



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

LUCAS DE SOUSA ARRUDA

**ESTUDO E ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO, ALVENARIA E EQUIPAMENTOS METÁLICOS NO
MATADOURO PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE JOSÉ DA PENHA - RN**

PAU DOS FERROS - RN

2023

LUCAS DE SOUSA ARRUDA

**ESTUDO E ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO, ALVENARIA E EQUIPAMENTOS METÁLICOS NO
MATADOURO PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE JOSÉ DA PENHA - RN**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Universidade Federal Rural
do Semiárido como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Profa. Dra. Sanderlir Silva
Dias.

PAU DOS FERROS - RN

2023

© 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.

A779e Arruda, Lucas de Sousa .
Estudo e análise do processo corrosivo em estruturas de concreto armado, alvenaria e equipamentos metálicos no matadouro público do município de José da Penha - RN / Lucas de Sousa Arruda. - 2023.
55 f. : il.

Orientador: Sanderlir Silva Dias.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2023.

1. corrosão. 2. estruturas. 3. concreto armado. 4. alvenaria. 5. equipamentos metálicos.
I. Dias, Sanderlir Silva , orient. II. Título.

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

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

LUCAS DE SOUSA ARRUDA

**ESTUDO E ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO, ALVENARIA E EQUIPAMENTOS METÁLICOS NO
MATADOURO PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE JOSÉ DA PENHA - RN**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Universidade Federal Rural
do Semiárido como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendido em 10 / 10 / 2023

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **SANDERLIR SILVA DIAS**
Data: 16/10/2023 10:14:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Sanderlir Silva Dias (Orientadora)

Documento assinado digitalmente
 **ARNAYRA SONAYRA DE BRITO SILVA CARREIRO**
Data: 16/10/2023 12:07:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Arnayra Sonayra de Brito Silva Carreiro (1ª Examinadora)

Documento assinado digitalmente
 **MICHAELLY FERNANDES DE LIRA**
Data: 17/10/2023 09:46:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Bel. Michaelly Fernandes de Lira (2ª Examinadora)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado força e discernimento para suportar todas as dificuldades que me foram impostas durante todo o percurso acadêmico que me levou a chegar até aqui.

À Prof^a. Dra. Sanderlir Silva Dias, na qual tenho um imenso carinho e admiração, desde quando tive o primeiro contato com a Sr. na disciplina de Química Aplicada a Engenharia, já sentia que seria a minha orientadora e hoje se concretizou. Obrigado por aceitar ser a minha orientadora e ter me auxiliado durante toda a produção, sempre com toda paciência e compreensão.

À Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), como também a todos os professores, servidores, técnicos e funcionários que me acolheram tão bem durante toda a minha permanência nessa instituição.

A todos da minha família, especialmente aos meus pais, Manoel Alves Arruda e Maria de Lourdes de Sousa Arruda que foram o meu apoio motivacional durante todos os dias da minha vida, sempre me incentivaram a ter foco e determinação nos meus estudos. Agradeço a Deus por ter me dado uma família tão maravilhosa, que nunca em circunstância alguma, abandoaram a minha mão nesses 27 anos de existência. Hoje, em especial dedico essa minha conquista ao meu pai, pois, sei que de onde que ele esteja, ele estará feliz ao ver que realizei o seu sonho de me ver formado. Essa conquista é nossa, meu velho!

À minha madrinha Arquecelina Maria Sá, por ter um papel importante na minha formação, sou grato pelas oportunidades que me proporcionou durante a minha formação, pagando os meus estudos no ensino fundamental e médio, oferecendo oportunidade ímpar na minha vida. Obrigado por toda a confiança que em mim foi depositada, e por todo o amor que foi me ofertado.

Às minhas irmãs Maria Lurdivânia e Lunara Alves, por terem contribuído e caminhado junto comigo durante toda a minha formação, dando amor, ensinamentos e sempre me motivando a nunca desistir dos meus sonhos. Vocês foram primordiais na minha vida, para ter se tornado a pessoa que sou hoje.

À minha vó Alzira por todo amor e dedicação comigo durante todos esses anos, por todas as milhares de vezes que sempre pergunta por mim quando estou fora de casa, sempre preocupada.

Aos meus tios Francisco Alves, Rita Alzira, Geralda Alzira, Francisca Alzira e a minha prima Maria da Conceição por terem contribuído ao longo desses anos nos meus estudos, por sempre terem me apoiado e incentivado quando precisei.

Aos meus amigos Francisco Carlos Pereira, Maria Amanda Ferreira, Géssica Andrade, Talita Tavares, Thayná e Hermeson Araújo, que caminharam juntos comigo nesses anos e sempre tiveram paciência para escutarem as minhas reclamações, que não foram poucas.

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo estudar acerca da corrosão em estruturas de concreto armado, alvenaria e equipamentos metálicos permitindo sua rápida identificação, e propor ações de intervenção (corretivas e preventivas) para o matadouro público situado na cidade de José da Penha/RN. O processo corrosivo é a degradação de um material, geralmente metálico, cuja consequência principal são desgastes e mudanças na estrutura. Apesar da corrosão ser comumente associada à oxidação metálica, trata-se de um fenômeno de ampla ocorrência, como, por exemplo, no concreto armado. Assim como a diversidade de seus surgimentos, as causas também são bem variáveis. Trata-se de uma pesquisa exploratória, porque buscou inicialmente aprimorar ideias, e descritiva pelo fato de descrever a situação no momento que ocorre a investigação, classificando e interpretando os fatos. Em relação à abordagem, a pesquisa é qualitativa, enfatizando a compreensão e a interpretação do tema, atribuindo significados aos dados coletados para o desenvolvimento desse projeto baseado no estudo no Matadouro Público de José da Penha - RN. No abatedouro do município pôde-se observar o desgaste nos equipamentos e suportes de ferro e aço utilizadas em um abatedouro público é uma questão crítica que exige atenção e soluções de engenharia adequadas. O curral do abatedouro de José da penha está frequentemente sujeito a impactos mecânicos devido ao movimento de animais, veículos e equipamentos pesados. Esses impactos causaram fissuras, trincas e desgastes nas superfícies de concreto. O matadouro municipal enfrenta graves deficiências em sua infraestrutura, incluindo edifícios antigos e mal conservados, falta de manutenção adequada e instalações que não atendem mais aos padrões de segurança e higiene. O matadouro não está em conformidade Decreto 7.889, de 23 de novembro de 1989 do Ministério da Agricultura que regulamenta o funcionamento dos matadouros públicos. Isso representa um risco para a qualidade dos produtos de origem animal e para a saúde pública. As condições precárias da infraestrutura afetam diretamente o bem-estar dos animais. Instalações confinadas causam estresse e sofrimento durante o processo de redução, levantando preocupações éticas e de conformidade com regulamentações específicas.

Palavras-chave: Corrosão. Estruturas. Concreto armado. Alvenaria. Equipamentos Metálicos. Matadouro público.

ABSTRACT

The present study aimed to investigate corrosion in reinforced concrete structures, masonry, and metal equipment to enable its rapid identification and propose intervention actions (corrective and preventive) for the public slaughterhouse located in the city of José da Penha/RN. The corrosive process is the degradation of a material, typically metallic, with its main consequences being wear and changes in the structure. Although corrosion is commonly associated with metallic oxidation, it is a widely occurring phenomenon, as seen, for example, in reinforced concrete. Just as diverse are its origins, the causes are also highly variable. This was an exploratory research, as it initially sought to refine ideas, and it was descriptive because it described the situation at the time of the investigation, classifying and interpreting the facts. Concerning the approach, the research is qualitative, emphasizing the understanding and interpretation of the subject, assigning meanings to the data collected for the development of this project based on the study at the Public Slaughterhouse of José da Penha - RN. In the municipality's abattoir, wear and tear on the iron and steel equipment and supports used in a public slaughterhouse were observed, which is a critical issue demanding attention and appropriate engineering solutions. The pen of the José da Penha slaughterhouse is frequently subjected to mechanical impacts due to the movement of animals, vehicles, and heavy equipment. These impacts have caused fissures, cracks, and wear on the concrete surfaces. The municipal slaughterhouse faces serious deficiencies in its infrastructure, including old and poorly maintained buildings, a lack of proper maintenance, and facilities that no longer meet safety and hygiene standards. The slaughterhouse is not in compliance with Decree 7,889, dated November 23, 1989, from the Ministry of Agriculture, which regulates the operation of public slaughterhouses. This represents a risk to the quality of animal products and public health. The poor conditions of the infrastructure directly affect the welfare of the animals. Confined facilities cause stress and suffering during the reduction process, raising ethical concerns and compliance with specific regulations.

Keywords: Corrosion. Structures. Reinforced Concrete. Masonry. Metal Equipment. Public Slaughterhouse

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: limites e fronteiras do município José da Penha – RN.....	05
Figura 2: representação da geometria da célula unitária.....	12
Figura 3: outras representações geométricas da célula unitária.....	17
Figura 4: diagrama de fases de estruturas metálicas de ferro-carbono.....	19
Figura 05: frente e entrada principal do matadouro público municipal, de São José da Penha.....	23
Figura 06: vista lateral do abatedouro público de José da Penha – RN.....	25
Figura 07: desgaste na estrutura de concreto na parte externa da Unidade.....	32
Figura 8: nível de desgaste da estrutura de concreto do curral do abatedouro público de José da Penha – RN.....	36
Figura 9: situação de desgaste das estruturas de concreto no interior da Unidade..	39
Figura 10: desgaste estrutural das bancadas utilizadas no abatedouro.....	45
Figura 11: desgaste das estruturas de aço utilizadas no abatedouro de José da Penha.....	47

FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1: percurso metodológico da pesquisa.....	26
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	08
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo Geral	11
2.2	Objetivos Específico	11
3	REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1	Desgaste de estruturas de concreto armado	14
3.2	Estruturas cristalinas e diagrama de fases de materiais amplamente utilizados em concreto armado	17
3.2.1	Estruturas cristalinas	17
3.2.2	Diagrama de fases	21
3.3	Ensaio não destrutivo para diagnóstico de corrosão em estruturas de concreto armado	24
3.3.1	Avaliação do potencial da resistência	26
3.3.2	Avaliação da resistividade elétrica	28
3.3.3	Perda de massa	30
3.3.4	Utilização de ultrassom na avaliação de estruturas de concreto	33
3.3.5	Esclerometria	35
3.3.6	Radar de Penetração no Solo (GPR)	38
3.3.7	Inspeção Visual	40
4	METODOLOGIA	42
4.2	Tipo de estudo	42
4.3	Local e fonte de pesquisa	43
4.4	Apresentação e Discussão dos Resultados	44
5	RESULTADOS	45
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
	REFERÊNCIAS	52
	APÊNDICES	54

1 INTRODUÇÃO

Segundo Chiaverini (1988), o processo corrosivo é a degradação de um material, geralmente metálico, cuja consequência principal são desgastes e mudanças na estrutura. Apesar da corrosão ser comumente associada à oxidação metálica, trata-se de um fenômeno de ampla ocorrência, como, por exemplo, no concreto armado. Assim como a diversidade de seus surgimentos, as causas também são bem variáveis.

