



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE  
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL



GABRIEL SARAIVA MORAES

**ANÁLISE DOS NÍVEIS DE DETERIORAÇÃO DAS PONTES SOBRE  
O VERTEDOIRO E CANAL DO AÇUDE SENADOR EPITÁCIO  
PESSOA NA CIDADE DE CAJAZEIRAS-PB**

Cajazeiras-PB, 2020

GABRIEL SARAIVA MORAES

**ANÁLISE DOS NÍVEIS DE DETERIORÃO DAS PONTES SOBRE O  
VERTEDOIRO E CANAL DO AÇUDE SENADOR EPITÁCIO  
PESSOA NA CIDADE DE CAJAZEIRAS-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Prof. Daniel Torres Filho.

Cajazeiras-PB, 2020

IFPB  
Campus Cajazeiras  
Coordenação de Biblioteca  
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva  
Catalogação na fonte: Daniel Andrade CRB-15/593

M827a

Moraes, Gabriel Saraiva

Análise dos níveis de deterioração das pontes sobre o vertedouro e canal do Açude Senador Epitácio Pessoa na cidade de Cajazeiras-PB / Gabriel Saraiva Moraes; orientador Daniel Torres Filho.- 2020.  
67 f.: il.

Orientador: Daniel Torres Filho.  
TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2020.

1. Pontes 2. Manejo pluvial 3. Carbonatação I. Título

624.21(0.067)

GABRIEL SARAIVA MORAES

**ANÁLISE DOS NÍVEIS DE DETERIORAÇÃO DAS PONTES SOBRE O  
VERTEDOIRO E CANAL DO AÇUDE SENADOR EPITÁCIO PESSOA NA  
CIDADE DE CAJAZEIRAS-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Bacharelado em  
Engenharia Civil do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,  
*Campus* Cajazeiras, como parte dos  
requisitos para a obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

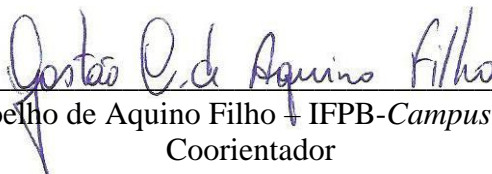
Aprovado em 17 de dezembro de 2020.

**BANCA EXAMINADORA**



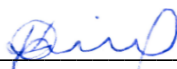
---

Daniel Torres Filhos – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Orientador



---

Gastão Coelho de Aquino Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Coorientador



---

Karla Simone da Cunha Lima Viana – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Examinador 1

Dedico à minha mãe, Débora Santos Saraiva, e a todos que se sentem especiais, de alguma forma, em me ter como amigo.

## AGRADECIMENTOS

À Deus por me conceder paciência, iluminação e perseverança durante todo o curso de graduação, onde tive felicidade de crescer pessoalmente e profissionalmente. Sem Ele eu não conseguiria vencer os obstáculos que surgiram durante esses anos de jornada, como exemplo de destaque as enfermidades que enfrentei na qual impossibilitaram-me de cursar um semestre. Hoje é a Ele quem eu devo tudo.

Aos meus pais, Débora Santos Saraiva e Marcelo Mangabeira, por serem os principais responsáveis pela minha formação como indivíduo. Em especial à minha mãe, por todo o consolo e amparo nas situações em que pensei ser incapaz de superar os obstáculos e todas as dificuldades em que me deparei nesse processo de formação.

À minha avó, Maria dos Santos Saraiva, por todo o incentivo, ajuda e fé depositados em mim, onde sempre buscou dar o seu melhor para solucionar qualquer dificuldade em que me encontrasse.

À minha irmã Rebeca Saraiva Moraes, por todo o carinho e apreço nos momentos difíceis.

Às minhas tias e tios, pela força, ajuda moral e por me mostrarem que sempre há como vencer quaisquer problemas em que me deparasse e considerasse um caso irresolúvel.

Aos meus colegas de graduação, especialmente a Dário Neto e João Vitor Fragoso, por serem amigos que fiz ao longo do curso, onde sempre nos ajudamos e apoiamos nas horas difíceis, por serem a companhia nas noites em claro de estudos e experiências de vida adquiridas juntos.

Ao Instituto Federal da Paraíba, IFPB, *Campus* Cajazeiras pela oportunidade de realização de trabalhos na área de pesquisa e extensão.

A todos os meus professores da graduação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil por todos os aprendizados compartilhados, especialmente a Daniel Torres Filho pela orientação durante todo o Trabalho de Conclusão de Curso e Gastão Coelho de Aquino Filho, por além de ser meu professor orientador de estágio, coorientador de Trabalho de Conclusão de Curso também me auxiliar em inúmeras situações ocorridas no Instituto.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta pelas tarefas desenvolvidas durante o curso e neste trabalho.

## RESUMO

Pontes são estruturas edificadas com a finalidade de vencer vãos ou obstáculos, sejam cursos de água, vales ou vias. Sabe-se que problemas construtivos, também conhecidos como manifestações patológicas, podem acometer essa tipologia de estrutura deteriorando-a e diminuindo a sua capacidade de desempenhar suas funções por um período de tempo determinado no projeto. Assim, um dos mecanismos de deterioração do concreto comumente encontrado é a carbonatação, sendo responsável pela despassivação da armadura, significando a perda de proteção da camada microscópica que protege a armadura no interior do concreto. A partir da carbonatação pode se instaurar o mecanismo de deterioração da armadura como a corrosão, diminuindo a seção e conseqüentemente a capacidade resistente do aço. Através de análises do tipo inspeções é possível identificar se há manifestações patológicas atuantes ou em processamento nas estruturas das pontes. Uma das técnicas bastante útil para verificar as condições características e ambientais em que a estrutura está inserida é a previsibilidade de vida útil, sendo um método que se pode verificar o tempo de duração até a despassivação da armadura. Desta forma, esse trabalho tem como foco principal efetuar uma inspeção em quatro pontes que compõe o sistema de escoamento do Açude Senador Epitácio Pessoa, na Cidade de Cajazeiras, no estado da Paraíba. Assim, se buscou identificar manifestações patológicas que acometem as estruturas, suas origens, causas e possíveis desdobramentos, além da previsão de vida útil das mesmas. Dentre as principais manifestações patológicas encontraram-se: manchas e fissuras, indicando o processamento de corrosão de armadura no interior das estruturas; armaduras expostas e em maior parte dos casos apresentando-se corroídas. A partir dos ensaios característicos das estruturas referente às condições ambientais e materiais, estes últimos relacionados a pontos específicos escolhidos metodologicamente, implementou-se no *software* Carambola as variáveis necessárias e obteve-se a previsão de vida útil. Diante disso, constatou-se que todos os pontos superaram a previsão do produto da implementação, não refletindo a previsão de vida útil total das estruturas, mas apenas dos locais específicos onde se realizaram os procedimentos práticos de aferimento dos parâmetros.

**Palavras-Chave:** Pontes; manifestações patológicas; carbonatação; vida útil.

## ABSTRACT

Bridges are structures built to overcome spans or obstacles, whether waterways, valleys or ways. It is known that construction problems, also known as pathological manifestations, can affect this type of structure, deteriorating it and reducing its capacity to perform its functions for a determined period in the project. Thus, one of the deterioration mechanisms of the concrete commonly found is carbonation, responsible for the despassivation of the reinforcement, meaning the loss of protection of the microscopic layer that protects the reinforcement inside the concrete. From carbonation, the mechanism of deterioration of the reinforcement, such as corrosion, can be established, reducing the section and consequently the resistant capacity of the steel. Through inspection-type analysis, it is possible to identify if there are pathological manifestations that are active or in process in the bridge structures. One of the most useful techniques to check the characteristic and environmental conditions of the inserted structure is the predictability of lifetime, being a method that can verify the duration of time until the reinforcement despassivation. Therefore, this work has as the aimed focus to inspect four bridges that make up the drainage system from the Senador Epitácio Pessoa weir, in the city of Cajazeiras, in the state of Paraíba. So, we sought to identify pathological manifestations that affect the structures, their origins, causes, and possible consequences, in addition to their expected useful life. Among the main pathological manifestations were found: stains and cracks, indicating the processing of reinforcement corrosion inside the structures; exposed reinforcement and in most cases showing corroded. From the characteristic experiments of the structures referring to the environmental and material conditions, the latter related to specific points chosen methodologically, the necessary variables were implemented in the Carambola software and the useful life prediction was obtained. Given this, it was found that all points exceeded the prediction of the product of the implementation, not reflecting the prediction of the total useful life of the structures, but only of the specific places where the practical parameters measurement procedures were carried out.

**Keywords:** Bridges; Pathological Manifestations; Carbonation; Useful life.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Elementos componentes de uma ponte.....	18
Figura 2 - Pontes com encontros nas extremidades.....	18
Figura 3 - Elementos da seção transversal.....	19
Figura 4 - Elementos da seção transversal.....	19
Figura 5 - Elementos da seção longitudinal.....	20
Figura 6 - Seção transversal de ponte em laje maciça.....	21
Figura 7 - Seção transversal de ponte em laje vazada.....	21
Figura 8 - Açude Grande depois da reconstrução (Barragem principal), Cajazeiras - PB.....	23
Figura 9 - Sangradouro do Açude Grande depois da reconstrução, Cajazeiras – PB.....	23
Figura 10 - Diagrama de equilíbrio termodinâmico do metal ferro em meio aquoso a 25°C...35	
Figura 11 - Propagação da carbonatação com o tempo.....	36
Figura 12 - Vida útil das estruturas de concreto armado com relação à corrosão de armadura. .....	41
Figura 13 - Estruturas de estudo em destaque conjuntamente com o corpo hídrico, Cajazeiras- PB. ....	44
Figura 14 - Estruturas I, II, III e IV. ....	45
Figura 15 - Interface do <i>software</i> Carambola.....	46
Figura 16- Interface do Modelo determinista de Carbonatação do <i>software</i> Carambola.....	47
Figura 17 - Estrutura I: passarela.....	48
Figura 18 - Corrosão de armadura no encontro da Estrutura I.....	49
Figura 19 – Armadura exposta na face superior da laje da Estrutura I. ....	49
Figura 20 - Corrosão de armadura na parte lateral externa do guarda-corpo.....	50
Figura 21 - Ensaio de profundidade de carbonatação no pilar da Estrutura I. ....	51
Figura 22 - Manchas e fissuras na face lateral da laje.....	52
Figura 23 - Fissuras e manchas na face lateral da laje.....	52
Figura 24 - Armadura exposta na face lateral da laje.....	53
Figura 25 - Armadura exposta na face lateral da laje.....	53
Figura 26 - Ensaio de profundidade de carbonatação na face inferior da laje Estrutura II. ....	54
Figura 27 - Corrosão de armadura na face lateral da laje da Estrutura III. ....	55
Figura 28 - Corrosão de armadura na face lateral da laje da Estrutura III. ....	56
Figura 29 - Destacamento da argamassa em relação ao concreto na face lateral da laje da Estrutura III.....	56

Figura 30 – Falhas nas placas pré moldadas do passeio da Estrutura III. ....	57
Figura 31 - Ensaio de profundidade de carbonatação na face inferior da laje Estrutura III. ....	58
Figura 32 – Armaduras longitudinais da longarina expostas e corroídas.....	59
Figura 33 - Estribos das longarinas evidentes e corroídos. ....	59
Figura 34 - Manchas e fissuras na face lateral externa da longarina e face inferior da laje de passeio. ....	60

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classe de agressividade ambiental (CAA).....	30
Quadro 2 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal.	30
Quadro 3 - Parâmetros e informações para obtenção da vida útil residual de projeto .....	61

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3.</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
3.1.	PONTES.....	17
3.1.1.	<i>PRINCIPAIS ELEMENTOS DA PONTE .....</i>	<i>17</i>
3.1.2.	<i>CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES .....</i>	<i>20</i>
3.2.	O AÇUDE SENADOR EPITÁCIO PESSOA .....	22
3.3.	PATOLOGIAS DAS ESTRUTURAS .....	24
3.3.1.	<i>CONCEITOS E TERMOS UTILIZADOS .....</i>	<i>24</i>
3.3.2.	<i>INFLUÊNCIA DAS ETAPAS CONSTRUTIVAS .....</i>	<i>25</i>
3.3.3.	<i>INFLUÊNCIA DO AMBIENTE – CLASSE DE AGRESSIVIDADE.....</i>	<i>29</i>
3.4.	MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO ARMADO.....	31
3.4.1.	<i>MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO RELATIVOS AO CONCRETO .....</i>	<i>31</i>
3.4.2.	<i>MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO RELATIVOS À ARMADURA .....</i>	<i>34</i>
3.5.	DIAGNÓSTICO.....	37
3.5.1.	<i>TIPOS DE ENSAIOS PARA DIAGNÓSTICO .....</i>	<i>37</i>
3.6.	VIDA ÚTIL.....	38
3.7.	MODELOS DE PREVISÃO DE VIDA ÚTIL .....	41
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>43</b>
4.1.	OBJETO DE ESTUDO .....	43
4.1.1.	<i>CORPO HÍDRICO – AÇUDE SENADOR EPITÁCIO PESSOA .....</i>	<i>43</i>
4.1.2.	<i>PONTES I, II, III e IV.....</i>	<i>44</i>

4.2.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	45
4.3.	<i>SOFTWARE</i> DE PREVISÃO DE VIDA ÚTIL - CARAMBOLA.....	46
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>48</b>
5.1.	ESTRUTURA I.....	48
5.2.	ESTRUTURA II.....	51
5.3.	ESTRUTURA III .....	55
5.4.	ESTRUTURA IV .....	58
5.5.	IMPLEMENTAÇÃO NO CARAMBOLA PARA PREVISÃO DE VIDA ÚTIL ....	61
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Em busca de melhorias e comodidade o homem edifica estruturas dos mais variados seguimentos desde os primórdios. Sabe-se que, atualmente o avanço da tecnologia e conhecimentos sobre materiais, procedimentos e técnicas conferem uma maior eficiência e segurança para a construção de estruturas urbanas como estradas, edifícios, casas, pontes, barragens, canais, sistemas de esgotos, sistemas de drenagens pluviais, etc.

Segundo Marchetti (2008, p. 01), são denominadas pontes as obras destinadas à transposição de obstáculos que uma via de comunicação qualquer pode possuir. Os obstáculos podem ser rios, braços de mar, açudes, outras vias, etc. Assim, denomina-se ponte quando o obstáculo transposto for um rio e quando o obstáculo transposto for um vale ou via, denomina-se viaduto.

