



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

ANA LUIZA ELIAS MAIA

**ANÁLISE DA CORROSÃO EM UMA PRAÇA DA CIDADE DE PAU DOS
FERROS - RN**

Pau dos Ferros – RN
2020

ANA LUIZA ELIAS MAIA

**ANÁLISE DA CORROSÃO DE UMA PRAÇA DA CIDADE DE PAU DOS
FERROS - RN**

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

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Josy Eliziane
Torres Ramos

© 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 tomar-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.

E217a Elias Maia , Ana Luiza .
ANÁLISE DA CORROSÃO EM UMA PRAÇA DA CIDADE DE
PAU DOS FERROS - RN / Ana Luiza Elias Maia . -
2020.
52 f. : il.

Orientador: Josy Eliziane Torres Ramos.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2020.

1. Espaços públicos. 2. Processos corrosivos.
3. Prevenção da corrosão. 4. Tratamento para
corrosão. I. Torres Ramos, Josy Eliziane ,
orient. II. Título.

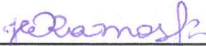
ANA LUIZA ELIAS MAIA

**ANÁLISE DA CORROSÃO EM UMA PRAÇA DA CIDADE DE PAU DOS
FERROS - RN**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada a Universidade Federal
Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus de Pau dos Ferros para
obtenção do título de Bacharel
Interdisciplinar em Ciência e
Tecnologia.

DATA DE APROVAÇÃO 07 / 02 / 20

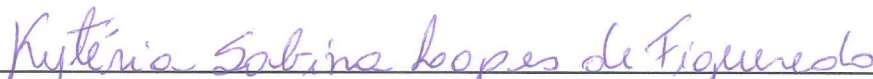
BANCA EXAMINADORA



Prof.^a. Dr.^a Josy Eliziane Torres Ramos - UFERSA
Presidente



Prof.^a. Dr.^a Sanderlir Silva Dias - UFERSA
1º Examinador



Prof.^a. Dr.^a Kytéria Sabina Lopes de Figueiredo - UFERSA
2º Examinador

*Dedico a Deus, Edson Maia, Anna Maia e
Ana Beatriz.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por não ter me desamparado e desistido de mim nessa jornada acadêmica, por ter segurado minha mão todas as vezes que eu quis desistir.

À minha querida orientadora, Prof.^a Dra. Josy Eliziane Torres Ramos, por me orientar nesse trabalho e por ter acreditado em mim ao longo desses anos, me dando total força, atenção e conselhos quando precisei. A você, toda minha admiração como profissional e pessoa.

Em seguida, a meus pais, Anna Zuila e Edson, fundamentais na minha formação, que me deram total apoio e não mediram esforços para realizar meu sonho. Em especial, a minha mãe, por toda força e orações, e por todas as vezes que saio de casa ela dizer: Deus te abençoe e te ilumine. Só gratidão a vocês.

À minha irmã, Ana Beatriz, que sempre esteve no meu pé mandando estudar, e que sempre me apoiou e me ajudou em tudo, até em escrever para mim quando estava com dor na mão.

Aos meus familiares, que mesmo longe, sempre torceram pela realização desse sonho e pelo meu sucesso.

A meu namorado, Kleber Filho, paciência em pessoa, amigo, que sempre me ajudou, torceu, e segurou minha mão quando eu precisei, nos momentos bons e ruins.

Agradeço a Prof.^a Dra. Sanderlir Silva Dias, pessoa ímpar, por ter me ajudado quando precisei, e aceitado contribuir com esse trabalho.

As minhas amigas: Daniella Batalha, quem mais ouvia meu choro, e sempre estava ali para me apoiar e pedir para não desistir. Joice Raquel, que mesmo distante, estava sempre me dando forças para continuar. Izadora Camila, por ter me escutado e aconselhado sempre que precisei. Érica Carla, por todo apoio e disponibilidade. Tarsila Lins, por estar sempre presente na minha vida, e torcer por essa realização. Valéria Bezerra, que sempre esteve presente para me dar forças e dizer que ia dar tudo certo. As amigas, Millena Thamara, Lisandra Rêgo, Ana Laura Rêgo.

Aos meus amigos-irmãos, que a faculdade me presenteou, Adrielly e Murillo, pessoas importantes na minha vida acadêmica, que nunca mediram esforços para me ajudar e dar forças.

Aos meus amigos da faculdade e da vida, Lucas Ruan, Tailton Telles, Monaliza Nunes, João Batista, Miriam Oliveira, que contribuíram e ajudaram para minha chegada até aqui.

A todos os professores da Ufersa, que contribuíram de alguma forma ao longo dessa caminhada.

A minha querida sogra, Ana Lúcia, que sempre me apoiou em tudo.

A todos, o meu sincero agradecimento.

“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui, nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa.”

(Albert Einstein)

RESUMO

A corrosão é um processo que traz preocupação para inúmeras áreas, principalmente para a construção civil. Os ambientes públicos cada vez mais apresentam em sua constituição materiais do tipo metálico. Entretanto, suas exposições às mais diversas intempéries acabam por promover um processo de corrosão que gera inúmeros danos e prejuízos financeiros à administração pública. Este estudo, portanto, buscou analisar os processos corrosivos instaurados nas estruturas da praça pública, Lourenço Gonçalves de Brito, localizada no bairro São Geraldo no município de Pau dos Ferros/RN, verificando os tipos de corrosão existentes, analisando os fatores que os ocasionaram e determinando mecanismos e maneiras de prevenção e tratamento a esses processos. Foram identificadas deteriorações dos tipos uniforme, por esfoliação, por pite, dentre outros, ocasionadas principalmente pela radiação solar, força dos ventos, chuva, solução salina do solo, detritos, umidade, mudanças de temperatura e o manuseio do material. Por fim, são explanados alguns processos que podem contribuir com a preservação e conservação das estruturas analisadas, como o uso de materiais resistentes, a aplicação de barreiras inertes, proteção catódica, aplicação de inibidores e a utilização de conjuntos anti-corrosivos.

PALAVRAS-CHAVES: Espaços públicos; Processos corrosivos; Prevenção da corrosão; Tratamento para corrosão.

ABSTRACT

Corrosion is a process that brings concern to countless areas, mainly for civil construction. Public environments increasingly feature metallic-type materials in their constitution. However, its exposures to the most diverse weather end up promoting a corrosion process that generates numerous damages and financial losses to the public administration. This study, therefore, sought to analyze the corrosive processes installed in the structures of the public square, Lourenço Gonçalves de Brito, located in the São Geraldo neighborhood in the municipality of Pau dos Ferros / RN, verifying the types of corrosion existing, analyzing the factors that caused them and determining mechanisms and ways of preventing and treating these processes. Uniform types of deterioration were identified, by exfoliation, by pitting, among others, caused mainly by solar radiation, wind force, rain, saline solution of the soil, debris, humidity, temperature changes and material handling. Finally, some processes that can contribute to the preservation and conservation of the analyzed structures are explained, such as the use of resistant materials, the application of inert barriers, cathodic protection, the application of inhibitors and the use of anti-corrosive sets.

KEYWORDS: Public spaces; Corrosive processes; Corrosion prevention; Corrosion treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pilha de corrosão eletroquímica.....	18
Figura 2: Corrosão química em concreto armado.	19
Figura 3: Corrosão eletrolítica em tubulação.	19
Figura 4: Formas de corrosão.	20
Figura 5: Esquema simplificado das reações de carbonatação.....	25
Figura 6: Carbonatação.....	26
Figura 7: Esquema de ação de carbonatação.	26
Figura 8: Sistema de proteção catódica por corrente impressa.	28
Figura 9: Sistema de proteção catódica por anodo de sacrifício.	29
Figura 10: Sistema de proteção anódica.	29
Figura 11: Triângulo da corrosão.	30
Figura 12: Mapa de localização.....	32
Figura 13: Fluxograma metodológico.	33
Figura 14: Aparelhos com corrosão uniforme e em volta do cordão de solda.	35
Figura 15: Peças com corrosão por esfoliação e em volta do cordão de solda na academia de ginástica pública.	36
Figura 16: Diferentes tipos de corrosão na mesma estrutura metálica.	37
Figura 17: Corrosão uniforme nas estruturas de alvenaria da praça pública.....	38
Figura 18: Corrosão em estruturas da praça pública.	41
Figura 19: Aplicação de pintura anticorrosiva.	42
Figura 20: Inibidor de corrosão.	43
Figura 21: Galvanização a quente e a frio.	44

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABRACO – Associação Brasileira de Corrosão.

CBCA – Centro Brasileiro de Construção de Aço.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

Cl⁻ – Íons Cloretos.

CREA – SE – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de Sergipe.

Cu – Cobre.

Fe – Ferro.

FEM – Força Eletromotriz.

H₂ – Gás Hidrogênio.

H₂O – Molécula de água.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

OH⁻ - Hidroxila.

PIB – Produto Interno Bruto.

Zn – Zinco.

H⁺ - Íons de Hidrogênio.

FeCl₃ - Cloreto de ferro.

Fe(OH)₃ – Hidróxido de ferro (III)

HCl – Ácido clorídrico.

CaCO₃ – Carbonato de cálcio.

CO₂ – Dióxido de carbono.

SO₂ – Dióxido de enxofre.

H₂S – Sulfeto de hidrogênio.

Ca(OH)₂ – Hidróxido de cálcio.

CC – Corrente contínua.

NaOH – Hidróxido de sódio.

KOH – Hidróxido de potássio.

C₃S – Silicato tricálcico.

C₂S – Silicato dicálcico.

NOX – Número de oxidação.

Fe²⁺ - Íons de ferro com nox +2.

Fe(OH)₂ – Hidróxido de ferro.

Fe₃O₄ – Óxido de ferro.

Fe₂O₃. H₂O – Óxido de ferro III.

α – Alfa.

β – Beta.

CuO – Óxido de cobre.

CIMM – Centro de Informação Metal Mecânica.

SÚMARIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. REFERÊNCIAL TEÓRICO	16
3.1 CORROSÃO	16
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
3.4 ECONOMIA PARA A CORROSÃO	22
3.5 REAÇÕES QUÍMICAS PARA REAÇÕES ATMOSFÉRICAS	23
3.6 CORROSÃO NO CONCRETO ARMADO	24
3.7 FORMAS DE PROTEÇÃO	27
3.8 TRIÂNGULO DA CORROSÃO	30
4. METODOLOGIA	32
5.1 ÁREA DE ESTUDO	32
5.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1 TIPOS DE CORROSÃO IDENTIFICADAS	34
5.2 FATORES QUE OCASIONARAM O PROCESSO CORROSIVO	38
5.3 MÉTODOS DE PREVENÇÃO E TRATAMENTO DA CORROSÃO	42
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

A sociedade como um todo vem se modificando com o tempo, dessa maneira, a forma de se relacionar acaba por sofrer certas alterações. Como forma de socializar essas pessoas é que surgem os espaços públicos em meio as cidades. É nessa ótica que Kelly e Becker (2000) acabam por determinar algumas funções inerentes aos espaços públicos, tais como, recreação, identificação de bairros e ruas, embelezamento do espaço urbano e, principalmente, a interação e o convívio social. Dessa forma, desenvolver esses espaços acaba se tornando uma necessidade intrínseca a gestão administrativa de cada localidade.

Um dos principais ambientes que podem se enquadrar nessas características são as praças públicas que são ambientes dispersos por toda a cidade, ao ar livres e que acomoda um grande número de pessoas. Esses ambientes são compostos, em sua grande maioria, de inúmeras estruturas metálicas que ficam expostas as diversas condições ambientais sem que haja um cuidado rotineiro.

Assim, os processos químicos, mais especificamente a corrosão, tem o ambiente e o material propício para se desenvolver o que acaba por gerar inúmeros prejuízos, sejam ele econômicos ou sociais. Todavia, mesmo em se tratando de um evento natural, inúmeras são as formas de tratamento e de prevenção que existem indo desde a sua fase de projeto até chegar a parte de finalização.

É importante frisar que mesmo com todos os métodos de soluções existentes, na maioria dos casos as estruturas quando são acometidas com os problemas de corrosão acabam por se deteriorarem até chegar ao ponto de se tornarem inutilizáveis o que acaba gerando uma perda econômica, tendo em vista que aquele material não poderá mais ser restaurado e deverá ser trocado por um outro.

Segundo Gentil (2007), o processo corrosivo deve ser considerado como algo natural tendo em vista que os materiais utilizados para construir essas estruturas metálicas são formadas através da junção de minerais que tendem a voltar para o seu estado natural. Devido a isso, quando essas estruturas não passam por revitalizações rotineiramente a probabilidade de ocorrer o processo corrosivo é ainda maior.

Vale ressaltar que a corrosão é um processo que traz preocupação para inúmeras áreas e não apenas para a construção civil, tendo em vista que cerca de 20% de todo o ferro produzido

no mudo é destinada a fabricação de peças que servirão, simplesmente, para a manutenção ou substituição (GUTHÁ JÚNIOR, 2018).

No intuito de auxiliar os profissionais da área inúmeros estudos sobre os processos de corrosão em estruturas metálicas. Vem sendo desenvolvidos, por todo o mundo, buscando maneiras mais eficientes de controlar essa ação natural, sempre objetivando a redução de prejuízos na substituição ou restauração de tais armações.

Assim, verificou-se e identificou-se processos e tipos de corrosão das estruturas metálicas estão sofrendo e, para conseguir determinar uma forma de prevenção que possa ser utilizada nos mais diversos ambientes do município a fim de diminuir os gastos com a troca e o reparo desses equipamentos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os processos corrosivos instaurados nas estruturas de uma praça pública do bairro São Geraldo no município de Pau dos Ferros/RN.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar os tipos de corrosão existentes nas estruturas metálicas da praça pública utilizando registros fotográficos;
- Analisar os fatores que ocasionaram o processo corrosivo nas estruturas;
- Construir o triângulo de corrosão, evidenciando material, meio e condições operacionais;
- Determinar mecanismos e maneiras de prevenção e tratamento aos processos de corrosão nas estruturas metálicas;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CORROSÃO

A grande maioria dos materiais é susceptível a corrosão, o que pode acarretar em grandes consequências, como prejuízos ligados à produção, quebra de equipamentos, paradas operacionais e o descarte. Contudo, o que é apontado como mais grave é a perda de vidas ocasionadas por eventos relacionados a falhas dos materiais metálicos (OSTROKI, 2019).

De acordo com Gentil (2007), a corrosão pode ser definida como “a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos”. Para Pannoni (2011), a corrosão é, de forma simplificada, a tendência espontânea do metal produzido em reverter-se ao seu estado original, de mais baixa energia livre.

Maia *et al.*, (2014) conceitua corrosão como sendo o ataque destrutivo e não intencional sofrido por um metal, que normalmente começa na superfície do material. Ostroski (2019) cita que a deterioração causada pela corrosão pode resultar em modificações prejudiciais aos materiais, tornando-os impossibilitados ao uso a que foram destinados. Os processos corrosivos podem ser susceptíveis a diversos tipos de materiais, como metais, ligas metálicas, cerâmicos, plásticos, dentre outros.

De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (2019), no ano de 1984, na cidade de Cubatão, uma das linhas que ligava a Refinaria de Presidente Bernardes, ao porto de Alemoa em Santos, rompeu devido à corrosão proveniente de uma falha operacional, e derramou vários litros de gasolina em uma região de manguezal. Um líquido inflamável foi liberado em decorrência da movimentação das marés, houve ignição seguida de incêndios de grandes proporções, causando a morte de 35 e 53 vítimas, pois no lugar havia assentamentos com várias famílias, além de deixar 500 pessoas desabrigadas.

Outro acidente causado por processos corrosivos foi o desabamento da ponte de Pedra Branca localizada no município de Laranjeiras - SE, Segundo dados do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de Sergipe - CREA-SE (2015), a causa do desabamento da ponte foi a corrosão sofrida pelos cabos de aço que sustentavam o estrado (pista), com a queda duas tubulações da Adutora do São Francisco que passava por cima da ponte foram rompidas, o que resultou no desabastecimento de toda a grande Aracaju.

Na Itália, a ponte Morandi, em Gênova no ano de 2016, rompeu deixando 43 pessoas mortas. A ponte que foi construída na década de 60, o engenheiro responsável pela obra reportou que uma das causas da queda foi a falta de manutenção, tendo em vista a localização da ponte que sofria corrosão em decorrência da maresia e pela poluição decorrente de uma usina siderúrgica situada próxima a ponte (G1, 2018).

Em outubro de 2019 ocorreu uma tragédia na cidade de Fortaleza, onde o edifício residencial Andréa, desabou em decorrência de falhas estruturais associadas à corrosão do aço, causando a morte de nove pessoas (XEREZ e ALVES, 2019).

Dependendo do meio onde estes materiais se encontram, esse fenômeno pode ser classificado em três grandes grupos, que abrangem quase todos os casos de deterioração por corrosão, são eles: a corrosão química, a corrosão eletroquímica e a corrosão eletrolítica (FINAMORE, 2016; MERÇON, GUIMARÃES e MAINIER, 2019).

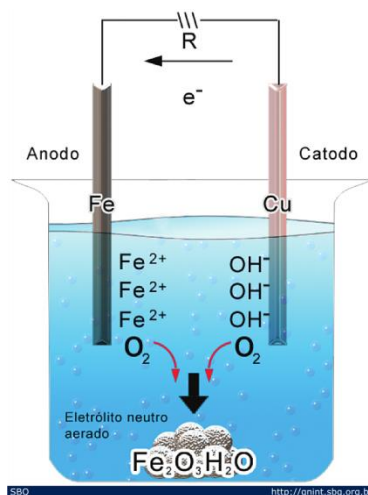
3.2 TIPOS DE CORROSÃO

3.2.1 Corrosão eletroquímica

O processo de corrosão eletroquímica é derivado do fluxo de elétrons que se deslocam de uma superfície metálica para a outra, regido pela diferença de potencial, de natureza eletroquímica, que se estabelece entre as regiões (SUSKI, CONCEIÇÃO e MACHADO, 2018).

De acordo com Merçon, Guimarães e Mainier (2019), a corrosão eletroquímica é mais frequente na natureza, se trata de um processo espontâneo, e caracterizado por acontecer obrigatoriamente na presença de água, muitas vezes em temperatura ambiente e com a formação de uma pilha de corrosão. Esse tipo de corrosão é propiciado quando há o contato do metal em questão com um fluido eletrólito, ocorrendo simultaneamente reações anódicas e catódicas, como é o caso da pilha galvânica da Figura 1, onde a superfície anódica de Ferro é oxidada, conforme é melhor explanado na seção 2.5.

Figura 1: Pilha de corrosão eletroquímica.



Fonte: Merçon, *et al* (2004).

3.2.2 Corrosão Química

A corrosão química decorre do ataque de um agente químico diretamente em uma superfície. Neste caso, como não há transferência de elétrons, o ataque não acontece em decorrência de uma corrente elétrica, e sim pela ação de um agente químico diretamente sobre o material. Este processo baseia-se na reação química entre o material e o meio corrosivo ao qual foi exposto, formando um produto de corrosão sobre a superfície do material como resultado final (FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2014).

Um exemplo cotidiano dessa corrosão acontece nas armaduras inseridas nas estruturas de concreto, onde inicialmente estão protegidas pelo cobrimento regulamentado em projeto, formando uma barreira física aos fatores externos, entretanto, a perda dessa proteção desencadeia e acelera um processo de deterioração. A corrosão em si só é possível quando o concreto se torna suficientemente permeável a ponto de permitir a penetração de íons até a armadura, juntamente com a água e o oxigênio, como ilustrado na Figura 2 (SOARES; VASCONCELOS e NASCIMENTO, 2015).

Figura 2: Corrosão química em concreto armado.



Fonte: Brasil Escola (2019).

3.2.3 Corrosão Eletrolítica

A corrosão eletrolítica se trata de um processo eletroquímico não espontâneo, imposto a aplicação de uma corrente elétrica externa. Habitualmente, esse fenômeno decorre de correntes de fuga, vulgarmente chamadas de parasitas ou estranhas, ocorrendo principalmente em tubulações de petróleo e de água, cabos telefônicos subterrâneos, tanques de postos de gasolina, etc. Na maioria das vezes as correntes “escapam” devido a isolamentos ou aterramentos deficientes ou fora dos padrões técnicos especificados, causando furos isolados nas instalações no momento de descarga no solo, como pode ser observado na Figura 3 a seguir (MAINIER e LETA, 2001).