O concreto armado trata-se de um aparato estrutural onde a armação metálica é envolvida por concreto para maior resistência mecânica. Nesse exemplo, o concreto pode se deteriorar através da exposição a um meio ácido, pela amônia da urina humana, umidade, porosidade, alto índice de carbono ou sais, entre outros, expondo e oxidando a estrutura metálica interna. De modo geral, a estrutura perde suas propriedades devido ação do ambiente, sendo de maneira química, física ou eletroquímica e, ocasionando diversos prejuízos e custos de reparo (Turnbull, 2016).

Os profissionais voltados ao ramo da construção civil são de extrema importância para casos de corrosão, atuando de maneira preventiva desde o projeto até sua execução e evitando custos com retrabalho. O estudo prévio é capaz de identificar características locais corretamente, assim como suas variações – em casos de chuvas, umidade marítima ou alto fluxo de veículos, por exemplo – e propor soluções inovadoras a tais adversidades (Chiaverini, 1988).

Vale salientar que, tão importante quanto um projeto bem feito, é a realização de operações de manutenção constantes e preventivas, afim de avaliar a situação estrutural e permitir um diagnóstico rápido e eficaz. Comumente, essa não é a realidade conhecida na região, pois a população não possui informações suficientes sobre os perigos ocasionados pela corrosão e os consequentes riscos à durabilidade estrutural bem como, saúde e bem estar humano (Roberge, 2008).

Devido a aplicação do concreto armado nas construções de alvenaria, o processo de diagnóstico da corrosão deve ocorrer, preferivelmente, de maneira não destrutiva. Dessa forma, a identificação pode ser realizada através de inspeção visual, por conta da perceptível mudança de coloração do concreto ou por meio de ensaios eletroquímicos, além de observar o estufamento das estruturas. Invariavelmente, o objetivo principal é entender como ocorreu a corrosão, verificando e identificando os principais agentes corrosivos, e tratando a problemática o mais

rápido possível, impedindo a reincidência da patologia (Turnbull, 2016).

Nessas circunstâncias, pesquisadores buscam cada vez mais ampliar o conhecimento sobre essas novas ideias a fim de permitir a utilização de materiais já existentes na elaboração de novas ligas no intuito de resistirem a esses ambientes agressivos e às solicitações mecânicas impostas dependendo das aplicações (Turnbull, 2016).

Diante disso, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos que possibilitem inovar na obtenção de alternativas de construção de concreto armado mais duráveis, tecnológicas e econômicas. Assim, o presente estudo buscou desenvolver uma análise acerca da corrosão em estruturas de concreto armado, permitindo sua rápida identificação, e propor ações de intervenção (corretivas e preventivas) para o matadouro público situado na cidade de José da Penha - RN.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um estudo acerca da corrosão em estruturas de concreto armado, alvenaria e equipamentos metálicos, permitindo sua rápida identificação, e propor ações de intervenção (corretivas e preventivas) para o matadouro público situado na cidade de José da Penha/RN.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as principais patologias e alterações morfológicas existentes na estrutura do matadouro a partir de registros fotográficos realizados em visita in loco;
- Propor diretrizes de manutenção e reparo específicos para as estruturas de corrosão em estruturas de concreto armado, alvenaria e equipamentos metálicos do matadouro público;
- Propor reparos que não necessitem de conhecimento especializado;
- Realizar revisão bibliográfica dos ensaios não destrutivos para diagnóstico de corrosão em estruturas de concreto armado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Como afirma Helene (1993), “no seu sentido mais amplo, a corrosão pode ser definida como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, seja por ação física, química, eletroquímica, ou a combinação destas”. O processo corrosivo pode ser observado de maneira bastante frequente, pois cotidianamente é possível encontra-lo em materiais que apresentam desgastes temporais ou até mudanças mais visíveis em sua própria estrutura.

Embora comumente relacionado à oxidação dos metais, a corrosão pode ocorrer nos mais diversos materiais, incluindo polímeros, madeiras e até o concreto. As principais consequências notadas, na corrosão desses materiais, é a redução ou perda de suas propriedades de resistência, como elasticidade, tenacidade, resistência à impactos, entre outras. A ocorrência da corrosão se dá através de processos físicos, devido ao desgaste mecânico, químicos ou eletroquímicos (Evans, 1992).

De acordo com Gentil (1996), na corrosão eletroquímica, a reação é resultado da transferência de elétrons entre um elemento químico de um material e outro elemento ou composto, presente no meio em que a estrutura está inserida. O processo geralmente ocorre através da interação entre um metal e uma solução iônica, formando uma pilha de corrosão, ou por meio do contato entre dois metais, onde forma-se uma pilha galvânica. Nesses casos, o oxigênio atua como um acelerador do processo eletroquímico de corrosão, intensificando a ação destrutiva, embora ocorra de maneira natural e espontânea.

Segundo Gentil (1996), no mecanismo químico, as reações químicas ocorrem através do contato direto entre o material, que pode ser metálico ou não, e o agente químico, não necessitando da presença de um eletrólito e não ocorrendo transferência de elétrons ou geração de corrente elétrica. A corrosão química afeta de forma agressiva a estabilidade e durabilidade das estruturas. A destruição do concreto armado, por exemplo, ocorre por conta da ação de agentes poluentes sobre seus constituintes. Geralmente, fatores físicos iniciam as fissuras ou o desgaste do material, enquanto fatores biológicos e/ou químicos realizam a oxidação.

Como já mencionado anteriormente, o meio no qual o material está inserido

possui influência direta no processo corrosivo. Na corrosão eletroquímica, por exemplo, pode-se encontrar o eletrólito, ou seja, uma solução eletricamente condutora constituída de um fluido contendo sais, ácidos ou bases, que possui a finalidade de realizar a troca de elétrons entre elementos (Jones,1996).

Aplicando os conhecimentos relacionados à corrosão, pode-se verificar a constância dessa patologia no concreto armado, onde a alta porosidade, a presença de impurezas ou agentes abrasivos, e a cura inadequada, tornam a armadura vulnerável a ataques externos e, conseqüentemente, acarretam no desgaste (estético e/ou estrutural), Helene (1986).

A utilização do concreto, por exemplo, permitiu um imenso avanço na construção civil, proporcionando inovações em sua fabricação e aplicações. Porém, assim como todo material, o concreto possui suas limitações, agravadas através da redução da vida útil por meio de ambientes poluídos, ácidos, úmidos ou com alta concentração de sais. Dessa maneira, torna-se necessário o acompanhamento da estrutura, e realizar o processo de identificação de patologias de forma não destrutiva (Evans, 1992).

Devido à falta de acompanhamento, atraso de materiais ou principalmente por conta da imensa demanda de serviços, é comum que construções públicas possuam maior facilidade em desenvolver patologias. O ideal seria a realização de manutenções preventivas, mas são tantos focos problemáticos que a única saída viável é priorizar os reparos de maneira corretiva. A manutenção corretiva inadequada, por sua vez, acarreta em prejuízos ainda maiores, pois geralmente o problema é solucionado apenas superficialmente, não tratando das causas geradoras do transtorno (Souza, 1998).

3.1 Desgaste de estruturas de concreto armado

O desgaste de estruturas de concreto armado é um processo complexo que pode ser influenciado por diversos fatores. A estrutura de concreto armado fica exposta a diferentes agentes agressivos, como umidade, substâncias químicas, dióxido de carbono, cloretos, sulfatos, entre outros. Esses agentes podem penetrar no concreto e iniciar o processo de desgaste. Com o tempo, os agentes agressivos podem penetrar na superfície do concreto, especialmente poros e fissuras. A

presença de água facilita a entrada desses agentes no interior da estrutura (Dieter, 1988).

Caso haja armaduras de aço presentes no concreto, os agentes agressivos podem atingir o aço de reforço e iniciar o processo de corrosão. A presença de oxigênio, água e íons no ambiente corrosivo leva à formação de pilhas eletroquímicas, causando a corrosão do aço. A corrosão do aço resulta na formação de produtos de corrosão, como o óxido de ferro (ferrugem), que ocupam um volume maior do que o aço original. Essa expansão pode causar fissuras e descolamentos no concreto, permitindo uma maior penetração de agentes agressivos e acelerando o processo de corrosão (Porter, 1992).

À medida que a corrosão avança, o aço corroído exerce pressão sobre o concreto circundante, causando danos à matriz de concreto. O concreto pode sofrer fissuras, descascamento, delaminação e perda de resistência estrutural. Com o tempo, a corrosão contínua do aço de reforço pode levar à perda significativa de seção transversal, enfraquecendo a capacidade de suporte da estrutura. O desgaste contínuo do concreto e a perda de seção transversal do aço de reforço podem comprometer a capacidade de suporte e a integridade estrutural da construção. Isso pode resultar em deformações excessivas, falhas estruturais ou colapso (Asm, 1990).

É importante ressaltar que o processo de desgaste pode ser acelerado por condições ambientais desfavoráveis, falta de manutenção adequada, qualidade inferior do concreto ou projeto inadequado. Além disso, a taxa de desgaste pode variar dependendo dos fatores específicos de cada estrutura. Para uma avaliação mais precisa e aprofundada do desgaste em estruturas de concreto armado, é recomendável consultar profissionais especializados em engenharia civil, que poderão realizar ensaios e análises específicas para identificar os fatores envolvidos e propor medidas de mitigação ou reparo apropriadas (Santos, 2006).

No que tange ao desgaste da estrutura própria de concreto, existem vários modos de desgaste ao longo do tempo. A corrosão das armaduras de aço é um dos principais empates de desgaste do concreto armado. A presença de agentes agressivos, como umidade, oxigênio e íons (como cloros e sulfatos), causa a aderência do aço, aumentou na expansão e fissuração do concreto ao redor das armaduras (Dieter, 1988).

Alguns tipos de agregados presentes no concreto podem reagir com os álcalis presentes no cimento, formando produtos expansivos. Essa reação álcali-agregado pode causar expansão, fissuração e desintegração do concreto. Ambientes agressivos ou exposição de forças mecânicas podem causar desgaste físico no concreto. Isso inclui impactos causados pelo fluxo de água, impactos, abrasão e atrito de partículas sólidas (Shackerford, 2008).

Quando o concreto está exposto a ciclos repetidos de congelamento e descongelamento, a água presente nos poros do concreto se expande ao congelar, exercendo pressão sobre a matriz do concreto. Isso pode levar a danos no concreto, como fissuras e descolamento (Porter, 1992).

A carbonatação é um processo químico no qual o dióxido de carbono do ar reage com o hidróxido de cálcio presente no concreto, formando carbonato de cálcio. Esse processo pode reduzir o pH do concreto, observando a alcalinidade e afetando a passivação do aço de reforço, o que aumenta o risco de aderência (Dieter, 1988).

A exposição a substâncias químicas agressivas, como sucos, sulfatos, água do mar ou produtos químicos industriais, pode atacar a estrutura de concreto. Esses ataques químicos podem dissolver ou reagir com os componentes do concreto, enfraquecendo sua estrutura e resistência. Esses agentes de desgaste podem atuar individualmente ou em conjunto, dependendo das condições específicas de cada estrutura. A avaliação adequada do ambiente, qualidade do concreto, projeto estrutural e medidas de proteção é essencial para prevenir e mitigar os efeitos desses câmbios de desgaste, garantindo a durabilidade e a integridade das estruturas de concreto (Fairchild, *et al.*, 1991).

