



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

GABRIEL SARMENTO DE ALMEIDA

**MANIFESTAÇÕES CORROSIVAS EM ESTAÇÃO FERROVIÁRIA NA CIDADE DE
SOUSA - PARAÍBA**

PAU DOS FERROS

2023

GABRIEL SARMENTO DE ALMEIDA

**MANIFESTAÇÕES CORROSIVAS EM ESTAÇÃO FERROVIÁRIA NA CIDADE DE
SOUSA - PARAÍBA**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Profa. Dra. Sanderlir Silva Dias.

PAU DOS FERROS

2023

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

AG118 Almeida, Gabriel Sarmento.
m MANIFESTAÇÕES CORROSIVAS EM ESTAÇÃO FERROVIÁRIA
NA CIDADE DE SOUSA - PARAÍBA / Gabriel Sarmento
Almeida. - 2023.
39 f. : il.

Orientadora: Sanderlir Silva Dias.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2023.

1. Corrosão. 2. Estação Ferroviária . 3.
Prevenções . I. Dias, Sanderlir Silva , orient.
II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

GABRIEL SARMENTO DE ALMEIDA

**MANIFESTAÇÕES CORROSIVAS EM ESTAÇÃO FERROVIÁRIA NA CIDADE DE
SOUSA - PARAÍBA**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 16 / 05 /2023.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
SANDERLIR SILVA DIAS
Data: 19/05/2023 18:01:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Sanderlir Silva Dias (Orientadora)



Documento assinado digitalmente
ARNAYRA SONAYRA DE BRITO SILVA CARR
Data: 19/05/2023 11:58:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Arnayra Sonayra de Brito Silva Carreiro (1ª Examinadora)



Documento assinado digitalmente
TYCIANNE JANYNNE DE OLIVEIRA CABRAL
Data: 18/05/2023 11:42:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Tycianne Janyne de Oliveira Cabral (2ª Examinadora)

*A minha bisavó Francisca Tavares de Araújo
(In Memoriam), por todos os ensinamentos
que me proporcionou.*

*A minha Família, em especial meus pais José
Orlando Sarmento Lopes e Valeska Tavares de
Almeida Sarmento e a minha avó Maria
Tavares de Araújo, por terem feito o possível e
o impossível para que eu conseguisse chegar
até aqui. Aos meus irmãos Gabriela e José
Miguel, essa vitória é para vocês.*

AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiramente a Deus e a minha Nossa Senhora Aparecida que vem derramando suas bênçãos e suas graças sobre mim, me dando forças para continuar firme e forte nessa caminhada.

Agradeço à minha orientadora Dr. Sanderlir Silva Dias, por ter se disposto a me guiar por toda essa jornada de construção, com muito carinho, com muito cuidado e muita atenção. Deixo aqui toda a minha admiração por você.

A toda minha família que vem sonhando com essa realização.

Agradeço aos meus pais, José Orlando Sarmento Lopes e Valesca Tavares de Almeida Sarmento, por terem feito o possível e impossível para esta realização e por ter me apoiado e acreditado em todas as minhas decisões.

Agradecer a minha avó, Maria Tavares de Araújo, pôr em hipótese alguma medir esforços para as minhas realizações e por estar sempre presente em minha vida.

Aos meus irmãos, Gabriela Sarmento de Almeida e José Miguel Sarmento de Almeida por sempre estarem ao meu lado.

Agradecer ao meu tio Padre Fernando Leite de Araújo, que foi um dos alicerces para minha vida pessoal e minha vida acadêmica, serei eternamente grato por todo apoio que o senhor me proporcionou.

As minhas tias Camila Tavares de Araújo e Taysa Tavares de Araujo, por sempre estarem ao meu lado me apoiando.

A minha avó, Fátima Sarmento Lopes, agradeço por estar sempre presente e sempre rezando por mim.

Agradecer a minha namorada Maelly, por sempre estar ao meu lado me apoiando e me incentivando em todos os momentos e sempre me mostrando o quanto sou capaz de alcançar meus objetivos.

Agradeço aos meus amigos da empresa júnior Pirâmides, por terem me proporcionado viver momentos incríveis que jamais serão esquecidos.

Aos meus amigos Anna Beatriz, Jonathan, Açucena, Viviane, Luis Gustavo e Ana Karla, Ryan Fernandes, Pedro Henrique, Gabriel, Wallace Dantas, Igor Mateus por me escutar e estar presente sempre que preciso, sou grato por ter vocês presentes em minha vida.

Agradeço a toda equipe que faz parte da Universidade Federal Rural do Semi Árido (UFERSA) Campus Pau dos Ferros por terem sido essenciais para essa formação.

“O homem erudito é um descobridor de fatos que já existem - mas o homem sábio é um criador de valores que não existem e que ele faz existir.”

Albert Einstein

RESUMO

A corrosão é um processo espontâneo que resulta na transformação dos materiais metálicos afetando sua durabilidade e seu desempenho. Esse processo ocorre devido às interações que o material possui com o meio o qual está inserido, podendo causar danos irreversíveis para o material exposto. Com isso, o presente trabalho visa analisar as manifestações corrosivas presentes na estação ferroviária de Sousa na Paraíba, através dos trilhos, pátio de abastecimento e torre de areia. Esse estudo apresenta uma fundamentação teórica por meio de pesquisas bibliográficas, a fim de obter embasamento teórico para o estudo. Após análise de registro fotográficos e visitas ao local de estudo, foi constatado a presença de diversas corrosões, porém as mais presentes foram corrosão uniforme, corrosão por placas e corrosão por pite. O surgimento deste processo ocorre devido a falta de manutenção, pois a estação encontra-se desativa por cerca de treze anos e por meio de interação do material com o meio, como os fatores climáticos na região. Identificadas as presentes manifestações, foi possível, por meio da fundamentação, teórica compreender através de quais circunstâncias os materiais metálicos estava interagindo com o meio e propor prevenções para o retardamento dessas interações como o uso de inibidores de corrosão como proteção catódica e proteção anódica e o uso de revestimentos como o zinco para melhor proteger o material exposto.

Palavras-chave: Corrosão; Estação Ferroviária; Prevenções.

