



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MAURÍCIO LIMA PEREIRA DA SILVA

**ANÁLISE E ESTUDO DA CORROSÃO EM CONCRETO ARMADO NA
FABRICAÇÃO DE POSTES EM UMA EMPRESA DE TELECOMUNICAÇÕES NA
CIDADE DE PEREIRO - CE**

MOSSORÓ

2022

MAURÍCIO LIMA PEREIRA DA SILVA

**ANÁLISE E ESTUDO DA CORROSÃO EM CONCRETO ARMADO NA
FABRICAÇÃO DE POSTES EM UMA EMPRESA DE TELECOMUNICAÇÕES NA
CIDADE DE PEREIRO - CE**

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

Orientador: Dra. Josy Eliziane Torres Ramos

MOSSORÓ

2022

© 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.

S586a Silva, Maurício.
Análise e estudo da corrosão em concreto armado na fabricação de postes em uma empresa de telecomunicações na cidade de Pereiro - CE / Maurício Silva. - 2022.
57 f. : il.

Orientadora: Josy Eliziane Torres Ramos.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2022.

1. Corrosão. 2. Manifestações patológicas. 3. Poste. 4. Telecomunicações. I. Torres Ramos, Josy Eliziane, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

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.

MAURÍCIO LIMA PEREIRA DA SILVA

**ANÁLISE E ESTUDO DA CORROSÃO EM CONCRETO ARMADO NA
FABRICAÇÃO DE POSTES EM UMA EMPRESA DE TELECOMUNICAÇÕES NA
CIDADE DE PEREIRO - CE**

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

Defendida em: 01 / 11/ 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Josy Eliziane Torres Ramos (UFERSA)
Presidente

Prof. Dra. Shirlene Kelly Santos Carmo (UFERSA)
Membro Examinador

Prof. Dra. Aline Mara Maia Bessa (UFERSA)
Membro Examinador

Dedico esse trabalho ao meu pai Fransueldo Pereira da Silva (In Memoriam), exemplo de pai, guerreiro e sempre apostou na educação como o berço para o futuro. A minha avó Maria Vaz de Lima (In Memoriam), que foi professora e responsável pela educação da família. Ao meu grande amigo Nycollas de Souza Maciel (In Memoriam) sempre estará presente em minhas lembranças.

A minha mãe Ana Maria de Jesus Lima da Silva e meu irmão Marcelo Lima Pereira da Silva (presntes) que sempre me apoiaram e me deram forças para continuar em busca dos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos

Agradeço ao Pai Celestial que esteve sempre presente em todos meus momentos de alegrias, tristezas, euforias, e me deu suporte mesmo para quando se parecia que estava tudo perdido e ainda assim proporcionou os melhores momentos em minha jornada por este curso.

À orientadora Prof^a Dra. Josy Eliziane Torres Ramos, uma mulher empoderada e excelente professora, por acreditar no meu potencial e pela maestria do seu tempo investido e dedicado a este trabalho, e que acima de tudo fez o papel de uma excelente orientadora mostrando o caminho e cada passo a ser trilhado.

Às professoras Dra. Sanderlir Dias e Dra. Shirlene Kelly Carmo que são exemplos de mulheres pelas quais tive o prazer de ser aluno e aprender com as mesmas.

A minha família, que me deu força e suporte para chegar até aqui e realizar essa conquista.

A Marcksuel Moreira Moraes, um amigo que apesar das adversidades, sempre esteve presente e que é uma inspiração para mim, em seu nome, estendo a todos amigos.

A Maria Vitória Alves da Silva, uma irmã que adquirir no ensino médio e que sempre apostou em mim além dos cuidados.

A Marcos Vinícius de Oliveira Rezende, professor de matemática e diretor de turma do ensino médio, como chamo (Pai Gordo), me mostrou o caminho certo a ser trilhado e apostou suas fichas no meu potencial para meu desenvolvimento, em seu nome, estendo a todos os professoras da EEEP Professora Maria Célia Pinheiro Falcão.

A Maria Suiane Fialho da Silva, por ser uma amiga além do trabalho e que desde o início me apoiou e me deu forças no meu dia a dia, tendo total influência para a pessoa que me tornei hoje, em nome dela a todos os amigos e colegas de trabalho.

A Hebert Vinicius Santos Rêgo, um irmão que a ordem DeMolay me proporcionou e que pode me trazer vários ensinamentos, em seu nome, saldo a todos irmãos DeMolay e tios da Maçonaria.

A todos meus sinceros agradecimentos.

“A menos que modifiquemos à nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”

Albert Einstein

RESUMO

O concreto armado é uma estrutura formada pela união de materiais, como o cimento, areia, água, ar e, principalmente, armações com barras de aço. Tais armações são utilizadas pela sua alta capacidade de resistência as agressividades do meio, e, por isso, para resultados positivos, um bom planejamento e execução dos projetos pelos engenheiros calculistas é de grande importância. O processo corrosivo é intrínseco de todo e qualquer material, uma vez que estes possuem tendência em retornar ao seu estado de natureza. Foi evidenciada a corrosão nas estruturas de concreto armado, fabricados por uma empresa de telecomunicações, por fazerem parte do cotidiano e apresentarem grande importância para a sustentabilidade econômica da empresa e viabilidade de negócio. O presente estudo cumpriu o objetivo de identificar meios preventivos para o fenômeno recorrente de corrosão, analisando o meio corrosivo no qual as estruturas estavam inseridas e propondo possíveis soluções. Com isso, tomou-se de um detalhamento sobre os vários tipos de corrosão, suas causas, consequências e características gerais, evidenciando no estudo a presença da corrosão uniforme e, por meio da ferramenta do triângulo de corrosão, foi possível analisar também o meio que está posto o material de estudo, sendo o ar atmosférico, as condições climáticas que o comportam, os sais minerais do solo e resíduos em geral, , pode-se destacar também a condução de resultados mostrando a corrosão tanto no processo de fabricação como no meio inserido. Portanto, compreende-se por meio desta pesquisa, que as manifestações patológicas são provenientes do processo de fabricação, por utilizar material em estado inapropriado para o uso, bem como as condições de armazenamento e meio inserido para o uso. Com isso, a relevância do presente documento foi, também, instigar o conhecimento acerca do problema abordado, apontando a importância da eficácia de um projeto, bem como identificar possíveis soluções para a minimização desse enigma.

Palavras-chave: corrosão; manifestações patológicas, poste, telecomunicações.

ABSTRACT

Reinforced concrete is a structure formed by the union of materials, such as cement, sand, water, air and, mainly, frames with steel bars. Such frames are used for their high resilience to the aggressiveness of the medium, and therefore, for positive results, good planning, and execution of projects by calculating engineers is of great importance. The corrosive process is intrinsic to all material since they tend to return to their state of nature. The corrosion in reinforced concrete structures, manufactured by a telecommunications company, is evidenced by being part of their daily lives and presenting great importance for the company's economic sustainability and business viability. The present study aimed to identify preventive means for the recurrent corrosion phenomenon, analyzing the corrosive environment in which the structures were inserted and proposing possible solutions. Thus, a detail was taken about the various types of corrosion, their causes, consequences and general characteristics, evidencing in the study the presence of uniform corrosion and, through the corrosion triangle tool, it was also possible to analyze the medium that is put the study material, being atmospheric air, the climatic conditions that behave it, the mineral salts of the soil and residues in general, it can also be highlighted the conduction of results showing corrosion both in the manufacturing process and in the inserted medium. Therefore, it is understood through this research that the pathological manifestations come from the manufacturing process, by using material in an inappropriate state for use, as well as the storage conditions and the environment inserted for use. Thus, the relevance of this document was also to instigate knowledge about the problem addressed, pointing out the importance of the effectiveness of a project, as well as identifying possible solutions to the minimization of this puzzle.

Keywords: corrosion; pathological manifestations, pole, telecommunications.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo corrosivo	21
Figura 2: Pilha de corrosão eletroquímica.....	24
Figura 3: Corrosão uniforme em uma chapa metálica.	26
Figura 4: Parte de uma tubulação em processo de corrosão por placas.	26
Figura 5: Corrosão alveolar.....	27
Figura 6: Corrosão por pite em tudo de aço inoxidável	27
Figura 7: Corrosão intergranular	27
Figura 8: Corrosão filiforme sobre alumínio	28
Figura 9: Esfoliação em liga de alumínio.....	28
Figura 10: Placa com empolamento por hidrogênio	28
Figura 11: Corrosão gráfitica em um tudo feito de ferro cinzento.....	29
Figura 12: Corrosão por dezincificação em parte interna de uma válvula de latão	29
Figura 13: Corrosão transgranular.....	30
Figura 14: Corrosão em componente de tubulação em torno do cordão de solda	30
Figura 15: Triângulo da corrosão	31
Figura 16: Processo de carbonatação	35
Figura 17: Fluxo da pesquisa	40
Figura 18: Ferragem para construção do poste	42
Figura 19: Ferragem para construção do poste	43
Figura 20: Poste disponível para uso.....	43
Figura 21: Poste com corrosão exposta.....	44
Figura 22: Taxa de corrosão em relação ao pH da estrutura.....	45
Figura 23: Fluxograma de processo de fabricação.....	46
Figura 24: Armazenamento de ferragem.....	46

Figura 25: Forma de modelagem	47
Figura 26: Estoque de postes prontos.....	47
Figura 27: Triangulo de corrosão	48
Figura 28: Processo de Compra (A) versus Processo de fabricação (B).....	50

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Ânodo pilha galvânica.....	24
Equação 2: Cátodo pilha galvânica	24
Equação 3: Reação global pilha galvânica.....	24
Equação 4: Diferença de potencial (ddp) da pilha galvânica	25
Equação 5: Potenciais de Redução do ferro e da água.....	34
Equação 6: Reação de transformação do Fe em Fe(II)	34
Equação 7: Reação de transformação do Fe(II) em Fe(III).....	34
Equação 8: Transformação do Fe(III) em ferrugem.....	34
Equação 9: Reação de carbonatação	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Formas de corrosão	26
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGALVA	Associação Brasileira de Galvanização
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACO	Associação Brasileira de Corrosão
A/C	Relação tamanho do poros do concreto
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
CO ₂	Gás carbônico
Ca(OH) ₂	Hidróxido de Cálcio
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
Ca(NO ₂) ₂	Nitrito de Cálcio
DDP	Diferença de potencial
Dr (a)	Doutor (a)
Et al	Colaboradores
Fe	Ferro
Fe ₂ O ₃	Óxido de Ferro
Fe(OH) ₂	Hidróxido de Ferro
Fe(OH) ₃	Hidróxido de Ferro hidratado
Fe ₂ O ₃ H ₂ O	Ferrugem
H ₂ O	Água
NaNO ₂	Nitrito de sódio
NBR	Norma Técnica
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
Prof	Professor (a)
RN	Rio Grande do Norte
ZnOH	Hidróxido de Zinco