Em relação à armadura de aço em estruturas de concreto armado, existem dois principais mecanismos de desgaste preponderantes. O primeiro é a corrosão, o qual é um mecanismo de desgaste crítico para uma armadura de aço. A presença de umidade, oxigênio e íons (como cloros e sulfatos) no ambiente ao redor das armaduras pode levar à corrosão do aço. A textura ocorre em etapas, começando com a formação de pequenas áreas anódicas e catódicas na superfície do aço. A subsequente leva à formação de produtos de revestimento, como o óxido de ferro (ferrugem), que ocupam um volume maior do que o aço original, causando estresse

adicional no concreto ao redor e levando à fissuração e ao descolamento do cobrimento de concreto (Porter, 1992).

A fadiga é outro mecanismo de desgaste que afeta a armadura de aço em estruturas de concreto armado. A fadiga ocorre devido a carregamentos cíclicos repetidos, que podem resultar em tensão alternada na armadura. Com o tempo, as tensões alternadas podem levar ao desenvolvimento de trincas por fadiga na superfície do aço, especialmente em regiões de alta concentração de estresse, como emendas de barras de aço, áreas de ancoragem ou nas proximidades de apoios (Santos, 2006).

A resistência das armaduras é particularmente preocupante, pois pode ocorrer em áreas onde o cobrimento de concreto foi comprometido, como devido a fissuras, descolamentos ou má qualidade da execução. A resistência do aço enfraquece a armadura, sente sua capacidade de suportar cargas e aumenta o risco de falhas (Modenesi, 2000).

Para evitar ou mitigar o desgaste da armadura de aço, as medidas de proteção são fundamentais. Isso inclui a aplicação de cobrimento de concreto adequado, revestimentos protetores, técnicas de impermeabilização, controle da qualidade do concreto, uso de armaduras adequadas ao esforço solicitante, como barras de aço inoxidável ou com revestimento de proteção, além de uma manutenção regular para detectar e reparar quaisquer danos ou sinais de aparência precocemente (Qhasan, 2014).

A avaliação da condição da armadura de aço requer uma combinação de diferentes técnicas de ensaio não destrutivo, como a medição do potencial de revestimento, análise da resistividade elétrica, ensaios de perda de massa, entre outros, para obter uma compreensão completa do estado de revestimento e desgaste da armadura. Isso ajuda a determinar a extensão dos danos e orientar as medidas de reparo e manutenção orientadas (Modenesi, 2000).

3.2 Estruturas cristalinas e diagrama de fases de materiais amplamente utilizados em concreto armado

3.2.1 Estruturas cristalinas

Os materiais sólidos podem ser classificados de acordo com a regularidade e o arranjo de seus átomos entre si. Um material cristalino é um sólido no qual seus átomos estão dispostos repetitivamente ou periodicamente ao longo de grandes distâncias atômicas; havendo uma ordenação de grande alcance tal que na solidificação, os átomos se posicionarão entre si em um modo tridimensional repetitivo. Todos os metais, muitos materiais cerâmicos, e alguns polímeros formam estruturas cristalinas sob condições normais de solidificação. Para os materiais que não se cristalizam, não existe esta ordenação atômica de longo alcance, são denominados de materiais amorfos (Callister, 1991).

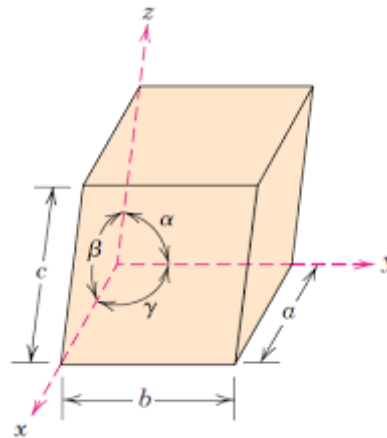
Várias propriedades dos sólidos cristalinos dependem da estrutura cristalina do material, ou seja, do tipo de arranjo dos átomos. Há um grande número de estruturas cristalinas diferentes com ordenação atômica de longo alcance. Estas variam desde estruturas mais simples para metais, até estruturas mais complexas, como a de alguns materiais cerâmicos ou polímeros. Callister, (1991) utiliza para descrever uma estrutura cristalina o modelo atômico de esfera rígida na qual as esferas sólidas com diâmetros definidos se tocam entre si.

A ordenação atômica em estruturas cristalinas é construída através de pequenos modelos primitivos de átomos que se repetem ao longo do sólido. Essas pequenas entidades de repetição são denominadas de células unitárias. Células unitárias assumem geralmente a forma de paralelepípedos ou prismas constituídos de um conjunto de três faces paralelas podendo o agregado de esferas ter um formato de um cubo. Assim, a célula unitária é o tijolo para a construção da estrutura cristalina com sua geometria definida através da posição dos átomos em seu interior (Mannheimer, 2002).

As três estruturas mais simples comumente encontradas nos metais são: cubica de face centrada (CFC), cubica de corpo centrado (CCC), e hexagonal compacta (HC). Cada tipo de célula unitária possui fatores de empacotamento (fração do volume de esfera sólida em uma célula unitária) e números de coordenação (número de vizinhos mais próximos) diferentes, conferindo-lhes diferentes densidades atômicas (Wainer, *et al.*, 2004).

A geometria da célula unitária é definida em termos de 6 parâmetros: os 3 comprimentos de arestas a , b e c , e os 3 ângulos que essas arestas fazem entre si. Estes estão indicados na figura 2 a seguir e são às vezes denominados parâmetros de rede de uma estrutura cristalina (Mannheimer, 2002).

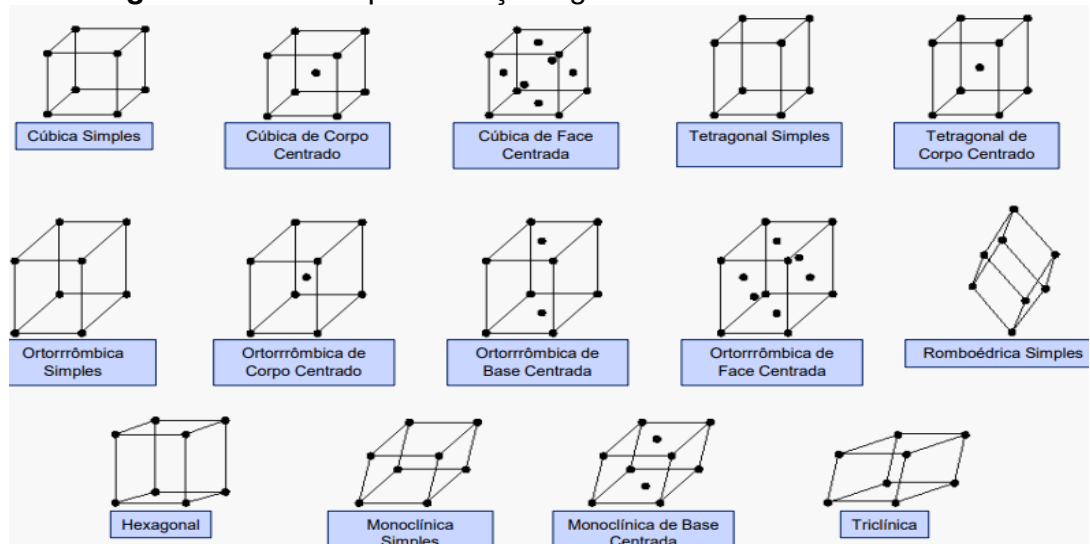
Figura 2: representação da geometria da célula unitária.



Fonte: Callister, 2004.

Há também outros sistemas cristalinos como, tetragonal, romboédrico, monoclínico, ortorrômbico e triclínico. Cada um desses é formado por diferentes combinações de parâmetros de rede como mostrado na figura 3 (Vander, 2004).

Figura 3: outras representações geométricas da célula unitária.



Fonte: Callister, 2004

De acordo com Callister Jr. (1991), esses diferentes planos e direções cristalográficas são especificados através de um sistema de indexação. Cada índice é baseado em um sistema de eixos coordenados definido pela célula unitária para a

estrutura cristalina específica. Os índices direcionais são formados pelas projeções vetoriais sobre cada um dos eixos coordenados, já os índices planares são formados a partir do inverso das intercessões do plano com cada um desses eixos.

Para determinar as estruturas cristalinas e os espaçamentos interplanares é utilizado a difratometria de raios X. Essa técnica consiste em um feixe de raio X direcionado a um material cristalino que pode sofrer difração (interferência construtiva) devido a uma interação com planos atômicos paralelos, obedecendo a Lei de Bragg (Ferry *et. al.*, 2002).

3.2.1 Diagrama de fases

Compreender os diagramas de fases para sistemas de ligas é importante, pois a microestrutura, estrutura que, embora pertencendo a outra mais vasta, apresenta regularidades específicas tais como tamanho e forma de grão, está correlacionada fortemente com as propriedades mecânicas, e o desenvolvimento de uma microestrutura em um dado material está ligado ao seu diagrama de fases. (Callister, 1991).

Alguns conceitos relacionados às ligas, fases e equilíbrio de fases devem ser estabelecidos para a interpretação e utilização de diagramas de fases. Componentes são metais puros e/ou compostos dos quais uma liga é constituída. Por exemplo, num latão de cobre-zinco, os componentes são Cu e Zn. Sistema pode ser relacionado às possíveis ligas que apresentam os mesmos componentes, porém independentes da composição da liga (como exemplo, tem-se o sistema Ferro-Carbono) (Revie *et al.*, 2008).

Solução sólida é uma solução constituída de pelo menos dois diferentes tipos de átomos, onde a estrutura cristalina do solvente é mantida devido aos átomos de soluto ocuparem posições substitutivas e intersticiais no reticulo cristalino do solvente. Entende-se por limite de solubilidade como a concentração máxima de soluto que pode ser dissolvido em um solvente para formar solução sólida em dadas condições de temperatura específica do sistema de ligas (Fontana, 1987).

Também é preciso compreender o conceito de fases para o estudo de diagramas. Fase pode ser definido como uma porção homogênea de um sistema que possui regularidades físicas e químicas. Por exemplo, os materiais puros são considerados como uma única fase, assim como as soluções solidas liquidas e

gasosas. Se mais de uma fase estiver presente em um sistema, haverá uma fronteira separando as fases, através da qual existirá uma mudança descontínua, nas características físicas e/ou químicas, devido cada fase possuir suas propriedades individuais (Davis, 2000).

Segundo Reis Martha, (2013) quando há a presença somente de uma única fase em um sistema, chama-se esse sistema de homogêneo, porém sistemas compostos por duas ou mais fases são chamados por misturas ou sistemas heterogêneos. A maioria das ligas metálicas, cerâmicas, polímeros e compósitos possuem sistemas heterogêneos (Shreir, 2010).

As propriedades físicas e o comportamento mecânico, muitas vezes dependem da microestrutura do material. A microestrutura é caracterizada pelo número de fases presentes, por suas proporções e pela maneira na qual estão distribuídas ou arrançadas. Nas ligas metálicas a microestrutura depende de variáveis tais como, os elementos de liga presentes, suas concentrações e o tratamento térmico da liga. (Callister, 1991).

