>	29
2.8.4 <i>Contaminação de produtos</i>	30
2.8.5 <i>Perda de produto</i>	31
2.8.6 <i>Segurança e confiabilidade</i>	31
2.9 Metais utilizados na indústria de beneficiamento	31
2.9.1 <i>Aço carbono e ferros</i>	31
2.9.2 <i>Aço baixa liga</i>	31
2.9.3 <i>Aço inoxidável</i>	32
2.9.4 <i>Alumínio e suas ligas</i>	32
2.9.5 <i>Cobre e suas ligas</i>	32
2.9.6 <i>Zinco e suas ligas</i>	33
2.10 Medidas para mitigação.....	33
2.10.1 <i>Proteção catódica</i>	33
2.10.2 <i>Proteção anódica</i>	34
2.10.3 <i>Revestimentos metálicos</i>	34
2.10.4 <i>Revestimentos Não-Metálicos inorgânicos</i>	36
2.10.5 <i>Revestimentos orgânicos</i>	36
2.10.6 <i>Controle de corrosão através do detalhamento</i>	36
3 METODOLOGIA.....	39
3.1 Caracterização da pesquisa	39
3.2 Coleta de dados	39
3.3 A empresa	40
3.4 Influência de cloretos.....	41

3.5 Média de umidade	42
3.6 Média mensal de temperatura.....	42
3.7 Precipitação média	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1 Identificação de não conformidades	44
4.1.1 <i>Entrevistas</i>	44
4.1.2 <i>Observação direta</i>	44
4.2 Ações mitigadoras.....	50
4.2.1 <i>Ações mitigadoras quanto a corrosão por frestas</i>	50
4.2.2 <i>Ações mitigadoras quanto a superfícies sem proteção</i>	51
4.2.3 <i>Ações mitigadoras quanto a acessibilidade</i>	51
4.2.4 <i>Ações mitigadoras quanto ao acúmulo de resíduos</i>	51
4.2.5 <i>Ações mitigadoras quanto a corrosão em parafusos, porcas e arruelas</i>	52
4.2.6 <i>Implantação do gerenciamento da corrosão</i>	52
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	54
7 REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Callister (2020), os metais são uma classe de materiais de atributos singulares, compostos por um ou mais elementos metálicos, em alguns casos até de elementos não metálicos em baixa quantidade. Apesar de apresentarem comportamento rígido e resistente, demonstram também ductilidade e resistência a fratura, características essas que aliadas com sua capacidade de conduzir elétrons e calor, os tornam um material de extrema importância para a indústria.

De acordo com Brown *et al.* (2016), reações de oxirredução ou simplesmente redox, consistem em reações em que os elétrons são transferidos de um reagente a outro, de modo que é oxidado o átomo, íon ou molécula que perde elétrons. Sendo assim, uma das reações redox mais conhecidas é a corrosão dos metais, esta que pode afetá-los de forma superficial sem grandes danos e profundamente, onde compromete a integridade da estrutura do material, como é o caso da oxidação do ferro.

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). Esta provoca constante transformação dos materiais metálicos de modo que sua durabilidade e desempenho deixem de satisfazer as necessidades a que foram designados.

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). O entendimento desses fundamentos é necessário não só para identificação dos mecanismos de corrosão, como também para sua prevenção e controle através dos métodos apropriados em seu meio operacional.

Portanto, dado o contexto apresentado, nota-se que medidas de mitigação a corrosão merecem atenção, pois identificados os mecanismos causadores do processo, podem ser minimizados seus efeitos. Diante disso, esse trabalho busca focar na identificação dos principais fatores que influenciam na degradação dos metais, para que possam ser adotadas ações de combate à corrosão.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral apresentar de que forma a corrosão por intempérie prejudica a durabilidade de equipamentos, e propor medidas que minimizem os efeitos da corrosão em uma planta de extração de ouro no município de Godofredo Viana – MA.

1.1.2 Objetivo específico

Como objetivos específicos deste trabalho, procura-se:

- a. Fundamentar através do estudo da literatura o conhecimento acerca do fenômeno de corrosão e seus tipos.
- b. Identificar os tipos de corrosão presentes e suas causas na empresa estudada.
- c. Propor ações para mitigar a corrosão nos casos identificados.

1.2 Justificativa

O efeito agressivo sobre metais expostos à atmosfera é reconhecido a milhares de anos e tem presença constante nas sociedades humanas. Dessa forma, a corrosão dos metais impacta a sociedade tecnológica de formas onerosas, onde, de acordo com um estudo global realizado pela National Association of Corrosion Engineers International (NACE ,2013), o custo da corrosão equivale a cerca de 3,4% do PIB mundial por ano (US\$ 2,5 trilhões). A nível nacional, os valores são da ordem de US\$ 15 bilhões, onde se adotadas técnicas já bem estabelecidas de controle e prevenção da corrosão, poderiam ser poupados até US\$ 5 bilhões (BRAMBILLA, 2011).

Tais perdas econômicas impactam de forma direta ou indireta o ambiente industrial. As perdas diretas estão associadas a custos de substituição de peças, mão de obra, manutenção de processo (proteção catódica, pintura, etc.) e energia. As perdas indiretas abrangem paralisações indesejadas, interrupção do processo, perda de produto e de eficiência. No que diz respeito à segurança do trabalho, ressaltam-se seus efeitos adversos na diminuição da confiabilidade e vida útil de estruturas, sendo responsável por até 29% das falhas causadas em plantas industriais (FERRANTE, 1996).

Contudo, além de impactos econômicos e de segurança, a corrosão é um problema sério porque contribui de forma definitiva para o esgotamento de reservas naturais. Nesse sentido, a substituição do material deteriorado tem parte significativa no uso de metais como o aço com até 25% da produção mundial tendo essa finalidade (GENTIL, 2011).

Nesse contexto, apesar da corrosão ser inevitável, seu custo pode ser reduzido consideravelmente. Isto posto, uma caracterização do ambiente corrosivo juntamente com o conhecimento das peculiaridades das diferentes formas de corrosão, possibilita a convergência entre os métodos necessários e os mecanismos de proteção dos metais alvos da corrosão.

Em vista disso, faz-se necessário por meio deste trabalho avaliar sob o ponto de vista da corrosão o ambiente de trabalho da empresa adotada como objeto de estudo, no que diz respeito a fatores que contribuem para a corrosão e potenciais ações para combatê-los.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho é dividido em sete capítulos, onde cada um aborda um aspecto diferente do estudo. O primeiro capítulo trata-se da introdução, que engloba os objetivos com a realização desta pesquisa, além de justificar a importância do mesmo. No segundo capítulo é feito a fundamentação teórica que será a base necessária para o entendimento no assunto. No terceiro capítulo, dá-se início a metodologia que informa como será abordado o problema e a caracterização do estudo, de modo a abranger as técnicas de estudo e coletas de dados.

Quanto ao capítulo quatro, há resultados e discussões, onde são discutidos quais os fatores ambientais mais relevantes que provocam e agravam a corrosão, assim como são estudados os defeitos ocasionados pela corrosão, suas causas e mecanismos agravantes, onde há uma reflexão sobre os fatores responsáveis por tal fenômeno, além de soluções propostas na forma de ações mitigadoras de acordo com as causas encontradas. Por conseguinte, as considerações finais estão no quinto, estas que expõem as dificuldades encontradas na realização do estudo e as conclusões. No capítulo 6 estão as sugestões futuras e o alcance dos objetivos de acordo com os resultados obtidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A corrosão

A corrosão pode ser definida como uma reação química que provoca a deterioração de um material metálico ou não metálico pela ação do ambiente. Desse modo, efeitos indesejáveis como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais prejudicam a durabilidade e o desempenho dos materiais corroídos (GENTIL, 2011).

De acordo com Fontana (2018), o processo de corrosão de metais pode ser considerado uma metalurgia extrativa ao contrário. A metalurgia extrativa visa principalmente a obtenção de metal do minério e refino ou ligas metálicas para uso, já a corrosão tem no produto resultante algo bem semelhante ao minério do qual é extraído que está em uma condição de maior estabilidade (GENTIL, 2011).

Cada forma de corrosão pode ser identificada através da observação visual. Em grande parte dos casos o olho nu é suficiente, porém há situações em que quantificação é útil ou necessária. Informações importantes para solução de um problema de corrosão podem frequentemente serem obtidas através de uma observação cuidadosa de um corpo de prova corroído ou mesmo do equipamento defeituoso (FONTANA, 2018).

2.2 Tipos de corrosão

Segundo Gentil (2011), os tipos de corrosão podem ser caracterizados pela morfologia, causas e mecanismo envolvidas no processo de corrosão, fatores mecânicos, meios corrosivos e localização do ataque. Por conseguinte, os tipos de corrosão relevantes a esse estudo são classificados como uniforme, por placas, puntiforme ou por pite, por pilhas e em frestas.

2.2.1 Corrosão uniforme

É um tipo de corrosão que resulta em perda uniforme de espessura ao longo de toda a superfície corroída de modo que eventualmente o material apresentará falha. É caracterizada também como corrosão generalizada (GENTIL, 2011). Em sentido microscópico, as reações de oxidação e de redução ocorrem aleatoriamente ao longo de toda superfície de modo que pode ser identificada como a ferrugem no aço e no ferro em geral. Se trata da forma mais comum de corrosão (CALLISTER, 2020).

Figura 1- Corrosão uniforme



Fonte: <https://engenheirodemateriais.com.br/> (2017)

2.2.2 Corrosão por placas

Diferentemente da corrosão uniforme, a corrosão por placas ocorre de forma localizada ao longo da superfície metálica de modo que são formadas placas com escavações (GENTIL, 2011). Quando a superfície corroída não é revestida adequadamente, pedaços da superfície da peça podem se desprender e resultar em cavidades de maior profundidade.

Figura 2 - Corrosão por placas



Fonte: <https://engenheirodemateriais.com.br/> (2017)

2.2.3 Corrosão galvânica

Segundo Fontana (2018), usualmente existe uma diferença de potencial entre dois metais dissimilares quando imersos em solução condutora ou corrosiva. Se esses metais são colocados em contato (ou conectados eletricamente), essa diferença de potencial produz um fluxo de elétrons entre eles. A corrosão do metal menos resistente à corrosão, normalmente cresce e o ataque do mais resistente à corrosão diminui, se comparados com o comportamento de ambos os metais quando não estão em contato. Desse modo, o metal corroído se torna anódico e o mais resistente catódico. Usualmente, o cátodo sofre pouco ou mesmo nenhum

efeito de corrosão. Devido a presença de corrente elétrica e materiais dissimilares, essa forma de corrosão é chamada de galvânica ou pilha galvânica.