Figura 3: Corrosão eletrolítica em tubulação.



Fonte: Merçon, Guimarães e Mainier (2004).

3.3 FORMAS DE CORROSÃO

A corrosão acontece por diferentes formas, conforme Figura 4 e Tabela 1, e sua classificação pode ser efetuada através da aparência do material corroído. Elas são expressas considerando as diferentes causas e mecanismos (PANNONI, 2011; GENTIL, 2007), observando-se:

- A morfologia, tendo como exemplo a corrosão uniforme, por placas, alveolar, puntiforme ou por pite, intergranular, intragranular, filiforme, por esfoliação, gráfitica, dezincificação, em torno do cordão de solda e empolamento por hidrogênio;
- O meio corrosivo, como a atmosfera, pelo solo, pela ação de microorganismos, pela água do mar, etc;
- Os fatores mecânicos, sob a ação de tensão, fadiga, por atrito, em decorrência da erosão;
- A localização do ataque, nesse tipo são exemplos de corrosão por pite, uniforme, entre outros.

Figura 4: Formas de corrosão.



Fonte: Gentil (2007).

Tabela 1: Formas de corrosão.

FORMAS	DEFINIÇÃO
UNIFORME	Extensão do material
EM PLACAS	Regiões de superfícies metálicas
ALVEOLAR	Sulcos ou escavações
PUNTIFORME	Pontos isolados na superfície metálica
INTERGRANULAR	Entre os grãos da rede cristalina
TRANSGRANULAR	Nos grãos da rede cristalina
FILIFORME	Forma de filamentos finos
POR ESFOLIAÇÃO	Paralela a superfície metálica; inchamento
GRAFÍTICA	Ferros fundidos cinzentos, e ferro metálico
DEZINCIFICAÇÃO	Ataque seletivo aos latões com teor de zinco maior que 15%
EMP. HIDROGÊNIO	Parte do hidrogênio atômico gerado na superfície externa
EM TORNO DE SOLDA	Aços inoxidáveis não estabilizados ou com teores maiores que 0.03% de carbono

Fonte: Autor (2020).

A corrosão uniforme, também conhecida como generalizada, acontece em toda a extensão do material, caracteriza-se pela perda uniforme de espessura. A corrosão por placas, diferentemente da anterior, ocorre apenas em regiões de superfícies metálicas, e identifica-se por um tipo de perfuração no material (OLIVEIRA, 2012).

Já a corrosão alveolar sucede-se na superfície causando sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos, apresentando fundo arredondado e profundidade geralmente menor que seu diâmetro. Na corrosão puntiforme, ou por pite, identifica-se por pontos isolados na superfície do material metálico, se espalhando até o interior do metal, em alguns casos atravessando-o (PONTE, 2003).

A corrosão intergranular se procede entre os grãos da rede cristalina, causando perda das suas propriedades mecânicas. Já a intragranular acontece nos grãos da rede cristalina. A

corrosão por esfoliação ocorre de forma paralela a superfície metálica, acarretando um tipo de inchamento no material (SILVA, 2016).

A filiforme processa-se sob a forma de filamentos finos, porém com baixa profundidade espalhadas em diferentes direções e que não se ultrapassam, pois, admite-se que o produto de corrosão em forma coloidal, possui carga positiva, por isso a repulsão. (SILVA, 2016).

A corrosão por esfoliação, por sua vez, é caracterizada por ser um processo paralelo à superfície em questão. Ela ocorre em chapas onde os grãos foram achatados ou alongados, que uma vez atingido pelo processo corrosivo, se separam em camadas e desintegram o material por esfoliação (AMARAL, 2011).

Nomeia-se de corrosão gráfitica o processo corrosivo nos ferros fundidos cinzentos, em temperatura ambiente, e no ferro metálico, onde ocorre a conversão em produto de corrosão, o grafite. Os veios de grafita do ferro fundido agem como uma área catódica, enquanto o ferro age como região anódica, devido ao fato do grafite ser um material muito mais catódico que o ferro (COSTA, 2008).

A dezincificação é o ataque seletivo aos latões com teor de zinco maior que 15%, devido, principalmente, à exposição prolongada a água aerada com níveis elevados de CO_2 e/ou Cl. As ligas de cobre zinco que contenham duas fases ($\alpha+\beta$) são mais propícias a dezincificação, em especial se a liga rica em zinco for contínua; a remoção do Zn forma uma superfície com poros e uma fina camada de Cu e CuO (PONTE, 2014).

O processo de empolamento por hidrogênio é gerado quando parte do hidrogênio atômico gerado na superfície externa, resultante de um processo corrosivo, não escapa para atmosfera como H_2 , em vez disso, essa parcela penetra nos vazios presentes, onde a concentração e pressão do gás aumentam dentro desses compartimentos, levando a falha do material (SANTOS JUNIOR e BIEHL, 2014).

A corrosão em torno dos cordões de solda ocorre especificamente em aços inoxidáveis não estabilizados ou com teores maiores que 0.03% de carbono, de forma intergranular (PEREIRA, 2013).

3.4 ECONOMIA PARA A CORROSÃO

Os desgastes ocasionados pelos processos corrosivos são tidos como responsáveis por causar prejuízos irreversíveis às indústrias, do ponto de vista econômico. Segundo um estudo feito pela CCTechnologies, uma empresa americana, são gastos entre 1 e 5% dos Produtos

Internos Brutos - PIB dos países em reparos de problemas decorrentes da corrosão em diversos setores econômicos, como o de petróleo e gás (MESQUITA, 2018).

De acordo com o Centro Brasileiro de Construção em Aço - CBCA (2014), há um prejuízo de 2000 a 4000 bilhões de dólares/ano no mundo com perdas diretas e indiretas advindas da corrosão, onde perde-se cerca de 30% de todo o minério de ferro convertido ao metal.

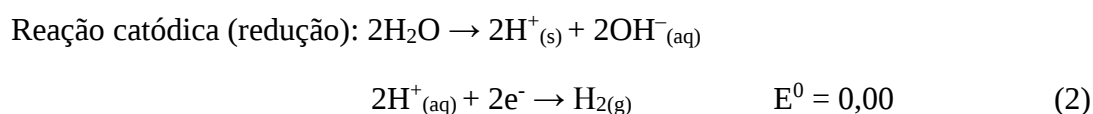
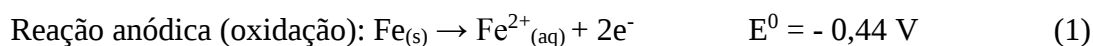
No Brasil, cerca de 4% do PIB nacional é direcionado ao setor de reparos provenientes de corrosões, alcançando o valor de R\$ 236 bilhões, entretanto metade deste valor pode ser evitado com a melhor escolha do substrato metálico e com a utilização de proteção, para tornar o material mais durável e ainda mais esteticamente apresentável (CBCA, 2014; MESQUITA, 2018).

Um dos maiores desafios para engenheiros, técnicos e pesquisadores é desenvolver soluções técnicas, econômicas e ambientais viáveis para mitigação dos processos corrosivos, pois uma vez que se monitora e controla a corrosão, minimiza-se o uso de recursos naturais e poupa-se o meio ambiente (FINAMORE, 2016). Como exemplo, Finamore e Silva (2007) citam o monitoramento da corrosão como acompanhamento do tratamento anticorrosivo em indústrias petroquímicas mundiais, que gera uma economia para a empresa de aproximadamente 13 milhões de dólares.

3.5 REAÇÕES QUÍMICAS PARA REAÇÕES ATMOSFÉRICAS

Nas reações eletroquímicas os íons geralmente se movimentam por meio de um meio eletrólito aquoso. Entretanto, em reações de oxidação, como é o caso do oxigênio atmosférico reagindo com um metal sob temperatura, que não possui um eletrólito líquido, o fluxo de íons se dá pela película de óxido metálico formada na superfície do metal, ou seja, funciona como um eletrólito sólido garantindo a natureza eletroquímica da reação (PANNONI, 2011).

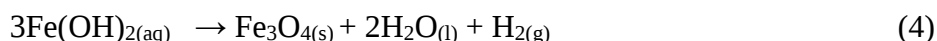
Merçon, Guimarães e Mainier (2004) exemplificam esse fenômeno através da reação de oxidação do ferro, caracterizada pelas seguintes reações 1 e 2:



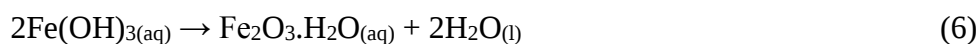
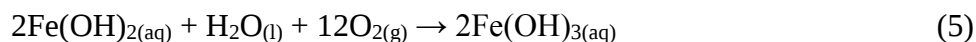
Nesta etapa, os íons Fe^{2+} migram em direção ao cátodo, ao mesmo tempo em que os íons OH^- direcionam-se para o ânodo. Dessa forma, nesse processo de movimento, há a formação de hidróxido ferroso, como apresentada na reação 3.



A FEM (Força Eletromotriz), força necessária para impulsionar os elétrons através do circuito externo, no caso da equação 3, de +0,44 V, caracteriza o processo como espontâneo (PIRES; PALMIERI; LANFREDI, 2012). Na presença de um meio com o teor de oxigênio baixo, o hidróxido ferroso sofre a transformação evidenciada na reação 4:



Ao passo que o teor de oxigênio é elevado, tem-se a seguinte reação 5 e 6:



Concluindo, o produto final do processo da corrosão, a ferrugem, como é popularmente conhecida, é constituída pelos compostos Fe_3O_4 , de coloração preta, e $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, de coloração alaranjada ou castanho-avermelhada, ainda de acordo com Merçon, Guimarães e Mainier (2004).

3.6 CORROSÃO NO CONCRETO ARMADO

Nos centros urbanos os espaços públicos desempenham funções bastantes importantes para o lazer social. As praças surgem como locais destinados a interação humana, o convívio com a natureza, o esporte recreativo, bem como manifestações culturais. Caracterizam-se por serem espaços predominantemente abertos, constituídas por alvenaria, arborização, parques recreativos e recentemente por academias ao ar livre (ZIMMERMANN, 2015).

