



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL  
CAMPUS DO SERTÃO  
ENGENHARIA CIVIL

KARLA SOARES CARNAÚBA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES SOBRE A RODOVIA AL-220,  
NO TRECHO ENTRE DELMIRO GOUVEIA E OLHO D'ÁGUA DO CASADO-AL**

Delmiro Gouveia/AL

2017

KARLA SOARES CARNAÚBA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES SOBRE A RODOVIA AL-220,  
NO TRECHO ENTRE DELMIRO GOUVEIA E OLHO D'ÁGUA DO CASADO-AL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, como requisito parcial, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. MSc. Karlisson André Nunes

Delmiro Gouveia/AL

2017

C288m Carnaúba, Karla Soares

Manifestações patológicas em pontes sobre a rodovia  
al-220, no trecho entre Delmiro Gouveia e Olho d'água do  
Casado-AL / Karla Soares Carnaúba. - 2017.

86f.: il.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de  
Alagoas, Delmiro Gouveia, 2017.

Orientação: Prof. Me. Karlisson André Nunes.

1. Concreto. Durabilidade. 3. Pontes.

CDU 624

## Folha de Aprovação

AUTORA: KARLA SOARES CARNAÚBA

### MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES SOBRE A RODOVIA AL-220, NO TRECHO ENTRE DELMIRO GOUVEIA E OLHO D'ÁGUA DO CASADO-AL

O presente trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para a obtenção do título de Engenheira Civil e aprovado em sua forma final pela banca examinadora da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, em 06 de Dezembro de 2017.



---

Prof. Msc. Karlisson André Nunes da Silva, UFAL (ORIENTADOR)

#### Banca Examinadora:



---

Prof. Msc. Karlisson André Nunes da Silva, UFAL (Orientador)



---

Prof. Msc. Vinícius Costa Correia, UFAL (Examinador Interno)



---

Prof. Msc. Alverando Silva Ricardo, UFAL (Examinador Interno)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS por toda a proteção e por me permitir chegar até aqui.

Aos meus pais Luiz Carlos e Socorro, a minha irmã Clarisse que sempre me incentivaram, apoiaram, aconselharam e me ajudaram em todos os sentidos. Essa conquista também é de vocês!

Às minhas avós Maria Tereza e Zuleide, por sempre me apoiarem em minhas decisões e por todas as orações dedicadas a mim. Sem vocês essa vitória não seria possível.

A todos os professores que me fizeram chegar até aqui repassando os seus conhecimentos, em especial a meu orientador MSc. Karlisson André Nunes por todo o suporte.

À toda a minha família que me proporcionaram segurança e carinho e ajuda durante todo esse período. Em especial aos meus tios Euton, Elder, Roberto e Zolma

A minha família do sertão, em especial a Ana Maria torres, Grazielly Alves, Mauricio Junior ,Klivia Rego, Renata Valle e Viviane Regina por todos os momentos que passamos juntos e que se tornaram para mim uma segunda família em Delmiro Gouveia, muito obrigado por toda dedicação e motivação. Em especial aos meus dois inseparáveis amigos: Grazy e Juninho por todos os momentos que passamos juntos, por todas as noites que passamos em claro, seja estudando ou rindo. Por trabalhos feitos de qualquer jeito ou por aquele estresse acumulado nas provas no final do semestre. Chega de estudo e que venham as obras!

Gostaria de agradecer a uma pessoa em especial, Samantha Rhade, que não só compartilhei este trabalho, mas que também compartilhei a vida nestes últimos tempos. cujo o incentivo, apoio, paciência e ajuda nos resultados obtidos foram essências para a finalização desse trabalho.

Agradeço também a Isabelle Araujo, Lucas Teixeira, Francielle Soares, Pedro Rocha, Luana Menezes, Wellington Vieira, Carlos Sergio, Rômulo Serafim que sempre estiveram juntos nas horas de estudo.

Enfim, agradeço à todos que aqui não estão citados, mas que de certa forma contribuíram para essa vitória

## RESUMO

As Obras de Arte Especiais (OAEs) são estruturas que estão sujeitas ao longo do tempo a deterioração devido a diversas ações como, o uso contínuo, a variação da temperatura e da falta de programas preventivos de manutenção; causando a diminuição da durabilidade e redução da vida útil para a qual as estruturas foram projetadas, situações que afetam os parâmetros de segurança da construção. Diante desses aspectos este trabalho propôs realizar o levantamento das manifestações patológicas, suas causas e possíveis soluções nas cinco pontes da rodovia AL – 220 no trecho situado no município de Delmiro Gouveia a Olho D'água do Casado localizado no sertão Alagoano. Realizou-se uma Inspeção visual “in loco” da situação das pontes e posteriormente a identificação e diagnóstico, e por fim, uma possível solução para os problemas encontrados. A grande quantidade de ocorrências é um indício de que ainda há muito para fazer em termos de manutenção e prevenção das obras de arte especiais.

Palavras-chave: Pontes; patologia; durabilidade; concreto.

## **ABSTRACT**

Special artworks (oaes) are structures that are subject to deterioration over time due to various actions, such as temperature variations in the weather, due to their continuous use and lack of preventive maintenance programs. causing decreasing durability and reducing the useful life for which the structures were designed, situation that affect the safety parameters of the construction. in view of these aspects, this work proposes to survey the pathological manifestations, their cause and possible solutions in the five bridges of the al - 220 highway in the section located in the municipality of Delmiro gouveia at Olho d'água do casado located in the alagoano hinterland. an on-site visual inspection of the bridge situation was carried out, followed by identification and diagnosis, and finally, a possible solution to the problems encountered. the great number of occurrences is a sign that there is still much to be done in terms of maintenance and prevention of the works of art smart.

Keywords: bridges; pathologies; durability; concrete.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Primeira ponte em arco construída em Roma.....	14
Figura 2: Vista geral de uma ponte, mostrando os principais elementos constituintes.....	16
Figura 3 (a) - Denominação e tamanho dos elementos relativos a seção transversal .....	16
Figura 3 (b) - Denominação e tamanho dos elementos relativos a seção transversal .....	17
Figura 4: Denominação dos elementos relativos a seção longitudinal.....	18
Figura 5 - Principais componentes das pontes em concreto armado.....	19
Figura 6 - Outros componentes das pontes .....	20
Figura 7- Junta de dilatação mal projetada ou desgastada .....	21
Figura 8- Representação da localização do órgão de drenagem .....	22
Figura 9- Detalhe do órgão de drenagem .....	22
Figura 10: Seção de tabuleiros em lajes maciças .....	24
Figura 11: Seção transversal de tabuleiro em viga, ponte Rio-Niteroi .....	24
Figura 12: Ponte em balanços sucessivos com tabuleiro celular .....	25
Figura 13: Seção transversal de tabuleiro em viga.....	26
Figura 14 – Esquema de pontes em pórticos.....	27
Figura 15 – Esquema de pontes em arco.....	28
Figura 16 – Exemplo de ponte pênsil.....	29
Figura 16 – Exemplo de ponte estaiada localizada em Aracaju.....	30
Figura 18. Hipóteses para reconversão de estruturas com desempenho insatisfatório .....	35
Figura 19 - Corrosão da armadura aparente em viga de ponte.....	43
Figura 20 - Ilustra o fenômeno da eflorescência .....	45
Figura 21 - Desgaste superficial de um viaduto .....	46
Figura 22 – Abrasão de um pilar.....	47
Figura 23 - Formação de estalactites na face inferior da laje superior de uma ponte rodoviária. .....	48
Figura 24 – Vazios de concretagem .....	49
Figura 25- Avarias em guarda-corpos .....	50
Figura 26 – Etapas da metodologia de análise de patologias utilizadas na investigação das pontes. ....	54
Figura 27- Localização das pontes no trecho em estudo.....	56
Figura 28- Sistema estrutural formado por lajes e passeio em balanço. Fonte: Autor, 2017..	58
Figura 29 - Detalhe do avançado grau de deterioração do concreto e oxidação das armaduras principais com possível rompimento dos estribos e presença de limo por infiltração (a) e (b)	58
Figura 30 - Aparecimento de eflorescência e fissuras no concreto.....	59
Figura 31- corrosão dos estribos e fissuração de concreto armado.....	60

