



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

TIAGO TEIXEIRA BANDEIRA

**PATOLOGIA DO AÇO: ESTUDO DE CASO DA CORROSÃO EM PILARES
TRELIÇADOS DE AÇO NA CIDADE DE IGUATU- CE**

**PAU DOS FERROS – RN
2021**

TIAGO TEIXEIRA BANDEIRA

**PATOLOGIA DO AÇO: ESTUDO DE CASO DA CORROSÃO EM PILARES
TRELIÇADOS DE AÇO NA CIDADE DE IGUATU- CE**

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

Orientador: Sanderlir Silva Dias

© 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.

TB214 p Teixeira Bandeira, Tiago.
PATOLOGIA DO AÇO: ESTUDO DE CASO DA CORROSÃO
EM PILARES TRELIÇADOS DE AÇO NA CIDADE DE IGUATU-
CE / Tiago Teixeira Bandeira. - 2021.
45 f. : il.

Orientadora: Sanderlir Silva Dias.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2021.

1. Corrosão. 2. Patologias. 3. Aço. 4.
Manifestações. 5. Estruturas. I. Silva Dias,
Sanderlir, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 1115

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.

TIAGO TEIXEIRA BANDEIRA

PATOLOGIA DO AÇO: ESTUDO DE CASO DA CORROSÃO EM PILARES TRELIÇADOS DE AÇO NA CIDADE DE IGUATU- CE

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semi-Árido, como parte das exigências
para a obtenção do título de Bacharel
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Pau dos Ferros, 16 de novembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

SANDERLIR SILVA Assinado de forma digital
por SANDERLIR SILVA
DIAS:8327668838 DIAS:83276688387
7 Dados: 2021.11.18 17:21:13
-03'00'

Profª. Dra. Sanderlir Silva Dias (UFERSA)
Orientadora

MARCELO
NASCIMENTO DE
MORAIS OLIVEIRA:
07354485403 Assinado digitalmente por MARCELO NASCIMENTO
DE MORAIS OLIVEIRA:07354485403
DN: CN=MARCELO NASCIMENTO DE MORAIS
OLIVEIRA:07354485403, OU=UFERSA - Universidade
Federal Rural do Semi-Árido, O=ICPEdu, C=BR
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização: Uepb2008*ufersa2017
Data: 2021-11-19 08:37:21
Foxit Reader Versão: 9.5.0

Me. Marcelo Nascimento de Moraes Oliveira (UFERSA)
1º Examinador

Tycianne Janyne de Oliveira Cabral

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

AGRADECIMENTOS

O trabalho de conclusão de curso representa o fim de uma etapa para a vida de qualquer estudante, ao longo desta trajetória vivemos momentos e fazemos amizades que serão levados por toda posteridade. O crescimento pessoal e algo notório na caminhada de todo ser humano que passa por uma instituição de ensino onde é tão bem acolhido por todo corpo docente e administrativo.

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família, que foi essencial nessa minha jornada, que sempre me mostrou a educação como melhor caminho para vencer obstáculos. A minha namorada Andreza, que foi de extrema importância no apoio acadêmico e pessoal. Ao meu pai que enquanto presente, sempre me ensinou a importância do bom caminho e moldou a pessoa que me tornei hoje.

Agradeço a minha orientadora Sanderlir Silva Dias pela disponibilidade, atenção e compartilhar o seu conhecimento para me auxiliar na pesquisa que coloca um ponto final em uma parte da minha vida acadêmica.

Agradeço a Banca Examinadora por todas as considerações e contribuições para o enriquecimento desse trabalho.

RESUMO

As estruturas metálicas devido a sua natureza sofrem de diversas formas de patologias dentre as quais a corrosão se destaca como a principal forma deste tipo de manifestação. Se manifesta de diversas formas na qual, cada forma pode conter uma característica específica que ajude a identificar. O meio no qual ao metal se encontra exposto é um fator determinante no tempo de corrosão do metal. Baseado nas formas de manifestação e o meio ao qual se expõem, a causa da manifestação pode ser identificada e assim tomadas as medidas cabíveis. Medidas eficazes para combater podem ser adotadas, seja ela de forma preventiva, ou seja, um tratamento da corrosão que já se manifestou. Medidas técnicas devem ser seguidas em ambos os casos. O trabalho segue algumas etapas em sua metodologia, que consiste em pesquisa bibliográfica e visita de campo, e baseado no que foi encontrado unido com o que foi pesquisado, apresentar uma solução para os problemas identificados. A edificação estudada foi a estrutura metálica da quadra poliesportiva do colégio municipal Pe. Januário Campos. Lá foram encontrados pilares treliçados metálicos nos mais diversos processos e tipos corrosivos. Foi feita uma análise que consiste em condições na qual essa estrutura estava exposta desde condições climáticas a condições operacionais do local. E através dessa análise foi possível identificar fatores que auxiliaram na aparição dessas manifestações patológicas. Medidas de tratamento a corrosão foram sugeridas de forma técnica com o intuito de recuperar a estrutura em estudo, evitando assim danos maiores ou riscos a integridade física de quem frequenta. Por fim foi chegado a uma conclusão baseado no que foi visto e pesquisado, onde foi enfatizado que a prevenção ainda é a melhor forma de combater a corrosão.

Palavras-chave: Corrosão; patologias; manifestações; estruturas;

ABSTRACT

Due to their nature, metallic structures suffer from various forms of pathologies among which corrosion stands out as the main form of this type of manifestation. It manifests itself in several ways in which each shape can contain a specific feature that it helps to identify. The environment in which the metal is exposed is a determining factor in the time of metal corrosion. Based on the forms of manifestation and the environment to which they are exposed, the cause of the manifestation can be identified and appropriate measures taken. Effective measures to combat it can be adopted, either in a preventive way, or in other words, a treatment of the corrosion that has already manifested itself. Technical measures must be followed in both cases. The work follows some steps in its methodology, which consists of bibliographical research and field visit, and based on what was found together with what was researched, to present a solution to the identified problems. The building studied was the metallic structure of the sports court of the municipal school Pe. Januário Campos. There were found metallic lattice pillars in the most diverse corrosive processes and types. An analysis consisting of conditions in which this structure was exposed from weather conditions to local operational conditions was carried out. And through this analysis it was possible to identify factors that helped in the appearance of these pathological manifestations. Corrosion treatment measures were technically suggested in order to recover the structure under study, thus avoiding further damage or risks to the physical integrity of those who attend. Finally, a conclusion was reached based on what was seen and researched, where it was emphasized that prevention is still the best way to combat corrosion.

Keywords: Corrosion; pathologies; manifestations; structures;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	11
1.1 Objetivos Gerais.....	11
1.2 Objetivos Específicos.....	11
3 REVISÃO TEÓRICA.....	11
1.3 Corrosão em estruturas de aço.....	11
3.1.1 Tipos de corrosão.....	12
3.1.1.1 Corrosão uniforme.....	13
3.1.1.2 Corrosão galvânica.....	14
3.1.1.3 Corrosão por frestas.....	15
3.1.1.4 Corrosão por pite.....	16
3.2 Meios corrosivos.....	17
3.2.1 Atmosfera.....	18
3.2.2 Água.....	19
3.2.3 Solo.....	20
3.2.4 Fatores mecânicos.....	21
3.3 Tratamento da corrosão.....	21
3.4 Prevenção.....	22
3.4.1 Revestimento com compostos orgânicos.....	22
3.4.1.1 Preparo da superfície.....	22
3.4.1.2 Aplicação de tintas.....	24
3.4.2 Revestimentos metálicos.....	26
3.4.2.1 Proteção catódica.....	26
3.4.2.2 Proteção anódica.....	27
4 METODOLOGIA.....	28
4.1 Apresentação do estudo de caso.....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
5.1 Ambiente de pesquisa.....	29
5.2 Tipos de corrosão encontrado.....	31
5.1.1 Corrosão uniforme.....	31
5.1.2 Corrosão por frestas.....	33
5.1.3 Corrosão por pite.....	34

5.2 Falhas na execução.....	35
5.3 Falta de manutenção.....	37
5.4 Consequências das patologias encontradas.....	38
5.5 Soluções sugeridas.....	38
5.5.1 Substituição dos pilares danificados.....	39
5.5.2 Limpeza e pintura dos pilares.....	40
5.5.3 Execução tela metálica.....	40
6 CONCLUSÃO.....	42
7 REFERÊNCIAS.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Engrenagens metálicas em processo de corrosão uniforme.....	13
Figura 2 - Corrosão galvânica ao redor da entrada de uma bomba de drenagem de estagio simples encontrada em embarcações pesqueiras.....	14
Figura 3 - Ilustração esquemática do mecanismo de corrosão por frestas.....	15
Figura 4 - Corrosão por fresta sob a cabeça de um parafuso.....	16
Figura 5 - Corrosão por pite em tubo de aço inoxidável.....	17
Figura 6 - Gráfico mostra a influência da umidade relativa no processo de corrosão por meio atmosférico do aço carbono.....	20
Figura 7 - Relação entre as variáveis e a taxa de corrosão do solo.....	21
Figura 8 - Representação da proteção catódica.....	27
Figura 9 - Representação da proteção anódica.....	27
Figura 10 – Mapa da localização da cidade de Iguatu-Ce.....	29
Figura 11 - Quadra poliesportiva do colégio municipal Pe. Januário Campos.....	29
Figura 12 - Pilar que constituem a cobertura metálica.....	30
Figura 13 - Corrosão uniforme no pilar da estrutura metálica.....	31
Figura 14 - Corrosão uniforme no pilar da estrutura metálica.....	32
Figura 15 - Impurezas e corrosão por frestas na base do pilar.....	33
Figura 16 - Impurezas e corrosão por frestas na base do pilar.....	34
Figura 17 - Corrosão por pite em pilar da estrutura metálica.....	35
Figura 18 - Falta das grades laterais.....	36
Figura 19 - Falha no cordão de solda.....	37
Figura 20 - Substituição das pontes ferroviárias metálica, em Oeiras.....	40
Figura 21 - Projeto alambrado para quadra esportiva de Paulínia-SP.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Manifestações patológicas mais comuns e suas principais causas..... 12

Quadro 2 - Tipos de camadas no processo de pintura e métodos de aplicação..... 25

1 INTRODUÇÃO

O processo corrosivo está presente no nosso dia a dia, mais do que imaginamos. Apesar de não percebemos essas patologias que a curto prazo quase sempre é imperceptível a nossa vista, ele está presente desde o simples fato de se lavar talheres em sua cozinha, até casos mais complexos. A longo prazo, esse processo se torna bastante visível e conhecido com o termo popular de “ferrugem”, o que aparenta ser algo simples devido a ser visto com frequência nas mais variadas situações do cotidiano.

