



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

GIZELE GONÇALVES DE LIMA

**ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO EM UMA QUADRA ESPORTIVA NA
CIDADE DE SÃO MIGUEL-RN**

PAU DOS FERROS - RN
2020

GIZELE GONÇALVES DE LIMA

**ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO EM UMA QUADRA ESPORTIVA NA
CIDADE DE SÃO MIGUEL-RN**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Universidade Federal
Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Pau dos Ferros, como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador (a): Prof^a Dra. Sanderlir
Silva Dias

PAU DOS FERROS - RN
2020

© Todos os direitos estão reservados a 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. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L734a Lima, Gizele Gonçalves de.

Análise do processo corrosivo em uma quadra esportiva na cidade de São Miguel-RN / Gizele Gonçalves de Lima. - 2020.

42 f. : il.

Orientadora: Sanderlir Silva Dias.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2020.

1. Corrosão. 2. Formas. 3. Tipos. 4. Prevenção e proteção. I. Dias, Sanderlir Silva, orient. II. Título.

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.

GIZELE GONÇALVES DE LIMA

**ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO EM UMA QUADRA ESPORTIVA NA
CIDADE DE SÃO MIGUEL-RN**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Universidade Federal Rural
do Semi-Árido – UFERSA, Campus Pau
dos Ferros, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Ciência
e Tecnologia.

Defendido em: 07 / 02 / 2020

BANCA EXAMINADORA

Sanderlir Silva Dias

Profa. Dra. Sanderlir Silva Dias

PRESIDENTE

Josy Ramos

Profa. Dra. Josy Eliziane Torres Ramos

1º MEMBRO

Kytéria Sabina Lopes de Figueiredo

Profa. Dra. Kytéria Sabina Lopes de Figueiredo

2º MEMBRO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela força e determinação que me concedeu nas horas fáceis e principalmente nas horas difíceis, permitindo que eu chegasse ao fim do caminho.

Aos meus pais Maria do Socorro Bezerra Gonçalves e Antonio Gonçalves de Lima, que contribuíram para a existência desse momento, me apoiando em cada etapa, assim como as minhas irmãs Maria Gonçalves, Girlene Gonçalves, Josefa Gonçalves e Aparecida Gonçalves, e sobrinhos Ana Caroline, Débora Raquel e Leandro Gonçalves que apesar das dificuldades sempre estiverem comigo e me deram forças para continuar.

Aos meus amigos de caminhada, Ketley Nohara, Jéssica Ferreira, Girlano Moura e Anábia Fernandes que estiverem comigo do início ao fim desta caminhada, e aos que obtive com o tempo Lucas Linhares e Lucas Ciriaco, com palavras de apoio e incentivo, facilitando a luta por esta conquista.

À minha orientadora Dra. Sanderlir Silva Dias, pela paciência e tempo destinado a este trabalho, além de suas contribuições e ensinamentos repassados.

Às Professoras Dra. Josy Eliziane Torres Ramos e Dra. Kytéria Sabina Lopes de Figueredo por todos os conhecimentos transferidos durante alguns momentos dessa longa jornada, contribuindo para realização desse trabalho.

“O que é escrito sem esforço em geral
e lido sem prazer”.

(Samuel Johnson)

RESUMO

A corrosão é uma das grandes preocupações enfrentadas pelos os engenheiros, principalmente no mundo industrial, tendo em vista, que em alguns casos o fenômeno corrosivo resulte na paralisação da produção. Desta forma, para combatê-la de forma eficiente é preciso conhecer as formas e tipos, assim como as propriedades do material sobre o qual o processo corrosivo está atuando, permitindo que soluções possam ser empregadas aumentando a durabilidade do material e prevenindo contra perdas futuras. Por este motivo, o presente trabalho apresenta uma abordagem acerca do fenômeno corrosivo presente em uma quadra esportiva de uso público, localizada na área urbana da cidade São Miguel/RN, fundamentado em estudos de acordo com a bibliografia, permitindo a identificação da forma e tipo da corrosão, assim como a formação do triângulo corrosivo que auxiliou para elaboração de uma proposta de prevenção e recuperação para o local de estudo. Com tudo, constata-se, que as manifestações do processo corrosivo são resultantes também da falta de manutenção, necessitando de vistoria constante, possibilitando a concretização da vida útil prevista.

Palavras-chave: Corrosão. Formas. Tipos. Prevenção e proteção.

ABSTRACT

The corrosion is one of the biggest worries faced by engineers, mostly at the industrial world, owing to, some cases of corrosion phenomenon leads to a production paralyzation. Thus, to oppose efficiently it is needed to know the form and types, as well as the material properties which the corrosion is acting on, allowing to use solutions to improving the durability and avoiding future loss. Thence, the current work shows a approach about the corrosion phenomenon present at a public sport court, located in São Miguel/RN city, justified by bibliographic studies, allowing the indentification of form and type of corrosion, as well as the formation of corrosive triangle wich helped the elaboration of preventive and recovery propose to the studie place. Lastly, notes, that the corrosion manifestation are results of lack of maintenance, requiring constant overhaul, concretizing the foreseen life cycle.