Figura 3 - Corrosão galvânica



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

2.2.4 Corrosão por pites

É uma forma de corrosão com ataque extremamente localizado que resulta em buracos ou pites no metal (FONTANA, 2018). De acordo com Callister (2020), esses pites penetram o metal a partir de uma superfície horizontal seguindo uma direção quase vertical. Usualmente, um pite pode ser caracterizado como uma cavidade que apresenta o fundo de forma angulosa e profundidade geralmente maior que seu diâmetro (GENTIL, 2011).

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

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

Figura 4 - Corrosão por pites



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

2.2.5 Corrosão por frestas

A corrosão por frestas é uma forma de corrosão localizada usualmente associada às condições de estagnação de eletrólitos em micro-ambientes. 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).

Figura 5 - Corrosão por pites



Fonte: <https://www.sulcromo.com.br/> (2021)

2.3 O mecanismo eletroquímico

O processo de corrosão eletroquímica mais comum na indústria é o do ferro, este consiste na distribuição de regiões anódicas e catódicas de forma aleatória ao longo da superfície do metal onde ocorrem as reações de oxidação e redução, essas regiões são

conectadas eletricamente pelo substrato do metal. Íons metálicos e hidroxilas são produzidos pelas reações e difundidos na superfície (PANONNI, 2008).

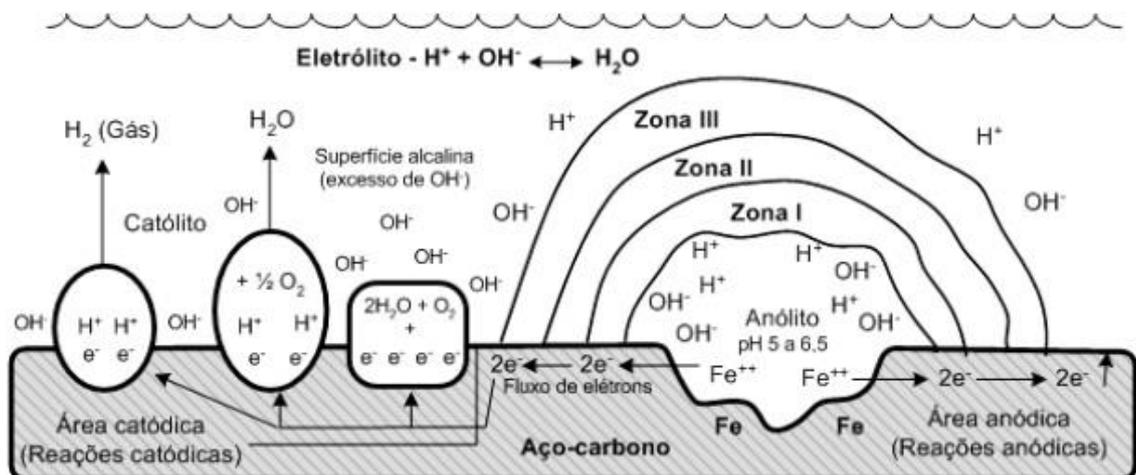
Por conseguinte, com a continuação do processo de corrosão, um novo material de composição distinta é exposto. No caso do ferro e suas ligas esse material é conhecido como ferrugem. A exposição desse material causa uma alteração dos potenciais elétricos das regiões anódicas e catódicas, o que provoca mudanças em suas localizações na superfície metálica (PANONNI, 2008).

Dessa forma, o que antes era região catódica se torna anódica e o processo de corrosão se propaga por toda a superfície metálica. Isto posto, o processo de corrosão necessita que haja um líquido condutor de eletricidade (eletrólito), aerado, em contato com o metal. (PANONNI, 2008).

2.4 A célula de corrosão

Abaixo encontram-se algumas das reações que explicam o processo de corrosão do elemento mais comum na indústria que é o ferro e suas ligas, onde é desenvolvida uma região anódica e uma catódica assim como o eletrólito de forma que o processo de corrosão aconteça.

Figura 6 - Principais reações eletroquímicas de corrosão



Fonte: SICA, Y. C (2006)

Para o exemplo abordado, ocorre na região anódica a dissolução do ferro que passa do metal para a solução como um íon ferroso liberando dois elétrons. Os elétrons permanecem no metal devido a melhor condutividade elétrica do metal em relação ao eletrólito segundo a reação:



É uma reação anódica e de oxidação, já que elétrons são produzidos. Por conseguinte, estes são conduzidos através do metal para as regiões catódicas onde serão consumidos nas reações catódicas. Desse modo, as reações mais importantes que ocorrem no cátodo segundo Panonni (2008) podem ser de três tipos dependendo do meio em que está ocorrendo:



Esta reação é observada em meios ácidos com valores de pH 3,8 ou menores, é conhecida como reação de redução do hidrogênio. Dessa maneira, há a formação de gás hidrogênio devido a disponibilidade de íons hidrogênio na solução ácida. Este hidrogênio atômico por sua vez reage com os elétrons liberados pelo ferro na equação (1) e quando há a formação de hidrogênio gasoso, é expelido em forma de bolhas (PANONNI, 2009).



Reação de redução do oxigênio, é observada também em meios ácidos. Forma água a partir da remoção de hidrogênio e do oxigênio dissolvido nas regiões catódicas (GENTIL, 2011).



Para meios neutros ou alcalinos a reação ocorre conforme equação (4), onde há como resultado a formação de hidroxilas. Segundo Panonni (2008), as equações (3) e (4) são as reações catódicas mais vistas em situações práticas.

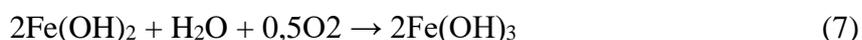
Isto posto, os produtos das reações anódicas migram em direção ao cátodo e os produtos das reações catódicas migram ao ânodo de forma que em uma região intermediária há a formação de hidróxido ferroso, a partir da combinação do íon ferro com as hidroxilas (GENTIL, 2011), segundo a equação:



O hidróxido ferroso $\text{Fe}(\text{OH})_2$ formado não é estável (PANONNI, 2009) e de acordo com a concentração de oxigênio, reagem para formar:



Segundo a equação (6), há a formação de magnetita (Fe_3O_4), produto de cor negra na ausência de água e cor esverdeada na presença de água. É formado em meios com baixo teor de oxigênio. Em contrapartida, para meios aerados com presença de água e oxigênio, o hidróxido ferroso é oxidado resultando no produto hidróxido férrico conforme a reação (GENTIL, 2011):



O composto $2\text{Fe}(\text{OH})_3$ também escrito na forma $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (n = número de moléculas de água) é conhecido como a ferrugem tradicional e em algumas literaturas é mostrado na forma $\text{FeOOH} + \text{H}_2\text{O}$ (PANONNI, 2009). Dessa maneira, as reações expostas acima explicam o modo com que as cores observadas nos fenômenos da corrosão do aço e suas ligas se manifestam, isto é, cor preta na área limite entre a região anódica e o eletrólito devido a presença de magnetita (Fe_3O_4) (GENTIL, 2011). Com isso, a região superior com maior presença de oxigênio expõe coloração alaranjada ou castanho avermelhada, condição provocada pela presença do hidróxido férrico ($2\text{Fe}(\text{OH})_3$) (GENTIL, 2011).

A observação do processo de corrosão leva a conclusão de que este se assemelha a um circuito elétrico em que não há acúmulo de carga. Contrariamente, este se assemelha mais a um “desperdiçador de energia” (PANONNI, 2009). Os elétrons livres formados no ânodo são levados através do metal para serem neutralizados no cátodo, já os íons são conduzidos pelo eletrólito. Portanto, temos cátodo, ânodo, eletrólito e circuito externo (metal) formando a célula de corrosão.

2.5 Passividade

Passividade é um fenômeno não usual observado durante o processo de corrosão de alguns metais e ligas. Pode ser definido como a perda de reatividade química sob certas condições ambientais (FONTANA, 2018). A explicação para esse fenômeno pode ser atribuída a formação de uma película de óxido que adere a superfície do metal e o protege de uma corrosão adicional (CALLISTER, 2020). Isto posto, no estado passivo após a formação da película de óxido, há uma redução de 10^4 a 10^6 ordens de magnitude na taxa de corrosão do metal, entretanto se trata de um estado relativamente instável e sujeito a danos de íons ou mesmo de arranhões que rompem essa película (FONTANA, 2018).

Contudo, do ponto de vista da engenharia, essa passividade oferece uma possibilidade única na redução da corrosão, mas deve ser utilizada com prudência devido a possibilidade de uma transição do estado passivo para o ativo. Tais características, aliadas com o potencial de serem utilizadas para aplicações de engenharia explicam porque esse fenômeno vem sendo alvo de estudos nos últimos 120 anos (FONTANA, 2018). Por conseguinte, ferro, níquel, cromo, titânio e várias ligas que compõem os materiais utilizados na indústria demonstram esse comportamento. A alta resistência à corrosão do aço inoxidável é consequência dessa característica de passivação (CALLISTER, 2010).

2.6 Corrosão por intempérie

A corrosão na indústria é um problema primariamente econômico. A aplicação ou não de um método de controle desse fenômeno é usualmente determinado pela quantidade de custos poupados (FONTANA, 2018). Em números absolutos de massa, a corrosão atmosférica é a responsável pelas maiores perdas. Dito isso, um dos principais agentes corrosivos é a umidade com oxigênio dissolvido, juntamente com outras substâncias que apresentam um teor de enxofre e cloretos. Tais condições se aplicam em ambientes marinhos, onde é encontrado alto teor de cloreto de sódio, tal como chuvas ácidas em ambientes industriais. Isto posto, as ligas de alumínio e cobre, aço galvanizado, são comumente utilizados para aplicações em que o material está exposto à corrosão atmosférica (CALLISTER, 2010).