Por possuírem tais características, os equipamentos e monumentos presentes nestas estão expostos aos efeitos das intempéries, ocasionando, em muitos casos, a degradação dos materiais. A principal fonte de deterioração dos elementos recreativos e arquitetônicos está relacionada com a corrosão advinda do meio em que estes se encontram (MANIER; GUIMARÃES; MERÇON, 2003).

Dessa forma, os materiais que estão mais susceptíveis a esse fenômeno são os metálicos, todavia, é frequente a ocorrência de corrosão nas estruturas de concreto armado, Meira (2017) menciona que os formas mais comuns de corrosão no concreto são a generalizada irregular,

que está relacionada com a carbonatação do concreto que atua numa forma de frente ao longo da extensão do material, e a puntiforme, advinda da ação dos íons cloreto, com ação localizada em relação da capa passível do metal.

O processo de carbonatação, Figura 5, é a neutralização da fase líquida intersticial saturada de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), e de outros compostos alcalinos hidratados no concreto (FIGUEIREDO, 1993), com hidróxido de sódio (NaOH) e hidróxido de potássio (KOH), além do ataque aos silicatos e aluminatos a longo prazo (HELENE, 1993). Por ser menos solúvel que os outros álcalis do cimento, o hidróxido de cálcio apresenta-se nos poros do concreto na forma de cristais, ao mesmo tempo em que os álcalis dissolvidos, na forma de íons. Desta forma, como a solubilidade do Ca(OH)_2 depende da concentração de hidroxilas, nos interstícios, a carbonatação parte dos álcalis NaOH e KOH , só então seguindo para o Ca(OH)_2 .

Figura 5: Esquema simplificado das reações de carbonatação.

H ₂ O (Na presença de água)						
CO₂	+	NaOH	→	Na₂CO₃	+	H₂O
		KOH	→	K₂CO₃		
		Ca(OH)₂	→	CaCO₃		

Fonte: Autor (2020).

O processo de carbonatação, recebe esse nome em decorrência da grande incidência de CO_2 nas reações, além de outros gases ácidos, como o SO_2 e H_2S , resultando em CaCO_3 como principal produto formado pela reação (HELENE, 1986).

A presença de CO_2 atmosférico intensifica a reação de carbonatação, onde a redução consequente do pH nos poros reduz a película passivadora, e origina o processo corrosivo das armaduras, tornando-se o principal responsável por patologias às estruturas de concreto. Esse processo é caracterizado por ser demasiadamente lento e diretamente relacionado às condições ambientais e do traço do concreto, Figura 6 (NEVILLE, 1997; RAMEZANIANPOUR *et al.*, 2000).

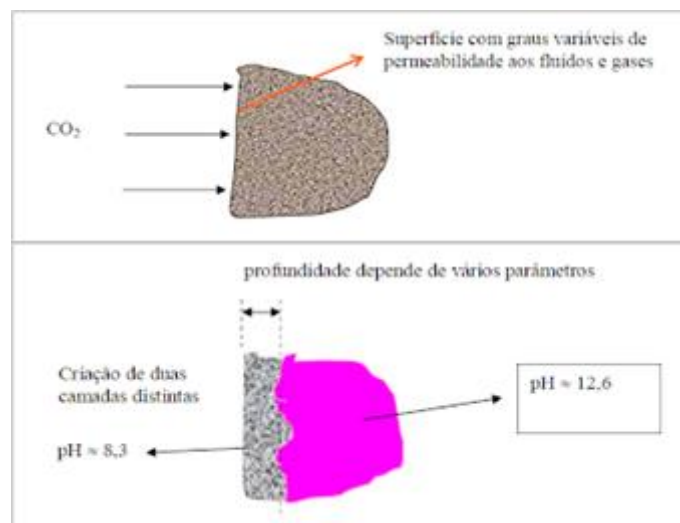
Figura 6: Carbonatação.



Fonte: Tecnosil (2018).

As reações de hidratação dos silicatos, como o C_3S e C_2S , liberam uma porcentagem de hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), podendo chegar a 25% dos compostos hidratados presentes na pasta, resultando na alcalinização do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Esta base forte ($Ca(OH)_2$), possui pH em torno de 12,5 e é solúvel em água, preenchendo os poros e capilares da estrutura, conferindo-lhe um caráter alcalino, proporcionando a passivação do aço, Figura 7.

Figura 7: Esquema de ação de carbonatação.



Fonte: Libório (1998).

Para Comim e Estacechen (2017), outros fatores que podem ocasionar a corrosão do concreto está associado a porosidade do material e a umidade, pois, a maioria da deterioração nas estruturas de aço se dá pela presença de água. Este tipo de corrosão aquosa produz óxidos e hidróxidos de ferro de coloração avermelhada, chamado de ferrugem. É a partir da aparição dessa substância que pode-se diagnosticar a presença de corrosão e as formas de inibição dessas.

3.7 FORMAS DE PROTEÇÃO

A corrosão é um fenômeno constante, pois, sua ocorrência pode se dar de diferentes formas, entretanto, existem atualmente diversos meios de prevenção e proteção contra essa. Fleury (2010), aborda que há distintas tecnologias disponíveis para a proteção contra a corrosão, porém, o uso destas depende da forma e do meio ambiente corrosivo, e sempre devem levar em consideração os aspectos técnicos e econômicos.

Frauches-Santos (2013), fala que as técnicas mais comuns utilizadas em escala industrial para proteção anticorrosiva são a passivação ou a polarização do material, e incluem o revestimento, os inibidores, a proteção catódica e anódica e a modificação do meio. Ainda de acordo com Frauches-Santos (2013), os revestimentos anticorrosivos podem ser explicados pela presença de uma película de óxido, hidróxidos, e outros compostos pela ação da reação de metais como o zinco, o cobre e alumínio em contato com o meio corrosivo.

São exemplos de revestimento anticorrosivo as tintas orgânicas, normalmente utilizadas para pinturas e são aplicadas a superfícies pelas quais deseja-se proteger. Essa técnica se destaca por apresentar características como fácil manutenção e relação custo/benefício além de proporcionar finalidade estética, auxílio na segurança industrial, entre outros benefícios (MAGNAN, 2011).

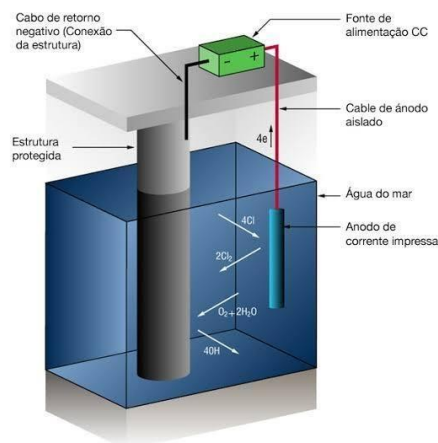
Para a aplicação desse tipo de revestimento algumas medidas devem ser previamente realizadas. De acordo com a Recomendação Prática Pintura Anticorrosiva 001 da Associação Brasileira de Corrosão por ABRACO (2007):

- O processo de pintura deve ser realizado com tintas do mesmo fabricante;
- As tintas devem ser homogeneizadas antes e durante a aplicação;
- Toda a superfície, antes da aplicação de cada demão de tinta deve ser submetida a um processo de limpeza, antes definida segundo a função das condições específicas de cada trabalho;
- As tintas devem ser aplicadas por meio de trinchas, rolos, pistolas, entre outros;
- O manuseio após o tempo de secagem deve ser efetuado de forma a minimizar os danos a pintura.

Os inibidores de corrosão são substâncias ou misturas destas, que em circunstâncias apropriadas, inseridos no meio corrosivo diminuem ou suprimem os processos corrosivos. A natureza do inibidor que será utilizado industrialmente dependerá dos resultados que deseja se obter, como retardar, inibir ou eliminar o agente corrosivo do meio, sendo seu principal objetivo a formação de uma barreira protetora entre o material e eletrólito (ABRACO, 2007).

Outro método de inibição da corrosão é a proteção catódica, que tem como objetivo tornar o material imune, durante o período de projeto. Baseia-se em fornecer um fluxo de elétrons na direção que se é almejada, pode ocorrer por duas maneiras, sendo elas por corrente galvânica ou por corrente impressa, onde a primeira é conseguida através da ligação de um metal mais ativo, como o cobre ou zinco, em que todos ficam imersos no eletrodo, e a segunda, o resultado é uma pilha galvânica, em que o metal ativo trabalha como anodo, promovendo o fluxo de elétrons (TREVISOL e PELISSER, 2012). As Figuras 8 e 9 exemplificam um esquema de proteção catódica por corrente impressa e anodo de sacrifício.

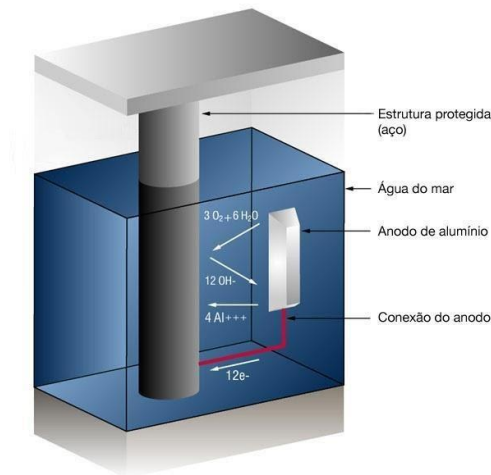
Figura 8: Sistema de proteção catódica por corrente impressa.



Fonte: Cathodicprotection (2019).

No processo da Figura 8, o fluxo de corrente é fornecido por uma fonte geradora de corrente elétrica (Fonte de alimentação CC) que está interligada a estrutura que será protegida e ao anodo, para a dispersão dessa corrente no eletrólito são utilizados anodos especiais inertes, ou seja, que apresentam um desgaste muito baixo (GALVÃO, 2008).

Figura 9: Sistema de proteção catódica por anodo de sacrifício.