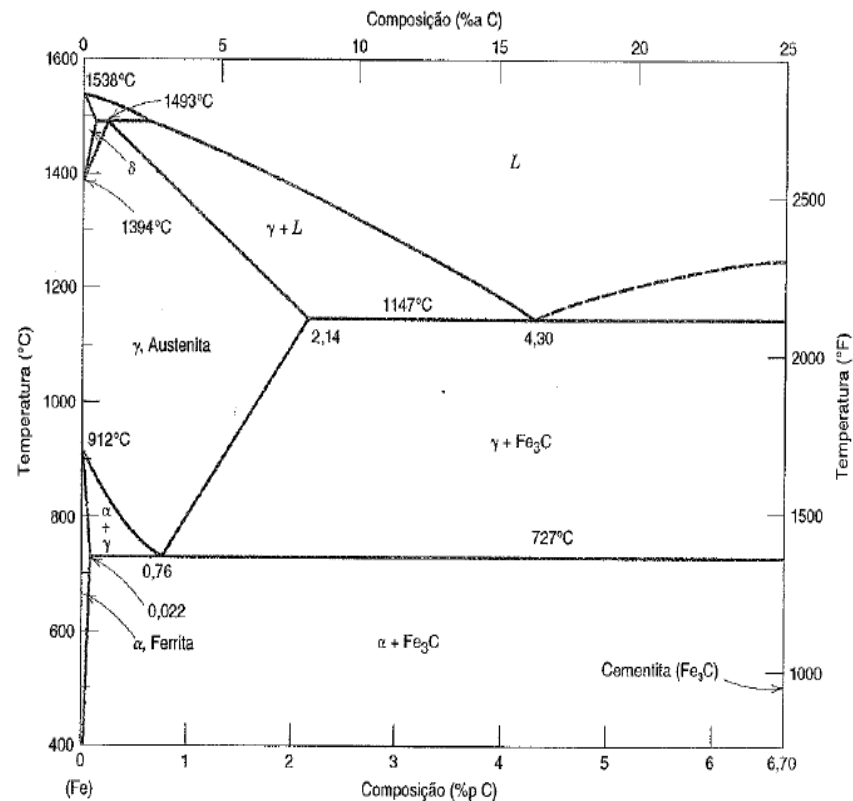
O equilíbrio de fases é reflexo de uma constância no que se refere às características da fase de um sistema em relação ao tempo. Assim informações sobre o controle da microestrutura ou da estrutura das fases de um sistema de ligas específico são representadas e mostradas no que chamamos de diagrama de fases, também chamado de diagramas de equilíbrio. Muitas microestruturas se desenvolvem a partir de transformações de fases que são mudanças ocasionadas entre fases quando a temperatura é alterada (Jones, 1996).

Assim, existem vários tipos diferentes de diagramas de fases para os sistemas metálicos, os diagramas isomorfos são aqueles para os quais há solubilidade completa na fase sólida, como exemplo têm-se o sistema cobre-níquel. Já outros sistemas de liga apresentam diagramas com reações eutéticas, onde uma fase líquida se transforma em duas fases sólidas diferentes ao sofrer resfriamento. Essa reação é observada nos diagramas de fases para o sistema de cobre-prata e chumbo-estanho (Gaskell, 2003).

Há também diagramas de equilíbrio de fases mais complexos, que possuem compostos e/ou fases intermediárias, e outras reações, incluindo transformações de fases eutetóides, peritéticas e congruentes. Esses fenômenos podem ser encontrados nos sistemas cobre-zinco e magnésio-chumbo (Elboujdaini, 2017).

Dos sistemas de ligas binárias, o diagrama do ferro-carbono pode ser considerado o mais importante, pois tanto os aços como os ferros fundidos, que são os principais materiais estruturais utilizados em diversas aplicações tecnológicas, constituem-se essencialmente de ferro e carbono. Uma parte desse diagrama de fases pode ser representado na Figura 4, a seguir (Schwenk, 2012).

Figura 4: diagrama de fases de estruturas metálicas de ferro-carbono.



Fonte: Callister Jr., 2015.

Portanto, deve-se levar em consideração que o diagrama Fe-C é um diagrama que depende apenas da temperatura e da porcentagem de carbono, e as transformações microestruturais que ocorrem sob aquecimento e resfriamento lentos são transformações ditas de equilíbrio. Para transformações rápidas o suficiente a ponto de evitar as transformações de equilíbrio estuda-se um diagrama distinto, o diagrama TTT (Pourbaix, 1974).

3.3 Ensaios não destrutivos para diagnóstico de corrosão em estruturas de concreto armado

Existem vários métodos de ensaios não destrutivos (END) disponíveis para o diagnóstico de resistência em estruturas de concreto armado. Esses ensaios são importantes para a detecção precoce de problemas de resistência e auxiliam na avaliação da condição estrutural e na tomada de decisões sobre possíveis reparos ou intervenções. A seguir serão abordados alguns dos métodos de END comumente usados para o diagnóstico de resistência em estruturas de concreto armado (Talbot, 2012).

3.3.1 Avaliação do potencial de resistência

O primeiro método consiste na avaliação do potencial de resistência em estruturas de concreto armado a qual é de extrema importância para o diagnóstico e monitoramento da resistência do aço de reforço. O potencial de resistência, também conhecido como potencial de corrosão, é uma medida elétrica que reflete o estado de proteção do aço em relação à aderência (Elboudjaini, 2012).

A medida do potencial de resistência pode indicar a presença de decoração em fachadas iniciais, mesmo antes que os danos sejam visíveis ou perceptíveis. Ao monitorar regularmente os valores do potencial de resistência, é possível identificar precocemente áreas com risco de adesão, permitindo a adoção de medidas de proteção antes que o problema se agrave. Em estruturas onde são aplicadas medidas de proteção contra a resistência, como a utilização de revestimentos ou a proteção catódica, a avaliação do potencial de resistência é fundamental para verificar a eficácia dessas medidas. Variações projetadas no potencial podem indicar a necessidade de manutenção ou ajustes nas estratégias de proteção (Wang, 2016).

A avaliação do potencial de resistência auxilia na identificação das áreas mais críticas que precisam de reparos. Ao direcionar os esforços de manutenção para as regiões com potencial de resistência mais baixo, é possível priorizar as ações corretivas e alocar recursos de maneira mais eficiente. A resistência é uma das principais causas de ação em estruturas de concreto armado, e a avaliação do potencial de resistência fornece informações valiosas sobre a condição do aço de reforço. Com base nesses dados, é possível realizar estimativas mais precisas sobre a vida útil restante da estrutura e prevenir intervenções ou substituições futuras (Turnbull, 2012).

Ademais, a avaliação regular do potencial de resistência permite uma gestão mais eficiente dos recursos, evitando complicações desnecessárias ou tardias. Além disso, a detecção precoce da resistência e a implementação de medidas de proteção adotadas para reduzir os custos de reparo, aumentar a vida útil da estrutura e minimizar os riscos de falhas. Desse modo, a avaliação do potencial de resistência desempenha um papel fundamental na detecção precoce, monitoramento e planejamento de ações para mitigar os efeitos da resistência em estruturas de concreto armado. Esse tipo de avaliação contribui para a manutenção da integridade estrutural, prolonga a vida útil das construções e reduz os custos de manutenção a longo prazo (Cook, 2003).

3.3.2 Avaliação da resistividade elétrica

O segundo método aqui abordado é o da medida da resistividade elétrica, cujo valor está relacionado à sua capacidade de proteger o aço de reforço contra a resistência. Valores baixos de resistividade indicam um maior risco de resistência. A avaliação da resistividade elétrica em estruturas de concreto armado é um procedimento importante para o diagnóstico e monitoramento da resistência do aço de reforço. A resistividade elétrica é uma propriedade do concreto que está relacionada à sua capacidade de proteger o aço contra a resistência (Dieter, 1988).

A resistividade elétrica é influenciada por vários fatores, como a composição do concreto, teor de umidade, porosidade e concentração de íons. Valores mais altos de resistividade indicam um concreto de qualidade, com uma matriz mais densa e menos permeável. Portanto, a avaliação da resistividade elétrica pode fornecer informações sobre a qualidade do concreto utilizado na estrutura (Talbot, 2012).

Ressalte-se que a resistividade elétrica do concreto é inversamente proporcional à sua capacidade de transmitir a corrente elétrica. Valores baixos de resistividade indicam um maior risco de resistência, pois a água e os íons presentes no ambiente podem penetrar mais facilmente na estrutura e atingir o aço de reforço. Portanto, a avaliação da resistividade elétrica pode identificar áreas propensas à resistência, permitindo a tomada de medidas preventivas (Schwenk, 2012).

A avaliação da resistividade elétrica auxilia na seleção das estratégias de proteção mais adotadas para prevenir a aderência em estruturas de concreto

armado. Por exemplo, a aplicação de revestimentos de alta resistividade ou o uso de aditivos que melhoram a resistividade podem ser considerados para aumentar a proteção do aço contra a resistência. A avaliação periódica da resistividade elétrica permite monitorar a eficácia das medidas de proteção adotadas. Variações na resistividade podem indicar problemas ou degradação dos revestimentos, permitindo intervenções corretivas oportunas para evitar a aderência do aço de reforço (Mannheimer, 2002).

Outrossim, a resistividade elétrica pode ser utilizada como um suporte para planejar inspeções e manutenções periódicas em estruturas de concreto armado. Áreas com baixa resistividade pode ser identificadas como pontos críticos que solicitam atenção especial e perguntas mais específicas (Gaskell, 2003).

A avaliação da resistividade elétrica em estruturas de concreto armado é uma ferramenta valiosa para a gestão da resistência e manutenção da integridade estrutural. Permite a identificação de áreas propensas à resistência, a seleção de estratégias de proteção adotadas e o monitoramento contínuo da eficácia dessas medidas. Dessa forma, contribui para prolongar a vida útil das estruturas, reduzindo os custos de manutenção e minimizando os riscos de falhas (Dieter, 1988).

3.3.3 Perda de massa

O terceiro método consiste no acompanhamento da perda de massa. Nesse método, pequenos corpos de prova de aço são fixados à estrutura de concreto armado e, após um período de exposição, eles são removidos e pesados para determinar a perda de massa causada pela resistência. A avaliação da perda de massa em estruturas de concreto armado é um método fundamental para diagnosticar e quantificar a resistência do aço de reforço. A perda de massa é um indicador direto da parede, pois representa a quantidade de material de aço que foi consumido devido ao processo corrosivo (Mannheimer, 2002).

A perda de massa permite quantificar a extensão da aderência em uma estrutura de concreto armado. Ao determinar a quantidade de aço corroído, é possível avaliar o grau de motivação da armadura e a gravidade do problema. A partir da avaliação da perda de massa, é possível realizar estimativas sobre a vida útil remanescente da estrutura. Essas informações são valiosas para prevenir intervenções de manutenção e reparo, além de permitir uma gestão adequada de

recursos. Ao realizar ensaios de perda de massa em diferentes partes da estrutura, é possível identificar áreas com maior risco de resistência. Isso permite uma abordagem mais direcionada para as inspeções e intervenções, priorizando as áreas mais seguras (Talbot, 2012).

A avaliação da perda de massa é útil para verificar a eficácia das medidas de proteção adotadas para prevenir a resistência. Comparando a perda de massa em áreas protegidas com áreas não protegidas, é possível avaliar o desempenho das estratégias de proteção e fazer ajustes, se necessário. A realização periódica de ensaios de perda de massa permite monitorar a evolução da resistência ao longo do tempo. Isso fornece informações valiosas sobre a taxa de adesão e ajuda a identificar áreas que podem exigir atenção imediata (Dieter, 1988).