Por conseguinte, a atmosfera é importante como meio corrosivo e é alvo de estudos tanto no cenário nacional, quanto no internacional de modo que são desenvolvidos estudos para caracterizar e classificar a corrosividade atmosférica em diferentes metais e localizações geográficas.

Dessa maneira, podem ser destacados os estudos feitos através do projeto MICAT – Mapa Ibero Americano de Corrosividade Atmosférica realizado na comunidade de países Ibero-americana, assim como iniciativas na Europa e nos EUA, onde são realizados estudos sobre como a ação corrosiva se relaciona a fatores como umidade relativa, temperatura, substâncias poluentes, entre outros (GENTIL, 2011).

2.7 Fatores que influenciam na corrosão atmosférica

O processo de corrosão atmosférica acontece de forma espontânea, como resultado da interação entre o metal e o ambiente que o circunda. Contudo, podem ser destacados alguns elementos que governam o mecanismo eletroquímico de corrosão e tem mais impacto na velocidade e no grau de corrosão observado, são eles:

2.7.1 Umidade

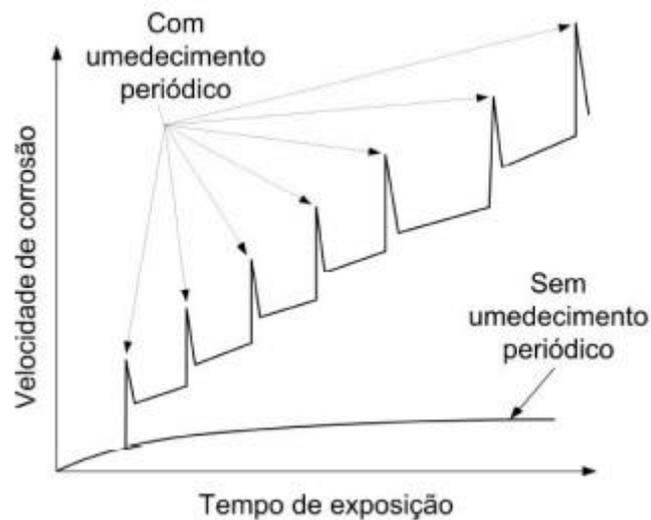
A umidade relativa pode ser definida como a quantidade de vapor d'água presente no ar, que é expressa pela razão entre a quantidade de vapor no ar e a quantidade máxima possível. Isto posto, pode também ser obtida em função das pressões parciais e de saturação do vapor d'água, para uma dada temperatura. (GENTIL, 2011)

A umidade relativa tem influência acentuada no processo de corrosão, por possibilitar a formação do eletrólito na superfície do metal, os valores de UR afetam diretamente a velocidade

com que esse processo ocorre, conseqüentemente, para ambientes secos e de baixa umidade é observada uma ação corrosiva mais lenta.

A formação de orvalho no metal também é um fator importante, principalmente em condições de abrigo, onde segundo Mendoza et al. (1999), ambientes que experimentam um ciclo de “seco e molhado” mostram maior velocidade de corrosão. Tais ciclos podem ser provocados pela diferença entre as temperaturas durante o dia e a noite, assim como estações chuvosas e de estiagem, onde há aumento e diminuição da UR do ar.

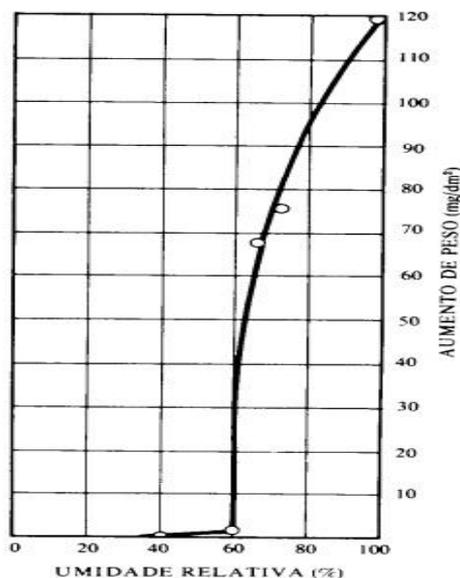
Figura 7 - Efeito acumulado da corrosão em aço carbono



Fonte: Panonni (2009)

Apesar de uma umidade relativa maior aumentar a taxa de corrosão, existe um valor em que é observada uma aceleração acentuada desse processo, a partir disso, Vernon (1935) definiu o conceito de umidade crítica, onde são vistos diferentes valores, a depender do metal afetado e do nível de poluentes na atmosfera circundante.

Figura 8 - Influência da umidade relativa na corrosão atmosférica



Fonte: Gentil (2011).

2.7.2 Particulados

Partículas sólidas influenciam a corrosão através da poeira ou fuligem existentes no ar, onde segundo Gentil (2011) agem no mecanismo corrosivo de diferentes formas:

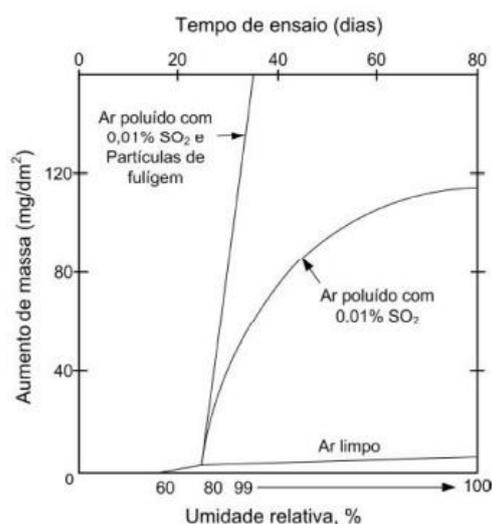
- Deposição de materiais não metálicos, como sílica, que cria condições de aeração diferencial e provocam corrosão localizada embaixo do depósito.
- Deposição de substâncias higroscópicas, isto é, retentoras de umidade, que favorecem a formação do eletrólito, acelerando o processo corrosivo.
- Deposição de materiais metálicos que caso tenham natureza química diferente podem formar pilha galvânica com a superfície depositada.
- Deposição de materiais não metálicos que retenham produtos corrosivos encontrados na atmosfera circundante.
- A presença de eletrólitos fortes como cloreto de sódio e cloreto de magnésio em atmosferas marinhas através da névoa salina.

2.7.3 Composição do eletrólito superficial

A película de eletrólito presente na superfície do metal é diretamente responsável pela velocidade de corrosão, podendo conter diferentes espécies químicas com origem atmosférica ou do próprio processo de corrosão. Para a corrosão de materiais metálicos podem ser destacados os eletrólitos compostos de cloretos e enxofre (PANONNI, 2009).

Os compostos de enxofre como SO_2 e SO_3 são os mais frequentes estimulantes gasosos no processo de corrosão dos metais em geral. Tem sua origem principalmente em atividades antropogênicas como combustão de carvão e derivados de petróleo que normalmente contém de 3% a 4% de enxofre. (GENTIL, 2011)

Figura 9 – Efeito da umidade relativa e da poluição do ar na corrosão do ferro



Fonte: Shreir (2013).

O dióxido de enxofre atua como estimulador das reações anódicas que corroem o metal, quando conjugado a umidade. Além disso, é um elemento bastante solúvel em gotas de chuva ou de orvalho, com isso, geram eletrólitos de caráter ácido quando em contato com água na superfície do metal, tornando inadequado o uso de materiais que correm em meio ácido, como o zinco, necessitando de uma proteção adicional. (ex: tintas)

Já os compostos de cloretos provocam um aumento característico na corrosão do aço carbono. Dessa forma, a presença de cloretos marinhos dissolvidos no eletrólito tende a aumentar sua condutividade, além de destruir películas passivantes formadas na superfície do metal.

Para o ferro e suas ligas, os íons cloreto competem com as hidroxilas para se combinar com o metal dissolvido nas reações anódicas. Consequentemente, por originar um produto mais solúvel do que a ferrugem, não permite sua formação pois mantém o ferro dissolvido em solução, resultando no aumento da velocidade de corrosão. Desse modo, metais que possuem cloretos menos solúveis que o do ferro, como ferro e cobre, são menos suscetíveis a ataques dessa natureza.

Os íons 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). Em ambientes marinhos são carregados através do vento,

contudo, sua deposição decresce fortemente com o aumento da distância do mar, perdendo seu caráter marinho para distâncias de até mesmo cem metros segundo AMBLER e BAIN (1955) *apud* MORCILO et al (2000). Em contrapartida, Morcilo et al. (1999) afirma que velocidades de vento acima de 3 m/s são fator preponderante no que diz respeito a presença de cloretos.

2.7.4 Agressividade ambiental

Segundo a norma NBR-14643 (ABNT NBR 14643, 2001), equivalente da ISO-12944 (2017), os ambientes corrosivos podem ser classificados nas categorias C1, C2, C3, C4 e C5. Seu objetivo é fornecer padrões de classificação da agressividade atmosférica em relação a matérias como aço carbono, alumínio, entre outros.

Portanto, a partir da categorização da corrosividade, pode-se tomar medidas eficazes de combate, como a seleção de inibidores e tintas de acordo com o seu ambiente. Com isso, as categorias abrangem áreas rurais, cidades, ambientes industriais e marinhos, que são classificados com agressividade muito baixa, até muito alta. Isto posto, o quadro a seguir mostra um resumo dessas informações segundo a norma.

Quadro 1 - Corrosividade dos ambientes para o aço carbono

Categoria de corrosividade	Perda de massa para o aço de baixo carbono (g/m²)	Exemplos de ambientes típicos
C1 (Muito baixa)	≤10	-
C2 (Baixa)	>10 até 200	Atmosferas com baixo nível de poluição. Maior parte em áreas rurais.
C3 (Média)	>200 até 400	Atmosferas urbanas e rurais com poluição moderada por dióxido de enxofre. Áreas costeiras de baixa salinidade
C4 (Alta)	>400 até 650	Áreas industriais e costeiras com salinidade moderada
C5-I (Muito alta industrial)	>650 até 1500	Áreas industriais com alta umidade e atmosfera agressiva.