ABSTRACT

Corrosion is a spontaneous process that results in the transformation of metallic materials, affecting their durability and performance. This process occurs due to the interactions that the material has with the environment in which it is inserted, which can cause irreversible damage to the exposed material. With this, the present work aims to analyze the corrosive manifestations present at the Sousa railway station in Paraíba, through the rails, supply yard and sand tower. This study presents a theoretical basis through bibliographical research, in order to obtain a theoretical basis for the study. After analysis of photographic records and visits to the study site, the presence of several corrosions was verified, but the most common were uniform corrosion, plaque corrosion and pitting corrosion. The emergence of this process occurs due to lack of maintenance, as the station has been deactivated for about thirteen years and through the interaction of the material with the environment, such as climatic factors in the region. Having identified the present manifestations, it was possible, through the theoretical foundation, to understand under what circumstances the metallic materials were interacting with the environment and to propose preventions for the delay of these interactions as the use of corrosion inhibitors as cathodic protection and anodic protection and the use of coatings such as zinc to better protect the exposed material.

Keywords: Corrosion; Train station; Preventions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corrosão uniforme.....	16
Figura 2 - Corrosão por placas.....	16
Figura 3 - Corrosão alveolar.....	17
Figura 4 - Corrosão puntiforme.....	17
Figura 5 - Corrosão eletrolítica.....	18
Figura 6 - Corrosão eletroquímica.....	19
Figura 7 - Corrosão química.....	19
Figura 8 – Triângulo de corrosão.....	23
Figura 9 - Localização da estação.....	24
Figura 10 - Estação ferroviária de Sousa 1922.....	25
Figura 11 - Fluxograma do processo de pesquisa	26
Figura 12 - Trilhos estação ferroviária de Sousa - PB	28
Figura 13 - Trilhos período quente.....	29
Figura 14 - Trilhos período chuvoso	29
Figura 15 - Pátio de abastecimento estação ferroviária de Sousa -	30
Figura 16 - Pátio de abastecimento seco	31
Figura 17 - Pátio de abastecimento chuvoso	31
Figura 18 - Torre de areia estação ferroviária de Sousa - PB.....	32
Figura 19 - Estrutura torre areia estação ferroviária de Sousa – PB.....	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. PROBLEMATIZAÇÃO.....	12
3. OBJETIVOS.....	13
3.1 Geral.....	13
3.2 Específicos.....	13
4. JUSTIFICATIVA.....	14
5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
5.1 Corrosão.....	15
5.2 Classificação da corrosão	15
5.2.1 Corrosão uniforme.....	15
5.2.2 Corrosão por placas	16
5.2.3 Corrosão alveolar	16
5.2.4 Corrosão puntiforme ou por pite.....	17
5.3Tipos de corrosão.....	17
5.3.1 Corrosão eletrolítica.....	18
5.3.2Corrosão eletroquímica.....	18
5.3.3 Corrosão química.....	19
5.4Meios corrosivos.....	20
5.4.1 Atmosférico	20
5.4.2 Solo	20
5.4.3 Águas naturais	21
5.5Métodos de inibição de corrosão	21
5.5.1 Inibidores de corrosão.....	21
5.5.2 Proteção catódica.....	22
5.5.3 Revestimentos.....	22
5.5.4 Proteção anódica	22
5.5.5 Triângulo de corrosão.....	23
6. METODOLOGIA	25
6.1 Local de estudo	25
6.2 Historia.....	25
6.3 Fluxograma de pesquisa.....	26

7.RESULTADO E DISCUSSÃO.....	27
7.1 Trilhos.....	27
7.2 Pátio de abastecimento.....	29
7.3 Torre de areia.....	31
8. CONCLUSÃO.....	34
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Callister (2002), a maioria dos materiais vão experimentar algum tipo de interação com os diversos ambientes que ele pode estar inserido. Com essa frequência, algumas interações irão comprometer a utilidade de tal material como resultado a deterioração de suas propriedades mecânicas e suas propriedades físicas.

Essa deterioração apresenta características diferentes para os tipos de materiais. Nos metais, ela vai apresentar uma perda efetiva do material, seja ela por meio de dissolução (corrosão) ou pela formação de uma película de material não metálico (oxidação). A corrosão pode ser definida como o ataque destrutivo e não intencional das propriedades dos metais, esses ataques surgem através de um processo eletroquímico e normalmente tem se início na superfície do metal (GENTIL, 2011).

A corrosão causa grandes problemas nas variadas atividades, por exemplo, nas indústrias químicas e petrolífera, nos meios de transporte aéreos, ferroviários, metroviário, marítimo, rodoviário e nos meios de comunicação, como sistemas de telecomunicações, na odontologia (restaurações metálicas, aparelhos de próteses), na medicina (ortopedia) e em obras de arte como monumentos e esculturas (FRAUCHES-SANTOS; ALBUQUERQUE; OLIVEIRA; ECHEVARRIA, 2013).

Estas manifestações corrosivas apresentam proporções significativas para a economia, pois foi estimado que aproximadamente 5% da receita de uma nação industrializada são gastos na prevenção da corrosão e na manutenção ou substituição de produtos perdidos ou contaminados como resultado de reações de corrosão (CARLLISTER, 2002).

Em alguns casos ao substituir o material desgastado por outro, o custo é cerca de 20 a 50 vezes mais alto, dificultando a sua reposição. Desta forma, devido aos altos custos de recuperação é mais eficiente destinar os recursos para a prevenção da corrosão através de técnicas de proteção contra o fenômeno corrosivo, a qual, é realizada por meios de revestimentos e inibidores de corrosão (MERÇON *et al*, 2004).

Diante desse conhecimento, o presente trabalho tem como proposta analisar processos corrosivos atuantes no local de estudo, sugerindo medidas de proteção adequadas que possam exterminar ou reduzir o processo de exposição, estendendo a vida útil dos materiais que sofrem por essa ação na estação ferroviária de Sousa -PB.

2. PROBLEMATIZAÇÃO

O cenário nacional e municipal, é notório as decorrências de corrosão nos diversos materiais metálicos. Essas ocorrências estão atreladas às reações químicas ou eletroquímicas do meio que o material se encontra exposto, a qual vão resultar em mudanças nas suas propriedades, conduzindo o mesmo a perda de suas funcionalidades e vida útil (DALLACCUA, 2020).

Os ambientes os quais os materiais estão expostos estão sujeitos a solicitações externas, como chuvas, ventos e radiação solar. Essas exposições levam os materiais a perderem características das suas propriedades mecânicas e químicas. Desta forma, esse estudo tem como finalidade identificar os fatores externos que estão influenciando o local de estudo através de análises que identificam o que está levando ao processo corrosivo, assim, facilitando as buscas por soluções que venham inibir os processos encontrados.