O acompanhamento sistemático da avaliação da perda de massa fornece dados que auxiliam na tomada de decisões sobre ações corretivas, como reparos, substituição de elementos ou aplicação de medidas adicionais de proteção. Essas decisões podem ser tomadas em informações concretas e precisas sobre o estado da aderência na estrutura. Desse modo, a avaliação da perda de massa em estruturas de concreto armado exercendo um papel crucial na identificação, quantificação e monitoramento da resistência. Essa avaliação fornece informações importantes para prevenir intervenções de manutenção, verificar a eficácia das medidas de proteção e tomar decisões fundamentadas sobre ações corretivas. Dessa forma, contribui para a preservação da integridade estrutural, a segurança das construções e a gestão eficiente de recursos (Gaskell, 2003).

3.3.4 Utilização de ultrassom na avaliação de estruturas de concreto

O quarto método consiste no uso do ultrassom para avaliar a integridade estrutural e identificar áreas de resistência em estruturas de concreto armado. O ultrassom é usado para medir a velocidade de controle das ondas sonoras, e a presença de textura pode afetar essa velocidade (Wang, 2016).

O uso do ultrassom é uma técnica comum e eficaz na verificação de estruturas de concreto armado. O ensaio de ultrassom utiliza ondas sonoras de alta frequência para avaliar a integridade e detectar anomalias dentro do concreto, incluindo uma identificação de áreas com colisão em estruturas de concreto armado. O ultrassom pode ser usado para determinar a uniformidade e a qualidade do

concreto. Ele mede o tempo de trânsito das ondas sonoras no concreto e, com base nessa medida, é possível estimar a resistência e a densidade do concreto, identificando áreas com baixa resistência ou presença de vazios (Talbot, 2012).

Outrossim, o ultrassom é uma técnica eficaz para identificar vazios, delaminações e descolamentos no concreto. Ao enviar pulsos de ondas sonoras para a estrutura e registrar o retorno desses pulsos, é possível identificar áreas com alterações na continuidade do concreto, indicando possíveis problemas de aderência ou queixa. Pode ainda ser usado para localizar e mapear as barras de aço de reforço no concreto armado. Isso é particularmente útil para identificar a posição das armaduras e determinar a espessura do revestimento, permitindo verificar se as dimensões do revestimento estão em conformidade com as especificações de projeto (Wang, 2016).

É fato que o ultrassom pode detectar a resistência do aço de reforço e avaliar a perda de seção transversal causada por esse processo. Áreas corroídas têm características acústicas diferentes das áreas não corroídas, o que pode ser detectado e mapeado por meio do ensaio de ultrassom. Ao longo do tempo permite monitorar a evolução da rampa e a progressão de danos nas estruturas de concreto armado. Medidas regulares podem ajudar a identificar áreas em que a corrosão está se intensificando, permitindo a tomada de ações corretivas antes que provoquem danos graves (Pourbaix, 1974).

O ensaio de ultrassom é uma ferramenta não destrutiva e relativamente rápida para a verificação de estruturas de concreto armado. No entanto, é importante destacar que a interpretação dos resultados requer habilidades e conhecimentos específicos, e a combinação do ultrassom com outros métodos de ensaios não destrutivos pode fornecer uma avaliação mais completa da condição estrutural. Recomenda-se consultar especialistas em engenharia civil para a aplicação correta e interpretação dos resultados obtidos por meio do ultrassom (Talbot, 2012).

3.3.5 Esclerometria

O quinto método aqui abordado se refere ao uso da esclerometria. Este método avalia a dureza superficial do concreto, fornecendo uma estimativa da resistência do concreto e identificando áreas com maior probabilidade de

resistência. A esclerometria é um método de ensaio não destrutivo amplamente utilizado na verificação de estruturas de concreto armado. Também conhecido como teste de dureza superficial, esse método fornece uma estimativa da resistência do concreto e pode ajudar a identificar áreas com significado à aderência e à tentativa em estruturas de concreto armado (Gaskell, 2003).

No que tange ao seu uso, a esclerometria pode ser aplicada para avaliar a qualidade geral do concreto. O teste mede a dureza superficial, que está relacionada à resistência do concreto. Valores mais altos de dureza indicam um concreto mais resistente e de melhor qualidade. Através dela pode identificar áreas de concreto com baixa resistência, o que pode indicar problemas de qualidade, como falta de compactação adequada ou segregação (Wang, 2016).

A esclerometria pode ajudar a identificar áreas com risco de aderência em estruturas de concreto armado. A textura do aço de reforço tende a causar a diminuição da resistência do concreto, e a esclerometria pode detectar essas áreas com valores de dureza mais baixo. O teste de esclerometria pode mapear áreas de busca e descolamentos seguidos no concreto. Essas áreas podem ser indicativas de danos causados pela corrosão, ataques químicos ou outros fatores que causaram a integridade da estrutura. Pode ainda ser usada para monitorar a evolução da trilha em estruturas de concreto armado ao longo do tempo. Realizando medições periódicas, é possível detectar mudanças na dureza superficial, o que pode indicar a progressão de danos ou a eficácia de medidas de reparo (Fairchild *et al.*, 1991).

É importante ressaltar que a esclerometria fornece uma avaliação da dureza superficial do concreto e não mede diretamente a espessura do cobrimento ou a aderência do aço de reforço. Portanto, é recomendável combinar a esclerometria com outros métodos de ensaio não destrutivos, como o ultrassom, para uma avaliação mais completa da condição da estrutura de concreto armado.

Além disso, a interpretação dos resultados da esclerometria requer experiência e conhecimento técnico qualificado. É recomendável contar com profissionais especializados em engenharia civil para a realização e interpretação correta dos ensaios de esclerometria em estruturas de concreto armado (Pourbaix, 1974).

3.3.6 Radar de Penetração no Solo (GPR)

O sexto método se refere ao Radar de penetração no solo (GPR) o qual utiliza ondas eletromagnéticas para mapear a estrutura interna do concreto e identificar áreas de compressão. O GPR é mais comumente empregado para mapear e investigar subsuperfícies, como o solo, pavimentos asfálticos, paredes de edifícios e estruturas de pontes. Embora possa ser usado para avaliar o concreto armado, ele tem especificação específica quando aplicado diretamente em estruturas de concreto armado (Fairchild, 1991).

O GPR pode ser útil para algumas aplicações relacionadas ao concreto armado, como a detecção de armaduras embutidas e avaliação de descontinuidades nas camadas de concreto. Ele pode ajudar a identificar áreas com vazios, descolamentos, corrosão das armaduras ou anomalias externas. No entanto, é importante mencionar que o GPR não fornece medições diretas da resistência ou perda de seção transversal do aço de reforço (Fairchild, 1991).

Para a avaliação direta da resistência em estruturas de concreto armado, os métodos mais comumente empregados incluem medição do potencial de resistência, resistividade elétrica, medição da perda de massa das barras de aço, ensaios de carbonatação, entre outros. Esses métodos fornecem informações mais diretas e precisas sobre o estado de resistência e integridade das estruturas de concreto armado. Portanto, é recomendável que, ao avaliar estruturas de concreto armado, consulte profissionais especializados em engenharia civil que possam utilizar os métodos adequados para a verificação direta da resistência e condição das armaduras (Wang, 2016).

3.3.7 Inspeção Visual

O sétimo método abordado consiste na inspeção visual. Embora não seja um método de END específico, a blindagem visual é fundamental para a detecção de sinais visíveis de textura, como manchas de transmissão, rachaduras, fissuras ou descascamento do concreto. A fiscalização visual desempenha um papel crucial na verificação e avaliação de estruturas de concreto armado. É uma etapa fundamental que permite a detecção de sinais visíveis de ocorrência, desgaste ou danos na estrutura (Pourbaix, 1974).

A comunicação visual permite identificar sinais claros de trilha, como rachaduras, fissuras, desprendimento do concreto, manchas de umidade ou fachada aparente nas armaduras. Esses danos visíveis são indicadores de problemas iniciais e podem sinalizar a necessidade de estimativas e ocorrências mais espontâneas. A proteção visual ajuda a identificar áreas críticas da estrutura que enfrentaram atenção especial. Por exemplo, locais expostos à umidade, ambientes corrosivos, regiões de concentração de cargas ou áreas onde ocorrem movimentações podem ser visualmente inspecionados para determinar a presença de danos ou sinais de trânsito (Wang, 2016).

A inspeção visual é útil para verificar se a estrutura está em conformidade com o projeto original. Isso inclui a proteção do cobrimento das armaduras, dimensionamento adequado de elementos externos, presença de detalhes construtivos corretos, entre outros aspectos importantes para garantir a integridade e a durabilidade da estrutura. Ao realizar inspeções visuais periódicas, é possível monitorar a evolução dos danos ao longo do tempo. Isso ajuda a identificar se os danos estão se agravando, se novos problemas estão surgindo ou se as medidas de intervenção adotadas estão sendo eficazes (Santos, 2006).

A segurança visual fornece informações visuais claras e tangíveis sobre o estado da estrutura, permitindo a tomada de decisões sobre a intervenção necessária, os reparos, a manutenção preventiva ou até mesmo a substituição de elementos reforçados. A proteção visual contribui para garantir a segurança e confiabilidade das estruturas de concreto armado. Ao detectar danos e problemas precocemente, medidas corretivas podem ser tomadas para evitar a falha estrutural e garantir a integridade das construções (Wang, 2016).

Portanto, a proteção visual é uma ferramenta essencial na verificação de estruturas de concreto armado, permitindo a identificação precoce de problemas, a avaliação do estado da estrutura e o planejamento de prevenção corretivas. É importante que a proteção visual seja realizada por profissionais especializados em engenharia civil, que possuem o conhecimento e experiência necessários para interpretar os sinais visíveis e tomar decisões adequadas (Fairchild *et al.*, 1991).

É importante ressaltar que, embora esses métodos de END sejam úteis para a detecção de resistência em estruturas de concreto armado, eles podem não fornecer uma avaliação completa da extensão do problema. Em alguns casos, pode ser necessário realizar uma investigação mais aprofundada, como

ensaios destrutivos ou iniciados de concreto para análise laboratorial (Santos, 2006).

4 METODOLOGIA

4.1 Tipo de pesquisa

A pesquisa é de caráter exploratório, descritiva com abordagem qualitativa. Oliveira (2011) considera que a pesquisa exploratória tem como objetivo principal desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias. Segundo o autor, estes tipos de pesquisas são os que apresentam menor rigidez no planejamento, pois são estimados com o objetivo de proporcionar visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato.

Segundo Duarte (2015), a pesquisa descritiva relata características de uma população, um fenômeno ou de uma experiência. Uma pesquisa que caracteriza a relação entre as variáveis no objeto de estudo analisado que pode ser modificado durante a realização do processo.

No que tange a abordagem qualitativa, Minayo (2012) define a pesquisa qualitativa como aquela que trabalha com processos e fenômenos que não quantificáveis, como motivos, significados, valores e atitudes.

O estudo de caso é um método de pesquisa que utiliza, geralmente, dados qualitativos, coletados a partir de eventos reais, com o objetivo de explicar, explorar ou descrever fenômenos atuais inseridos em seu próprio contexto. Caracteriza-se por ser um estudo detalhado e exaustivo de poucos, ou mesmo de um único objeto, fornecendo conhecimentos profundos (Eisenhardt, 1989; Yin, 2009).