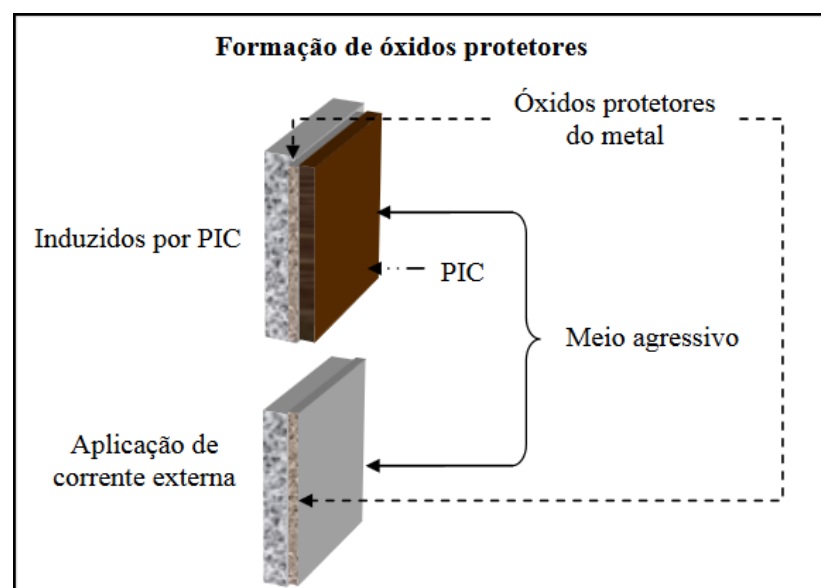


Fonte: Cathodicprotection (2019).

Na Figura 9, o fluxo de energia elétrica fornecida tem origem na diferença de potencial entre o metal escolhido para proteger e o escolhido como anodo, nesse caso para a água do mar, o zinco e alumínio são os metais mais adequados como anodos (GALVÃO, 2008).

Já a proteção anódica, consiste na geração de uma camada superficial de óxidos protetores através da utilização de uma corrente anódica externa, dessa forma ocorre o processo conhecido como a passivação do material metálico, ou seja, os óxidos produzidos agirão como uma barreira protetora (SILVA, 2011). A Figura 10 mostra um sistema de proteção anódica.

Figura 10: Sistema de proteção anódica.



Fonte: Silva (2011).

Entretanto, esse tipo de proteção anticorrosiva necessita de uma constante fonte externa de energia, visto isto, raramente é utilizada no Brasil em decorrência da instabilidade energética do país, pois, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2019), a matriz elétrica brasileira é constituída por diversas fontes, sendo a hidráulica a mais utilizada. Essa fonte energética depende de altos volumes pluviométricos e de grandes barramentos hidráulicos, e em virtude da sazonalidade de algumas regiões podem ocasionar déficit hídrico gerando falhas na geração e distribuição elétrica.

3.8 TRIÂNGULO DA CORROSÃO

O meio onde os materiais estão inseridos durante sua vida útil é de extrema importância para determinação da susceptibilidade deste a corrosão. O triângulo que determina a tendência de um processo corrosivo é formado pelo material, o ambiente e a forma como este está sendo utilizado. Deste triângulo, o meio corrosivo exerce um papel importante na espontaneidade dos processos corrosivos (CARVALHO, 2007).

Henrique *et al.* (2017) falam que é possível a detecção da corrosão por esse método, de forma a exemplificar como a mesma se manifesta, tendo em vista o meio ambiente, como chuva, vento, sol, solo, entre outros, e varia de acordo com o tempo de exposição do material. A Figura 11 exhibe o triângulo da corrosão.

Figura 11: Triângulo da corrosão.



Fonte: Autor, (2019).

O meio corrosivo é dividido basicamente em atmosfera, águas naturais, solo e produtos químicos, possui um importante papel na percepção dos processos corrosivos, uma vez que ele

exerce influência direta sobre a intensidade do processo e a agressividade relacionada ao tipo de material. (CARVALHO, 2007). Os índices de corrosão podem ser intensificados com o aumento da temperatura, pressão e de altas concentrações do meio corrosivo (FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2014).

Os diferentes materiais metálicos são fabricados a partir de minérios, onde os processos de produção requerem energia, logo, existem diferentes potenciais termodinâmicos, o que consequentemente origina a corrosão nos metais, exemplo disso são as ligas metálicas, quando expostas a seus ambientes revertam ao seu estado original (PANNONI, 2015). Além disso, as condições operacionais contribuem para o agravamento desses, uma vez que o material é submetido a esforços a depender de como podem ser utilizados.

4. METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Pau dos Ferros está localizado na região semiárida do Rio Grande do Norte, tendo como mesorregião do Oeste Potiguar e a microrregião do Alto Oeste Potiguar, com uma população aproximada de 31.500 e 260 km² de área. Seus limites geográficos são: São Francisco do Oeste e Francisco Dantas ao norte; Rafael Fernandes e Marcelino Vieira ao sul; ao leste, Serrinha dos Pintos, Antônio Martins e Francisco Dantas e ao oeste com Encanto e Ererê (IBGE, 2019). O bairro São Geraldo, especificamente, é separado do centro e dos demais bairros pelo rio Apodi-Mossoró e sofre modificações intensas em sua dinâmica urbana (CARVALHO *et al.*, 2019).

Em termos econômicos, a cidade Pau dos Ferros pode ser considerada de médio porte, devido os diversos serviços ofertados na região, desde educação de ensino superior até serviços especializados na área da saúde (DANTAS, 2015).

O estudo foi realizado na praça pública, Lourenço Gonçalves de Brito, no bairro São Geraldo (Figura 12), no Município de Pau dos Ferros/RN, nomeada e inaugurada em 2008, pela Lei nº 1128/08. Passou por reformas, com a implementação da academia ao ar livre, há 6 anos.

Figura 12: Mapa de localização.



Fonte: Autor (2020).

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

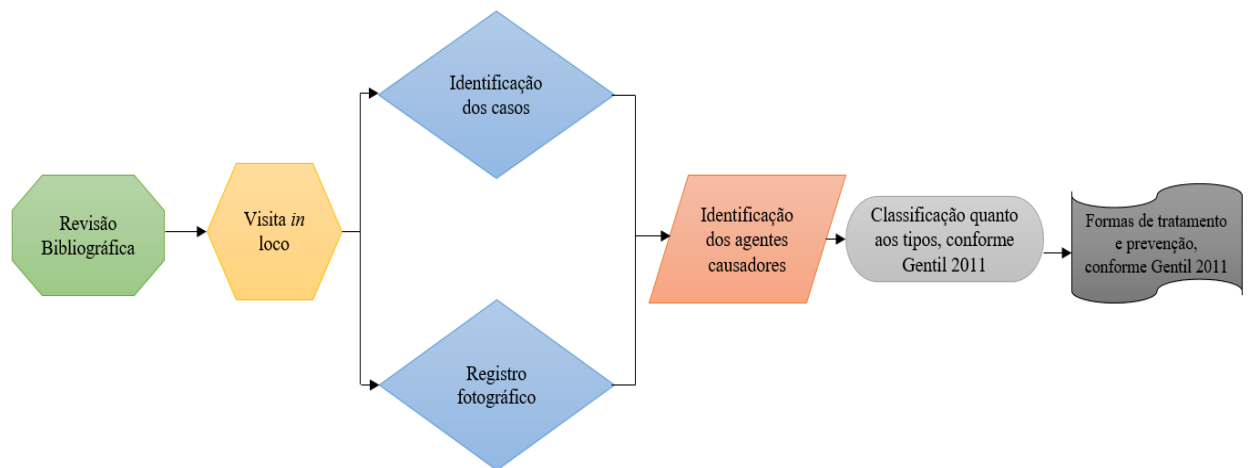
Realizaram-se pesquisas bibliográficas em periódicos, artigos de revista, teses, dissertações e livros, relacionados a processos corrosivos e suas derivações, para criação de um arcabouço teórico-científico para balizar os estudos seguintes.

Para percepção de casos de corrosão presentes nas estruturas, realizou-se um registro fotográfico para documentação e identificação de possíveis agentes causadores, também foi promovido visita *in loco*.

Compararam-se as patologias encontradas com as referências da bibliografia existente, classificando-as quanto aos tipos (GENTIL, 2007), bem como a determinação de modos de tratamento e/ou preservação das estruturas.

Os procedimentos metodológicos são ilustrados e sintetizados através do fluxograma da Figura 13.

Figura 13: Fluxograma metodológico.



Fonte: Autor, 2020.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 TIPOS DE CORROSÃO IDENTIFICADAS

No processo de análise dos elementos que compõem a praça do bairro São Geraldo, identificou-se que a maioria deles são compostos por materiais metálicos, tendo destaque a academia ao ar livre, uma vez que todos os aparelhos da mesma são constituídos por material férreo, também foi observado a presença de estruturas de concreto armado.

De acordo com Gentil (2007), existem diversas formas de detectar a corrosão, sendo a inspeção visual um deles, muito utilizado por especialistas. Ao examinar tais elementos, foi possível identificar o processo de corrosão em diversos componentes do espaço público. Para Souza (2011), a corrosão é um processo destrutivo, que deteriora os materiais causando danos a praticamente todos os setores das atividades humanas e ocorre por diferentes formas.

Mediante isto, os materiais que mais foram afetados pela corrosão são os provenientes da academia ao ar livre, pois, os mesmos são expostos a condições de intempéries. Também detectou-se diferentes formas de corrosão ao longo das estruturas dos aparelhos, para tais, destacam-se a corrosão uniforme, que caracteriza-se por acontecer na superfície do material, a por esfoliação, que ocorre paralelamente à superfície, deixando-o separados em camadas, provocando o inchamento do material, alveolar, caracterizado por pequenas escavações com profundidade rasa, por pite, que são pequenos orifícios com profundidade considerável e pelo cordão de solda, caracteriza-se por ocorrer de forma intergranular. A Figura 14 apresenta os aparelhos da academia que sofreram corrosão uniforme e em torno do cordão de solda.

Figura 14: A) Aparelho de rotação vertical com corrosão uniforme. B) Aparelho com corrosão uniforme e em torno do cordão de solda. C) Aparelho de Remada com corrosão uniforme. D) Estrutura com corrosão em torno do cordão de solda.



Fonte: Autor (2020).

De acordo com Lima (2017), a corrosão uniforme é a única que o projetista pode identificar na fase de projetos, e tem como principal característica a perda da área superficial em decorrência do desgaste que o material sofre. Para Oliveira (2012), também é conhecida como generalizada, a corrosão uniforme ocorre de uma reação química ou eletroquímica, e do ponto de vista técnico, não traz grandes problemas, pois é fácil de ser tratada. Visto isto, a maioria dos aparelhos da academia de ginástica encontram-se com corrosão uniforme em quase todos os pontos de suas estruturas e em torno do cordão de solda como mostrado na Figura 14.