Responsável por perdas ao patrimônio público e privado, fonte de gastos bilionários ao redor do mundo e de cuidados que requerem desde conhecimento básicos a mais complexos, se destaca por ser a anomalia mais popular dentre todas as outras. Por sua vez acaba sendo o desafio de cientistas especialistas que procuram a cada dia que passa novas alternativas mais eficazes contra este processo.

Métodos já conhecidos sobre o tema se mostra eficazes quando aplicados de forma correta, seguindo normas técnicas. O trabalho pretende se debruçar sobre essas metodologias de forma a encontrar a mais eficaz para o problema em questão.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Tem-se como objetivo compreender as patologias que se manifestam através do processo corrosivo de todos os dez pilares que constituem a cobertura metálica da quadra poliesportiva.

2.2 Específico

Apresentar o fenômeno da corrosão nas estruturas metálicas e suas formas de manifestação;

Estudar as causas e consequências das manifestações patológicas nos pilares treliçados de uma edificação metálica localizada em uma escola na cidade de Iguatu-CE;

Apresentar o tratamento dessas anomalias e formar uma solução prática e viável tecnicamente e financeiramente para o estudo de caso em análise;

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 Corrosão em estruturas de aço

Segundo Gentil (2017), corrosão é a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos. É uma ação indesejável que causa variações químicas e modificações físicas dos materiais, o que pode acabar tornando inadequado para uso. Todos os materiais metálicos tem como característica o processo espontâneo da corrosão, ou seja, ele ocorre de forma inevitável sem o emprego dos mecanismos protetores. Todavia, para que esse processo ocorra, o meio no qual o material é exposto tem de ser suficientemente agressivo.

Ainda segundo Gentil (2017), a corrosão eletroquímica se dá através da troca de elétrons do processo denominado oxirredução. Esse processo ocasiona mudanças das propriedades dos materiais metálicos, modificando as características originais. Para que ocorra, é necessário a interação do ânodo com catodo, cujo o qual em interação, haverá uma troca de elétrons ocorrendo assim o processo de corrosão. Este processo descrito é no qual se dá a corrosão do aço-carbono.

O aço oxida quando em contato com gases nocivos ou com a umidade, necessitando cuidados para prologar sua durabilidade, informa Sacchi e Souza (2016). Isto ocorre porque os metais, possuem potenciais de oxidação maiores que os do oxigênio, dessa forma eles

perdem elétrons para o oxigênio presente no ar. Pannoni (2011) ressalta que, para a corrosão atmosférica do aço carbono acontecer, é necessária a presença simultânea de água e oxigênio. Na ausência de um deles, a corrosão não aconteceria. Segundo Praiva e Bertinelli (2016) as manifestações patológicas mais comuns em estruturas de aço podem ser definidas em seis tipos principais, conforme mostrado no Quadro 1.

Quadro 1: Manifestações patológicas mais comuns e suas principais causas

Manifestações mais comuns	Principais causas
Corrosão localizada	Causada por deficiência de drenagem das águas pluviais e deficiências de detalhes construtivos, permitindo o acúmulo de umidade e de agentes agressivos.
Corrosão generalizada	Causada pela ausência de proteção contra o processo de corrosão.
Deformações excessivas	Causadas por sobrecargas ou efeitos térmicos não previstos no projeto original, ou ainda, deficiências na disposição de travejamentos.
Flambagem local ou global	Causadas pelo uso de modelos estruturais incorretos para verificação da estabilidade, ou deficiências no enrijecimento local de chapas, ou efeitos de imperfeições geométricas não consideradas no projeto e cálculo.
Fratura e propagação de fraturas	Falhas estas iniciadas por concentração de tensões, devido a detalhes de projeto inadequados, defeitos de solda, ou variações de tensão não previstas no projeto.

Fonte: Praiva e Bertinelli (2016)

Como visto no Quadro 1, o processo corrosivo está presente em duas das seis principais formas de patologias em estruturas de aço. Segundo Sacchi e Souza (2016) a corrosão se caracteriza como um fenômeno patológico de maior conhecimento público.

3.1.1 Tipos de corrosão

A corrosão pode ocorrer sob diferentes formas, o conhecimento das mesmas é muito importante no estudo do processo corrosivo e a caracterização segundo a morfologia auxilia bastante no esclarecimento do mecanismo e na aplicação de medidas adequadas de proteção, afirma (GENTIL, 2017).

Pannoni (2011) afirma que grande parte das ocorrências de corrosão envolve reações eletroquímicas, e que as formas mais comuns que acometem o aço carbono são a corrosão uniforme, a corrosão galvânica, a corrosão por frestas e, em algumas situações específicas, a corrosão por pite. Porém, ele ressalta que o fato da corrosão por pite ser menos comum, não significa dizer que ela é menos importante.

3.1.1.1 Corrosão uniforme

Segundo Gentil (2017) a corrosão uniforme se processa em toda a extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme na espessura. Esta é provavelmente a forma mais comum de corrosão, e também menos questionada, uma vez que pode ser prevista e levada em consideração com relativa facilidade nos projetos (CALLISTER E RETHWISCH, 2016).

Ela ocorre em metais e ligas relativamente homogêneos expostos a ambientes também homogêneos. Esta homogeneidade de comportamento pode ser tanto reflexo da homogeneidade intrínseca do material (ausência de defeitos estruturais ou de inclusão, por exemplo), quanto a não seletividade do ambiente com respeito a estes defeitos. Aços carbonos expostos a atmosfera é um bom exemplo de material que pode sofrer esse tipo de ataque, conclui (PANNONI, 2011).

Ainda segundo Pannoni (2011) a velocidade da corrosão uniforme é, em geral, expressa em termos da perda de massa por unidade de área e por unidade de tempo, ou, alternativamente, pela perda da espessura do metal corroído em função do tempo. A Figura 1 mostra o tipo de corrosão uniforme.

Figura 1: Engrenagens metálicas em processo de corrosão uniforme.



Fonte: <http://sistemas.eel.usp.br/>.

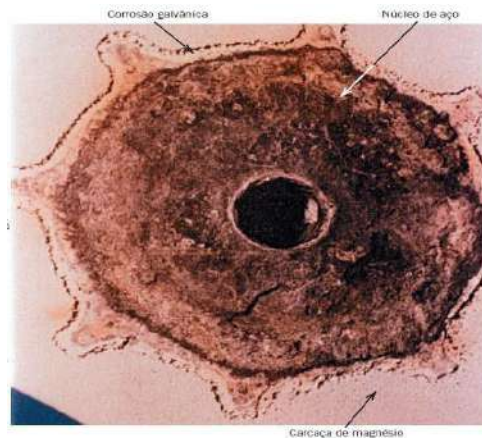
3.1.1.2 Corrosão galvânica

Ocorre quando dois metais ou ligas com composições diferentes são acoplados elétrica-mente enquanto são expostos a um eletrólito. O metal menos nobre, ou mais reativo, naquele ambiente específico sofrerá corrosão: o metal mais nobre, e o catodo, será protegido contra corrosão (CALLISTER E RETHWISCH, 2016). Segundo Pannoni (2011) é uma das formas mais comuns de ataque em meio aquoso. As regiões onde acontecem as reações anódica (a corrosão metálica) e catódica (redução do oxidante) são espacialmente distintas. Esta seletividade das reações é devido às heterogeneidades existentes no material, no meio ou nas condições físico-químicas da interface.

A taxa do ataque galvânico depende da relação entre as áreas superficiais do anodo e do catodo que estão expostas ao eletrólito, e essa taxa está relacionada diretamente com a razão entre as áreas do catodo e do anodo, ou seja, para cada área de catodo, um anodo menor corroerá mais rapidamente que um anodo maior, uma vez que a taxa de corrosão depende da densidade decorrente, que é a corrente por unidade de área da superfície que está sendo corroída, e não apenas da corrente. Dessa forma, há uma densidade de corrente elevada para o anodo quando sua área é pequena em comparação a área do catodo (CALLISTER E RETHWISCH, 2016).

Pannoni (2011) elucida que o fenômeno da corrosão galvânica está na origem do procedimento conhecido como galvanização, que objetiva proteger o aço pelo recobrimento com zinco. É necessário, entretanto, distinguir proteção catódica, onde o revestimento faz o papel de anodo de sacrifício, dos casos onde o revestimento é mais nobre que o material a proteger (como exemplo, a “niquelação” ou a “cobreação” do aço). A Figura 2 mostra como se manifesta este tipo de corrosão.

Figura 2: Corrosão galvânica ao redor da entrada de uma bomba de drenagem de estagio simples encontrada em embarcações pesqueiras.