Keywords: Corrosion. Form. Types. Prevention and Protection.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

ABRACO	Associação Brasileira de Corrosão
Apud	Citado por
CTF	Corrosão sob tensão fraturante
Ddp	Diferença de potencial
Et al	Colaboradores
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
RN	Rio Grande do Norte
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
O ₂	Oxigênio
H ₂ O	Água
Fe	Ferro
<i>e</i> –	Elétron

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Reação de oxidação do ferro.	36
Equação 2: Reação de redução do ar atmosférico.	36
Equação 3: Verificação da espontaneidade da reação.	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Corrosão eletroquímica, decorrente da exposição atmosférica.	18
Figura 2: Corrosão química em um poste de concreto armado.....	19
Figura 3: Corrosão eletrolítica em tubos de aço-carbono.....	19
Figura 4: Corrosão uniforme em chapa de aço-carbono.	20
Figura 5: Corrosão por placas em chapa de aço-carbono.	21
Figura 6: Corrosão Alveolar.	21
Figura 7: Corrosão por pites em aço inoxidável.	22
Figura 8: Corrosão intergranular ou intercristalina.	22
Figura 9: Corrosão transgranular.....	23
Figura 10: Corrosão Filiforme-filamentos em torno do risco na chapa de aço-carbono pintada.....	23
Figura 11: Corrosão por esfoliação em tubo de aço-carbono.....	24
Figura 12: Corrosão gráfrica do ferro fundido.....	24
Figura 13: Dezincificação em parte interna do componente de latão.....	25
Figura 14: Chapa de aço-carbono com empolamento por hidrogênio.....	25
Figura 15: Corrosão em torno do cordão de solda em tubulação de aço inoxidável.	26
Figura 16: Representação do esquema de pintura.	28
Figura 17: Representação gráfica do triângulo de corrosão.....	30
Figura 18: Vista frontal da quadra.	31
Figura 19: Organograma da Pesquisa.	32
Figura 20: Triângulo da corrosão.....	33
Figura 21: metálicas presentes no interior quadra.	34
Figura 22: Portões de entrada.....	35
Figura 23: Áreas com alto grau de deterioração.	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Geral	16
2.2 Específicos	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Corrosão	17
3.2 Tipos de corrosão	17
3.2.1 Corrosão Eletroquímica	17
3.2.2 Corrosão Química	18
3.2.3 Corrosão Eletrolítica	19
3.3 Formas de corrosão	20
3.3.1 Uniforme	20
3.3.2 Por placas	20
3.3.3 Alveolar	21
3.3.4 Por pite ou Puntiforme	21
3.3.5 Intergranular	22
3.3.6 Transgranular	22
3.3.7 Filiforme	23
3.3.8 Por esfoliação	23
3.3.9 Grafítica	24
3.3.10 Dezincificação	24
3.1.12 Em torno do cordão de solda	25
3.4 Técnicas anticorrosivas	26
3.4.1 Inibidores de corrosão	26
3.4.2 Uso de revestimentos	27
3.4.3 Proteção catódica	28
3.4.4 Proteção anódica	29
3.5 Triângulo da corrosão	29
4 METODOLOGIA	31
4.1 Local de estudo	31
4.2 Procedimentos metodológicos	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 40

REFERÊNCIAS..... 41

1 INTRODUÇÃO

Segundo Gentil (2011), o fenômeno de deterioração de um material, seja ele metálico ou não, decorrente da ação química ou eletroquímica do meio ambiente em que está sujeito, estando relacionada ou não a esforços mecânicos é definido como corrosão. De forma geral, corresponde a ação do meio sobre um determinado material, resultando no desgaste do mesmo.

Os materiais aplicados na construção de equipamentos ou instalações devem ser analisados levando em consideração a sua composição, propriedades mecânicas e resistência a ação de meios corrosivos, uma vez que, a corrosão pode se processar em diferentes tipos de materiais, seja metálico como o aço ou não metálicos como o concreto, ambos bastante empregado em construções civis (ABRACO, 2013). Assim, apesar do processo corrosivo ser facilmente associado a ferrugem, camada formada em superfícies metálicas de coloração característica marrom-avermelhada, esse processo também se propaga em outros materiais.

Deste modo, ao observamos o mundo ao nosso redor, temos que, a corrosão seja ela perceptível ou não, é um problema com que nos deparamos constantemente em nosso dia a dia nas mais diversas áreas e que esse processo vem causando danos significativos pelas perdas diretas e/ou indiretas tanto para economia como para o ambiente e a segurança da sociedade, acarretando em preocupações, o que torna o estudo dos agentes causadores e a busca por soluções cada vez mais relevante (MERÇON *et al*, 2004).

Para combater-la, devido a sua complexidade, é necessário o conhecimento prévio sobre as formas e tipos existentes de corrosão. Que, a partir de suas características únicas, permite distinguir qual a forma atuante sobre o material estudado e encontrar a solução mais adequada e viável para o problema enfrentado, evitando perda de eficiência e problemas futuros, além de aumentar a durabilidade do material (GENTIL, 2011).

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, deste modo, devido aos altos custos de recuperação é mais indicado que os recursos destinados para esse fim fossem empregados, desde o início, as técnicas de proteção contra

o fenômeno corrosivo, como o uso de revestimentos e inibidores de corrosão. (MERÇON *et al*, 2004).

Diante desse conhecimento, o trabalho exposto tem como proposta efetuar o estudo e a análise das formas de corrosão atuantes, determinando medidas de proteção adequadas que exterminem ou reduzam o processo corrosivo, estendendo a vida útil dos materiais que sofrem a ação dos meios corrosivos em uma quadra esportiva localizada na área urbana do município de São Miguel – RN.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar qualitativamente uma quadra esportiva na cidade de São Miguel-RN, identificando os tipos de corrosão encontrados, as possíveis causas e o nível de degradação do local devido a interação com o meio, determinando deste modo as formas adequadas capazes de prevenir ou recuperar áreas afetadas pelo fenômeno corrosivo.

2.2 Específicos

- Compreender o processo corrosivo e suas causas;
- Identificar os tipos de corrosão atuantes;
- Efetuar vistoria do local;
- Avaliar os dados obtidos e resultados fotográficos;
- Determinar o triângulo de corrosão, evidenciando material, meio e condições operacionais;
- Apresentar soluções de proteção ou recuperação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 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).

Os fatores contribuintes para o aparecimento da corrosão em um material específico são vários, entre estes estão a composição do material e o contato que o mesmo tem com os demais materiais paralelos. Desta forma, através da devida proteção e do conhecimento sobre as propriedades do material, verificando assim se apresentam características que o tornam capaz de resistir a ação da corrosão, o fenômeno corrosivo poderia ser evitado ou retardado (OLIVEIRA, 2012).