O concreto armado é um material composto pela associação do concreto e aço, caracterizando-se como um material bastante utilizado atualmente para edificação de várias tipologias de estruturas, dentre elas, as pontes. Segundo Carmona (2005, p. 01), “embora seja um material durável e versátil, o concreto armado está sujeito a vários tipos de deterioração, que podem ser causados por um grande número de mecanismos”.

Carmona (201?) define que “patologia das construções é considerada uma ciência relativamente nova, na qual se empenha em estudar os diversos problemas que as construções estão sujeitas, sejam elas falhas de projeto, execução ou mau uso das estruturas”. Esse autor ainda ressalta que, entre as manifestações patológicas que podem incidir sobre as estruturas de concreto armado estão: corrosão de armadura; reação álcali agregado; ataque por águas ácidas, águas puras, etc.

Esse trabalho se propõe a analisar quatro pontes de concreto armado, que estão localizadas no sistema que integra a drenagem do Açude Senador Epitácio Pessoa, também conhecido como Açude Grande, localizado no bairro Centro, Cidade de Cajazeiras – PB, identificadas doravante de Estruturas I, II, III e IV. Uma dessas pontes localiza-se mais precisamente sobre o vertedouro do referido açude e as demais transpõem a trajetória do canal de escoamento do vertedouro.

O projeto da ponte sobre o vertedouro foi destinado apenas para pedestres, caracterizando-se como passarela, havendo diariamente um grande fluxo de pessoas, que utilizam a praça no entorno do corpo hídrico para atividades físicas, como também para pedestres se deslocarem como maneira de redução de trajeto do centro da cidade até suas residências. Já o projeto das outras pontes foi destinado para a passagem de pedestres e veículos

automotores, atendendo uma alta demanda para locomoção como conexão entre vários bairros ao centro da cidade.

Segundo Braga (2011), o Açude Grande foi de extrema importância para o surgimento da Cidade de Cajazeiras, onde desde a sua fundação na década de 1790, ele era utilizado para subsidiar os seus primeiros habitantes, enquanto ainda vila. Com o passar dos anos houve um crescimento desordenado da cidade, caracterizado pela ausência de planejamento e a ocorrência de ocupação difusa nos entornos do açude.

Braga (2011) afirma ainda que em decorrência desses fatores conjuntamente com o descaso tanto da população como dos órgãos públicos, acrescido de falha de saneamento básico, precisamente na rede coletora de esgotos, os resíduos sólidos e efluentes de esgotamentos sanitários das residências próximas ao açude passaram a ser encaminhados para o mesmo, contaminando-o. Assim, o corpo hídrico configura-se atualmente em estado de poluído, embora ainda contenha presença de plantas e animais aquáticos.

Diante disso, constata-se que o ambiente onde as pontes estão situadas, sejam próximas ao açude ou que fazem parte do sistema de escoamento, contém alto teor de poluição, seja por resíduos sólidos ou contaminação decorrente de esgotamentos sanitários, podendo trazer complicações significativas para as estruturas.

Todas as pontes de concreto armado em estudo tratam-se de estruturas localizadas em ambiente considerado agressivo, com presença de resíduos sólidos, água poluída e por também estarem expostas a intempéries.

Este trabalho é oportuno devido à importância social das pontes para os moradores da cidade e da região, onde a análise de suas manifestações patológicas presentes serve como meio de verificação de seu estado atual e previsão de sua vida útil, mostrando de forma direta um fator de grande relevância: a segurança dos indivíduos que utilizam as estruturas, proporcionando a população o conhecimento das condições presentes e futuras das estruturas, servindo também como contribuição para que órgãos responsáveis possam intervir corrigindo e recuperando-as.

Apresenta-se nos capítulos a seguir, um capítulo que especifica os objetivos do trabalho, seguido de uma revisão bibliográfica sobre os estudos da patologia relacionados a manifestações patológicas em estruturas de concreto armado a fim de subsidiar o levantamento de quais manifestações patológicas estão presentes nas estruturas em estudo. Procede-se uma análise, estudo e identificação das possíveis origens e um diagnóstico correto para as falhas e sintomas existentes nas estruturas, ao mesmo tempo em que se busca demonstrar estimativa de

vida útil de acordo com as condições atuais das estruturas, finalizando com as considerações finais.



## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise *in loco*, do tipo inspeção, das manifestações patológicas das pontes do sistema de drenagem do Açude Senador Epitácio Pessoa, na Cidade de Cajazeiras – PB, como também verificar a estimativa de vida útil para as suas condições atuais.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atender o objetivo geral, foram delimitados os seguintes objetivos específicos:

- Analisar visualmente a estrutura através de registro fotográfico;
- Extrair dados das condições ambientais e materiais do local de estudo relacionados à durabilidade da estrutura;
- Identificar as principais manifestações patológicas que as acometem conjuntamente com suas prováveis causas e origens;
- Realizar a partir de dados colhidos a implementação, por meio de *software*, da previsibilidade da vida útil residual das estruturas;
- Determinar o nível de deterioração das estruturas.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. PONTES

No Brasil, as pontes são estruturas usualmente produzidas com concreto armado, concreto protendido e/ou estrutura mista, que é no caso da combinação de estruturas metálicas e de concreto.

Conforme a norma NBR 7188 (ABNT, 2013) em seus termos e definições apresenta-se as seguintes definições:

- Ponte: estrutura sujeita à ação de carga em movimento, com posicionamento variável (chamada de carga móvel), utilizada para transpor um obstáculo natural (rio, córrego, vale, etc.);
- Viaduto: estrutura para transpor um obstáculo artificial (avenida, rodovia, etc.);
- Passarela: estrutura longilínea, destinada a transpor obstáculos naturais e/ou artificiais exclusivamente para pedestres e/ou ciclistas.

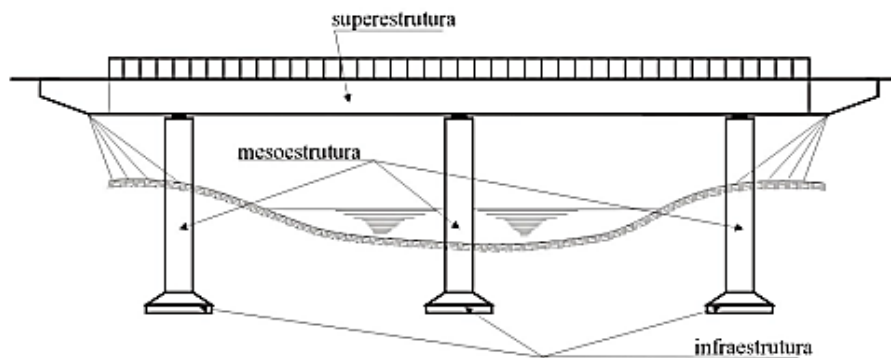
Marchetti (2008), cita que há requisitos principais a qual uma ponte é preciso atender, e entre eles estão:

- Funcionalidade: a ponte deverá satisfazer de forma perfeita às exigências de tráfego, vazão, etc.;
- Segurança: a ponte deve ter seus materiais constituintes solicitados por esforços que neles provoquem tensões menores que as admissíveis ou que possam provocar ruptura;
- Estética: a ponte deve apresentar aspecto agradável e se harmonizar com o ambiente em que se situa;
- Economia: deve-se fazer sempre um estudo comparativo de várias soluções, escolhendo-se a mais econômica, desde que atendido todos os itens anteriores e o próximo;
- Durabilidade: quanto à durabilidade, a ponte deve atender às exigências de uso durante um certo período previsto.

##### 3.1.1. PRINCIPAIS ELEMENTOS DA PONTE

As pontes são divididas em superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Elementos componentes de uma ponte.



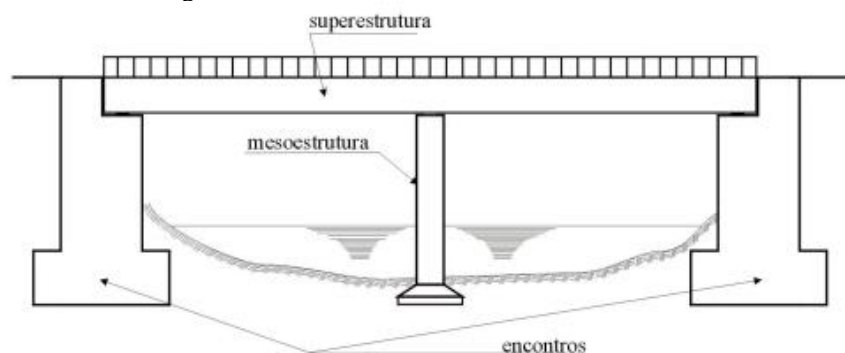
Fonte: Vitório, 2002.

Assim, de acordo com a Figura 1, tem-se de forma sucessiva as definições de cada uma das partes:

- Superestrutura: é o segmento responsável por vencer o vão necessário a ser transposto pela ponte, recebendo diretamente as cargas provenientes do tráfego dos veículos, transmitindo-as à mesoestrutura;
- Mesoestrutura: é a parte da ponte que tem por função transmitir as cargas da superestrutura para as fundações. É composta por pilares, travessas, encontros e aparelhos de apoio;
- Infraestrutura: é a fundação, que tem a finalidade de receber todas as cargas da estrutura (estáticas e dinâmicas) e transmiti-las ao solo.

Vitório (2002) ainda aponta que os dispositivos chamados de encontros (Figura 02) são elementos de ligação entre a ponte e a rodovia que além de receberem as cargas provenientes da superestrutura fazem a contenção dos aterros nas extremidades da obra.

Figura 2 - Pontes com encontros nas extremidades.

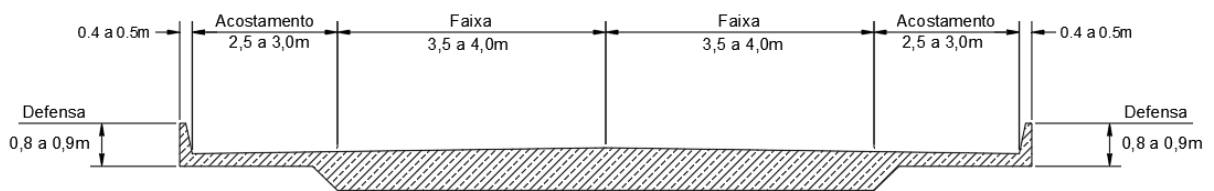


Fonte: Vitório, 2002.

Com relação à seção transversal, de acordo com as Figura 3 e 4, podem surgir os seguintes elementos:

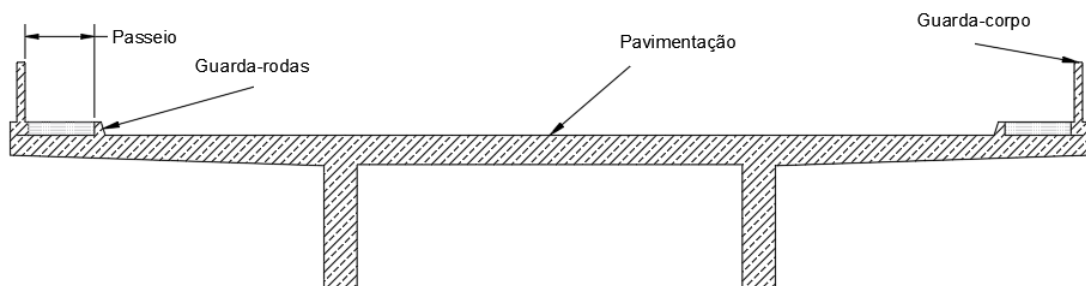
- Pista de rolamento;
- Acostamento;
- Defesa;
- Passeio;
- Guarda-roda;
- Guarda-corpo.

Figura 3 - Elementos da seção transversal.



Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 4 - Elementos da seção transversal.



Fonte: Autoria própria, 2020.

Com relação à seção longitudinal, conforme mostrado na Figura 5, há as seguintes denominações:

- Comprimento da ponte (vão total): distância, medida horizontalmente segundo o eixo longitudinal, entre as seções extremas da ponte;
- Vão (vão teórico ou tramo): distância, medida horizontalmente, entre os eixos de dois suportes consecutivos;
- Vão livre: distância entre as faces de dois suportes consecutivos;
- Altura de construção: distância entre o ponto mais baixo e o mais alto da superestrutura;
- Altura livre: distância entre o ponto mais baixo da superestrutura e o ponto mais alto do obstáculo.

Figura 5 - Elementos da seção longitudinal.



Fonte: Filgueira, 2020.

### 3.1.2. CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES

Segundo diversos autores, as pontes podem ser classificadas de acordo com comprimento dos vãos e obstáculos, finalidade, material utilizado e durabilidade, desenvolvimento planimétrico e desenvolvimento altimétrico.

#### Quanto aos Comprimentos dos Vãos e Obstáculos

Para Gomes (2013 *apud* Torres Filho, 2019), tendo em vista os obstáculos a serem vencidos ou os comprimentos dos vãos, as pontes podem ser classificadas em:

- Ponte: apresenta vão com mais de 10,0 metros, destinada à transposição de obstáculo constituído por água, com rios, córregos, açudes e fins;
- Pontilhão: é uma ponte de pequeno vão. Não existe um limite definido para a fixação do vão máximo que pode ter um pontilhão, sendo fixado por alguns engenheiros em 10,0 m e por outros, em mais;
- Viaduto: é uma ponte destinada à transposição de obstáculos que não sejam constituídos por água. Estes obstáculos podem ser a transposição de vales, outras vias, etc.;
- Bueiro: é uma obra situada sob um aterro, de direção geralmente transversal ao eixo da estrada e destinado à passagem de pequenos cursos d'água.

#### Quanto à Finalidade

Para Vitório (2002) e Gomes (2013 *apud* Torres Filho, 2019), as pontes podem ser classificadas como:

- Rodoviárias: obras destinadas ao tráfego de veículos rodoviários;
- Ferroviárias: obras destinadas ao tráfego de veículos ferroviários;

- Passarelas de pedestres: obras destinadas exclusivamente ao tráfego de pessoas e em caso excepcionais a ciclistas;
- Aeroviárias: obras destinadas ao tráfego de aeronaves nos pátios dos aeroportos;
- Pontes com finalidades especiais: obras destinadas a passagem de quaisquer, tais como, adutoras, dutos de combustível, canais, etc.;
- Pontes mistas: obras destinadas ao uso simultâneo, seja de veículo rodoviários e pedestres, trens e pedestres, veículos e dutos. Nesse sentido, visam atender a mais de uma finalidade.