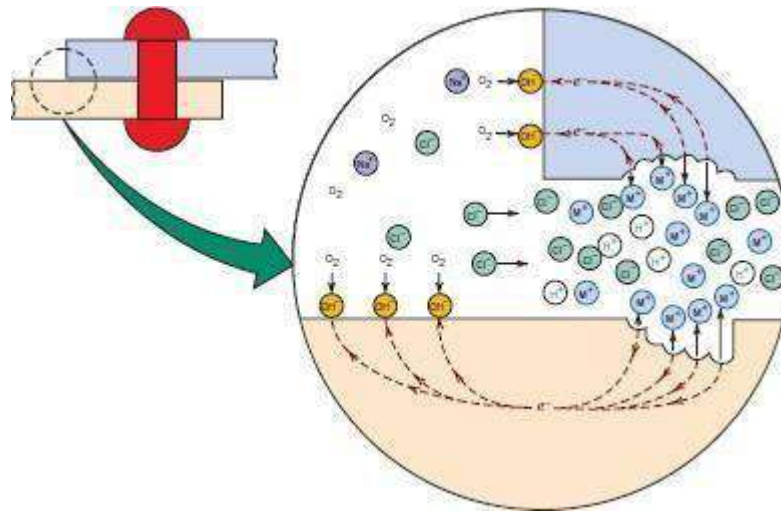
Fonte: Callister e Rethwisch, 2016.

3.1.1.3 Corrosão por frestas

Esta é uma forma de corrosão eletroquímica, que pode ocorrer no interior de fendas, frestas, ou debaixo de superfícies recobertas ou em contacto, nas quais existem soluções estagnadas. A corrosão em frestas pode ocorrer em juntas, rebites e parafusos (Figura 4). A corrosão em frestas ocorre em muitos tipos de ligas como, por exemplo, nos aços inoxidáveis, nas ligas de titânio, de alumínio e de cobre (FLORES E BRITO, 2005).

A fresta deve ser larga o suficiente para que a solução penetre, embora estreita o suficiente para que haja estagnação; geralmente, a largura da fresta é de vários milésimos de um centímetro. Após o oxigênio ter sido exaurido no interior da fresta, ocorrerá a oxidação do metal. Os elétrons dessa reação eletroquímica são conduzidos através do metal para regiões externas adjacentes, onde são consumidos em reações de redução. Em muitos ambientes aquosos, foi observado que a solução no interior da fresta desenvolve elevadas concentrações de íons H^+ e Cl^- , os quais são sobretudo corrosivos (CALLISTER E RETHWISCH, 2016). A Figura 3 ilustra o mecanismo dessa corrosão.

Figura 3: Ilustração esquemática do mecanismo de corrosão por frestas.



Fonte: Callister e Rethwisch, 2016.

Callister e Rethwisch (2016) alerta que a corrosão em frestas mostrada na Figura 4 pode ser prevenida pelo uso de junções soldadas, em vez de rebitadas ou aparafusadas, pela utilização, sempre que possível, de juntas não absorventes, pela remoção frequente de depósitos acumulados e pelo projeto de vasos de contenção que evitem áreas de estagnação e que garantam uma drenagem completa.

Figura 4: Corrosão por fresta sob a cabeça de um parafuso.



Fonte: <https://edisciplinas.usp.br/>

3.1.1.4 Corrosão por pite

Gentil (2017) identifica que essa corrosão se processa em pontos ou em pequenas áreas localizadas na superfície metálica produzindo pites que são cavidades que apresentam o

fundo em forma angulosa e profundidade geralmente maior do que o seu diâmetro. É um tipo de corrosão bastante difícil de se identificar, até que ela se manifeste. Geralmente se inicia dentro da superfície atacada, se tornando perceptível a olho nu apenas quando sua profundidade atravessa da parte interna do material atacado até a parte externa.

O mecanismo para a corrosão por pites é provavelmente o mesmo da corrosão em frestas, no sentido de que a oxidação ocorre no interior do próprio pite, com uma redução complementar na superfície. Supõe-se que a força da gravidade faça com que os pites cresçam para baixo, com a solução na extremidade do pite tornando-se mais concentrada e densa conforme progride o crescimento do pite. Um pite pode ser iniciado por um defeito superficial localizado, tal como um arranhão ou uma pequena variação na composição (CALLISTER E RETHWISCH, 2016).

Callister e Rethwisch (2016) ainda informam que foi observado que amostras com superfícies polidas exibem maior resistência a corrosão por pites. Os aços inoxidáveis são razoavelmente suscetíveis a essa forma de corrosão; no entanto, a adição de aproximadamente 2% de molibdênio aumenta significativamente a resistência desses aços a corrosão.

Segundo Flores e Brito (2005) ocorre normalmente em locais expostos a meios aquosos, salinos ou com drenagem insuficiente. Pode ser ocasionada pela deposição concentrada de material nocivo ao aço, por pilha de aeração diferencial ou por pequenos furos que possam permitir a infiltração e o alojamento de substâncias líquidas na peça como mostrado na Figura 5.

Figura 5: Corrosão por pite em tubo de aço inoxidável.



Fonte: Gentil, 2017

3.2 Meios corrosivos

Gentil (2017) elucida que no estudo dos processos corrosivos devem ser sempre consideradas as variáveis dependentes do material metálico, do meio corrosivo e das condições operacionais, pois o estudo conjunto dessas variáveis permitirá indicar o material mais adequado para ser utilizado em determinados equipamentos ou instalações.

Como relatado anteriormente, para que a corrosão aconteça é necessário um meio

suficientemente agressivo, a ponto de induzir o material ao processo. Se dão por vários fatores sejam eles mecânicos, como fadiga e atritos, unidos a fatores ambientais na qual se destacam atmosfera, o solo, microrganismos, água, salinidades entre outros. Porém, vale ressaltar pois é de extrema importância ao leitor que, os fatores mecânicos sozinhos não são suficientes para que a corrosão ocorra, necessita-se obrigatoriamente que haja o fator ambiental.

A corrosão em metais como descrita na pesquisa, necessita obrigatoriamente da interação do material com o oxigênio, tendo em vista essa afirmação conclui que os fatores ambientais são indispensáveis. Patologias mecânicas surgem como um fator agravante para o processo, deixando-os ainda mais expostos, facilitando assim a ação dos fatores ambientais.

Quando se fala em meio corrosivo, falamos de um conjunto de fatores a que o material está exposto. Um exemplo disso, é que o um determinado material pode se encontrar em um local em que constantemente está exposto ao atrito (fator mecânico) e sofre a ação de intemperes climáticos (fator ambiental), desta forma se cria o meio corrosivo. Para que se entenda melhor a importância dos fatores descritos e necessário entender de forma individual cada um desses fatores.

3.2.1 Atmosfera

No Brasil, as construções desde pequeno porte até as de grande porte, como pontes, viadutos, túneis, obras hidráulicas, construções residenciais e comerciais, sofrem pela ação do clima. Elevados gradientes de temperatura, muitas vezes no mesmo dia, grandes volumes de chuvas, poluições e ambientes de grande agressividade contribuem para o surgimento de manifestações patológicas que estão associadas com uma ou mais formas de deterioração (SACCHI E SOUZA, 2016).

Na atmosfera contém fatores que desencadeiam o processo corrosivo, através de substâncias presentes no ar no qual o material é exposto. Segundo Gentil (2017) os fatores que tem de ser levados em conta no meio atmosférico são: umidade relativa, temperatura, substâncias poluentes além de, fatores que devem ser considerados climáticos como intensidade e direção dos ventos, variações climáticas de temperatura e umidade e radiações ultravioletas.

Pannoni (2011) destaca que a velocidade da corrosão através do meio atmosférico depende da velocidade das reações parciais anódica e catódica na interface metal-eletrólito e óxido-eletrólito. Assim, ela é comparável à corrosão em meio líquido, mas, neste caso, não há retirada contínua em grande escala do produto de corrosão pelo eletrólito, que pode, eventualmente, evaporar, propiciando alterações de fase dos constituintes, ao longo do tempo, dentro

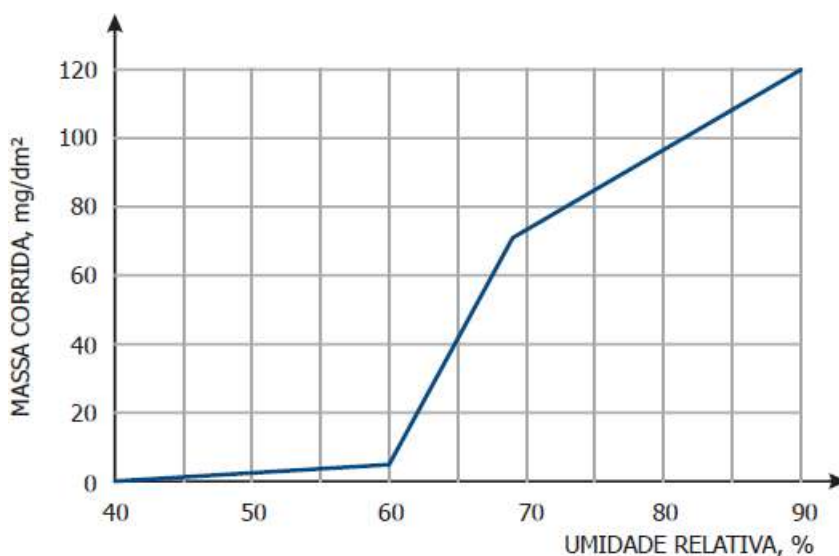
da camada de óxido. A corrosão atmosférica é muito dependente dos constituintes da atmosfera, notadamente a água e poluentes atmosféricos.

Ainda segundo Pannoni (2011) os principais poluentes contidos na atmosfera são o dióxido de enxofre (SO_2), os óxidos de nitrogênio (NO e NO_2), os cloretos, e as poeiras e fuligem que se depositam sobre a superfície metálica. Do ponto de vista da corrosão, os cloretos, presentes especialmente nas regiões marinhas, e o SO_2 (proveniente da combustão de combustíveis fósseis, como o carvão e a gasolina), presente em grandes cidades e áreas industriais, são as espécies mais importantes.

Estes elementos citados por Pannoni (2011), são responsáveis por fatores climáticos que podem ser descritos como altamente agressivos, como é o caso da chuva ácida, que tem como SO_2 o principal responsável por esse fenômeno muito comum em metrópoles na qual a poluição causada por os mais variados meios aumenta a concentração dessa substância na atmosfera.