LISTA DE SÍMBOLOS

@	Arroba
©	Copyright
®	Marca registrada
%	Porcentagem
\$	Cifrão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
2. OBJETIVOS.....	20
2.1. Objetivo geral	20
2.2. Objetivos específicos.....	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1. Corrosão	21
3.2. Importância da corrosão	21
3.3. Tipos.....	22
3.3.1. Corrosão química.....	22
3.3.2. Corrosão eletroquímica.....	23
3.3.3. Corrosão Eletrolítica.....	25
3.4. Formas de corrosão.....	25
3.5. Triângulo da corrosão.....	30
3.6. Corrosão em concreto armado	31
3.6.1. Concreto	31
3.6.2. Utilização do concreto Armado.....	32
3.6.3. Processo de corrosão no concreto armado.....	33
3.6.4. Carbonatação	34
3.6.5. Fatores que influenciam na Carbonatação.....	36
3.6.5.1. Concentração CO ₂	36
3.6.5.2. Quantidade da água presente nos poros.....	36
3.6.5.3. Relação A/C.....	36
3.6.5.4. Tempo de cura	36
3.6.6. Lixiviação	37
3.7. Métodos de Proteção	37
3.7.1. Resina epóxi e inibidores de corrosão	37

3.7.2. Proteção Catódica	38
3.7.3. Galvanização	38
4. MATERIAIS E METODOLOGIA	40
4.1. Caracterização da área de estudo.....	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
5.1. Análise da corrosão	42
5.2. Triângulo da corrosão.....	48
5.3. Análise de decisão para fabricação no ambiente de estudo.....	49
5.4. Solução para o problema estudado	50
6. CONCLUSÃO.....	53
6.1. Proposta de trabalhos futuros	54
REFERÊNCIAS	55

1. INTRODUÇÃO

Os primeiros registros da utilização do ferro na construção civil datam de 1977, na Inglaterra, com a construção de uma ponte sobre o Rio Severn (BRASIL ARQUITETURA, 2016). De lá até os dias atuais, os avanços foram bastante significativos, passando necessariamente pela Engenharia Química, possibilitando que novos materiais fossem formados a partir da formação de novos compostos dando origem às ligas metálicas.

A priori, no mercado existem aproximadamente 3000 tipos de ferros, o que permite que grandes projetos de engenharia sejam executados, com segurança e sofisticação, além disso, elementos como o meio ambiente, redução de espaços e aspectos financeiros também passaram a ser analisados na hora de decidir qual material a ser utilizado (BRASIL ARQUITETURA, 2016).

Nesta linha de raciocínio, o uso do ferro na construção civil acontece de várias formas, dentre as mais comuns estão: na forma de edificações, onde a estrutura é montada juntamente a outros elementos de aço; na composição de ligas que são utilizadas em edificações de aço, sendo que, por outro lado, também é utilizado dentro da mesma área na fabricação de postes com o uso de vergalhões e barras de transferência. O vergalhão é um ferro nervurado muito utilizado no concreto armado. Já as barras de transferência são utilizadas para permitir a movimentação entre as placas de concreto (BELLAGUARDA; MORESI, 2016).

Além disso, as vantagens de utilização do ferro dizem respeito às várias possibilidades arquitetônicas que se pode dar a um projeto. Também permite a perfeita interação com outros materiais, e o mais importante deles diz respeito à resistência e poder de sustentação de elevadas tensões aos quais são submetidos (BRASIL ARQUITETURA, 2016).

Ademais, mesmo o ferro sendo um metal de fácil oxidação, ele ainda é o material mais utilizado na construção civil, desde pequenos objetos, como torneiras e parafusos, até grandes e elaboradas estruturas de ferro capazes de suportar grandes tensões (HELENE, 1993).

A corrosão consiste num processo de transformação espontâneo, no qual o metal busca voltar ao seu estado natural. Gentil (2012) define como sendo a deterioração do material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos.

De maneira análoga, sem que se perceba, os processos corrosivos estão presentes em nosso cotidiano, pois se manifestam em diversos ambientes, desde o doméstico até o industrial. Essa manifestação é muito comum nas estruturas de concreto armado, muito embora não se apresente apenas nele, e provoca grandes prejuízos a economia do setor de construção civil. Mesmo não sendo observadas pela maioria das economias, o custo com reparos para

recondicionar ou substituir essas estruturas no Brasil tem impacto sob o PIB, no ano de 2015, referente a 4% (quatro por cento)¹. Devido à complexidade do problema, não é tão simples determinar uma solução e muitos profissionais da área se questionam o porquê de apresentar problemas em alguns materiais e não em outros sobre iguais condições. Por essa razão faz-se necessário um estudo profundo dos aspectos relacionados à corrosão.

No presente trabalho será abordado como ocorre a corrosão nas estruturas metálicas utilizadas nas armações dos postes, utilizados na passagem de cabos transmissão de dados de uma empresa de telecomunicações, bem como identificar o motivo da construção dos próprios postes ao invés de comprá-los, a partir do ano 2017, tendo em vista que, a principal fonte de receita da empresa de telecomunicações é o provento de internet e não a fabricação de matéria para seu consumo próprio.

¹ PIB, Produto Interno Brasileiro 2015. **Efeitos da corrosão afetam o PIB de um país, mas podem ser controlados.** Disponível em: <<https://agenciafiep.com.br/2019/03/18/efeitos-da-corrosao-afetam-o-pib-de-um-pais/>>. Acesso em 04 jan. 2022. Estudo realizado pela entidade Internacional Zinc Association (IZA), com apoio da USP.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Estudar a corrosão presente no concreto armado na sede de uma empresa de telecomunicações privada no município de Pereiro - CE. Focar principalmente na construção dos postes analisando as possíveis causas da corrosão e descrevendo uma forma de prevenção e recuperação a ser adotada. Além disso, analisar a escolha da empresa em produzir os postes ao invés de comprá-los.

2.2. Objetivos específicos

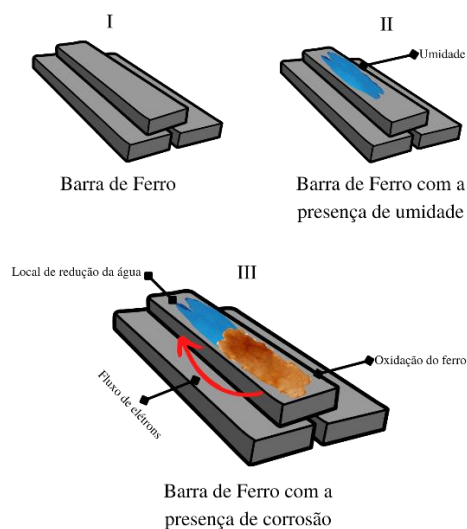
- Entender a ocorrência da corrosão e suas causas, por meio de auxílio da literatura;
- Identificar o tipo de corrosão, como também a forma e as reações químicas do processo corrosivo;
- Aplicar o triângulo de corrosão, demonstrando cada vértice, bem como entender as técnicas e aparatos de proteção;
- Apresentar soluções por meio de embasamento teórico, sejam preventivas e/ou protetivas, para que assim sanasse, então, o problema do estudo de caso.
- Analisar o motivo da fabricação própria da empresa ao invés de adquirir, de forma comercial, os postes;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Corrosão

A corrosão geralmente acontece sobre a superfície que separa o metal do meio, ocorrendo como reação de oxirredução, uma vez que o material oxida doando elétrons para o meio e esse, por sua vez funciona como agente oxidante, recebendo os elétrons doados, podendo ser de forma eletrolítica, eletroquímica ou química (GENTIL, 2011), a Figura 1 mostra uma exemplificação do processo corrosivo em uma placa de ferro.

Figura 1: Processo corrosivo



Fonte: Próprio Autor.2022

A corrosão se aplica de várias formas, e por isso, é importante possuir o conhecimento dessas formas para poder combater ou prever a corrosão de um material específico, gerando menos gastos com posterior tratamento das estruturas corroídas (GENTIL,2012).

3.2. Importância da corrosão

Haja vista, mentalizada como um fenômeno associado em sua maior parte aos materiais metálicos, que, por vezes, a ferrugem, camada formada em decorrência da oxidação de ferro em uma vasta gama de materiais que possuem este elemento em sua composição, a identificação da ferrugem acontece pela cor marrom-avermelhada apresentada no material. A corrosão não está associada exclusivamente a materiais metálicos, possuindo diferentes tipos de matérias suscetíveis a deterioração (GENTIL,2011).

Quanto ao mercado econômico, de uma visão geral estudos apontam que são investidos um alto valor aquisitivo em dinheiro para reparar elementos afetados de tal fenômeno, assim como na prevenção, que por fim, quando se aplica a prevenção, tendo em vista bem efetuada,

evita-se danos colaterais maiores. São em torno de 2,8% de investimento, causado pela corrosão, com o produto interno bruto (PIB), a nível mundial (ABRACO, 2016).

Foi estimado que aproximadamente 5% das receitas de uma nação industrializada sejam gastas na prevenção da corrosão e na manutenção ou substituição de produtos perdidos ou contaminados como resultado de reações de corrosão (CALLISTER, 2012, p. 574).

De acordo com a Associação Brasileira de Galvanização, o PIB em 2013 derivava em torno de 4,8 trilhões, sendo que 4% do valor representava ações destinados a corrosão, provendo em 194 milhões de reais (ABGALVA, 2017). Ainda nessa abordagem, um estudo realizado pela universidade de São Paulo (USP), aponta que, mesmo ao passar dos tempos, no ano de 2015 ainda se matinha o percentual de 4% do valor de representatividade do produto interno bruto (AGÊNCIA SISTEMA FIEP, 2019).

As implicações da corrosão estão presentes nos mais diversos ramos, como na área de construção civil, industrial, pinturas, esculturas entre outras. Assim, esses dispêndios econômicos podem ser classificados como indiretos, causado por perdas que não há possibilidade de quantificar, mas que mesmo assim trazem prejuízo, ou ainda, podem ser classificados como diretos, relacionados aos custos de reparos ou perdas, como também as ações de inibição (GENTIL, 2011).