3.2 Tipos de corrosão

O termo corrosão é comumente utilizado para indicar as perdas do processo de decomposição do material que pode acontecer totalmente, parcialmente e superficialmente, devido a ataques eletroquímicos, químicos ou eletrolíticos, classificando a corrosão de acordo com o meio de atuação em eletroquímica, química e eletrolítica (MERÇON *et al*, 2004).

3.2.1 Corrosão Eletroquímica

A corrosão eletroquímica é considerada um processo espontâneo, que ocorre quando o metal entra em contato com o meio eletrolítico, encadeando reações anódicas e catódicas simultâneas, onde ocorrem o ganho e a perda dos elétrons. Esse tipo de corrosão, ocorre com mais frequência na natureza com a presença de água e em grande parte dos casos em temperatura ambiente, contendo ainda a formação de uma pilha de corrosão. Pode ocorrer também quando

ligamos dois metais distintos a um eletrólito, que age como uma solução condutora ou condutor iônico responsável pelo envolvimento das reações de oxirredução que buscam o equilíbrio (MERÇON *et al*, 2004).

A força em que o processo de corrosão ocorre é determinada pela carga ou quantidade de íons que são liberados do catodo ou dos elétrons que passam do anodo para o catodo. Quanto maior a distância entre os metais na tabela de potencial de eletrodo, a diferença de potencial da pilha se encontrara mais acentuada. Nessa tabela, encontram-se os elementos químicos organizados de acordo com seu potencial de eletrodo, que refere-se a facilidade em que o elemento químico utilizado tem de ganhar elétrons (NUNES e LOBO, 1990, apud, MERÇON *et al*, 2004). A Figura 1 ilustra como a corrosão eletroquímica pode ser encontrada.

Figura 1: Corrosão eletroquímica, decorrente da exposição atmosférica.



Fonte: MERÇON *et al*, 2004.

3.2.2 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 2 ilustra como a corrosão química pode ser encontrada.

Figura 2: Corrosão química em um poste de concreto armado.



Fonte: MERÇON *et al*, 2004.

3.2.3 Corrosão Eletrolítica

Caracterizada por apresentar um processo eletroquímico resultante de uma corrente elétrica externa que é aplicada causando uma corrosão não espontânea. Esse processo é decorrente de correntes de fugas, que ocorrem devido imperfeições no isolamento ou aterramento, criando furos nas instalações permitindo o escapamento da corrente. (MERÇON *et al*, 2004). Tal fenômeno é visto com maior frequência nas tubulações, em cabos enterrados e em tanques, como mostrado na Figura 3.

Figura 3: Corrosão eletrolítica em tubos de aço-carbono.



Fonte: MERÇON *et al*, 2004.

3.3 Formas de corrosão

O processo corrosivo pode se apresentar de formas diversas, sendo necessário conhecer essas formas para compreender o processo de corrosão e identificar cada uma das formas presentes no objeto de estudo, além das medidas adequadas de proteção. Deste modo, segundo Gentil (2011), as formas de corrosão classificadas de acordo com sua morfologia são:

3.3.1 Uniforme

Ocorre em toda superfície do material que se encontra em contato com o meio corrosivo, havendo perda uniforme de espessura. Considerado o caso mais comum entre os tipos de corrosão em que a estrutura está sujeita a atmosfera e a meios que cause uma ação uniforme sobre a extensão da superfície (ABRACO, 2013). Essa forma de corrosão pode ser representada pela Figura 4.

Figura 4: Corrosão uniforme em chapa de aço-carbono.



Fonte: GENTIL, 2011.

3.3.2 Por placas

Localiza-se somente na superfície metálica ao invés de toda sua extensão, em que placas vão se desprendendo do material e formando escavações (PROBST, 2017). A Figura 5 representa a atuação da corrosão por placas.

Figura 5: Corrosão por placas em chapa de aço-carbono.



Fonte: GENTIL, 2011.

3.3.3 Alveolar

Ocorre na superfície metálica apresentando sulcos ou escavações com o formato similar a alvéolos de fundo arredondado e normalmente com profundidade inferior ao diâmetro (COELHO, 2015). Nessa forma de corrosão o desgaste ocorre de forma localizada como representada na Figura 6 .

Figura 6: Corrosão Alveolar.



Fonte: GENTIL, 2011.

3.3.4 Por pite ou Puntiforme

Surge em pequenas áreas localizadas na superfície metálica, formando pites, ou seja, furos no material que apresentam o fundo anguloso e de profundidade superior ao diâmetro. Essa forma de corrosão é a responsável principal pelas perfurações ocorridas em tanques ou tubulações (OLIVEIRA, 2012). Esta forma de corrosão pode ser representada pela Figura 7.

Figura 7: Corrosão por pites em aço inoxidável.

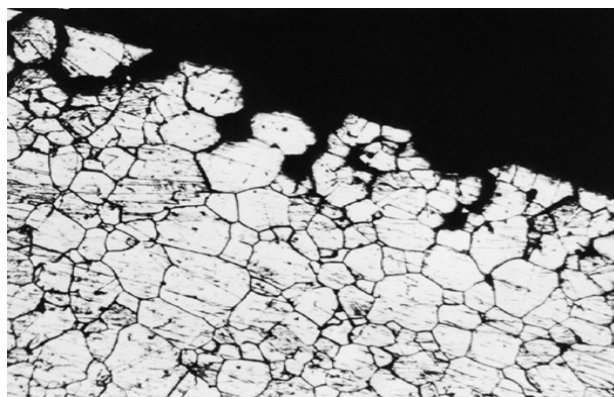


Fonte: GENTIL, 2011.

3.3.5 Intergranular

O processo corrosivo age entre os grãos da rede cristalina do material, fazendo que ocorra a perda das propriedades mecânicas, resultando em fraturas no material quando submetido a esforços mecânicos, onde se tem a CTF-corrosão sob tensão fraturante (OLIVEIRA, 2012). A Figura 8 retrata esta forma de deterioração.