Por sua vez a umidade relativa do ar dá a sua contribuição no processo corrosivo no meio atmosférico. Gentil (2017) deixa claro ao falar que atmosferas com altas umidades acelera o processo corrosivo. Segundo o mesmo, a umidade relativa em torno de 60% o processo é lento, e acima de 70% é acelerado. O gráfico da Figura 6 mostra a influência da umidade no processo corrosivo.

Figura 6: Gráfico mostra a influência da umidade relativa no processo de corrosão por meio atmosférico do aço carbono.



Fonte: Pannoni, 2011.

3.2.2 Água

Os materiais metálicos em contato com a água tendem a sofrer corrosão, a qual vai depender de várias substâncias que podem estar contaminando a mesma. Na apreciação do caráter corrosivo da água, também devem ser considerados o pH, a temperatura e velocidade. Dependendo do fim a que se destinam, diversos desses contaminantes devem ser considerados com maiores detalhes (GENTIL, 2017).

Os ambientes aquosos podem apresentar uma variedade de composições e de características de corrosão. A água doce contém normalmente oxigênio dissolvido, assim como minerais, vários dos quais são responsáveis pela dureza da água. A água do mar contém aproximadamente 3,5% de sal (predominantemente cloreto de sódio), assim como alguns minerais e matéria orgânica. A água do mar é, em geral, mais corrosiva do que a água doce, produzindo com frequência as corrosões por pites e em frestas afirma (CALLISTER E RETHWISCH, 2016).

Gentil (2017) elucida que os sais dissolvidos podem agir acelerando ou retardando a velocidade do processo corrosivo. Entre os sais que influenciam com maior frequência os processos de corrosão estão: cloretos, sulfatos, sais hidrolisáveis, sais oxidantes e bicarbonatos de cálcio, de magnésio e de ferro. O efeito do cloreto de sódio, na corrosão, deve-se ao fato de este ser um eletrólito forte, ocasionando, portanto, aumento de condutividade, que é fundamental no mecanismo eletroquímico de corrosão.

Além dos sais dissolvidos a temperatura também influencia no processo corrosivo em meio aquoso. Como comprovação Gentil (2017), verifica que a velocidade de corrosão do aço, em água potável, aumenta cerca de 30% entre 20 e 30°C, mas acima de 80°C este efeito é contrário, devido à diminuição de solubilidade do oxigênio, ou seja, a combinação de altas temperaturas e contato com água pode, sem dúvidas, ser um fator a levar-se em conta no estudo deste tipo de material.

Os fatores mecânicos também marcam as características deste meio. Segundo Flores e Brito (2005), quando o movimento relativo do fluido é rápido, os efeitos mecânicos de desgaste e abrasão podem ser graves. Podendo gerar aparecimento na superfície do metal de estrias, vales, bicadas, orifícios arredondados e outras configurações de deterioração da superfície, as quais aparecem normalmente na direção da corrente do fluido.

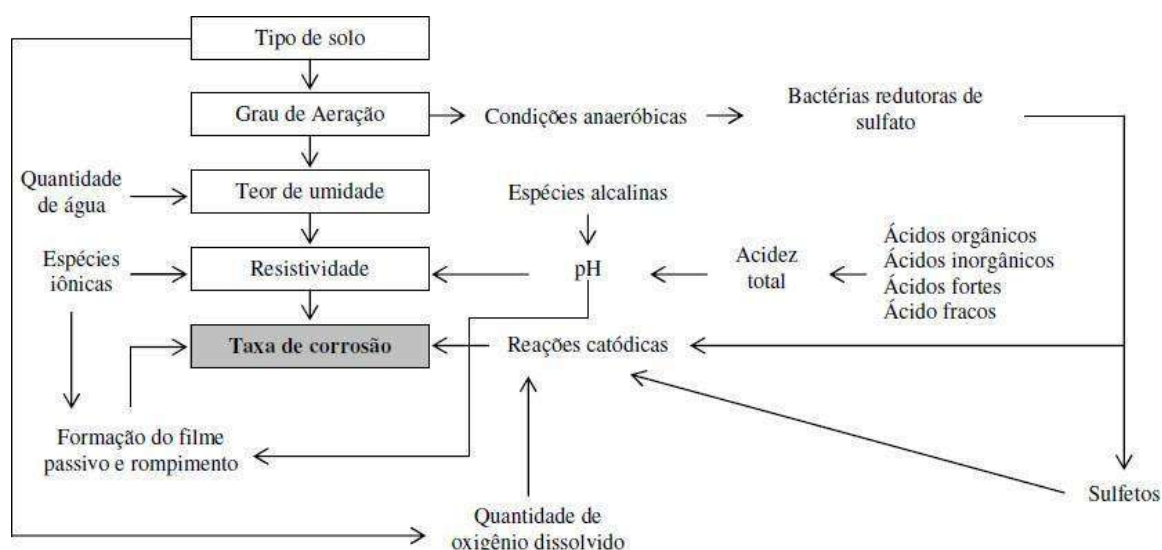
3.2.3 Solo

O comportamento do solo como meio corrosivo deve ser considerado de grande importância, levando-se em consideração as enormes quantidades de metais enterrados. A

velocidade de corrosão no solo não é muito influenciada por pequenas variações na composição ou estrutura do material metálico, sendo mais influente a natureza do solo (GENTIL, 2017).

Os solos apresentam ampla variedade de composições como e suscetibilidades a corrosão como vemos na Figura 7. As variáveis de composição incluem a umidade, o teor de oxigênio, os teores de sais, a alcalinidade e a acidez, assim como a presença de várias formas de bactérias. O ferro fundido e os aços-carbono comuns, com ou sem revestimentos superficiais de proteção, são os materiais mais econômicos para estruturas subterrâneas (CALLISTER E RETHWISCH, 2016).

Figura 7: Relação entre as variáveis e a taxa de corrosão do solo.



Fonte: Silva, 2007.

Geralmente as principais vítimas deste meio de corrosão são tubulações que atravessam grandes extensões das mais distintas composições químicas de solos. Entretanto, pilares sem aço carbono não estão livres do meio citado, já que em alguns casos, por vezes previstos em projetos, outras vezes por falha de execução, ou mesmo entram em contato com solo de forma direta.

A resistividade elétrica do solo é um dos fatores mais importantes no processo corrosivos metais enterrados. Quanto mais baixo o seu valor, mais facilmente funcionam as pilhas de corrosão e maior fluxo de correntes parasitas é permitido (SILVA, 2007). Ainda segundo o autor, os solos argilosos são mais corrosivos que os solos arenosos independentemente da forma de corrosão.

3.2.4 Fatores mecânicos

Foram vistos os meios nos quais o processo ocorre, porém, esses meios em que o material se encontra exposto, podem agir com maior facilidade se tiverem ajuda de fatores mecânicos. Geralmente o material que entra em contato com meios agressivos recebem revestimento que evita o ataque de uma forma direta ao material, funcionando como camada protetora, em um termo mais claro, essa camada se sacrifica para proteger o mesmo. Com tudo o rompimento da mesma por menor que seja, deixa o material exposto diretamente aos meios corrosivos. Esse rompimento descrito anteriormente, se dá na forma de um desgaste natural, mas também pode se dar através de esforços mecânicos como riscos quando exposto a atritos.

3.3 Tratamento da corrosão

A corrosão pode ser controlada ou evitada através de muitos métodos diferentes. De um ponto de vista industrial, é geralmente a questão econômica da situação que estabelece qual o método a utilizar. Dever-se-á determinar se é mais econômico proceder à substituição periódica de um determinado pavimento ou fabricá-lo em um material mais resistente à corrosão, apesar de mais caro, que tornará o pavimento mais durável. Como princípios básicos de proteção contra a corrosão, encontram-se: prevenção na concepção, atuação sobre o meio envolvente, sobre o metal ou isolando este do meio envolvente (FLORES E BRITO, 2005).

Como iremos ver no decorrer deste trabalho, a prevenção é o método mais efetivos no combate a corrosão. No entanto existem casos na qual a prevenção já não tem mais a sua utilidade segundo os princípios básicos da mesma, restando apenas o tratamento, se ainda possível. Em alguns casos mais graves o tratamento se torna obsoleto devido o estado avançado do processo.

Em casos no qual o tratamento seja possível, o primeiro passo a ser dado é fazer o lixamento de toda a superfície corroída, até que não reste nenhum vestígio de ferrugem no material metálico. Em seguida, aplicar os procedimentos padrão de prevenção, como aplicação do primer da tinta. Feito isso, sem que no processo de lixamento seja retirado uma espessura de grandes proporções, o material estará pronto e protegido para que seja utilizado dos seus fins. Sobre o processo do lixamento, vale ressaltar novamente para que fique bem claro e de fácil entendimento ao leitor, é crucial, pois se neste processo for retirada uma camada espessa suficiente a ponto de comprometer a estrutura do material, todos os procedimentos restantes devem ser desconsiderados, providenciando assim a troca efetiva do

material.

3.4 Prevenção

Em ambientes externos ou úmidos, o detalhamento do projeto tem, em geral, um enorme efeito no controle da corrosão. A prevenção da corrosão nasce na arquitetura, é complementada pelo engenheiro calculista e, finalizada pelo fabricante da estrutura. O modo mais econômico desse atingir a vida útil da estrutura, com os menores custos ao longo do tempo, é atentar para os detalhes (PANNONI, 2011).

A forma de uma estrutura pode influenciar sua susceptibilidade à corrosão. Assim, as estruturas devem ser projetadas de modo que a corrosão não possa se estabelecer em um local em particular, de onde possa se espalhar. Recomenda-se, desse modo, que os projetistas considerem o detalhamento anticorrosivo já no início do projeto (PANNONI, 2011).

A prevenção e método que exige constância e conhecimento do método como o todo, se assemelha a uma receita, seguindo determinados passos e métodos para que se obtenha o resultado esperado. Para esse trabalho em questão, será abordado a medida convencionais que incluem revestimentos com compostos orgânicos. No entanto também será tratado na pesquisa a utilização de revestimentos metálicos como método preventivo.

