



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS- DECEN

CURSO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

HUDSON MARQUES SOARES

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL PRELIMINAR DO RESERVATÓRIO de
ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE JOÃO DIAS NO RIO
GRANDE DO NORTE COM FOCO EM SINAIS DE CORROSÃO
ELOTROQUÍMICA EM CONCRETO**

**PAU DOS FERROS-RN
2025**

HUDSON MARQUES SOARES

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL PRELIMINAR DO RESERVATÓRIO DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE JOÃO DIAS NO RIO GRANDE DO
NORTE COM FOCO EM SINAIS DE CORROSÃO ELOTROQUÍMICA EM CONCRETO**

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

Orientador: Sanderlir Silva Dias, Profa. Dra.

PAU DOS FERROS-RN
2025

© 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.

M676a Marques Soares, Hudson .
Avaliação estrutural preliminar do reservatório
de abastecimento de água no município de João Dias
no Rio Grande do Norte com foco em sinais de
corrosão eletroquímica em concreto / Hudson
Marques Soares. - 2025.
38 f. : il.

Orientadora: Sanderlir Silva Dias.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2025.

1. Corrosão. 2. Concreto armado. 3.
Durabilidade. 4. Reservatórios de água. 5.
Patologias estruturais. I. Silva Dias, Sanderlir
, orient. II. Título.

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

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

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

HUDSONMARQUES SOARES

**Avaliação Estrutural Preliminar do Reservatório de Abastecimento de Água no
Município de João Dias no Rio Grande do Norte com Foco em Sinais de Corrosão
Eletroquímica em Concreto Armado**

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

Defendido em: **19 / 12 / 2025**

BANCA EXAMINADORA

Sanderlir Silva Dias, Profa. Dra.(UFERSA),
Presidente

Amanda da Silva Cardoso Urcezino, Profa. Dra. (UFC),
Membro Examinador

José Vidal Júnior (Engenheiro Civil),
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, fonte de toda sabedoria e força, por me conceder saúde, paciência e discernimento para enfrentar cada etapa dessa jornada acadêmica. Sem sua presença e amparo constante, nada disso seria possível.

Agradeço imensamente à minha família, que sempre acreditou em mim e me apoiou em todos os momentos, mesmo quando as dificuldades pareciam intransponíveis. Aos meus pais, minha mãe Maria Benaia Soares de Brito, e meu pai, Sebastião Marques da Silva, por todo o amor, o incentivo e por nunca medirem esforços para que eu pudesse alcançar meus objetivos. A vocês, devo não apenas a concretização deste trabalho, mas toda a base que me permitiu chegar até aqui.

Aos meus amigos e colegas de curso e amigos de fora da instituição, que estiveram ao meu lado durante essa caminhada, compartilhando conhecimentos, experiências, risadas e desafios. Foram muitos momentos de companheirismo, estudo e aprendizado mútuo, que tornaram essa trajetória mais leve e inesquecível.

Meu sincero agradecimento também à minha orientadora, Profa. Dra. Sanderlir Silva Dias, pela paciência, pela dedicação e pelas valiosas orientações durante todo o processo de elaboração deste trabalho. Sua contribuição foi essencial para o amadurecimento acadêmico e científico deste estudo.

Aos professores do curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, pela transmissão de conhecimentos, pelos conselhos e pelo comprometimento com o ensino de qualidade. Cada disciplina, cada orientação e cada palavra de incentivo foram fundamentais para a minha formação profissional e pessoal.

Não poderia deixar de agradecer à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), pela oportunidade de fazer parte desta instituição e por oferecer os recursos necessários para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também aos funcionários e servidores técnico-administrativos, que sempre estiveram dispostos a ajudar com atenção e cordialidade.

A todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso — seja com palavras de apoio, incentivo, gestos de amizade ou simples demonstrações de carinho — o meu mais sincero muito obrigado. Cada um teve um papel importante nesta conquista, e levarei comigo a lembrança e a gratidão por cada contribuição.

“O futuro não é algo que se espera. É algo que se constrói.”

— Natsu Dragneel (Fairy Tail)

RESUMO

As estruturas de concreto armado são amplamente utilizadas em obras de infraestrutura devido à sua resistência e à sua durabilidade. No entanto, ao longo do tempo, essas estruturas estão sujeitas a processos de deterioração, sendo a corrosão das armaduras uma das principais manifestações patológicas, capaz de comprometer a segurança estrutural, a durabilidade e a viabilidade econômica das construções. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo realizar uma avaliação estrutural preliminar de um reservatório elevado de abastecimento de água localizado no município de João Dias – RN, com foco na identificação de manifestações patológicas associadas à corrosão em elementos de concreto armado e componentes metálicos. A metodologia adotada consistiu em uma inspeção visual direta, de caráter qualitativo e descritivo, seguindo as recomendações da norma ABNT NBR 16747:2020. Foram realizados registros fotográficos e observações sistemáticas da estrutura, sem a utilização de ensaios destrutivos ou equipamentos de medição, permitindo a identificação de fissuras, deslocamento do cobrimento, armaduras expostas e corrosão em tubulações metálicas. Os resultados evidenciaram a presença de patologias típicas associadas à corrosão por carbonatação e à ação de agentes ambientais, decorrentes da idade da estrutura, da exposição contínua às intempéries e da ausência de manutenção preventiva ao longo dos anos. As manifestações observadas indicam riscos estruturais, econômicos e de segurança, especialmente por se tratar de uma estrutura localizada em área urbana e próxima a equipamentos públicos. Concluiu-se que a estrutura avaliada apresenta sinais de deterioração que exigem intervenções corretivas e a implementação de medidas preventivas, visando à recuperação da integridade estrutural, ao prolongamento da vida útil do reservatório e à garantia da segurança da população atendida. O estudo reforça a importância da inspeção periódica e da manutenção preventiva em estruturas de concreto armado destinadas ao uso público.

Palavras-chave: corrosão; concreto armado; durabilidade; reservatórios de água; patologias estruturais.

ABSTRACT

Reinforced concrete structures are widely used in infrastructure projects due to their strength and durability. However, over time, these structures are subject to deterioration processes, with reinforcement corrosion being one of the main pathological manifestations, capable of compromising the structural safety, durability, and economic viability of constructions. In this context, this work aimed to carry out a preliminary structural assessment of an elevated water supply reservoir located in the municipality of João Dias – RN, focusing on the identification of pathological manifestations associated with corrosion in reinforced concrete elements and metallic components. The methodology adopted consisted of a direct visual inspection, of a qualitative and descriptive nature, following the recommendations of ABNT NBR 16747:2020. Photographic records and systematic observations of the structure were carried out, without the use of destructive tests or measuring equipment, allowing the identification of cracks, spalling of the cover, exposed reinforcement, and corrosion in metallic pipes. The results revealed the presence of typical pathologies associated with carbonation corrosion and the action of environmental agents, resulting from the age of the structure, continuous exposure to weathering, and the absence of preventive maintenance over the years. The observed manifestations indicate structural, economic, and safety risks, especially since it is a structure located in an urban area and close to public facilities. It was concluded that the evaluated structure shows signs of deterioration that require corrective interventions and the implementation of preventive measures, aiming at the recovery of structural integrity, the extension of the reservoir's lifespan, and the guarantee of the safety of the population served. The study reinforces the importance of periodic inspection and preventive maintenance in reinforced concrete structures intended for public use.