Figura 8: Corrosão intergranular ou intercristalina.



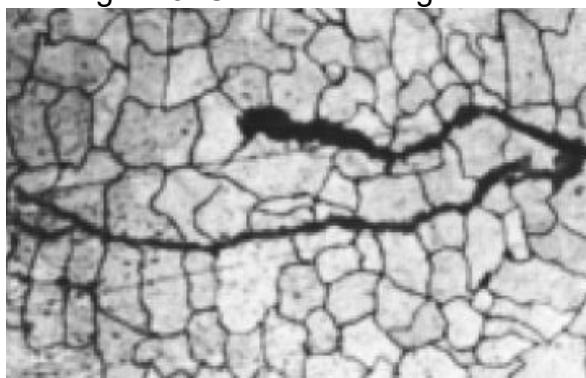
Fonte: GENTIL, 2011.

3.3.6 Transgranular

Nessa forma de corrosão, ao invés da intergranular que age entre os grãos, o processo corrosivo agira nos grãos da rede cristalina do material, fazendo que ocorra a perda das propriedades mecânicas, podendo sofrer fraturas com o menor esforços mecânicos, havendo também a CTF - corrosão

sob tensão fraturante (OLIVEIRA, 2012). A Figura 9 simboliza essa forma de desgaste.

Figura 9: Corrosão transgranular.



Fonte: GENTIL, 2011.

3.3.7 Filiforme

Ocorre na forma de finos filamentos não profundos na superfície do material, que se espalham em diferentes direções e não se cruzam devido acredita-se que em estado coloidal possui carga positiva, resultando no processo de repulsão (PROBST, 2017). Essa forma de corrosão pode ser apresentada na Figura 10.

Figura 10: Corrosão Filiforme-filamentos em torno do risco na chapa de aço-carbono pintada.



Fonte: GENTIL, 2011.

3.3.8 Por esfoliação

Acontece em chapas ou componentes extrudados em que os grãos foram alongados e achatados, atuando de forma paralela à superfície do material, permitindo que inclusões ou segregações devido ao trabalho mecânico se transformem em plaquetas alongadas (COELHO, 2015). Esse processo ocorre como ilustrado na Figura 11.

Figura 11: Corrosão por esfoliação em tubo de aço-carbono.

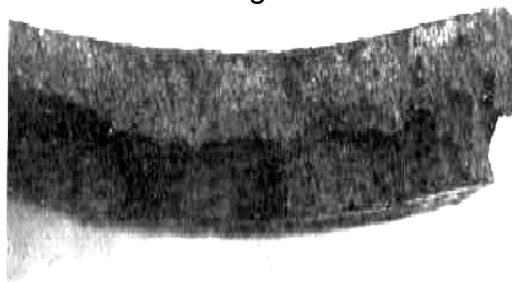


Fonte: PROBST, 2017.

3.3.9 Grafítica

Ocorre no ferro fundido cinzento em temperatura ambiente, onde o grafite permanece intacto e o ferro é transformado em produtos de corrosão. Nessa forma, nota-se que a região que sofreu o processo de corrosão apresenta um aspecto escuro (PROBST, 2017). Este fenômeno acontece como ilustrado na Figura 12.

Figura 12: Corrosão grafítica do ferro fundido.



Fonte: GENTIL, 2011.

3.3.10 Dezincificação

Nesse processo corrosivo, o zinco sofre corrosão e o restante do cobre se distingue pela coloração avermelhada que se encontra em contraste com coloração amarela dos latões (COELHO, 2015). A Figura 13 representa tal deterioração.

Figura 13: Dezincificação em parte interna do componente de latão.



Fonte: COELHO, 2015.

3.3.11 Empolamento pelo hidrogênio

Nessa forma de corrosão, o hidrogênio atômico penetra no material metálico, se alastrando facilmente em regiões com descontinuidades, devido apresentar pequeno volume, transformando-se em de hidrogênio molecular, H_2 , que resulta na formação de bolhas como consequência da pressão exercida (COELHO, 2015). A Figura 14 retrata tal situação.

Figura 14: Chapa de aço-carbono com empolamento por hidrogênio.



Fonte: GENTIL, 2011.

3.1.12 Em torno do cordão de solda

Processa-se em aços inoxidáveis em que o teor de carbono é superior a 0,03% ou aços não estabilizados, na forma intergranular (PROBST, 2017). Esse tipo de corrosão é visto em torno do cordão de solda como ilustrado na Figura 15.

Figura 15: Corrosão em torno do cordão de solda em tubulação de aço inoxidável.



Fonte: COELHO, 2015.

3.4 Técnicas anticorrosivas

A corrosão pode resultar em perdas diretas e indiretas, assim, além de se realizar um estudo sobre os diferentes casos e mecanismo que expliquem o processo de corrosão, deve-se realizar um estudo aprofundado sobre os meios de proteção mais indicados para cada caso (GENTIL, 2011).

É indispensável conhecer as reações envolvidas nos processos corrosivos para que um controle efetivo dessas reações seja realizado, sendo necessário que tanto a corrosão como seu controle sejam tratados em conjunto e não separadamente, pois o próprio mecanismo de corrosão pode indicar meios de combater esse fenômeno. Além disso, todas as variáveis dependentes do material metálico escolhido devem ser consideradas, assim como sua aplicação e o meio corrosivo em que se encontram expostos (GENTIL, 2011).

Como um desafio constante, por mais que haja inovações na ciência e no ramo tecnológico, ela continua ganhando espaço e criando formas de se propagar, sendo preciso que técnicas anticorrosivas sejam aplicadas para combatê-la. Entre essas técnicas as mais aplicadas para a prevenção desse fenômeno são os inibidores de corrosão, uso de revestimentos e a proteção catódica e anódica, que serão abordadas posteriormente (MERÇON *et al*, 2004).