3.4.1 Revestimento com compostos orgânicos

O revestimento de superfícies metálicas com compostos orgânicos é o mais importante de todos os métodos para a prevenção contra a corrosão, e corresponde a cerca de metade dos custos despendidos em medidas de prevenção da corrosão. Da aplicação destes revestimentos, resulta uma fina barreira entre a estrutura metálica e o meio corrosivo. Por vezes, são também meios complementares de outros tipos de proteção contra a corrosão (FLORES E BRITO, 2005).

Tintas, vernizes, lacas e diversos outros materiais poliméricos orgânicos são normalmente usados para proteger metais de ambiente corrosivos. Estes materiais proporcionam barreiras finas, fortes e duráveis que protegem o substrato metálico dos ambientes corrosivos. Em termos de peso, a utilização de revestimentos orgânicos constitui o principal método usado na proteção anticorrosiva dos materiais metálicos (FLORES E BRITO, 2005).

3.4.1.1 Preparo da superfície

Os revestimentos adequados têm de ser selecionados e aplicados corretamente sobre

superfícies bem preparadas. Em muitos casos, o mau comportamento das tintas deve-se a uma má preparação das superfícies e/ou a uma má técnica de aplicação (FLORES E BRITO, 2005). Segundo Pannoni (2011) a remoção da superfície metálica de materiais que possam impedir o contato direto da tinta com o aço, tais como pós, gorduras, óleos, combustíveis, graxas, ferrugem, carepa de laminação, resíduos de tintas, etc. O nível requerido de limpeza superficial variará de acordo com as restrições operacionais existentes, do tempo e dos métodos disponíveis para a limpeza, do tipo de superfície presente e do sistema de pintura escolhido, uma vez que as tintas possuem diferentes graus de aderência sobre as superfícies metálicas.

Os padrões de grau de limpeza descritos na Norma ISO 8501-1 redigida pela Associação Brasileira (ABRACO):

- **St 2:** Limpeza manual, executada com ferramentas tais como escovas, raspadores, lixas e palhas de aço;

- **St 3:** Limpeza mecânica executada com ferramentas tais como escovas rotativas, pneumáticas ou elétricas;

- **Sa 1:** É o jato ligeiro (brush off). A superfície resultante deverá encontrar-se inteiramente livre de óleos, graxas e materiais como carepa, tinta e ferrugem soltas. A carepa e a ferrugem remanescentes poderão permanecer, desde que firmemente aderidas. O metal deverá ser exposto ao jato abrasivo por tempo suficiente para provocar a exposição do metal base em vários pontos da superfície sob a camada de carepa;

- **Sa 2:** Chamado de jato comercial. A superfície resultante do jateamento poderá apresentar manchas e pequenos resíduos devidos à ferrugem, carepa e tinta. Pelo menos 2/3 da área deverá estar isenta de resíduos visíveis, enquanto o restante será limitado pelas manchas e resíduos;

- **Sa 2 ½:** Chamado de jato ao metal quase branco. É definida como superfície livre de óleo, graxa, carepa, ferrugem, tinta e outros materiais, podendo apresentar pequenas manchas claras devidas a resíduos de ferrugem, carepa e tinta. Pelo menos 95% da área deverá estar isenta de resíduos visíveis, sendo o restante referente aos materiais acima mencionados;

- **Sa 3:** Conhecido como jato ao metal branco. Após a limpeza, o aço deverá exibir cor metálico uniforme, branco-acinzentada, sendo removidos 100% de carepas e ferrugens. A superfície resultante estará livre de óleos, graxas, carepa, tinta, ferrugem e de qualquer outro depósito.

A superfície metálica deverá ser previamente lavada com água e tensoativos neutros, esfregando-se com uma escova de nylon. Após a lavagem, secar a superfície naturalmente ou com ar comprimido limpo (isento de óleo) e seco. Esta providência é necessária, pois as operações de escovamento e jato não removem óleos, gorduras e sais da superfície exigida (ABRACO, 2007).

3.4.1.2 Aplicação de tintas

A proteção contra corrosão através de pintura consiste em criar uma barreira impermeável protetora na superfície exposta do aço através da aplicação de esmaltes, vernizes, tintas e plásticos, com as seguintes etapas: limpeza da superfície através de escovação, aplicação de solventes e a jacto, aplicação de primário (aderência), subcapa (intermédia) (dar espessura ao sistema) e camada final - acabamento (barreira protetora além da finalidade estética) (FLORES EBRITO, 2005).

A pintura é o principal meio de proteção das estruturas metálicas. Tintas são suspensões homogêneas de partículas sólidas (pigmentos), dispersas em um líquido (conhecido como veículo), em presença de componentes em menores proporções, chamados de aditivos (PANNONI, 2011).

Ainda segundo Pannoni (2011), os pigmentos são pós, orgânicos ou inorgânicos, finamente divididos (aproximadamente 5 mm de diâmetro). Em suspensão na tinta líquida, são aglomerados pela resina após a secagem, formando uma camada uniforme sobre o substrato. Os pigmentos promovem a cor, opacidade, coesão e inibição do processo corrosivo, e também a consistência, a dureza e resistência da película.

Quantas mais camadas forem aplicadas, mais espesso é o revestimento, garantindo uma proteção maior. Para se obter um mínimo de garantia, são necessárias quatro camadas: duas camadas primárias; uma subcamada e uma camada final (FLORES E BRITO, 2005).

Após as normas de limpeza definidas pela ABRACO (2007) se dá início ao processo descrito anteriormente que será representado no Quadro 2:

Quadro 2: Tipos de camadas no processo de pintura e métodos de aplicação.

Processo	Aplicação
CAMADA PRIMÁRIA	A camada primária deve ser aplicada logo que o metal tenha sido decapado e deve cobrir todos os elementos, saliências, rebites e soldaduras. Os primários são escolhidos em função da superfície e do meio ao qual está vai estar exposta e divididos segundo a forma como desempenham a sua função de proteção.
SUBCAMADA OU CAMADA INTERMEDIARIA	São tintas que possuem as propriedades necessárias para serem aplicadas sobre um primário e servir de base a outra camada de tinta, frequentemente o acabamento. Apresentam propriedades de nivelamento, aderência e opacidade. Aplica-se para aumentar a espessura do revestimento, fortalecendo assim a barreira e impedindo a penetração dos agentes que provocam a corrosão.
CAMADA FINAL OU ACABAMENTO	Têm como função o aspecto decorativo e também proteger o primário do meio ambiente, para que este possa desempenhar a sua função sem ser degradado. Fornecem cor, brilho e têm de apresentar boa resistência ao meio ambiente ao qual vai ser expostos e características especiais como ser anti-raízes, anti-vibração, entre outras.

As várias camadas de pintura devem, naturalmente, ser compatíveis entre si. Eles podem pertencer à mesma família ou podem ser muito diferentes. Uma precaução que sempre deve ser adotada é a de todas as tintas do sistema devem preferencialmente pertencer ao mesmo fabricante. Isso minimizará a possibilidade de ocorrência futura de defeitos tais como a de laminação(PANNONI, 2011).

3.4.2 Revestimentos metálicos

O processo descrito no item 5.4.1.1, são válidos para o revestimento em questão deste assunto, as normas redigidas referentes a limpeza de superfícies segundo a ABRACO são as mesmas independentemente do tipo de revestimento escolhido. No entanto, há uma grande diferença na aplicação do revestimento discutido neste item.

Com o objetivo de separar um material metálico do ambiente corrosivo, usam-se revestimentos metálicos, os quais têm características diferentes das do material que se quer proteger. Os revestimentos metálicos são o método mais antigo e usual contra a corrosão. São dispendiosos, mas a sua duração é superior a tinta (FLORES E BRITO, 2005).

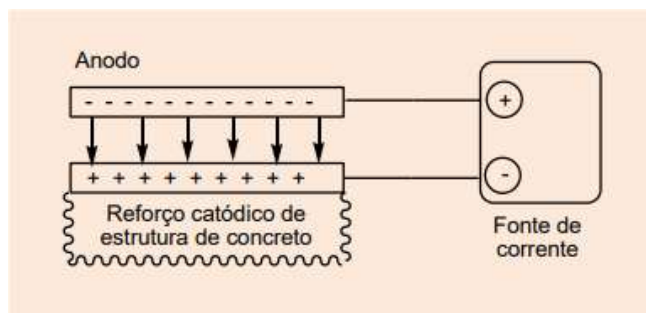
Dois tipos de revestimentos desta natureza podem ser utilizados: os catódicos ou nobreiros de anódicos e os de sacrifício. Os anódicos são preferidos quando o único requisito é a proteção contra corrosão e no meio de exposição o metal de revestimento apresenta baixa taxa de corrosão. Os catódicos são utilizados quando se deseja conferir, além da proteção contra corrosão, uma ou mais propriedades adicionais ao revestimento, tais como condutividade elétrica e resistência à abrasão (PANOSSIAN, 2006).

3.4.2.1 Proteção catódica

Embora a proteção catódica possa ser utilizada com eficiência para a proteção de estruturas metálicas completamente nuas, sua aplicação torna-se extremamente econômica e mais simples quando as superfícies a proteger são previamente revestidas. Sua finalidade, nesses casos, consiste em complementar a ação protetora dos revestimentos que, por melhores e mais bem aplicados que sejam, sempre contêm poros, falhas e se tornam deficientes com o passar do tempo (GENTIL, 2017).

Os protetores catódicos são substâncias que possuem íons metálicos capazes de reagir com a alcalinidade catódica, produzindo assim, compostos insolúveis. Esses compostos envolvem toda a área catódica, impedindo a difusão do oxigênio e dos elétrons, inibindo o processo catódico. A eficiência dos protetores catódicos no concreto comparando-os com os anódicos é razoavelmente baixa (FRAUCHES-SANTOS, *et al.*, 2013). A Figura 8 representa como ocorre este tipo de proteção.

Figura 8: Representação da proteção catódica.