Constatou-se também a existência de corrosão por esfoliação ao longo das armações de ferro da aparelhagem, foi possível notar o inchamento do material em peças instaladas ao solo, como consequência disso, as mesmas encontram-se com desgastes, deterioradas, e parte delas

estão rompidas. Nos pontos em que ocorre a interseção das peças metálicas detectou-se a presença de processos corrosivos em torno do cordão de solda, que contribuiu ainda mais para a atual situação da academia. A corrosão em torno do cordão de solda acontece devido a uma diferença de concentração de íons de ferro (Fe), ocasionada pelo excesso de temperatura no processo de soldagem e, se não for aplicada uma quantidade mínima de proteção através de tintas anticorrosivas, inicia-se um processo natural destrutivo em contato com o meio atmosférico. A Figura 15 demonstra as estruturas metálicas com corrosão por esfoliação e em volta do cordão de solda.

Figura 15: A) Simulador de caminhada com corrosão por esfoliação e em torno do cordão de solda. B) Estrutura com corrosão por esfoliação. C) Aparelho com corrosão por esfoliação. D) Peça com corrosão em torno do cordão de solda.



Fonte: Autor (2020).

Segundo Amaral, Correia e Pereira (2008), a corrosão por esfoliação ocorre em várias camadas do material, provocando o inchaço da superfície e o seu desgaste. Em algumas

armaduras dos aparelhos, verificou-se a ocorrência de mais de um tipo de corrosão numa mesma estrutura. Isto pode ser explicado, uma vez que os materiais estão em contato com o meio atmosférico, logo ocorre as trocas eletrolíticas do Ferro (Fe) com elementos presentes na atmosfera. Outros fatores que contribuem para tais processos corrosivos são a exposição a intempéries (chuva, ventos, diferença de temperatura) e esforços mecânicos (advindos do constante uso desses aparelhos nas atividades físicas). É o caso da Figura 16 que retrata equipamentos com diferentes processos corrosivos.

Figura 16: Diferentes tipos de corrosão na mesma estrutura metálica.

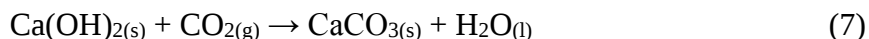


A) Corrosão por esfoliação e alveolar. B) Corrosão puntiforme, ou por pite e corrosão uniforme.
Fonte: Autor (2020).

No que diz respeito às estruturas de alvenaria, identificou-se que as mesmas contêm em suas superfícies intensos processos corrosivos, e em algumas delas o desgaste favoreceu a exposição da estrutura metálica do concreto, e esse foi submetido a fatores externos que intensificaram a ocorrência da corrosão, é nítido a concentração da oxidação do ferro (ferrugem) em toda a superfície da armadura metálica.

Conforme Polito (2006), uma das mais agravantes patologias encontradas no concreto armado é a corrosão de armaduras metálicas, e essa se dá a medida que o concreto é atacado por substâncias agressivas existentes no meio ambiente. Destacando o CO_2 e os cloretos que atacam a camada passivante do material.

A carbonatação é um processo espontâneo, que ocorre no contato com a umidade e gases atmosféricos ácidos, como o dióxido de enxofre (SO₂), sulfeto de hidrogênio (H₂S) e principalmente o dióxido de carbono (CO₂), onde estes reagem com as superfícies do concreto, onde estão presentes diversos produtos de hidratação do cimento, dentre eles o hidróxido de cálcio, um composto cristalino que forma produtos sólidos, como o carbonato de cálcio (CaCO₃), de acordo com a reação 7.



Pelo fato do Carbonato de Cálcio (CaCO₃) resultante possuir volume maior que o hidróxido de cálcio, há uma consequente expansão da porosidade do concreto carbonatado, alterando não só as características químicas, como também as mineralógicas, microestruturais e as estruturas porosas da pasta de cimento como um todo e, apesar da carbonatação elevar a resistência através da diminuição da porosidade, a redução do pH pelo consumo do hidróxido de cálcio acelera o processo de corrosão das armaduras de aço, como exemplificado na Figura 17 (MATALA, 1997; SILVA, 2002).

Figura 17: A) Corrosão uniforme na estrutura de alvenaria da praça pública. B) Corrosão no concreto armado.



Fonte: Autor (2020).

5.2 FATORES QUE OCASIONARAM O PROCESSO CORROSIVO

Para Yokoo e Chies (2009), as praças são espaços livres, que proporcionam lazer, meditação, dentre outras atividades que a sociedade possa desenvolver. Além disso, seus

espaços devem ser estruturados e bem planejados. Logo, se caracteriza por ser implantada ao ar livre.

Dessa forma, diversas causas podem ser atribuídas para a aparição dos processos corrosivos nos elementos que compõem um espaço público. Tendo em vista que a academia de ginástica é composta de aparelhos metálicos, bem como as estruturas de alvenaria, que foram projetadas e executadas com vergalhões de ferro, comprovou-se a presença de diferentes tipos de corrosão nos componentes da praça pública do bairro São Geraldo.

Existem diversos aspectos capazes de ocasionarem processos corrosivos, detectou-se a similaridade das causas da corrosão com o estudo de Henrique, Oliveira e Ramos (2017), os autores citam alguns fatores mediante o meio em que essas estruturas se encontram, tais como: a radiação solar, força dos ventos, chuva, a solução salina do solo, detritos, umidade, mudanças de temperatura e o manuseio do material.

Dessa forma, os processos corrosivos destas naturezas caracterizam-se como espontâneos ($\Delta E > 0$), logo, também se configuram por serem de difícil controle. As equações 8 e 9, apresentam as reações advindas dessas interações.



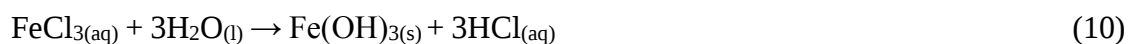
Diante disto, os aparelhos da academia ao ar livre são condicionados à luz solar durante todo o dia, pois a praça não dispõe de arborização necessária para sombrear tais elementos em partes do dia. Vasconcelos e Brambilla (2009), relatam que a radiação solar influencia diretamente na superfície do material metálico, e propicia intervalos de seco e molhado, além disso a elevação da temperatura pode aumentar ou reduzir a corrosão por secagem do material.

Outros aspectos importantes são a força dos ventos e a chuva. Embora o município de Pau dos Ferros esteja localizado no semiárido brasileiro, Gurgel e Medeiros (2018), comentam que durante o ano, a incidência pluviométrica é maior durante o primeiro semestre, com cerca de 90% de precipitação, enquanto que o restante é distribuído nos meses de setembro e outubro. Para Broseguini (2013), a corrosividade da água é influenciada pelas concentrações de substâncias dissolvidas e pelas variáveis do processo.

Destaca-se também a periodicidade do uso dos equipamentos, pois, a população que reside próximo a praça realiza o uso dos mesmos, e alguns princípios decorrentes dessas atividades devem ser mencionados, como a fricção do corpo aos aparelhos e, o suor liberado,

principalmente nas mãos, no decorrer dos exercícios físicos. Conforme Ferreira *et al.* (2017) durante as atividades físicas há a perda de cálcio, magnésio e ferro através do suor, que também é composto por sais. E essas substâncias em contato com a superfície metálica pode condicionar em trocas eletrolíticas resultando na corrosão do material.

De acordo com Queiroz (2018), alguns sais podem acelerar os processos corrosivos, como o cloreto de ferro, isso pode ser exemplificado pela equação 10.



Durante as inspeções constatou-se também que muitas estruturas estavam sendo oxidadas próximas ao solo, isso pode ser explicado pela concentração de sais presentes no mesmo, uma vez que, de acordo com Oliveira Neto *et al.* (2016), Pau dos Ferros tem solos rasos e pouco profundos, e dependendo da sua tipologia podem apresentar salinidade. São os casos apresentados na Figura 18.

Figura 18: Corrosão em estruturas da praça pública.



A) Estrutura de concreto com base no solo. B) Estrutura de concreto no solo. C) Banco de metal fixado no solo.
D) Corrosão exposta em estrutura de concreto ligada ao solo.

Fonte: Autor (2020).

Outro ponto importante relacionado com a corrosão no concreto armado das estruturas de alvenaria presentes na praça são os fatores que condicionaram a evolução da corrosão das armaduras, definidas pela espessura de betão de recobrimento das mesmas, a carbonatação, conforme equação 7 já descrita acima e todo os fatores que a influenciam, como o índice de CO_2 atmosférico local, pH, fissuras que facilitem a penetração de substâncias, além do alto teor de sais. Para esse caso, a falta de manutenção também condicionou para atual situação das estruturas de concreto, bem como os fatores externos advindas da atmosfera, corroborando com o trabalho de Mesquita (2012).

Com isso, o triângulo da corrosão, como apresentado na Figura 11, é exemplificado bem, tendo em vista os tipos de materiais presentes na praça pública, o meio em que eles estão submetidos e os mecanismos operacionais advindos do uso dos elementos que a compõe.

5.3 MÉTODOS DE PREVENÇÃO E TRATAMENTO DA CORROSÃO

A técnica utilizada para prevenir e tratar ataques corrosivos é específica para cada caso em particular e deve levar em consideração a natureza eletroquímica do ataque, onde os fatores ambientais, mecânicos e geométricos são determinantes na agressão, de acordo com o Centro de Informação Metal Mecânica - CIMM (2011). Em meios gerais, os métodos de controle e prevenção mais comuns são: uso de materiais resistentes; a aplicação de barreiras inertes, como a pintura; proteção catódica ou anódica; aplicação de inibidores; e a utilização de conjuntos anti-corrosivos (CIMM, 2011).

Uma forma simples de prevenção a corrosão é a utilização de um metal resistente à corrosividade, como o alumínio ou aço inoxidável, cuja aplicação reduz a necessidade de uma proteção adicional, conforme é explicado pela empresa Luminaço, 2017.

Quando se fala em tratamento e prevenção da corrosão, deve-se atentar inicialmente aos fatores que contribuem para o aparecimento desta deterioração. Conforme apresentado no item 5.2, as causas detectadas no local de estudo são, principalmente, decorrentes de fatos naturais da região geográfica onde o mesmo está inserido e dos hábitos da população local.