3.4.1 Inibidores de corrosão

Os inibidores de corrosão são resultantes de uma substância ou mistura de substâncias que quando encontram-se em concentrações adequadas podem

causar a redução ou eliminação da corrosão no meio corrosivo, formando uma camada de proteção entre o material metálico e o eletrólito. Existem diversas classificações para os inibidores, podendo ser classificados segundo a sua composição em orgânicos e inorgânicos, e segundo ao comportamento em oxidantes, não-oxidantes, anódicos, catódicos e de adsorção (ABRACO, 2007).

O inibidor utilizado dependerá dos efeitos desejados, seja ele inibir, retardar ou eliminar o agente corrosivo do meio. Assim, para uma utilização adequada deve-se considerar quatro pontos: causas da corrosão no sistema, custo da utilização, propriedades e mecanismo de ação e as condições adequadas de adição e controle (GENTIL, 2011).

3.4.2 Uso de revestimentos

O uso de revestimento é considerado o meio de proteção de menor custo em relação a sua capacidade. Este método evita que o oxigênio presente no ar entre em contato com o material metálico durante um longo período, impedindo que o material fique exposto ao meio agressivo. (DO NASCIMENTO, 2015). Segundo Gentil (2011), esse revestimento pode ser metálico, não metálico inorgânico e não metálicos orgânicos como as tintas e polímeros.

O revestimento metálico possui diversas finalidades desde de 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).

Por outro lado, o revestimento não metálico inorgânico é formado pelo depósito direto de compostos inorgânicos na superfície metálica ou pela formação desses compostos sobre a superfície. Entre os diversos compostos inorgânicos que podem ser utilizados nessa técnica preventiva os mais comuns são esmaltes vitrosos, vidros, porcelanas, cimentos, óxidos, carbetos, nitretos, boretos e silicetos, que passam por processos como anodização, a cromatização e a fosfatização (OLIVEIRA, 2012).

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

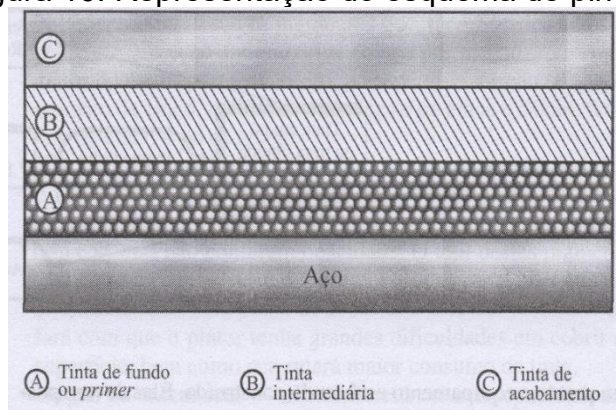
tintas ou esquema de pinturas, que apresentam diversas propriedades consideradas importantes ao se escolher o método de prevenção como a facilidade de aplicação/manutenção e a relação custo-benefício (GENTIL, 2011).

Segundo Gentil (2011), para que o processo anticorrosivo seja eficiente o revestimento deve ser realizado com a aplicação de três camadas de tinta:

- Tinta de fundo ou primária (primers): Aplicada diretamente ao substrato. Possui como características pigmentos anticorrosivos em sua composição, serem focas ou semifocas e a responsabilidade pela aderência das demais camadas.
- Tinta intermediária: Aumentam a espessura do revestimento com um número de demãos o menor possível, melhorando assim a proteção do material por meio de uma barreira.
- Tinta de acabamento: Atribuem resistência química ao revestimento por se encontrarem em contato direto com o meio agressivo, além de serem responsável pelo acabamento e estética do material, já que corresponde a última camada do esquema de pintura.

A Figura 16 representa o esquema de pintura utilizado neste tipo de revestimento.

Figura 16: Representação do esquema de pintura.



Fonte: GENTIL, 2011.

3.4.3 Proteção catódica

A proteção catódica é aplicada para a proteção de estruturas enterradas ou submersas em contato com eletrólitos, como tubulações e dutos. Esse método consiste em fazer com que o potencial de corrosão do equipamento proteja

o material contra os efeitos do meio agressivo que se encontra sujeito (Gentil, 2011).

De acordo com Oliveira (2012):

“A proteção catódica reduz a valores desprezíveis a velocidade de corrosão por longo tempo sem a necessidade real do revestimento, independentemente da agressividade do meio, além de tornar menos frequente a necessidade de verificação de sua eficiência.”

Esta técnica pode ser aplicada de duas formas, pela proteção de anodos de sacrifício e proteção por corrente impressa. Na proteção por ânodos de sacrifício, é utilizado um metal de potencial de corrosão menor do que o material que se deseja proteger, servindo como anodo de sacrifício em que o fluxo de corrente elétrica é fornecido pela diferença de potencial entre os dois metais. Já na proteção por corrente impressa o fluxo de corrente é fornecido por uma força eletromotriz gerada por uma fonte de corrente contínua, sendo utilizados na prática retificadores de corrente alternada, responsáveis pelo fornecimento da corrente contínua precisa para proteger a estrutura metálica desejada (GENTIL, 2011).