C5-M (Muito alta marinho)	>650 até 1500	Áreas costeiras e <i>offshore</i> com alta salinidade.
------------------------------	---------------	---

Fonte: Adaptada de Panonni (2009)

2.8 Efeito da intempérie nos metais

Segundo a National Association of Corrosion Engineers (NACE, 2013) os custos anuais associados à corrosão somam mais de 2 trilhões de dólares ou pouco mais de 3% do PIB mundial. Com isso, é importante a existência de uma rotina de manutenção e de medidas assertivas para mitigar os defeitos causados pelo processo de corrosão, são eles associados a aparência do material, manutenção e custos de operação, paradas em plantas industriais, contaminação de produtos, perda de produtos, efeitos na segurança e confiabilidade, além de seguro do fabricante. (FONTANA, 2018)

2.8.1 Aparência

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)

2.8.2 Manutenção e custos de operação

Custos substanciais em diferentes tipos de plantas industriais podem ser reduzidos com a correta aplicação de materiais resistentes às condições presentes de corrosão. Em vários casos, há a possibilidade de redução dos custos de corrosão ainda no design de uma planta industrial a partir de modificações que não alterem o processo, mas atenuem as condições de corrosão na operação da planta. Contudo, é frequente que medidas sejam tomadas com a planta já em operação, porém 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).

2.8.3 Paralisação no funcionamento da planta

Plantas industriais frequentemente têm o seu processo completamente ou parcialmente paralisado por consequência de falhas inesperadas associadas a corrosão. Desse modo, parte das paralisações ocorrem sem que haja mudança nas condições de corrosão envolvidas no processo. Em contrapartida, há situações em que mudanças no processo aumentam o grau de

severidade de corrosão, onde até mesmo a presença de um ingrediente novo pode mudar completamente as condições de corrosão. (FONTANA, 2018)

Dessa forma, é importante que haja um monitoramento da corrosão no processo da planta, sendo de grande utilidade para evitar falhas inesperadas ou paralisações no funcionamento da planta. (ARAÚJO, 2003)

A imagem a seguir ajuda a entender de que forma a corrosão está presente nos mecanismos de falhas em plantas industriais.

Quadro 2 - Mecanismos causadores de falhas em plantas industriais

Mecanismos	%
Corrosão	29
Fadiga	25
Fratura frágil	16
Sobrecarga	11
Corrosão em alta temperatura	7
Corrosão sob tensão/ Fadiga combinada com corrosão/ Fragilização por hidrogênio	6
Fluência	3
Desgaste, abrasão e erosão	3

Fonte: Adaptado de Ferrante (1996)

2.8.4 Contaminação de produtos

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). Em caso de contaminação por resíduos de corrosão provenientes da planta de produção é provocada queda ou mesmo perda total no preço final do produto (ARAÚJO, 2003).

Sendo assim, processos em que a degradação e o nível de contaminação são uma preocupação, necessitam de uma seleção cuidadosa dos materiais envolvidos. Isto posto, a vida útil e o preço deixam de ser os fatores principais na escolha do material, onde mesmo que o aço dure vários anos, é preferível um material mais caro devido a ausência da ferrugem (FONTANA, 2018).

2.8.5 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). Segundo Araújo (2003), as formas de vazamento causadas por corrosão são predominantes em tanques e dutos.

2.8.6 Segurança e confiabilidade

Lidar com materiais perigosos como gases tóxicos, ácidos, materiais explosivos ou inflamáveis, radioativos e gases em alta temperatura e pressão demandam o uso de materiais de construção que minimizem as falhas por corrosão (FONTANA, 2018). Segundo Araújo (2003), quando há o vazamento desses materiais, problemas ambientais, de saúde e segurança são causados. A corrosão de equipamentos pode causar a falha de um equipamento e colocar a segurança do trabalhador em risco (FONTANA, 2018). Dessa forma, economizar em materiais de construção não é desejável caso arrisque a segurança do ambiente.

2.9 Metais utilizados na indústria de beneficiamento

2.9.1 Aço carbono e ferros

Por ser de vasta aplicabilidade, de custo competitivo e combinação de propriedades mecânicas favoráveis, o ferro e suas ligas são o metal mais utilizado na indústria (CALLISTER, 2020). A concentração de carbono dita o que é aço, ferro fundido e ferro comercialmente puro. Contudo, a concentração de carbono tem pouco ou nenhum efeito na resistência à corrosão na maioria dos casos sendo o termo ferrugem reservado somente a materiais que tem o ferro como principal elemento (FONTANA, 2018).

2.9.2 Aço baixa liga

O aço carbono é ligado individualmente ou de forma combinada com cromo, níquel, cobre, molibdênio, fósforo ou vanádio, em concentrações muito pequenas para produção de aço baixa liga. A adição de elementos de liga em concentração maior é utilizada usualmente para melhora de propriedades mecânicas e temperabilidade. Do ponto de vista da resistência da corrosão, elementos de liga com concentração de 2% ou menor são de maior interesse. Desse modo, apesar de haver melhora das propriedades mecânicas em relação ao ferro puro, o aspecto mais importante é a considerável melhora na resistência à corrosão atmosférica (FONTANA, 2018).

2.9.3 Aço inoxidável

A principal razão para a existência dos aços inoxidáveis está na sua resistência à corrosão em diferentes ambientes, principalmente frente a atmosfera (CALLISTER, 2020). Esta característica deve-se à presença do principal elemento de liga presente, o cromo, em uma concentração de pelo menos 11%. Além disso, com a adição de níquel e molibdênio pode ser obtida uma maior resistência à corrosão.

Suas propriedades mecânicas, custo e capacidade de resistir a corrosão variam amplamente. Isto posto, é importante que seja especificado o exato aço inoxidável desejado para uma aplicação (FONTANA, 2018)

2.9.4 Alumínio e suas ligas

O Alumínio se apresenta como um metal altamente reativo, porém desenvolve uma película de óxido que o protege da corrosão através do fenômeno de passivação (FONTANA, 2018). Essa película, é formada logo quando o alumínio é exposto ao ar ambiente, tendo razoável estabilidade em meios neutros e levemente ácidos, contudo é atacada em meios alcalinos. Apesar do filme de óxido protetor se formar em diferentes ambientes, este pode ser obtido em maior espessura de forma artificial através de processos químicos ou eletrolíticos como cromatização e anodização (GENTIL, 2011).

As propriedades mecânicas do alumínio podem ser melhoradas através do trabalho a frio e da adição de elementos de liga. Em contrapartida, é prejudicada a capacidade do material de resistir a corrosão em ambos os processos. Isto posto, podem ser destacados o cobre, magnésio, silício, manganês e zinco como principais elementos de liga (CALLISTER, 2020)

Desse modo, em adição as propriedades de resistência à corrosão, contribuem para sua aplicação difundida as elevadas condutividades elétrica, condutividade térmica, produto de corrosão incolor e não tóxico, além de boa aparência, refletividade e massa específica relativamente baixa (CALLISTER, 2020).

2.9.5 Cobre e suas ligas

O cobre se difere da maioria dos metais por apresentar propriedades combinadas de resistência à corrosão, alta condutividade térmica e elétrica, tenacidade, usinabilidade, etc. Exibe boa resistência à corrosão em ambientes urbanos, marinhos, industriais e com presença de água em composições diversas. Por ser um metal nobre, a reação de evolução do hidrogênio que ocorre em meios ácidos, usualmente não é parte do processo de corrosão do cobre. Com isso, a reação catódica predominante é a de redução do oxigênio. Além disso, as

ligas de cobre são resistentes à corrosão em condições de pH neutro e levemente alcalinas (FONTANA, 2018).

2.9.6 Zinco e suas ligas

O zinco por ser um metal reativo quimicamente em ambientes habituais, não apresenta um comportamento resistente a corrosão, por isso sua principal aplicação é como ânodo de sacrifício para proteção catódica do aço carbono (CALLISTER, 2020). O processo de revestir o aço com uma camada de zinco é conhecido como galvanização, dito isso, podem ser citadas a utilização em chapas metálicas, cercas, telas e parafusos como algumas das aplicações comuns do aço galvanizado (CALLISTER, 2020).

2.10 Medidas para mitigação

Para que um controle assertivo da corrosão seja feito, é necessário que sejam conhecidos os mecanismos das reações envolvidas no processo. Dito isso, não é possível a separação entre o fenômeno da corrosão e o seu controle, pois o próprio estudo do processo corrosivo, pode revelar um método de combate. (GENTIL, 2011)

É de grande importância a consideração das variáveis dependentes do material metálico, da forma de emprego e do meio corrosivo. Com isso, o estudo conjunto de tais variáveis permite que um material adequado seja indicado para a dada condição de corrosão. (GENTIL, 2011)

Dessa maneira, uma medida comum e fácil de prevenção da corrosão é uma criteriosa escolha do material a ser utilizado, após a caracterização do meio corrosivo. Podem ser citadas também ações que promovam uma alteração no ambiente, no projeto, assim como utilização de revestimentos ou mesmo de barreiras físicas. (CALLISTER, 2020).

Portanto, o controle ou prevenção da corrosão deve agir de forma a restringir o fornecimento de reagentes e o fluxo de íons, dado que a corrosão só pode ocorrer quando há um caminho para a corrente (metal e eletrólito), presença de água e oxigênio disponíveis.

2.10.1 Proteção catódica

É uma das técnicas mais eficazes, utilizada para prevenir diferentes tipos de corrosão e em alguns casos até mesmo interromper totalmente o processo (CALLISTER, 2020). Empregada antes mesmo do estudo da eletroquímica ser desenvolvida como ciência, já era utilizada em 1824 por Humphrey Davy para proteção catódica em navios da marinha britânica (FONTANA, 2018).

A proteção catódica, é um método de controle de corrosão baseado na aplicação de uma corrente catódica na estrutura em contato com um eletrólito, em outras palavras, consiste simplesmente no suprimento de elétrons para o metal a ser protegido, de forma que os elétrons antes fornecidos pela oxidação do ferro ao cátodo, agora são provenientes de uma fonte externa. Desse modo, a presença do eletrólito é fundamental para a eficácia do método, sendo pouco recomendável sua utilização em situações onde não há sua presença.

Isto posto, existem duas maneiras de utilizar a proteção catódica para proteção de um metal, são elas através do uso de um ânodo de sacrifício ou corrente impressa. O primeiro, consiste no uso de um apropriado par galvânico, onde o metal menos nobre age como ânodo e induz comportamento catódico no metal a ser protegido (FONTANA, 2018). No segundo, uma fonte externa de corrente contínua fornece os elétrons para a estrutura, assim a protegendo da corrosão (CALLISTER, 2020).