Com isso, a área que será analisada, foi escolhida devida apresentar diversas manifestações corrosivas em suas estruturas, que não passam por um processo de manutenção por cerca de treze anos.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

Identificar, por meio da realização de estudos de casos de corrosão em um patrimônio ferroviário em Sousa-PB, o tipo de corrosão, as possíveis causas e o nível de degradação do local devido a interação com o meio, e a partir dessa identificação, propor soluções específicas para a proteção do metal exposto a esse tipo de corrosão.

3.2 Específicos

- Compreender o processo corrosivo e suas causas;
- Identificar os tipos de corrosão atuante;
- Efetuar vistoria do local;
- Avaliar os dados e resultados fotográficos;
- Determinar o triângulo de corrosão;
- Compreender as técnicas de proteção contra este processo;
- Apresentar soluções de proteção ou recuperação.

4. JUSTIFICATIVA

O trabalho discutido visa ampliar a quantidade das pesquisas realizadas em locais que estão ocorrendo deterioração por corrosão, promovendo e incentivando pesquisas sobre o tema. Além de buscar promover a prevenção dessa degradação, os patógenos e as condições de operação devem ser identificados para evitar danos futuros e prolongar a vida útil do material.

Desta forma, o estudo visa compreender as influências dos fenômenos naturais que acontecem e que podem estar acelerando o processo corrosivo do patrimônio.

5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 Corrosão

A corrosão consiste na deterioração de um material, geralmente metálico, pela ação de atividade química ou eletroquímica do meio ambiente, que pode estar relacionada ou não a esforços mecânicos. Essa deterioração decorrente da interação físico-química entre o material e o meio em que ele atua, corresponde a modificações sofridas pelo material que são prejudiciais e indesejáveis para o uso adequado do material, como o desgaste e as variações químicas ou alterações estruturais (GENTIL, 2011).

O surgimento dessa patologia está atrelado a vários fatores, desde a composição do material até mesmo o contato que ela possui com o ambiente inserido e demais materiais. Devido a isso, é notória a necessidade de compreender como essas matérias se comportam e buscar soluções que possam retardar e proteger o material exposto.

5.2 Classificação da corrosão

O processo corrosivo pode surgir de várias formas, tendo em vista a sua aparência ou a forma que está sendo distribuída e as razões que vêm contribuindo para o surgimento dessa patologia.

Esse processo pode ser caracterizado de acordo com a sua morfologia, podendo ser apresentadas considerando-se a aparência ou forma de ataque e as diferentes causas da corrosão e seus mecanismos (GENTIL, 2011).

A caracterização pela morfologia vai auxiliar nos mecanismos e nas medidas de adequações para proteção com isso as características fundamentais dos tipos de corrosão: Uniforme, por placas, alveolar, puntiforme ou por pite, intergranular, intragranular, filiforme, por esfoliação, grafítica, dezincificação, empolamento pelo hidrogênio e entorno do cordão da solda. “Ao se considerar o emprego de materiais na construção de equipamentos ou instalações é necessário que estes resistam à ação do meio corrosivo, além de apresentar propriedades mecânicas suficientes e características de fabricação adequadas” (METAIS/GALVANIZAÇÃO, 2023, p. 2).

5.2.1 Corrosão Uniforme

A corrosão uniforme se processa em toda a extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme de espessura do material exposto, sendo um dos tipos mais encontrados no nosso cotidiano. Como sua distribuição é uniforme, se torna preocupante, pois a diminuição na

espessura do material pode causar falha do material nos equipamentos, como mostra a figura 01:

Figura 1: Corrosão Uniforme



Fonte: GENTIL,1996.

5.2.2 Corrosão por Placas

A corrosão por placas se comporta de forma diferente em relação a corrosão uniforme. Ela irá se localizar na superfície metálica, porém não em toda sua extensão. Nesse tipo de corrosão acontece uma formação de placas com escavações, gerando assim desníveis na área exposta, como mostra a figura 02:

Figura 2: Corrosão por Placas



Fonte: GENTIL,1996.

5.2.3 Corrosão Alveolar

Segundo Gentil (2011), a corrosão alveolar se processa na superfície metálica produzindo sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos, apresentando fundo arredondado e profundidade geralmente menor que o seu diâmetro, como mostra a figura 03:

Figura 3: Corrosão Alveolar

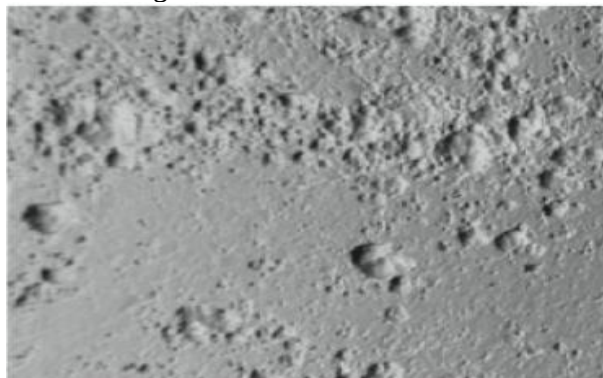


Fonte: GENTIL,2011.

5.2.4 Corrosão Puntiforme ou por pite

A corrosão puntiforme é conhecida também por corrosão de pite se processa em alguns pontos ou em pequenas áreas localizadas na superfície metálica produzindo pites, que são cavidades que apresentam o fundo em forma de angulosa e profundidade geralmente maior que o seu diâmetro como mostra a figura 04 (GENTIL, 2011).

Figura 4: Corrosão Puntiforme



Fonte: GENTIL, 2011.

5.3 Tipos de corrosão

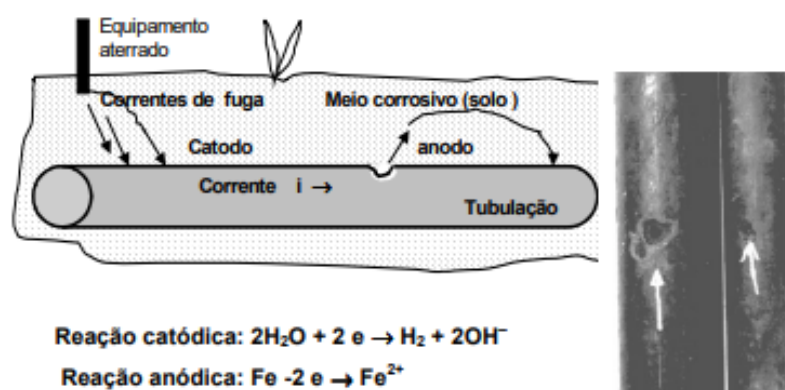
Segundo Gentil (2011), corrosão é a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos. A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso. A corrosão é classificada de acordo com o modo de ação em eletroquímica, química e eletrólise.