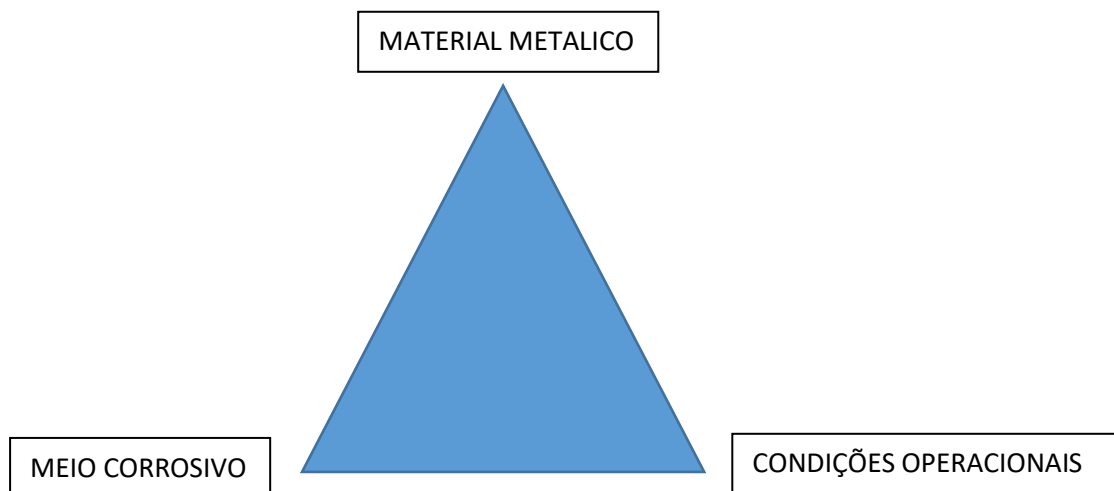
3.4.4 Proteção anódica

Na proteção anódica, ocorre a formação de uma película protetora sobre os materiais metálicos devido a uma corrente anódica externa aplicada, permitindo que o material se torne passivo. Esse método é bastante utilizado em meios fortemente agressivos como em tanques de armazenamento e trocadores de calor para ácido sulfúrico- H_2SO_4 (GENTIL, 2011).

3.5 Triângulo da corrosão

Com tudo ao realizar um estudo deste tipo, a montagem do triângulo corrosivo é de grande importância para determinar os agentes responsáveis pelas alterações ocorridas no material. Conforme Gentil (2011), a montagem deste triângulo representa a explicação de três características essenciais, que são representadas uma para cada um dos vértices do triângulo, os quais são o material metálico, o meio corrosivo e as condições operacionais como representado na Figura 17.

Figura 17: Representação gráfica do triângulo de corrosão.



Fonte: Autor, 2020.

A partir da determinação de todos esses pontos, torna-se cada vez mais fácil compreender a causa por trás deste fenômeno e assim estabelecer as técnicas de proteção adequada para cada situação, auxiliando na busca pela solução do problema.

4 METODOLOGIA

4.1 Local de estudo

O estudo do caso ocorreu em uma quadra esportiva localizada no Bairro Maria Manuela na cidade de São Miguel-RN, inaugurada no ano de 2012 e desde então não passou por nenhum processo de reforma no local. A mesma se encontra situada na área urbana da cidade e é utilizada pelos habitantes para a realização de práticas esportivas, que segundo o censo de 2010 realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), correspondia a um total de 22.157 habitantes com estimativa de 23.519 para o ano de 2019. A figura 18 representa a vista frontal do local estudado.

Figura 18: Vista frontal da quadra.



Fonte: Autor, 2020.

4.2 Procedimentos metodológicos

Para a realização deste trabalho realizou-se um estudo bibliográfico dando enfoque ao processo corrosivo, reunindo definições, dados e informações necessárias para o estudo, que foram adquiridas em livros, revistas, artigos, sites da internet, além de outros materiais.

Esse estudo ocorreu por meio do método de observação sistemática, no qual o pesquisador já sabe o que busca e executa sua investigação em cima das ideias previamente definidas, realizando um registro e aglomeração de dados afim de entender e explicar o evento estudado (LAKATOS & DE ANDRADE MARCONI, 2003).

Desta forma, durante o período de estudo foi realizado vistorias no local e registros fotográficos dos portões de entrada presentes na lateral direita, estruturas de suporte e superfícies metálicas localizadas no interior da quadra, ao todo correspondem a 7 pontos de observação, que permitiram comprovar o processo de deterioração.

O estudo desses pontos, foi realizado a partir da formação do triangulo de corrosão, em que foi definido o material metálico, o meio corrosivo atuante e as condições operacionais, que auxiliaram na escolha do método de prevenção recomendado.

De forma sucinta, toda a pesquisa ocorreu em um ciclo de quatro etapas como mostra a figura 19:

Figura 19: Organograma da Pesquisa.

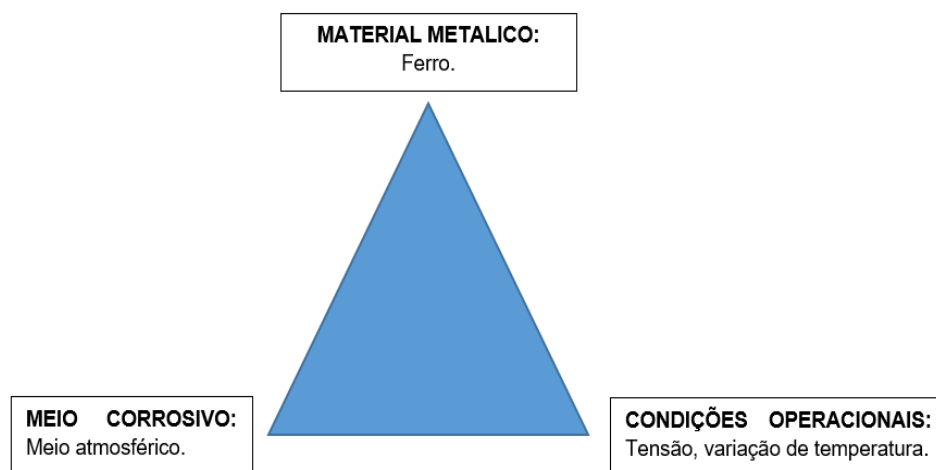


Fonte: Autor, 2020.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao inicia-se um estudo sobre o processo corrosivo é necessário a formação do triângulo de corrosão. Desta forma, a partir dos dados obtidos e dos registros fotográficos foi possível determinar os três vértices do triângulo como mostrado na figura 20.

Figura 20: Triângulo da corrosão.



Fonte: Autor, 2020.