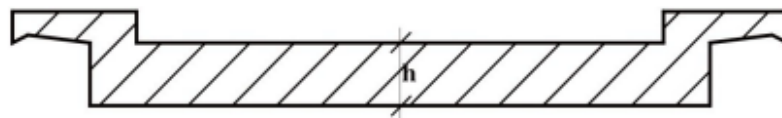
### Quanto ao Tipo Estrutural

Quanto ao tipo estrutural, Gomes (2013 *apud* Torres Filho, 2019) afirma que as pontes podem ser classificadas como: pontes em lajes; em vigas; em quadros rígidos; seção transversal celular; em arco ou abóbadas; pênses ou suspensas; estaiadas ou treliçadas. Aqui serão abordadas somente as pontes em laje e em vigas e lajes por serem a tipologia mais utilizada e também estarem contidas no objeto de estudo deste presente trabalho.

Vitório (2002), confirma que pontes com superestruturas em lajes é um sistema estrutural destituído de qualquer vigamento, onde adota-se para casos de pequenos vãos, de no máximo 15,0 m, trazendo vantagens de pequena altura de construção, grande resistência à torção e fissuramento, simplicidade e rapidez na construção. O seu elevado peso próprio evidencia sua principal desvantagem, sendo inviável sua aplicação em grandes vãos.

Há emprego de dois tipos de lajes quando analisada a sua seção transversal: as lajes maciças e lajes vazadas. As vazadas possuem um menor peso próprio em relação à maciça, sendo ambas representadas nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 - Seção transversal de ponte em laje maciça.



Fonte: Vitório, 2002.

Figura 7 - Seção transversal de ponte em laje vazada.



Fonte: Vitório, 2002.

Para Gomes (2013 *apud* Torres Filho, 2019), as pontes em vigas têm sua superestrutura constituída por vigas e lajes, variando o tipo de viga com os diferentes tipos de sistemas estruturais, entre eles estão: pontes em vigas simplesmente apoiadas, vigas simplesmente apoiadas com extremo balanço, vigas engastadas, vigas contínuas e vigas Gerber.

### 3.2. O AÇUDE SENADOR EPITÁCIO PESSOA

Como os objetos de estudo estão localizados no vertedouro e no decorrer do sistema de escoamento das águas do Açude Senador Epitácio Pessoa, busca-se embasar um encaminhamento para melhor compreensão do estudo dos níveis de deterioração das pontes, de forma que será necessário discorrer brevemente a história de origem do açude, que se remete também ao surgimento da Cidade de Cajazeiras, no Estado da Paraíba.

A construção dos reservatórios hídricos no semiárido brasileiro surge, como sendo uma das primeiras alternativas políticas de combate ou mitigação dos efeitos produzidos pelo fenômeno da seca. Trata-se, possivelmente, de um dos sistemas de engenharia mais antigos implantados em nossa região, voltados para a satisfação das necessidades básicas, relacionadas ao abastecimento humano e animal, assim como para o desenvolvimento dos vários polos de concentração social e/ou atividades econômicas (PEREIRA NETO, 2015).

Braga (2011) afirma que:

Na história da Cidade de Cajazeiras, o Açude Grande configurou-se como importante fonte de recursos para a população, pois desde a sua fundação na década de 1790, pelo casal Vital de Rolim e Ana Francisca, construído para subsidiar os poucos habitantes existentes na ainda vila, no que diz respeito ao abastecimento de água e criação de peixes, propiciando o sustento de famílias, bem como o banho e lazer de uma forma geral. Sua importância era tamanha que no ano de 1915 foi construído pelo Governo Federal através do aviso nº 349, de 18 de novembro de 1915, a reconstrução do açude por meio das Obras Novas contra as Secas, sendo inaugurado com grandes festividades em 16 de abril de 1916, mas foi oficialmente entregue a população no dia 6 de novembro de 1916 pela União.

Nas Figuras 8 e 9 mostram-se os registros históricos, respectivamente, antes e após a reconstrução do açude. Nota-se o registro da então ponte sobre o sangradouro, do tipo passarela, com utilização de materiais mistos, onde conta-se com mesoestrutura e infraestrutura de concreto com superestrutura de madeira.

Acontece que, com o passar dos anos e o crescimento desordenado da população da Cidade de Cajazeiras, especialmente nos entornos do açude, houveram ocupações generalizadas e com elas atitudes prejudiciais em relação ao corpo hídrico, como o direcionamento de esgotamento sanitário das residências, despejo de resíduos sólidos adentro ou no seu entorno,

acarretando na adulteração das condições químicas, físicas e biológicas dos seres que consistem no ecossistema do corpo hídrico.

Figura 8 - Açude Grande depois da reconstrução (Barragem principal), Cajazeiras - PB.



Fonte: Acervo do Sr. José Erni, citado por Braga, 2011.

Figura 9 - Sangradouro do Açude Grande depois da reconstrução, Cajazeiras – PB.



Fonte: Acervo do Sr. José Erni, citado por Braga, 2011.

Assim, o açude que em sua criação tinha como idealização principal o abastecimento da cidade passa a ser um corpo hídrico inutilizável em virtude da excessiva poluição por resíduos e quantidade de esgotos já depositados e que ainda continuam a serem despejados.



### 3.3. PATOLOGIAS DAS ESTRUTURAS

Segundo Ripper e Souza (1998), designa-se genericamente por Patologia das Estruturas o novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.

Segundo Carmona (201?), patologia das construções é uma ciência relativamente nova, que estuda os diversos problemas a que as construções estão sujeiras, sejam elas decorrentes de falhas de projeto, execução ou mau uso das edificações.

Contidos na ciência da patologia, há termos e nomenclaturas técnicas que são recorrentes e utilizados em normativas, trabalhos acadêmicos e no dia a dia dos profissionais de Engenharia Civil Diagnóstica. Saber fielmente o significado dos conceitos desses termos é de fundamental importância para que fique explícito com clareza as situações e não haja confusões ou mal-entendidos ao que se é expresso, seja por meio da fala ou escrita.

#### 3.3.1. CONCEITOS E TERMOS UTILIZADOS

Alguns conceitos são muito importantes no glossário técnico dentro da patologia, principalmente na comunicação entre profissionais, clientes e redações de relatórios técnicos. Entre os termos estão: vistoria, inspeção, auditoria, perícia, consultoria e laudo técnico de engenharia diagnóstica.

Para o Instituto de Engenharia (2014) seguem alguns termos:

- Vistoria: é a constatação técnica de determinado fato, condição ou direito relativo a um edifício;
- Inspeção: é a análise técnica de um determinado fato, condição ou direito relativo a um objeto, com base em informações genéricas, interpretação baseada na experiência do engenheiro diagnóstico;
- Auditoria: é o atestamento técnico de conformidade, ou não, de um fato, condição ou direito relativo;
- Perícia: é a apuração técnica da origem, causa e mecanismo de ação de um fator, condição ou direito relativo;
- Consultoria: é o prognóstico e a prescrição técnica a respeito de um fato, condição ou direito relativo.

Há conceitos que estão diretamente ligados ao exercício da Patologia e Engenharia Diagnóstica, Carmona (201?) confirma que são termos elementares, sendo os mesmos:

- Terapia: método de cura e natureza dos remédios. Está diretamente associada a um correto diagnóstico;
- Profilaxia: é uma prevenção, ou seja, aquilo que se faz de forma preventiva;
- Sintoma: é a manifestação patológica em si, o que a estrutura demonstra visualmente ou não, como manchas, deformações, deslocamentos, fissuras, etc.;
- Falha: erro ou descuido, tendo uma determinada origem;
- Origem: etapa do processo construtivo onde ocorreu a falha;
- Diagnóstico: entendimento e identificação da causa do problema para uma solução adequada;
- Correção: eliminar defeitos, podendo também ser chamado de reparo;
- Recuperação: reestabelecer características;
- Reforço: melhorar as características resistentes, aumentando-as;
- Reconstruir: reedificar ou refazer.

### 3.3.2. INFLUÊNCIA DAS ETAPAS CONSTRUTIVAS

De acordo com Cremonini (1998), as edificações, seus elementos e componentes estão sujeitos a uma perda de desempenho. Este processo pode ser natural através da degradação inevitável, ou pode ser acelerado por quaisquer outras razões que tenham origem nas diversas etapas do processo construtivo. O autor citado ainda classifica que o processo construtivo engloba um total de 5 etapas: programação; projeto; execução; materiais e utilização, onde as duas primeiras podem ser agrupadas sob o conceito de concepção.

Segundo Ripper e Souza (1998):

Em nível de qualidade, exige-se, para a etapa de concepção, a garantia de plena satisfação do cliente, de facilidade de execução e de possibilidade de adequada manutenção; para a etapa de execução, será de garantir o fiel atendimento ao projeto, e para a etapa de utilização, é necessário conferir a garantia de satisfação do utilizador e a possibilidade de extensão da vida útil da obra. O surgimento de problema patológico em dada estrutura indica, em última instância e de maneira geral, a existência de uma ou mais falhas durante a execução de uma das etapas da construção, além de apontar para falhas também no sistema de controle de qualidade próprio a uma ou mais atividades.

Carmona (201?), classifica que entre as etapas construtivas estão: projeto; execução, que pode dividir-se em materiais e métodos executivos, e a etapa de uso e manutenção.

Diante disso, sabendo-se as etapas e suas importâncias, será realizada a elucidação das influências das etapas construtivas no surgimento das manifestações patológicas, de acordo com Ripper e Souza (1998).

### **Manifestações Geradas na Etapa de Concepção da Estrutura (Projeto)**

Para compreender melhor sobre as manifestações geradas na etapa de concepção (projeto) da estrutura, deve-se compreender o que, de acordo com Helene (1994), quanto ao custo relacionado a uma ação corretiva no projeto:

Toda medida tomada a nível de projeto com o objetivo de aumentar a proteção e a durabilidade da estrutura, como por exemplo, aumentar o cobrimento da armadura, reduzir a relação água/cimento do concreto, especificar tratamentos protetores superficiais, escolher detalhes construtivos adequados, especificar cimentos, aditivos e adições com características especiais e outras, implica num custo que pode ser associado ao número 1 (um).

As falhas, manifestações patológicas, que podem ocorrer durante a etapa de concepção da estrutura podem se originar durante o estudo preliminar (lançamento da estrutura), na execução do anteprojeto, ou durante a elaboração do projeto de execução (projeto final de engenharia). De maneira geral, as dificuldades técnicas e o custo para solucionar um problema patológico originado de uma falha de projeto são diretamente proporcionais à antiguidade da falha, relativo à quanto mais cedo, nesta etapa da construção civil, a falha tenha ocorrido.

Por outro lado, constata-se que as falhas originadas de um estudo preliminar deficiente, ou de anteprojetos equivocados, são responsáveis, principalmente, pelo encarecimento do processo de construção, ou por transtornos relacionados à utilização da mão de obra, enquanto as falhas geradas durante a realização do projeto final de engenharia (projeto executivo) geralmente são responsáveis pela implantação de problemas patológicos sérios e podem ser tão diversas como: elementos de projeto inadequados; falta de compatibilização entre a estrutura e a arquitetura; especificação inadequada de materiais; detalhamento insuficiente ou errado; detalhes construtivos inexequíveis.

Diante disso, constata-se que falhas que são originadas na etapa de projeto têm um peso expressivo no prosseguimento da obra, além de gerar dificuldades de alteração no decorrer da construção do empreendimento, reduz-se a eficiência de produção por parte da mão-de-obra e gastos adicionais não previstos, tendo potencial de gerar danos irreversíveis de acordo com o período em que se foi descoberto a manifestação patológica.

## Manifestações Geradas na Etapa de Execução da Estrutura (Construção)

Conforme Helene (1994), quanto a um custo relacionado a uma ação corretiva na execução:

Toda medida extra projeto, tomada durante a execução propriamente dita, incluindo nesse período a obra recém-construída, implica num custo 5 (cinco) vezes superior ao custo que teria sido acarretado se esta medida tivesse sido tomada a nível de projeto, para obter-se o mesmo grau de proteção e durabilidade da estrutura. Um exemplo típico é a decisão em obra de reduzir a relação água/cimento do concreto para aumentar a sua durabilidade e proteção à armadura. A mesma medida tomada durante o projeto permitiria o redimensionamento automático da estrutura considerando um concreto de resistência à compressão mais elevada, de menor módulo de deformação, de menor deformação lenta e de maiores resistências à baixa idade. Essas novas características do concreto acarretariam a redução das dimensões dos componentes estruturais, economia de fôrmas, redução de taxa de armadura, redução de volumes e peso próprio, etc. Essa medida tomada a nível de obra, apesar de eficaz e oportuna do ponto de vista da durabilidade, não mais pode propiciar alteração para melhor dos componentes estruturais que já foram definidos anteriormente no projeto.

Pela sequência lógica do processo de construção civil, a etapa de execução deve ser iniciada após o término da etapa de concepção. Embora seja lógico e o ideal, raramente ocorre, mesmo em obras de maior vulto, sendo prática comum, por exemplo, serem feitas adaptações ou grandes modificações no projeto já durante a obra, sob desculpa, normalmente não válida, de serem necessárias certas simplificações construtivas, que, na maioria dos casos, acabam por contribuir para ocorrência de erros.

Outro fato de notável observação é no que diz respeito ao processo industrial denominado de construção civil, completamente atípico quando se olha a atividade industrial como um todo, pois que, nesta os componentes passam pela linha de montagem e saem como produtos terminados, enquanto na construção civil os componentes são empregados, em determinadas atividades, em locais onde não mais sairão.

Carmona (201?) profere que analisando os processos produtivos, enquanto nas atividades industriais há protótipos de produtos para que depois venham a ser confeccionados, na construção civil o produto final é o próprio protótipo.

Assim, uma vez iniciada a execução da construção, podem ocorrer falhas das mais diversas naturezas, associadas a causas tão diversas como falta de condições locais de trabalhos (cuidado e motivação), não capacitação profissional da mão-de-obra, inexistência de controle de qualidade de execução, má qualidade de materiais e componentes, irresponsabilidade técnica e até mesmo sabotagem.