Keywords: corrosion; reinforced concrete; durability; water reservoirs; structural pathologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Representação esquemática de corrosão eletroquímica.....	14
Figura 2- Imagem realista de uma ponte apresentando corrosão uniforme	15
Figura 3 - Imagem realista de corrosão galvânica entre porca e parafuso	16
Figura 4- Imagem realista da estrutura de concreto armado sendo montada	17
Figura 5- Formação do concreto armado e posicionamento das armaduras	18
Figura 6- Corrosão no concreto armado.....	20
Figura 7- Imagem realista da corrosão por carbonatação.....	21
Figura 8- Corrosão causada por cloretos	23
Figura 9- Ilustração do encamisamento em pilares de concreto armado	25
Figura 10- Localização do reservatório de água do Município de João Dias-RN	28
Figura 11- fluxograma do processo do estudo de caso.....	29
Figura 12- Registro fotográfico do reservatório	31
Figura 13- Registro fotográfico do pilar vertical.....	31
Figura 14- Registro fotográfico das tubulações e das válvulas.....	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1 Corrosão.....	14
3.2 Tipos de Corrsão.....	14
3.2.1 Corrosão Eletroquímica	14
3.2.2 Corrosão Uniforme	15
3.2.3 Corrosão Galvânica.....	16
3.3 Concreto Armado	17
3.3.1 Formação do Concreto Armado	18
3.3.2 Durabilidade do Concreto Armado	19
3.3.3 Corrosão em Concreto Armado	20
3.3.4 Corrosão por Carbonatação no Concreto Armado	21
3.3.5 Corrosão por Cloretos no Concreto Armado	23
3.3.6 Técnicas Preventivas da Corrosão no Concreto Armado.....	24
3.3.7 Riscos Estruturais Econômicos e de Segurança	26
4 MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 Local do estudo	28
4.2 Método de inspeção e Materiais utilizados	29
4.3 Procedimentos de coleta de dados e fluxograma	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 Histórico do Reservatório	31
5.2 Registros Fotográficos.....	31
5.3 Classificação das patologias e causas prováveis	33
5.4 Riscos.....	33
5.5 Medidas preventivas	34
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado representam um dos pilares fundamentais da engenharia civil moderna, sendo amplamente utilizadas em obras de infraestrutura, edificações residenciais, comerciais e públicas. A combinação entre o concreto e o aço proporciona elevada resistência mecânica, boa durabilidade e versatilidade de aplicação. Contudo, essas estruturas estão sujeitas a processos de deterioração ao longo do tempo, dentre os quais a corrosão das armaduras se destaca como o mais recorrente e prejudicial, comprometendo tanto a segurança estrutural quanto a viabilidade econômica das construções (Helene, 1993; Mehta & Monteiro, 2014).

A corrosão pode ser definida como um processo natural de degradação dos materiais resultante de reações químicas ou eletroquímicas entre o material e o meio ambiente. No caso do concreto armado, a corrosão das barras de aço ocorre, principalmente, devido à carbonatação e à penetração de íons cloreto, que alteram o ambiente alcalino protetor do concreto e favorecem o início da oxidação do aço (Neville, 2011). Esses mecanismos, ao longo do tempo, causam fissuras, destacamento do cobrimento, perda de aderência e redução da seção das armaduras, comprometendo a integridade e a capacidade de carga da estrutura (Helene & Andrade, 1993).

No contexto atual, a durabilidade das estruturas de concreto tem se tornado um tema de grande relevância, sobretudo em obras expostas a condições ambientais agressivas e à ausência de manutenção adequada. A falta de inspeções periódicas, o uso de materiais inadequados e a execução ineficiente são fatores que aceleram o processo corrosivo e reduzem significativamente a vida útil das estruturas. A NBR 6118:2014 e a NBR 9452:2019, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estabelecem diretrizes fundamentais para o projeto, execução e a inspeção das estruturas de concreto, com ênfase na durabilidade e na prevenção da corrosão.

Este tema adquire ainda maior relevância quando o objeto de estudo se encontra em áreas de grande circulação de pessoas, como é o caso do reservatório de abastecimento de água localizado na cidade de João Dias – RN, situado nas proximidades de uma escola. Essa localização implica riscos adicionais, pois qualquer manifestação patológica pode afetar diretamente a segurança da população, especialmente de crianças e adolescentes. Assim, a deterioração de estruturas próximas a locais públicos requer atenção redobrada e intervenções preventivas, de modo a garantir a integridade física dos usuários e a continuidade dos serviços essenciais (ABNT, 2014; ABNT, 2019).

Do ponto de vista econômico, a corrosão representa um dos maiores desafios da engenharia moderna. Estudos estimam que de 40% a 60% dos custos de manutenção em estruturas de concreto armado estão relacionados à correção de danos provocados por esse fenômeno (Mehta & Monteiro, 2014). Além disso, os reparos emergenciais, geralmente realizados após o avanço da deterioração, são substancialmente mais onerosos do que as medidas preventivas implementadas desde o projeto. Essa realidade reforça a importância da avaliação periódica das condições estruturais e da implementação de programas de manutenção preventiva, que são capazes de prolongar a vida útil da estrutura e reduzir os custos de reabilitação (Helene, 1993).

Sob o aspecto estrutural, a corrosão afeta diretamente a capacidade resistente do sistema, podendo causar fissuras, deformações excessivas e rupturas localizadas. Em casos mais severos, a perda de seção das armaduras e a redução da aderência aço-concreto tornam a estrutura suscetível a colapsos parciais ou totais. Quando isso ocorre em ambientes de uso público, como escolas, hospitais ou áreas residenciais, o risco à vida humana é agravado, configurando não apenas um problema técnico, mas também social e ético (ABNT, 2013; Pereira et al., 2010). Dessa forma, a avaliação das condições estruturais de corrosão em reservatórios de abastecimento de água, especialmente em locais sensíveis como João Dias – RN, torna-se essencial para compreender o estado atual da estrutura, identificar os principais mecanismos de degradação e propor soluções técnicas adequadas para garantir sua estabilidade, segurança e durabilidade.

Assim, este trabalho tem como objetivo geral avaliar as condições estruturais, com ênfase em sinais de corrosão, em um reservatório de abastecimento de água na cidade de João Dias – RN, buscando identificar os principais agentes de deterioração e seus impactos na segurança e na durabilidade da estrutura.

Portanto, este estudo visou contribuir para o entendimento aprofundado dos processos corrosivos em estruturas de concreto armado, reforçando a importância da manutenção preventiva e da gestão eficiente da durabilidade das obras públicas, sobretudo em ambientes de uso coletivo, onde a segurança da população deve ser sempre prioridade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar as condições de corrosão no reservatório de água na cidade de João Dias no estado do Rio Grande Do Norte, (caixa d'água da cidade), avaliando os efeitos no concreto e nos componentes metálicos, de forma a propor estratégias de recuperação e de manutenção.

2.2 Objetivos Específicos

- Levantar os principais fatores que levam à corrosão em concreto armado e elementos metálicos em reservatórios de água;
- Revisar técnicas de recuperação estrutural aplicáveis a reservatórios deteriorados;
- Identificar boas práticas de manutenção preventiva que possam ser implementadas em sistemas de abastecimento;
- Propor diretrizes para prolongar a durabilidade de reservatórios urbanos;
- Avaliar os riscos estruturais, econômicos e de segurança associados à corrosão em um reservatório de abastecimento de água

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CORROSÃO

A corrosão é um fenômeno natural de deterioração dos materiais, resultante de reações químicas ou eletroquímicas que ocorrem entre o metal e o meio ambiente no qual está inserido. Esse processo provoca a perda gradual das propriedades físicas, químicas e mecânicas do material, podendo comprometer sua resistência, durabilidade e desempenho estrutural.

De acordo com Gentil (2011), a corrosão é essencialmente um processo eletroquímico, no qual ocorrem reações simultâneas de oxidação e redução, dependentes da presença de um eletrólito, oxigênio e diferença de potencial elétrico. Em estruturas de engenharia civil, a corrosão representa um dos principais mecanismos de degradação, sendo responsável por elevados custos de manutenção e por riscos à segurança das edificações e obras de infraestrutura.