Neste caso, temos que o material metálico é o ferro e o meio corrosivo é o meio atmosférico, assim como a exposição a chuva durante o período chuvoso e ao sol nos demais dias do ano. No caso das condições operacionais tem-se que o material está sob tensão, relacionada ao abrir e fechar dos portões, a variação de temperatura e a exposição constante.

Além disso, a partir da inspeção visual foi verificado a presença do fenômeno corrosivo e foi possível realizar a observação das áreas com maiores problemas de corrosão, dando enfoque a 7 pontos específicos, os quais são cesta e trave, estrutura de suporte do teto, estrutura que separa quadra da arquibancada, quadro de distribuição, portão de entrada para as arquibancadas e portões da entrada do lado direito e esquerdo, tornando capaz a identificação do tipo e forma da corrosão atuante. Desta forma, detectou-se a coloração marrom-avermelhada que é facilmente ligada ao processo de ferrugem e diagnosticou-se o tipo como eletroquímico e a forma principal como uniforme, além da presença da corrosão por placas ou em torno do cordão de solda como especificado nas figuras 21 e 22.

Figura 21: metálicas presentes no interior quadra.

(a) Estrutura que separa a quadra da arquibancada.



Forma de corrosão: Uniforme.

(b) Estrutura de suporte do teto.



Forma de corrosão: Uniforme.

(c) Quadro de distribuição - Área interna.



Forma de corrosão: Uniforme.

(d) Trave e cesta da quadra – lado esquerdo da quadra.



Forma de corrosão: Uniforme.

Figura 22: Portões de entrada.

(a) Portão da entrada lateral direita – área externa.



Forma de corrosão: Uniforme e por placas.

(b) Portão de entrada para as arquibancadas.



Forma de corrosão: Uniforme e em torno de solda.

(c) Portão entrada lateral esquerda - área externa.



Forma de corrosão: Uniforme e em torno de solda.

(d) Portão entrada lateral esquerda - área interna.



Forma de corrosão: Uniforme e em torno de solda.

Fonte: Autor, 2020.

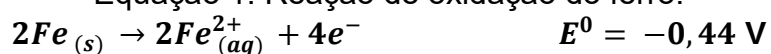
Com base na figura 21, é perceptível a coloração marrom avermelhada em todos os pontos especificados, caracterizando a ferrugem da superfície me-

tática e comprovando a presença do fenômeno corrosivo, mesmo nas áreas localizadas no interior da quadra. O mesmo pode ser verificado na figura 22 que representa os demais pontos observados, relacionando aos pontos de entrada do local, além disso, é observado que o processo corrosivo está localizado com maior intensidade na parte inferior dos portões, o qual pode ser explicado pelo contato do material com a água e os produtos de limpeza presentes na mesma, tendo em vista que durante a limpeza do local, o percurso de saída ocorre por um desses portões.

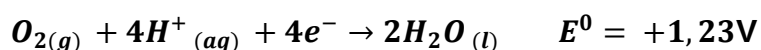
De acordo, com o tipo de corrosão identificado, temos que o mesmo se apresenta com maior intensidade na presença de água e apesar do material se encontrar nessa presença em épocas chuvosas, tanto nas áreas internas como externas em consequências das falhas na estrutura, permitindo facilmente a entrada de água ao local, devido ao potencial da água ser bastante próximo ao do ferro, a possibilidade da oxidação do ferro ser decorrente da presença das moléculas de água é bem pequena. É por este motivo, que o ferro é empregado constantemente em sistemas de abastecimento de água sem que ocorra a ferrugem. Porém, a presença da água em conjunto com o oxigênio propicia o aparecimento da ferrugem, tendo em vista que a água apresenta íons dissolvidos, facilitando o movimento dos elétrons.

Desta forma, o processo corrosivo pode ser explicado devido a oxidação do material ferroso em contato com o meio atmosférico, isto é, o ar úmido, formando a ferrugem através da presença do oxigênio (O_2) e da água (H_2O), onde as reações de oxirredução desse fenômeno estão descritas nas equações 1 e 2.

Equação 1: Reação de oxidação do ferro.



Equação 2: Reação de redução do ar atmosférico.



Vale salientar, que existe ainda a interferência humana e animal, que pode atuar como acelerador no processo corrosivo. Além de que, esse processo ocorreu espontaneamente, uma vez que, a espontaneidade de uma reação pode ser verificada pela diferença de potencial (ddp) entre as reações do catodo e do anodo como mostrado na equação 3.

Equação 3: Verificação da espontaneidade da reação.

$$E = E_{Redução} - E_{Oxidação}$$

Em que, o valor positivo de E indicará um processo espontâneo, como é o caso do processo estudado.

Através do triângulo da corrosão é possível determinar a técnica de proteção mais adequada para o caso. Geralmente, o método empregado para este tipo de corrosão é o revestimento. No entanto, devido ao grau deterioração em que a área desgastada se encontra, uma simples camada de tinta não apresentara um resultado positivo como podemos observar no item (a) da figura 23, em que, além da corrosão uniforme (na parte que não existe mais a camada de revestimento), verifica-se ainda a corrosão na forma de placas que vão desprendendo do material, formando pequenas escavações; item (b), em que os pés da trave do lado direito da quadra se desprende do chão devido ao alto grau de desgaste; e nos itens (c) e (d), onde podemos verificar que o processo corrosivo gerou algumas aberturas no material.

Figura 23: Áreas com alto grau de deterioração.

(a) Ampliação do portão de entrada da lateral direita.



(c) Ampliação do portão de entrada para as arquibancadas.



(b) Trave solta que se desprendeu do chão.



(d) Ampliação do portão entrada lateral esquerda - área externa.



Fonte: Autor, 2020.

Esse processo de proteção do ferro contra corrosão pode ocorrer também através do revestimento metálico, em que o metal a revestir encontra-se na fase líquida, mas que a partir do contato com o material metálico que se deseja proteger forma uma película protetora que o auxiliara na resistência contra o meio agressivo. No entanto, este método não é tão empregado como o método de revestimento não metálico orgânico, ou seja, o revestimento da área afetada com tinta, devido a fatores econômicos e de execução, uma vez que o revestimento não metálico orgânico apresenta a facilidade de aplicação maior com um menor custo.