Outro fato importante a considerar na análise do surgimento de problemas patológicos na execução das estruturas está relacionado à indústria de materiais e componentes. Essas indústrias são bastante independentes, relativamente à indústria da construção civil, embora

seus produtos deveriam ser desenvolvidos para suprir as necessidades da construção, e existe uma grande dificuldade de interação destes dois setores do parque industrial.

Diante disso, a ocorrência de problemas patológicos cuja origem está na etapa de execução é devido tanto ao processo de produção como baixa qualidade de materiais e componentes. Na produção a etapa pode ser prejudicada por refletir problemas socioeconômicos que provocam baixa qualidade técnica dos trabalhadores menos qualificados ou com alguma qualificação profissional. Na qualidade inadequada dos materiais e componentes, a etapa pode ser comprometida pelos produtos terem menor durabilidade, erros dimensionais, presença de agentes agressivos incorporados e a baixa resistência mecânica.

### **Manifestações Geradas na Etapa de Utilização da Estrutura (Uso e Manutenção)**

Acabadas as etapas de concepção e de execução, e mesmo quando tais etapas tenham sido de qualidade adequada, as estruturas podem vir a apresentar problemas patológicos originados da utilização errônea ou da falta de um programa de manutenção adequado. Desta forma, e de maneira paradoxal, o usuário, maior interessado em que a estrutura tenha um bom desempenho, poderá vir a ser, por ignorância ou desleixo, o agente gerador de deterioração estrutural.

Os problemas patológicos ocasionados por uso inadequado podem ser evitados informando-se ao usuário sobre as possibilidades e limitações da obra, como por exemplo: edifícios em alvenaria estrutural, onde o morador deve ser informado sobre quais as paredes portantes, de forma que não venha a fazer obras de demolição ou de abertura de vãos nestas paredes sem a prévia consulta ou assistência de especialistas ou projetista da estrutura; pontes onde a capacidade de carga da ponte deve ser informada em local visível e de forma insistente.

Desta forma, ocasionados por manutenção inadequada, ou mesmo pela ausência total de manutenção, os problemas patológicos na etapa de utilização têm sua origem no desconhecimento técnico, na incompetência, no desleixo e em problemas econômicos. A falta de alocação de verbas para a manutenção pode vir a tornar-se fator responsável pelo surgimento de problemas estruturais de maior monta, implicando gastos significativos e, no limite, a própria demolição da estrutura.

Segundo Helene (1994), as manutenções podem ser divididas em manutenção preventiva e manutenção corretiva:

A manutenção preventiva é toda medida tomada com antecedência e previsão, durante o período de uso e manutenção da estrutura, pode ser associada a um custo 5 (cinco) vezes menor que aquele necessário à correção dos problemas gerados a partir de uma não intervenção preventiva tomada com antecedência à manifestação explícita de

patologias. Ao mesmo tempo estará associada a um custo 25 (vinte e cinco) vezes superior àquele que teria acarretado uma decisão de projeto para obtenção do mesmo grau de proteção e durabilidade da estrutura. Como exemplo pode-se citar a remoção de fuligem ácida e limpeza das fachadas, estucamento ou reestucamento das superfícies aparentes, pinturas com vernizes e hidrofugantes, renovação ou construção de rufos, pingadeiras, beirais e outras medidas de proteção.

A manutenção corretiva corresponde aos trabalhos de diagnóstico, prognóstico, reparo e proteção das estruturas que já apresentam manifestações patológicas, ou seja, correção de problemas evidentes. A estas atividades pode-se associar um custo 125 (cento e vinte e cinco) vezes superior ao custo das medidas que poderiam ter sido tomadas a nível de projeto e que implicariam num mesmo "grau" de proteção e durabilidade que se estime da obra a partir da correção.

### 3.3.3. *INFLUÊNCIA DO AMBIENTE – CLASSE DE AGRESSIVIDADE*

Com a grande utilização do concreto para a construção de obras-de-arte e considerando os locais que estas obras estão inseridas, faz-se necessário uma avaliação adequada da agressividade ambiental ou atmosfera circundante, com base em dados e registros meteorológicos, para se prever a durabilidade das estruturas, estudo que deve ser explorado na etapa de planejamento. Trata-se de apresentar informações sobre a variação de temperatura, as ocorrências de precipitação, os poluentes, a umidade do ar, entre outras (LANER, 2001).

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014, item 6.4.1):

A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, de retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.

Na norma citada, foi introduzido o conceito de Classe de Agressividade Ambiental (CAA) o qual se propõe, através de um escalonamento de meios ambientes agressivos, a qualidade da estrutura e, em consequência, sua durabilidade (ENÉAS, 2014).

No Quadro 1, apresenta-se para cada CAA um risco de deterioração da estrutura, sendo importante a identificação qual o tipo de ambiente característico a obra está inserida, para que se leve em consideração no projeto o tipo de agressividade presente.

Deste modo, segundo a norma NBR 6118 (ABNT, 2014), o responsável pelo projeto estrutural, de posse de dados relativos ao ambiente em que será construída a estrutura, pode considerar a classificação mais agressiva que a estabelecida no Quadro 01.

Definida e em posse da classe de agressividade ambiental, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), deve haver uma correlação entre a mesma e o cobrimento nominal de armadura. Assim, tem-se no quadro 02 a correspondência entre esses dois aspectos levando em consideração se é uma estrutura de concreto armado ou protendido e qual componente ou elemento constituinte da estrutura em evidência.

Quadro 1 - Classe de agressividade ambiental (CAA).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana (a, b)	Pequeno
III	Forte	Marinha (a)	Grande
		Industrial (a, b)	
IV	Muito Forte	Industrial (a, c)	Elevado
		Respingos de maré	
a) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, cozinhas e áreas de serviços de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).			
b) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.			
c) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.			

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

Quadro 2 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal.

Tipo de Estrutura	Componente ou Elemento	Classe de Agressividade Ambiental			
		I	II	III	IV <sup>3)</sup>
		Cobrimento Nominal (mm)			
<b>Concreto Armado</b>	Laje <sup>2)</sup>	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
<b>Concreto Protendido</b> <sup>1)</sup>	Todos	30	35	45	55
1) Cobrimento nominal de armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.					
2) Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitando um cobrimento nominal $\geq 15$ mm.					
3) nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal $\geq 45$ mm.					

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

Diante disso, começa a ser questão assente a necessidade de se priorizar o aspecto da durabilidade na concepção e execução das estruturas de concreto armado. Não sendo difícil concluir que, se assim for, a razão está na quantidade de estruturas que, apesar de bem calculadas, e de terem sido objeto de construção exemplar, acabam por se degradar pelo fato de não possuírem defesa suficientes para fazer frente à agressividade do meio ambiente (RIPPER; SOUZA, 1998).

### 3.4. MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO ARMADO

Como exposto anteriormente, as manifestações patológicas presentes em estruturas de concreto armado podem ser ocasionadas/originadas nas etapas envolvidas no processo construtivo. Assim, as manifestações se apresentam após os mecanismos de deterioração, em alguns casos, estarem em curso, ou se consumarem.

Segundo Helene (1994), todo problema patológico, chamado em linguagem jurídica de vício oculto ou vício de construção, ocorre a partir de um processo, de um mecanismo. Para Laner (2001), os mecanismos de deterioração ocorrem por ações químicas ou físicas e resultam na deterioração da massa resistente do concreto, podendo comprometer uma peça ou toda a estrutura, conforme a intensidade de sua ação.

A norma NBR 6118 (ABNT, 2014) classifica os mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto em: lixiviação, expansão por sulfato e reação álcali agregado e relativos à armadura em: despassivação por carbonatação e despassivação por ação de cloretos.

Optou-se então por seguir as divisões dos mecanismos de deterioração do concreto armado propostas pela norma, complementando com outros autores para uma maior elucidação desses fenômenos.

#### 3.4.1. MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO RELATIVOS AO CONCRETO

##### **Lixiviação**

A norma NBR 6118 (ABNT, 2014) classifica a lixiviação como o mecanismo responsável por dissolver e carrear os componentes hidratados da pasta de cimento por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras.

Laner (2001) define que, a lixiviação é uma manifestação patológica que ocorre frequentemente nas estruturas de concreto e pode ser definida por um processo químico de remoção de compostos hidratados da pasta de cimento que reduz o pH do concreto. Enéas (2014), confirma que poderá ocorrer quando o concreto for mal adensado e estiver, por algum motivo, fissurado ou apresentar juntas mal executadas, permitindo, dessa forma, percolação da água através do material.

Considera-se como lixiviação a ação de meio ácido sobre o concreto (pH entre 4 e 5), da água pura sobre o concreto (pH superior a 5,5) – classificada pela norma CETESB como grau de agressividade forte – e por ação de água bicarbonatada sobre o concreto (pH acima de



7 com no máximo 8,8). A reação por troca de cátions entre as soluções ácidas e as constituintes da pasta de cimento Portland gera sais solúveis de cálcio, acetato de cálcio, e bicarbonato de cálcio, que são removidos por lixiviação (CINCOTTO, 1997 *apud* LANER, 2011).

Enéas (2014), apresenta que entre a sintomatologia desse referente mecanismo tem-se:

- superfície arenosa;
- agregados expostos sem pasta superficial;
- eflorescência de carbonatos;
- elevada retenção de fuligem e desenvolvimento de fungos;
- redução do pH do extrato aquoso dos poros da superfície.

Geralmente ocorre uma confusão de conceitos tratando-se de mecanismo conhecido como lixiviação em comparação com a erosão por atrito. A grande diferença está no fato de que a lixiviação é caracterizada por a ação de águas puras que em contato com o concreto o dissolve, desgastando-o. Já na erosão por atrito as águas podem não ser puras, mas devido ao forte atrito e carregamento há um desgaste superficial do concreto, podendo-se confundir assim com a sintomatologia presente também na lixiviação.

### **Expansão por Ação de Sulfatos**

A norma NBR 6118 (ABNT, 2014) classifica a expansão de sulfatos como a expansão por ação de águas ou solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta do cimento hidratado.

Segundo Laner (2001):

Os sulfatos têm origem natural em águas freáticas, mas podem se originar de fertilizantes ou efluentes industriais. Contendo sulfato de sódio em contato com o hidróxido de cálcio da pasta de cimento e umidade suficiente para a reação, ocorre o ataque químico, depositando uma parte como gesso e lixiviando grande parte do  $\text{Ca(OH)}_2$ . O  $\text{Ca(OH)}_2$  ainda pode reagir com o sulfato de magnésio, potássio e cálcio.

No caso da reação entre o sulfato de cálcio e o  $\text{Ca(OH)}_2$ , não há aumento do volume total, mas, devido às diferenças de solubilidade do  $\text{C}_3\text{A}$  e do gesso, forma-se estrigita orientada acicular (forma de agulha) na superfície do  $\text{C}_3\text{A}$ . Assim, ocorre um aumento localizado de volume e, ao mesmo tempo, um aumento de porosidade em algum outro ponto (NEVILLE, 1997 *apud* LANER, 2001).

Para Enéas (2014), entre os principais sintomas característicos da expansão por ação de sulfatos em estruturas de concreto, tem-se:

- superfície com fissuras aleatórias;
- esfoliação;

- redução da dureza e da resistência superficial do concreto;
- redução do pH do extrato aquoso dos poros superficiais do concreto.

### **Reação Álcali Agregado**

A norma NBR 6118 (ABNT, 2014) define a reação álcali agregado como a expansão por ação das reações entre os álcalis do concreto e agregados reativos, sendo recomendado que o projetista deve identificar no projeto o tipo de elemento estrutural e sua situação quanto à presença de umidade, bem como recomendar as medidas preventivas.

Para Hasparyk (2005):

A Reação Álcali-Agregado (RAA) pode ser definida como um termo geral utilizado para descrever a reação química que ocorre internamente em uma estrutura de concreto, envolvendo os hidróxidos alcalinos provenientes principalmente do cimento e alguns minerais reativos presentes no agregado utilizado. Como resultado da reação, são formados produtos que, na presença de umidade, são capazes de se expandir, gerando fissurações, deslocamentos e podendo levar a um comprometimento das estruturas de concreto.

Para Carmona (201?), a reação expansiva ocorre entre a sílica reativa do agregado com os álcalis da hidratação ( $KOH$ ,  $NaOH$ ,  $Ca(OH)_2$ ) formando géis de silicatos alcalino expansivos. É ressaltado que o efeito é relativamente demorado e ocorre na presença de umidade, ocorrendo uma expansão que resulta em uma fissuração ocasionando prejuízos à resistência e durabilidade da Estrutura.

A Reação Álcali Sílica (RAS) é o tipo de RAA mais conhecida e relatada no meio técnico, sendo que normalmente ocorre mais rapidamente, em função das firmas minerais de sílica reativas envolvidas (DIAMOND, 1975; KIHARA, 1986; HOBBS, 1888; KIHARA, 1993; RODRIGUES, 1994, ACI 221, 1998 *apud* HASPARYK, 2005).

Já a reação do tipo álcali silicato geralmente se desenvolve de forma mais lenta, sendo pouca difundida e compreendida (POOLE, 1992 *apud* HASPARYK, 2005). Segundo Regourd (1988 *apud* HASPARYK, 2005), essa reação possui o mesmo princípio da reação álcali sílica, entretanto, uma vez que os minerais reativos estão mais disseminados na matriz, ocorre mais lentamente.

Entre a sintomatologia da reação álcali agregado, Laner (2001) afirma que, a RAA pode ser desagregante e se manifesta por fissuração, onde a abertura de fissuras pode ser desde 0,1 mm até 10 mm, em casos extremos, chegando raramente a profundidades maior que 25 mm ou no máximo 50 mm. São características das fissuras uma distribuição irregular, podendo ser feita uma analogia a uma grande teia de aranha.

### 3.4.2. MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO RELATIVOS À ARMADURA

Para compreender os mecanismos de deterioração relativos à armadura, faz-se necessário a elucidação do que é a despassivação da armadura, e para isso compreender como a mesma se porta dentro do concreto que compõe a estrutura.

Em geral, os metais encontram-se na natureza na forma de óxidos. Para a extração do metal é necessário um processo de redução com introdução de energia. O processo inverso e natural de redução de energia denominado oxidação é conhecido por corrosão e representa a destruição paulatina do metal (ANDRADE, 1992 *apud* CARMONA, 2005).