4.2 Local e fonte da pesquisa

Esse trabalho foi realizado utilizando fontes de pesquisa bibliográfica e documental, com uso de referências teóricas como: livros, artigos científicos e trabalhos acadêmicos. No aspecto bibliográfico, a dimensão motivacional com seus principais teóricos e suas conexões com o presente estudo será o objeto desse tipo de fonte. No âmbito documental, buscou-se explorar informações em documentos públicos provenientes do setor de engenharia da Prefeitura de José da Penha.

José da Penha é uma cidade situada no interior do estado do Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil. Encontra-se na região do Alto Oeste Potiguar, a cerca de 421 quilômetros a oeste da capital estadual, Natal. Sua extensão territorial

abrange aproximadamente 118 km² e, de acordo com o censo de 2020 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população era composta por 5.915 indivíduos. Isso colocava o município como o 101º mais populoso do estado naquela época.

No passado, a região era conhecida como povoado da Mata, mas posteriormente, em 31 de dezembro de 1958, obteve sua autonomia como município, separando-se de Luís Gomes. O nome "José da Penha" foi escolhido pela comunidade local em homenagem ao capitão José da Penha Alves de Souza. A administração do município é composta pelos distritos de José da Penha (sede) e Major Felipe. A festividade em honra ao padroeiro, São Francisco de Assis, ocorre entre o final de setembro e início de outubro.

A história de José da Penha tem início no século XX, mais precisamente em 1934, quando os primeiros habitantes se estabeleceram na região próxima ao riacho Aroeira. Esse assentamento evoluiu e recebeu o nome de Mata, crescendo ao longo do tempo. Eventualmente, tornou-se um distrito de Luís Gomes em 10 de novembro de 1953. Finalmente, em 31 de dezembro de 1958, alcançou sua independência como município, adotando o nome de "José da Penha". A escolha desse nome foi uma homenagem ao potiguar José da Penha Alves de Souza, autor de obras filosóficas e militares.

Com uma extensão territorial de 117.701 km², o que corresponde a aproximadamente 0,23% da área total do estado, José da Penha faz fronteira com Riacho de Santana ao norte, Marcelino Vieira e Tenente Ananias a leste, Paraná e Major Sales ao sul, e Luís Gomes e novamente Riacho de Santana a oeste. No que diz respeito à divisão geográfica estabelecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) desde 2017, o município está incluído na região geográfica imediata de Pau dos Ferros, dentro da região geográfica de Mossoró; anteriormente, de acordo com as divisões em microrregiões e mesorregiões, José da Penha estava na microrregião de Pau dos Ferros, que por sua vez fazia parte da mesorregião do Oeste Potiguar.

Figura 1: limites e fronteiras do município José da Penha – RN.



Fonte: IBGE, 2023

O município de José da Penha faz parte da bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró, e seus limites incluem Riacho de Santana ao norte, Marcelino Vieira e Tenente Ananias a leste, Paraná e Major Sales ao sul, além de Luís Gomes e novamente Riacho de Santana a oeste.

Do ponto de vista geográfico, o relevo é levemente acidentado e integra a Depressão Sertaneja - São Francisco, situando-se entre a Chapada do Apodi e o Planalto da Borborema. A vegetação predominante é a caatinga, adaptada às condições de seca prolongada.

Em termos populacionais, o município contava com 5.972 habitantes de acordo com o censo de 2022 com a maioria vivendo na área urbana. A composição étnica incluía brancos, pardos, pretos e amarelos, e a população demonstrava diversidade regional e de idade.

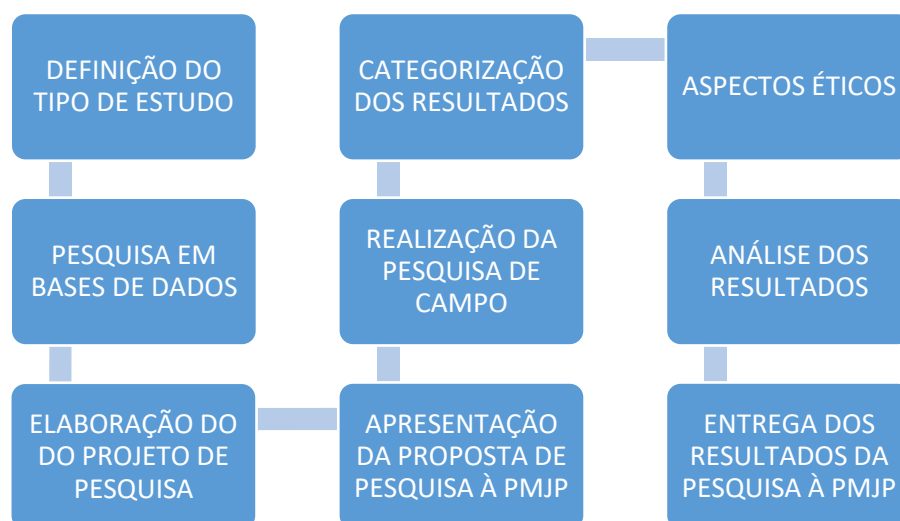
Quanto ao desenvolvimento humano, José da Penha apresenta um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) considerado médio, abrangendo áreas como longevidade, renda e educação. O município passou por mudanças econômicas e sociais entre os anos 2010 e 2020, resultando em alterações na distribuição de renda e indicadores de pobreza.

Quanto a utilização dos resultados, a pesquisa foi aplicada por ter como finalidade entender como se dá o processo de desgaste da estrutura de concreto armado do matadouro público municipal da cidade de José da Penha – RN e que medidas podem ser tomadas para evitar a progressão rápida de avarias. A pesquisa classifica-se como exploratória, porque buscou inicialmente aprimorar ideias, e descritiva pelo fato de descrever a situação no momento que ocorre a investigação, classificando e interpretando os fatos. Em relação à abordagem a pesquisa é qualitativa, enfatizando a compreensão e a interpretação do tema, atribuindo significados aos dados coletados para o desenvolvimento desse projeto baseado no estudo no Matadouro Público de José da Penha.

Trata-se de um estudo de caso, pois delimitou a análise da estrutura de concreto armado de um prédio público utilizado no abate de animais para consumo humano. A partir dos achados, buscou-se identificar como se dá o processo de acompanhamento do processo erosivo de um prédio público, as principais patologias prevalentes e as medidas corretivas tomadas por parte do setor de engenharia do município a fim de evitar o agravamento da corrosão e o aumento do risco de vida das pessoas que ali trabalham.

O presente trabalho seguiu o seguinte percurso metodológico, conforme o fluxograma a seguir.

Fluxograma 1: percurso metodológico da pesquisa.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

4.3 Apresentação e Discussão dos Resultados

Os resultados foram organizados e analisados com base na literatura pesquisada. Sendo separadas por categorias onde logo após foram separados e agrupados por semelhanças e relações. A análise foi feita para atender os objetivos propostos pela pesquisa comparando, confrontando dados e provas com objetivos de transformar ou rejeitar as hipóteses e pressupostos da pesquisa (Rampazzo, 2011).

A pesquisa qualitativa, na análise de dados requer um processo de identificação. Os dados foram transcritos através do *Microsoft Word* 2016, um processador de texto que permite formatar e salvar arquivos, criado em 1983, garantindo a preservação dos dados, o sigilo e anonimato dos participantes envolvidos na pesquisa.

A análise de conteúdo se constitui de várias técnicas onde buscou-se descrever o conteúdo emitido no processo de comunicação, seja ele por meio de falas ou de textos. Desta forma, a análise de conteúdo é composta por procedimentos sistemáticos que proporcionam o levantamento de indicadores (quantitativos) permitindo a realização de inferência de conhecimentos (Cavalcante *et al.*, 2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Sobre o objeto de estudo

O edifício do abatedouro público de José da Penha - RN encontra-se em um estado de conservação precário nos dias atuais. Após vinte e sete anos de sua construção, não foram realizadas melhorias estruturais significativas no local, de acordo com informações dos registros da Secretaria de Saúde e da Secretaria de Infraestrutura da prefeitura municipal. Desde então, conforme relatos dos usuários do local que estão envolvidos em atividades comerciais, nenhuma iniciativa por parte da gestão municipal foi tomada em relação a realizar manutenção corretiva e preventiva na estrutura da Unidade. Atualmente, a edificação está em um estado de desgaste avançado e sem a devida identificação em sua fachada, a qual foi desgastada pela ação de agentes químicos e físicos ao longo do tempo, como pode ser observado na Figura 05.

Figura 05 – Frente e entrada principal do matadouro público municipal, de São José da Penha.



Fonte: Autoria Própria

Quanto à sua estrutura física, o matadouro é composto por áreas de recepção de animais, um corredor de direcionamento (chamado de brete) que os conduz à sala de abate. Nessa sala, são realizadas as diversas etapas, como o atordoamento, a esfolagem, a evisceração e o esquartejamento. Além disso, há um espaço destinado à pesagem das carcaças e à expedição da carne, bem como uma fossa destinada ao armazenamento de efluentes líquidos e sólidos.

Outrossim, no que se refere ao ambiente de abate, a área do matadouro é ampla e capaz de atender à demanda de animais, no entanto, sua estrutura externa não está em conformidade com as diretrizes estabelecidas no Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA), conforme aprovado pelo Decreto nº 30.691, datado de 29 de março de 1952. Vários aspectos críticos são notáveis que estão ausentes nas condições de funcionamento do matadouro, tais como a falta de equipamentos necessários e adequados para as operações, a ausência de instalações com câmara fria para o armazenamento adequado de carne, a inexistência de uma sala de necropsia com forno crematório, bem como a falta de elevadores e transportes que garantam a segurança dos trabalhadores, além da ausência de um piso impermeável, entre outros pontos. A figura 6, mostra a vista lateral da Unidade, onde se percebe a existência de terreno passível de ampliação da unidade com vistas a adequações em sua estrutura.

Figura 06 – Vista lateral do abatedouro público de José da Penha – RN.



Fonte: Autoria Própria.

5.2 Corrosão do Concreto na estrutura externa de Unidade

De acordo com Jones (1996), o desgaste da estrutura externa do matadouro público de José da Penha é uma preocupação fundamental no campo da engenharia devido aos impactos importantes que podem existir na operação quanto na segurança do local. A exposição contínua a diversos elementos ambientais, juntamente com as operações diárias de abate e processamento de animais, contribui para o desgaste gradual da estrutura externa.

Dentre os principais problemas observados na estrutura externa da Unidade está a corrosão das paredes e pavimentos, especialmente em áreas onde ocorre o contato frequente com água e produtos químicos utilizados no processo de abate. A corrosão enfraqueceu a estrutura metálica e pode impactar diretamente nos custos de manutenção.

Vale destacar que a estrutura externa do matadouro está sujeita a condições climáticas variáveis, incluindo chuva, sol intenso e ventos fortes. Essa exposição prolongada pode causar danos à pintura, revestimentos e materiais de construção. Outro fator de desgaste se refere ao transporte de animais, equipamentos e pessoal dentro e ao redor do matadouro pode resultar em impactos mecânicos que danificam a estrutura, como rachaduras, fissuras e deslocamento de componentes.

Com o tempo, a estrutura sofreu um desgaste natural devido ao envelhecimento dos materiais de construção. Isso afetou a integridade estrutural e exige reparos ou substituições, uma vez que matadouros públicos necessitam atender a rigorosas normas de segurança e higiene. Qualquer desgaste na estrutura externa pode comprometer o cumprimento dessas normas, ou que é inaceitável devido ao risco para a saúde pública.