No concreto armado, a corrosão assume papel ainda mais crítico, pois o aço das armaduras, quando exposto a condições agressivas, pode perder sua proteção natural, desencadeando manifestações patológicas como fissuras, destacamento do cobrimento e exposição das barras.

3.2 Tipos de Corrosão

A corrosão pode manifestar-se de diferentes formas, dependendo das características do material, das condições ambientais e do meio de exposição. Segundo Gentil (2011), os tipos de corrosão são classificados com base no mecanismo de ataque e na forma como o material se deteriora. Em estruturas de concreto armado e em componentes metálicos associados, destacam-se principalmente a corrosão eletroquímica, a corrosão uniforme e a corrosão galvânica, que são abordadas a seguir.

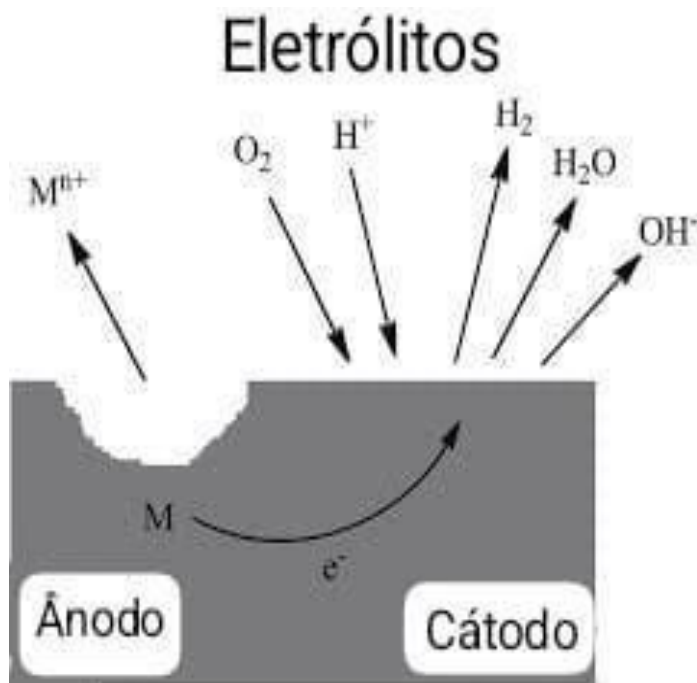
3.2.1 Corrosão Eletroquímica

A corrosão eletroquímica é o tipo mais comum em estruturas metálicas e em concreto armado, ocorrendo quando o metal está em contato com um eletrólito, (Solução condutora). Nesse processo, formam-se regiões anódicas, onde ocorre a oxidação do metal, e regiões catódicas, onde ocorrem reações de redução, estabelecendo uma célula eletroquímica natural (Gentil, 2011).

No concreto armado, a corrosão eletroquímica está diretamente relacionada à ruptura da camada passivadora do aço, que se forma naturalmente em ambientes altamente alcalinos. Quando essa camada é destruída, seja pela carbonatação do concreto ou pela presença de íons cloreto, o aço torna-se suscetível à oxidação. Segundo Gentil (2011), a presença simultânea de umidade, oxigênio e eletrólito é suficiente para iniciar e manter o processo corrosivo, o que explica sua elevada incidência em estruturas expostas às intempéries e sem manutenção adequada.

A Figura 1 representa a ilustração da corrosão eletroquímica juntamente com as espécies químicas envolvidas no processo.

Figura 1- Representação esquemática de corrosão eletroquímica



Fonte: Adaptado do Organic Corrosion Inhibitors (2018).

3.2.2 Corrosão Uniforme

A corrosão uniforme, conforme ilustrada na Figura 2 caracteriza-se pela deterioração relativamente homogênea de toda a superfície metálica exposta. Nesse tipo de corrosão, a perda de material ocorre de maneira contínua e distribuída, resultando em uma redução gradual da seção do metal (Gentil, 2011).

Apesar de ser considerada menos perigosa do que outros tipos localizados, a corrosão uniforme pode comprometer significativamente a resistência dos elementos metálicos ao longo

do tempo. Em estruturas civis, esse tipo de corrosão é comum em tubulações, válvulas e componentes metálicos expostos à umidade constante e à ausência de proteção superficial, como pinturas ou revestimentos anticorrosivos.

Figura 2- Imagem realista de uma ponte apresentando corrosão uniforme



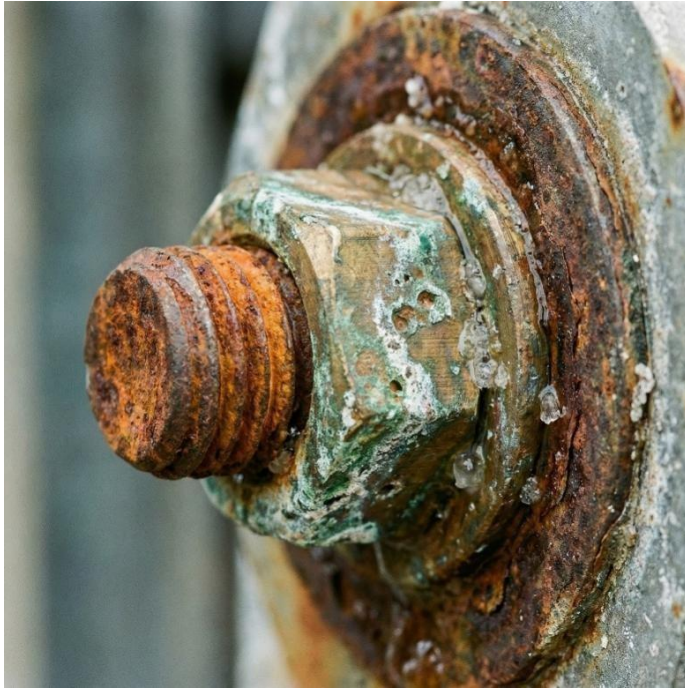
Fonte: DeeVid AI (2025)

3.2.3 Corrosão Galvânica

A corrosão galvânica ocorre quando dois metais diferentes entram em contato elétrico na presença de um eletrólito. Nessa condição, o metal menos nobre atua como ânodo e sofre corrosão acelerada, enquanto o metal mais nobre atua como cátodo e é protegido (Gentil, 2011).

Esse tipo de corrosão é frequente em sistemas metálicos que utilizam materiais distintos, como conexões entre aço, cobre ou alumínio. Em estruturas hidráulicas e reservatórios, a corrosão galvânica pode ocorrer em tubulações e conexões metálicas, especialmente quando não há isolamento elétrico adequado entre os materiais. A Figura 3 mostra alguns exemplos de corrosão galvânica.

Figura 3 - Imagem realista de corrosão galvânica entre porca e parafuso



Fonte: DeeVid AI (2025)

3.3 CONCRETO ARMADO

O concreto armado é um material composto formado pela combinação de concreto e armaduras de aço, em que as estruturas ambos trabalham de forma conjunta para resistir aos esforços aplicados. Nessa junção, têm-se o concreto, que apresenta resistência à compressão, e o aço, que é capaz de suportar esforços de tração, fazendo com que se torne possível que a estrutura resista à flexão, ao cisalhamento e a cargas combinadas (Mehta; Monteiro, 2014; Neville, 2011).

A combinação do concreto com as armaduras de aço permite, que o material desempenha funções essenciais nas estruturas, como nas edificações, nas pontes, nos reservatórios e em outras estruturas civis, garantindo durabilidade e segurança estrutural (Neville, 2011).