3.3. Tipos

A corrosão é categorizada, na sua definição, em três tipos: química, eletrolítica e eletroquímica (GENTIL, 2011). Sabendo que se intitula nos processos em que as perdas ocorrem de forma total quando se ocorre em toda a estrutura, parcial de maneira a ocorrer em parte da estrutura ou até mesmo superficial em que apenas a superfície o corpo sofre o ataque de corrosão por um ou mais dos três tipos de corrosão. Vejamos os conceitos dos seus mais diversos tipos, apresentados a seguir.

3.3.1. Corrosão química

Na corrosão decorrente pelo efeito químico, trata-se de quando um agente químico entra em contato um material agindo diretamente sobre o mesmo, não necessitando obrigatoriamente da presença de água e, desta forma, não há a necessidade de transferência de elétrons de um corpo para o outro (MERÇON, et al. 2004).

Nessa linha de raciocínio, podemos destacar como exemplo a deterioração do concreto em diferentes estruturas, como pontes, construções e viadutos, a corrosão do tipo química se

dar por ações de a gente na sua própria formação (areia, cimento e agregados), habitualmente afetando a estabilidade e a durabilidade das estruturas de forma rápida. Dentre os muitos fatores que são responsáveis por ocasionar esses processos, temos os fatores físicos, como a variação de temperatura, biológicos, como as bactérias, mecânicos, como as vibrações e químicos, como os sais (GENTIL, 2011).

3.3.2. Corrosão eletroquímica

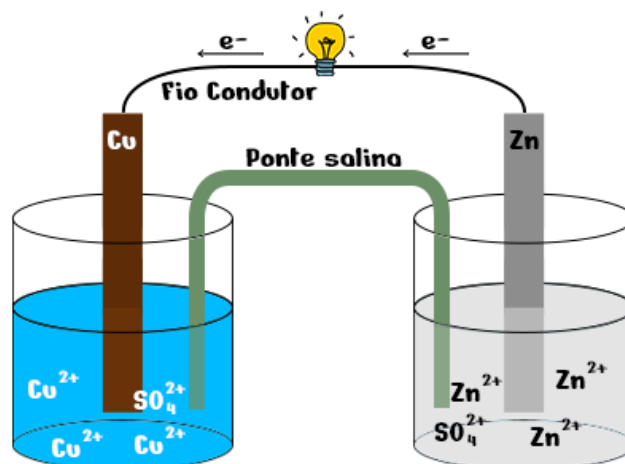
A corrosão eletroquímica acontece de forma espontânea, provendo facilmente quando um determinado metal entra em contato com um ambiente eletrolítico, desta forma é passível da geração das reações envolvidas no meio, ou seja, reações que permitem a trocas de elétrons por meio de ganho (cátodo) e de perda (ânodo) (MERÇON, et al. 2004).

Nessa perspectiva, as reações de oxirredução estão entre si na busca do objetivo em comum que é alcançar o equilíbrio, logo, são chamadas de reações simultâneas. Além disso, podemos destacar que os metais que possuem os maiores potenciais de oxidação são aqueles que doam os elétrons, assim, os mesmos possuem uma facilidade para oxidarem. (GENTIL, 2011).

As reações redox são extraordinariamente versáteis. Muitas reações comuns, como a combustão, a corrosão, a fotossíntese, o metabolismo dos alimentos e a extração de metais de minério, parecem completamente diferentes, mas ao examinarmos essas reações a nível molecular, sob a óptica de um químico, pode-se ver que elas são exemplos de um único tipo de processo (ATKINS, et al. 2018, p.77).

Ademais, esse tipo de corrosão, em sua grande maioria, é evidenciado na natureza caracterizando por ocorrer na presença de água normalmente com a formação de pilhas em temperaturas ambiente. É notório a observância quando se adiciona dois metais distintos ligados a um eletrodo, sendo que o eletrolítico se trata de um condutor iônico ou até mesmo uma solução condutora em que envolve as reações de oxirredução. (MERÇON, et al. 2004). A figura 2 mostra uma exemplificação de uma pilha galvânica em que o processo corrosivo se dar por meio do tipo eletroquímica ocasionando o deterioramento do zinco (Zn) na parte anódica da solução, para que tal reação possa acontecer, apresenta uma ponte salina em que a mesma possibilita a migração de íons entre as soluções.

Figura 2: Pilha de corrosão eletroquímica

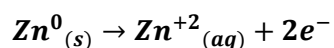


Fonte: VIANA.2021

Desta forma, temos as reações de oxidação e redução que acontecem no ânodo e cátodo respectivamente, como demonstra as equações 1 e 2 abaixo.

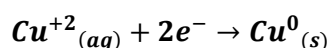
Ânodo (-):

Equação 1: Ânodo pilha galvânica



Cátodo (+):

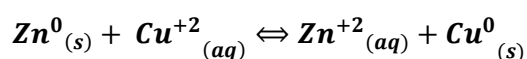
Equação 2: Cátodo pilha galvânica



Acontecendo as reações de oxidação e redução chegamos à reação global que forma a pilha galvânica conforme a equação 3.

Reação global

Equação 3: Reação global pilha galvânica



Logo, podemos fazer uma análise dos potenciais de redução com base nas reações do cátodo e ânodo fazendo uma relação com os índices da tabela periódica. Existe uma classificação para determinar se a reação ocorre de forma espontânea ou não. Quando o a

diferença de potencial (ddp) é positiva a reação é espontânea, quando a ddp é negativa a reação não é espontânea. Quando o metal alcança o equilíbrio com o eletrólito, a diferença de potencial é definida como potencial de equilíbrio (BROWN, et al. 2009). Assim, a equação 4 exemplifica uma reação espontânea, ou seja, possui uma ddp resultante positiva.

Equação 4: Diferença de potencial (ddp) da pilha galvânica

$$\Delta E^{\circ} = (E^{\circ}_{red}(catodo) - (E^{\circ}_{red}(anodo))$$

$$\Delta E^{\circ} = (+0,34 V) - (-0,76 V)$$

$$\Delta E^{\circ} = 1,1 V$$

3.3.3. Corrosão Eletrolítica

Na corrosão por meio eletrolítico ocorre um processo eletroquímico, por meio de uma aplicação de corrente de fora da reação, logo, é desenvolvida uma corrosão de forma não espontânea. Nessa linha de abordagem, a corrosão se manifesta pôr o não isolamento da reação através de correntes de fuga, desta forma, pode evidenciar principalmente em meios comum em vias subterrâneas como tubulações, tanques de gasolina, e em cabos enterrados. Ademais, essas correntes de fugas são decorrentes da ineficiência dos isolamentos ou dos aterramentos com planejamento mal elaborado, logo, são caudados furos que possibilitam o escape de correntes. (MERÇON, et al. 2004).

3.4. Formas de corrosão

Entender as formas como acontecem processos corrosivos é fundamental para análise de prevenção e combate a corrosão, pois a depender da forma explícita de corrosão no material, tem-se medidas paliativas para determinada ação, assim é de suma importância seu estudo tendo em vista o impacto positivo que causa no estudo, embora sejam inúmeras possibilidades e tentativas para determinar as suas formas de corrosão, uma vez detectada o procedimento para que se combata é mais eficaz (PANNONI,2015).

Quadro 1: Formas de corrosão

Uniforme A corrosão se apresenta em torno de toda a extensão superficial do material, causando a aparência de corrosão em toda a peça. Esse tipo também é comumente chamado de corrosão generalizada, embora outros tipos de corrosão também possam se apresentar de forma generalizada, como por pite e alveolar, habitualmente a uniforme é a mais comum, porém, deve-se apresentar um cuidado maior para com ela, uma vez que acarreta a diminuição da espessura do material, podendo ocasionar rupturas na peça (GENTIL, 2011).	Figura 3: Corrosão uniforme em uma chapa metálica.  Fonte: RIJEZA, 2021
Por placas Localiza-se em regiões específicas da peça metálica e não em toda ela, criando placas com escavações, que podem ser retiradas da peça, causando também uma perda de espessura (GENTIL, 2011).	Figura 4: Parte de uma tubulação em processo de corrosão por placas.  Fonte: RIJEZA, 2021

Alveolar

É uma corrosão que se procede formando uma espécie de alvéolos na superfície do material, que possuem uma profundidade menor que o diâmetro e fundo completamente arredondado (VITALI, 2013).

Figura 5: Corrosão alveolar

Fonte: TORINO SOLUZIONI AMBIENTALI, 2018.

Puntiforme ou por pite

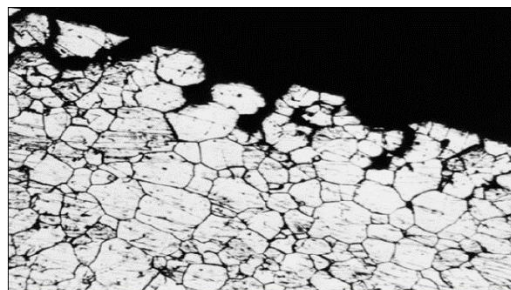
A corrosão puntiforme ou por pite se processa formando furos na superfície do material que percorrem uma extensão maior e chegam mais facilmente ao interior do material. Esses pontos, chamados, pites, possuem grande profundidade e em forma angulosa, e pequeno diâmetro (VITALI, 2013).

Figura 6: Corrosão por pite em tudo de aço inoxidável

Fonte: RIJEZA, 2021.

Intergranular

Acontece na estrutura cristalina do material, entre os grãos, que acabam perdendo suas propriedades mecânicas, podendo quebrar quando o material for submetido a esforços mecânicos (GENTIL, 2011).

Figura 7: Corrosão intergranular

Fonte: GENTIL, 2012.

Filiforme

Ocorre, geralmente, em superfícies com uma fina camada de tinta, que é um composto orgânico. A corrosão forma uma espécie de filamentos finos e com direções variadas, que não se cruzam, pois se acredita que o produto de corrosão apresenta uma carga positiva, explicando a repulsão (VITALI, 2013).

Figura 8: Corrosão filiforme sobre alumínio

Fonte: PORTAL TS, 2019.

Esfoliação

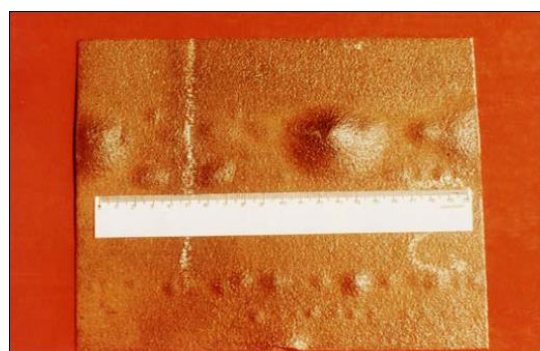
Acontece paralelamente a estrutura metálica em várias camadas, de forma que esse tipo de deterioração ocasiona o inchamento da peça e o desprendimento de placas da superfície do material (VITALI, 2013).