2.10.2 Proteção anódica

Em contraste com a proteção catódica, esse método tem origem relativamente recente, sendo sugerido pela primeira vez em 1954 por Edeleanu (FONTANA, 2018). Seu funcionamento se dá pela formação de um filme protetor no metal, provocado pela aplicação de correntes anódicas por uma fonte externa. Entretanto, tem uso limitado somente a metais que apresentam comportamento de transição ativo-passivo, como ferro, níquel, cromo, titânio e suas ligas. Dessa forma, as correntes anódicas induzem a passivação do material, assim como diminuição nas taxas de dissolução do metal. (FONTANA, 2018).

Este método pode ser aplicado em ambientes de baixa e alta agressividade, porém tem custo de instalação elevado dada a complexidade da instrumentação necessária. Em contrapartida, oferece a possibilidade de monitorar o nível de corrosão do material de forma instantânea, além de um baixo custo de operação. (FONTANA, 2018).

2.10.3 Revestimentos metálicos

Revestimentos metálicos de espessura relativamente pequena podem fornecer uma eficaz barreira entre o metal e o ambiente. Além das características de corrosão, seu uso também se dá por fatores estéticos, resistência ao atrito, endurecimento superficial, entre outros (GENTIL, 2011).

Segundo Gentil (2011), podem ser utilizados revestimentos de natureza anódica ou catódica. Por conseguinte, o uso de revestimento catódico não permite a ocorrência de falhas, pois em contato com um eletrólito há a formação de um par galvânico que corrói rapidamente

o metal a ser revestido. Isto posto, podem ser citados os revestimentos estanho, cobre, níquel, prata, chumbo como exemplos de revestimentos catódicos do aço carbono (GENTIL, 2011).

Em contrapartida, essa característica não é observada no uso de revestimentos anódicos, pois em caso de falhas no revestimento, este atua como ânodo de sacrifício e confere comportamento catódico ao material revestido, prevenindo assim sua corrosão. Com isso, podem ser citados zinco e cádmio como revestimentos anódicos do aço carbono. (FONTANA, 2018)

As principais técnicas de aplicação dos revestimentos metálicos são: eletrodeposição, aspersão térmica, cladização, imersão a quente, e cementação. (FONTANA, 2018).

Eletrodeposição consiste na imersão do metal a ser revestido em uma solução com o material do revestimento e posterior passagem de corrente direta entre o metal e outro eletrodo (FONTANA, 2018). Através desse método podem ser aplicadas camadas de um ou mais metais e até mesmo elementos de liga. É comumente usado para revestimento com ouro, prata, zinco, cobre, estanho, etc.

Aspersão térmica, também conhecida como metalização, funciona a partir da alimentação de uma pistola de aspersão por fios ou pó do material a ser utilizado como revestimento, onde são aquecidos até seu ponto de fusão, por meio da combustão de gás propano, oxigênio e acetileno, arco elétrico, entre outros. Com isso, tornam-se finas partículas líquidas e são projetadas por ar comprimido na superfície a ser protegida (GENTIL, 2011). Os revestimentos são normalmente porosos e não protegem de condições severas de corrosão úmida, necessitando de pintura para uma maior proteção (FONTANA, 2018).

A cladização consiste em um método de revestimento onde o metal é unido ao seu revestimento através da laminação a quente conjunta, sendo por explosão ou solda. O conjunto resultante desse processo é chamado de clad e normalmente é revestido somente um lado da chapa do material base que fica em contato com o meio corrosivo (GENTIL, 2011).

Na cementação o metal é colocado em uma câmara rotativa onde há mistura de pó metálico e um fluxo apropriado. A partir disso, o conjunto é aquecido e permite a difusão do pó para o metal base, formando então o revestimento (GENTIL, 2011).

Além destes, há a imersão do material a ser revestido em um banho de metal fundido no processo de imersão a quente. Um exemplo bem popular é o banho de aço em zinco fundido, conhecido como galvanização. Isto posto, este método produz revestimentos de espessura maior que na eletrodeposição devido às limitações na técnica utilizada. (FONTANA, 2018).

2.10.4 Revestimentos Não-Metálicos inorgânicos

Os revestimentos não-metálicos inorgânicos caracterizam um tipo de proteção contra a corrosão que se vale da interposição de uma barreira entre meio corrosivo e metal. Isto posto, podem ser citados anodização, cromatização e fosfatização como os principais métodos para obtenção de revestimentos inorgânicos (GENTIL, 2011).

Na anodização procura-se obter um aumento na espessura da camada de óxido para materiais que apresentam comportamento passivo, onde através de métodos químicos ou eletrolíticos é possível atingir espessuras maiores que a natural. (FONTANA, 2018).

A cromatização consiste na produção de revestimento em soluções contendo cromatos ou ácido crômico (GENTIL, 2011). É utilizado para obter maior resistência à corrosão, assim como para melhorar a aderência de tintas em materiais metálicos e oferecer proteção suplementar a camadas de óxidos ou fosfatos.

Na fosfatização ocorre a adição de uma camada de fosfato aos metais que fornece proteção contra a corrosão. Além disso, oferece uma excelente base para pinturas com um aumento substancial de até 700 vezes na resistência à corrosão.

2.10.5 Revestimentos orgânicos

Revestimentos orgânicos envolvem a proteção do metal através de uma fina barreira que o proteja do meio corrosivo (FONTANA, 2018). A forma mais empregada de proteção é a pintura, mas vale também citar os revestimentos de borracha.

Em regra geral, a pintura deve ser aplicada em superfícies expostas que não sofrem ataque direto de substâncias corrosivas (FONTANA, 2018). Para o emprego correto de sistemas de pinturas devem ser consultadas fontes adequadas, como normas e guias, um exemplo de referência conceituada é a norma ISO-12944-5. (PANONNI, 2009).

2.10.6 Controle de corrosão através do detalhamento

O objetivo de um engenheiro projetista deve ser garantir que o projeto desenvolvido seja adequado a sua função, que tenha estabilidade adequada, resistência e durabilidade, além de um custo de construção aceitável. Desse modo, se levados em conta detalhamentos anti corrosivos no início do projeto, podem ser evitados erros significativos com potencial causador de grandes perdas.

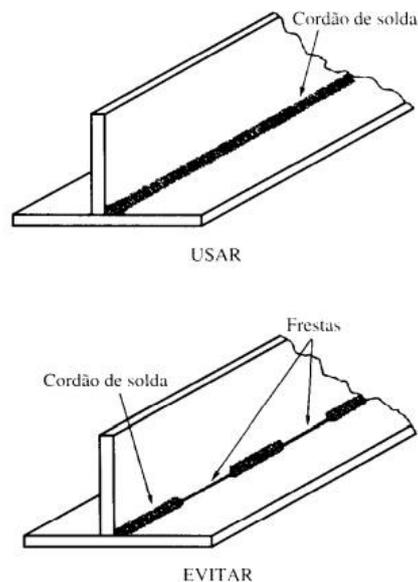
Devem ser adotadas boas práticas que facilitem a acessibilidade para manutenção, considerações na geometria que evitem a retenção de eletrólitos e ar, inibir a criação de frestas, entre outros fatores. Como pode ser observado nos exemplos a seguir:

Figura 10 - Disposição de cantoneiras



Fonte: Panonni (2009)

Figura 11 - Configurações de soldagem



Fonte: Gentil (2011)

Rabald (1968), Uhlig (1958), Lee (1950), Telles (1979), Pludek (1977), Landrum (1989), Dechema (1992) e Schweitzer (1995) apresentam algumas medidas úteis nesse sentido, são elas:

- Prever o máximo de acessibilidade a parte do equipamento mais sujeita a corrosão, a fim de facilitar a inspeção e manutenção.
- Evitar cantos vivos onde películas protetoras de tintas possam romper-se facilmente.
- Evitar contatos diretos de materiais de potencial diferente. Caso não possam ser evitados, deverá sempre ser especificada a colocação nos pontos de conexão, de gaxetas, de niples ou de arruelas não metálicas que agem como isolantes.
- Usar soldas bem acabadas, contínuas e sem acúmulo de tensão.

- Super Dimensionar adequadamente as espessuras das diferentes partes do material, tendo conhecimento prévio do tipo e intensidade de corrosão que devem ser esperados durante a utilização do equipamento.
- Localizar o equipamento, sempre que possível, o mais afastado de vapores corrosivos ou água proveniente de outras unidades.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da pesquisa

Segundo Fonseca (2002), a pesquisa científica consiste no resultado ou inquérito de um exame minucioso que é realizado com o objetivo de resolver um problema, recorrendo a procedimentos científicos. De forma semelhante, Lehfeld (1991) afirma que o objetivo da pesquisa é descobrir e interpretar fatos que estão inseridos em uma realidade.

Dessa maneira, a metodologia de pesquisa é construída com tipos de abordagem, natureza, objetivos e procedimentos, onde essas informações são encarregadas de fazer a classificação do estudo. Quanto à abordagem, este estudo se caracteriza como uma pesquisa qualitativa que segundo Silveira (2009), consiste em se buscar o porquê das coisas, exprimindo o que convém a ser feito, porém sem quantificação de valores ou prova de fatos, já que os dados obtidos são não métricos e se valem de diferentes abordagens.

No que diz respeito à natureza, classifica-se como pesquisa aplicada, visto que seu objetivo é gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos (SILVEIRA, 2009). Quanto aos objetivos, é caracterizada como pesquisa exploratória, uma vez que esse tipo de estudo tem como finalidade proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou construir hipóteses (GIL, 2007). Essa familiaridade pode ser gerada através de levantamento bibliográfico, entrevistas com profissionais experientes, análises de exemplos, entre outros. A partir desse entendimento é possível encontrar soluções que minimizem ou eliminem os problemas.

Isto posto, a pesquisa também é classificada como descritiva dado que, esse tipo de estudo pretende descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade (TRIVIÑOS, 1987). Quanto aos procedimentos técnicos, foi realizado um levantamento bibliográfico para fundamentar os conhecimentos teóricos no campo estudado. Por conseguinte, é feito um estudo de caso que segundo FONSECA (2002), pode decorrer de acordo com uma perspectiva interpretativa, que procura compreender como é o mundo do ponto de vista dos participantes, onde não há intervenção do pesquisador.