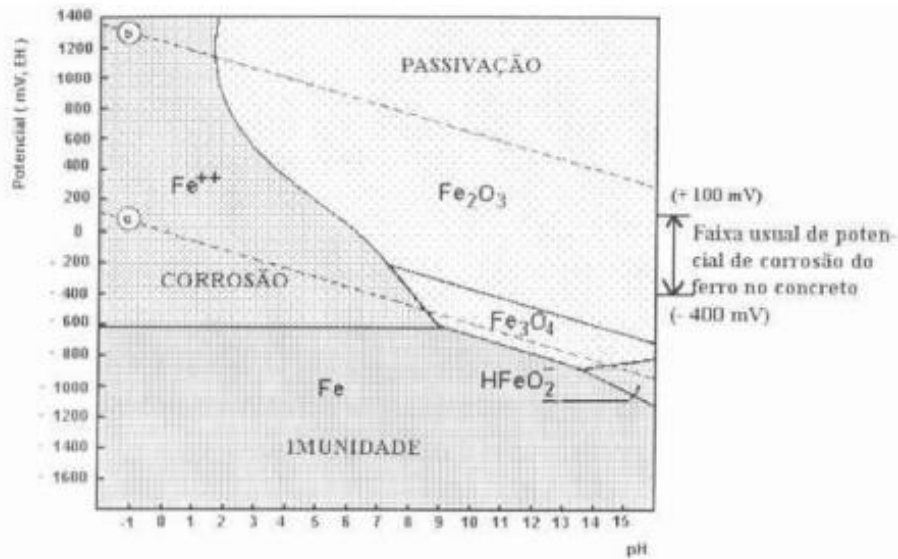
A potencialidade da corrosão depende do pH do meio já que existe interação entre os íons formados nas reações de corrosão com os íons do eletrólito. Assim, pode-se estabelecer uma relação entre a diferença de potencial e o pH do meio aquoso (POURBAIX, 1974 *apud* CARMONA, 2005).

Assim, Carmona (2005) confirma que, de acordo com a Figura 10, no diagrama de Pourbaix, pode-se distinguir três zonas: imunidade, passivação e corrosão. O metal não se corrói na zona de imunidade, independentemente do valor do pH, permanecendo-se estável. A zona definida de passivação é onde o metal se recobre de uma delgada camada de óxidos e hidróxidos que atua como barreira de proteção impedindo o progresso da corrosão. A zona de corrosão é onde o pH e o potencial eletroquímico dão condições para que os produtos da camada de passivação não sejam mais estáveis e a corrosão se proceda.

Segundo Carmona (2005), a passivação do aço pode ser alterada quando algum agente externo agressivo penetra no interior do concreto e altera as condições internas junto à armadura.

Diante disso, no diagrama de Pourbaix entende-se que as zonas delimitam faixas de equilíbrio considerando o potencial eletroquímico e o pH do concreto. O elevado pH do concreto devido a produtos de hidratação do cimento fornece condições propícias à proteção da armadura (aço passivado) por meio de uma camada microscópica que se forma. Acontece que, com a diminuição do pH por mecanismos de despassivação mediante agentes agressivos atrelados, o potencial eletroquímico pode vir a ocasionar a corrosão da armadura.

Figura 10 - Diagrama de equilíbrio termodinâmico do metal ferro em meio aquoso a 25°C.



Fonte: Pourbaix, 1974 *apud* Carmona, 2005.

Entre os mecanismos que promovem a despassivação da armadura estão a carbonatação e o ataque por cloretos.

### Despassivação da Armadura por Carbonatação

Enéas (2014) profere que a despassivação da armadura por carbonatação é um mecanismo que ocorre por ação do gás carbônico da atmosfera, que penetra por difusão e reage a hidróxidos alcalinos da solução em poros do concreto, reduzindo o pH da dessa solução. Assim, a umidade relativa do ambiente deve encontrar-se entre 65% a 98% ou em ambientes de ciclo de molhagem e secagem, dando origem a corrosão de armadura.

Segundo Ripper e Souza (1998), a ação dissolvente do anidrido de carbono (**CO<sub>2</sub>**) sobre o cimento hidratado forma o carbonato de cálcio, reduzindo o pH do concreto até valores inferiores a 9. Quanto maior for a concentração de **CO<sub>2</sub>** menor será o pH e mais espessa será a camada carbonatada.

Os mesmos autores ainda supõem que se a camada carbonatada ficasse restrita a uma pequena camada seria benéfica para o concreto, pois aumentaria as suas resistências químicas e mecânicas (o carbonato de cálcio ajuda no aumento da resistência). Acontece que, quando aumentada a concentração do **CO<sub>2</sub>** conjuntamente com a porosidade e fissuração do concreto, a carbonatação avança e atinge uma camada mais espessa corroendo a armadura por ocorrer a quebra do filme de óxido que a protege (referindo-se a camada de passivação).

Ripper e Souza (1998) apresentam uma equação de propagação de profundidade da carbonatação, para condições propícias para que a mesma ocorra em concreto altamente poroso (Equação 1). A Figura 11 mostra em gráfico como acontece essa propagação.

$$x = k\sqrt[n]{t} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

x - profundidade de penetração da carbonatação [cm];

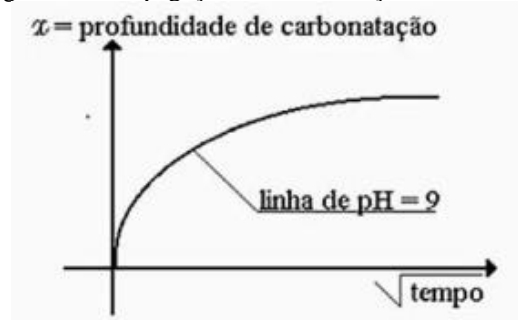
k - constante, função da porosidade e permeabilidade do concreto [cm<sup>2</sup>/ano];

t – tempo [anos];

n = 2, em ambientes interiores;

n < 2, em ambientes exteriores.

Figura 11 - Propagação da carbonatação com o tempo.



Fonte: Ripper e Souza, 1998.

Enéas (2014) apresenta que entre a sintomatologia desse referente mecanismo tem-se:

- manchas;
- fissuração;
- destacamentos de pedaços de concreto;
- perda de seção resistente e aderência;
- colapso de parte ou totalidade da estrutura.

### **Despassivação da Armadura por Cloretos**

De acordo com a norma NBR 6118 (ABNT, 2014), a despassivação da armadura por cloretos consiste na ruptura local da camada de passivação, causada pelo elevado teor de íon-cloro.

Enéas (2014) confirma que, os íons de cloro penetram nos poros do concreto através de processos de difusão, impregnação ou absorção capilar de águas com elevado teores de cloretos e, ao atingir a armadura, despassivam a superfície do aço e instalam a corrosão. Entre alguns instaladores desse processo estão alguns aditivos aceleradores de pega que contém alto teor de cloro.

Carmona (201?) afirma que, em alguns casos, mesmo em baixas idades, a estrutura já tem cloro presente na profundidade da armadura, havendo uma penetração mais acelerada, mas que devido a outros fatores, como a concentração de nível de cloro (teor de cloreto limite), a despassivação ainda não se processa. É importante destacar que mesmo com a presença de cloro no interior da peça de concreto não há uma queda generalizada do pH do concreto, mas sim localizada em pontos específicos do concreto.

O mesmo autor ainda aponta que corrosão gerada pelos cloretos é mais acelerada quando comparada com a carbonatação, sendo caracterizadas por mordidas nas barras de aço, sendo assim, uma corrosão concentrada/localizada.

Para Enéas (2014), entre os principais sintomas característicos da despassivação da armadura por cloretos em estruturas de concreto, tem-se:

- manchas;
- fissuras;
- destacamento de pedaços de concreto;
- perda de seção resistente e da aderência;
- colapso de parte ou totalidade da estrutura.

### 3.5. DIAGNÓSTICO

Um correto diagnóstico é imprescindível, pois, identificar corretamente as causas e origens das manifestações patológicas, respeitando critérios e/ou limitações presentes, é o ponto de partida para uma solução. É visto que não existe solução correta e única, e sim solução que se adequa levando em consideração situações específicas.

Como meio de diagnóstico deve-se recorrer a medidas de avaliação e acompanhamento de qual e como se processa o problema patológico naquele determinado ponto de incidência. Entre as medidas possíveis pode-se destacar os ensaios *in loco* ou laboratoriais.

#### 3.5.1. TIPOS DE ENSAIOS PARA DIAGNÓSTICO

##### **Posição da Armadura e Espessura do Cobrimento**

Em muitas situações é necessário identificar o local preciso de onde se faz presente a armadura no interior do concreto, para que assim possa-se proceder outros ensaios. Além da identificação da posição da armadura, é possível através de equipamentos como o pacômetro a aferição do cobrimento de concreto em relação à armadura.

### **Profundidade de Carbonatação**

Considerado como um ensaio destrutivo, o ensaio de profundidade de carbonatação é possível através da quebra, com aspecto de profundidade em evidência, de uma região delimitada da estrutura, onde se há indícios de carbonatação, para que assim se possa aplicar o indicador de pH e verificar a profundidade de carbonatação.

O composto da fenolftaleína ao entrar em contato com o concreto indica através da sua coloração, o pH em que se encontra o mesmo. Assim, ao aplicar a fenolftaleína, o concreto apresenta coloração rosa significa que o concreto está com pH básico (não ocorreu o fenômeno de carbonatação). Desta forma, se no caso de aplicação da fenolftaleína, em parte ou na totalidade da região aplicada permanecer incolor, significa que o concreto está carbonatado e houve queda do pH característico do concreto de básico para ácido.

Após a análise e, se for constatado a carbonatação, utiliza-se o paquímetro para aferir a espessura da camada de cobrimento da armadura que se apresenta carbonatada. Vale salientar que após a verificação da presença da carbonatação, em alguns casos, na qual se há indícios que a carbonatação está mais profunda, é necessário adentrar com a quebra no interior da estrutura para se aferir até aonde o processo de carbonatação avançou.

### **Informações Ambientais**

É de grande valia coletar informações do ambiente onde as estruturas em análise se encontram, visto que fatores ambientais influenciam nos mecanismos de deterioração. Entre as informações colhidas devem estar: concentração de  $CO_2$  no ambiente, umidade relativa do ar e temperaturas.

### **3.6. VIDA ÚTIL**

Muitas vezes se é deparado com o termo vida útil das estruturas em trabalhos acadêmicos, relatórios ou no dia a dia, e tem-se apenas a ideia geral do que seria esse significado do conceito vida útil.

Assim, segundo CEB,1990; BS, 1992; ACI, 2000 *apud* Carmona, 2005:

Vida útil é comumente definida como o período de tempo no qual a estrutura ou o componente estrutural pode cumprir sua função sem custos importantes de manutenção, ou seja, deverá estar sob manutenção preventiva mas, não deverá ocorrer manutenção corretiva durante esse período, em outras palavras não poderá ser objeto de intervenções não previstas.

Carmona (2005), afirma que pelo modelo de vida útil de Tutii (1982) ampliado por Helene (1993), a deterioração por corrosão de armaduras das estruturas de concreto pode ser

modelada por um processo composto por dois estágios. O primeiro estágio está associado ao período de tempo  $t_0$ , denominado período de inicialização ou despassivação, correspondente ao período de tempo que os agentes agressivos do ambiente levam para alcançar a armadura. O segundo estágio é denominado período de propagação, e está associado ao tempo  $t$  ( $t_1, t_2, t_f$ ) correspondente ao tempo até a ocorrência de uma deterioração significativa, é um estágio subjetivo por depender muito da definição do que é deterioração significativa. Assim, seguindo o raciocínio, tem-se como o conceito de vida útil a soma dos dois estágios ( $t_0$  e  $t$ ).

Carmona (2005) e Enéas (2014) chegam ao consenso de que existem quatro tipos de vidas úteis, sendo: vida útil de projeto, de serviço, total e residual.

É importante destacar que os conceitos dos tipos de vida útil que serão apresentados a seguir estão todos relacionados ao mecanismo de corrosão de armaduras, e todos estão dependentes da consideração do tempo de propagação  $t$  diferente.

Segundo Enéas (2014), pode-se definir:

- Vida útil de projeto: período de tempo que vai até a despassivação da armadura, normalmente denominado de período de iniciação. Correspondente ao período de tempo necessário para que a frente de carbonatação ou frente de cloretos atinja a armadura. O fato da região carbonatada ou de certo nível de cloretos atingir a armadura e teoricamente despassivá-la, não significa necessariamente que a partir desse momento haverá corrosão importante, apesar de que em geral ela ocorre. Esse período de tempo, no entanto, é o período que deve ser adotado no projeto da estrutura, a favor da segurança.

Assim, em outras palavras, a vida útil de projeto será apenas o  $t_0$ , considerando-se  $t$  como zero.

- Vida útil de serviço: período de tempo que vai até o momento em que aparecem manchas nas superfícies de concreto, ou ocorrem fissuras no concreto de cobrimento, ou ainda quando há destacamento do concreto de cobrimento. É muito variável de um caso para outro, pois depende das exigências associadas ao uso da estrutura. Enquanto em certas situações é inadmissível que uma estrutura de concreto apresente manchas de corrosão ou fissuras, em outros casos somente o início da queda de pedaços de concreto, colocando em risco a integridade de pessoas e bens, pode definir o momento a partir do qual se deve considerar terminada a vida útil de serviço.

Diante disso, a vida útil de serviço será a soma do  $t_0$  com o  $t$ , considerando-se  $t$  o período de tempo para que apareçam fissuras, manchas ou destacamentos.



- Vida útil última ou total: período de tempo que vai até a ruptura ou colapso, parcial ou total, da estrutura. Corresponde ao período de tempo no qual há uma redução significativa da seção resistente da armadura ou uma perda importante da aderência armadura/concreto, podendo acarretar o colapso parcial ou total da estrutura.

Desta forma a vida útil total será a soma do  $t_0$  com o  $t$ , considerando-se  $t$  o período de tempo para que a estrutura apresente perda de aderência armadura/concreto e redução da seção da armadura (ocasionada pela corrosão).