Figura 9: Esfoliação em liga de alumínio

Fonte: VITALI, 2013.

Empolamento de hidrogênio

Tem-se ocasionada, principalmente, pelo hidrogênio atômico que penetra no material, muitas vezes por baixo da tinta, e se transforma em hidrogênio molecular, que é um gás com volume que empurra a película do material ou da tinta, de forma a criar uma espécie de bolha, chamada de empolamento, na superfície (GENTIL, 2011).

Figura 10: Placa com empolamento por hidrogênio

Fonte: GENTIL, 2011.

Grafitica

Processa-se em ferro cinzento fundido em temperatura ambiente. Nesse tipo de corrosão, há a deterioração do ferro, que oxida e a permanência do grafite, de forma que a peça apresenta uma coloração cinzenta, em função do carbono presente, e um vestígio que pode ser removido rapidamente com o auxílio de uma espátula (GENTIL, 2011).

Figura 11: Corrosão grafitica em um tudo feito de ferro cinzento



Fonte: GENTIL, 2011.

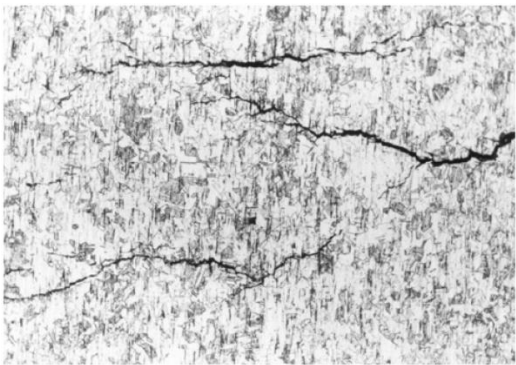
Dezincificação

É o tipo de corrosão que acontece em ligas de cobre e zinco, chamadas de latões. Aqui, por uma diferença de potencial, o zinco se oxida, restando, na superfície, o cobre, apresentando sua coloração avermelhada contrastando com a coloração amarelada do latão (GENTIL, 2011).

Figura 12: Corrosão por dezincificação em parte interna de uma válvula de latão



Fonte: GENTIL, 2011.

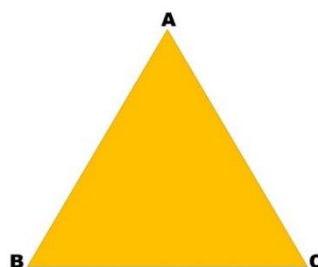
Transgranular Acontece diretamente nos grãos presentes na estrutura cristalina, que da mesma forma da corrosão intergranular, perde suas propriedades mecânicas, ocasionando, em alguns casos, a ruptura da estrutura (GENTIL, 2011).	Figura 13: Corrosão transgranular  Fonte: GENTIL, 2011.
Em torno do cordão de solda Consiste na corrosão apresentada em torno no cordão de solda, geralmente em aços inoxidáveis não estabilizados ou que apresentam um teor alto de carbono (maiores que 0,03%). Esse tipo de corrosão também se processa intergranulamente (GENTIL, 2011).	Figura 14: Corrosão em componente de tubulação em torno do cordão de solda  Fonte: GENTIL, 2011.

Fonte: Próprio Autor. 2022

3.5. Triângulo da corrosão

Para dar início ao processo corrosivo há a presença de três componentes, que são exemplificados conforme é demonstrado pelos vértices do triângulo de corrosão na Figura 15, em que consiste na formação da tríplice do meio corrosivo (B) com o material (A) e as condições operacionais (C) a qual o material está exposto.

Figura 15: Triângulo da corrosão



Fonte: Próprio Autor. 2022

Quando realizado a análise e montado os vértices do triângulo em que, A, B e C representam, respectivamente, o material metálico, meio corrosivo e condições operacionais.

De acordo com Gentil (2011, p. 52), estas três variáveis podem ser definidas como:

Material metálico: composição química, presença de impurezas, processo de obtenção, tratamentos, tratamentos térmicos e mecânicos, estado da superfície, forma, união de materiais (solda, rebites etc.), contando com outros metais;
Meio corrosivo: composição química, concentração, impurezas, pH, temperatura, teor de oxigênio, pressão, sólidos suspensos;
Condições operacionais: solicitações mecânicas, movimento relativo entre material metálico e meio, condições de imersão no meio (total ou parcial), meios de proteção contra a corrosão, operação contínua ou intermitente.

O triângulo de corrosão é uma ferramenta para determinar as causas em que a peça ou aparato metálico sofre corrosão, sendo um ponto de partida para o planejamento de como diminuir tais causas, e aumentar a longevidade da peça, claro que, tendo em vista o grau de perda que é admissível. (GENTIL, 2012.)

Nessa linha de abordagem, feito a confecção do triângulo, é viável montar uma estratégia para traçar um diagnóstico, bem como também realizar um plano de tratamento afim de diminuir ou até mesmo cessar os possíveis danos de deterioração do material pela corrosão, além disso, é possível a realização da seleção das melhores matérias para combate ao incidente.

3.6. Corrosão em concreto armado

3.6.1. Concreto

O concreto é um material de construção de grande e diversidade uso, sendo composto por cimento, areia, água e, em alguns casos, usados aditivos como plastificantes e micro sílica (GENTIL, 2012). Além disso, em sua constituição é adicionado barras de aço e ferro que deve

possuir uma perfeita interação entre si, a fim de proporcionar uma maior durabilidade nas estruturas feitas pelo referido material (MORESI; BELLAGUARDA, 2016).

Entende-se por durabilidade a capacidade que toda e qualquer estrutura tem ou deve ter, mediante a alguma influência externa/ ambiental, de resistir e manter seu desempenho previsto para um determinado período. No entanto, não é o que ocorre nas construções, devido ao não cumprimento das normas estabelecidas no projeto, características do concreto e agressividade do meio, tais edificações são corroídas e, muitas vezes, são rompidas em intervalos de tempo muito curtos (MORESI; BELLAGUARDA, 2016).

Partindo-se desses pressupostos dos componentes constituintes do concreto e de suas condições de durabilidade, surge um problema a ser enfrentado: a corrosão. A partir disso, são vários os tipos de corrosão ou deterioração observados no concreto armado que podem originar de fatores mecânicos, físicos, biológicos ou químicos (GENTIL, 2012).

Do mesmo modo, torna-se compreensível a corrosão como uma manifestação patológica, isto é, um tipo de doença desenvolvida no concreto, a qual apresenta com bastante frequência, implicando riscos de segurança, fissuras nas estruturas e perda de materiais de construção (MORESI; BELLAGUARDA, 2016).

3.6.2. Utilização do concreto Armado

Os primeiros registros de concreto armado datam do século de IV a.C. onde foi usado na construção do muro de uma cidade romana. A partir desse período, o referido material passou a fazer parte das construções romanas da época e se alastrando para outros fins (GONÇALVES, 2015).

O governo romano tinha como premissas nas construções públicas o amplo espaço para visitas do público. Porém, para que fosse possível a construção desses ambientes, seria necessário a utilização de materiais que permitisse a sustentação de grandiosas estruturas, daí a utilização do concreto (GOLÇALVES, 2015).

A arquitetura da época já fazia uso de materiais convencionais, como tijolos e cal, no entanto, a mais importante inovação nas construções romanas foram as plataformas de concreto (BRASIL ARQUITETURA). Após isso, arquitetos e engenheiros empenharam-se em explorar e valorizar as possibilidades e especificidades do então produto descoberto (DIOGENES, 2006).

No Brasil, o concreto tornou-se popular a partir de 1930, surgiu como um símbolo de desenvolvimento tecnológico para o setor de construção e grandes obras públicas passaram a

utilizar o material (HELENE, 1993). Desde a sua descoberta, o concreto passou por grandes transformações e processos químicos ao longo do tempo e, devido a isso, atualmente, grandes obras são construídas e a base de sustentação dessas estruturas é o concreto e seus agregados.

Apesar de sua positividade no uso para sustentação de edificações, o mesmo ainda possibilita grande desafio a engenharia, o qual se resume à sua condição de durabilidade, uma vez que possuem um determinado tempo de vida útil. Logo, cada material componente do concreto possui características específicas e estão submetidos a diversas condições do meio, implicando no seu difícil manuseio, dificultando sua padronização entre os métodos de uso.

Dentre os vários tipos de concreto, destaca-se o concreto armado, composto por cimento, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita), ar e água (DALDEGAM, 2016).

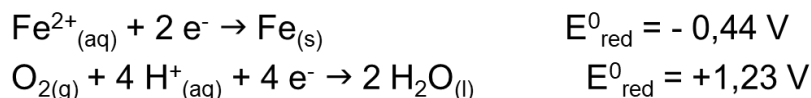
Há várias possibilidades de uso desse material dentro dos projetos de construção civil, o que lhe confere características de versatilidade, pois são utilizados desde as fundações até elementos arquitetônicos da obra. Atualmente, a arquitetura se vale muito da expressão plástica proporcionada pelo concreto, por tal razão, o papel da estrutura adquire uma importância cada vez mais definida nos projetos arquitetônicos (DIÓGENES, 2006).

Embora apresente funções variadas, o concreto armado mostra deficiências que, mesmo ao longo do tempo e com as constantes evoluções dos elementos que o compõe, não foi possível corrigi-la, pois dependem das condições eficientes para cada constituinte do concreto e, principalmente, da agressividade do meio.

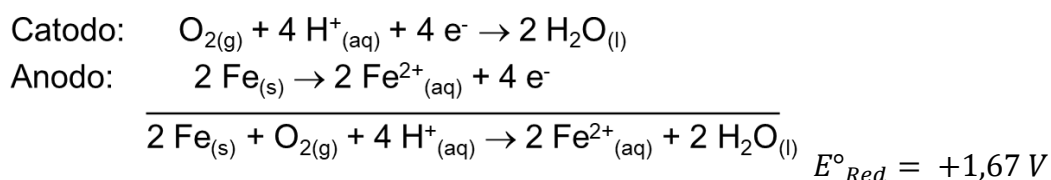
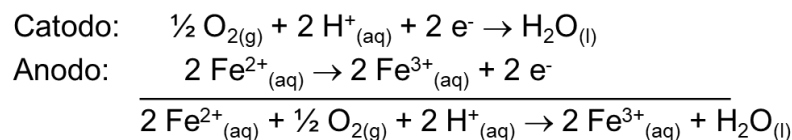
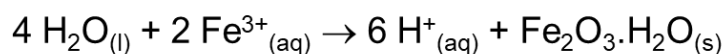
3.6.3. Processo de corrosão no concreto armado

A corrosão do ferro, material em que as armaduras são fabricadas dá-se por diversas maneiras, dependendo dos fatores em que esse metal enfrenta. O maior fator que as armaduras enfrentam é o ar úmido, que pode ser considerado todo o ar atmosférico, já que este possui partículas de água em sua composição.