Portanto, se utilizando de observações diretas e vivência na área de estudo, juntamente com os conceitos apresentados anteriormente, é desenvolvido o presente trabalho.

3.2 Coleta de dados

A empresa tomada como objeto de estudo tem localização remota, longe de grandes centros urbanos, porém sua relativa proximidade com o litoral e regiões de mangue promove uma maior atenção com o impacto que a corrosão causa na planta industrial. Isto posto, o setor

de manutenção é responsável por fazer o controle desse fenômeno, desse modo, há uma preocupação em tomar medidas assertivas que impactem de forma positiva o combate à corrosão. Ciente desse contexto, partiu do pesquisador a iniciativa de realizar um estudo nesse sentido, uma vez que este era parte dos colaboradores da empresa no setor de manutenção, como estagiário.

Por conseguinte, foi iniciado o levantamento bibliográfico para aprofundamento na temática a ser trabalhada. Consequentemente, procurou-se entender mais dos mecanismos associados à corrosão e seus tipos, assim como os principais fatores que influenciam em sua velocidade, influência do clima, distância do mar, geometrias desfavoráveis, entre outros. Com isso, realizou-se a coleta de dados em outubro de 2021.

Por possuir livre acesso às dependências da planta industrial, foi possível obter dados de forma empírica, através da observação e registro fotográfico, reunidos em convergência com o objetivo proposto. Paralelamente, procurou-se entender como a corrosão afetava a planta, mediante entrevistas informais com os gestores da área, onde foram obtidas informações a respeito dos materiais afetados, como eram armazenados e quais métodos de proteção a corrosão eram utilizados, além de práticas que causavam agravamento da corrosão.

Paralelamente para entender de que forma acontece o fenômeno corrosivo no local, foram utilizados dados climáticos históricos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e devido a ausência de histórico climático para a cidade em questão, foram utilizados os dados referentes a cidade de Turiaçu-MA, que está localizada a aproximadamente 50 quilômetros de distância em linha reta, com proximidade do mar e altitudes semelhantes.

3.3 A empresa

A empresa na qual foi realizado o estudo, localiza-se no município de Godofredo Viana-MA. Esta tem atuação no setor de mineração industrial, extraindo ouro da mina do Piaba. É a primeira do seu tipo no estado do Maranhão e após as primeiras pesquisas minerais que remetem a década de 1970, teve seu primeiro ciclo produtivo em 2010, onde posteriormente teve suas atividades produtivas suspensas em 2015 com o intuito de aprimoramento técnico. Em 2017, foram reunidos por um novo grupo controlador canadense, recursos financeiros e conhecimentos de todo o mundo para a retomada das atividades da empresa.

Por meio desses recursos, foi feita uma reestruturação de sua planta industrial, onde houve uma expansão da capacidade produtiva e modernização do processo. Em 2019, realizou-se a inauguração do complexo industrial e início do atual ciclo de produção de ouro, voltando a contribuir fortemente para a economia da microrregião do Gurupi, no oeste maranhense.

Atualmente conta com um quadro de 369 funcionários empregados de forma direta, contudo, chega a mais de 700 funcionários se contabilizadas as empresas terceiras que participam da rotina da empresa. Isto posto, conta com uma produção média anual de 130.000 onças (aproximadamente 3,7 toneladas) com potencial de expansão para atividade subterrânea e exploração de depósitos a céu aberto próximos.

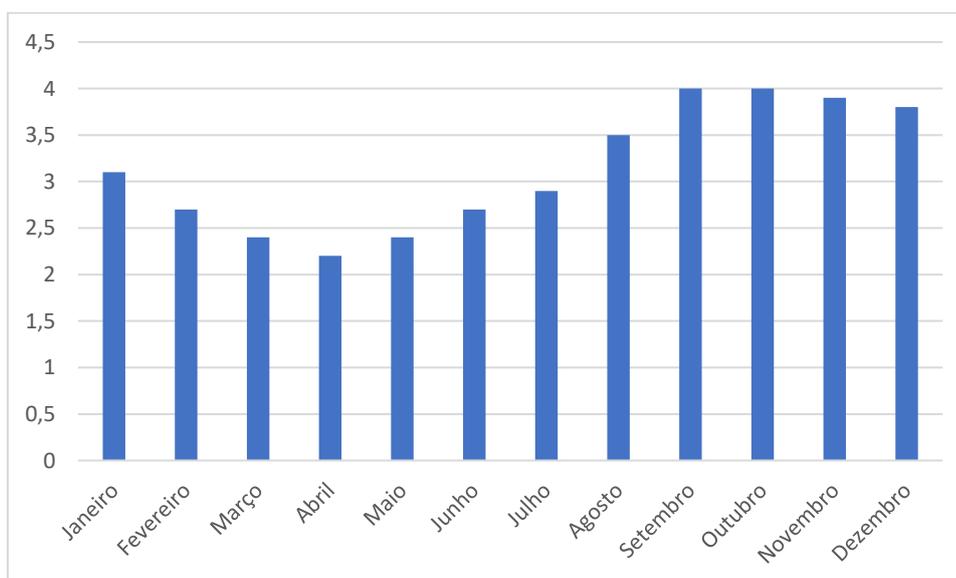
Para a produção do ouro, utiliza-se o método “*carbon-in-leach*”, este consiste em um processo complexo que exige estrutura e equipamentos robustos para seu funcionamento, uma vez que envolve o uso de tubulações, moinhos, britador, entre outros. Tais aparatos são abrigados por estruturas metálicas ao longo da planta industrial, com isso, há uma preocupação com a ação corrosiva da intempérie que tem efeitos adversos no custo, alocação de recursos e segurança na empresa.

Desse modo, a natureza agressiva do clima local e sua proximidade com o mar, são fatores que tornam a corrosão ainda mais severa. Com isso, as medidas que visam diminuir esse impacto têm um custo mensal em torno de R\$200.000 para a empresa, uma vez que esse valor engloba despesas com pintura, substituição de pisos, tubos, estruturas e mão de obra.

3.4 Influência de cloretos

Por estar localizada somente a vinte e três metros acima do nível do mar, estar próxima a mangues e áreas afetadas pela maré, a ação dos ventos é um dos fatores principais para a influência dos cloretos no processo corrosivo. Sabendo disso, são expostos os seguintes dados históricos para a região:

Gráfico 1 - Intensidade do vento em m/s



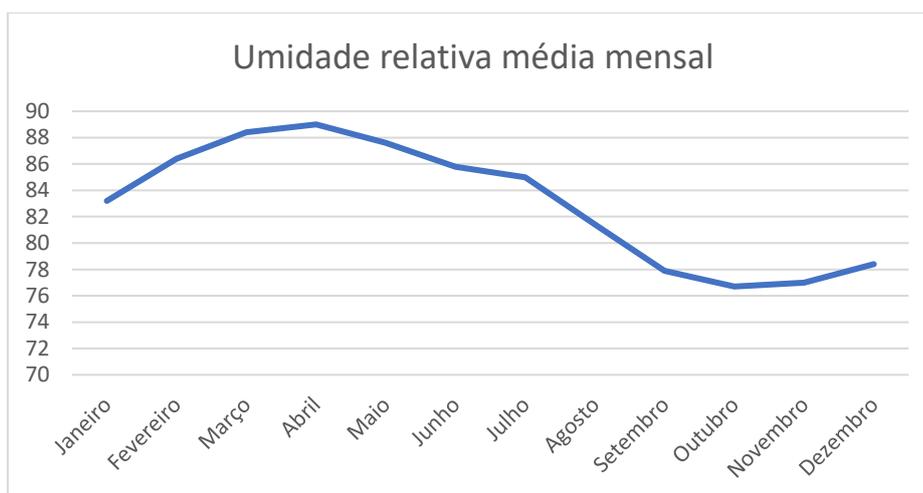
Fonte: Instituto Nacional de meteorologia (2022)

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. Dessa forma, os dados expostos acima mostram que entre agosto e janeiro, há um período mais severo no que diz respeito a concentração de cloretos, contudo, para os meses entre fevereiro e julho têm-se valores muito próximos de 3 m/s. Portanto, apesar de haver dois períodos distintos quanto a nível de agressividade, a influência dos íons cloreto se mantém presente durante o ano inteiro.

3.5 Média de umidade

É importante o levantamento dos fatores climáticos que impactam o processo de corrosão na região estudada, um dos mais importantes diz respeito a umidade relativa do local. Esta favorece a formação de orvalho nas estruturas e aumenta o tempo de corrosão.

Gráfico 2 - Umidade relativa mensal média histórica



Fonte: INMET – Instituto Nacional de meteorologia (2022)

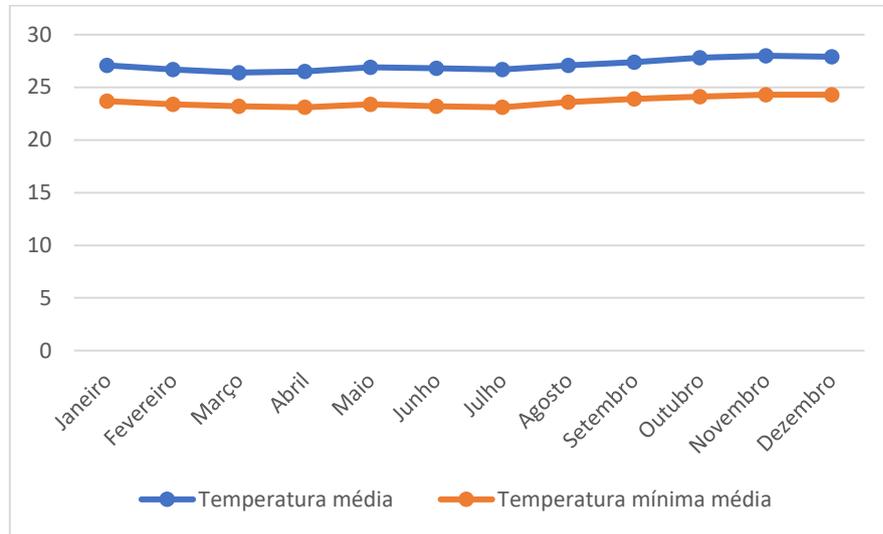
A partir dos dados apresentados no gráfico anterior, têm-se uma umidade relativa acima dos valores de umidade relativa crítica apontados por Shreir (2013), este que está por volta de 60%. O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022) ainda informa que as médias anuais para os horários de doze, dezoito e zero horas, são de 81,2%, 73,4% e 88,8%, valores estes todos acima da umidade crítica, que contribuem para a formação do eletrólito e agravam a degradação corrosiva.