Figura 32- Vista superior das lajes em balanço mostrando deslocamento do concreto e corrosão das armaduras dos estribos e armadura principal .....	60
Figura 33- Vista inferior das lajes em balanço mostrando deslocamento do concreto e corrosão das armaduras dos estribos e armadura principal (a) e (b) .....	61
Figura 34 - Exposição dos estribos das lajes em balanço. ....	63
Figura 35 - Eflorescência da parte inferior da laje principal.....	64
Figura 36- Infiltração no aparelho de apoio. ....	64
Figura 37- Vista inferior da estrutura da ponte .....	66
Figura 38- Guarda-corpo destruído por colisões.....	67
Figura 39- Eflorescência nas vigas.....	68
Figura 40 - Eflorescência, corrosão das armaduras e fissuração das vigas principais .....	68
Figura 41- Em (a): Vazios de concretagem e em (b): detalhe da manifestação patológica. ....	69
Figura 42 - Em (a): ocorrência de erosões, descalçamento das fundações e corrosão das armaduras dos estribos e em (b): detalhe da manifestação patológica da corrosão das armaduras. ....	70
Figura 43- Em (a): Erosão no aterro de acesso na ligação ponte/rodovia e em (b): Abertura excessiva da junta do encontro, causando infiltração, desconforto ao tráfego e oferecendo risco a segurança dos pedestres. ....	71
Figura 44 - Vista lateral da ponte 4 .....	74
Figura 45- Mau funcionamento do dreno ocasionando umidade e desagregação do concreto	74
Figura 46 - Pilar com deslocamento do concreto, corrosão das armaduras e dos estribos na parte inferior.....	75
Figura 47- Retenção de sólidos e ocorrência de erosões nas fundações .....	75
Figura 48 - Parte da vista lateral da ponte .....	77
Figura 49 - Mau funcionamento do dreno ocasionando umidade, desagregação do concreto e corrosão de armadura na laje em balanço. ....	78
Figura 50 - Corrosões da armadura na viga principal .....	79
Figura 51 - Retenção de sólidos e ocorrência de erosões nas fundações .....	79

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
1.1 Justificativa.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 Objetivo Geral .....	12
1.2.2 Objetivos Específicos .....	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	13
2.1 Definição .....	13
2.2 Breve histórico das pontes.....	14
2.3 Elementos que constituem uma ponte .....	15
2.4 Classificações das pontes .....	23
2.4.1 Quanto a Finalidade .....	23
2.4.2 Quanto ao material.....	23
2.4.3 Quanto ao sistema estrutural .....	23
2.4.3.1 Pontes em laje.....	23
2.4.3.2 Pontes em vigas .....	24
2.4.3.3 Pontes em tabuleiro celular .....	25
2.4.3.4 Pontes em grelha .....	25
2.4.3.5 Pontes em pórticos .....	26
2.4.3.6 Pontes em arco .....	27
2.4.3.7 Pontes Pensêis .....	28
2.4.3.8 Pontes estaiada .....	29
3- MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO .....	31
3.1 Definição de patologia e outros conceitos.....	31
3.2 Conceito de Desempenho, durabilidade e vida útil.....	31
3.4 Origem das manifestações patológicas .....	35
3.4.1 Defeitos de projeto .....	35
3.4.2 Defeitos de materiais .....	36
3.4.3 Defeitos de execução.....	36
3.4.3 Defeito de Utilização.....	37
3.5 Mecanismos de deterioração e principais patologias das obras de Arte .....	37
3.6 Manifestações patológicas usuais em pontes de concreto armado no Brasil .....	39
3.6.1 Fissura .....	39
3.6.2 Corrosão das armaduras .....	40
3.6.3 Desagregação .....	43

3.6.4 Disgregações .....	44
3.6.5 Carbonatação .....	44
3.6.6 Eflorescência .....	45
3.6.7 Reação álcali-agregado .....	45
3.6.8 Desgaste da superfície .....	46
3.6.8.1 Uso continuado.....	46
3.6.8.2 Abrasão de fluido ou erosão .....	46
3.6.8.3 Cavitação .....	47
3.6.8.4 Lixiviação.....	47
3.6.9 Vazios de concretagem.....	48
3.6.10 Patologias no guarda-corpo .....	49
3.7 Utilizações indevida e manutenção ausente .....	50
3.7.1 Diagnósticos de Patologias em Estruturas de Concreto Armado .....	50
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	53
4.1 Caracterização do Estudo .....	53
4.2 Método de Pesquisa.....	53
4.2.1 Coleta de dados .....	54
4.3 Etapas da pesquisa.....	55
4.3.1 Definição do trecho e pontes utilizada como estudo de caso .....	55
4.3.2 Materiais utilizados .....	55
4.3.4 Vistorias .....	55
4.3.5 Análise de dados.....	55
5. ANÁLISE E DISCURSÃO DOS RESULTADOS.....	57
5.1 Patologias nas pontes de Concreto e possíveis causas e tratamentos.....	57
5.1.1 Ponte 1 .....	57
5.1.2 Ponte 2.....	63
5.1.3 Ponte 3.....	66
5.1.4 Ponte 4.....	73
5.1.5 Ponte 5.....	76
6- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
REFERÊNCIAS .....	83

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história da humanidade o homem sempre procurava superar barreiras em busca de alimento ou abrigo. As primeiras pontes surgiram nos tempos mais remotos, quando as pessoas utilizavam troncos, cordas e pedras para viabilizar a transposição de obstáculos naturais. As pontes sempre simbolizaram o que há de mais significativo para expressar a criatividade da engenharia.

A Construção de uma ponte é algo fascinante e que chama bastante atenção pela sua forma estrutural e sua beleza arquitetônica. As primeiras normas brasileiras referente ao cálculo e execução de estrutura de concreto começaram a ser editadas na década de 40, juntamente com a implantação das malhas rodoviárias. Porém, as pontes de concreto no Brasil começaram a ser construídas na década de 70 devido aos grandes investimentos estrangeiros. O grande investimento em pontes se deu devido à grande importância que as pontes e viadutos tinham no transporte de cargas e escoamento da produção do Brasil; pois, são as principais responsáveis pelas ligações dos pontos estratégicos. (OLIVEIRA, 1999).

As pontes e viadutos são elementos de grande importância para o transporte de cargas, estando conectados ao relacionamento humano e desenvolvimento de uma cidade, estabelecidos através de pretensões culturais, comerciais, e entre outras.

Devido a esta grande importância, são necessários cuidados que vão além de um bom projeto, execução e a sua correta utilização; requerendo assim as devidas inspeções e manutenção. Todavia, ainda é possível constatar a negligência no âmbito político nas esferas: federal, estadual e municipal, ligadas à manutenção destas obras, a qual pode ser evidenciada através da preocupação apenas com a execução do projeto em detrimento da manutenção, desta forma, a maioria das pontes apresentam estado patológico comprometedor, oferecendo riscos à segurança da sociedade e causando prejuízos econômicos devido ao estado de abandono. (CALIL; GÓES, 2004).

Para Brandão e Pinheiro (1999), a manutenção de estruturas consiste em um aglomerado de atividades, cujo objetivo é garantir o desempenho no qual a estrutura foi projetada, e até mesmo prolongar sua vida útil. Mesmo uma obra de arte bem projetada e executada, se não forem feitas as manutenções preventivas e corretivas adequadas ao longo do tempo, esta não estará livre de problemas patológicos. As consequências dessas estruturas sujeitas às ações de intempéries (variações climáticas, ação de chuvas ácidas, CO<sub>2</sub>, cloretos, etc.) e o seu mau uso (como exemplo sobrecargas não previstas na estrutura), levam ao aparecimento das manifestações patológicas, sendo muitas vezes ignoradas até chegar a

desgastes significativos que impedem sua utilização parcial ou total e que as intervenções necessárias são de custos elevados. Segundo a Lei dos Cinco de 1984, proposta por Sitter, estes custos chegam a ser exponenciais.

Logo, com a devida manutenção, através de vistorias periódicas, diagnosticando e indicando as ações de recuperação, garantirá maior vida útil e satisfação de desempenho estrutural e funcional.

### 1.1 Justificativa

Segundo Milane (2010), do ponto de vista econômico e social, as pontes são de grande importância para o desenvolvimento do país. Garantindo o escoamento da produção e o livre deslocamento da população. Pontes e estruturas se deterioram com o tempo e o uso, como afirma Vitória (2002) “As estruturas das pontes, porém, também sofrem os efeitos de males, congênitos e adquiridos, são vulneráveis a acidentes e deterioram-se com o passar do tempo”. Em função dos crescentes problemas de degradação observados nas estruturas é necessário o investimento em ações preventivas, tanto nos conhecimentos das manifestações patológicas, quanto em técnicas preventivas.

Hoje em dia há muita preocupação em se obter obras mais duráveis; diante dessa perspectiva, os estudos voltados à durabilidade dessas estruturas têm produzido pesquisas de grande importância em nível mundial.

Portanto, este estudo sobre os danos estruturais mais recorrentes, devido às patologias encontradas nas pontes da AL-220 que liga Delmiro Gouveia-AL a Olho d'água do Casado-AL, visa compreender sobre os riscos de danos estruturais a fim de conservar o patrimônio público.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral é avaliar as manifestações patológicas e caracterizar as pontes existentes na AL- 220 no trecho de Delmiro Gouveia a Olho D`agua do Casado –AL .