A ferrugem é formada pela oxidação do ferro metálico (Equação 5), na presença do oxigênio do ar e da água, transformando ferro (Equação 6) em íons de Ferro (Equação 7). Quando o ferro é colocado em contato com o ar atmosférico, ele se transforma em uma pilha, onde perde elétrons, iniciando seu processo de corrosão, já que o potencial de redução da água é muito maior que o do ferro, fazendo o ferro preferir oxidar.

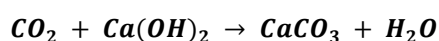
Equação 5: Potenciais de Redução do ferro e da água**Fonte:** GENTIL, 2012

O hidróxido de ferro (Equação 6), $\text{Fe}(\text{OH})_2$, é oxidado na presença do ar e se transforma em hidróxido de ferro (Equação 7) hidratado, $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Que, na presença da água se torna o $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$ (Equação 8), a substância avermelhada, conhecida como ferrugem.

Equação 6: Reação de transformação do Fe em Fe(II)**Fonte:** GENTIL, 2012**Equação 7:** Reação de transformação do Fe(II) em Fe(III)**Fonte:** GENTIL, 2012**Equação 8:** Transformação do Fe(III) em ferrugem**Fonte:** GENTIL, 2012**3.6.4. Carbonatação**

A carbonatação ocorre quando há presença de gás carbônico (CO_2) nos poros do concreto armado advindos da atmosfera. Esses reagem com o hidróxido de cálcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ na presença de umidade e formam o carbonato de cálcio (CaCO_3). O hidróxido de cálcio é resultado da hidratação do cimento Portland e é o que proporciona a alcalinidade do concreto, deixando-o mais protegido de ataques corrosivos (ANDRADE, 2001). A reação da carbonatação é dada como demonstra a Equação 9:

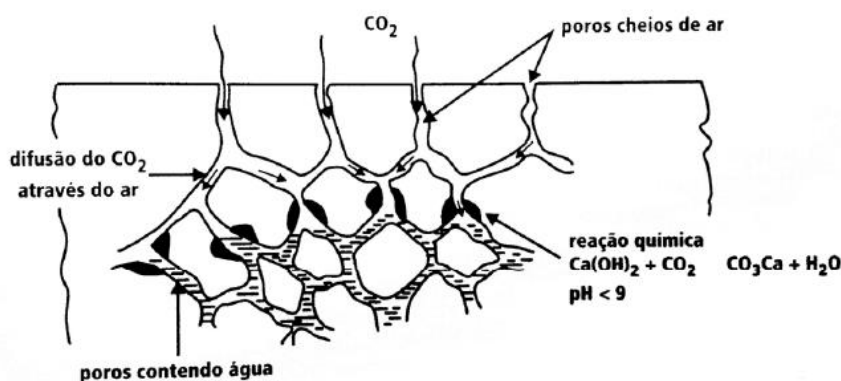
Equação 9: Reação de carbonatação



Fonte: GENTIL, 2012

De acordo com a Figura 16, é possível visualizar, a Equação 9, como ocorre a penetração da água, ar e formação do carbonato de cálcio.

Figura 16: Processo de carbonatação



Fonte: SOUZA; ANDRADE, 2015.

O concreto apresenta uma rede de poros, onde há a presença de água trazida pelas chuvas e pelo ar úmido. O gás carbônico entra nesses poros em contato com a água, que favorece a formação do carbonato de cálcio a partir da reação dessas substâncias com o hidróxido de cálcio (ANDRADE, 2011). Essas reações químicas separam o concreto em duas áreas: uma alcalina e uma um pouco menos alcalina. O concreto, geralmente apresenta um pH de aproximadamente 12,5 e quando ocorre a carbonatação, esse pH cai em algumas regiões para 9,0. Nas áreas de pH mais elevado, a armadura continua mantendo a sua passivação, ao passo que nas áreas com o pH mais baixo, essa passivação é diminuída com a formação de carbonato de cálcio,

ocorrendo, posteriormente, a corrosão da estrutura. Essas áreas com pH diferentes são chamadas de frentes de carbonatação (VITALI, 2013).

3.6.5. Fatores que influenciam na Carbonatação

3.6.5.1. Concentração CO_2

A velocidade do processo de carbonatação é acelerada quando o ambiente apresenta uma alta taxa de gás carbônico. Logo, subentende-se, que em regiões urbanas (concentração de CO_2 próximas de 0,3%), há um maior processo de corrosão nas estruturas do concreto armado, ao passo que nas cidades menos desenvolvidas e zonas rurais (concentração de CO_2 próximas a 0,03%) esse índice de carbonatação decai (ANDRADE, 2011).

3.6.5.2. Quantidade da água presente nos poros

A carbonatação necessariamente precisa de água para que ocorra. Dessa maneira, quando os poros estão secos, o CO_2 penetra facilmente no concreto, porém, a reação de carbonatação não ocorre, pois não há a presença de água. Já quando a umidade do ar está bastante elevada e há a presença de uma grande quantidade de água nos poros do concreto, o processo de carbonatação é retardado, pois a frente de carbonatação não consegue avançar. Portanto, a forma onde esse processo corrosivo é mais intensificado é quando os poros estão parcialmente cheios, pois o gás carbônico consegue adentrar sem maiores problemas e há a presença de água para que ocorra a reação e formação do carbonato de cálcio (ANDRADE, 2011).

3.6.5.3. Relação A/C

Esse parâmetro está relacionado com o tamanho dos poros do concreto. Logo um índice A/C alto implica em uma grande porosidade e permeabilidade, favorecendo a difusão do gás carbônico e acelerando o processo corrosivo (VITALI, 2013).

3.6.5.4. Tempo de cura

Quanto maior o tempo de cura, maior a hidratação do concreto, de forma a ter uma menor porosidade e permeabilidade, diminuindo, conseqüentemente, o processo de carbonatação (ANDRADE, 2011). Dessa maneira, se o concreto não possui um traço certo e nem um tempo de cura adequado, há uma maior corrosão da estrutura.

Alguns autores admitem o processo de carbonatação como natural nas estruturas de concreto armado e que isso ocorra com o tempo, porém, esse processo acaba diminuindo a vida útil da estrutura. Logo, é possível retardar esse processo, mesmo ele sendo inerente ao material.

Essa prevenção diminui os gastos futuros com manutenção ou até mesmo com a troca do material (VITALI, 2013).

3.6.6. Lixiviação

Esse processo pode ser entendido como a perda das características originais do concreto pela presença de água em seu interior, a qual provoca a corrosão na armadura (SOUZA; ANDRADE, 2015).

A lixiviação pode ser observada em paredes laterais de reservatórios, a qual apresenta formação de fissuras, juntas de concretagem e escorrimento de resíduo branco. Assim, para essa formação nas armaduras foi devido a presença de agentes como o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), água (H_2O) e gás carbônico (CO_2), sendo o hidróxido de cálcio originado pela hidratação do cimento e a água com concentrações pequenas de cálcio e magnésio (GENTIL, 2012).

O hidróxido de cálcio lixiviado entra em contato com o dióxido de carbono presente na atmosfera e forma a água e o carbonato de cálcio, o qual pode ser observado seguindo a mesma equação do processo de carbonatação anteriormente citado (GENTIL, 2012).

Desse modo, é perceptível uma grande semelhança entre lixiviação e carbonatação, uma vez que os dois processos estão envolvidos pela presença da água, e sua reação de formação é constituída pelos mesmos reagentes e formação dos mesmos produtos. No entanto, o processo de lixiviação é ocorrido quando há uma infiltração nas construções e estruturas, ou seja, o processo corrosivo ocorre de forma interna para externa, enquanto, a carbonatação, será de forma externa para interna (GENTIL, 2012).

3.7. Métodos de Proteção

3.7.1. Resina epóxi e inibidores de corrosão

Quando bem aplicada, a resina epóxi se torna uma das opções mais viáveis para a proteção do aço. As etapas de aplicação devem ser bem respeitadas de modo a propiciar o máximo de adesão das partículas da resina com a superfície metálica, para isto, geralmente utiliza-se o processo de termo fusão, onde o aço aquecido é recoberto por um jato da resina em pó ou por um banho na mesma (SOUZA; ANDRADE, 2015).

Antes de o revestimento ser aplicado, deve-se submeter à superfície da armadura a um jateamento com o objetivo de limpar e formar irregularidades para melhor aderência do revestimento e a armadura (SOUZA; ANDRADE, 2015).

Inibidor de corrosão é um produto que permite eliminar a propagação da corrosão superficial da armadura. Após a exposição da armadura, aplica-se o inibidor de corrosão, sendo que o procedimento de cura e a quantidade de demãos a serem aplicadas são prescritos pelo fabricante (SOUZA; ANDRADE, 2015).

Dentre os inibidores mais utilizados comercialmente temos o nitrito de sódio, NaNO_2 , e o nitrito de cálcio, $\text{Ca(NO}_2)_2$. Esses inibidores formam uma película protetora de óxido de ferro, Fe_2O_3 , passivando a armadura e protegendo-a contra a corrosão (GENTIL, 2012).

3.7.2. Proteção Catódica

Usualmente, a técnica mais utilizada para a proteção do concreto armado é a da proteção catódica. O princípio da técnica é a redução do potencial da interface aço/concreto para valores mais negativos do que seu potencial natural de corrosão (SOUZA; ANDRADE, 2015).

Para que se tenha a redução do potencial da dita interface, temos duas possibilidades: a primeira trata-se da imposição de corrente contínua de modo a propiciar uma reação não espontânea, usando ânodos inertes em forma de tela, como, por exemplo, titânio revestido com camada de óxido condutor, ou ânodo de polímero condutor (GENTIL, 2012). Entretanto, devido a necessidade de termos uma corrente sempre contínua atuando na interface aço/concreto temos uma maior probabilidade de surgirem focos de corrosão ocasionados por picos de instabilidade na rede elétrica.