O concreto armado é fundamental para suportar cargas pesadas, mantendo a integridade da estrutura ao longo do tempo. Ele é utilizado para resistir a esforços de flexão e de compressão simultaneamente, tornando possível a construção de elementos como vigas, pilares, lajes e fundações, que precisam de alta resistência mecânica e confiabilidade estrutural (Broomfield, 2007). Na Figura 4, tem-se uma representação do concreto armado.

Figura 4- Imagem realista da estrutura de concreto armado sendo montada



Fonte: DeeVid AI (2025)

3.3.1 Formação do Concreto Armado

A formação do concreto armado envolve a união de cimento, agregados, água, aditivos e aço de armadura, que é colocado antes da concretagem. O cimento é responsável pela absorção de água que endurece o material, garantindo sua resistência inicial (Neville, 2011). Os agregados, como areia e brita, conferem resistência mecânica, reduzem retrações e proporcionam volume ao concreto (Azevedo Netto, 2015).

A água é necessária para a completa hidratação do cimento, enquanto os aditivos melhoram características específicas, como trabalhabilidade, redução de permeabilidade e tempo de pega (Mehta; Monteiro, 2014). As armaduras de aço são posicionadas dentro do concreto para resistir à tração e à flexão, complementando a resistência à compressão do concreto (Broomfield, 2007).

Segundo Mehta e Monteiro (2014), o concreto armado combina a resistência à compressão do concreto com a resistência à tração do aço, permitindo estruturas mais duráveis e eficientes. Essa integração é essencial para que a estrutura suporte cargas de maneira segura e prolongue sua vida útil. Na Figura 5, tem-se a formação do concreto armado e o posicionamento das armaduras.

Figura 5- Formação do concreto armado e posicionamento das armaduras



Fonte: DeeVid AI (2025)

3.3.2 Durabilidade do Concreto Armado

A durabilidade do concreto armado está diretamente associada à permeabilidade do material, à qualidade dos insumos utilizados, às condições de cura e à espessura do cobrimento das armaduras. Concretos mais densos e com menor porosidade dificultam a penetração de agentes agressivos, como o dióxido de carbono e os íons cloreto, retardando o início dos processos corrosivos e aumentando a vida útil das estruturas (Furcas et al., 2024).

Diante da importância desses fatores para o desempenho ao longo do tempo, as normas técnicas brasileiras foram estabelecidas justamente para controlar e padronizar esses parâmetros de durabilidade. Nesse contexto, a ABNT NBR 6118:2014, a ABNT NBR 12655:2015 e a ABNT NBR 14931:2004 definem limites e procedimentos relacionados à relação água/cimento, aos cobrimentos mínimos das armaduras, à qualidade dos materiais, à execução e à cura do concreto, assegurando condições adequadas para a proteção do aço e a redução da permeabilidade. De forma complementar, a ABNT NBR 15575:2013 estabelece requisitos mínimos de desempenho e vida útil das edificações, reforçando a necessidade de atendimento a esses critérios para garantir a durabilidade das estruturas.

O cobrimento das armaduras é fundamental, pois protege o aço contra a carbonatação e a penetração de cloretos, que podem comprometer a camada de passivação natural do metal formada em pH elevado (Azevedo Netto, 2015). A cura adequada do concreto, mantendo a hidratação e evitando fissuras, também é determinante para prolongar a vida útil das estruturas

(Mehta; Monteiro, 2014). Neville (2011) reforça que a combinação de concretos densos, cobertura adequada das armaduras e baixa permeabilidade aumenta significativamente a resistência à corrosão, garantindo maior durabilidade.

3.3.3 Corrosão em Concreto Armado

No concreto armado, o aço das armaduras encontra-se inicialmente protegido por uma camada passivadora formada devido ao elevado pH do concreto, geralmente superior a 12,5. Essa condição garante a estabilidade do aço e impede o avanço da corrosão. No entanto, segundo Gentil (2011), quando o ambiente alcalino é alterado ou quando agentes agressivos conseguem atingir a armadura, essa proteção é perdida.

A corrosão no concreto armado está associada principalmente à carbonatação do concreto e à penetração de íons cloreto, que rompem a camada de passivação e permitem o desenvolvimento da corrosão eletroquímica. A formação de produtos de corrosão, que possuem volume superior ao do aço original, gera tensões internas no concreto, resultando em fissuração, destacamento do cobrimento e exposição das armaduras, comprometendo a durabilidade e a segurança estrutural.

A quebra da passivação do aço ocorre quando o pH do concreto diminui pela carbonatação ou, pela presença excessiva de cloretos. Após essa quebra da passivação, ocorre corrosão eletroquímica, que gera expansões internas e fissuração do cobrimento (Saura-Gómez; Rizo-Maestre; Echarri-Iribarrem, 2022).

A carbonatação, que resulta da penetração do dióxido de carbono nos poros do concreto e da reação com o hidróxido de cálcio, reduz o pH da matriz cimentícia e compromete a proteção natural do aço (Broomfield, 2007).

Além disso, o ataque por cloretos, comum em estruturas localizadas próximas ao mar ou expostas a sais, pode perfurar a camada protetora mesmo em pH elevado, iniciando o processo de corrosão. A ferrugem formada ocupa um volume maior que o aço original, causando fissuras, deslocamento do concreto e redução da seção útil das armaduras, comprometendo a capacidade resistente da estrutura (Mehta; Monteiro, 2014). Neville (2011) enfatiza que a corrosão do aço embutido é responsável pela maior parte das falhas prematuras das estruturas de concreto armado.

Portanto, o concreto armado, quando corretamente projetado e executado, apresenta elevada durabilidade e resistência, mas a compreensão dos mecanismos de degradação é essencial para que engenheiros possam garantir a longevidade e a segurança das construções,

reduzindo custos com manutenção e reabilitação (Broomfield, 2007).

A Figura 6 mostra um concreto armado corroído.

Figura 6- Corrosão no concreto armado



Fonte: DeeVid AI (2025)

3.3.4 Corrosão por Carbonatação no Concreto Armado

A corrosão por carbonatação é um dos mecanismos mais comuns de deterioração do concreto armado, resultando, na perda da alcalinidade do concreto e, consequentemente, na destruição da camada de passivação que protege o aço contra a oxidação (Neville, 2011). Esse processo ocorre quando o dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera penetra pelos poros do concreto e reage com os compostos alcalinos da pasta de cimento hidratada, principalmente com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), formando carbonato de cálcio (CaCO_3) e reduzindo o pH do concreto de valores próximos de 12,5–13 para cerca de 9 (Mehta; Monteiro, 2014). A reação química pode ser representada pela equação:



Essa reação resulta na formação de carbonato de cálcio (CaCO_3) e água, provocando a redução do pH do concreto. Enquanto o concreto não carbonatado apresenta pH elevado, em torno de 12,5 a 13,5, a carbonatação pode reduzir esse valor para aproximadamente 8 a 9, nível no qual a camada passivadora do aço é destruída (Gentil, 2011; Neville, 2011).

Quando o pH da matriz de cimento cai abaixo de aproximadamente 9, a camada passiva

que protege o aço é rompida, tornando a armadura vulnerável ao ataque de oxigênio e umidade, o que inicia o processo de corrosão eletroquímica (Broomfield, 2007).

Essa reação oxidativa leva à formação de produtos de corrosão volumosos, como óxidos e hidróxidos de ferro, que exercem pressão sobre o concreto ao redor da armadura. Essa expansão provoca fissuração, destacamento do cobrimento e, em estágios avançados, a exposição do aço, acelerando ainda mais o processo corrosivo (Azevedo Netto, 2015).