Para abordar o desgaste da estrutura externa de um matadouro público, os engenheiros devem realizar inspeções regulares, identificar áreas problemáticas e implementar medidas corretivas. Isso pode incluir a aplicação de protetores, reparos estruturais, substituição de componentes danificados e adoção de práticas de manutenção preventiva.

Além disso, é importante considerar a sustentabilidade na gestão do matadouro, explorando materiais de construção resistentes e soluções de energia eficientes para reduzir o impacto ambiental.

O concreto oferece uma dupla proteção ao metal devido ao seu pH, mas, por ser um material poroso, também permite a fácil penetração de oxigênio. Portanto, a manutenção constante se torna essencial para preservá-lo. De acordo com o relato, nenhuma ação de recuperação ou manutenção foi realizada no açougue desde a sua construção.

A ação de agentes corrosivos, como os sais provenientes da carne, os detergentes orgânicos usados na limpeza, a água com íons dissolvidos, o esforço mecânico aplicado nas bancadas, o ambiente úmido e as flutuações de temperatura, desempenharam um papel fundamental na melhoria do processo corrosivo que afetou o concreto, conforme pode ser visto na Figura 7 a seguir.

Figura 07 – Desgaste na estrutura de concreto e alvenaria na parte externa da Unidade.



Fonte: autoria própria.

5.2 Estrutura externa da Unidade - setor de contenção dos animais

O desgaste do concreto em um curral de matadouro público é um desafio significativo no campo da engenharia civil e estrutural, devido às condições rigorosas e aos agentes corrosivos presentes no ambiente. A exposição constante a uma variedade de fatores ambientais e atividades operacionais específicas contribui para a variação progressiva do concreto.

A exposição a fluidos criados por animais, sangue, água contaminada com resíduos e produtos químicos usados no processo de redução de um ambiente corrosivo que pode danificar o concreto ao longo do tempo. A corrosão é um problema comum que enfraquece a estrutura.

O curral do abatedouro de José da Penha está frequentemente sujeitos a impactos mecânicos devido ao movimento de animais, veículos e equipamentos pesados. Esses impactos causaram fissuras, trincas e desgastes nas superfícies de concreto. Com o passar do tempo, o concreto sofre desgaste natural devido ao envelhecimento dos materiais. Isso pode resultar em flexibilidade da superfície, ou que afeta a integridade estrutural.

O curral está frequentemente exposto ao fenômeno do intemperismo. Essas condições podem contribuir para a manipulação da superfície do concreto. A manutenção básica do concreto pode comprometer o cumprimento das normas de higiene e segurança alimentar em um matadouro público, o que é essencial para a saúde pública.

Para abordar o desgaste do concreto em currais de matadouros públicos, os engenheiros devem realizar inspeções regulares, identificar áreas problemáticas e implementar medidas corretivas. Isso pode envolver a aplicação de protetores, reparos estruturais, substituição de componentes danificados e adoção de práticas de manutenção preventiva.

É importante lembrar que a manutenção adequada não apenas prolonga a vida útil do concreto, mas também garante a conformidade com os regulamentos de saúde e segurança, além de garantir a eficiência operacional do matadouro público. Portanto, a engenharia desempenha um papel crucial na preservação e manutenção das estruturas de concreto em currais de matadouros públicos.

Medidas como a instalação de sistemas de contenção e barreiras de segurança, como corrimãos e grades, pode aumentar a segurança dos trabalhadores e a contenção eficaz dos animais durante o processo de redução no curral do abatedouro de José da Penha.

Projetos mais sofisticados de engenharia podem incorporar automação e tecnologia para melhorar a eficiência operacional. Isso pode incluir sistemas de rastreamento e identificação de animais, equipamentos de elevação e transporte, bem como sistemas de gerenciamento de dados para monitorar o desempenho.

Ademais, a engenharia também pode desempenhar um papel na criação de programas de treinamento e educação para os funcionários que operam o curral, garantindo que eles compreendam e sigam as melhores práticas de manejo e segurança.

Desse modo fazem-se necessárias adequações na estrutura do curral de abatedouro de bovinos, não apenas para melhorar a eficiência e a segurança, mas também para promover a conformidade com regulamentações ambientais e garantir o tratamento humanitário dos animais. A Figura 8 mostra o grau de desgaste nas estruturas em concreto do curral do abatedouro de José da Penha – RN.

Figura 8: nível de desgaste das estruturas de concreto e alvenaria do curral do abatedouro público de José da Penha – RN.





Fonte: autoria própria.

5.3 Estrutura interna da Unidade

De acordo com as pesquisas de Roberger (2008), é evidente que o concreto, por si só, não é uma escolha ideal como elemento estrutural de resistência. Embora possua uma boa capacidade de resistência à tração, sua capacidade de resistência à tração é motivada, embora essa forma de solicitação seja comum em estruturas de construção.

Uma observação de Davis (2000), enfatiza que o concreto armado é um material composto, dependente da aderência eficaz entre o aço e o concreto. A ausência de tal controle torna a denominação de "concreto armado" envolvente, uma vez que o desempenho depende da cooperação eficaz entre ambos os materiais.

Modenesi (2012) destaca a importância de manter as superfícies em contato com o cimento, como a armadura, livres de ferrugem e contaminantes semelhantes, que podem melhorar o concreto ou a aderência dos materiais. Para armaduras corroídas, uma limpeza adequada é fundamental para garantir uma aderência eficaz ao concreto durante o processo de lançamento.

O concreto armado apresenta inúmeras vantagens sobre outros materiais estruturais, como facilidade de moldagem em diversas formas, eficiência econômica, resistência ao fogo e outras. A sua aplicação envolve a incorporação de barras de

aço para a formação da estrutura, sendo essencial um dimensionamento preciso em conformidade com as normas atuais.

Conforme ressaltado por Aguiar (2014), a presença de cloretos é apontada como um dos principais fatores determinantes para o desgaste das armaduras de concreto em estruturas.

Na Figura 9, ainda está evidente a ocorrência de desagregação, onde o material metálico está completamente à mostra, permitindo uma interação direta entre o metal e o ambiente corrosivo. Esse processo de interação também ocorre com o produto de trabalho presente no local, o que intensifica consideravelmente o processo corrosivo, conforme ilustrado na figura a seguir. Conforme ilustrado na Figura 9, é notável que a maioria expressiva das paredes se encontram danificadas.

Figura 9: situação de desgaste das estruturas de concreto e suportes de aço no interior da Unidade.



Fonte: autoria própria.

5.4 Desgaste das bancadas do abatedouro de José da Penha - RN

O desgaste das bancadas de cerâmica em um abatedouro é um problema comum que requer atenção da engenharia, pois essas superfícies são essenciais

para muitas operações no local. As bancadas de cerâmica estão sujeitas a um desgaste específico devido ao contato frequente com ferramentas, equipamentos e utensílios usados no processamento de animais. Isso pode resultar em queimaduras, lascas e rachaduras na superfície.

Os produtos químicos usados na limpeza e contaminados nas bancadas podem causar corrosão na cerâmica ao longo do tempo, prejudicando sua integridade. As bancadas frequentemente entram em contato com água, sangue e outros fluidos orgânicos. A umidade constante pode levar à proteção contra bactérias e fungos, comprometendo a higiene do local.

A escolha de cerâmica resistente a produtos químicos que ajudam pode minimizar o desgaste causado pelos agentes de limpeza usados regularmente. A manutenção regular das bancadas é fundamental para garantir sua durabilidade. Isso pode incluir limpeza adequada, reparo imediato de danos e, eventualmente, substituição de peças desgastadas.

Para garantir a segurança dos trabalhadores, é aconselhável que as bancadas de cerâmica possuam uma superfície aprimorada para evitar acidentes. A engenharia pode incorporar sistemas de monitoramento de higiene para garantir que as bancadas estejam devidamente higienizadas e não representem riscos à saúde pública. É importante planejar a substituição das bancadas de cerâmica conforme sua vida útil se esgotar, para evitar interrupções na operação do abatedouro.

Desse modo, a Figura 10 mostra a necessidade de manutenção e substituição das bancadas de cerâmica do abatedouro, garantindo que essas superfícies estejam em boas condições de funcionamento, cumpram as normas de higiene e segurança e contribuam para a eficiência operacional do local.

Figura 10: desgaste estrutural das bancadas utilizadas no abatedouro.



Fonte: autoria própria.

5.6 Desgaste das estruturas metálicas do abatedouro

No abatedouro do município de José da Penha pôde-se observar o desgaste nas estruturas de ferro e aço utilizadas em um abatedouro público é uma questão crítica que exige atenção e soluções de engenharia adequadas. A corrosão é o principal fator de desgaste em estruturas de ferro e aço em abatedouros. Isso ocorre devido à exposição constante a fluidos corporais de animais, sangue, água contaminada com resíduos orgânicos e produtos químicos usados no processo de redução. A corrosão enfraquece o metal e pode levar a falhas estruturais.

As estruturas do abatedouro ficam frequentemente expostas à umidade constante, o que acelera o processo de corrosão. A água pode se infiltrar em locais de difícil acesso, dificultando a detecção precoce de corrosão. A limpeza e higienização frequente das instalações com produtos químicos agressivos também

prejudicam o desgaste das estruturas metálicas, uma vez que esses produtos podem ser corrosivos.

O movimento de animais, equipamentos e instalações pessoais pode causar desgaste mecânico em estruturas metálicas, resultando em danos físicos, como massagens e deformações. A operação de equipamentos, como guinchos e correias transportadoras, pode gerar vibrações e impactos nas estruturas metálicas, contribuindo para o desgaste ao longo do tempo.

A escolha de materiais de ferro e aço resistentes à corrosão, como aço inoxidável ou aço galvanizado, pode ajudar a prolongar a vida útil das estruturas. A aplicação de revestimentos protetores, como tintas anticorrosivas, pode proporcionar uma barreira eficaz contra a corrosão.

A equipe de infraestrutura do município tem o dever de realizar inspeções regulares para identificar áreas com corrosão e desgaste, permitindo intervenções oportunas antes que os danos se agravem e ainda implementar programas de manutenção preventiva para reparar danos menores, substituir peças desgastadas e aplicar revestimentos de proteção conforme necessário.

Deve-se também providenciar a utilização de sistemas de monitoramento de vibrações para identificar áreas suscetíveis a danos devido a vibrações excessivas, bem como treinar o pessoal para adotar práticas que minimizem o impacto nas estruturas metálicas durante as operações diárias.

Desse modo, o setor de engenharia do município desempenha um papel vital na avaliação, prevenção e mitigação do desgaste nas estruturas de ferro e aço em abatedouros públicos, garantindo a segurança, a higiene e a eficiência das instalações. A Figura 11 mostra a situação dos ganchos e suportes utilizados no matadouro.

Figura 11: desgaste dos equipamentos metálicos utilizados no abatedouro de José da Penha.



Fonte: autoria própria.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A execução deste trabalho proporcionou um entendimento profundo do processo corrosivo, incluindo como ele se manifesta em situações comuns do cotidiano de uma sociedade.

O matadouro público do município de José da Penha revela um elevado grau de proteção, inclusive com baixos padrões de higiene no ambiente, em desacordo com as normas sanitárias recomendadas. Além disso, falta manutenção adequada e prevenção contra os processos corrosivos em que durante a análise, ficou evidente que os danos causados pela corrosão são prejudiciais, tanto do ponto de vista econômico quanto social, com repercussões diretas na saúde pública devido ao alto risco de contaminação da carne.