5.3.1 Corrosão Eletrolítica

A corrosão eletrolítica se caracteriza por ser um processo eletroquímico, que se dá com aplicações de corrente elétrica externa. Isto significa que é um processo não espontâneo de corrosão. Ela é provocada por correntes de fuga, também chamadas de parasitas ou estranhas. Este fenômeno ocorre com frequência em gasodutos e oleodutos, em adutoras de água potável, em cabos telefônicos enterrados, em tanques de postos de gasolina, etc. Geralmente, estas correntes são devidas às deficiências de isolamentos ou de aterramentos, fora de especificações técnicas (Mainier,*et al*, 2001).

Normalmente, acontecem furos isolados nas instalações, onde a corrente escapa para o solo, conforme mostra o mecanismo proposto na Figura 5.

Figura 5: Corrosão Eletrolítica



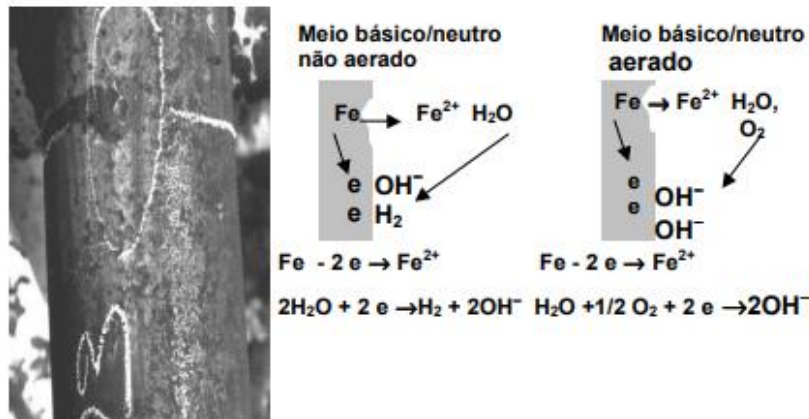
Fonte: Mainier,*et al*, 2001

5.3.2 Corrosão Eletroquímica

A corrosão eletroquímica é um processo espontâneo, passível de ocorrer quando o metal ou liga está em contato com um eletrólito, onde acontecem, simultaneamente, as reações anódicas e catódicas. A transferência dos elétrons da região anódica para a catódica é feita por meio de um condutor metálico, e uma difusão de ânions e cátions na solução fecha o circuito elétrico.

A intensidade do processo de corrosão é avaliada pelo número de cargas de íons que se descarregam no catodo ou, então, pelo número de elétrons que migram do ânodo para o catodo. As reações anódicas e catódicas envolvidas, bem como um aspecto deste processo corrosivo, é apresentado na Figura 6 (Mainier,*et al*, 2001).

Figura 6: Corrosão Eletroquímica



Fonte: Mainier, *et al*, 2001

5.3.3 Corrosão Química

Neste processo, a água não é um elemento necessário para que o mesmo ocorra, sendo então decorrente da ação direta de um agente químico sobre o material, não havendo a troca de elétrons de uma área para outra (MERÇON *et al*, 2004). Esse tipo de corrosão pode ser observado no nosso dia-a-dia em condições ambientais normais, como visto em pontes e viadutos, no entanto, é mais presente em ambientes industriais em circunstâncias distintas.

Ao contrário da eletroquímica, é pouco frequente na natureza e necessita de temperaturas elevadas, além de não necessitar a presença de água, o que permite ser denominada ainda como corrosão seca (ABRACO, 2013). A Figura 7 ilustra como a corrosão química pode ser encontrada.

Figura 7: Corrosão química



Fonte: MERÇON *et al*, 2004.

5.4 Meios Corrosivos

As condições externas as quais os materiais estão sujeitos, podem influenciar consideravelmente no processo corrosivo do mesmo. Desta forma, é essencial analisar as interações que o material estará sujeito com o meio. Com isso, a atmosfera, solo e as águas naturais são um dos meios que vão facilitar as manifestações corrosivas nos materiais (GENTIL, 2011).

5.4.1 Atmosférico

Segundo Gentil (2011), a importância da atmosfera, como meio corrosivo, pode ser confirmada pelo grande número de publicações científicas relacionadas com ensaios de corrosão utilizando diferentes materiais metálicos e prolongados períodos de exposição. Este fator está atrelado aos poluentes que estão presentes na atmosfera, como óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio e ozônio. Esses fatores estão relacionados com a umidade relativa do ar e temperatura.

A corrosão atmosférica se classifica em função do grau de umidade da superfície metálica, em seca, úmida e molhada. Como afirma Gentil (2011, p. 58)

A corrosão atmosférica seca ocorre em atmosfera isenta de umidade, sem qualquer presença de filme de eletrólito na superfície metálica. Tem-se uma lenta oxidação do metal com formação do produto de corrosão, podendo o mecanismo ser considerado puramente químico: caso do tarnishing, escurecimento de prata ou de cobre por formação de Ag_2S e CuS , respectivamente, devido à presença de gás sulfídrico, H_2S , na atmosfera ou meio ambiente.

A corrosão atmosférica úmida ocorre em atmosferas com umidade relativa menor que 100%. Tem-se um fino filme de eletrólito, depositado na superfície metálica, e a velocidade do processo corrosivo depende da umidade relativa, poluentes atmosféricos e higroscopicidade dos produtos de corrosão.

Na corrosão atmosférica molhada, a umidade relativa está perto de 100% e ocorre condensação na superfície metálica, observando-se que a superfície fica molhada com o eletrólito, como, por exemplo, chuva e névoa salina depositadas na superfície metálica.

5.4.2 Solo

O comportamento do solo é um fator que vai influenciar no processo corrosivo do material devido à natureza do solo. Essa natureza pode ser influenciada por diversos fatores como: tomadas de amostras - variabilidade, características físico-químicas e condições operacionais (GENTIL, 2011).

A tomada de amostras tem como finalidade identificar os processos de aeração, umidade, pH, potencial de redox, micro- organismos e heterogeneidade do solo (Gentil, 2011).

As características físico-químicas vão nos mostrar a acidez, presença de sais, gases e de água da amostra de solo que estão sendo analisadas e como elas podem interagir com o material no ambiente exposto (GENTIL, 2011).

As condições operacionais abrangem uma série de exposições que podem afetar esse solo como: fatores climáticos, o emprego de fertilizantes e até mesmo os despejos industriais (GENTIL, 2011). “O solo pode ser considerado como um dos meios corrosivos mais complexos para se determinar previamente sua ação agressiva para os materiais metálicos” (GENTIL, 2011).