A velocidade de carbonatação depende de diversos fatores, entre eles a permeabilidade do concreto, a umidade relativa do ar, a concentração de CO_2 e a temperatura ambiente. Concretos com alta relação água/cimento, porosidade elevada ou cura inadequada são mais suscetíveis à penetração do dióxido de carbono, reduzindo significativamente a durabilidade da estrutura (Neville, 2011). Segundo Mehta e Monteiro (2014), a carbonatação ocorre mais rapidamente em ambientes com umidade relativa entre 50% e 70%, pois é necessária a presença de umidade nos poros para permitir a difusão do CO_2 dissolvido, mas o excesso de água pode dificultar a penetração do gás.

Assim, a corrosão por carbonatação representa um fenômeno químico e físico complexo, que depende tanto das características do concreto quanto das condições ambientais. O seu controle exige um projeto criterioso, materiais de qualidade e manutenção periódica, garantindo a durabilidade e o desempenho estrutural das obras em concreto armado (Mehta; Monteiro, 2014). A Figura 7 ilustra o resultado de um processo de corrosão por carbonatação.

Figura 7- Imagem realista da corrosão por carbonatação



Fonte: DeeVid AI (2025)

3.3.5 Corrosão por Cloretos no Concreto Armado

A corrosão por cloretos é um dos mecanismos mais agressivos e perigosos de deterioração do concreto armado, pois pode ocorrer mesmo quando o concreto ainda apresenta alto pH e a camada passivadora do aço permanece aparentemente estável (Mehta; Monteiro, 2014).

A ruptura da camada passiva ocorre devido à formação de complexos solúveis de ferro com íons cloreto, que promovem reações anódicas localizadas, resultando em pontos isolados de ataque no aço (Broomfield, 2007). Esse tipo é mais frequente no caso de uma corrosão localizada, onde os cloretos promovem essa reação, mesmo em concreto com pH elevado, e as estruturas expostas ao ambiente marinho e regiões litorâneas são as mais vulneráveis. Estudos recentes mostram que o ataque por cloretos é hoje o principal mecanismo de deterioração mundial (Ali et al., 2024).

A taxa de penetração dos cloretos no concreto depende de fatores como a permeabilidade do material, a relação água/cimento, a presença de fissuras, a temperatura e a concentração de cloretos no ambiente. Concretos com alta densidade e baixa porosidade dificultam a difusão dos íons cloreto, retardando o início da corrosão (Mehta; Monteiro, 2014). Já concretos porosos, com cura inadequada ou fissurados, permitem o rápido ingresso de agentes agressivos, acelerando a deterioração das armaduras (Neville, 2011).

Em regiões costeiras, o transporte de cloretos pode ocorrer tanto por difusão em zonas saturadas quanto por deposição de aerossóis salinos transportados pelo vento. Por isso, estruturas expostas a ambientes marinhos, como pontes, cais, reservatórios e fundações próximas ao mar, estão entre as mais suscetíveis à corrosão por cloretos (Broomfield, 2007). Esse processo é ainda intensificado pela presença de umidade e oxigênio, que completam as reações eletroquímicas necessárias para a oxidação do ferro e a formação de produtos de corrosão expansivos, como óxidos e hidróxidos de ferro.

Portanto, a figura 8 ilustra a corrosão por cloretos onde podemos notar a degradação do concreto armado, que compromete a integridade estrutural de forma localizada. O controle adequado da permeabilidade do concreto, da qualidade dos materiais e das condições de exposição é essencial para prevenir esse tipo de deterioração e garantir a durabilidade e a segurança das estruturas de engenharia civil (Mehta; Monteiro, 2014).

Figura 8- Corrosão causada por cloretos



Fonte: DeeVid AI (2025)

3.3.6 Técnicas Preventivas da Corrosão no Concreto Armado

A prevenção da corrosão em estruturas de concreto armado envolve ações planejadas desde o projeto até a execução e a manutenção da obra. A durabilidade do concreto depende principalmente da permeabilidade, da qualidade dos materiais, do cobrimento das armaduras e das condições ambientais (Helene, 1993; Mehta & Monteiro, 2014).

A corrosão das armaduras é um dos principais fatores que comprometem a durabilidade e a vida útil das estruturas de concreto armado, sendo essencial a adoção de medidas preventivas desde o projeto até a fase de manutenção da obra (Helene, 1993). As medidas mais importantes é a redução da permeabilidade do concreto, obtida pela diminuição da relação água/cimento e da utilização de adições minerais, como sílica ativa, cinza volante e escória de alto-forno. Tais adições refinam os poros da matriz cimentícia, aumentando a resistência à penetração de íons cloreto e CO_2 (Mehta; Monteiro, 2014; Furcas et al., 2024).

Outra medida essencial é o controle da espessura do cobrimento da armadura, que funciona como a principal barreira física contra a penetração de substâncias agressivas. A NBR 6118:2014 estabelece valores mínimos de cobrimento de acordo com a classe de agressividade ambiental. Por exemplo, em ambientes marítimos ou industriais, o cobrimento deve ser maior para garantir proteção adequada (ABNT, 2014).

O uso de aditivos inibidores de corrosão vem se mostrando uma técnica eficiente. Esses aditivos formam uma película protetora na superfície da armadura, dificultando a reação eletroquímica e prolongando a vida útil da estrutura. Podem ser aditivos de tipo anódico, catódico ou misto, sendo os de nitrito de cálcio os mais utilizados (Andrade & Castellanos,

2002).

A impermeabilização superficial do concreto também é uma estratégia eficaz, pois cria uma camada protetora que impede ou reduz a difusão de gases e líquidos. Essa técnica pode ser feita com resinas epóxi, vernizes acrílicos, silicones ou hidrofugantes à base de silano/siloxano (Helene & Ambrade, 1993). Pesquisas recentes verificaram que esses revestimentos apresentam desempenho elevado, especialmente em estruturas litorâneas, e podem reduzir em até 60% a penetração de agentes agressivos (Santiago, 2023). Assim, os métodos recomendados há décadas permanecem válidos, mas agora respaldados por tecnologias de produtos mais eficientes.

Em estruturas sujeitas à ação de cloretos, como pontes ou áreas costeiras, é recomendada a proteção catódica. Esse sistema consiste em aplicar uma corrente elétrica oposta à da corrosão, anulando a diferença de potencial entre as armaduras e o meio, o que interrompe o processo corrosivo (Pereira et al., 2010).

O controle da execução do projeto e da manutenção correta e da cura do concreto também é fundamental. Uma cura deficiente pode gerar microfissuras e aumentar a permeabilidade da superfície, facilitando a entrada de agentes agressivos. A manutenção adequada da umidade e da temperatura durante o endurecimento contribui para um concreto mais denso e durável (Mehta & Monteiro, 2014).

Por fim, é indispensável um programa de inspeção e manutenção periódica da estrutura. A inspeção permite identificar precocemente sinais de corrosão, fissuras, eflorescências e destacamentos, possibilitando intervenções antes que o dano se torne irreversível. Tais práticas de manutenção preventiva são preconizadas pelas normas brasileiras de durabilidade e reforço de estruturas de concreto (ABNT NBR 15575, 2013).

Em resumo, a prevenção da corrosão no concreto armado depende da integração entre boas práticas de projeto, execução, controle de qualidade dos materiais, uso de aditivos e sistemas protetores, além de manutenção contínua. Essas ações, quando aplicadas de forma conjunta, aumentam consideravelmente a durabilidade das construções e reduzem os custos de reparo ao longo do tempo. A Figura 9 mostra um tipo de método preventivo chamado de encamisamento. (Helene, 1993; Mehta & Monteiro, 2014).