3.6 Média mensal de temperatura

Não possui grande oscilação de temperatura, mantendo durante o ano inteiro valores próximos a média anual de 27,1°C. Contudo, se comparado aos números de temperatura mínima média mensal registrada durante a noite, é vista uma variação de temperatura em relação ao dia

de até 3,6°C, esta favorece a formação de orvalho, que por sua vez forma o eletrólito e aumenta o tempo em que há corrosão no metal.

Gráfico 3 - Temperatura média e temperatura mínima média mensal

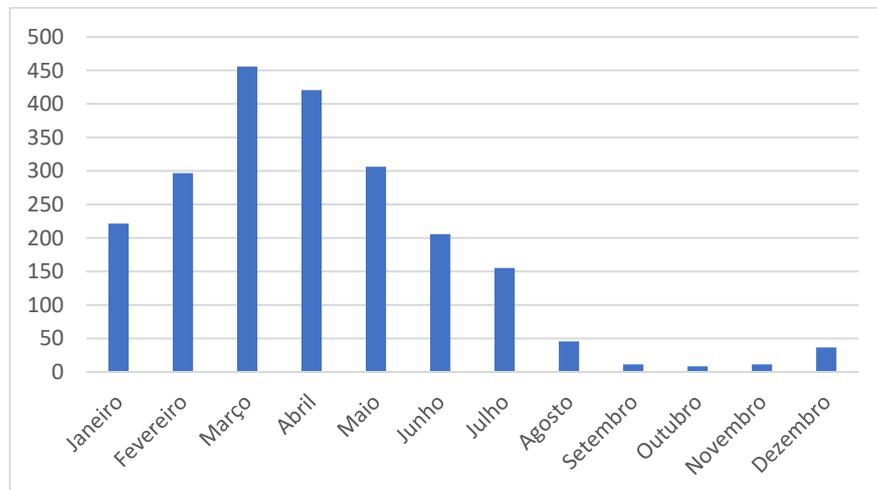


Fonte: INMET - Instituto nacional de Meteorologia (2022)

3.7 Precipitação média

É possível observar dois períodos distintos no clima local, de agosto a dezembro há um considerável menor volume de chuvas se comparado ao período de janeiro a julho que proporciona uma umidade relativa maior no período de chuvas, como pode ser visto no gráfico abaixo. Desse modo, contribui para a ocorrência de ciclos de seco e molhado devido a variação de temperatura entre dia e noite, agravando assim a corrosão, conforme observado por Mendoza et al. (1999).

Gráfico 4 - Precipitação média anual em mm



Fonte: INMET – Instituto nacional de Meteorologia (2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do levantamento dos dados climáticos foi possível apontar as principais causas da severidade do clima na região, onde apesar da presença de cloretos cair exponencialmente conforme aumenta a distância do mar, a influência dos ventos contribui para sua propagação para dentro do continente, agravando assim a corrosão. Por conseguinte, os dados de temperatura, umidade e precipitação apontam para a existência de ciclos de molhado e seco que juntamente com a presença de poluentes como os íons cloro, agravam ainda mais a corrosão.

Constituíram fatores igualmente importantes, as configurações geométricas de algumas estruturas, a ausência de proteção em elementos corroídos e o fator acessibilidade. A corrosão por frestas também foi observada. Em vista disso, ações mitigadoras são apontadas para prevenir ou controlar as não conformidades listadas.

4.1 Identificação de não conformidades

Em vista do que foi exposto anteriormente, a agressividade do clima combinada com a proximidade do mar constituem fatores chave na causa da corrosão no local e influencia diretamente em como se manifesta a corrosão na planta. Isto posto, foram levantadas não conformidades através de observações de áreas alvo de corrosão e entrevistas com os gestores, listando assim os problemas e causas agravantes relacionados a cada situação.

4.1.1 Entrevistas

Foram realizadas entrevistas informais com os gestores da área de manutenção, onde foram obtidas informações a respeito de medidas tomadas para combater a corrosão, principais problemas observados, áreas críticas de corrosão, composição dos materiais, entre outros. Com isso, houve o entendimento de como a corrosão afeta a planta industrial e de que recursos a empresa dispõe para combatê-la.

4.1.2 Observação direta

A primeira não conformidade pôde ser observada em uma estrutura para painel elétrico fixada em uma viga através de soldagem, conforme mostra a Figura 12. Nela é possível avistar a existência de uma fresta entre a estrutura do painel e a viga, esta provoca aeração diferencial e posterior comportamento anódico na região da fresta, ocasionando em uma corrosão mais acelerada do que o normal, esta corresponde a área mais deteriorada pela corrosão na imagem. Outro problema é a solda descontínua que agrava o problema de corrosão por frestas.

Figura 12 - Painel elétrico soldado em coluna metálica



Fonte: Autor (2021)

Figura 13 - Visualização da fresta entre painel e coluna



Fonte: Autor (2021)

Outra observação feita foi no que diz respeito ao estado de deterioração de uma tubulação na região dos compressores de ar. Conforme mostra a imagem, esta foi instalada com um estágio de corrosão uniforme visível que já consumiu toda a tinta que a protegia, desse modo, tem sua vida útil reduzida devido a exposição do material a intempérie e ausência de proteção.

Figura 14 - Tubulação de água de processo



Fonte: Autor (2021)

Na cobertura metálica da casa que abriga os compressores, é observado um nível de corrosão não muito grave, contudo, no que diz respeito à acessibilidade, as superfícies a serem tratadas não oferecem formas acessíveis para realização do trabalho de pintura. Dessa forma, é necessária uma mobilização maior de recursos como o uso de plataformas elevatórias para que seja feita a pintura da estrutura.

Figura 15 - Cobertura da casa de compressores



Fonte: Autor

Na região da oficina, foi encontrado na sapata de uma coluna uma não conformidade no que se refere a criação de frestas, devido a forma como está configurada sua disposição em relação a fixação de uma tela losangular. Paralelamente é prejudicada a acessibilidade a manutenção, causada pelo pouco espaço entre a estrutura da tela e a coluna. Entretanto, o fator principal é a respeito da geometria no local que favorece o acúmulo de sujeira, este aliado a retenção de umidade pode provocar uma corrosão acentuada na área.

Figura 16 - Corrosão em coluna



Fonte: Autor (2021)

Mais um ponto a ser considerado, diz respeito ao estado de deterioração de parafusos, porcas e arruelas nas sapatas das colunas observadas ao longo da planta e alguns flanges de tubulações, inicialmente pensou-se que a causa fosse devido a diferença na natureza dos materiais (formação de pilha galvânica), contudo, conforme informado pelo gestor da área, não é permitido a pintura e tratamento dos parafusos, pois isto prejudica em sua manutenção, uma vez que são rosqueados. Com isso, acontece a deterioração de tais peças em contraste com as superfícies com devida pintura, desse modo, há a troca do elemento por um novo. Com respeito à junta de borracha, esta apresenta um estado degradado, o que prejudica o isolamento elétrico entre os flanges, permitindo o fluxo de elétrons no processo de corrosão, conforme mostra a figura 18.

Figura 17 - Sapata de coluna metálica



Fonte: Autor (2021)

Figura 18 - Flange de tubulação



Fonte: Autor (2021)

Com os problemas apresentados, dada a agressividade do clima local, a corrosão é agravada pelos ciclos de molhado e seco, assim como pela chuva. A seguir um resumo dos defeitos encontrados, associados com suas causas agravantes.

Quadro 3 - Não conformidades encontradas e suas causas

NÃO CONFORMIDADES	CAUSAS
Corrosão por frestas	Disposição geométrica que favorece aeração diferencial; Solda descontínua
Superfície sem proteção	Superfície desgastada; ausência de pintura
Acessibilidade	Difícil acessibilidade para manutenção
Acúmulo de resíduos	Disposição geométrica que favorece o acúmulo de sujeira e umidade
Corrosão acentuada em parafusos, porcas e arruelas	Impossibilidade de pintura

Fonte: Autor (2021)

4.2 Ações mitigadoras

Neste tópico são expostas medidas de combate à corrosão que podem ser aplicadas na referida empresa. Primeiramente, vale ressaltar que os níveis de corrosão observados na planta estão relativamente controlados, uma vez que as não-conformidades listadas não representam perigo iminente de falha. Desse modo, as ações sugeridas a seguir objetivam aumentar a vida útil dos elementos corroídos, consequentemente, impactando positivamente na segurança e na alocação de recursos da empresa.

Sobre os materiais metálicos adquiridos e utilizados pela empresa, opta-se sempre por um método de proteção contra a corrosão no detalhamento antes de ser realizado o seu requerimento para compra, sendo o mais comum destes, a galvanização/zincagem.

4.2.1 Ações mitigadoras quanto a corrosão por frestas

A fresta localizada entre a coluna e o painel elétrico favorece a condensação de umidade, pois não recebe diretamente luz solar, contribuindo a formação do eletrólito. Dito isso, a eliminação da fresta é uma ação que elimina as condições de aeração diferencial encontradas.

Dessa forma, é sugerida a simples confecção de um suporte que não promova a criação de frestas, podendo ser fixado na própria coluna ou mesmo no solo. Além disso, pode ser feito o uso da pintura para proteção adicional.

4.2.2 Ações mitigadoras quanto a superfícies sem proteção

Como a tubulação em questão já conta com proteção catódica, trata-se de um material galvanizado. Recomenda-se a revitalização do revestimento de zinco, porém devido a fatores práticos, será uma medida custosa. Isto posto, é sugerida a preparação da superfície, visando remover sujeiras, ferrugem e quaisquer outras impurezas. Por conseguinte, é necessário o uso de um primer para melhor aderência da camada de tinta e posteriormente aplicar múltiplas camadas de tinta. Essas técnicas e materiais podem ser executadas pela equipe de pintura da manutenção.

Por conseguinte, é essencial que o revestimento seja retocado através de manutenção periódica, dado que cobrir as áreas mais danificadas é menos custoso do que esperar o desgaste de todo o revestimento e posteriormente revitalizar toda a pintura.