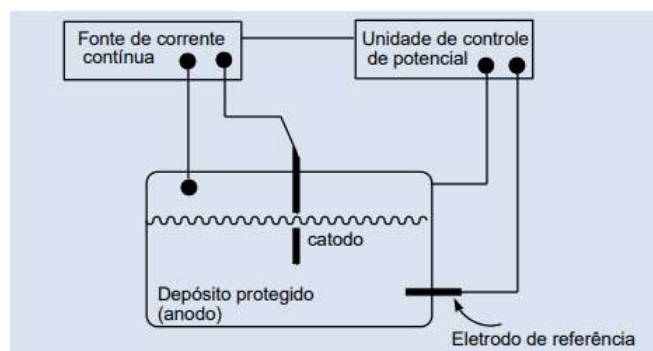
Fonte: Frauches-Santos, *et al.*, 2013.

3.4.2.2 Proteção anódica

Os protetores anódicos são aqueles que atuam nas reações anódicas, ou seja, aqueles que migram para a superfície anódica, causando passivação em presença de oxigênio dissolvido. Este tipo de protetor reage com o produto de corrosão inicialmente formado, dando origem a um filme aderente e extremamente insolúvel em sua superfície, resultando em sua proteção (FRAUCHES-SANTOS, *et al.*, 2013.)

A proteção anódica é empregada com sucesso somente para os metais e ligas formadores de películas protetoras, especialmente o titânio, o cromo, ligas de ferro-cromo e ligas de ferro-cromo-níquel. O seu emprego encontra maior interesse para eletrólitos de alta agressividade (eletrólitos fortes), como por exemplo, um tanque metálico para armazenamento de ácidos. A proteção anódica, não só propicia a formação da película protetora, mas principalmente, mantém a estabilidade desta película. O emprego de proteção anódica é ainda muito restrito no Brasil, porém, tem grande aplicação em outros países na indústria química e petroquímica (FRAUCHES-SANTOS, *et al.*, 2013.). A Figura 9 ilustra essa proteção.

Figura 9: Representação da proteção anódica.



Fonte: Frauches-Santos, *et al.*, 2013.

4 METODOLOGIA

Por se tratar de um tema no qual exige muitas observações e conhecimentos bibliográficos, para este trabalho, a forma de exposição será o estudo de caso. É uma investigação de natureza teórica qualitativa, de forma a obter uma análise mais abrangente da investigação em questão, seguindo etapas metodológicas para o desenvolvimento dessa pesquisa que será descrito posteriormente.

Como realizado nesse projeto, a primeira etapa consiste em uma pesquisa do tema corrosão em estruturas metálicas, na qual terá como referências bibliográficas, pesquisas realizadas anteriormente, mostrando-se necessário no decorrer do estudo, a procura por mais fontes de pesquisa, podendo ser acopladas no estudo final. A pesquisa tem como foco a corrosão em estruturas metálicas com foco no aço, envolvendo os mecanismos, causas, consequências, e procedimentos para solucionar problemas decorrentes dessa patologia e possíveis métodos preventivos.

Posteriormente, foi feita uma visita de campo na edificação foco do nosso estudo. Analisando de forma cuidadosa cada um dos pilares metálicos, com fins de identificar patologias oriundas do processo corrosivo. O ambiente no qual interage os pilares de estudo também foi analisado, onde através de registro fotográficos, analisados individualmente, identificamos patologias decorrentes da corrosão e influência do ambiente nesse processo.

A terceira etapa consiste em descrever o que foi visto na visita de campo, levantando questionamentos a respeito do que foi encontrado, o identificando e buscando soluções a respeito dessa questão através de referências bibliográficas utilizadas.

Por fim e não menos importante, chegaremos a uma conclusão sobre o que foi estudado no trabalho.

Conforme as etapas realizadas nesse trabalho, possibilitou-se uma maior simplicidade no processo percorrido, pois não faz parte do objetivo desse estudo etapas de verificações laboratoriais que envolvessem aspectos das propriedades físicas e químicas dos elementos em estudo.

Metodo semelhante foi realizado por Sacchi e Souza (2016) na pesquisa sobre manifestações patológicas e controle de qualidade na montagem e fabricação de estruturas metálicas. No qual o autor realizou uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto, seguido de uma visita técnica ao local de estudo e com base nos referencias teóricos foi possível a eles chegar a uma conclusão sobre o tema apresentado.

4.1 Apresentação do estudo de caso

O foco de estudo do presente trabalho é a cobertura metálica da quadra poliesportiva do colégio municipal Pe. Januário Campos, localizado no município de Iguatu-CE (Representado na Figura 10). A cidade se caracteriza por possuir clima quente de baixa umidade relativa do ar, fortes radiações solares e temperaturas que podem chegar à casa dos 40°.

Figura 10: Mapa da localidade da cidade de Iguatu-CE.



Fonte: ibge.gov.br.

Esta cobertura tem pilares metálicos treliçados como base para sua sustentação, pilares estes, que são objeto de estudo sobre as manifestações patológicas com o foco no processo corrosivo para fomentar o desenvolvimento da pesquisa. A cobertura metálica mostrada na Figura 11 é utilizada para proteger a quadra dos intemperismos climáticos, bem como estabelecer a segurança do público que a frequenta, abrangendo desde crianças que fazem parte da instituição de ensino, como pessoas da comunidade em geral que procuram a

prática de esportes.

Figura 11: Quadra poliesportiva do colégio municipal Pe. Januário Campos.



Fonte: Autor (2021).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Ambiente de pesquisa

A estrutura foi inaugurada em 2008, e desde então, foi relatado que não houve manutenção de nenhum tipo nas estruturas. O local não é pavimentado, o que deixa o ambiente exposto às partículas de areia transportadas no vento, e não há qualquer proteção que evite o contato dos objetos das práticas de esporte com os pilares, deixando-os expostos a pancadas.

A exposição ao intemperes climáticos é constante, na maior parte do ano ao sol, e a chuvas com menor frequência. A falta de drenagem no local agrava ainda mais as épocas chuvosas, relatado por funcionários que em épocas de temporais, por falta de escoamento forma-se um volume de água que chega a cobrir parte das bases dos pilares, a depender da intensidade.

A vegetação é outro fator relatado que deve ser mencionado, já que em durante os dois anos de pandemia por faltas de aulas e de utilização da edificação, não houve qualquer forma de manutenção, o que deixava a vegetação em contato direto com os pilares. Devido a volta às

aulas presenciais, foi feito esse reparo como mostra a Figura 12, o que não nos permitiu fotografar de forma a expor neste trabalho, mas que se no decorrer da pesquisa ficar comprovado que teve influência direta nas patologias apresentadas, será levado em conta.

Figura 12: Pilar que constituem a cobertura metálica.



Fonte: Autor (2021).

As estruturas são fixadas em bases de concreto através de parafusos e porcas, evitando assim contato direto com o solo. Essas bases variam de comprimento para cada pilar, fazendo assim que alguns fiquem mais próximos, e outras mais distantes do solo. As treliças que constituem os pilares são soldadas a estrutura.

Observado os 10 pilares que compõe a estrutura, é perceptível os processos corrosivos dos mais diversos tipos e degradações. Fica notório nas observações feitas que boa parte dos pilares se encontram comprometidos do ponto de vista estrutural devido ao avançado processo de corrosão.

5.2 Tipos de corrosão encontrado

Visualmente, o processo corrosivo foi percebido em todos os pilares da estrutura sem exceção. Foi possível identificar no local tipos distintos de corrosão, na qual ficou evidente que a mais comum, presente em todos os pilares, é a corrosão uniforme. A corrosão localizada é notória em todas as bases, devido ao acúmulo de água na época do inverno. Como também ficou evidente a falta de camadas protetoras, o que explica em partes as corrosões uniformes encontradas.

Independentemente do tipo de corrosão definida neste trabalho, é perceptível que as causas de todas elas são as mesmas, variando os mecanismos de acordo com a particularidade de cada tipo. Para que se possa ter uma melhor compreensão e sistematização da análise, será listado a seguir os principais tipos de corrosão que iniciaram a degradação dos elementos, bem como seu procedimento de formação, e nos tópicos seguintes, será listado as causas que provavelmente motivaram a formação desses mecanismos.

5.1.1 Corrosão uniforme

Como falado anteriormente, esse tipo de corrosão foi o mais presente na investigação, sendo identificado em todos os pilares. Ela é observada em praticamente toda a extensão do pilar, e já consumiu parte considerável da espessura por se encontrar em um estado bastante avançado, como mostrado na Figura 13 e Figura 14.

Figura 13: Corrosão uniforme no pilar da estrutura metálica.



Fonte: Autor (2021).

Figura 14: Corrosão uniforme no pilar da estrutura metálica.



Fonte: Autor (2021)

O mecanismo gerador deste problema está relacionado ao meio no qual o objeto está inserido, a radiação solar na qual esses pilares se encontram expostos durante todo o dia danificam ao longo do tempo a camada protetora tornando-a ineficaz, e não tomadas as medidas cabíveis, este processo se dá início. O processo ainda é acelerado durante o inverno, quando em contato com água das chuvas.

Outro fator relevante é a falta de proteção dos pilares a contatos que ocasionam riscos na estrutura, proporcionado pela prática de esportes, como pancadas quando em contato com bolas, podendo ocasionar a quebra na camada protetora, dando início ao processo corrosivo. Quando tocamos nesse caso em específico, não requer muito tempo para que ele aconteça, podendo na primeira utilização acontecer um impacto suficientemente capaz de riscar a camada protetora que envolve o pilar. Podemos estar falando de um processo que se deu início desde a sua primeira utilização se levarmos em conta esses aspectos.

Como foi relatado que durante toda a pandemia essas estruturas ficaram em contato com a vegetação local, que de fato se deve atribuir uma parcela de responsabilidade. O processo conhecido como fotossíntese pode ser bastante nocivo quando se fala do processo

corrosivo, já que no processo envolve presença de sais e água, elementos aceleradores quando falamos de corrosão. Unindo esse processo à falta da camada protetora, sem sombra de dúvidas, se torna um aliado a este tipo de corrosão.