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Os principais objetivos deste trabalho de conclusão de curso são caracterizar pontes da AL-220 que liga Delmiro Gouveia-AL a Olho d'água do Casado-AL, indicar as incidências das manifestações patológicas entre elas, com a finalidade de analisar as causas de sua ocorrência e então propor soluções para os problemas encontrados.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Definição

Segundo Marchetti (2008), *ponte* é toda a obra necessária para manter a continuidade de uma via quando existe algum tipo de obstáculo, que pode obstáculos podem ser rios ou braços de mar. Porém, quando o obstáculo a ser transposto é um vale ou outra via, ou outros obstáculos não constituídos por água é comumente denominado, *viaduto*. Já a Norma do Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes (DNIT 010/2004 - Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento (2004), conceitua pontes como estrutura construída sobre uma depressão ou uma obstrução, tal como água, rodovia ou ferrovia, que tem como finalidade sustentar uma pista para passagem de veículos e outras cargas móveis, e que tem um vão livre, medido ao longo do eixo da rodovia, de mais de seis metros.

Já para a norma brasileira NBR 7188 (2013) que trata de carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas; apresenta as seguintes definições para pontes, viadutos e passarelas:

**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.

Ainda segundo Marchetti (2008), quando o obstáculo a ser transposto trata-se de um vale muito aberto, a ponte necessita de obras de acesso que podem ser aterros ou viadutos, que nesse caso denominam-se viadutos de acesso. A escolha entre a construção de aterro ou viadutos tem por principal critério a análise de custos.

Segundo Vitório (2002), os diversos conceitos encontrados nas literaturas sobre pontes estão corretos. Desta forma, o que as diferenciam são suas funções, ou seja, os obstáculos que serão ultrapassados.

## 2.2 Histórico das pontes

Desde a remota antiguidade, quando o homem sentiu a necessidade de ultrapassar obstáculos em busca de alimento ou abrigo, começaram a surgir as primeiras preocupações com as travessias de rios, riachos e vales. As primeiras pontes surgiram de forma natural, pela queda de tronco de árvores sobre rios, criando a possibilidade de passagem à outra margem. O homem, ao observar esses “incidentes” naturais passou a criar outras pontes construídas com estrutura bastante simples, feitas de troncos, de pedra e pranchas associando-as a outros tantos recursos disponíveis na natureza, permitindo a ida e a volta para o seu destino. (PINHO E BELLEI, 2007)

Para as construções de cada ponte os materiais utilizados eram os disponíveis em cada época. Os sistemas estruturais utilizados progrediram naturalmente com a evolução da qualidade dos materiais disponíveis, e com o aperfeiçoamento prático e teórico dos modelos estáticos. Há indícios de que as construções das pontes pelo homem foram feitas de pedra e em forma de arco. Segundo Pinho e Bellei (2007), na cidade de Roma estão localizadas as pontes mais antigas feitas de pedras e em arcos. Dentre as pontes de pedra mais antigas podemos citar três delas que ainda hoje servem à população local, que são: Fabrício (62 a.C.) (Figura 1), São Ângelo (134 d.C.) e Céstio (365 d.C.).

Figura 1: Primeira ponte em arco construída em Roma



Fonte: Site Roma Segreta, 2010.

A imagem acima refere-se à Ponte Fabrício, chamada também de Ponte das Quatro Cabeças, é a mais antiga ponte em arco e até hoje mantém suas condições originais, localizada em Roma; a qual foi construída para substituir uma ponte de madeira mais antiga destruída num incêndio e que tem como finalidade a ligação entre dois pontos da cidade. A Ponte tem um comprimento de 62 metros e 5,5 metros de largura, com dois arcos de 24,5 m cada um, que se unem numa pilastra central vazada para suportar as enchentes do Tibre. As fundações dos pilares são bastante sólidas, o que explica a ponte resistir tantos séculos, como afirma o historiador holandês Jona Lendering.

Segundo Costa (2009), até o final do século XVIII as pontes eram construídas em madeira e alvenaria, a partir dessas mesmas datas e com revolução industrial aconteceu o período de transição entre as pontes de madeira para pontes em ferro fundido e aço estrutural que teve duração de aproximadamente uns 40 anos. Foi a partir de 1900 que as primeiras pontes começaram a ser construídas em concreto armado e a partir de 1938 começa-se a utilizar o concreto protendido nas pontes.

Ainda segundo Costa (2009), com o surgimento de novos materiais de construção e pelas mudanças das condições criadas pelo desenvolvimento da sociedade e novas aspirações em ideias, conseguiu-se construir estruturas com desempenho mecânico muito melhor do que antigamente e desde então se tem notado a construção de novas Obras de Arte

### 2.3 Elementos que constituem uma ponte

Segundo Pfeil (1983), sob o ponto de vista funcional, as pontes podem ser divididas em três partes principais: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura.

Pfeil (1983) afirma que, a infraestrutura ou fundação é um elemento da ponte responsável por transmitir ao terreno, rocha ou solo de implantação da obra, as cargas recebidas da mesoestrutura. Os blocos, as sapatas, as estacas e etc.; compõem a infraestrutura, assim como as peças de ligação de seus diversos elementos entre si e destes com a mesoestrutura.

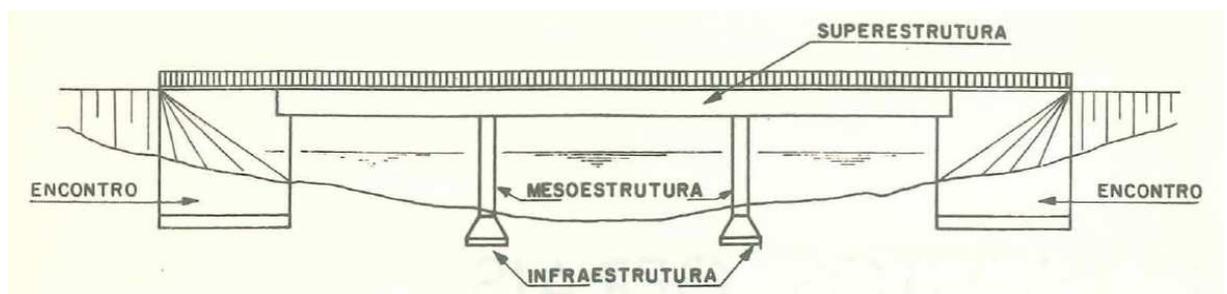
A mesoestrutura, formada pelos pilares, é o elemento que recebe os esforços da superestrutura e o transmite à fundação, junto com outros esforços recebidos de forças solicitantes da ponte como pressão dos ventos e da água em movimento.

As superestruturas são compostas geralmente por lajes e vigas principais e secundárias, é o elemento de suporte imediato de estrato por onde se trafega, logo, é a parte útil da obra. (Figura 2).

Para Debs et. al. (2009), a superestrutura pode ser subdividida em duas partes:

- **Estrutura principal** - que tem a função de vencer o vão livre;
- **Estrutura secundária** (ou tabuleiro ou estrado) - que recebe a ação direta das cargas e transmite para a estrutura principal.

Figura 2: Vista geral de uma ponte, mostrando os principais elementos constituintes



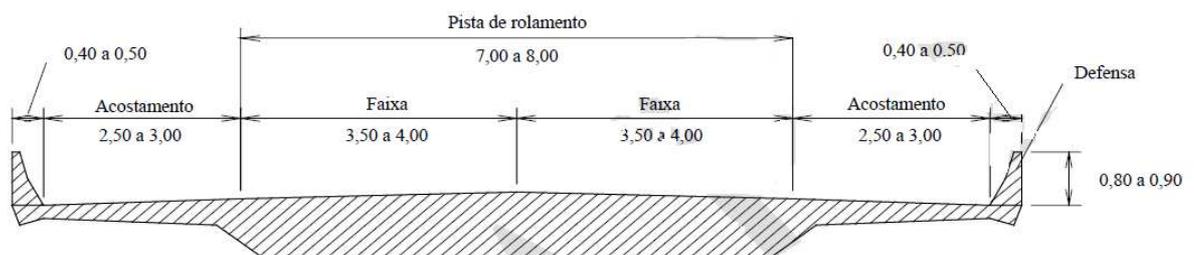
Fonte: PFEIL, 1983.

A imagem se refere a todas as partes constituintes de uma ponte e seus principais elementos, como: infraestrutura, que é a fundação; a mesoestrutura, que seriam os blocos e os pilares de sustentação e a superestrutura, que compreende o tabuleiro da ponte, onde os veículos irão trafegar.

De acordo Pfeil (1983), os encontros são de características variáveis, há uma divergência entre sua classificação, se eles fazem parte da mesoestrutura ou da infraestrutura, pois a sua função principal é receber o empuxo dos aterros e evitar que ela se propague aos demais elementos das pontes.