5.4.3 Águas Naturais

Segundo Gentil (2011), os materiais metálicos em contato com a água tendem a sofrer corrosão, a qual vai depender de várias substâncias que podem estar contaminando a mesma. Desta forma, sais dissolvidos como: cloreto de sódio, cloreto de ferro e de magnésio são substâncias que poluem o meio aquoso que conseqüentemente irá influenciar nas manifestações corrosivas dos materiais.

As regiões litorâneas são ambientes que estão propícios a maiores incidentes dessas patologias, devido a salinidade das águas marítimas que se torna um agente ativo no processo de degradação dos materiais metálicos (Gentil, 2011).

A água do mar é um meio corrosivo complexo constituído de solução de sais, matéria orgânica viva, *silt*, gases dissolvidos e matéria orgânica em decomposição. Logo, a ação corrosiva da água do mar não se restringe à ação isolada de uma solução salina, pois certamente ocorre uma ação conjunta dos diferentes constituintes (Gentil, 2011).

5.5 Métodos de Inibição de Corrosão

Inibidor é uma substância ou mistura de substâncias que, quando presente em concentrações adequadas, no meio corrosivo, reduz ou elimina a corrosão. Substâncias com essas características têm sido muito usadas como um dos melhores métodos para proteção contra a corrosão, e muitas pesquisas, visando à utilização de novos compostos com esse objetivo, têm sido estimuladas por diversas indústrias (Gentil, 2011).

5.5.1 Inibidores de corrosão

Os inibidores de corrosão são substâncias que, quando adicionadas ao ambiente em concentrações relativamente baixas, diminuem a sua corrosividade. Obviamente, o inibidor específico depende tanto da liga como do ambiente corrosivo. Existem vários mecanismos que podem ser responsáveis pela eficácia dos inibidores. Alguns reagem e virtualmente eliminam um componente quimicamente ativo presente na solução como o oxigênio dissolvido (CARLLISTER, 2002).

Outras moléculas inibidoras se fixam à superfície que está sofrendo corrosão e interferem ou na reação de oxidação ou na reação de redução, ou formam um revestimento protetor muito fino. Os inibidores são usados normalmente em sistemas fechados, como os radiadores de automóveis e as caldeiras de vapor (CARLLISTER, 2002).

5.5.2 Proteção Catódica

Segundo Barbosa (2012), a proteção catódica é um método de proteção anticorrosiva de estruturas enterradas ou subaquáticas baseado no princípio da formação em pilha (corrosão eletroquímica). A maneira de manter a proteção catódica da tubulação é através de ânodos de sacrifício e corrente impressa.

A proteção catódica envolve simplesmente o suprimento, a partir de uma fonte externa, de elétrons para o metal que está sendo protegido. Uma técnica de proteção catódica bastante empregada é o processo de galvanização, método esse, o qual, o metal a ser protegido é conectado eletricamente a um outro metal que é mais reativo naquele ambiente específico, este último metal experimenta a oxidação e mediante a cessão de elétrons, protege o primeiro metal contra a corrosão. O metal que é oxidado é chamado com frequência de anodo de sacrifício (CARLLISTER, 2002).

5.5.3 Revestimentos

O revestimento metálico possui diversas finalidades desde decorativa até adquirir resistência do material ao processo corrosivo. Esse revestimento ocorre a partir da solidificação do metal que se encontra inicialmente na fase líquida, mas que durante o contato com o material metálico cria uma película protetora que o permite resistir a atritos e esforços mecânicos (GENTIL, 2011).

No entanto, diante das técnicas anticorrosivas pelo uso de revestimento o mais empregado é o revestimento não metálicos orgânicos pela aplicação de tintas ou esquema de

pinturas, que apresentam diversas propriedades consideradas importantes ao se escolher o método de prevenção como a facilidade de aplicação/manutenção e a relação custo-benefício (GENTIL, 2011).

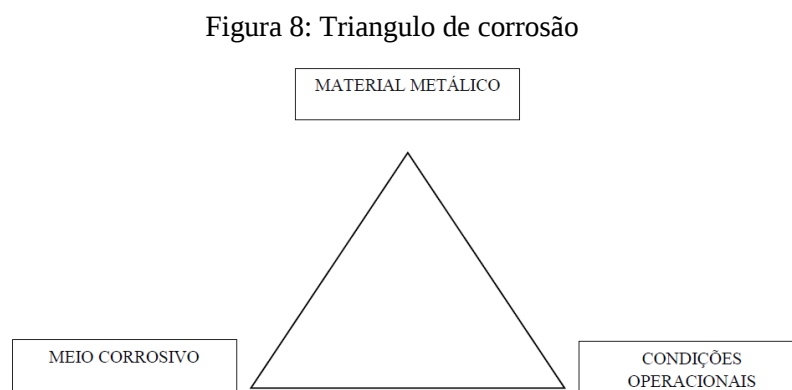
5.5.4 Proteção Anódica

Na proteção anódica, uma película protetora é formada sobre o material metálico devido à corrente anódica externa aplicada, tornando o material passivo. Este método é amplamente utilizado em meios altamente corrosivos, como tanques de armazenamento e trocadores de calor para ácido sulfúrico (GENTIL, 2011).

Comparando-se as proteções anódica e catódica, pode-se observar que a proteção anódica só pode ser aplicada para metais ou ligas que apresentam, no meio considerado, a transição ativo/ passivo, como ferro, níquel, cromo, titânio e respectivas ligas, não sendo aplicável ao zinco, magnésio, cádmio, prata, cobre e ligas de cobre, ao passo que a proteção catódica é aplicável a todos os materiais metálicos (GENTIL, 2011).

5.5.5 Triângulo de corrosão

O triângulo de corrosão corresponde, basicamente, pelo desempenho junto do meio corrosivo, material e condições operacionais nos quais tais materiais encontram-se expostos, como é evidenciado na Figura 8. Com base nesses três parâmetros, faz-se possível o diagnóstico e tratamento a fim de diminuir ou até mesmo extinguir possíveis deteriorações do equipamento, bem como a seleção do material mais apropriado para se utilizar (BARRA,2021).



Fonte: BARRA, 2021

6. METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, não tendo como preocupação medir, enumerar ou empregar na análise dos dados métodos estatísticos, mas sim de gerar dados descritivos, obtidos através do contato do pesquisador com a situação de estudo (GODOY, 1995).