Podemos, ainda, obtermos os resultados pretendidos através da utilização do chamado ânodo de sacrifício, onde um metal com potencial de redução menor do que o metal que se quer proteger – neste caso, o aço estrutural – é posto para oxidar no lugar deste.

3.7.3. Galvanização

A técnica da galvanização é amplamente utilizada em diversos setores da construção e indústria como forma de aumentar a vida útil de peças e materiais através da criação de uma película protetora formada a partir de um processo eletrolítico.

Comumente é adotado o zinco como elemento para revestimento devido a sua característica de que quando em contato com a água forma, por oxidação, o hidróxido de zinco (ZnOH), composto indissolúvel em água, formando um filme passivo (SOUZA; ANDRADE, 2015).

Estima-se que a utilização do aço galvanizado como armadura numa estrutura pode aumentar de 4 a 5 vezes a vida útil com relação à utilização de uma armadura sem essa proteção. Tendo-se, assim, maior economia pela diminuição dos gastos com manutenção (SOUZA; ANDRADE, 2015).

Para tanto, foi demonstrado métodos de proteção a ser utilizada nos casos de corrosão em concreto armado, cabendo assim uma análise acerca de como se comporta tal fenômeno em determinado material para se adotar a melhor prática, visto isso, é o presente trabalho esquematiza uma situação problema em que busca ser resolvido nos próximos capítulos.

4. MATERIAIS E METODOLOGIA

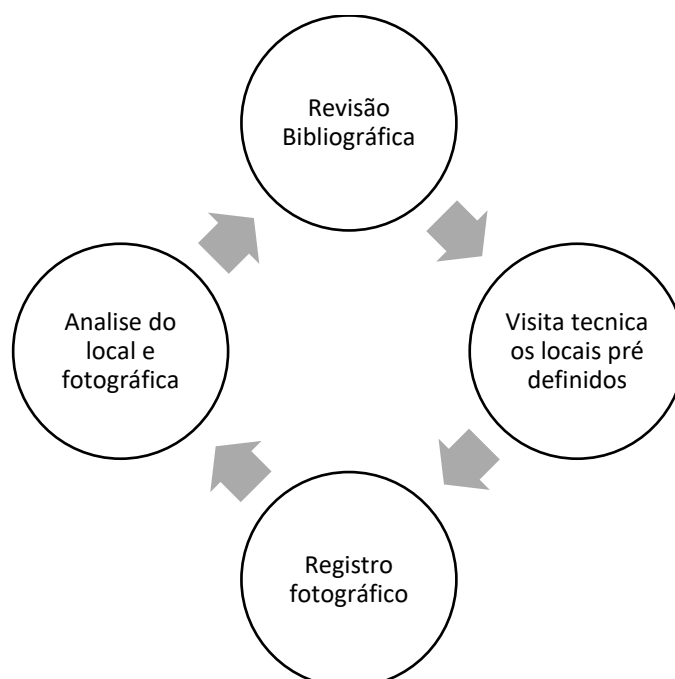
Para a concretização deste trabalho foi realizada uma avaliação intuitiva sobre o tema a ser discutido. Para isso, foram utilizados livros, artigos e sites acerca do conteúdo, que serviram como parâmetro de identificação da problemática em questão, para que assim fosse afirmadas todas as definições presente neste documento.

Para a realização do estudo de caso, foi utilizado o método da observação sistemática (Figura 17), que tem como objetivo compilar e concentrar informações para que então seja possível analisar toda estrutura de como ocorre o fenômeno estudado. Vale ressaltar que, nesse estudo, o investigador tem ciência do fato em questão e realiza o seu trabalho em condições de tempo equilibrado (LAKATOS, *et al.* 2003).

Posteriormente, analisou-se a pesquisa bibliográfica com o estudo de caso e feito uma relação entre ambos, para análise e discussão dos dados coletados.

Foram realizados registros fotográficos na cidade de Pereiro-CE em uma empresa de telecomunicações, local de fabricação do material, com foco exploratório com intuito de observar todo o processo de fabricação, bem como da deterioração de postes já implantados anteriormente, em detrimento ao meio no qual eram operados.

Figura 17: Fluxo da pesquisa



Fonte: Próprio autor (2022)

4.1. Caracterização da área de estudo

Estudo realizado em uma empresa fundada no ano de 1998, na cidade de Pereiro – CE, sua operação inicial era a venda de internet com a tecnologia via Rádio propagando assim internet na região. Durante 14 anos a empresa se expandiu por diversas cidades do interior do Nordeste, mas o primeiro passo para inovação foi no ano de 2011, quando cabeou o município de Pau dos Ferros/RN, a primeira cidade do Brasil com o serviço de internet 100% FTTH (Fiber-to-the-Home²), ou seja, levando a conexão via sinal de luz até dentro da casa do cliente.

A operadora nordestina tem se expandido de maneira significativa nos últimos anos são mais de 8000 mil colaboradores. Atualmente, de acordo com Agência Nacional de Telecomunicações o provedor já atende mais de 1.000.000.000 residências em mais de 200 cidades nos estados de Alagoas, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Bahia, Piauí e Sergipe (ANATEL,2022), com uma estrutura de rede firmada em seu próprio cinturão digital de fibra óptica.

Desse modo, se tornando a pioneira do mercado, a empresa em estudo em 2021 iniciou o projeto do 5G uma nova geração da telefonia móvel, que tem visão de torná-lo a longo prazo o produto principal da empresa tendo em vista a evolução tecnológica.

Devido ao crescimento exponencial da empresa nos últimos anos e a necessidade de postes para continuar as expansões por novas cidades, bem como de atender locais em que ainda não cobertura, a empresa adota medidas de realizar a própria construção de postes, com a visão de ter sua quantidade de postes fabricados controlada em conformidade com a demanda.

² Fibra até dentro de casa

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Análise da corrosão

Com base nas fotografias registradas no ambiente de produção neste referido trabalho foi possível identificar a corrosão que acontece na estrutura do tipo eletroquímico, em que se evidencia num estado avançado de corrosão, e acontece em duas fases o processo, sejam elas a etapa de fabricação e no decorrer de sua utilização.

Nessa perspectiva, durante a etapa de fabricação é notório que a corrosão ocorre de forma uniforme, ou seja, o meio atmosférico (ar úmido), sais minerais da terra, urina de animais entre outros, foram capazes de atacar as barras de ferro que formam a estrutura metálica de sustentação do concreto armado na fabricação do poste, logo, uma vez que o ferro foi exposto a tais condições, o mesmo passa a oxidar conforme expresso nas equações 1, 2, 3 e 4, que detalham o processo de corrosão no ferro.

Nessa linha de abordagem, as Figuras 18 e 19 mostram as ferragens utilizadas no processo de construção da armadura em canteiro dos postes, a mesma servem como sustentação do material dando assim uma maior resistência ao poste. Claramente que as ferragens que são utilizadas para a construção do poste encontram-se em processo corrosivo antes mesmo da empregabilidade do produto.

Figura 18: Ferragem para construção do poste



Fonte: Próprio autor (2022)

Figura 19: Ferragem para construção do poste



Fonte: Próprio autor (2022)

Além disso, pode destacar a presença da corrosão quando a estrutura está posta para uso, conforme a Figura 20, em que pós fabricação do material o mesmo já está disponível para ser implementado em determinado local de origem ao uso, vale ressaltar que, todo o processo para a construção da armadura é feito de forma manual a se atender um poste com altura equivalente a 10,5 metros de comprimento.

Figura 20: Poste disponível para uso



Fonte: Próprio autor (2022)

Nessa etapa, por sua vez, ainda que a corrosão seja uniforme, antes da exposição do corrosão presente na estrutura do ferro coberta pela armação de concreto, acontece a penetração de ar úmido em torno da estrutura de concreto armado, realizando assim aberturas de poros no cimento, quando esse fato se concretiza acontece uma explosão local do cimento deixando

assim a estrutura metálica em contato direto com o meio externo, como pode ser visualizado na Figura 21.

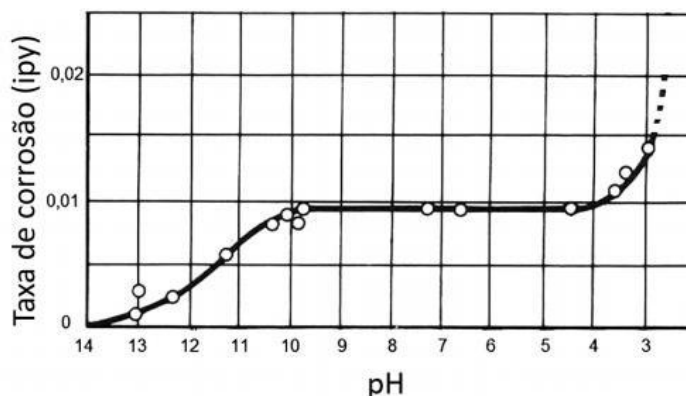
Figura 21: Poste com corrosão exposta



Fonte: Próprio autor (2022)

Ademais, pode-se sugerir que, por meio das variações químicas existentes, a corrosão evidenciada também decorre do processo de carbonatação, em que consiste na alteração de pH existente na camada protetora da concretagem e, desta forma, ocasiona a deterioração da armadura. De maneira análoga, podemos destacar que, quanto menor for o pH presente na estrutura, maior será sua taxa de corrosão, como pode ser visualizado na Figura 22, que relaciona o pH do meio com a taxa de corrosão dos materiais que contém ferro. (GENTIL,2012).

Figura 22: Taxa de corrosão em relação ao pH da estrutura

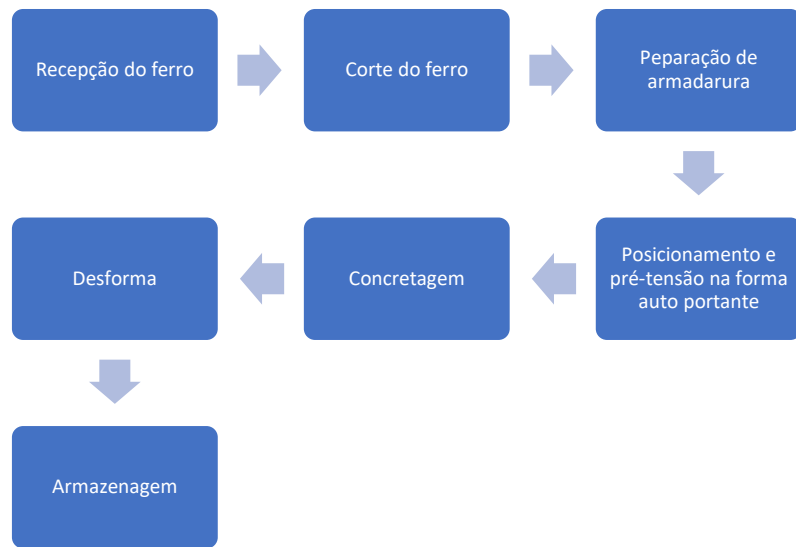


Fonte: GENTIL,2012.