Desta forma, a solução recomendada é que nas áreas não tão afetadas pelo fenômeno corrosivo, como a estrutura de suporte do teto, que encontra-se com o grau de deterioração menor, seja realizado o lixamento da região contaminada e aplicado o revestimento não metálico orgânico atendendo todas as especificações do mesmo, aplicando não somente a camada de acabamento, mas também a camada primária e intermediária. Por outro lado, nas áreas com alto grau de degradação é proposto uma substituição do material, aplicando corretamente as devidas técnicas de proteção contra este fenômeno para que apresente uma resistência ao meio maior e conseqüentemente uma maior durabilidade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A corrosão é um fenômeno bastante comum em materiais metálicos, como consequência nos deparamos constantemente com este fenômeno no nosso dia-a-dia apesar de sua complexidade e das mais variadas maneiras de proteção, devido a diversidade de formas e tipos. Esse processo depende de vários fatores, os quais podem ser evitados ou retardados pela aplicação correta dos métodos preventivos.

A partir dos registros fotográficos e análise das mesmas, nota-se a interferência direta e indireta dos processos químicos ao meio, assim como a interferência humana, associado tanto as questões econômicas como questões sociais e de segurança, que interferem na durabilidade e desempenho do material. Além desses fatores, a falta de manutenção adequada possui um grande papel na intensificação do processo corrosivo, uma vez que, se o processo de vistorias fosse realizado corretamente, a problemática poderia ser identificada com antecedência permitindo o combate e neutralização antes do material se encontrar em condições irreversíveis resultando na perda total do material.

Deste modo, a determinação da extensão dos danos decorrentes do processo corrosivo, verificados durante as inspeções contínuas permitem estimar o grau de deterioração dos elementos, servindo como requisito para a escolha de decisões em relação as medidas adotadas. Por este motivo, a escolha do material deve ser de boa qualidade, fazendo uma análise do local para prever os agentes corrosivos ao qual estará sujeito e planejar diante mão o meio de proteção mais adequado de combate contra o meio, assegurando a integridade do material com suas devidas funções, buscando uma vida útil maior e a redução de danos e custos futuros.

Com tudo a pesquisa desenvolvida colaborou para estudos futuros no local de estudo ou ambientes semelhantes e conseguiu cumprir todos os objetivos estabelecidos da melhor maneira possível, permitindo a compreensão do fenômeno estudado, suas causas e reações, bem como determinação do tipo e forma atuantes no caso de estudo e a formação do triângulo de corrosão que auxiliou na escolha do método empregado.

REFERÊNCIAS

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

ABRACO. Inibidores de Corrosão: confiabilidade e redução de custos. **Revista corrosão & proteção**, v. 4, n. 14, p. 9, mar/abr. 2007.

ATKINS, Peter William; JONES, Loretta. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BRINCK, Fabiana Malta. **EFEITO DA CORROSÃO NA INTEGRIDADE ESTRUTURAL DA PONTE METÁLICA MARECHAL HERMES**. 2004.

CARDOSO, Renata. **Pintura para metais como proteção anticorrosiva**. Rio de Janeiro: Brt - Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2013.

COELHO, Pedro. **Diferentes tipos e formas de corrosão**. Disponível em: <<https://www.engquimicasantosp.com.br/2015/06/diferentes-tipos-e-formas-de-corrosao.html>>. Acessado em 02 de Outubro de 2019.

DIAS, Diogo Lopes. **Corrosão e proteção de metais**. Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/corrosao-protecao-metais.htm>>. Acessado em 9 de Janeiro de 2020.

DO NASCIMENTO, Felipe Bomfim Cavalcante. **Corrosão em armaduras de concreto**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS, v. 3, n. 1, 2015.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Corrosão dos metais**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/corrosao-dos-metais.htm>>. Acessado em 10 de Janeiro de 2020.

GEMELLI, Enori. **Corrosão de materiais metálicos e sua caracterização**. [s. l.]: Ltc- Livros Técnicos e Científicos, 2001. 183 p.

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

HENRIQUE, Paulo; OLIVEIRA, Diego; Ramos, J.E.T. **ANÁLISE DE ESTRUTURA DE FERRO EM MIRANTE DO SÍTIO CARVÃO EM PEREIRO – CE**. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/revistas/conapesc/trabalhos/TRABALHO_EV070_MD4_SA12_ID1867_05052017190937.pdf>. Acessado em 9 de Janeiro de 2020.

IBGE. **População**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/sao-miguel/panorama>>. Acessado em 10 de Fevereiro de 2010.

LAKATOS, Eva Maria; DE ANDRADE MARCONI, Marina. **Metodologia científica**. 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2003.

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.

NUNES, L.P. e LOBO, A.C.O. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva**. Editora Interciência. Rio de Janeiro. 2012.

OLIVEIRA, A. R. **Corrosão e tratamento de superfície**. — Belém: IFPA; Santa Maria: UFSM, 2012. 104p.

PANNONI, Fábio Domingos. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 5ª ed. Gerdau, 2011.

PANOSSIAN, Z. **Corrosão gráfitica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CORROSÃO, 18., 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABRACO, 1995. v. 2.

PROBST, Sônia. **As formas de corrosão**. Disponível em: <<http://engenheirodemateriais.com.br/2017/04/26/as-formas-de-corrosao/>>. Acessado em 02 de Outubro de 2019.

RAMOS, Josy Eliziane Torres. **Corrosão**. 2016. 62 slides. Utilizados como recurso em sala de aula. UFERSA-Campus Pau dos Ferros-RN.

XAVIER, Tathy. et al. **Corrosão**. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3045735/mod_resource/content/1/10_Corros%C3%A3o%20%282017%29.pdf>. Acessado em: 05 de Outubro de 2019.