É uma pesquisa de caráter descritivo, com objetivo de realizar detalhamento de características de determinado fenômeno ou população sendo utilizada na metodologia a pesquisa bibliográfica, que é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos (GIL, 2002).

Será realizado um estudo de caso, ou seja, uma pesquisa exploratória analisando o patrimônio ferroviário na cidade de Sousa -PB. O estudo contará com revisão bibliográfica sobre os tipos de ensaios não destrutivos, para eficaz identificação do processo corrosivo, assim como meios de tratamento e prevenção de retorno da patologia. Por fim, será realizado e disponibilizado um relatório de identificação, com plano de ação, para a solução da problemática, com propostas de operação e manutenção, a fim de garantir durabilidade estrutural dos trilhos, pátio de abastecimento e torre de areia do local estudado.

6.1 Local de Estudo

A cidade de Sousa localiza se no interior do Estado da Paraíba, cerca de 432 quilômetros da capital do estado, de acordo com o último senso comum coletado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 2010, a população da cidade era de 65.803 habitantes em uma área territorial de 728,492 quilômetros quadrado.

A área de estudo encontra se localizada, no bairro da estação, o qual recebeu este nome devido a estação ferroviária como mostra a Figura 9:

Figura 9: Localização da estação



Fonte: Augusto Ferraz Pereira

6.2 História da Estação Ferroviária de Sousa-PB

A estação ferroviária de Sousa - PB foi inaugurada em 13 de maio de 1926, porém os primeiros trens começaram a trafegar pela cidade 4 anos antes da sua inauguração por volta de 1922. A estação ficou conhecida por ser o término do ramal da Paraíba até o ano de 1932, o qual foi dada continuidade à linha férrea pela Rede Ferroviária do Nordeste (RFN), com destino a Itabaiana - Paraíba.

Os trens tinham como finalidade reduzir distâncias em cidades, transportes de cargas e transportes de passageiros. A estação da cidade de Sousa tornou-se atrativa para os turistas e passageiros pela sua linha de Mossoró - Sousa, linha essa que tinha finalidade de transportar cargas de sal e passageiros para a cidade de Sousa. A instalação da rede férrea foi essencial para o desenvolvimento econômico da cidade no decorrer da década de 20, gerando assim um avanço no mercado local. Com isso, sua instalação foi essencial para a fundação de um dos maiores bairros da cidade, chamado de estação.

Com o passar dos anos o uso de linhas ferroviária foi se reduzindo constantemente, devido a massificação de transportes de caminhões nas estradas. Em 1990 o ramal Mossoró - Sousa foi desativado devido a falta de cargas e passageiros para a região. Anos depois, 2006, poucas linhas estavam ativas no terminal ferroviário. Desta forma, a estação de Sousa começou a reduzir o fluxo de demandas das linhas ainda ativas até se tornar totalmente desativada no ano de 2010. Uma imagem da Estação Ferroviária de Sousa no ano de 1922 pode ser visualizada na Figura 10.

Figura 10: Estação Ferroviária de Sousa 1922

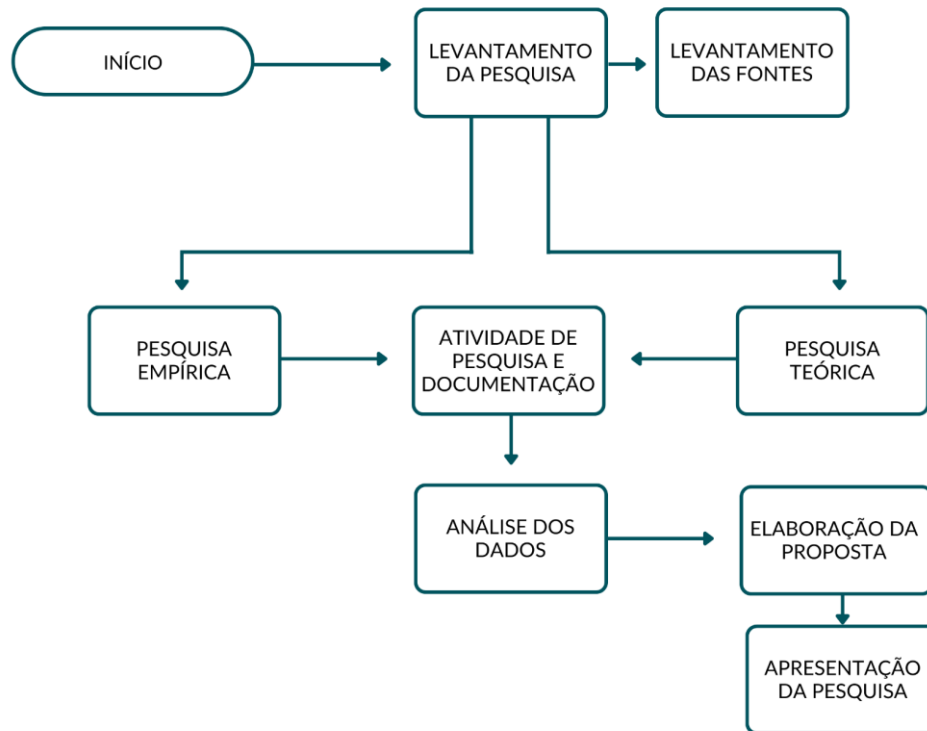


Fonte: Bertrand de Souza Lira

6.3 Fluxograma de Pesquisa

Na Figura 11 podem ser visualizadas as etapas da pesquisa.

Figura 11: Fluxograma do processo de pesquisa



Fonte: Autoria própria, 2023.

7. RESULTADO E DISCUSSÃO

Foram realizadas visitas ao local de estudo com o intuito de averiguar as manifestações presentes nas construções. Ao analisar os componentes mais danificadas da estação ferroviária de Sousa -PB, notou-se que as mesmas se encontram expostas ao ar livre sujeitas a ações de fatores externos. Oliveira (2012, p. 16) afirma que a corrosão é uma forma de degradação do metal. É um método que avança por entre o material até sua perda total. Nessa fase de compreensão, o primeiro passo é encontrar e indagar os tipos e formas de corrosão, desde o aspecto macroscópica até sua mostra a olho nu.

7.1 Trilhos

Os trilhos são construídos de acordo com algumas propriedades e necessitam de materiais específicos para a sua composição. Ao longo do tempo, eles foram montados com diversos elementos e passaram por uma longa adaptação para atender cada vez mais à necessidade dos trens. Atualmente, os trilhos são constituídos, principalmente, a base de elementos metálicos, como o aço (ADMIN, 2020).