A primeira providência a se tomar, com relação aos aparelhos da academia, em se tratando de objetos de contato direto com as pessoas, é a pintura. Um simples revestimento de tinta anticorrosiva, conforme Figura 19, é uma maneira simples e não onerosa de instaurar uma barreira que impede a transferência de cargas eletroquímicas, pois evita o contato do ar e da umidade com a superfície (DIAS, 2019).

Figura 19: Aplicação de pintura anticorrosiva.



Fonte: Fórum da Construção (2019).

Também com relação à prevenção do contato humano direto e das intempéries, os inibidores de corrosão podem se tornar muito úteis, uma vez que, quando aplicados, reagem com o substrato metálico, suprimindo as reações eletroquímicas corrosivas e funcionam como uma barreira contra corrosão (Figura 20) (LUMINAÇO, 2017; DIAS, 2019). São indicados na proteção de superfícies metálicas, cordão de solda e em peças que sofrem atrito, de acordo com a empresa Quimatic (2020).

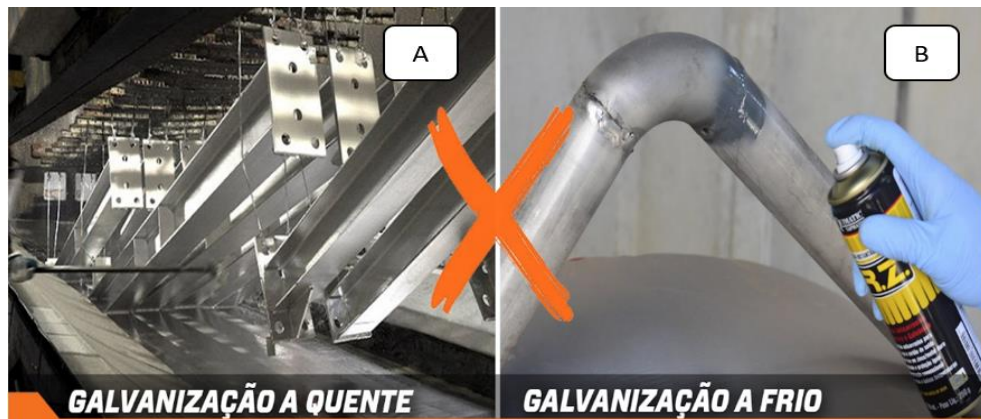
Figura 20: Inibidor de corrosão.



Fonte: Isocom (2020)

Outro fato relevante considerável é a presença de sais no solo. O nível elevado de salinidade no solo do município como um todo, age como um eletrólito forte, o que ocasiona o aumento da condutividade e acelera o mecanismo eletroquímico da corrosão (VASCONCELOS; BROSEGUINI, 2013), dessa forma, recomenda-se a aplicação de revestimentos sacrificiais, especificamente a proteção catódica, conhecida popularmente por galvanização (Figura 21), que ao revestir a superfície com zinco, por ser mais ativo que o aço, quando o zinco começa a corroer, inibe a corrosão do aço, que nesse processo, funciona como o cátodo de uma pilha eletroquímica. (SILVA; TEIXEIRA; FERREIRA, 2019; DIAS, 2019).

Figura 21: Galvanização a quente e a frio.



A) Galvanização a quente. B) Galvanização a frio.
Fonte: Quimatic (2020).

Particularmente nos casos de corrosão em concreto, enaltece-se a importância da cura do concreto, pois a prorrogação da perda de água de hidratação (Figura 22), reduz a temperatura da mistura pelo tempo essencial até que chegue a sua resistência, através de métodos como: imersão; aspersão, mantas, etc., evitando o surgimentos de fissuras, trincas, permeabilidade e o consequente ingresso de agentes agressivos (SILVA; TEIXEIRA; FERREIRA, 2019).

Figura 22: Cura do concreto.



Fonte: Concreto Construmix (2019).

Conforme explanado acima, algumas técnicas podem ser melhor aplicadas, esperando resultados satisfatórios quanto a proteção e tratamento da corrosão, desde a confecção e instalação dos equipamentos, utilizando materiais mais resistentes e reforçados com

superfícies protetoras e anticorrosivas, construção das estruturas respeitando o tempo de cura dos materiais, e manutenção periódica, renovando frequentemente a pintura dos aparelhos.

Como forma alternativa, sugere-se ainda o plantio de árvores no local, o que diminuirá a temperatura local, incidência direta de luz solar, chuva, ventos, e intempéries no geral, consequentemente, diminuir-se-á a degradação dos elementos.

Como forma de resumir o material mais encontrado, tipos de corrosão e a solução para o dado problema, segue em anexo, a Tabela 2.

Tabela 2: Síntese dos Resultados.

MATERIAL ORIGEM	TIPO DE CORROSÃO	SOLUÇÃO
Estruturas Metálicas	Uniforme; em torno de cordão de solda; esfoliação; alveolar; puntiforme;	Pinturas; Inibidores
Estruturas de Concreto	Uniforme	Cura do Concreto

Fonte: Autor (2020)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se propôs a verificar a corrosão e simplificá-la um pouco, agregando, também, os vastos conhecimentos adquiridos durante o curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, aplicando-os de forma prática a um estudo de caso no município de Pau dos Ferros-RN.

Os processos corrosivos fazem parte do cotidiano de toda a população global, sendo enfrentado tanto em pequena escala, como em casos residenciais, quanto em grande escala, referenciando-se a problemas em indústrias, grandes monumentos e construções em geral, caracterizando um impacto econômico significativo para seu combate e devidos reparos.

No caso particular estudado foi possível observar a existência de diversos casos de corrosão, como a alveolar, uniforme, em torno do cordão de solda, por esfoliação e puntiforme, principalmente nos equipamentos da academia popular, e em algumas estruturas de concreto localizadas na Praça do São Geraldo, os quais foram identificados, analisada a origem, classificados quanto a sua tipologia e feito um levantamento de técnicas aplicáveis para sua prevenção e tratamento.

Foram identificadas várias ocorrências de corrosão em toda a academia popular e em elementos de alvenaria da praça. Estes desgastes foram causados, principalmente, por causas naturais, oriundas das características locais, como a radiação solar intensa, a força dos ventos, a incidência de chuvas diretamente nos aparelhos e estruturas, teor salina do solo, detritos, umidade, mudanças de temperatura, além do uso cotidiano, que leva ao desgaste mecânico e superficial, intensificado pela falta de manutenção.

Recomenda-se o uso de materiais mais resistentes na construção dos equipamentos, bem como a utilização de mecanismos de prevenção e tratamento, como a aplicação de anticorrosivos, a proteção catódica, a manutenção recorrente da pintura dos equipamentos e a correta execução das obras de alvenaria, com o devido preparo e tempo de cura do concreto.

Dessa forma, esse trabalho possibilitou resultados significativos relacionados a corrosão, os meios em que essa ocorre, além de formas de proteção e tratamento. Entretanto, para o melhoramento deste, posteriormente poderão ser realizados ensaios sobre as propriedades do solo, a topografia da área, além das análises de microscopia ótica para identificar os processos corrosivos e testes para avaliar a carbonatação do concreto armado, como sugestões de trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ABRACO - Associação Brasileira de Corrosão. **Inibição de corrosão: confiabilidade e redução de custos**. 2007. Disponível em: <http://www.abraco.org.br/src/uploads/2016/01/Revista-corrosao-e-protecao-14.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2019.
- AMARAL, R. S. **Análise de segurança de dutos com defeitos de corrosão**. 2011. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências da Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.
- AMARAL, C. T.; CORREIA, M. P.; PEREIRA, P. T. Corrosão em estruturas metálicas: Uma breve discussão acerca da prevenção em torres de comunicação. **E- Xacta**, v. 1, n. 1, p.1-7, jan. 2008.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Matriz elétrica brasileira**. 2019. Disponível em: <http://www.aneel.com.br>. Acesso em: 09. jan. 2020.
- BRAMBILLA, K. J. C. **Investigação do grau de corrosividade sobre materiais metálicos das redes aéreas de distribuição de energia elétrica (RD) da região metropolitana de Salvador - BA**. 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- CARVALHO, C. C. A. *et al.* Produção urbana no semiárido brasileiro: um estudo sobre Pau dos Ferros, RN, Brasil. **Interações**, Campo Grande, v. 20, n. 3, p.845-855, 23 set. 2019.
- CARVALHO, F. L. **Influência do tamanho de grão austenítico na resistência à corrosão sob tensão de aços para aplicação sour service**. 2007. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- CATHODICPROTECTION. **Proteção Catódica Offshore: O QUE É E COMO FUNCIONA?** 2019. Disponível em: <http://www.cathodicprotection101.com/protecao-catodica.htm>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- CBCA – Centro Brasileiro de Construção em Aço. (2014). **Aço, construindo a copa 2014**. Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br>. Acesso em: 30 nov 2019.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Emergências Químicas: Principais acidentes**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/ tipos-de-acidentes/dutos/principais-acidentes/>. Acesso em: 10 nov. 2019.
- CIMM - Centro de Informação Metal Mecânica. **Princípios e prevenção para corrosão em metais**. 2011. Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/>. Acesso em: 15 jan. 2020.
- COMIM, K. W.; ESTACEHEN, T. A. C. Causas e alternativas de reparo da corrosão em armaduras para concreto armado. **Constuindo**, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, p.36-47, dez. 2017.
- COSTA, E. A. da. **Avaliação da resistência a corrosão da liga Ni-w obtida por eletrodeposição**. 2008. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008

CREA-SE - Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de Sergipe. **Laudo conclui que corrosão de cabos de aço foi à causa de desabamento da ponte de Pedra Branca.** Disponível em: <http://www.crea-se.org.br/laudo-conclui-que-corro-sao-de-cabos-de-aco-foi-a-cao-de-desabamento-da-ponte-de-pedra-branca/>. Acesso em: 11 nov. 2019

DIAS, D. L. **Corrosão e proteção de metais.** 2019. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/>. Acesso em: 16 jan. 2020.

FERREIRA, F. G.; FASSARELLA, M.; COSTA, N. M. B.; SANTANA, A. M. C.; MARINS, J. C. B. Perda eletrolítica de cálcio, magnésio e ferro no suor durante corrida em esteira. **Bras. Med. Esporte**, ., v. 23, n. 1, p.31-36, set. 2016.