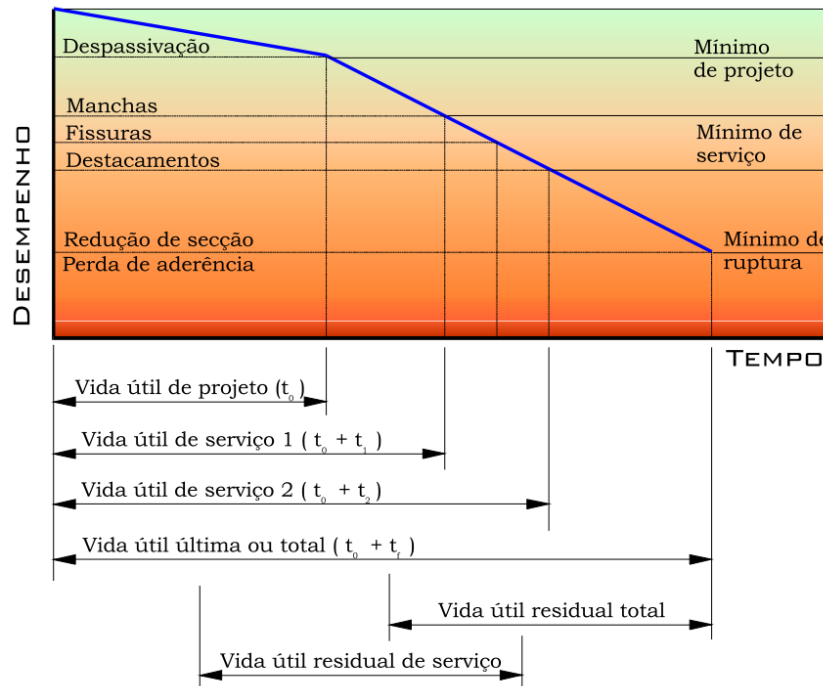
- Vida útil residual: corresponde ao período de tempo em que a estrutura ainda será capaz de desempenhar suas funções, contando nesse caso a partir de uma data qualquer, correspondente a uma vistoria. Essa vistoria e diagnóstico podem ser feitos em qualquer instante da vida da estrutura. O prazo final, nesse caso, tanto pode ser o limite de projeto, o limite das condições de serviço, quanto o limite de ruptura, dando origem a três possíveis vidas úteis residuais: uma mais curta, contada até a despassivação da armadura (vida útil residual de projeto), outra até o aparecimento de manchas, fissuras ou destacamento do concreto (vida útil residual de serviço) e outra contada até a perda significativa da capacidade resistente do componente estrutural ou seu eventual colapso (vida útil residual total) (DE MEDEIROS; ANDRARE; HELENE, 2011, p. 778 *apud* ENÉAS, 2014).

Em outras palavras, a vida útil residual é o tempo a partir da vistoria para que surjam: manchas, fissuras e destacamentos (vida útil residual de serviço), ou redução da seção do concreto e armadura conjuntamente ou não, com a perda de aderência da armadura/concreto (vida residual total).

Na Figura 12 é possível identificar a representação gráfica da vida útil das estruturas de concreto em relação à corrosão de armaduras, onde no eixo X está em evidência o desempenho das estruturas e no eixo Y o tempo.

Entende-se por desempenho o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e a sua medida relativa espelhará, sempre, o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção (RIPPER; SOUZA, 1998).

Figura 12 - Vida útil das estruturas de concreto armado com relação à corrosão de armadura.



Fonte: Tuutti, 1982, ampliado por Helene, 1993 *apud* Carmona, 2005.

### 3.7. MODELOS DE PREVISÃO DE VIDA ÚTIL

Existem modelos de previsão de vida útil com relação à corrosão de armadura, podendo alguns serem aplicados aos mecanismos de despassivação por carbonatação e outros a mecanismos de despassivação por penetração de cloretos.

Segundo Carmona (2005), entre os modelos que temos para previsão de vida útil em relação à corrosão pelo mecanismo de despassivação da armadura por carbonatação, temos: Tuutti (1982), Sentler (1984), Parrot (1987), Bakker (1988), Schiessl (1988), Papadakis et al. (1989, 1991a, 1991b, 1992), Thomas; Mathews (1992), Sanjuán (1992), CEB (1996), Helene (1997), Izquierdo (2003) e Andrade (2004).

Optou-se pelo modelo de Helene (1997), generalizado por Carmona (2005), onde a espessura carbonatada é dada pela Equação 2.

$$e = K_{CO_2} \sqrt{t} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$e$  – espessura de concreto carbonatado [mm]

$K_{CO_2}$  – coeficiente de carbonatação do concreto [ $mm/ano^{1/2}$ ];

$t$  – tempo [ano].

Tem-se que o coeficiente de carbonatação ( $K_{CO_2}$ ), segundo a generalização de Carmona (2005) é dado por uma equação genérica mostrada na Equação 3:

$$K_{CO_2} = (6,7882 - 0,1131f_{ck}) * \frac{\sqrt{C_S}}{\sqrt{0,1}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

$K_{CO_2}$  – coeficiente de carbonatação do concreto [ $mm/ano^{1/2}$ ];

$f_{ck}$  – resistência característica do concreto à compressão [MPa];

$C_S$  – concentração de  $CO_2$  [% volume].

Segundo o modelo, a utilização de cimentos de alto-forno e pozolânicos leva a profundidade carbonatada 20% e 10% maiores, respectivamente, em relação ao cimento Portland comum e composto. Assim, a Equação 3 serve para os cimentos CP I e CP II para a estimativa do coeficiente de carbonatação podendo ser escrita para os cimentos CP III e CP IV, na forma das Equações 4 e 5:

- Para cimentos CP III (Alto forno):

$$K_{CO_2,AF} = 1,2 * (6,7882 - 0,1131f_{ck}) * \frac{\sqrt{C_S}}{\sqrt{0,1}} \quad (\text{Equação 4})$$

- Para cimentos CP IV (Pozolânicos):

$$K_{CO_2,POZ} = 1,1 * (6,7882 - 0,1131f_{ck}) * \frac{\sqrt{C_S}}{\sqrt{0,1}} \quad (\text{Equação 5})$$

## 4. METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como uma análise do tipo inspeção, tendo como objeto de estudo quatro pontes de concreto armado que integra o sistema de drenagem do canal do açude Senador Epitácio Pessoa. A inspeção inicial serviu para identificação das manifestações patológicas presentes nas estruturas, por meio de registros fotográficos e ensaios *in loco*. Assim foi elaborado um diagnóstico das causas e origens dos problemas patológicos, conjuntamente com a determinação da previsibilidade de vida útil, mais precisamente, a vida útil residual de projeto das estruturas. Não foram colhidas análises relativas aos mecanismos de deterioração como: Lixiviação, Expansão por Ação de Sulfatos e Reação Álcali Agregado, embora pudessem ser vistos alguns exemplos nas imagens, mas não considerados na previsão de vida útil através do *software* Carambola.

### 4.1. OBJETO DE ESTUDO

As estruturas denominadas de Estruturas I, II, III e IV localizam-se na Cidade de Cajazeiras, no Estado da Paraíba. A escolha do estudo dessas pontes deu-se pelo fato de serem estruturas sobrepõe-se um canal de drenagem que, de maneira errônea e imprudente, escoar esgotamentos sanitários provenientes de residências, além de águas pluviais e as águas oriundas do vertedouro do Açude Senador Epitácio Pessoa, também em estado de poluído. Desta forma, por se tratarem de estruturas em ambientes agressivos e com poluição, concebeu-se a busca de uma inspeção para averiguar o estado de deterioração das estruturas.

Para uma melhor elucidação e visualização dos objetos de análise envolvidos, é importante um acesso de imagens aéreas das pontes em inspeção. Por meio da utilização do *software* Google Earth disponibilizado gratuitamente pela empresa Google, foram retiradas as imagens de satélite das quatro pontes, possibilitando também a demarcação do sistema de drenagem do corpo hídrico que as mesmas transpõem.

Diante disso, serão apresentadas por meio do Google Earth a localização das 04 pontes e o sistema hídrico em questão, estando presente na Figura 13 todas as estruturas em estudo conjuntamente com o corpo hídrico.

#### 4.1.1. CORPO HÍDRICO – AÇUDE SENADOR EPITÁCIO PESSOA

O Açude Senador Epitácio Pessoa localiza-se no bairro Centro, na Cidade de Cajazeiras-PB. É oriundo dele o sistema de drenagem na qual as pontes transpõem. Na Figura 13, está

representado o mesmo em sua totalidade com uma vista superficial das quatro pontes do canal de drenagem do seu vertedouro.

Figura 13 - Estruturas de estudo em destaque conjuntamente com o corpo hídrico, Cajazeiras-PB.



Fonte: Google Earth, 2020.

#### 4.1.2. PONTES I, II, III e IV

As estruturas I, II, III e IV, localizam-se no centro da Cidade de Cajazeiras – PB. A ponte I, dentre as analisadas, localiza-se precisamente sobre o vertedouro do Açu de Senador Epitácio Pessoa. A estrutura pode ser classificada como passarela, visto que em seu projeto a mesma foi destinada apenas para pedestres.

As estruturas II, III, IV são pontes projetadas para atender veículos automotores e pedestres, sendo imprescindível para a integração de alguns bairros ao centro da cidade.

A Figura 14 representa de forma mais aproximada a disposição das estruturas I à IV através de visão aéreas.

Figura 14 - Estruturas I, II, III e IV.



Fonte: Google Earth, 2020.

## 4.2. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente procedeu-se um levantamento prévio dos tipos de manifestações patológicas presentes nas estruturas das pontes, por meio de visita *in loco* e registros fotográficos das estruturas e dos sintomas que as mesmas apresentam.

Feito o levantamento inicial, com base nos sintomas apresentados, os elementos constituintes das estruturas foram elencados decrescentemente em relação aos seus estados de deteriorações, e a partir disto, procedeu-se os ensaios nos pontos menos deteriorados possíveis.

Entre as manifestações patológicas, deu-se foco na análise e verificação por meio de ensaios do índice de carbonatação nas estruturas de concreto armado, por a despassivação da armadura, pelo mecanismo de deterioração do concreto por carbonatação, ser o tipo de problema patológico comumente encontrada na região local do estudo.

Os ensaios realizados contemplam: as condições ambientais locais de onde as estruturas estão contidas, como concentração de  $CO_2$ , umidade relativa do ar e temperatura; e as condições características das estruturas: cobrimento de armadura e nível da profundidade de carbonatação na estrutura.

Entre os equipamentos e produtos utilizados estão: pacômetro, paquímetro, medidor de concentração de  $CO_2$ , medidor de temperatura e umidade relativa do ar, indicador de pH (fenolftaleína) para conferir a alcalinidade do concreto, martelo e talhadeira.

Assim, após recolhidos todos os dados ambientais e particularidades das estruturas, sintetizou e organizou-os para um diagnóstico mais preciso do estado de deterioração das

mesmas, levando em consideração quais fatores estão contribuindo para a prosseguimento dos mecanismos de deterioração. Todas essas condições favoreceram a realização da previsibilidade de vida útil residual de projeto das estruturas.

#### 4.3. SOFTWARE DE PREVISÃO DE VIDA ÚTIL - CARAMBOLA

A previsibilidade de vida útil residual de projeto das estruturas foi realizada por meio do *software* Carambola. Os índices de entrada para a obtenção do resultado serão utilizados de acordo com considerações do autor e dados obtidos dos ensaios ambientais e da estrutura.

Assim, a obtenção da previsibilidade da despassivação da armadura, a partir da data do momento da realização da interação (vida útil residual de projeto) será possível através da diferença entre o resultado de vida útil de projeto (tempo até a despassivação da armadura), obtido pelo Carambola, com o tempo de existência ou de construídas as estruturas.

$$VU_{RP} = VU_P - T_C \quad (\text{Equação 07})$$

Onde:

$VU_{RP}$  – Vida útil residual de projeto [anos];

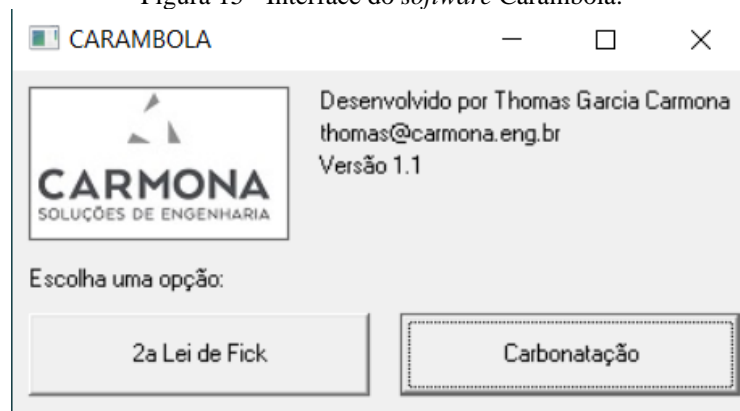
$VU_P$  – Vida útil de projeto, obtido no Carambola [anos];

$T_C$  – Tempo de existência ou construção da estrutura [anos];

Será apresentada a interface do Carambola e seus parâmetros envolvidos para a obtenção do coeficiente de carbonatação do concreto e do tempo até a despassivação da armadura (vida útil de projeto).

Ao iniciar o *software* Carambola, há duas opções. Como se irá utilizar o modelo relacionado à carbonatação, seleciona-se a opção Carbonatação. A Figura 15 representa a interface inicial ao executar o *software* Carambola.

Figura 15 - Interface do *software* Carambola.



Fonte: Carambola, 2005.

No modelo determinístico da Carbonatação apresentado pelo *software* há alguns parâmetros a serem inseridos como requisitos para a previsibilidade do tempo até a despassivação da armadura:

- $f_{ck}$ : resistência característica do concreto à compressão [MPa];
- Tipo do cimento: qual a classe do aglomerante adicionado para a produção do concreto, podendo ser CPI (que para o *software* engloba o CPI e CII), CIII e CPV;
- Cobrimento: quanto de concreto em centímetros recobre a armadura, ou seja, cobrimento de armadura [cm];
- $CO_2$  ambiente: concentração de  $CO_2$  contido no ambiente em que a estrutura está contida [% em volume].

A Figura 16 ilustra por meio do *software* todos os parâmetros apresentados anteriormente. Vale salientar que o método probabilista não foi adotado por ser necessário envolver outros fatores a qual não será possível obtenção ou mensuração para os casos das estruturas em estudo.

Figura 16- Interface do Modelo determinista de Carbonatação do *software* Carambola.

Fonte: CARAMBOLA, 2005.



## 5. RESULTADOS E ANÁLISES

Para uma melhor exposição, os resultados das atividades metodológicas realizadas com suas respectivas análises foram divididos em tópicos referentes a cada uma das 04 estruturas em inspeção.