O perfil de trilho mais usual nas linhas férreas brasileiras é o trilho vignole e a sua estrutura é composta por três pontos fundamentais. A base, que é acoplada ao terreno, é a principal forma de sustentação do aparato e é conhecida como patim. Já na altura do trilho, onde as rodas do trem passam efetivamente, há o boleto ou cabeça. A parte central, por sua vez, que conecta a base com a parte superior, como um tronco do trilho, é chamada de alma, como mostra a figura 12 (ADMIN, 2020).

Os trilhos da estação apresentam visivelmente dois tipos de corrosão: corrosão uniforme, geralmente causada por reações químicas com o meio ambiente em que o material está exposto, observando-se o óxido formado por toda área de contato dos trilhos, e também corrosão por placas, geralmente causado pela presença de íons metálicos solúveis e presença de tensões mecânicas. Os trilhos estão expostos a fatores externos como condições atmosféricas, tendo assim um meio corrosivo com a atmosfera. Segundo Serra (2014), o mecanismo de corrosão nesta situação será eletroquímico.

Figura 12: Trilhos Estação Ferroviária de Sousa - PB



Fonte: Autoria própria, 2023.

Com isso, deve-se analisar as ações que os fatores climáticos possuem no processo corrosivo, a temperatura e a incidência solar. Segundo Francisco e Santos (2017), os meses de janeiro, fevereiro, março e abril apresentam os maiores índices de chuvas no sertão da Paraíba e os meses de junho, julho, agosto e setembro apresentam os meses de menores índices de chuva na região.

Desta forma, os trilhos possuem altas interações com o meio, devido a variabilidade das temperaturas no decorrer do ano, o qual irá acelerar o processo de oxidação do material. É notável essa rapidez no processo corrosivo comparando as Figuras 13 (trilhos período quente) e figura 14 (trilhos período chuvoso).

Figura 13: Trilhos período quente



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 14: Trilhos período chuvoso



Fonte: Autoria própria, 2023.

Os registros fotográficos foram realizados em um intervalo de tempo de cinco meses, sendo perceptível que o metal continua interagindo com o meio, e os fatores externos como temperatura, ar e chuva são agravantes para esse processo de degradação.

Tendo em vista que os trilhos não passam por um processo de manutenção por longos períodos de tempo, e encontra-se com sua alma bem degradada devido o processo corrosivo, para a reativação da estação seria necessário realizar a substituição dos trilhos, pois os mesmo não possuem a mesma resistência necessária para o atrito das locomotivas.

Porém, para retardar as manifestações corrosivas que estavam presentes nos trilhos, pode utilizar métodos de prevenção como os inibidores de corrosão aplicando o processo de proteção catódica que possui sua eficácia através de ânodos de sacrifício e corrente impressa, proporcionando assim uma barreira de segurança ao material para as interações com o meio.

7.2 Pátio de Abastecimento

Os pátios de abastecimento de trens são áreas de manobras e manutenção de locomotivas e vagões ferroviários. Normalmente, esses pátios estão localizados em pontos estratégicos ao longo da linha ferroviária, para que as locomotivas possam ser abastecidas e passem por manutenções regulares.

Os pátios de abastecimento possuem diversas instalações, como um depósito de combustível para abastecer as locomotivas como diesel, uma estação de abastecimento de água para encher os reservatórios da locomotiva, oficinas para realização de reparos e manutenção preventivas e pátio de manobras, como mostra a figura 15:

Figura 15: Pátio de Abastecimento Estação Ferroviária de Sousa - PB



Fonte: Autoria Própria, 2023.

A Figura 15 mostra os reservatórios de combustível do pátio de abastecimento. É perceptível na estrutura que ela está tomada por corrosão uniforme em toda parte de sua estrutura metálica desde sua estrutura de sustentação até os reservatórios cilíndricos. De acordo com o conhecimento sobre corrosão, o meio é o causador desse processo corrosivo. É observável que toda a estrutura encontra-se em contato com fatores como atmosfera, ar e precipitações climáticas, como é visto que há interação do metal com oxigênio o processo é caracterizado como corrosão eletroquímica.

Segundo Gentil (2022), a água foi a principal causa de corrosão no tanque, pois, quando se têm hidrocarbonetos com elevado número de átomos de carbono, como no caso do óleo diesel (C15-C20), ocorre o desenvolvimento de colônias de fungos e de bactérias. A

atividade metabólica microbiana produz ácidos orgânicos com consequente redução do pH, criando condições favoráveis à corrosão.

As figuras 16 e figura 17 foram retiradas fotografias no período mais seco do sertão paraibano e no período mais chuvoso. Percebe-se que o processo corrosivo possui um agravamento durante a temporada de chuvas na região devido a água ser um grande facilitador para o processo corrosivo.

Figura 16: Pátio de abastecimento seco



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 17: Pátio de abastecimento chuvoso



Fonte: Autoria própria, 2023.

Mediante isto, existe a necessidade de troca de toda a estrutura tanto estrutural quanto de armazenamento caso seja reativado o pátio de combustível, pois o material encontra-se bem degradado devido os fatores do meio. A estrutura tem como finalidade o abastecimento das locomotivas, ou seja, o acúmulo de material inflamável, desta forma é necessário que o material possua uma alta resistência para o armazenamento.

Porém, para o retardamento destas manifestações corrosivas podem ser adotadas algumas proteções ao material exposto, como a aplicação de revestimentos a base de zinco, o qual iria proporcionar um retardamento deste processo corrosivo no material. Importante lembrar que as formas de prevenções só são eficazes se obtivermos um processo de manutenção continuo no material.

7.3 Torre de Areia

A torre de areia, geralmente encontrada em estações ferroviárias ou em áreas de manobras de trens, é uma estrutura a qual a areia limpa é armazenada para o abastecimento dos tanques de areia das locomotivas a vapor. A areia é descarregada por meio de um sistema de tubos e válvulas controlados pelo maquinista até o areeiro da locomotiva que fará a filtração da areia e distribuirá a areia sobre os trilhos, fornecendo tração adicional para locomotiva em condições de baixa aderência.

Figura 18: Torre de Areia Estação Ferroviária de Sousa - PB



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Conforme mostra a Figura 18, é possível identificar a degradação do material metálico por meio da corrosão. É perceptível que há corrosão uniforme em toda a estrutura metálica e corrosão puntiforme também conhecida como corrosão por pite em algumas áreas da estrutura, como mostra a Figura 19.