Figura 9- Ilustração do encamisamento em pilares de concreto armado



Fonte: DeeVid AI (2025)

3.3.7 Riscos Estruturais Econômicos e de Segurança

A corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado representa um dos principais problemas patológicos da engenharia civil, acarretando riscos estruturais, econômicos e de segurança. O processo corrosivo é responsável por reduzir a durabilidade das construções, afetar a estabilidade das estruturas e gerar custos elevados de manutenção e de recuperação (Helene, 1993).

O impacto estrutural da corrosão é amplamente documentado em estudos recentes, e de acordo com pesquisas de 2023 e 2024, a corrosão provoca perda de seção das barras, expansão dos produtos de corrosão, fissuração do cobrimento e perda de aderência entre aço e concreto (Korec et al., 2023; Conte, 2024). Esses efeitos reduzem a capacidade resistente dos elementos estruturais e comprometem o desempenho de vigas, pilares e lajes.

Modelagens avançadas realizadas em 2023 demonstram que a corrosão localizada (pite) acelera o processo de perda de resistência e pode levar a falhas abruptas, mesmo quando a corrosão superficial é pouco perceptível (Korec et al., 2023). Assim, a integridade estrutural pode ser comprometida sem sinais aparentes, elevando a criticidade do problema.

Além dos danos estruturais, a corrosão gera impactos econômicos significativos. Estudos recentes apontam que a corrosão corresponde a mais de 50% a 60% dos custos de manutenção em obras de concreto armado, especialmente em regiões com exposição severa a cloretos ou poluição urbana (Santiago, 2023). Quando o processo não é detectado

precocemente, o custo das intervenções aumenta consideravelmente, exigindo reparos complexos, reforços estruturais ou até substituição de elementos comprometidos. Pesquisas também mostram que o atraso na intervenção aumenta exponencialmente os custos, pois a corrosão tende a acelerar conforme a armadura perde sua camada passiva inicial (Fernandes; Nóbrega, 2024). A falta de manutenção preventiva gera, portanto, impactos financeiros diretos para gestores públicos e privados.

Os riscos à segurança são os mais críticos entre os efeitos da corrosão. Inspeções recentes em obras públicas têm revelado que muitas estruturas apresentam corrosão avançada sem manutenção adequada, principalmente em edifícios antigos, viadutos e pontes municipais (Fernandes; Nóbrega, 2024). A combinação de perda de seção, redução de aderência e fissuração do concreto aumenta a probabilidade de colapso parcial ou total. Estudos de vida útil realizados em 2024 indicam que estruturas expostas a ambientes agressivos podem atingir níveis críticos de deterioração mais cedo do que o previsto, tornando indispensável a execução de inspeções frequentes e o monitoramento eletroquímico das armaduras (Conte, 2024; Saura-Gómez; Rizo-Maestre; Echarri-Iribarren, 2022). Assim, a corrosão representa um risco real à segurança de usuários, trabalhadores e da população em geral, sendo considerada uma das principais causas de falhas estruturais em edificações envelhecidas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada neste trabalho consistiu em uma inspeção visual direta, de caráter qualitativo e descritivo, realizada com o objetivo de verificar a existência de manifestações patológicas associadas à corrosão na estrutura do reservatório de abastecimento de água. Esse tipo de abordagem é indicado para avaliações estruturais preliminares, nas quais se busca identificar sinais aparentes de deterioração sem a realização de ensaios ou medições instrumentadas (Gil, 2017).

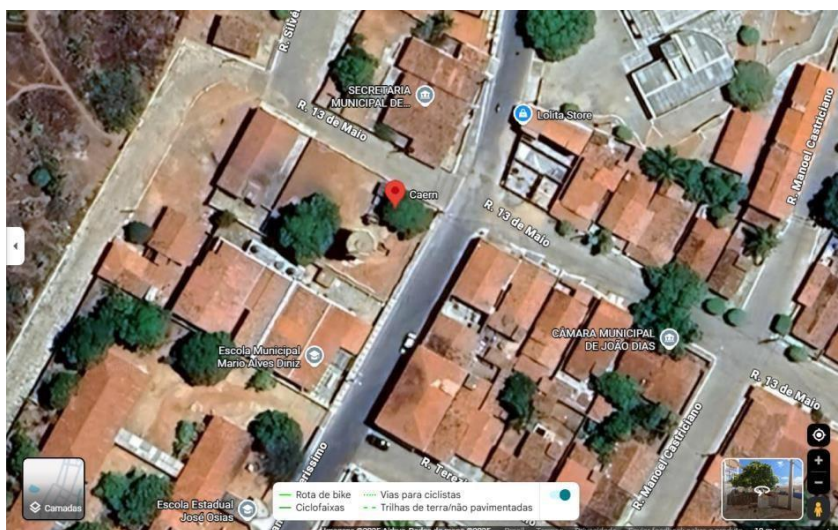
O procedimento de inspeção visual seguiu as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 16747:2020, que define a inspeção como o processo de observação sistemática da edificação ou estrutura, permitindo identificar anomalias visíveis, como fissuras, deslocamento do concreto, exposição de armaduras e produtos de corrosão. De acordo com a norma, a inspeção visual constitui a primeira etapa para o diagnóstico das condições estruturais.

A identificação e interpretação dos indícios de corrosão foram fundamentadas nos conceitos apresentados por Gentil (2011), que destaca que a corrosão pode ser reconhecida preliminarmente por meio da análise das condições ambientais, da presença de umidade, oxigênio e eletrólito, bem como das manifestações visíveis na superfície dos materiais. Segundo o autor, a observação de produtos de corrosão, fissuras e deterioração do material é suficiente para indicar a atuação de processos corrosivos em avaliações iniciais.

4.1 Local do estudo

O estudo foi realizado no município de João Dias, interior do Rio Grande do Norte. Nesse município, o clima é semiárido, característico do sertão nordestino, com verões quentes e chuvosos (dezembro a maio) e invernos mais secos. Além disso, apresenta, temperaturas elevadas o ano todo, pouca umidade e um índice de chuvas baixo. O local da pesquisa, especificamente, foi no bairro Conjunto São Francisco, onde se encontra um reservatório elevado de água responsável pelo abastecimento da cidade. Trata-se de uma estrutura antiga, exposta ao sol, ao vento e à chuva, o que a torna suscetível ao desenvolvimento de manifestações patológicas, especialmente corrosão das armaduras. A figura 10 mostra a localização do reservatório.

Figura 10- Localização do reservatório de água do Município de João Dias-RN



Fonte: Google Maps (2025)

4.2 Método de inspeção e Materiais utilizados

A metodologia que foi aplicada nesse estudo foi a inspeção visual direta, seguindo as recomendações da norma ABNT NBR16747:2020, que trata de inspeção predial, e ela foi usada por ser um método não destrutivo, permitindo fazer as seguintes análises:

- Identificar fissuras visíveis;
- Observar a exposição das armaduras;
- Fazer um registro geral da estrutura atualmente;

Assim, durante a inspeção, foram realizados registros fotográficos e anotações técnicas dos pontos que apresentavam indícios de corrosão ou degradação do concreto, sem a aplicação de métodos destrutivos ou ensaios laboratoriais. Ressalta-se que a metodologia adotada é compatível com o objetivo do estudo, que se limita a uma avaliação estrutural preliminar, servindo como base para futuras análises mais detalhadas e intervenções técnicas, quando necessárias. Na inspeção, os materiais utilizados na pesquisa foram o smartphone do autor para realizar os registros fotográficos da estrutura em geral e um caderno para anotações.

4.3 Procedimentos de coleta de dados e fluxograma

O processo na coleta de dados foi feito em três etapas:

- 1) Inicialmente, houve uma observação no reservatório de forma geral para que fossem encontrados dados suficientes na estrutura;
- 2) Registros dos pontos que foram identificados para o estudo;
- 3) Por último, a classificação e a organização das patologias encontradas por meio das imagens coletadas.