Uma forma de metrificar o nível de profundidade de carbonatação em uma estrutura é a realização do teste de fenolftaleína, esse teste consiste na aplicação da fenolftaleína no corpo em estudo com apontamento de nível de pH do local em estudo, no entanto não foi possível a realização do estudo, pois as estruturas a serem realizadas estão espalhadas pela região nordeste do país.

Além disso, é importante ressaltar que o ambiente de produção é de suma importância para que a corrosão não aconteça, desde a matéria prima, manipulação que ocorre na mesma e por fim que chegue no processo final que é o poste, a Figura 23 demonstram o processo da fabricação, enquanto as figuras 24, 25 e 26 mostram fotográficas de etapas mencionadas no fluxograma.

Figura 23: Fluxograma de processo de fabricação



Fonte: Próprio autor (2022)

Figura 24: Armazenamento de ferragem



Fonte: Próprio autor (2022)

Figura 25: Forma de modelagem



Fonte: Próprio autor (2022)

Figura 26: Estoque de postes prontos



Fonte: Próprio autor (2022)

Nessa perspectiva, é perceptível que o ambiente não está em condições adequadas para a produção, visto que a produção é feita podendo ter várias interferências de agentes como terra, plantas, urina de animais, dentre outros, o que afeta diretamente a corrosão nas peças em estudo.

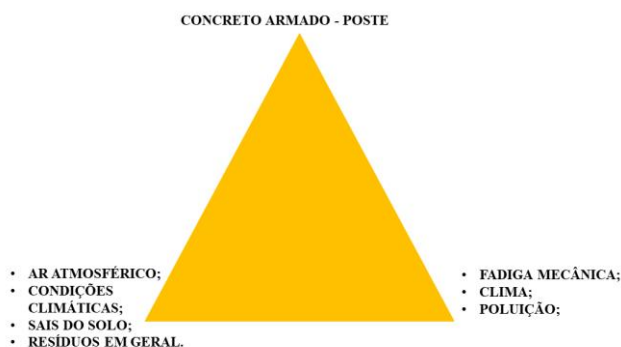
Visto esse processo, pode-se adotar medidas para minimizar o fato da corrosão tão presente desde o processo de fabricação, como a adequação de estoque da matéria prima em local apropriado e com a realização de uma pintura na ferragem quando a armadura completa, além disso, cabe refazer o layout do chão de fábrica adequando um local propício para se

trabalhar com materiais de alta complexidade, tendo em vista que atualmente o chão de fábrica é ao ar livre sem proteção aos materiais.

5.2. Triângulo da corrosão

Aplicando o problema em questão dentro do triângulo de corrosão proposto por Vicente Gentil, e relacionando-o com os meios e condições operacionais que envolvem as edificações, é possível traçar causas e possíveis soluções para o problema abordado. Desta forma, foi analisado a corrosão na armadura de postes, como mostra a Figura 27, fabricados por uma empresa de telecomunicações no interior no Nordeste.

Figura 27: Triângulo de corrosão



Fonte: Próprio Autor. 2022

Os vértices do triângulo possuem os pontos cruciais para o estudo da problemática de corrosão nessas estruturas. A partir disso, tem-se a formação do triângulo em que, inicialmente, no vértice superior é apontado o objeto estudado que por sua vez é o concreto armado (poste), seguido do meio em análise, neste caso, o ar atmosférico, as condições climáticas do local de estudo, os sais minerais do solo e resíduos em geral, evidenciando, desse modo, a consonância existente entre a teoria e realidade. Por fim, as condições operacionais exprimem os principais fatores de desgaste dessas estruturas expresso pela fadiga mecânica, clima e poluição.

Assim, as condições ambientais, alternância de temperatura, presença de sais, poluição e desproporcionalidade dos materiais que compõem a mistura são os principais fatores que aceleram os processos corrosivos e podendo acarretar o comprometimento total da estrutura.

A determinação do triângulo de corrosão é uma das fases mais importante de um projeto, visto que, uma vez que determinado cada elemento dos vértices de forma adequada, facilitará

na compreensão do fenômeno em estudo, bem como uma melhor adequação das técnicas que serão utilizadas para minimizar ou até mesmo erradicar o problema, visto que por meio do triângulo é possível analisar os parâmetros em que o meio está situado, bem como as suas condições para o a corrosão que está acontecendo.

5.3. Análise de decisão para fabricação no ambiente de estudo

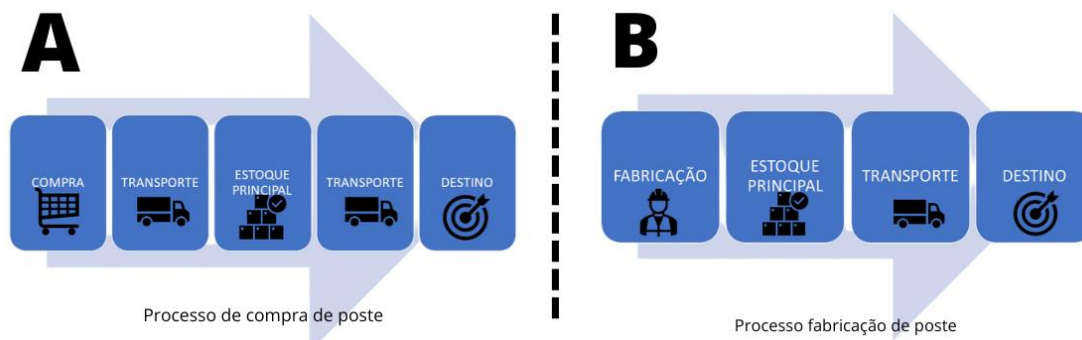
A determinação da empresa em fabricar os próprios postes para utilização ao invés de comprá-los, aconteceu por diversos fatores, dentre eles:

- Empresa verticaliza todas as mão-de-obra dentro de própria empresa, gerando emprego e diversidade em seu canteiro;
- De acordo com a empresa em estudo, a mesma afirma possuir ganhos em redução quando se compara o investimento em produzir com o de adquirir de forma comercial o produto pronto;
- Empresa não conseguia gerenciar o estoque de postes, pois todas as compras eram direcionadas para um determinada cidade com prazo de 45 a 60 dias de entrega e quando chegava na cidade eram direcionadas ao ambiente final, desta forma tornava um custo maior pela duplicidade no direcionamento da matéria.

Dessa forma, como foi mencionado, a empresa possuía dois implicadores em questão de logística da matéria ao seu destino e o custo elevado pela compra de poste, e quando passou a fabricar teve domínio de seu estoque podendo assim diminuir a perda de tempo em espera e reduzir os custos com a própria fabricação.

A figura 28 exemplifica o processo de quando a empresa realizava as compras do poste (A) e quando a mesma passou a fabricar os próprios postes (B).

Figura 28: Processo de Compra (A) versus Processo de fabricação (B)



Fonte: Próprio Autor. 2022

Com base no exposto, é notório a percepção de redução de fluxo quando se trata do processo de compra (A) para o processo de fabricação (B) e consequentemente o domínio constante das atribuições, tendo em vista que todo o desenvolvimento está sob controle interno, ou seja, a empresa não depende diretamente de empresas terceiras para o fluxo em que a matéria chegue em seu destino, bem como a mesma informa que com a redução de impostos na compra e valor do bem, por mais do pagamento dos colaboradores e investimentos em máquinas, de acordo com a quantidade produzida mensalmente ainda assim foi viavelmente econômico para decisão da empresa.

5.4. Solução para o problema estudado

As corrosões decorrentes do processo, como é notório a utilização de ferragem no processo corrosivo, uma vez quando for exposta ao meio ambiente e vir a ruptura, não é possível a realização de reparo, somente a substituição do poste por outro.

Ademais, as corrosões causadas por variações de temperaturas devem ser impedidas muito antes da conclusão e execução de um determinado projeto, uma vez que este problema é sanado pelo engenheiro calculista. Este deve, pois, verificar o coeficiente de dilatação de cada material utilizado nas construções civil, analisando os possíveis meios de uma dilatação ou contração dos mesmos, justamente por variações climáticas (GONÇALVES, 2015).

Além disso, corrosões originadas por fatores biológicos, ou seja, pela presença de micro-organismos e bactérias, surge em locais próximos a poluição. A maneira de impedir essa

problemática é a não implementação de estrutura nesses locais ou realizar uma limpeza profunda no espaço, antes da execução do projeto. Dessa forma, o método principal é a escolha de ferro sem presença de corrosão com manutenções frequentes, a fim de não possibilitar rompimento das estruturas e proporcionar gastos econômicos futuros.

Ainda que, para as corrosões oriundas de agentes químicos, as recomposições ou estagnação dos problemas abordados, devem ser de forma mais brusca. Como são de origem de sais, ácidos e bases, são inevitáveis a não ocorrência dessas corrosões no meio. Portanto, a maneira de prolongar a vida útil de um material utilizado nesses meios de agressão química é trocando os já corroídos por aqueles com alto potencial de redução, além da aplicação de jateamentos com alta pressão de água para a remoção de resíduos e recomposição do concreto original.

Para a carbonatação e lixiviação, é perceptível o uso de mais técnicas para prevenção, pois a solução de um processo corrosivo desse nível é mais complicada. Assim, os principais métodos de prevenção para esse tipo de patologia giram em torno das propriedades químicas avaliadas no processo de produção do concreto, como uma relação a/c adequada e o tempo de cura, visto que esses parâmetros são os que mais influenciam o aparecimento de poros e aumentam o índice de permeabilidade do concreto.

Além disso, ainda como prevenção para ambos os processos, temos que o engenheiro responsável deve avaliar os parâmetros e executar um projeto coerente com o meio e suas peculiaridades, de forma a diminuir ao máximo o índice de corrosão nessas estruturas.

Como soluções, a análise deve ser mais minuciosa e precisa, avaliando a frente de corrosão e a profundidade dessa, tentando obter informações se o processo corrosivo já atingiu a estrutura de aço. Se esse processo ainda for apenas no concreto, a única solução é retirar todo o concreto carbonatado e fazer uma nova camada de concretagem para proteger a estrutura. Se, de alguma maneira, essa corrosão atingir o ferro e começar a deteriorar esse, se tem, em muitos casos, que substituir a estrutura.