4.2.3 Ações mitigadoras quanto a acessibilidade

No que diz respeito a problemas de acessibilidade para a manutenção da pintura na estrutura metálica dos telhados, é indicado o desenvolvimento de soluções em projeto. Pode ser feito por meio do posicionamento de escadas e pontos de ancoragem na estrutura, de modo que ofereça acesso seguro ao operador para manutenção do sistema de pintura.

Com isso, é possível uma melhor alocação dos recursos do setor em relação a mão de obra e tempo de serviço. O detalhamento da solução escolhida pode ser solicitado ao projetista do setor de engenharia.

4.2.4 Ações mitigadoras quanto ao acúmulo de resíduos

A geometria no local favorece o acúmulo de água da chuva que escorre pela estrutura da cerca e é depositada entre a coluna e sua respectiva sapata. Isto posto, é sugerida uma mudança no seu posicionamento que permita uma passagem maior de correntes de ar, evitando assim o acúmulo de resíduos provenientes das atividades da oficina. Além disso, provoca maior troca de calor com o ambiente, o que por sua vez auxilia na evaporação da água.

4.2.5 Ações mitigadoras quanto a corrosão em parafusos, porcas e arruelas

Primeiramente é recomendada a utilização de materiais galvanizados para aumento de vida útil. Paralelamente, dada a diferença na natureza do aço estrutural utilizado na coluna com o aço dos parafusos, porcas e arruelas, têm-se uma pilha galvânica, para isso é sugerido o uso de um terceiro metal, anódico a ambos os metais que corrói preferencialmente e funciona como ânodo de sacrifício.

Em adição a essas medidas, é sugerido o uso de arruelas e luvas não metálicas que isolam os materiais eletricamente e impedem o fluxo de elétrons necessário ao processo de corrosão. Dessa forma, há a eliminação da pilha galvânica e o metal está sujeito somente a atuação da corrosão atmosférica.

4.2.6 Implantação do gerenciamento da corrosão

É sugerido a implementação de um sistema eficiente de gerenciamento da corrosão pois este melhora a habilidade de uma organização em gerenciar e mitigar ameaças relacionadas a corrosão de ativos no presente e no futuro. Consiste em um conjunto documentado de procedimentos para planejamento, implementação, e monitoramento da integridade dos ativos, com ênfase na prevenção proativa da corrosão em detrimento de reparos corretivos.

Isto posto, um sistema efetivo de gerenciamento deve conter planos de vida útil desejada ao ativo, procedimentos e boas práticas de prevenção a corrosão, inspeção e monitoramento de ativos existentes, além de incluir gerenciamento ativo por meio de indicadores chave, tudo isso em convergência com os objetivos, estratégias e política da empresa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo presente objetivou identificar as principais não-conformidades envolvidas na corrosão dos ativos de uma mineradora de ouro, para que medidas mitigadoras pudessem ser propostas. Em vista disso, estes foram detectados e listados com base nas informações obtidas mediante observações e entrevistas informais com os gestores da área.

Observou-se que a severidade do clima local favorece o fenômeno de corrosão. Desse modo, a eliminação de condições como a presença de frestas é essencial para o aumento da durabilidade dos elementos corroídos, dado que apenas uma modificação na geometria e disposição da estrutura analisada é suficiente para minimização desse problema, como foi sugerida na confecção de outra forma de fixação do painel elétrico para aumento de espaçamento.

Paralelamente houve o apontamento de superfícies suscetíveis a corrosão devido a ausência de proteção, onde foi proposta a sua pintura, solução esta que já é praticada na organização e se trata da medida mais viável para aplicação em toda a planta industrial, uma vez que toda ela está sujeita a corrosão atmosférica.

Por conseguinte, para situações de acúmulo de resíduos e acessibilidade foram propostas soluções de projeto, estas exigem uma abordagem individual de cada caso pelo projetista para serem implementadas da forma mais viável possível. Quanto à corrosão por pilha galvânica foram apontadas medidas que procuram inibir comportamento anódico do elemento alvo da corrosão, sem comprometer a integridade da estrutura.

No que diz respeito às dificuldades encontradas na realização do trabalho, destacam-se a complexidade do fenômeno corrosivo e suas peculiaridades, a limitação quanto aos registros fotográficos, sendo proibida a captura de imagem em áreas abertas por razões de segurança, do encontro da bibliografia relevante mais recente. Ressalta-se também o uso de entrevistas informais para coleta de dados devido ao pouco tempo disponível pelos colaboradores.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros são sugeridos a implementação de um sistema de gerenciamento da corrosão, onde possa ser definido com base na realidade da empresa, o melhor modelo possível, como sugerido pela National Association of Corrosion Engineers (NACE). Com isso, haverá de forma quantificada qual o impacto de cada medida tomada, através dos indicadores designados.

Propõe-se também um estudo detalhado para caracterização do clima local, através de corpos de prova e instrumentos que ao longo do tempo indiquem dados como a composição da atmosfera, concentração de cloretos, sulfetos, tempo de umedecimento, entre outros. A partir desses dados, têm-se uma maior proximidade do estudo com o real.

7 REFERÊNCIAS

AMBLER, H. R.; BAIN, A. A. J. Corrosion of metals in the tropics. **Journal of Applied Chemistry**, v. 5, n. 9, p. 437-467, 1955.

ARAÚJO, Haroldo de. **Fundamentos da corrosão**. [S. l.]: UFPR, 2003. 118 p.

AS FORMAS de corrosão. [S. l.], 29 jun. 2022. Disponível em: <https://engenheirodemateriais.com.br/2017/04/26/as-formas-de-corrosao/>. Acesso em: 23 set. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Classificação da corrosividade de Atmosferas**, NBR 14643. Rio de Janeiro, 2001.

BARROS, Aidil de J. Paes; LEHFELD, Neide A. de Souza. **Projeto de pesquisa: propostas metodológicas**. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1991.

BRAMBILLA, Kelly Jacqueline Campos. **Investigação do grau de corrosividade sobre materiais metálicos das redes aéreas de distribuição de energia elétrica (RD) da Região Metropolitana de Salvador - BA**. 2011. Dissertação (Engenharia de Materiais e Metalurgia) - UFPR, [S. l.], 2011

BROWN, Theodore L. et al. **Química: A ciência central**. 13. ed. rev. e atual. [S. l.]: Pearson, 2016. 1229 p.

CALLISTER, Willian D. Jr . e RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais uma introdução**. 10ª ed. Rio de Janeiro. Ed. LTC, 2020.

CORROSÃO por frestas: como evitar o problema em indústrias. [S. l.], 12 jul. 2021. Disponível em: <https://www.sulcromo.com.br/noticias-corrosao/corrosao-por-frestas-como-evitar-o-problema-em-industrias/>. Acesso em: 22 nov. 2021.

CORROSÃO uniforme: o que é e como evitar. [S. l.], 29 jun. 2022. Disponível em: <https://rijeza.com.br/blog/corrosao-uniforme-o-que-e-e-como-evitar/>. Acesso em: 13 dez. 2021.

DECHEMA, Corrosion Handbook. **Corrosive agents and their reaction with materials**. [S. l.]: Diehter Berens, 1992.

FERRANTE, Maurizio. **Seleção dos Materiais de Construção Mecânica: Estratégias e Metodologia Básica**. São Carlos - SP: UFScar, 1996.

FONSECA, João José Saraiva da. **METODOLOGIA DA PESQUISA CIENTÍFICA**. Fortaleza: Uece, 2002. 127 p.

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

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6. ed. [S. l.]: LTC, 2011. 376 p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 129445: **Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems: Part 5 Protective paint systems**. Genève, 1998
- KOCH, Gerhardus et al. International measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies study. **NACE international**, v. 216, p. 2-3, 2016.
- LANDRUM, R.J. **Fundamentals of design for corrosion control: A corrosion aid for the designer**. Houston: National Association for Corrosion Engineers, 1989.
- LEE, James A. et al. **Materials of construction for chemical process industries**. 1950.
- MENDOZA, Antonio R.; CORVO, Francisco. Outdoor and indoor atmospheric corrosion of carbon steel. **Corrosion Science**, v. 41, n. 1, p. 75-86, 1999.
- MIRACLE, Daniel B. et al. **ASM handbook**. Materials Park, OH: ASM international, 2001.
- MORCILLO, M.; ALMEIDA, E.; ROSALES, B. Atmospheric corrosion of zinc Part 2: Marine atmospheres. **British Corrosion Journal**, v. 35, n. 4, p. 289-296, 2000.
- NUNES, Laerce de Paula *et al.* **Fundamentos de resistência a corrosão**. 1. ed. [S. l.]: Interciência, 2007. 330 p.
- 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.
- PLUDEK, V. R. **Design and corrosion control**. London: The MacMillian Press, 1977.
- RABALD, E. **Corrosion Guide** 2 nd edn pp. 199-301. 1968.
- SCHWEITZER, P.A. **Corrosion Resistance Tables - Metals, nonmetals, coatings, mortars, plastics, elastometers and linings, and Fabrics**. 4. ed. [S. l.]: Marcel Dekker, 1995.
- SHREIR, Lionel Louis (Ed.). **Corrosion: metal/environment reactions**. Newnes, 2013.
- SICA, Yuri Cleverthon. **Mapeamento da corrosividade atmosférica de São Luís-MA e a correlação das variáveis ambientais que influenciaram na degradação dos materiais metálicos**. 2006.
- SILVEIRA, Denise Tolfo; CÓRDOVA, Fernanda Peixoto. A pesquisa científica. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. p. 33-44, 2009.
- TELLES, Silva P.C. **Materiais para equipamento de processo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1979.

TIPOS de Corrosão. [S. l.], 29 jun. 2022. Disponível em:
<http://stdengenharia1.blogspot.com/2019/02/tipos-de-corrosao.html>. Acesso em: 30 set. 2021.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987

UHLIG, Herbert Henry et al. **Corrosion handbook**. 1958.

VERNON, W. H. J. A laboratory study of the atmospheric corrosion of metals. Part II.—Iron: the primary oxide film. Part III.—The secondary product or rust (influence of sulphur dioxide, carbon dioxide, and suspended particles on the rusting of iron). **Transactions of the Faraday Society**, v. 31, p. 1668-1700, 1935.