O fluxograma do estudo (Figura 11) teve como início a realização da identificação da estrutura em estudo. Nesta etapa, podemos definir sua localização e condições gerais de estrutura. Em seguida, realizamos a inspeção visual diretamente no local. Observamos o estado do concreto, presença de fissuras, descolamentos e qualquer indício de deterioração.

Durante a inspeção, registramos fotograficamente todos os danos encontrados. Depois disso, classificamos as patologias identificadas, como fissuras, corrosão, destacamento de revestimento, armaduras expostas ou degradação superficial. Cada uma foi categorizada conforme sua natureza e gravidade.

Com os danos identificados e classificados, realizamos a análise técnica, fundamentada em normas e referências da área como as ABNT NBR 16747:2020, ABNT NBR 6118:2014 e . Buscamos entender as causas prováveis, os mecanismos de deterioração e suas possíveis consequências.

Figura 11- fluxograma do processo do estudo de caso



Fonte: Autoria própria (2025)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Histórico do Reservatório

O reservatório foi construído no ano de 1981. Sua função é o abastecimento de água para os moradores da cidade de João Dias-RN, que, conforme o Censo do IBGE de 2022, conta com uma população de 2076 habitantes. Suas dimensões são de 2,6 metros de altura e um diâmetro 3 metros, com capacidade de 18378 litros. A altura total da estrutura é de 8,5 m.

Foi feito um levantamento do histórico do reservatório com perguntas informais aos moradores do entorno para saber se o reservatório já havia passado por manutenções ou algum tipo de restauração na estrutura. Com base nas pessoas entrevistadas, a estrutura não passou por nenhum tipo de reparo ou manutenção.

A estrutura foi exposta a intempéries, com vários anos de uso, além de ser submetida à ação contínua da umidade ao longo dos anos, junto aos agentes agressivos do ambiente e a variações térmicas. Como a inspeção foi integralmente visual, seu objetivo era identificar se as estruturas apresentavam algumas patologias associadas à corrosão, fissuras e degradação dos elementos estruturais e metálicos.

5.2 Registros Fotográficos

Feita a inspeção, visualizou-se algumas manifestações patológicas na estrutura. Tem-se um pilar vertical que estava com várias deteriorações, apresentando aspectos compatíveis com carbonatação profunda (Saura-Gómez et al., 2022). A presença de fissuras profundas pode indicar que os produtos da corrosão já causaram expansão e ruptura do cobrimento da armadura, reação essa que foi documentada por Ali et al. (2024), que mostraram que a corrosão é capaz de ter indução de tensões internas com a capacidade de abrir fissuras em concreto que estejam aparentemente íntegros.

Além do pilar, foi também encontrada uma tubulação e válvulas corroídas. É comum ter esse tipo de corrosão em ambientes com umidade permanente, que têm presença de sais e ausência de revestimentos protetores adequados (Fernandes; Nóbrega, 2024). Nota-se que alguns desses trechos têm a ocorrência da corrosão por causa da estagnação da água. Segundo Santiago (2023), tubulações que são expostas a umidade e secagem dentro desse ciclo apresenta uma aceleração no processo corrosivo. As Figuras 12, 13 e 14 mostram o reservatório, o pilar vertical e as tubulações, respectivamente.

Figura 12- Registro fotográfico do reservatório



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Figura 13- Registro fotográfico do pilar vertical



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Figura 14- Registro fotográfico das tubulações e das válvulas



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

5.3 Classificação das patologias e causas prováveis

Com base nas análises visuais e na consulta das literaturas, foi possível classificar as patologias e sugerir suas causas a partir das condições operacionais.

No pilar, foram encontrados fissuração longitudinal, deslocamento do cobrimento, armaduras expostas. As causas prováveis podem ser falta de manutenção e/ou reparos ao longo dos anos; as intempéries devido à exposição ao sol e à chuva; carbonatação devido à idade da estrutura, possível insuficiência do cobrimento original, fissuras que facilitam a entrada de agentes agressivos.

Na tubulação, foram encontradas regiões com corrosão uniforme, bem como início de formação de depósitos do produto da corrosão, além de desgaste superficial. As prováveis causas podem ser ausência de revestimentos anticorrosivos; contato contínuo com umidade; presença de sais na água distribuída; falta de manutenção preventiva e repintura.

5.4 Riscos

Os danos identificados na estrutura do reservatório e em suas tubulações metálicas representam riscos significativos que podem afetar o desempenho, a durabilidade e a segurança

do sistema de abastecimento de João Dias – RN. De acordo com pesquisas recentes, a corrosão é um dos fatores que mais compromete estruturas de concreto expostas a intempéries (Ali et al., 2024; Fernandes; Nóbrega, 2024). A seguir, são apresentados os principais riscos decorrentes das patologias observadas.

Os riscos estruturais que a corrosão das armaduras evidenciada na Figura 14 podem gerar são a redução gradual da seção do aço e a perda de aderência entre o aço e o concreto, comprometendo diretamente a capacidade resistente do pilar. Estudos mostram que fissuras longitudinais e deslocamento do cobrimento indicam uma fase avançada de deterioração, podendo levar à instabilidade local e potencial falha estrutural (Korec et al., 2023). Além disso, a carbonatação profunda reduz o pH do concreto e acelera a quebra da passivação das armaduras, diminuindo a vida útil da estrutura (Saura-Gómez et al., 2022). Nas tubulações metálicas, o desgaste generalizado pode gerar rupturas súbitas, vazamentos e danos ao sistema de abastecimento, afetando a operação do reservatório.

Com relação aos riscos econômicos, tem-se que a corrosão é uma das manifestações patológicas que mais gera custos de manutenção em obras de concreto armado, podendo representar até 60% das despesas totais (Santiago, 2023). Caso não sejam aplicadas medidas rápidas de reparo, os danos podem aumentar ou demandar: a substituição completa das tubulações, o reforço das armaduras expostas, reconstrução do concreto deteriorado e interdição temporária do reservatório para obras emergenciais.

Esses fatores elevam significativamente o custo operacional e podem impactar o orçamento municipal, especialmente em cidades pequenas.

Os riscos mais críticos estão associados à possibilidade de acidentes. A exposição das armaduras demonstra que a estrutura já perdeu parte da proteção necessária e pode, em casos extremos, evoluir para colapso parcial do pilar, colocando em perigo moradores, trabalhadores e usuários do entorno (Fernandes; Nóbrega, 2024). A queda de fragmentos de concreto, o rompimento de tubulações e os vazamentos acentuados representam ameaças imediatas à segurança.

Além disso, estudos atuais indicam que estruturas hidráulicas com deterioração avançada apresentam maior probabilidade de falhas repentinas, especialmente em condições de sobrecarga (Ali et al., 2024).

5.5 Medidas preventivas

Com base nas patologias identificadas e na análise das condições estruturais e funcionais

do reservatório, algumas medidas corretivas e preventivas são necessárias para garantir a segurança, a durabilidade e o desempenho do sistema de abastecimento. É sabido que intervenções rápidas e adequadas reduzem a progressão da corrosão e os custos de manutenção a longo prazo (Santiago, 2023; Conte, 2024). A seguir são apresentadas recomendações específicas para o pilar deteriorado e para as tubulações metálicas.

Os danos observados no pilar que são fissuras longitudinais, perda de cobrimento e armaduras expostas sugerem estágio avançado de deterioração, possivelmente exigindo intervenção imediata. Segundo Ali et al. (2024), estruturas com corrosão ativa apresentam risco de perda de capacidade resistente caso não sejam reparadas adequadamente. Assim, recomenda-se: A remoção do concreto deteriorado, o tratamento das armaduras, a recomposição do cobrimento, a aplicação de revestimento superficial hidrofugante e o monitoramento periódico. A corrosão presente nas tubulações demonstra desgaste acentuado devido à exposição prolongada à umidade. Santiago (2023) ressalta que tubulações expostas a ciclos de molhamento e secagem apresentam corrosão acelerada. Assim, recomenda-se: substituição das partes comprometidas, o uso de revestimento anticorrosivo, a melhoria da drenagem e a manutenção preventiva anual.