As condições climáticas úmidas e as variações de temperatura, aliadas ao uso de solventes orgânicos e sais presentes nas soluções derivadas da carne, desenvolvem um ambiente propício para a rápida e precisa ocorrência de corrosão. Algumas das peças examinadas, afetadas pela corrosão, agora são inutilizáveis, como o medidor, o freezer, a balança e as bancadas, que podem ser encontradas. No caso da serra de corte de carnes é possível atenuar o processo corrosivo por meio da remoção do produto da corrosão e da aplicação de revestimento, como a pintura com tinta metálica, que é amplamente utilizada para proteger o metal.

O matadouro municipal enfrenta graves deficiências em sua infraestrutura, incluindo edifícios antigos e mal conservados, falta de manutenção adequada e instalações que não atendem mais aos padrões de segurança e higiene.

O matadouro não está em conformidade com o Decreto 7.889, de 23 de novembro de 1989 do Ministério da Agricultura que regulamenta o funcionamento dos matadouros públicos. Isso representa um risco para a qualidade dos produtos de origem animal e para a saúde pública. As condições precárias da infraestrutura afetam diretamente o bem-estar dos animais. Instalações confinadas causam estresse e sofrimento durante o processo de redução, levantando preocupações éticas e de conformidade com regulamentações específicas.

O matadouro gera impactos ambientais negativos, como a contaminação do solo e da água devido à falta de sistemas adequados de tratamento de resíduos e efluentes. A falta de higiene e conformidade com as regulamentações representa um

risco significativo para a saúde pública, pois pode resultar na comercialização de produtos de origem animal ambientalmente contaminados.

A melhoria da estrutura física do matadouro requer investimento significativo em reformas, reforço e modernização. Esses esforços são cruciais para garantir a segurança, a qualidade dos produtos e o bem-estar animal.

É importante promover a conscientização e fornecer treinamento adequado aos funcionários do matadouro, garantindo que eles tenham conhecimento das melhores práticas de manejo, segurança e higiene. O matadouro deve buscar soluções sustentáveis, como sistemas de tratamento de resíduos e práticas de construção e operação ecoamigáveis.

Desse modo, a situação precária na estrutura física do matadouro municipal é uma questão multifacetada que requer esforços coordenados de engenharia, regulamentação e conscientização. A melhoria das condições é essencial não apenas para a operação eficaz do matadouro, mas também para garantir a segurança alimentar, o bem-estar animal e a proteção do meio ambiente circundante.

Ademais, o desgaste nas estruturas de concreto do matadouro é um problema comum devido às condições severas e à exposição constante a elementos corrosivos. Para resolver esse desgaste e garantir a segurança e a durabilidade das instalações algumas medidas são propostas como: implementar um programa de manutenção preventiva regular para funcionar como estruturas de concreto em busca de sinais de desgaste, realizar reparos menores, como a selagem de fissuras, logo que forem identificados, aplicar revestimentos protetores, como epóxi, poliuretano ou polímeros de alta resistência, em superfícies de concreto para proteção contra a corrosão e realizar a impermeabilização das superfícies de concreto para evitar a penetração de água e substâncias corrosivas. Isso pode incluir a aplicação de membranas impermeáveis.

Quando o desgaste afeta a integridade estrutural, pode ser necessário reforçar as estruturas de concreto. O reforço pode ser feito com fibras de carbono, armaduras adicionais ou técnicas de ancoragem. Quando os danos forem extensos e irreparáveis, a substituição de elementos de concreto, como vigas, colunas ou lajes, pode ser necessária para garantir a segurança.

Outro ponto que merece destaque é a promoção de melhorias do sistema de

drenagem ao redor do matadouro para evitar o acúmulo de água que possa causar danos ao concreto.

É fundamental abordar o desgaste nas estruturas de concreto de um matadouro público municipal de maneira proativa para garantir a segurança dos trabalhadores e a conformidade com as regulamentações de higiene e segurança alimentar, além de prolongar a vida útil das instalações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASM. (1990). **Propriedades e Seleção: Aços Ferrosos e Ligas de Alto Desempenho**. ASM Internacional.

CALLISTER JR, WD (2002). **Fundamentos de Ciência e Engenharia de Materiais**. 5ª ed. Utah: John Wiley & Sons, Inc.

CHIAVERINI, V. (1988). **Aços e Ferros Fundidos**. 6ª ed. São Paulo, Brasil: ABM.

COLPAERT, H. (1974). **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**, 3ª Edição. Editora Edgarg Blücher Ltda, São Paulo.

DAVIDSON, DL, LLOYD, PG (1974). "Resistência à fratura e características relacionadas aos aços de níquel criogênicos." **Boletim do Conselho de Pesquisa em Soldagem**, n. 205.

DIETER, GE (1988). **Metalurgia Mecânica**. Londres: McGraw-Hill Book Company.

EVANS, GM (1991). "O efeito do níquel na microestrutura e nas propriedades dos depósitos C-Mn All-Weld." **Pesquisa em Soldagem no Exterior**, Vol XXXVII, pág. 70–83.

FAIRCHILD, DP, BANGURU, NV, KOO, JY, HARRISON, PL, & OZEKIN, A. (1991). "Um estudo sobre microestrutura e tenacidade intercrítica HAZ em aços HSLA." **Diário de Soldagem**, Suplemento (dezembro).

FERRY, M., THOMPSON, M., & MANOHAR, PA (2002). "Decomposição da austenita de granulação grossa durante o resfriamento acelerado de aços C-Mn." **ISIJ Internacional**, vol. 42, n. 1, 86-93.

FONTANA, MG, & STAEBLE, RW (1987). **Engenharia de Corrosão**. McGraw-Hill.

GASKELL, DR (2003). **Introdução à Termodinâmica dos Materiais**. Taylor e Francisco.

HELENA, AA (1986). "Resistência à fratura e características relacionadas ao aço de níquel criogênico." **INCO**.

JONES, DA (1996). "Princípios e Prevenção da Corrosão." **Salão Prentice**.

LE PERA, FS (1980). "Técnica de ataque aprimorada para enfatizar martensita e bainita em aço bifásico de alta resistência." **Revista de Metais**, v. 32, pág. 38-39.

LIPPOLD, JC (2020). **Metalurgia da Soldagem e Soldabilidade**.

MANNHEIMER, WA (2002). "Microscopia dos Materiais - Uma Introdução." **Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais**.

MODENESI, MS (2012). **Introdução à Metalurgia da Soldagem**.

NAGATANI, T., SAITO S., SATO, M., & YAMADA, M. (1987). "Desenvolvimento de um específico eletrônico de varredura de altíssima resolução por meio de uma fonte de emissão de campo e sistema na lente." **Microscopia de Varredura**, v. 11, 901-909.

PENSE, A. W.; RDS, D. S. Resistência à fratura e características relacionadas dos aços de níquel criogênicos. **Boletim do Conselho de Pesquisa em Soldagem**, n. 205, 1975.

PORTER, DA (1992). "Transformações de fase em metais e ligas."

POOURBAIX, M. (1974). **Atlas de Equilíbrio Eletroquímico em Soluções Aquosas**. Associação Nacional de Engenheiros de Corrosão.

Q AHSAN, AH (2014). "9% Aços Níquel e Seu Comportamento de Soldagem". **Elsevier**.

REVIE, RW e UHLIG, HH (2008). **Corrosão e controle da corrosão: uma introdução à ciência e engenharia da corrosão**. John Wiley e Filhos.

ROBERGE, PR (2008). **Manual de Engenharia de Corrosão**. McGraw-Hill.

SANTOS, RG (2006). **Transformações de Fases em Materiais Metálicos**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP.

SCHWENK, W., STOYE, D., & HÖCHE, D. (Eds.). (2012). **Manual de Corrosão: Agentes Corrosivos e Sua Interação com Materiais**. Wiley-VCH.

SHACKEFORD, JF (2008). **Ciência dos Materiais**. Pearson Prentice Hall, 6ª ed.

SHILLMOLLER, CM (1987). "Aço Níquel em Serviço no Ártico." **Corrosão**, pp. 9-13.

TURNBULL, A. (Ed.). (2012). **Corrosão e seleção de materiais: um guia para as indústrias químicas e petrolíferas**.

VANDER VOORT, GF (2004). "Metalografia colorida." In: **Manual ASM – Metalografia e Microestruturas**. ASM Internacional, v.

VAN VLACK, L. (2000). **Princípios de Ciência dos Materiais**. 3ª ed.

WAINER, E., Brandi, SD e Mello, HDF (2004). **Soldagem: Processos e Metalurgia**.

WANG, Z. e LIU, H. (Eds.). (2016). "Corrosão de artistas metálicos do patrimônio: investigação, conservação e previsão de comportamento a longo prazo." **Imprensa CRC**.

APÊNDICE A

TERMO DE AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL (TAI)

Eu, Lucas de Sousa Arruda, graduando em Ciências e Tecnologia pela UFERSA e Sanderlir Silva Dias, pesquisadora/orientadora, vimos solicitar de Vossa Senhoria, Secretário Municipal de Infraestrutura do município de José da Penha - RN, autorização para desenvolver a pesquisa intitulada ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DE CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM MATADOURO PÚBLICO NO MUNICÍPIO DE JOSÉ DA PENHA/RN - ESTUDO DE CASO E PROPOSTA DE INTERVENÇÃO - nos comprometendo através desse TAI para a salvaguarda dos direitos dos participantes de pesquisa.

Declaro estar cientes de que é de minha responsabilidade a integridade das informações obtidas na pesquisa. Também me comprometo que os dados coletados não serão repassados a pessoas não envolvidas na pesquisa.

José da Penha, 15 de agosto de 2023.

Lucas Sousa Arruda
Graduando em Ciência e Tecnologia

Dra. Sanderlir Silva Dias
Pesquisadora/Orientadora

APÊNDICE B

TERMO DE RESPONSABILIDADE DO PESQUISADOR

Eu, Lucas de Sousa Arruda, graduando em Ciências e Tecnologia pela UFERSA e Sanderlir Silva Dias, pesquisadora/orientadora, vimos solicitar de Vossa Senhoria, Secretário Municipal de Infraestrutura do município de José da Penha - RN, autorização para desenvolver a pesquisa intitulada ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DE CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM MATADOURO PÚBLICO NO MUNICÍPIO DE JOSÉ DA PENHA/RN - ESTUDO DE CASO E PROPOSTA DE INTERVENÇÃO - e ao mesmo tempo manifestar as nossas responsabilidades no desenvolvimento do presente estudo e assim declaro:

- a) Que o acesso aos dados e ao matadouro municipal será supervisionado por uma pessoa que esteja plenamente informada sobre as exigências de confiabilidade;
- b) Meu compromisso com a privacidade e a confidencialidade dos dados utilizados preservando integralmente as informações obtidas;
- c) Não utilizar as informações em prejuízo das pessoas e/ou das comunidades, inclusive em termos de autoestima, de prestígio e/ou econômico-financeiro;
- d) Que o pesquisador responsável estabeleceu salvaguardar e assegurar a confidencialidades dos dados de pesquisa;
- e) Que os dados obtidos na pesquisa serão usados exclusivamente para finalidade prevista no protocolo;

José da Penha, 15 de agosto de 2023.

Lucas Sousa Arruda
Graduando em Ciência e Tecnologia

Dra. Sanderlir Silva Dias
Pesquisadora/Orientadora