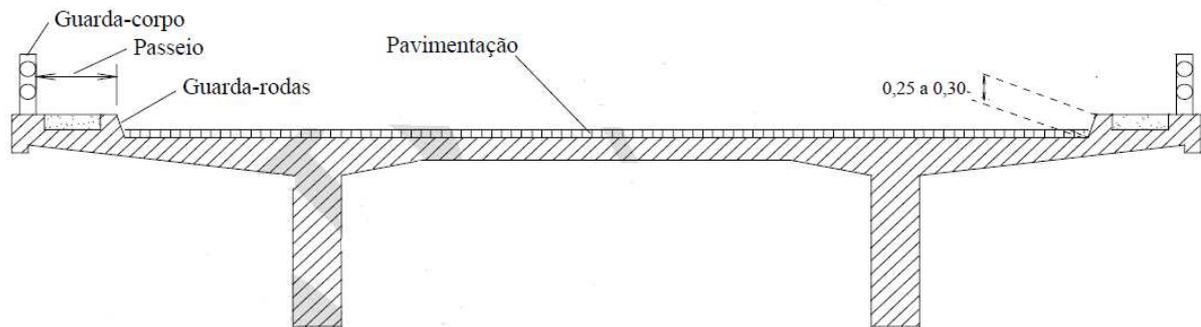
Para Debs et al (2009), as pontes ainda podem apresentar uma classificação segundo sua seção transversal, conforme mostrado na figura 3.

Figura 3 (a) - Denominação e tamanho dos elementos relativos a seção transversal



Fonte: Debs e Takeya, 2009

Figura 3 (b) - Denominação e tamanho dos elementos relativos a seção transversal



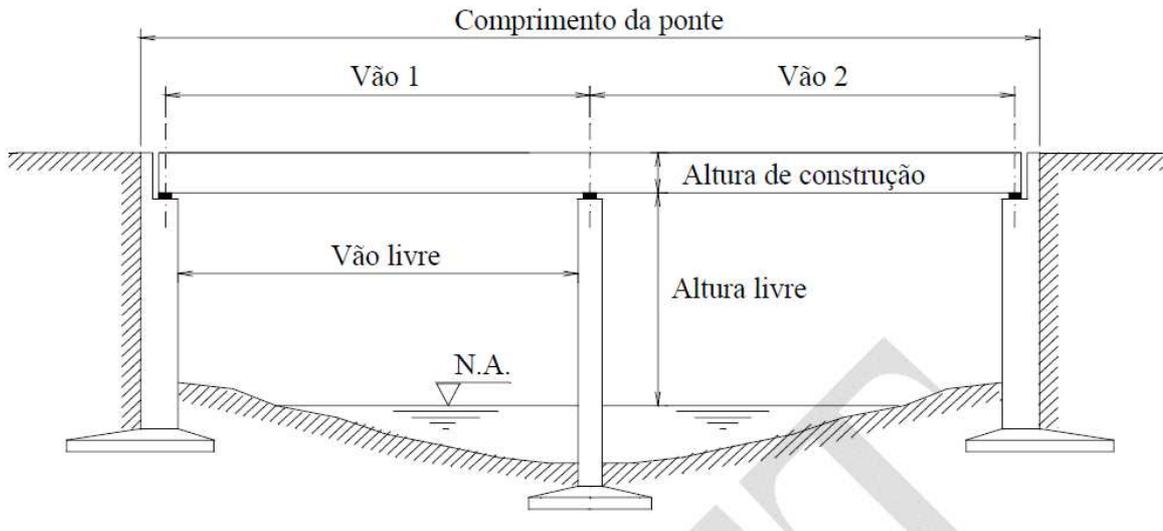
Fonte: Debs e Takeya, 2009

Como pode ser visto, a figura 3 (a) refere-se aos comprimentos da pista de rolamentos, acostamento e largura do guarda-corpo, as pontes rodoviárias de classe I (Pontes situadas em estradas-tronco federais e estaduais) foram construídas com pista de 7 a 8,00 m e guarda-rodas laterais de 0,90 m de largura como indica a NBR 7188/13 . Na imagem (b), observa-se que a superestrutura possui guarda-corpo e guarda-rodas.

- **Pista de rolamento** - largura disponível para o tráfego normal dos veículos, que pode ser subdividida em faixas;
- **Acostamento** - largura adicional à pista de rolamento destinada à utilização em casos de emergência pelos veículos;
- **Defensa** - elemento de proteção aos veículos, colocado lateralmente ao acostamento;
- **Passeio** - largura adicional destinada exclusivamente ao tráfego de pedestres;
- **Guarda-roda** - elemento destinado a impedir a invasão dos passeios pelos veículos;
- **Guarda corpo** - elemento de proteção aos pedestres;

Com relação à seção longitudinal, têm-se as seguintes denominações, conforme a figura 4.

Figura 4: Denominação dos elementos relativos a seção longitudinal.



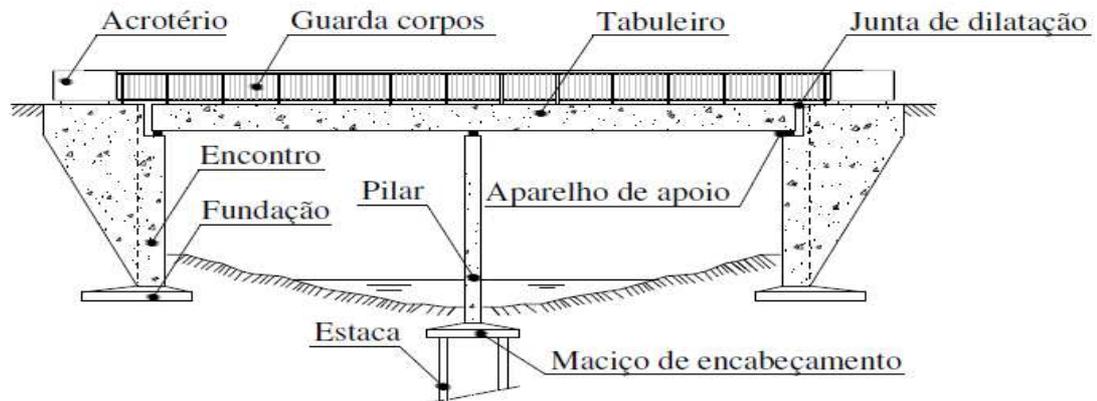
Fonte: Debs e Takeya, 2009.

A figura refere-se aos elementos relativos às seções longitudinais como: vão livre, altura livre, altura de construção e comprimento da ponte, especificados a seguir:

- **Comprimento da ponte** (também denominado de vão total) - distância medida horizontalmente segundo o eixo longitudinal, entre as seções extremas da ponte;
- **Vão** (também denominado de vão teórico e de tramo) – distância medida horizontalmente;
- **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.

A Figura 5 pretende ilustrar os principais componentes das pontes em concreto armado.

Figura 5 - Principais componentes das pontes em concreto armado



Fonte: COSTA, 2009

Todos os elementos presentes na imagem têm funções importantes nesta estrutura, esses elementos são constituintes da mesoestrutura, superestrutura e infraestrutura. Também pode ser visto na figura que a superestrutura possui guarda-corpo.

- **Tabuleiro**

Segundo Costa (2009) é a parte da estrutura de uma ponte que é constituída pelo conjunto de elementos que recebem diretamente as cargas de utilização das pontes, essas cargas atuam na direção vertical (peso próprio, cargas variáveis e sobrecargas), e na direção horizontal (frenagem, aceleração, vento e sismo), além dessas cargas, atuam também na ponte ações que induzem aos elementos estruturais deformação imposta, tais como variação de temperatura, retração, e entre outros. Dependendo da largura do tabuleiro, do material, do sistema estrutural longitudinal, do vão e do processo construtivo, podem-se encontrar diferentes tipos de seções transversais.

Ainda segundo Costa (2009), em geral, além dos elementos estruturais propriamente ditos, existem os seguintes elementos (figura 5): revestimento da via, passeios, guarda corpos, guarda de segurança, juntas de dilatação, sistema de drenagem, dispositivos para instalação de serviços e dispositivos para a instalação da iluminação das pontes.

Figura 6 - Outros componentes das pontes



Fonte: Costa, 2009.

A figura 6 foca principalmente a parte do passeio de uma ponte, a qual está destinada ao tráfego de pedestres e tem como função limitar a proximidade do tráfego de veículos. Em pontes, como visto na imagem, o passeio deve ser protegido, tanto quanto possível, por barreiras e guarda-corpo. Como prescrito na norma NBR-7187-03- Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento, Tanto a pista principal como a pista de passeio, possuem drenos para o escoamento das águas pluviais, com diâmetros de 100 mm e 50 mm respectivamente, espaçados a cada 4 metros, feitos de PVC.

- **Pilares**

Pilares são “Elementos lineares de eixo retos, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes”. (NBR 6118/2014, item 14.4.1.2); cuja função principal é transmitir os esforços da superestrutura para as fundações. De acordo com Leonhardt (1979) podem ter seções transversais circulares, hexagonal, quadrada ou oval entre outras.