5.1.2 Corrosão por frestas

Foi analisada diversas rupturas localizadas na base dos pilares, em alguns casos tem-se a perfuração da superfície exposta. O acumulo de impureza é algo bastante comum nos locais onde foram encontrados essa forma de corrosão, muitas delas chegam a cobrir a superfície deixando-a imperceptível a olho nu, ao passar a mão para retirar partes da impureza, vê-se o estado avançado na qual se encontra a estrutura. Veremos de forma ilustrativa a situação descrita na Figura 15.

Figura 15: Impurezas e corrosão por frestas na base do pilar.



Fonte: Autor (2021)

Foi observado que os pilares que se encontravam nas bases de concreto mais próximos do solo apresentaram este tipo de corrosão de forma mais avançada. Em pilares com um nível mais elevado do solo, essa forma de corrosão não aparece. Fica evidente se percebermos que o local não possui pavimento, e que pilares mais próximos do solo tem maior acumulo de impurezas devido a partículas conduzidas pelo vento. Se for feita uma breve observação na base do pilar da Figura 15 e na Figura 16, fica notório a diferença de acumulo de impurezas.

Figura 16: Impurezas e corrosão por frestas na base do pilar.



Fonte: Autor (2021)

5.1.3 Corrosão por pite

Essa forma de corrosão foi encontrada em apenas um de todos os dez pilares analisados. Não tinha excesso de impurezas no local onde foi encontrado, mas pela forma como já estava se manifestando na estrutura, mostra um processo avançado deste tipo de corrosão. É bastante difícil de identificar inicialmente esse tipo de corrosão, geralmente por começarem de dentro da estrutura para fora dela. Ela só se torna notória a nossa vista quando já está em estado avançado a degradação na estrutura, como mostrado na Figura 17.

Figura 17: Corrosão por pite em pilar da estrutura metálica.



Fonte: Autor (2021)

O que chama atenção é que de todos os pilares essa manifestação está presente em apenas um. Logo se debruçando nos referenciais teóricos deste trabalho, foi feita uma investigação minuciosa para conseguir identificar fatores que levaram apenas essa estrutura a apresentar essa forma de corrosão. Foi notado que essa estrutura, diferente das outras, passou por reparo devido a solda da treliça do restante da estrutura. Ela foi novamente soldada à estrutura, porém, os devidos cuidados após realizar este tipo de manutenção não foram seguidos, deixando a estrutura vulnerável.

5.2 Falhas na execução

Sacchi e Souza (2016) afirma que devido às condições particulares de cada obra, como acessibilidade, topografia local, disponibilidade de canteiro, tipo de estrutura, entre outras, a montagem estará sujeita a desafios específicos e próprios de cada empreendimento. É relevante complementar a esse pensamento deles, que a finalidade para qual a obra está sendo executada também é de extrema relevância na hora de ser feito o projeto.

Outro fator importante na execução de obras, é que o controle de qualidade nem sempre é visto quando se trata de obras públicas. Sacchi e Souza (2016) já destacava a

importância ao falar que, o controle de qualidade reúne todas as atividades que visam a prevenção de falhas de projeto, fabricação e montagem, não se restringindo somente à função de inspeção. Além da verificação das matérias-primas, do produto em fabricação, da montagem, das ferramentas e dos calibradores, inclui a investigação das causas dos defeitos, a escolha dos métodos e dos planos de inspeção, a análise dos dados relativos às perdas e a determinação do nível de qualidade desejado no mercado.

Quando se trata de corrosão e quando se investiga esses casos em particular, vemos que o controle de qualidade é indispensável nesta área. Neste estudo podemos perceber notoriamente a falta dessa preocupação por parte de quem executou a obra, com todos os fatores que envolvem a execução do projeto. No que se trata de controle de qualidade, é nítido que na execução do processo de soldagem dos materiais, em destaques para as treliças da que compõem boa parte dos pilares, e são em seu total soldadas a estrutura, não foram adotadas medidas coerentes com o processo de inibição da corrosão, havendo falhas graves na aplicação como mostra, deixando cordões de soldas defeituosos espalhados nas estruturas como mostra a Figura 19.

Outro fator importante que não foi levado em conta no projeto é a falta de grades nas laterais da quadra que evitem o contato dos objetos da prática de esporte, de forma direta e agressiva com os pilares como mostra a Figura 18. Esse fator é muito importante, estamos falando de uma quadra onde esportes como por exemplo o futebol é praticado, e onde há contato direto e constante da bola com os pilares, e podem acarretar esses processos. Por fim e não menos importante, um total de 5 bases de concreto que dão suporte aos pilares se encontram muito próximos do solo, deixando a base dos pilares muito expostos a impurezas.

Figura 18: Falta das grades laterais.



Fonte: Autor (2021)

Figura 19: Falha no cordão de solda.



Fonte: Autor (2021)

5.3 Falta de manutenção

Não só relatado por funcionário como também ficou perceptível a vista, foi a negligencia por parte dos responsáveis na manutenção da edificação. Muitos dos avançados processos de corrosão poderiam ter sido evitados com a prevenção, na qual ficou evidente que os revestimentos apresentavam patologias não tratadas, como o acúmulo de impurezas que poderia ser evitado com inspeções regulares.

Devido a exposição frequente ao sol e a ações mecânicas, a pintura se destaca por boa parte dos pilares não possuir mais esse revestimento. Onde se encontra resquícios do revestimento o ressecamento, falta de brilho na tinta e a facilidade da mesma se desprender da estrutura é algo que poderia ter sido observado e tomado as medidas cabíveis junto aos responsáveis, o que reforça a negligencia com o caso em questão. É valido ressaltar que estes tipos de patologias nos revestimentos com tintas são facilmente identificados, necessitando apenas da avaliação visual e conhecimentos básicos para que seja identificado e reportado aos especialistas.

A falta de cuidados com a estrutura e um fator relevante, o acúmulo de impurezas nos

leva a crer que não é feito qualquer tipo de limpeza na estrutura. Em todas as estruturas foi encontrado sujeiras devido à falta de limpeza periódica, um processo simples que poderia ser feito por qualquer pessoa não necessitando de especialidade, o que deixa ainda mais evidente a negligência na manutenção na edificação em estudo.

5.4 Consequências das patologias encontradas

O avançado processo corrosivo encontrado na edificação em avaliação acarreta desde custos até a integridade física de quem a frequenta. O fator estético é o primeiro a ser afetado neste tipo de patologia, já que causa uma visão desagradável a quem frequenta a edificação. Conforme esse processo vai evoluído, a estética deixa de ser a maior das preocupações, já que a perda significativa de espessura pode acarretar comprometimento de toda a estrutura que cobre a edificação.

A estrutura em análise foi constituída por um número considerável de pilares, e a mesma recebe esforços abundantes da ação do vento devido a sua altura elevada, os pilares que perderam a espessura da alma nas bases ainda se mantinham fixados. Desse modo, como não foi realizado nenhuma análise estrutural considerando a perda de espessura do aço, pode-se determinar que os efeitos mais prejudiciais a estrutura seriam os efeitos de ordem local.

Conforme os pilares fossem perdendo sua seção transversal, iriam ficando suspensos sob as treliças da cobertura, causando sobrecargas, e podendo levar a estrutura a empenamentos e sobrecargas não previstas em projeto, além de comprometer a estabilidade dos pórticos, contraventamentos, e equilíbrio da edificação.

5.5 Soluções sugeridas

As estruturas metálicas, como qualquer outro tipo de estrutura ou outro tipo de fabricação, requerem padrões que permitam ter uma estrutura de qualidade e durabilidade e se comportem de acordo com o que foi calculado, sem exageros ou negligências (SACCHI E SOUZA, 2016). Partindo dessa afirmação, foi analisado de forma técnica cada caso de corrosão na qual, algumas medidas de recuperação da estrutura devem ser tomadas, de forma a evitar danos maiores.

Analizados todos os pilares, e notável que ambos têm em comum a necessidade de aplicação da limpeza da superfície e posteriormente aplicação das camadas protetoras como designa as normas técnicas. E notório a degradação mais avançada na base de 3 pilares, na qual o processo já se encontra com perda significativa de espessura, sugerindo assim a troca por outros pilares de mesma dimensão e modelo. E por fim, a execução da instalação de

grades de proteção em todo o perímetro da área de jogo da quadra poliesportiva para evitar contatos do material de esporte com os pilares.

5.5.1 Substituição dos pilares danificados

Flores e Brito (2005) já chamava a atenção para o colapso por fadiga, segundo ele. Esta rotura não se inicia a partir ou como consequência da aplicação de uma carga concentrada, mas sim como de um número suficiente de ciclos de carga e descarga, durante um determinado período de tempo. Inicia-se sempre superficialmente a partir de uma irregularidade ou de um defeito, tal como uma ranhura, um bordo em aresta viva ou bordo de soldadura. Tal como acontece com o tipo de rotura frágil, os métodos usuais de cálculo não consideram este efeito e estimam tensões para as zonas de rotura não especialmente elevadas e sempre inferiores aos limites admissíveis impostos.

Tendo em vista essa afirmação, foi notado o risco de ocorrer este tipo de fadiga em 3 dos pilares devido a perda de espessura significativa que ocorreram em ambos. Para propor essa solução foi analisado fatores que interferem no tempo e valor desse reparo, de forma a achar a melhor solução viável para o problema em questão. E tendo em vista que apenas 30% dos pilares apresenta manifestações mais avançadas das patologias, a troca desses pilares por outros pilares de mesmo material e dimensões foi a solução mais viável.

Para execução proposta, apenas a cobertura da edificação deverá ser desmontada viabilizando assim que a troca dos pilares sejam efetuadas sem a necessidade de um novo projeto estrutural. O que do ponto de vista financeiro e bem mais conveniente, como também no tempo de inutilização da edificação requerendo menos tempo comparado a outras formas de execução pensadas para o projeto. O que influenciou de uma forma mais relevante para essa forma de intervenção, e a intenção de realizar algo definitivo de forma a evitar novos reparo desta dimensão na estrutura.