É perceptível que as soluções propostas quando o incidente já está acontecendo são complexas e de difícil manuseio para aplicação, desta forma, para o estudo em questão, deve ser o maior efeito para solução na elaboração de um plano de prevenção na fabricação com, adequação do ambiente para fabricação com depósitos cobertos para armazenamento das ferragens e construção de um ambiente para que o ferro não fique exposto as condições altas de corrosão, realização de pintura na ferragem gerando uma película protetora antes da sua utilização, assim ao contato com o ambiente adequado e utilizando materiais com alta

qualidade, irá proporcionar uma garantia e melhor desempenho do ciclo de vida dos postes na sua utilização.

6. CONCLUSÃO

Diante das análises do processo de corrosão em estruturas de concreto armado, torna-se evidente, portanto, que a ocorrência de reações de oxirredução pode ocasionar danos estruturais irreversíveis ou de complexidade alta para resolução. Vale ressaltar que, as reações de oxirredução do concreto (corrosão instalada), são induzidas por agentes agressivos em zonas de alta agressividade ambiental, tais quais: penetração de sais (íons cloreto, Cl) em grandes centros urbanos, em que há o alto tráfego e emissão desse gás por indústrias ou até mesmo a corrosão instalada por fratura mecânica, além da umidade e ataques por sulfetos.

Dado o fato, é notório a observância que a corrosão estava presente em toda a estrutura metálica utilizada na fabricação, como também a exposição a diversos ambientes não condizentes com os parâmetros de produção, provocando consequentemente o desgaste de todo o material.

Portanto, com base no estudo realizado e com auxílio visual das imagens, intensifica a importância de tratar a corrosão com um agente preventivo, uma vez que diante do cenário é possível realizar ações para que tal efeito seja minimizado na etapa do projeto.

Ademais, é importante ressaltar que no caso em estudo quando se identifica a corrosão a mesma se encontra em alto grau de deterioração, sabendo que o processo corrosivo se iniciou na etapa de fabricação, no entanto, sem sempre isso acontece em linhas gerais é realizado uma etapa de acompanhamento e inspeção para garantir a qualidade da construção e verificação do material, desta forma pode conter um plano de manutenção preventiva que garante além qualidade na fabricação a proteção segura do material, logo esse material terá uma vida útil de maior alcance.

Visto isso, o presente trabalho contribuiu significativamente para o estudo e análise do processo de fabricação e patologias em postes de concreto armado que são provenientes do efeito corrosivo nas estruturas, e que são de fácil acesso a visualização no dia a dia. Deste modo, no estudo das manifestações é possível a realização de uma visão ampla e diversificada do assunto evidenciando assim, o que causa o processo corrosivo no material, visto isso, há um retorno significativo na diversidade e explanação do assunto abordado enriquecendo o aprendizado sobre o mesmo.

Assim sendo, os objetivos desse trabalho foram atingidos, pois de maneira análoga, foi possível a compreensão acerca de corrosão, tanto no que diz respeito ao fenômeno, suas causas, métodos de prevenção bem como, identificar o tipo e formas de corrosão no caso em estudo, além disso, foi possível realizar a aplicação do triangulo de corrosão onde foi evidenciado cada parâmetro juntamente com as reações químicas envolvidas nas fases foi possível traçar o

diagnóstico para o caso em estudo que contribuiu para o desenvolvimento e incorporação de técnicas para proteção do material. Por outro lado, no caso em estudo não foi possível apresentar um diagnóstico para proteção, tendo em vista que, ao se analisar o fato a corrosão já estava agressiva em alto nível de deterioração, inviabilizando assim as técnicas estudadas, mas foi apontado medidas preventivas que minimizariam o acontecimento das manifestações patológicas na estrutura.

Por fim, decorrente aos fatos expostos e ao alto valor na correção do efeito em estudo, fica claro que há necessidade de investimentos na área, para um ampliamiento do estudo e que seja visível tal importância na fase de projeto, tornando como objetivo minimizar efeitos catastróficos, causados pela ocorrência do fenômeno, em grande proporção. Logo, é indubitavelmente um ganho exponencial na economia, pois como visto, essas ações geram retorno expressivo garantindo uma maior segurança e elevando o tempo de vida útil da matéria.

6.1. Proposta de trabalhos futuros

Em consonância ao estudo realizado, como sugestão para próximos trabalhos, tem-se o estudo do processo de fabricação realizando o mapeamento de cada componente do concreto, evidenciando assim inconformidades no processo, com o objetivo de sanar as imprudências na fabricação e assim possa garantir um tempo de vida útil maior. Para isso é necessário a realização do acompanhamento e estudo de técnicas de proteção no momento da fabricação garantindo que os corpos em uso estejam sobre total condições já estabelecidas.

Além disso, é viável uma análise quantitativa do tempo de vida atual dos postes já implementados e qual tempo os mesmos serão substituídos, e com isso realizar um estudo de redução de custo realizando uma análise com o custo e tempo de vida do poste comprado versus o custo e tempo de vida útil dos postes fabricados, com o objetivo de analisar a viabilidade econômica dentro o cenário de fabricação e compra do material.

REFERÊNCIAS

ABRACO. **Melhor Prevenir do que remediar**. Revista proteção&corrosão, v. 13, n. 61, p. 4, abr. 2016. ISSN 0100-1485.

AGÊNCIA SISTEMA FIEP, **Efeitos da corrosão afetam o PIB de um país, mas podem ser controlados**. 19 mar. 2019. Disponível em: < <https://agenciafiep.com.br/2019/03/18/efeitos-da-corrosao-afetam-o-pib-de-um-pais/>>

ANATEL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. *In: Acessos de Banda Larga Fixa*. Acessado em: 1 jul. 2022. Disponível em: <<https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/acessos/banda-larga-fixa>>. Acesso em: 1 jul. 2022.

ANDRADE, Jairo José de Oliveira. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. Patologia das Estruturas. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

ANDRADE, T.B.; SOUZA, A.S. **Recuperação de pilares sujeitos a problemas construtivos e a exposição da armadura a meios corrosivos**. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Católica de Brasília, Brasília.

Artigos técnicos, 25 jan 2021. Disponível em: <<https://rijeza.com.br/blog/>>. Acesso em: 11 out. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GALVANIZAÇÃO – ABGALVA. Disponível em: <<http://abgalva.org.br/preco-de-metais/dados-do-setor/>>. Acessado em: 26 de jul. de 2021.

ATKINS, Peter; JONES, Loretta; LAVERMAN, Leroy. **Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. Bookman Editora, 2018.

BAZAN, G. C. G. **Análise do cobrimento e Carbonatação em obras de arte especiais no estado de São Paulo**. Trabalho de Conclusão de curso. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: 2014.

BELLAGUARDA, I. L.; MORESI, C.C. **Metodologia eficiente para a detecção de corrosão em estruturas de concreto armado**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Católica de Brasília, Brasília.

BRASIL ARQUITETURA. **O uso do ferro e aço na construção civil**. 2016. Disponível e: <<https://coisasdaarquitetura.wordpress.com/2013/10/11/forma-estrutural-ii/#more-4371>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

BROWN, T. L; LEMAY, H; BURSTEN, B.E. **Química: a ciência central**. 9. ed. Pearson Prentice Hall, 2009.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia dos materiais uma introdução**. 8. Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos Científicos, 2012.

CIRIA, Carlos Paseiro de. **Corrosão filiforme, da origem à prevenção**, 6 fev. 2019. Disponível em: <https://www.portaltts.com.br/corrosao-filiforme-da-origem-a-prevencao>. Acesso em: 11 out. 2022.

COELHO, P. **Diferentes tipos e formas de corrosão**. Disponível em: <<https://www.engquimicasantosp.com.br/2015/06/diferentes-tipos-e-formas-de-corrosao.html>>. Acessado em: 20 de ago. de 2022.

Corrosão em estruturas metálicas. Portal Metalica. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/corrosao-em-estruturas-metalicas>>. Acessado em: 15 de ago. de 2021.

COUTO, J. A. S; CARMINATTI, R. L; NUNES, R. R. A; MOURA, R. C. A. (2013). **O concreto como material de construção**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT, 1(3).

DALDEGAN, Eduardo. **Concreto armado: definição e principais componentes**. 2016. Disponível em: <<https://www.engenhariaconcreta.com/concreto-armado-definicao-e-principais-componentes/>>. Acesso em: 22 jul. 2021.

DIÓGENES, Beatriz Helena Nogueira. **O emprego do concreto armado na arquitetura de Fortaleza**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 48., 2006, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IBRACON, 2006.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**, 6ª edição. Grupo GEN, 2011. 978-85-216-1944-4. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-1944-4/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo das patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras e edificações**. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – curso em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

GRANATO, J. E. **Apostila: patologia das construções**. São Paulo, 2002.

HALECK, L. **Corrosão uniforme**. Disponível em: < <http://www.conpleq.com.br/conpleq-consultoria/> >. Acessado em: 21 de jul. de 2021.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. Tese (Professor Livre Docente) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo.

JÚNIOR, Clémenceau Chiabi Saliba. **Técnicas de Recuperação de Estruturas de Concreto Armado Sob Efeito da Corrosão das Armaduras**. 2008. Monografia (Pós-graduação em

Engenharia Metalúrgica) – Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo horizonte.

JÚNIOR, Clémenceau Chiabi Saliba. **Técnicas de Recuperação de Estruturas de Concreto Armado Sob Efeito da Corrosão das Armaduras**. 2008. Monografia (Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica) – Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo horizonte.

LAKATOS, E. M. et al. **Metodologia científica**. 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LAPA, José Silva. Patologia, **Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto**. 2008. Monografia (Especialização em Construção Civil) – curso em engenharia civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

LAPA, José Silva. Patologia, **Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto**. 2008. Monografia (Especialização em Construção Civil) – curso em engenharia civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 6ª ed. Gerda, 2015.

Tipos de corrosão: saiba como diferenciar cada processo corrosivo, 15 fev. 2018. Disponível em: <http://www.tsambientali.com.br/tipos-de-corrosao-saiba-como-diferenciar-cada-processo-corrosivo/>. Acesso em: 11 out. 2022.

VIANA, Aryanne. **Pilha de Daniell**, 22 mar. 2021. Disponível em: < <https://vaiquimica.com.br/pilha-de-daniell/>. Acesso em: 10 out. 2022. >

VITALI, Maria Rosane Vilpert. **Efeito do distanciamento ao mar da contaminação do concreto por cloretos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.