- **Fundações**

Para Costa (2009), as fundações dos pilares e encontros dividem-se em dois tipos: as fundações diretas, realizadas quando há solo de boa resistência e pouca profundidade, podendo ser constituídas por sapatas ou blocos; e as fundações indiretas que são realizadas quando o solo de boa resistência é de grande profundidade, podem ser constituídas por estacas.

- **Juntas de dilatação**

A junta de dilatação tem como função garantir a continuidade do pavimento. Para Vitório (2002), juntas são interrupções estruturais no tabuleiro, de modo a permitir os movimentos provocados pela variação de temperatura, retração e fluência do concreto, ou seja, são interfaces (espaços vazios) que permitem a movimentação independente da estrutura, conferindo flexibilidade sem que a funcionalidade e a segurança do conjunto sejam comprometidas. Também servem para garantir a estanqueidade ao não permitir a infiltração de água para a estrutura; porém, a maioria não exerce a função de vedação, causando como consequência o aparecimento precoce de manifestações patológicas nas estruturas.

Como afirma Costa (2009), as juntas são os elementos constituintes de uma ponte mais sujeitas a desgaste e mais sensível. Logo, devem ser projetadas para resistir às ações dinâmicas e aos desgastes produzidos pelo trânsito, bem como aos agentes atmosféricos, à retração e à fluência das matérias (Figura 7).

Figura 7- Junta de dilatação mal projetada ou desgastada



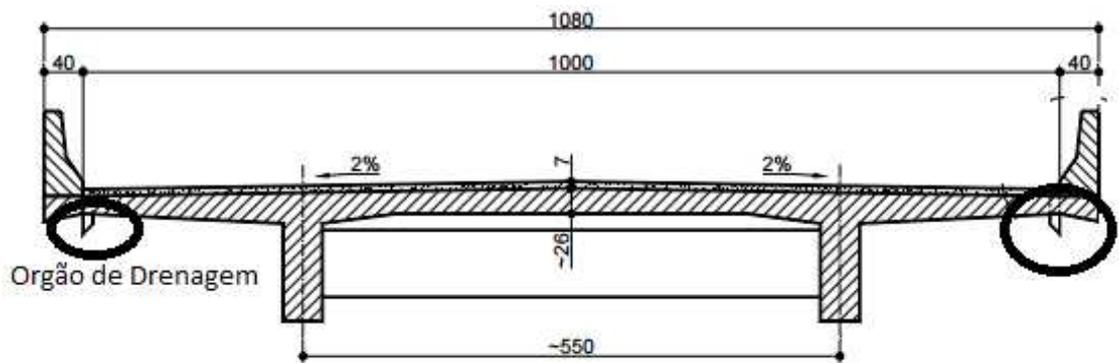
Fonte: DNIT, 2010.

As juntas de dilatação devem ser preenchidas com material que permita a flexibilidade da estrutura e que não permita a infiltração da água, devido ao grande tráfego e à alta velocidade dos veículos, porém a imagem acima representa uma junta bem desgastada ou mal projetada/executada que causa grande desconforto aos usuários, além de prejudicar a segurança da estrutura.

- Órgãos de drenagem

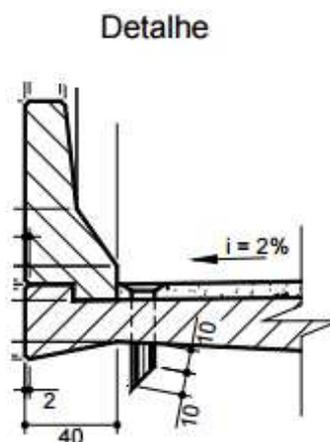
Segundo o manual do DNIT o elemento de captação deve ser devidamente localizado no tabuleiro e tem como função recolher e encaminhar as águas superficiais para um sistema de drenagem geral. Para Vitório (2002), um eficiente sistema de drenagem do tabuleiro é de fundamental importância para um bom desempenho com maior vida útil. Vale ressaltar que a durabilidade da estrutura é muitas vezes comprometida devido à falta ou à má execução dos órgãos de drenagem (Figura 8 e 9).

Figura 8- Representação da localização do órgão de drenagem



Fonte: Adaptado de DNIT, 2010

Figura 9- Detalhe do órgão de drenagem



Fonte: DNIT, 2010

Nas imagens podem-se observar elementos de drenagem, que recebem o nome de pingadeiras, que são saliências que se localizam nas extremidades laterais das pontes e são responsáveis pelas águas pluviais residuais que incidem vertical ou lateralmente e que não são captadas pelos drenos. Antigamente se usavam pingadeiras de ferro, porém estas sofriam

muito com o processo de corrosão, então foram substituídas por PVC por ser um material menos propenso à corrosão. São evidenciados também os detalhes referentes ao tamanho do órgão de drenagem.

## 2.4 Classificações das pontes

As pontes podem ser classificadas de acordo com vários critérios conforme apontados por diversos autores como Leonhardt (1979), Debs e Takeya (2003), Pfeil (1983) e Vitório (2002). Segundo Vasconcelos (1993), o tipo estrutural, o modo de funcionamento da estrutura, a maneira como os carregamentos são transferidos para os pilares e deles para a fundação, são os elementos mais importantes de classificação das pontes para um engenheiro.

Desta forma, dentre os vários critérios encontrados na literatura técnica, para Pfeil (1983), os mais comuns são quanto à finalidade, quanto ao material de que são construídas, quanto ao tipo de estrutura, quanto ao tempo de utilização, quanto à fixidez ou mobilidade do estrato (tabuleiro) e etc.

### 2.4.1 Quanto à finalidade

Para Pfeil (1983), quanto à finalidade, as pontes podem ser classificadas como rodoviária, ferroviária, passarela e destinada ao suporte de tubulações.

### 2.4.2 Quanto ao material

Segundo Vitório (2002), quanto aos materiais empregados, as pontes podem ser classificadas como pontes de concreto (armado e/ou protendido), pontes metálicas, pontes mistas (aço/concreto, aço/madeira, etc.), pontes de pedras, pontes de madeira, entre outras.

### 2.4.3 Quanto ao sistema estrutural

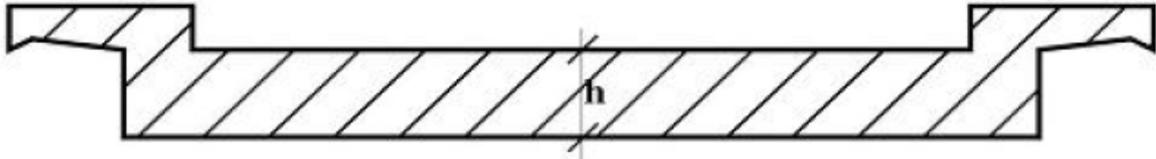
Ainda segundo Vitorio (2002), as pontes podem ser:

#### 2.4.3.1 Pontes em laje

São pontes utilizadas, geralmente, para pequenos vãos (da ordem de 15m, no máximo). São estruturas cujos tabuleiros são constituídos apenas por lajes, sem qualquer tipo de viga (Figura 10). Têm como vantagens pequenas alturas de construção, grandes

resistências à torção e a ao fissuramento; porém, devido ao seu elevado peso próprio, não se recomenda a utilização em grandes vãos.

Figura 10: Seção de tabuleiros em lajes maciças



Fonte: Vitório, 2002.

Lajes são especialmente importantes porque aparecem em praticamente todas as pontes; não apenas nas pontes em laje como pode ser observada na imagem acima, onde constituem toda a superestrutura, mas também nas pontes em viga, onde constituem o tabuleiro que interliga as vigas.

#### 2.4.3.2 Pontes em vigas

O tabuleiro é constituído por duas ou mais vigas longitudinais (vigas principais ou longarinas) e vigas transversais (transversinas). Podem ter seção constante ou variável. Neste tipo de estrutura a pista de rolamento se encontra em uma laje superior (Figura 11). Segundo Costa (2009) são pontes que se apoiam em dois encontros extremos e numa série de pilares intermediários. Essas estruturas são bem resistentes, poderíamos afirmar que são pontes que utilizam a flexão generalizada (flexão, torção, etc.) como mecanismo fundamental para transmitir as cargas.

Figura 11: Seção transversal de tabuleiro em viga, ponte Rio-Niteroi



Fonte: Thomaz, 2002.

Essa situação representa o modelo mais simples de ponte, é uma estrutura reta apoiada nas extremidades do rio que se quer transpor. É um modelo utilizado há milênios (tábuas sobre pilares de madeira). Até hoje este tipo de estrutura é o mais utilizado, já que a construção de pontes sobre pilares de concreto é mais barata do que os outros tipos de pontes.

#### 2.4.3.3 Pontes em tabuleiro celular

São estruturas formadas por duas lajes, uma superior e a outro inferior, interligadas por vigas conforme a figura 12. Sua principal vantagem é a grande rigidez à torção, sendo indicada para pontes sobre pilares isolados e pontes curvas.

Figura 12: Ponte em balanços sucessivos com tabuleiro celular



Fonte: Thomaz, 2002.