FIGUEIREDO, E. J. P. **Fatores determinantes da iniciação e prorrogação da corrosão da armadura do concreto.** São Paulo, EPUSP-BT/PCC/121, 1993.

FINAMORE, D. J. **Avaliação da corrosão uniforme e puntiforme em meio aquoso aerado utilizando a técnica de cupons de perda de massa.** 2016. 140 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.

FINAMORE, D.; Silva, O. P. **Avaliação da corrosão e otimização na utilização do bissulfito de sódio em sistema de injeção de água do mar com operação parcial da desaeração mecânica.** 9ª. Conferência Internacional sobre Tecnologia de Equipamentos, Coteq-039, Salvador/BA, (2007).

FLEURY, L. **Ações para proteção contra corrosão.** 2010. Disponível em: <http://www.abraco.org.br/src/uploads/2015/11/Revista-corrosao-e-protecao-32.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2019.

FOGAÇA, J. .V. **Tipos de Corrosão;** Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/tipos-corrosao.htm>. Acesso em 11 de fevereiro de 2020.

FRAUCHES-SANTOS, C. et al. A corrosão e os agentes anticorrosivos. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p.293-309, abr. 2014.

FRAUCHES-SANTOS, C. *et al.* The Corrosion and the Anticorrosion Agents. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 6, n. 2, p.310-322, 2014A.

G1. **Projetista da ponte que desabou na Itália alertou sobre risco de corrosão 1979.** Disponível em: <https://g1.globo.com/mundo/noticia/2018/08/19/projetista-da-ponte-que-desabou-na-italia-alertou-sobre-risco-de-corrosao-em-1979.ghtml>. Acesso em: 11 nov. 2019.

GALVÃO, M., M. **Efeito do Potencial de Proteção Catódica na Corrosão Microbiologicamente Induzida.** 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias de Processos Químicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

GENTIL, V. **Corrosão.** 3. ed. Rio de Janeiro: S.A, 2007.

GURGEL, A. L; MEDEIROS, J. F. de. Caracterização das condições climáticas de Pau dos Ferros - RN. **Geotemas**, Pau dos Ferros, v. 8, n. 2, p.100-115, 2018.

GUTIHÁ JÚNIOR, M. L. **Corrosão e sistemas de proteção**. 2018. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica-telemática, Unisul, Palhoça, 2018. Disponível em: <https://riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/5430/TCC%20Marcos%20Gutiha%2011%2007%202018.pdf?se+quence=4&isAllowed=y>. Acesso em: 02 out. 2019.

HELENE, P. L. R. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras para concreto armado**. Tese (Livre Docência) São Paulo: EPUSP, 1993. 231p.

HENRIQUE, P.; OLIVEIRA, D.; RAMOS, J. E. T.. Análise de estrutura de ferro em mirante do sítio carvão em Pereiro - CE. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS, 2., 2017, Campina Grande.. Campina Grande: Conapesc, 2017. p. 1 - 3.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pau dos Ferros**. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/pau-dos-ferros/panorama>. Acesso em: 15 dez. 2019.

KELLY, E.; BECKER, B. **Community plnning**: a introduction to the comprehensive plan. Washington: Island Press, 2000.

LIMA, G. M. de. **Análise de Corrosão Superficial por Análise de Imagem Digital por Textura utilizando Câmara de Névoa Salina**. 2017. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.

LUMINAÇO. **Como prevenir a corrosão**. 2017. Disponível em: <https://luminaco.com.br/>. Acesso em: 16 jan. 2020

MAGNAN, M., C. **Pintura na proteção anticorrosiva**. 2011. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Construção Naval, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2011.

MAIA, D. J. *et al.* Experimento sobre a Influência do pH na Corrosão do Ferro. **Química Nova na Escola**, [s.l.], v. 37, n. 1, p.71-75, fev. 2015.

MAINIER, F. B.; GUIMARÃES, P. I. C.; MERÇON, F. O ensino de corrosão com base na avaliação crítica do mobiliário urbano de praças e logradouros públicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 31., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** . Rio de Janeiro: Cobenge, 2003. p. 1 - 10

MAINIER, F. B.; LETA, F. R. **O ensino de corrosão e de técnicas anticorrosivas compatíveis com o meio ambiente**. 2001. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/41402035/O_ENSINO_DE_CORROSO_E_DE_TCNICAS_ANTI_COR20160122-19332-a2lpgk.pdf?. Acesso em: 25 nov. 2019.

MATALA, S. **Carbonation mechanism in the granulated blast furnace slag concrete**. 10th International Congress on The Chemistry of Cement, Gothenburg, Sweden, June 2-6, 1997.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo. PINI. 1994. 573p.

MEIRA, G. R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto**: Fundamentos, Diagnóstico e Prevenção. João Pessoa: EditoraIFPB, 2017

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P. I. C.; MAINIER, F. B. Corrosão: Um exemplo usual de fenômeno químico. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 19, n. 1, p.11-14, maio 2019.

MESQUITA, C. M. de. **Síntese de derivados isatínicos como potenciais inibidores de corrosão do aço-carbono para aplicação na indústria de petróleo e gás**. 2018. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Química Industrial, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.

MESQUITA, C. Metodologia de inspeção e ensaios para avaliação do estado de conservação de estruturas afetadas por corrosão de armaduras. **Corros. Prot. Mater.**, Lisboa, v. 31, n. 2, p.39-48, maio 2012.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2ª ed. São Paulo. PINI, 1997.

NUNES, L. P. (2007) **Fundamentos de Resistência à Corrosão**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 330p.

OLIVEIRA NETO, M. B. de.; SANTOS, J. C. P. dos.; MEDEIROS, J. F. de.; QUEIROZ, A. F. de.; MARQUES, F. A.; SILVA, M. S. L. da. Zoneamento da área do entorno da barragem de Pau dos Ferros – RN. In: REUNIÃO NORDESTINA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2016, Aracaju. **Anais**. Aracaju, 2016. p. 1 - 4.

OLIVEIRA, A. R. de. **Corrosão e tratamento de superfície**. Belém: E-tec Brasil, 2012.

OSTROSKI, V. C. Avaliação da velocidade de corrosão nos equipamentos portuários. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s.l.], v. 8, n. 1, p.848-880, 4 abr. 2019.

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situações de corrosão e incêndio**. São Paulo: Gerdau, 2011.

PEREIRA, A. P. **Resistência a corrosão de aços austeníticos utilizados em meio a glicerina ácida em uma planta de produção de biodiesel**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2013.

PIRES, A. M., PALMIERI, M. C.; LANFREDI, S. Energia elétrica e reações químicas. **Rede São Paulo de Formação Docente**, São Paulo, módulo 4, disciplina 7, 2012.

PONTE, H. de A. **Análise e monitoramento de corrosão em componentes metálicos**. 2014. Disponível em: <http://foundrygate.com/upload/artigos/AN%C3%81LISE%20E%20MONITORAMENTO%20DE%20CORROS%C3%83O%20EM%20COMPONENTES%20MET%C3%81LICOS%20-%20Cintec%202014.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2019.

PONTE, H. de A. **Fundamentos da corrosão**. Curitiba: Ufpr, 2003.

QUEIROZ, M. G. de O. **Estudo e análise do processo corrosivo no açougue público na cidade de São Miguel/RN**. 2018. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2018.

QUIMATIC (Brasil). **Anticorrosivos**. 2020. Disponível em: <https://www.quimatic.com.br/>. Acesso em: 18 jan. 2020.

SANTOS JUNIOR, A. G. dos; BIEHL, L. V. Estudo da interação e dos danos causados pelo hidrogênio aos metais. **Vetor**, Rio Grande, v. 24, n. 2, p.70-92, dez. 2014.

SILVA, A. C. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose**. 2002, 128p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo.

SILVA, A. G. da; TEIXEIRA, B. G. M.; FERREIRA, L. A. V. Estudo dos métodos de prevenção da corrosão de armaduras em edifícios. **Inovae: Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation**, São Paulo, v. 7, n. 1, p.229-254, maio 2019.

SILVA, G. B. da S. e. **Caracterização de cupons de corrosão através de diferentes técnicas comparativas**. 2016. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.

SILVA, R. S. **Binder a base de polianilina para proteção anódica de aço carbono**. 2011. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SOARES, A. P. F.; VASCONCELOS, L. T.; NASCIMENTO, F. B. C. do. Corrosão em armaduras de concreto. **Ciências exatas e tecnológicas**, Maceió, v. 3, n. 1, p.177-188, nov. 2015.

SOUZA, W. L. P. **Corrosão em navios: Técnicas anticorrosivas**. 2011. 57 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Náuticas, Escola Oficial de Formação da Marinha Mercante, Rio de Janeiro, 2011.

SUSKI, C. A.; CONCEIÇÃO, E.; MACHADO, I. M. Estudo experimental dos tipos de corrosão em metais sob condições salinas. **Revista Eletrônica Técnico-científica do IFSC**, [s.l.], v. 1, n. 6, p.29-37, jul. 2018.

TREVISOL, C. A. M.; PELISSER, F.. **Análise do desempenho de anodo de sacrifício para proteção de estruturas de concreto armado contra a corrosão**. 2012. 16 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2012.

VASCONCELOS, J. S. de; BROSEGUINI, M. **Estudo de caso: Corrosão em tubulação de aço carbono provocado por água doce**. 2013. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

XEREZ, G., ALVES, M. **Laudo sobre desabamento de prédio em Fortaleza deve ser concluído em 10 dias**. Ceará, 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2019/10/21/periciainiciainvestigacaosobredesabamento-do-edificio-andrea-em-fortaleza-bombeiros-darao-apoio.ghtml>. Acesso em: 12. dez. 2019.

YOOKO, S. C.; CHIES, C. O papel das praças públicas: Estudo de caso da praça Raposo Tavares na cidade de Maringá. In: ENCONTRO DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 4., 2009, Campos Mourão. **Anais**. Campos Mourão: Epct, 2009. p. 1 - 11.

ZIMMERMANN, C. **A Praça: Um espaço de Lazer**. 2015. 53 f. Monografia (Graduação) - Curso de Educação Física, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Santa Rosa, 2015.