A adoção das medidas recomendadas é fundamental para garantir a recuperação e a proteção da estrutura, pois estudos recentes indicam que intervenções adequadas realizadas de forma preventiva reduzem significativamente a evolução da corrosão, aumentam a vida útil e diminuem os custos de manutenção ao longo do tempo (Fernandes; Nóbrega, 2024). Além disso, como demonstrado por Conte (2024), o uso de técnicas corretivas associadas ao monitoramento contínuo permite controlar o avanço da deterioração e evitar falhas repentinas. De acordo com Saura-Gómez et al. (2022), a aplicação de revestimentos protetores e a recomposição do cobrimento são estratégias eficazes para retardar a penetração de agentes agressivos, como dióxido de carbono e umidade. Já Ali et al. (2024) destacam que a substituição de partes metálicas corroídas e a instalação de sistemas anticorrosivos nas tubulações são essenciais para prevenir rupturas e garantir a segurança operacional do sistema.

Assim, todas as intervenções propostas no tratamento das armaduras, como recomposição do concreto, aplicação de inibidores de corrosão, substituição das tubulações deterioradas e manutenção preventiva são tecnicamente justificadas, pois: Retardam a progressão da corrosão, também a redução dos riscos estruturais e operacionais, a diminuição dos custos futuros de reparo, o aumento da durabilidade da estrutura e garantem mais segurança para a população e para o sistema de abastecimento.

Portanto, com base nos resultados obtidos na inspeção visual, verificou-se que as

principais manifestações patológicas identificadas no reservatório estão associadas à fissuração do concreto, ao deslocamento do cobrimento, à exposição das armaduras no pilar vertical e à corrosão uniforme nas tubulações metálicas. Esses danos indicam a atuação prolongada de agentes agressivos, como umidade, variações térmicas e ausência de manutenção preventiva ao longo dos anos.

Diante desse cenário, as medidas preventivas propostas, como a recomposição do cobrimento, o tratamento das armaduras, a aplicação de revestimentos protetores no concreto e nas tubulações, bem como a implantação de um plano periódico de inspeção e manutenção, mostram-se diretamente coerentes com as patologias observadas. A adoção dessas ações tende a reduzir a progressão da corrosão, minimizar riscos estruturais e operacionais e prolongar a vida útil do reservatório e garantir o funcionamento seguro e contínuo do sistema de abastecimento de água de João Dias – RN.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A corrosão em estruturas de concreto armado é um dos problemas mais recorrentes e preocupantes dentro da engenharia civil. Com o passar dos anos, e principalmente quando não há manutenção, o concreto perde suas características de proteção e permite que agentes agressivos alcancem a armadura, iniciando um processo que compromete não apenas a durabilidade do material, mas também a segurança da estrutura como um todo. Por isso, o estudo desse tema continua sendo de grande importância, especialmente em regiões onde as construções estão expostas a intempéries e condições adversas.

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que a inspeção visual, quando fundamentada em referências técnicas consolidadas, como o estudo clássico de Gentil sobre corrosão, é uma ferramenta eficaz para a identificação preliminar de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado. Mesmo sem a realização de ensaios ou medições específicas, foi possível reconhecer sinais compatíveis com processos corrosivos, reforçando a importância da observação sistemática e do registro fotográfico como etapa inicial de diagnóstico. O estudo evidencia que avaliações preliminares são essenciais para orientar decisões técnicas, indicar a necessidade de investigações mais aprofundadas e subsidiar ações de manutenção preventiva, contribuindo para a preservação da durabilidade, da segurança estrutural e do funcionamento adequado de obras públicas essenciais, como reservatórios de abastecimento de água.

Ao longo deste trabalho, ficou evidente que compreender os mecanismos que levam à corrosão, assim como seus efeitos, é fundamental para a prevenção e para o correto tratamento das patologias. A literatura consultada mostra que tanto a carbonatação quanto a ação de cloretos podem acelerar a deterioração, e que pequenas falhas, como fissuras e infiltrações, servem como porta de entrada para o avanço do problema. Além disso, percebe-se que o custo de recuperação é sempre maior quando as intervenções são realizadas tardiamente, o que reforça a necessidade de manutenção periódica.

Outro ponto importante é que a corrosão não afeta apenas o desempenho estrutural, mas também gera impactos econômicos e riscos para a população. Estruturas como reservatórios, pontes, pilares e lajes desempenham funções essenciais, e seu comprometimento pode levar a consequências sérias. Por isso, investimentos em prevenção, inspeção e monitoramento são fundamentais para garantir que as obras mantenham sua função ao longo do tempo.

Diante disso, conclui-se que o estudo da corrosão no concreto armado não se limita a um problema técnico, mas envolve também aspectos sociais, econômicos e de segurança pública. A engenharia civil tem um papel crucial nesse contexto, aplicando conhecimento

científico para entender as causas, prever a evolução dos danos e propor soluções adequadas.

REFERÊNCIAS

ALI, Mohsin et al. A review on chloride induced corrosion in reinforced concrete structures. *RSC Advances*, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2014.

_____. ABNT. **NBR 9452**: Inspeção de Estruturas de Concreto – Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2019.

_____. ABNT. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.

_____. ABNT. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

_____. ABNT. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2013.

_____. ABNT. **NBR 16747**: Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020.

AZEVEDO NETTO, R. **Manual de Durabilidade do Concreto Armado**. Ed. Pini, 2015.

BROOMFIELD, J. P. **Corrosion of Steel in Concrete**: Understanding, Investigation and Repair. 2nd Edition. Taylor & Francis, 2007.

CONTE, William. **Previsão da vida útil de estruturas de concreto armado frente à corrosão**. UNESP, 2024.

DEEVID AI. **Gerador de imagens e vídeos com inteligência artificial**. Disponível em: <deevidei.ai>. Acesso em: 29 dez. 2025.

FERNANDES, A. S. C.; NÓBREGA, M. J. R. Corrosão em estruturas de concreto armado. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, 2024.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

GOOGLE MAPS. http://google.com/maps/place/Caern/@-6.27791,-37.7977249,108m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x7a5303010710a41:0xce7d14ed30933e0c!8m2!3d-6.2778447!4d-37.7974553!16s%2Fg%2F11gdxhp6s6!5m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MTIwOS4wIKXMDSoKLDEwMDc5MjA3M0gBUAM%3D. Acesso em 29 de dezembro de 2025.

HELENE, P. R. L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. São Paulo: PINI, 1993.

HELENE, P. R. L.; ANDRADE, C. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado**. São Paulo: PINI, 1993.

KOREC, E.; LEWANDOWSKI, P.; WILK, K. **Phase-field chemo-mechanical modelling of chloride-induced corrosion**. Engineering Fracture Mechanics, 2023.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3ª ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M. **Properties of Concrete**. 5th ed. Harlow: Pearson Education, 2011.

PEREIRA, E. A. et al. **Proteção Catódica em Estruturas de Concreto Armado**. Revista IPT, São Paulo, 2010.

SANTIAGO, G. Patologia nas estruturas de concreto armado. **Revista Obras Civis**, 2023.

SAURA-GÓMEZ, P.; RIZO-MAESTRE, C.; ECHARRI-IRIBARREN, V. Useful life of reinforced concrete structures with reinforcement corrosion due to carbonation. **Materials**, 2022.