A imagem acima se refere à construção da ponte d' Oleron – França com Vão de 79 m, feita em balanços sucessivos com tabuleiro celular, pois esse modelo é geralmente usado nas pontes com grandes vãos para evitar problemas de instabilidade.

#### 2.4.3.4 Pontes em grelha

Denomina-se ponte em grelha o sistema estrutural constituído por três ou mais vigas longitudinais, com transversinas intermediárias e de apoio como mostrada na Figura 13. Esse sistema consegue distribuir os carregamentos de forma regular entre as vigas.

Figura 13: Seção transversal de tabuleiro em viga



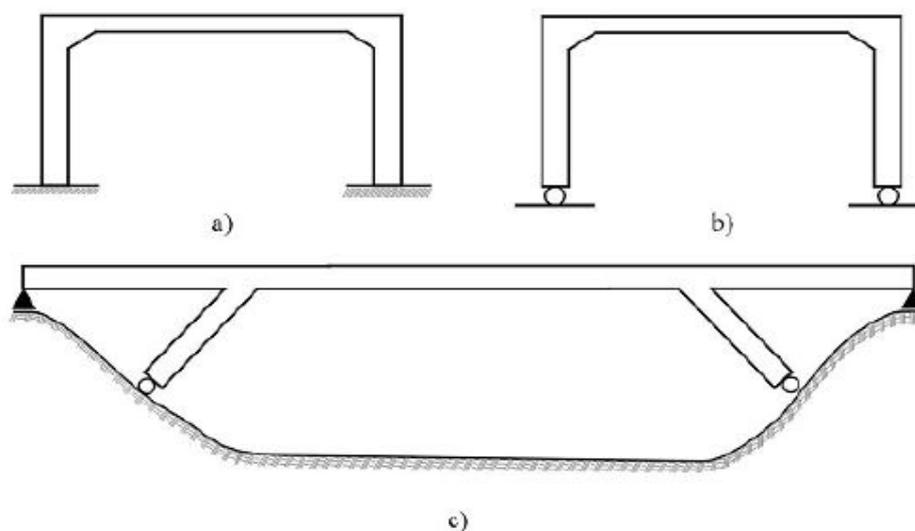
Fonte: Thomaz, 2002.

A principal vantagem desse tipo de ponte é o funcionamento conjunto de todos os elementos resistentes, e são geralmente indicadas para maiores dimensões de vão e de seção transversal, além disso, pode-se citar a facilidade de execução. Podemos citar como exemplo a ponte Tancredo Neves, localizada em Foz do Iguaçu, ela faz divisa entre Brasil/Argentina, foi construída em 1985 e tem 220 metros de vão.

#### 2.4.3.5 Pontes em pórticos

Nesse tipo de pontes, as vigas e os tabuleiros são contínuos às estruturas, ou seja, os pórticos são formados pela ligação das vigas com as paredes dos encontros ou pilares (figura 13). Os únicos elementos estruturais são a viga e o pilar, que permitem a transferência de momentos fletores entre os elementos.

Figura 14 – Esquema de pontes em pórticos



Fonte: Vitório, 2002.

A figura (a) mostra pórticos biengastados, na (b) pórticos biarticulados e na (c) pórticos biarticulados com montantes inclinados. Como as vigas são engastadas nos encontros, diminuem o momento positivo, reduzindo o custo com manutenção pela ausência de articulações ou aparelhos de apoio, e os pilares são bem mais esbeltos, logo, há uma diminuição do uso de materiais.

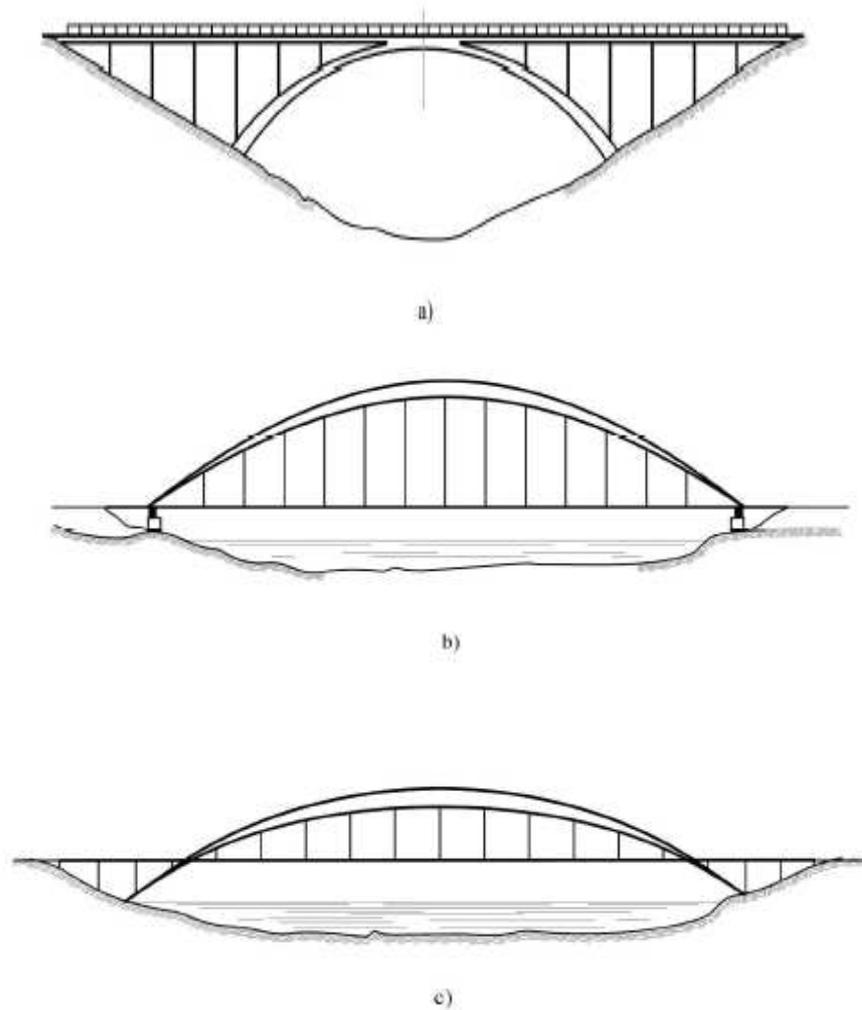
Geralmente é utilizada a estrutura exemplificada na figura c, onde os pilares geralmente são inclinados. A esbeltez e a estética desse tipo de estrutura são geralmente agradáveis e pode ser aplicada quando as condições topográficas forem favoráveis.

#### 2.4.3.6 Pontes em arco

Mason (1977) afirma que “as pontes em arco constituíram no passado a única solução viável para vencer grandes vãos”, pois não se sabia ao certo como executar apoios intermediários e escoramentos sobre cursos d’água ou vales profundos.

Para Thomaz (2002), esse sistema estrutural apresenta os esforços de flexão reduzida devido a sua forma. Costa (2009) afirma que esse tipo de ponte trabalha essencialmente a compressão, devido a sua forma curvilínea desenvolvida segundo a linha de pressões. O arco é muitas vezes utilizado como elemento fundamental de suporte do tabuleiro, na figura que segue é possível observar alguns elementos.

Figura 15 – Esquema de pontes em arco



Fonte: Vitório, 2002.

A figura 15 (a) ilustra pontes em arco com tabuleiro superior, as quais estão sujeitas a esforços de compressão, na (c) intermediário, a estrutura apresenta tabuleiros sustentados lateralmente por montantes e, no centro, por pendurais. Geralmente são pouco usadas, pois apresentam problemas construtivos na interseção do arco com o tabuleiro, por fim, a (b) inferior à estrutura, possui seus tabuleiros sustentados por tirantes ou pendurais verticais ou inclinados, possuem cargas de serviço menor.

#### 2.4.3.7 Pontes Pênseis

Ainda segundo Vitório (2002), são estruturas constituídas por cabos dispostos parabolicamente e pendurais verticais (figura 16), e executadas geralmente em vigamento metálico e suspenso em cabos portantes de aço. Os vigamentos devem ter grande resistência

à flexão e principalmente a torção. A transferência das cargas às torres e as ancoragens são feitas por esforços a tração; os esforços de compressão transferidos para as fundações são causados pelos cabos que comprimem as torres (MATTOS, 2001).

Figura 16 – Exemplo de ponte pênsil



Fonte: Rodrigues et.al.,2016.

A imagem mostra um exemplo de ponte pênsil, a ponte Akashi Kaikyo localizada no Japão e é considerada a maior pênsil do mundo, seu vão central entre um pilar e outro é de 1991 metros; tem como característica marcante a sua sustentação por meio de cabos, estendidos em curvas, apoiados sobre torres e ancoradas nas extremidades em rochas ou blocos de concreto e o tabuleiro da ponte está ligado aos cabos principais por cabos secundários mais finos.