Flores e Brito (2005) reforça que a corrosão estiver num estado avançado, comprometendo a segurança da estrutura, o melhor optar por uma intervenção mais significativa. Parte-se então para o reforço e/ou substituição do elemento afectado. Por se tratar de uma área relativamente pequena, de difícil acesso e estruturalmente importante, o reforço não deve ser encarado como uma solução definitiva. O ideal é fazer-se um trabalho conjunto de reforço e substituição dos componentes afectados. Método semelhante foi feito na ferrovia metálica em Oeiras, onde a substituição do material danificado foi a solução mais acessível para o problema como mostra a Figura 20.

Figura 20: Substituição das pontes ferroviárias metálica, em Oeiras.



Fonte: Flores e Brito, 2005.

Devido à necessidade de responder aos atuais critérios de dimensionamento e possibilitar a entrada ao serviço de novas composições, a opção tomada para as pontes metálicas de Oeiras foi a substituição. A solução de substituição encontrada foi a melhor do ponto de vista técnico e económico, dado que uma ação de reforço estrutural implicaria custos de obra elevados e implicaria sempre despesas de conservação, para além de incertezas na duração dos elementos aproveitados (FLORES E BRITO, 2005).

5.5.2 Limpeza e pintura dos pilares

A necessidade da limpeza superficial e a proteção em todos os 10 pilares estudados é necessário. Essa metodologia segue normas técnicas já detalhadas neste trabalho e que deve ser aplicada pelo profissional que irá realizar a execução do procedimento, sendo ele apto a realizar tais processos. Tal procedimento é essencial para evitar uma evolução maior da patologia e da estética do material. Este procedimento pode ser executado sem a necessidade da retirada da estrutura do local, tornando assim bastante acessível.

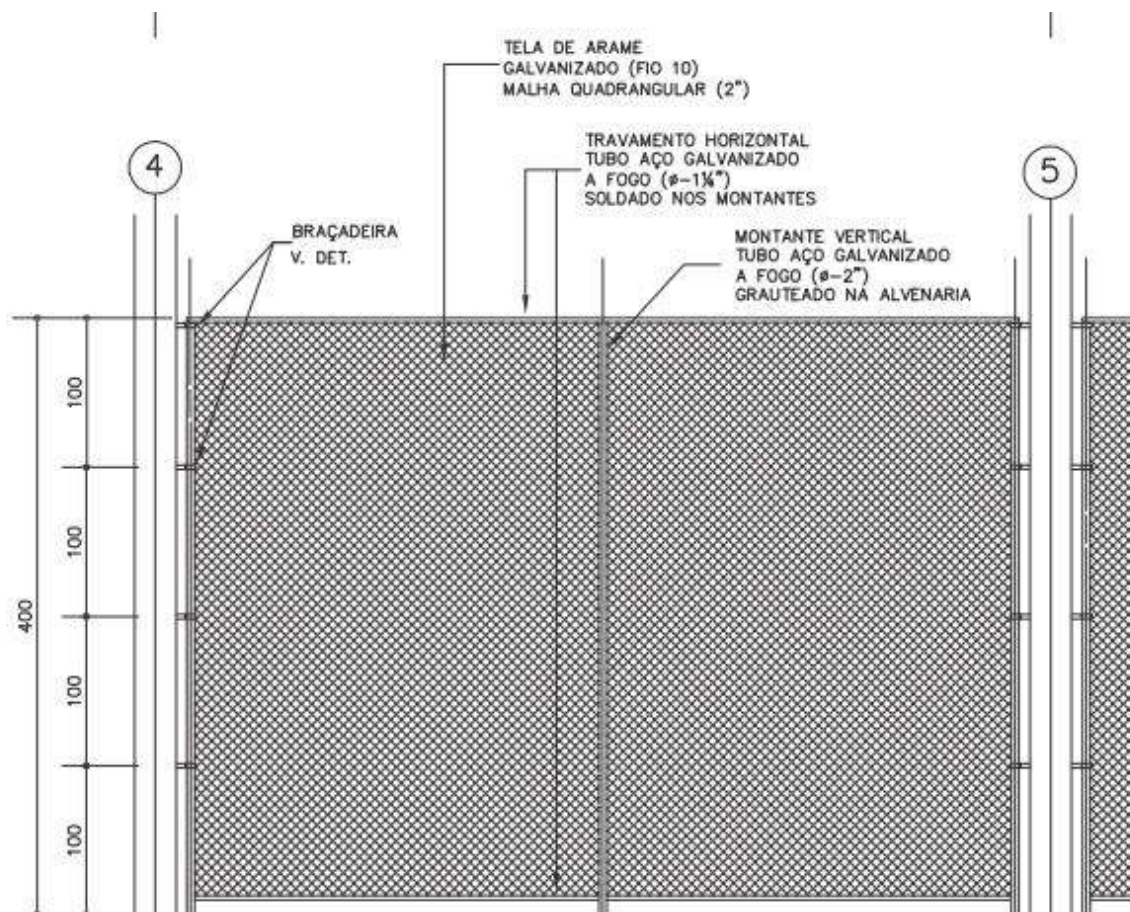
5.5.3 Execução tela metálica

Para proteger os pilares de impactos que possam facilitar o processo corrosivo é essencial a aplicação de telas metálica no perímetro da quadra. Este tipo de telas é muito comum em quadras esportivas, inclusive na edificação em estudo possui essas telas, mais por motivos desconhecidos não cobre todo o perímetro da quadra deixando todas as duas laterais na qual possui 10 metros de comprimento cada lado totalizando 20 metros sem essa proteção.

Alguns projetos podem servir como base para essa execução já que a metodologia de instalação desse equipamento é geralmente semelhante. Um projeto da Figura 21 realizado

para grade de proteção de uma quadra esportiva em Paulínia-SP pode ser usado como base para executar na edificação em estudo.

Figura 21: Projeto alambrado para quadra esportiva de Paulínia-SP.



Fonte: <http://www.paulinia.sp.gov.br/>.

Fazendo as devidas modificações de materiais de acordo com a mudança de localidade da edificação de estudo e na qual foi retirado este projeto para adaptação, a realidade da localização da nossa edificação, se torna totalmente viável essa instalação. Tendo em vista que ambas têm aspectos semelhantes em seus formatos, requer pequenas mudanças no projeto ao projetista que ficar a cargo de analisar.

6 CONCLUSÃO

Estruturas metálicas são bastantes comuns nas edificações em estudo, porem e necessário cuidados desde a realização do projeto até a execução da obra. Fatores como clima, radiação solar e o ambiente de utilização dessas estruturas devem ser levados em conta. No entanto mesmo depois de finalizada, continuará requerendo cuidados específicos e observações constantes de forma preventiva.

A patologia em estudo nesse trabalho pode se manifestar de formas diferentes a depender do ambiente exposto, sendo de extrema importância identificar para que possa ser iniciado os devidos tratamentos na estrutura. A falta dos procedimentos adequados pode acarretar outras patologias desencadeada pela corrosão.

O caso analisado apresenta problemas patológicos de causas diversas, desde erros na concepção estrutural, falta de manutenção dos revestimentos da estrutura até ambientes altamente propensos para corrosão, tanto devido as características desse ambiente, como a negligencia dos responsáveis pela edificação que acabam facilitando a agressividade da corrosão através da má conservação da estrutura e a exposição a eletrólitos.

O tempo e um fator importante na corrosão, principalmente quando no decorrer dele a falta de manutenção e algo comum. Podemos concluir que apesar de erros na execução da obra e no projeto, o principal fator responsável pelas patologias vista neste trabalho e a falta de manutenções periodicas no local.

No termino do presente trabalho, fica evidente que apesar dos custos regulares para manutenção das estruturas metálicas a prevenção ainda e a melhor forma de evitar tanto, custos maiores, como a segurança dos frequentadores da edificação.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO. **ISO 8501-1:2007**: Graus de preparação de superfícies. 2 ed. Rio de Janeiro, 2007.

CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. **CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS: UMA INTRODUÇÃO**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

FLORES, Inês; BRITO, Jorge de. **PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE CONSTRUÇÕES EM ESTRUTURA METÁLICA**. Apointamento da Cadeira de Reabilitação de Edifícios. Agosto de 2005.

Frauches-Santos, C.; Albuquerque, M. A.; Oliveira, M. C. C.; Echevarria, A. **A CORROSÃO E OS AGENTES ANTICORROSIVOS**. *Rev. Virtual Quim.*, 2014.

GENTIL, Vicente. **CORROSÃO**. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2017

PANNONI, Fábio Domingos. **PRINCÍPIOS DA PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS EM SITUAÇÃO DE CORROSÃO E INCÊNDIO**. 5. ed. Rio de Janeiro: Gerdau, 2011.

PANOSSIAN, Zehbour. **REVESTIMENTOS METÁLICOS PARA PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO**. Congresso Latino Americano de Corrosão. Fortaleza, 2006.

PRAVIA, Z. M. C.; BETINELLI, E. A. **FALHAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS: CONCEITOS E ESTUDOS DE CASO**. Curso de Engenharia Civil da FEAR –UPF.

SACCHI, Caio César; SOUZA, Alex Sander Clemente de. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E CONTROLE DE QUALIDADE NA MONTAGEM E FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS. **REC. - REVISTA ELETRÔNICA DE ENGENHARIA CIVIL**, [s.l.], v. 13, n. 1, 31 ago. 2016. Universidade Federal de Goiás. <http://dx.doi.org/10.5216/reec.v13i1.41214>.

SILVA, Sabrina Neves da. **ESTUDO DA CORROSÃO NO SOLO DE AÇOS PARA DUTOS PROTEGIDOS CATODICAMENTE**. Dissertação para obtenção de título de Mestre em Engenharia UFRGS. Porto Alegre, 2007.