Figura 19: Estrutura torre areia estação ferroviária de Sousa - PB



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Esta circunstância acontece pela exposição da estrutura metálica com o ambiente atmosférico, o qual ocorrem interações do metal com o meio. Segundo Maia *et al* (2015), é possível representar as reações de oxirredução para a corrosão do ferro, da maneira das reações:

Redução de O_2 por ação dos íons hidrogênio:



Oxidação dos íons metálicos



Diante do que foi exposto, é perceptível que a estrutura foi bastante exposta ao processo de corrosão, mas que utilizando de artifícios que retardam o processo de corrosão é possível evitar o agravamento dessa reação. O processo pode ser retardado, por meio da utilização de inibidores de corrosão, como a proteção anódica que seria uma película protetora formada sobre o material metálico devido à corrente anódica externa aplicada gerando assim uma camada protetora do metal contra as interações com o meio, pode se utilizar também da aplicação de revestimentos como o zinco que ira proporcionar uma resistência maior aos

ataques corrosivos do metal. O processo pode ser amenizado se forem feitas todas essas medidas e forem realizadas manutenções periodicamente dos métodos apresentados.

A partir do conhecimento sobre o processo de corrosão, foi possível analisar todos os materiais que foram analisados e discutir e propor soluções para o retardamento do processo corrosivo em todos. Alguns materiais foram sugeridos a troca do mesmo, devido não conseguir executar suas funcionalidades designadas e outros foram propostas soluções para diminuir a agressão do material.

Desta forma, para a reativação da linha ferroviária da cidade será necessário fazer as adequações fundamentais para seu funcionamento de forma correta e segura.

8. CONCLUSÃO

Com este trabalho foi possível observar que a estação ferroviária que está presente na cidade de Sousa - Paraíba apresenta incomensuráveis casos de corrosão em suas estruturas tendo como morfologias predominantes: corrosão uniforme, corrosão por placas e corrosão puntiforme nas estruturas que foram analisadas, as quais foram detectadas suas causas e possíveis prevenções.

Pode-se concluir, que o surgimento desta patologia está atrelado aos fatores climáticos presente na região do sertão Paraibano como: altas temperaturas, períodos chuvosos e variação de umidade na região como foi possível analisar de acordo com os registros fotográficos realizados durante o período de observação do presente estudo.

Foi observado no tópico 7 que a estação ferroviária apresenta diversas estruturas em estado de deterioramento por motivos de manifestações corrosivas. Desta forma, foi possível compreender as influências que o meio terá na aparição do processo corrosivo dos metais do ambiente. Baseando-se nesses conhecimentos, foi possível fazer uma listagem dos métodos de proteção e até mesmo sugestões de substituição do material para um bom funcionamento do local de estudo.

Para maior aperfeiçoamento deste estudo, é sugerido a realização de técnicas de caracterização por meio do microscópio eletrônico de varredura (MEV) juntamente com espectroscopia de raios X por energia dispersiva, para que seja possível analisar com mais detalhes o processo corrosivo nas superfícies das amostras e quantificar o produto gerado pelo processo corrosivo. Sugere-se, uma análise de características e propriedades do solo, por meios de ensaios químicos para poder identificar os minerais presentes no solo da área de estudo e observar como esses minerais irão interagir com a superfície metálica dos materiais.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACO–ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO. Corrosão – uma abordagem geral. 2013.

ADMIN. Tipos de trilhos de trem. Disponível em: <<https://massa.ind.br/conheca-os-tipos-de-trilhos/>>. Acesso em: 18 abr. 2023.

BARRA, Vitor Gomes Melo. Estudo e análise corrosiva nos equipamentos de uma academia ao ar livre na cidade de Severiano Melo – RN / Vitor Gomes Melo Barra. - 2021

BARBOSA, João Paulo. Proteção Catódica em Tubulações Industriais. Espírito Santo: Sonoro Video, 2012. Color. Disponível em: <[ftp://ftp.sm.ifes.edu.br/professores/JoaoPaulo/Tubulação Industrial/Aula_14 - Proteção Catodica.pdf](ftp://ftp.sm.ifes.edu.br/professores/JoaoPaulo/Tubulação%20Industrial/Aula_14_-_Proteção_Catodica.pdf)>. Acesso em: 09 mar. 2023.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

DALLACCUA, N.; HENRIQUE SILVA DOS SANTOS, R.; DOS SANTOS MOREIRA, T.; MACHADO RODRIGUES, L. AVALIAÇÃO DA CORROSÃO DE MONUMENTOS HISTÓRICOS DE BAGÉ-RS. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 11, n. 2, 28 ago. 2020. E-book. ISBN 978-85-216-1944-4. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-1944-4/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

FRAUCHES-SANTOS, C.; ALBUQUERQUE, M. A.; OLIVEIRA, M. C. C.; ECHEVARRIA, A.. A Corrosão e os Agentes Anticorrosivos. Revista Virtual de Química, Seropédica-Rj, Brasil., v. 6, n. 2, p. 293-309, 20 dez. 2013. Disponível em: <https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/490/422>. Acesso em: 15 nov. 2022.

GENTIL, V. Corrosão. 6ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2011.

GENTIL, Vicente. Corrosão, 6ª edição. [Digite o Local da Editora]: Grupo GEN, 2011.

GENTIL, Vicente. Corrosão . [Digite o Local da Editora]: Grupo GEN, 2022. E-book. ISBN 9788521637998. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521637998/>. Acesso em: 21 mai. 2023.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa, 4a edição, São Paulo: Atlas, 2002.

GODOY, Arlida Schmidt. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. Revista de administração de empresas, v. 35, p. 57-63, 1995.

MAIA, D. J.; SCATIGNO, A. C.; SEGRE, N.; STELLA, M. B. Experimento sobre a Influência do pH na Corrosão do Ferro. Química nova: São Paulo, Vol. 37, Nº 1, p. 71-75, fevereiro de 2015.

MAINIER, F.; LETA, F. O ENSINO DE CORROSÃO E DE TÉCNICAS ANTICORROSIVAS COMPATÍVEIS COM O MEIO AMBIENTE. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/18/trabalhos/EMA002.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2022.

MERCON, Fábio; GUIMARÃES, Pedro Ivo Canesso; MAINIER, Fernando Benedito. Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico. Química Nova na escola, v. 1, n. 19, 2004.

OLIVEIRA, A. R. Corrosão e tratamento de superfície. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Belém, 2012.

SERRA, E. T. Corrosão e proteção dos materiais no solo. 1ª Ed. rev. – Rio de Janeiro: Interciência, 2014.