#### 2.4.3.8 Pontes Estaiadas

Para Vitório (2002), as estruturas com cabos fazem parte das estruturas que integram elementos tracionados, em que os cabos são os principais elementos de suporte.

O tabuleiro é suspenso através destes cabos inclinados fixados em torres (Figura 17). O tabuleiro deve ter grande rigidez à torção, com a finalidade de reduzir os movimentos vibratórios causados pela ação transversal do vento. (VITÓRIO, 2002)

Figura 16 – Exemplo de ponte estaiada localizada em Aracaju.



Fonte: Thomaz,2002.

A imagem mostra um exemplo de ponte estaiada, a ponte Construtor João Alves, liga a capital Aracaju ao município de Barra dos Coqueiros, sobre o Rio Sergipe e tem uma extensão de 1.800 metros. Nesse modelo os esforços são absorvidos pela parte superior do tabuleiro, por meio de vários cabos que se concentram em uma torre apoiada em um bloco de fundação. A fixação dos cabos pode ser feita em forma de leque (com um ponto fixo no pilar). Esse tipo de ponte é eficiente para vãos acima de 200 m, mas não é indicado quando o traçado da rodovia exige curvas acentuadas e rampas íngremes. A ponte estaiada é uma alternativa intermediária entre uma ponte fixa e uma ponte pênsil, que requer maior estrutura.

O concreto é um dos elementos mais utilizado na engenharia civil, o qual tem resistência similar às rochas naturais e quando no estado fresco é um composto plástico que possibilita ser moldado e é o principal elemento das obras de arte em estudo.

Mesmo apresentando tantas qualidades, como a sua resistência, trabalhabilidade e entre outros, o concreto não é indestrutível e está sujeito a alterações ao longo do tempo, devido às interações dos elementos que o compõem com o meio externo, causando patologias no mesmo.

Adiante se explana o que são as patologias do concreto, suas características e suas causas.

### 3 - MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO

#### 3.1 Definição de patologia e outros conceitos

Para Silva (2010), a palavra patologia vem do grego (*Páthos*, doença, e *logos*, estudo) e é muito utilizada nas diversas áreas da ciência, com denominação do objeto de estudo que varia de acordo com o ramo de atividades. Na engenharia, o termo patologia se dedica ao estudo de anomalias ou problemas, procura explicar o mecanismo e a causa da ocorrência de determinada manifestação patológica nas estruturas, objetivando sua conservação e reabilitação.

Souza e Ripper (1998), afirma que de forma genérica o termo patologia das estruturas enfatiza o estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.

As manifestações patológicas encontradas em pontes se apresentam em intensidade e incidências significativas, podendo acarretar elevados custos para sua reparação, como comenta Helene (1992). Devido a esse fato, pode haver comprometimento dos aspectos estéticos, e na maioria das vezes, redução da capacidade resistente. Podendo chegar ao colapso total ou parcial da estrutura.

Como Helene (1992) afirma, as patologias que se apresentam com mais frequência nas estruturas de concreto são as fissuras, as eflorescências, as flechas excessivas, as manchas no concreto aparente, a corrosão de armaduras e entre outros. Esses problemas podem ser subdivididos em dois tipos: simples ou complexos. Para problemas designados simples, admite-se uma padronização, podendo ser resolvidos sem que o profissional possua conhecimento muito especializado; já os de natureza complexa, requerem uma análise pormenorizada e individualizada do problema, sendo necessários conhecimentos avançados sobre o tema em questão; para tais análises, cabe o uso de ferramentas de análise de problemas, para auxiliar o profissional no diagnóstico da situação. Como as pontes em estudo são construídas em concreto armado, serão abordadas somente as patologias simples neste tipo de estrutura. (SOUZA e RIPPER; 1998).

#### 3.2 Conceito de Desempenho, durabilidade e vida útil

A utilização do concreto armado iniciou-se em 1849, quando Monier aperfeiçoou técnicas para a produção desse material, com características marcantes de durabilidade,

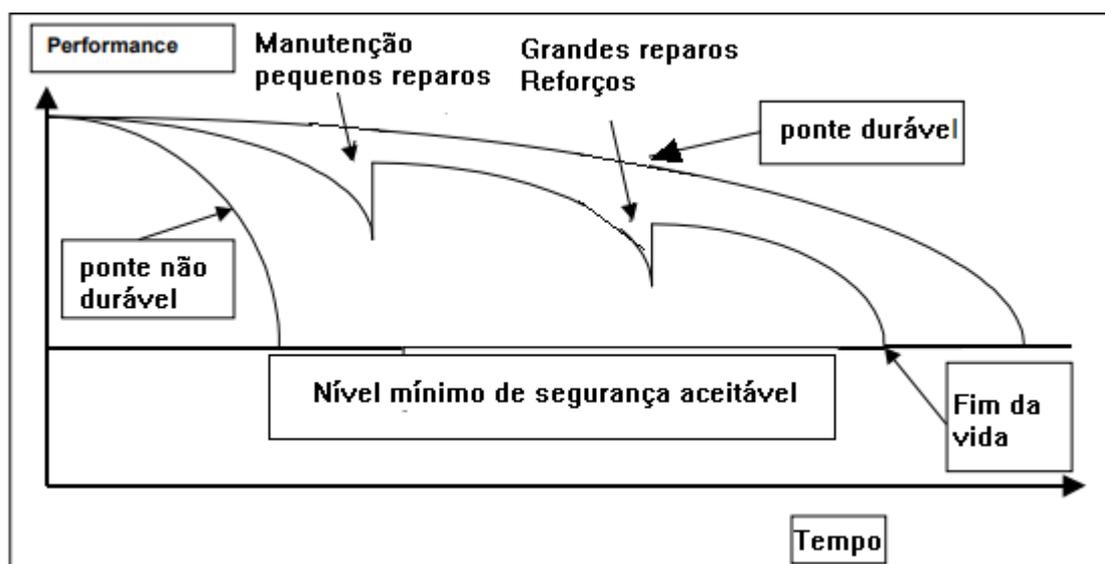
resistência e versatilidade (HELENE, 1992). Por se pensar que as estruturas de concreto armado tinham vida útil indeterminada, por muito tempo não se deu a devida importância para atividades de inspeção e manutenção nessas estruturas, o que acabou comprometendo o seu desempenho.

Apesar de se considerar o concreto um material praticamente eterno, pesquisas atuais afirmam que o concreto, como material de construção é instável ao longo do tempo, mudando suas propriedades físicas e químicas em função de seus componentes e da interação destes com as condições do meio ambiente. Essas alterações que podem vir a comprometer o desempenho das estruturas ou material são chamadas de deterioração. (SOUZA e RIPPER;1998).

Termos como desempenho, durabilidade, meio ambiente, conformidade, vida útil e manutenção são cada vez mais frequentes no meio técnico, quando se referem a uma obra de arte.

Desempenho é o comportamento em serviço de cada estrutura durante sua vida útil e de seus sistemas; este poderá variar de acordo com sua utilização e de sua localidade, variando em função das condições de exposição e do desenvolvimento nas etapas de projeto, construção e manutenção (Figura 17). (THOMAZ,1989; SOUZA e RIPPER;1998).

Figura 17- Fases do desempenho de uma estrutura durante sua vida útil



Fonte: Adaptado de Brime, 2002.

Comparando com uma ponte durável, uma ponte não durável é aquela que apresenta desempenho insatisfatório causado por erros de projetos, uso de materiais inadequados entre outros. Na figura acima (Figura 17), pode-se observar que a performance da estrutura de uma

ponte durável vai diminuindo com o passar do tempo, então é importante a avaliação da segurança da estrutura durante sua vida útil. A realização de reparos ou reforços se dá quando a estrutura começa a perder a sua funcionalidade, devido alguma deterioração ao longo do tempo como mostram os picos no gráfico.

A vida útil de uma construção depende igualmente de seu desempenho, Brime (2002), destaca a diferença entre o desempenho obtido pelas pontes projetadas, tendo como base a durabilidade, que teoricamente não precisam de manutenção, comparando com as estruturas que tiveram esse fator levado em consideração. As estruturas que durante sua vida útil foram submetidas a reparações ou reforços têm seu tempo de vida e nível de segurança elevados até um determinado ponto, ponto este que atinge o fim de vida da estrutura por não ser mais possível obter o estado inicial de tensões da estrutura.

Ao projetar uma estrutura, tem-se em mente uma ideia do parâmetro de durabilidade do projeto, por isso o conceito de desempenho é tão importante. Atualmente os órgãos fiscalizadores e as normas técnicas vigentes são criteriosos sobre o padrão de qualidade e os níveis de desempenho apresentados pelos produtos comercializados. (CREMONINI, 1988 apud ZUCHETTI, 2015).