### 5.1. ESTRUTURA I

Através de visita *in loco* da passarela denominada de Estrutura I, representada na Figura 17, foi constatado visualmente a presença de manifestações patológicas:

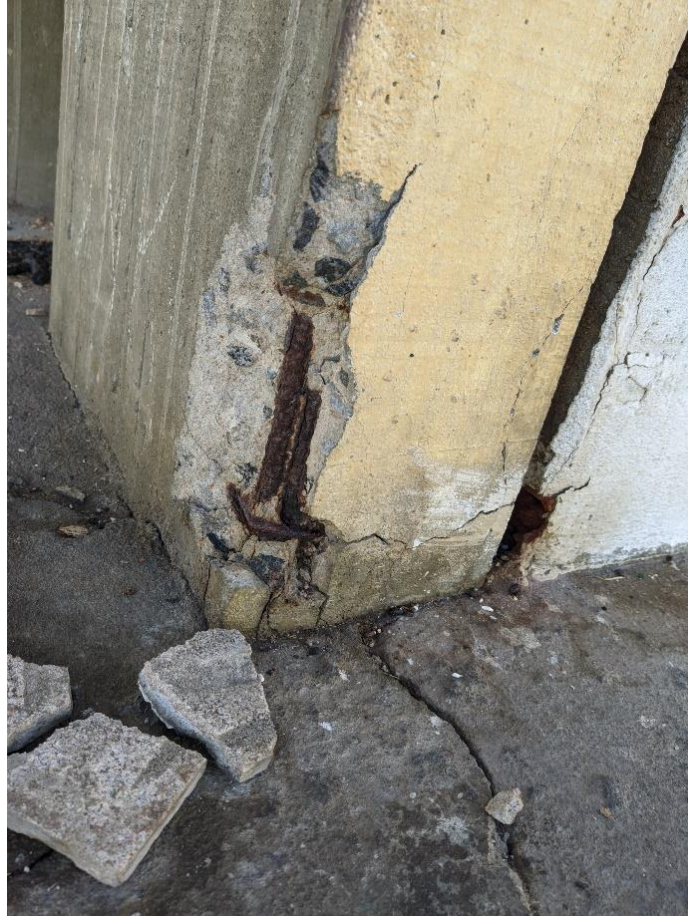
- corrosão de armadura em um dos encontros da estrutura, evidenciada pela armadura exposta, sendo representada na Figura 18;
- Armadura exposta na parte superior da laje e armadura exposta corroída na parte lateral externa do guarda corpo, sendo retratas nas Figuras 19 e 20, respectivamente.

Figura 17 - Estrutura I: passarela.



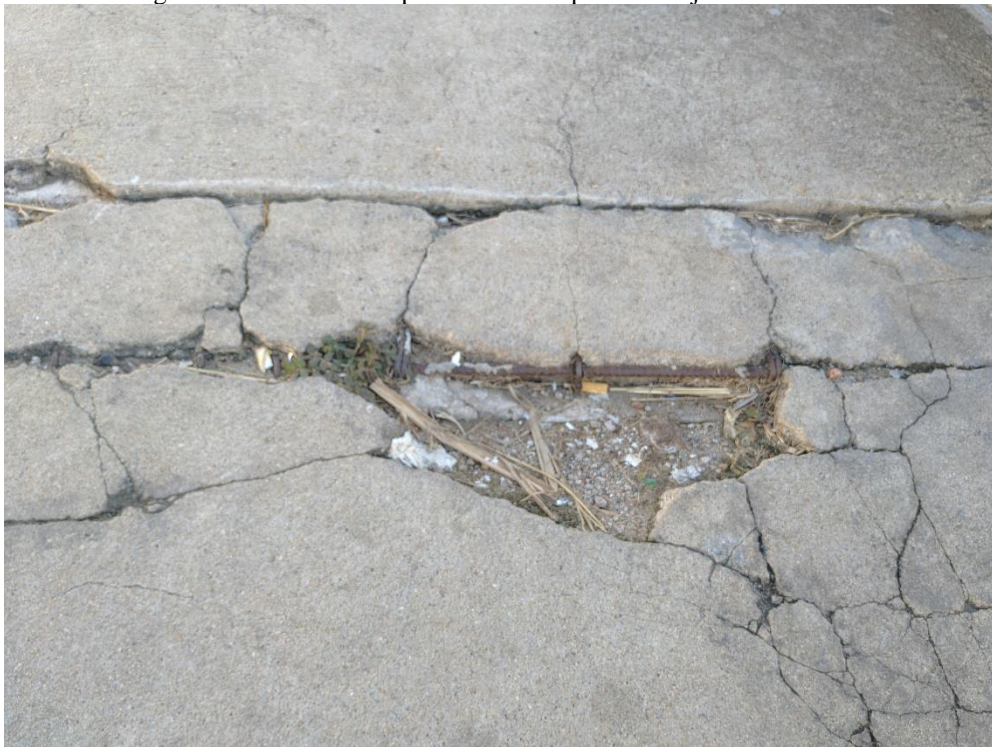
Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 18 - Corrosão de armadura no encontro da Estrutura I.



Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 19 – Armadura exposta na face superior da laje da Estrutura I.



Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 20 - Corrosão de armadura na parte lateral externa do guarda-corpo.



Fonte: Autoria própria, 2020.

O aferimento dos dados das condições ambientais realizado no dia 19 de novembro de 2020 aproximadamente às 8:00 h teve como resultados:

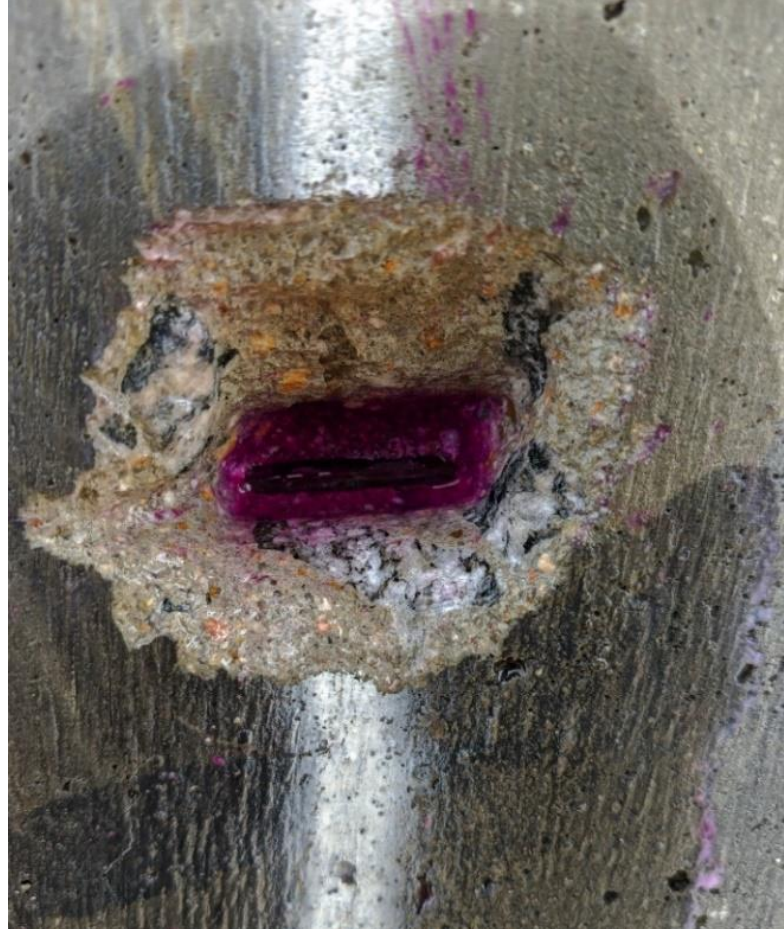
- Concentração de CO<sub>2</sub>: 500 ppm ou 0,05%;
- Temperatura: 30,8 °C, aferido às 8:00 h;
- Umidade relativa do ar: 45,3%.

Já para os ensaios das condições características das estruturas o pilar da passarela foi o local escolhido, devido o mesmo estar em ciclos de contato com água do açude dependendo das épocas de ano. Assim, procedeu-se a realização dos procedimentos para a obtenção do cobrimento de armadura e da profundidade de carbonatação, mediante a localização da barra de aço com o pacômetro, seguido da quebra do concreto em níveis, através de martelo e talhadeira, com a sequente aplicação do indicador de pH.

O ponto de quebra foi a 1,3 metros do nível do solo. Observou-se, por intermédio do paquímetro, que a espessura carbonatada correspondeu a 24 mm e o cobrimento de armadura a

29 mm. A Figura 21 ilustra o final do ensaio, onde observa-se que na profundidade do estribo o concreto está alcalino, ou seja, não está carbonatado.

Figura 21 - Ensaio de profundidade de carbonatação no pilar da Estrutura I.



Fonte: Autoria própria, 2020.

## 5.2. ESTRUTURA II

A ponte denominada de Estrutura II, durante a visitação *in loco*, evidenciou sintomas de manifestações patológicas do tipo fissuras e manchas no concreto em alguns pontos localizados na face lateral da laje (Figura 22 e 23), como também armadura exposta próximas a essas manchas e fissuras (Figura 24 e 25), indicando a presença do mecanismo de corrosão de armadura nesta localidade.

Figura 22 - Manchas e fissuras na face lateral da laje.



Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 23 - Fissuras e manchas na face lateral da laje.



Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 24 - Armadura exposta na face lateral da laje.



Fonte: Aatoria própria, 2020.

Figura 25 - Armadura exposta na face lateral da laje.



Fonte: Aatoria própria, 2020.

O aferimento dos dados das condições ambientais foi realizado no dia 19 de novembro de 2020 aproximadamente às 8:32h, tendo como resultados:

- Concentração de CO<sub>2</sub>: 530 ppm ou 0,053%;
- Temperatura: 31,5 °C.
- Umidade relativa do ar: 45%.

Os ensaios característicos da estrutura, que contemplam a obtenção da espessura de cobertura de armadura e a profundidade de carbonatação, foram realizados na face inferior da laje, visto que as faces laterais já apresentavam estados de processamento da corrosão de armadura, evidenciados pelas manchas e armaduras expostas.

Assim, mediante a localização da armadura com o pacômetro, quebra do concreto em níveis, mediante talhadeira e martelo, com a sequente aplicação do indicador de pH, obteve-se, através do auxílio de um paquímetro, que a profundidade de carbonatação correspondia a valores de 3 mm e o cobrimento de armadura a 13 mm, tendo na Figura 26 a representação do estado final do ensaio.

Figura 26 - Ensaio de profundidade de carbonatação na face inferior da laje Estrutura II.



Fonte: Autoria própria, 2020.

### 5.3. ESTRUTURA III

Durante a visita *in loco*, constatou-se que a terceira ponte, denominada de Estrutura III, acometia-se de algumas manifestações patológicas. Entre os problemas patológicos, encontrou-se a corrosão de armaduras, com barras já aparentes, na face lateral da laje (Figura 27 e 28), conjuntamente com o destacamento dos revestimentos em relação ao substrato da base (Figura 29). Assim, constatou-se que o revestimento em questão seria uma argamassa de reparo, onde foi efetuado na tentativa de corrigir supostos problemas patológicos anteriores existentes na face lateral da laje da estrutura.

Outro problema patológico indicado foi que as placas de concreto pré-moldadas, que compõe o passeio e que se dispõem apoiadas nos bordos da estrutura, apresentavam falhas e danificações (Figura 30), favorecendo a infiltração de águas pluviais e acometendo a estrutura às condições de instauração de mecanismos de degradação estrutural.

Figura 27 - Corrosão de armadura na face lateral da laje da Estrutura III.



Fonte: Autoria própria, 2020.



Figura 28 - Corrosão de armadura na face lateral da laje da Estrutura III.



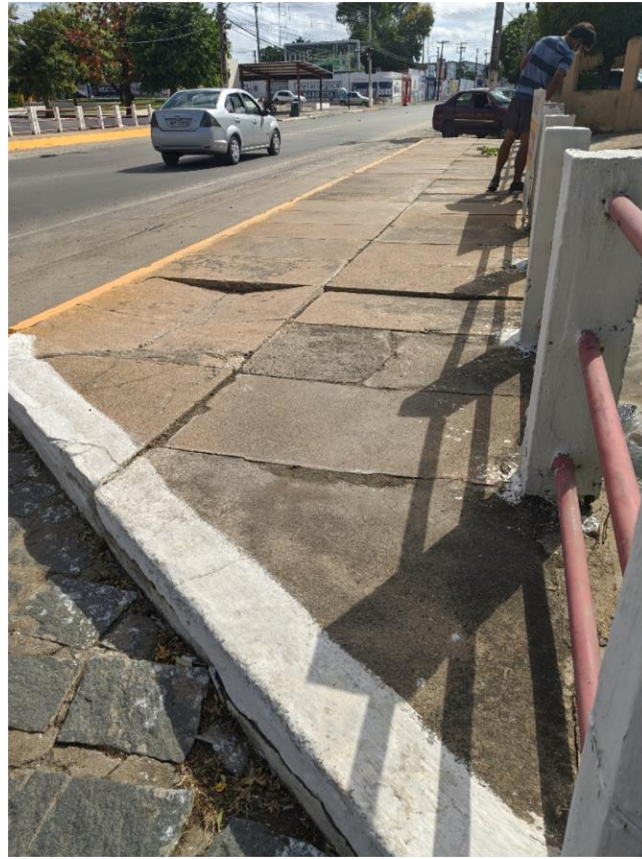
Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 29 - Destacamento da argamassa em relação ao concreto na face lateral da laje da Estrutura III.



Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 30 – Falhas nas placas pré moldadas do passeio da Estrutura III.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

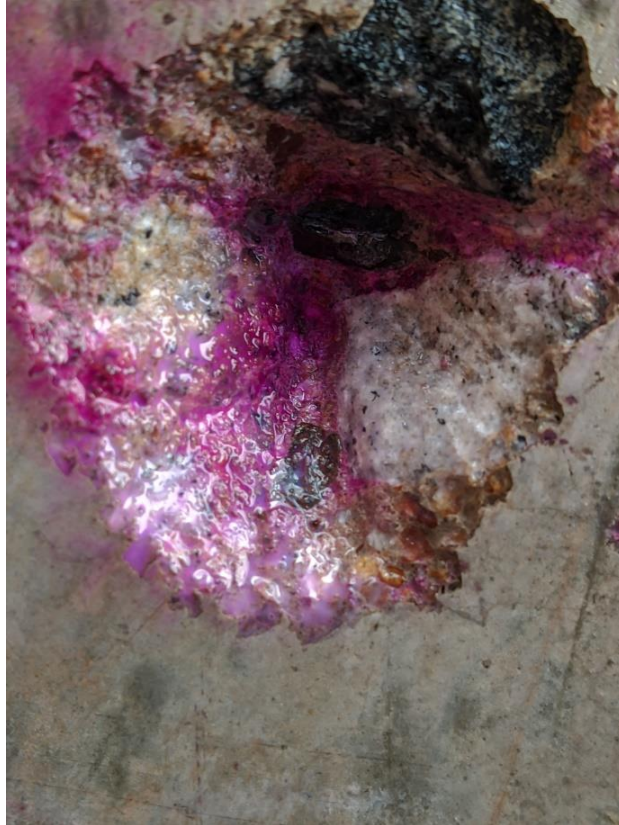
Os ensaios de obtenção das informações das condições ambientais, realizados no dia 19 de novembro de 2020 aproximadamente às 9:10h, tiveram como resultados:

- Concentração de CO<sub>2</sub>: 500 ppm ou 0,05%;
- Temperatura: 30 °C;
- Umidade relativa do ar: 45%.

Os ensaios para a obtenção da espessura de cobertura de armadura e a profundidade de carbonatação, assim como na Estrutura II, foram realizados na face inferior da laje, por grande parte da face lateral da estrutura já estar bastante deteriorada, atingido a sua vida útil de serviço, sendo caracterizado por armaduras corroídas expostas e com a presença de manchas e destacamento do revestimento da armadura.

Diante disso, através dos ensaios e procedimentos análogos aos realizados Estruturas I e II, com o paquímetro e com aplicação do indicador de pH a níveis de profundidade da abertura no concreto, obteve-se que a profundidade de carbonatação correspondia a valores de 3 mm e o revestimento de armadura a 14 mm, tendo na Figura 31 a representação do estado final do ensaio.

Figura 31 - Ensaio de profundidade de carbonatação na face inferior da laje Estrutura III.



Fonte: Autoria própria, 2020.

#### 5.4. ESTRUTURA IV

A quarta e última ponte, Estrutura IV, foi vistoriada e observou-se que a mesma apresentava problemas patológicos como:

- armaduras longitudinais expostas na face inferior da viga, tendo origem na execução da estrutura e sendo ocasionadas pelo incorreto espaçamento das barras que impossibilitou a passagem do concreto entre as mesmas. É importante salientar essas armaduras expostas encontravam-se corroídas, conforme evidenciado pela Figura 32;
- estribos, na face inferior da viga longitudinal principal (longarina), corroídos e evidentes, com indícios de baixo cobrimento de armadura, de acordo como mostrado na Figura 33;
- manchas e fissuras na face lateral externa da longarina e na face inferior da laje de passeio, sendo sintomas de contato com a águas pluviais ocasionados por infiltrações. Além disso, nota-se o processamento dos mecanismos de deterioração do concreto e armadura nessas localidades, como no caso em questão, a carbonatação e corrosão da armadura, representadas na Figura 34.

Figura 32 – Armaduras longitudinais da longarina expostas e corroídas.



Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 33 - Estribos das longarinas evidentes e corroídos.



Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 34 - Manchas e fissuras na face lateral externa da longarina e face inferior da laje de passeio.



Fonte: Autoria própria, 2020.

Assim, procedeu-se os ensaios de obtenção das informações das condições ambientais e que tiveram como resultados:

- Concentração de CO<sub>2</sub>: 491 ppm ou 0,0491%;
- Temperatura: 31 °C, aferido às 9:43 h;
- Umidade relativa do ar: 44,4%.

Os ensaios para a obtenção dos valores característicos referentes à estrutura, assim como nas estruturas anteriores, tiveram como escolha um ponto da estrutura na qual não apresentassem estados avançados de deterioração, seja por corrosão de armadura, manchas ou armaduras expostas. Assim, a obtenção da espessura de cobrimento de armadura e a profundidade de carbonatação foram realizados na face lateral interna da viga principal (longarina).

Diante disso, de forma análoga às estruturas anteriores, os procedimentos de obtenção foram realizados através da quebra no ponto demarcado e obteve-se, através do paquímetro e com aplicação do indicador de pH a níveis de profundidade da abertura no concreto, que a profundidade de carbonatação correspondia a valores de 3 mm e o cobrimento de armadura a 16 mm.

Um ponto importante a se destacar é que, o que justifica a face interna da longarina apresentar baixa espessura carbonatada e nenhum indício de armadura corroída é o fato de a mesma estar em um ponto menos exposto a intempéries, mantendo diariamente uma temperatura e umidade pontualmente próximas a uniformidade.

### 5.5. IMPLEMENTAÇÃO NO CARAMBOLA PARA PREVISÃO DE VIDA ÚTIL

Como apresentado na Metodologia, no modelo determinístico da carbonatação, apresentado pelo *software* Carambola, obtém-se a previsibilidade do tempo, em anos, até a despassivação da armadura.

Diante do exposto, formulou-se o Quadro 3 com os parâmetros e informações correspondentes aos ensaios obtidos em cada estrutura, com seu respectivo resultado da previsibilidade de vida útil residual de projeto, implementado pelo *software* Carambola.

É importante salientar que:

- O tempo de construção de cada ponte foi estimado por relatos dos moradores das localidades e da cidade, justamente por não ter sido possível informações dos registros oficiais ou acesso a projetos das mesmas;
- A resistência característica do concreto à compressão ( $f_{ck}$ ) foi considerada baseando-se na historicidade em razão das resistências usualmente utilizadas no período de construção das estruturas.

Quadro 3 - Parâmetros e informações para obtenção da vida útil residual de projeto

Elemento aferido das Estruturas	$f_{ck}$ [MPa]	Tipo de cimento	Cobrimento [cm]	$CO_2$ ambiente [%]	Vida útil de projeto [anos]	Tempo de construção [anos]	Vida útil residual de projeto [anos]
Estrutura I	20	CP II	2,9	0,05%	82,1	18	64,1
Estrutura II	18	CP II	1,3	0,045%	16,6	42	-25,4
Estrutura III	18	CP II	1,4	0,05%	17,4	42	-24,6
Estrutura IV	18	CP II	1,6	0,0491%	23,1	42	-18,1

Fonte: Autoria própria, 2020.

Analisando os resultados dos ensaios, registros fotográficos e previsão de vida útil e vida útil residual das estruturas concluiu-se que:

- Software* Carambola ao determinar o tempo de despassivação da armadura (vida útil de projeto) apresentou valores que condizem apenas com os pontos específicos das estruturas em que foram realizados os ensaios, não refletindo a previsibilidade de vida útil de forma total das mesmas.

- b. Como o ambiente das estruturas foi considerado como de classe de agressividade ambiental II, os cobrimentos de armadura de todos os dispositivos escolhidos para realizar os ensaios estavam abaixo dos definidos pela NBR 6118 (ABNT 2014), onde para o pilar da Estrutura I o cobrimento deveria ser de 30 mm e encontrava-se 29 mm; para as lajes das estruturas II e III deveriam ser de 25 mm e apresentam 13 e 14 mm respectivamente; e para a viga da estrutura III deveria ser de 30 mm e encontrou-se apenas 16 mm;
- c. Analisando-se apenas os problemas patológicos que foram evidenciadas pelos registros fotográficos, de forma geral entre as quatro Estruturas, as Estruturas II, III e IV estão em alto grau de deterioração, principalmente por as mesmas apresentarem manifestações patológicas em estados avançados em seus dispositivos constituintes;
- d. Os resultados de vida útil residuais de projeto dos dispositivos individuais das Estrutura II, III e IV deram negativos, evidenciando que, ao compará-los com os resultados dos ensaios do nível de carbonatação constatou-se que todos estão provando-se superar a previsão de despassivação indicados pelo Carambola. Esse fato se dá por os locais onde foram realizados os ensaios serem, assim como determinado na metodologia, os menos degradados no aspecto total das Estruturas, justamente para que se fosse possível analisar os locais onde ainda estivessem íntegros;
- e. A Estrutura I embora não tenha apresentado sintomas e manifestações patológicas graves durante a realização da inspeção, analisou-se que, comparando a previsão de despassivação da armadura pelo Carambola com os resultados de nível de profundidade de carbonatação, a estrutura está em um grau avançado de carbonatação, sendo este o mecanismo de deterioração do concreto que está acometendo os pilares da estrutura;
- f. A estrutura I precisa-se de uma intervenção nos pilares devido ao alto nível de profundidade de carbonatação em tão pouco tempo. Isto se dá pelo fato de os mesmos estarem em ciclos, durante o ano, de contato com água contaminada. Quanto à face superior da laje e nas faces externas dos guarda corpos devem ser feitas uma recuperação para reestabelecimento das características do conjunto aço/concreto, na tentativa de mitigar um avanço de deterioração a partir destes pontos;
- g. As Estrutura II e III precisam de intervenções imediatas nas faces laterais das lajes e, especialmente na Estrutura III necessita de uma correção nas placas pré-moldadas que constituem os seus respectivos passeios, pois se apenas corrigidos os problemas nas faces laterais muito provavelmente as manifestações patológicas retornarão devido a

- infiltração das águas pluviais entre as falhas e danos presentes nas placas pré-moldadas.
- h. A Estrutura IV precisa de intervenção imediata nas longarinas, por as mesmas já atingirem as suas vidas úteis de serviço. Também devem ser realizados recuperação das propriedades do concreto, e do aço em seu interior, nas faces laterais das vigas e na face inferior da laje de passeio, por as mesmas já apresentarem sintomas de corrosão de armadura evidenciadas por fissuras e manchas.



## 6. CONCLUSÃO

Dentre as principais manifestações patológicas identificadas estão: manchas e fissuras, indicando o processamento de corrosão de armadura no interior das estruturas; armaduras expostas e em maior parte dos casos apresentando-se corroídas.

Como a coleta dos dados referentes às condições materiais da estrutura para a implementação no *software* Carambola foram realizados em pontos específicos da estrutura, sendo locais nos quais não apresentassem estados avançados de deterioração, os resultados de vida útil de projeto (tempo até a despassivação da armadura) apresentados pelo *software* não refletem a previsibilidade de vida útil de forma total das mesmas, mas sim de apenas os elementos específicos que constituem as estruturas onde procederam-se os ensaios.

Assim, a partir dos resultados e análises apresentados, compreende-se que há uma necessidade de fazer-se uma recuperação imediata nas Estruturas II, III e IV, principalmente por estarem em um avançado grau de deterioração estrutural na maior parte de sua composição. Foi notório e evidente o potencial de progressão das manifestações patológicas, que se ignoradas estarão aptas a afetar a utilização das pontes pela população.

A Estrutura I, mesmo com a vida útil de projeto não atingida, está acometida do mecanismo de deterioração por carbonatação. Assim, constatou-se que a frente de carbonatação (espessura carbonatada) está processando-se de forma avançada e acelerada, dado que a mesma possui cerca de apenas 18 anos de construção.

A inspeção realizada por este estudo concomitantemente com a previsibilidade de vidas úteis elucidara como estão as situações das quatro estruturas quanto aos seus níveis de deterioração, apresentando para todos os interessados a integridade e conjuntura que as envolve.

Diante disso, este trabalho almeja-se ser de grande valia e contribuição para os governantes, autoridades e toda a população da Cidade de Cajazeiras-PB, visto que se tratou de uma análise que envolveu dimensões além do campo acadêmico, como aspectos políticos, sociais, históricos e econômicos.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188**: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584**: Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.
- BRAGA, Tibério Manoel Almeida Menezes. **Parque urbano na cidade de Cajazeiras – PB**. Monografia (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Centro Universitário de João Pessoa, João Pessoa, 2011.
- CARMONA, Thomas Garcia. **Modelos de previsão da despassivação das armaduras em estruturas de concreto sujeitas à Carbonatação**. 2005. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- CARMONA, Thomas Garcia. **Curso patologia das estruturas de concreto**. Engeduca. São Paulo, 201?.
- CREMONINI, Ruy Alberto. **Incidência de manifestações patológicas em unidades escolares da região de Porto Alegre**: recomendações para projeto, execução e manutenção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1420/000124337.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 10 jun. 2020.
- DEBS, Mounir Khalil El; TAKEYA, Toshiaki. **Apostila de introdução ao concreto armado**. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2007.
- ENÉAS, Ricardo Luiz. **Estudo sobre as implicações das variações quantitativas no volume do concreto e peso do aço, em estruturas de concreto armado, quando do aumento na espessura da camada de cobrimento das armaduras dessas estruturas e a influência do aumento na vida útil dessas peças**. Monografia (Especialização em Estruturas) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- FILGUEIRA, Carlos Fernando da Silva. **Análise comparativa de esforços solicitantes em ponte com trem-tipo da NBR 7188 e combinações de veículos de carga homologadas pelas resoluções do Conselho Nacional de Trânsito**: um estudo de caso da ponte sobre o Rio Cuncas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal da Paraíba, *Campus* Cajazeiras. Cajazeiras, 2020.
- HASPARYK, Nicole Pagan. **Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

HELENE, Paulo R. do Lago. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HELENE, Paulo R. do Lago. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Red Rehabilitar, 1994.

INSTITUTO DE ENGENHARIA. **Diretrizes de engenharia diagnóstica em edificações**. 2014. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wp-content/uploads/2017/10/arqnot8482.pdf>. Acesso em 02 set. 2020.

LANER, Felice José. **Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas do município de Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de concreto armado**. 1ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda.

PEREIRA NETO, Manoel Cirício. Perspectivas da açudagem no semiárido brasileiro e suas implicações na região do Seridó potiguar. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 29 (2), p. 285-294, 2015. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/download/29057/pdf/>. Acesso em 30 mar. 2020.

RIPPER, Thomaz; SOUZA, Vicente Custódio Moreira. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1ª ed. São Paulo: Editora PINI Ltda, 1998.

TORRES FILHO, Daniel. **Apostila de pontes em concreto armado**. Instituto Federal da Paraíba, *Campus Cajazeiras*. Cajazeiras, 2019.

TQS. **Carambola**: calculadora de vida útil. Disponível em: <https://www.tqs.com.br/apps/carambola/ec1s9o7vv1>. Acesso em 26 mar. 2020.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão**. 1 ed. CREA-PE, 2002.