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a durabilidade “consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”. A supracitada norma técnica ainda menciona que as estruturas devem ser projetadas e construídas de modo que quando utilizadas conforme indicado em projeto mantenham sua segurança, estabilidade e eficiência em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

O termo durabilidade versa sobre a capacidade de um produto cumprir as funções a que foi destinado, com um nível de desempenho igual ou superior ao que foi pré-determinado em projeto, com capacidade de resistência à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração imposta a ele; para que isso ocorra, há a necessidade de uma correta utilização, realizações de manutenção e cumprimento das normas pertinentes, sendo que a manutenção deve recuperar parcialmente a perda do desempenho devido à degradação, logo, durabilidade de uma estrutura é a capacidade de desempenhar suas funções ao longo do tempo, sob condições de uso e manutenção prevista em manuais. (CURCIO 2008; CBIC, 2013).

Conforme a ABNT (NBR 6118/2014), no item 6.2.1, vida útil das estruturas corresponde ao período de tempo no qual as características da estrutura se mantêm, desde que os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista sejam atendidos, bem como a execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

Conforme Souza e Ripper (1998):

“O fato de uma estrutura em determinado momento apresentar-se com desempenho insatisfatório não significa que ela esteja necessariamente condenada. A avaliação desta situação é, talvez, o objetivo maior da Patologia das Estruturas, posto que esta é a ocasião que requer imediata intervenção técnica, de forma que ainda seja possível reabilitar a estrutura”.

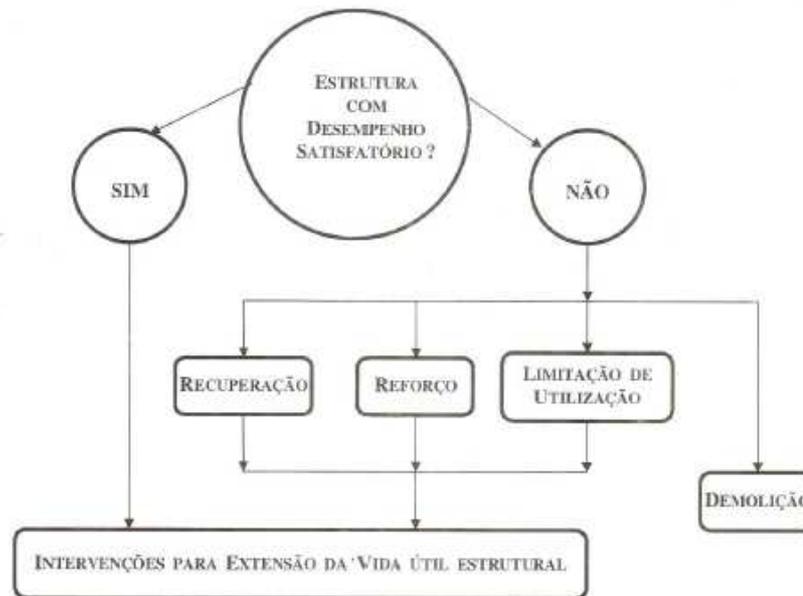
Quando as propriedades, sob dadas condições de uso, deterioram a um ponto onde a condição de uso é considerada como insegura ou antieconômica, conclui-se que a sua vida útil chegou ao fim (CURCIO, 2008).

Segundo Takeuti (1999), os agentes que causam diminuição na vida útil da estrutura podem ser vários, como por exemplo: erros de projeto, incompatibilidade de material, mão de obra desqualificada, erro de execução do projeto, falta de manutenção e etc., como consequência têm sido geradas estruturas que apresentam manifestações patológicas antes de atingirem uma idade onde isso poderia ser previsto. Esses problemas são evolutivos e tendem a se agravar com o passar do tempo, como comenta Helene (1992). Esses problemas geram elevados custos e trabalhos exaustivos.

Abordando ainda a questão de custo, pode-se afirmar que, quanto mais cedo forem realizadas as correções, mais elas serão duráveis, mais fáceis de executar e bem mais baratas, ou seja, as inspeções e manutenções têm como objetivo proporcionar à estrutura maior tempo de vida útil (HELENE 1992).

Para Souza e Ripper (1998), se por acaso algum problema na estrutura possa ter ocorrido, e que o desempenho da estrutura venha a se tornar insatisfatório e sua vida útil venha a diminuir, medidas mais viáveis deverão ser tomadas, que deverão respeitar o ponto de vista técnico, econômico e socioambiental. Pode-se observar no quadro abaixo alguns exemplos dessas medidas.

Figura 18. Hipóteses para reconversão de estruturas com desempenho insatisfatório



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

A figura 18 mostra a relação entre o desempenho satisfatório de uma estrutura e as medidas que se deve tomar caso não seja satisfatório. Se a estrutura estiver com desempenho satisfatório a garantia da vida útil de projeto está diretamente relacionada às ações de manutenção, recuperação e reforço até sua total inutilização, caso contrário, será necessário medidas de reparo, reforço ou limitar a utilização. Então fica claro que para cada tipo e gravidade do problema, haverá pelo menos uma técnica para realizar o conserto. É necessário salientar a importância da realização integral das ações de manutenção pelo usuário.

### 3.4 Origem das manifestações patológicas

Como já mencionado, a origem da patologia pode estar ligada a erros de projeto, falha na fase de execução, emprego de mão de obra despreparada, a má utilização das obras de arte e entre outros; todos esses fatores trazem problemas para a estrutura, e se não forem tratados podem levá-la a ruína. (MOREIRA, 2013).

A existência de patologias pode se originar durante a execução de pelo menos uma das cinco grandes etapas do processo de construção e uso de uma obra que são: planejamento, projeto, materiais, execução e uso (HELENE, 1992).

#### 3.4.1 Defeitos de projeto

Diversas falhas podem ocorrer durante a etapa de concepção da estrutura. Souza e Ripper (1998) citam exemplos de falhas de projeto que podem ocasionar patologias:

- Más definições das ações atuantes ou combinações delas;
- Falta de compatibilização entre a estrutura e a arquitetura;
- Detalhamento insuficiente ou errado;
- Erro de dimensionamento;
- Inadequação ao ambiente.

#### 3.4.2 Defeitos de materiais

O uso inadequado de materiais ou insuficiência de materiais acarreta em estruturas com resistências inferiores às especificadas. De acordo com Souza e Ripper (1998), são listados como casos mais comuns de utilização incorreta de materiais de construção:

- Utilização de concreto com resistência inferior ao especificado, seja por erro na encomenda, fornecimento ou mistura na obra;
- Utilização de aço com bitolas ou categoria diferentes das especificadas.

#### 3.4.3 Defeitos de execução

Durante a fase de execução da obra, podem ocorrer falhas das mais diversas naturezas, ocasionadas pela falha humana, que muitas vezes está ligada ao emprego de operários desqualificados e irresponsabilidade técnica, como afirma Souza e Ripper (1998), apresentando algumas patologias, como:

- Deficiência de concretagem;
- Má execução do escoramento;
- Inexistência de controle de qualidade;
- Dentre outros.

#### 3.4.4 Defeito de Utilização

Conforme Souza e Ripper (1998), os problemas patológicos podem ser ocasionados pela utilização errônea ou falta de um programa de manutenção adequado e junto aos fatores externos à estrutura. Como por exemplo:

- Excesso de carga;
- Alterações das condições do terreno de fundação;
- Choque de veículos;
- Alterações estruturais;
- Assentamento da fundação em solo não apropriado.

Outros fatores também são determinantes nessa fase, como: carregamentos ocasionados por eventos naturais, terremotos, deslizamentos de terra e fogo, que podem danificar as estruturas. (COST 345, 2007).

#### 3.5 Mecanismos de deterioração e principais patologias das obras de Arte

Todas as obras, das quais se ressaltam as pontes, ao longo de sua vida útil, interage com o meio ambiente e vão sendo submetidas a diferentes solicitações, sofrendo degradação com o tempo. (COSTA, 2009)

Atualmente, pode-se dizer que é muito difícil classificar todas as causas que provocam deterioração das pontes de concreto. Frequentemente a maioria das patologias manifestam-se exteriormente, podendo assim identificar sua origem, natureza e avaliar os fenômenos envolvidos que possam evitar sua evolução. (DNIT ,2010; COSTA, 2009).

De acordo com o RILEM ,Réunion International des Laboratoires d'Essais et des Recherches sur les Matériaux et les Constructions.( 1991) *apud* DNIT (2010), classificam-se como as causas de deterioração:

- Fatores intrínsecos - São aqueles que estão diretamente ligados à estrutura, ou seja, a estrutura pode conter certos fatores de degradação ou ser mais propícia a danos. Os principais fatores são: a idade e a qualidade do concreto, onde existem os fatores e a relação água/cimento.

Como afirma Souza e Ripper (1998) “Além das questões ligadas à resistência mecânica propriamente dita, a palavra-chave relacionada ao material concreto, como pseudo sólido é,é água.” A relação água/cimento é previamente estabelecida através da

realização de ensaios utilizando misturas experimentais com os materiais que serão utilizados na obra, incluído aditivos ou através de misturas produzidas com componentes similares, essa relação estabelece características como: densidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade e fissuração. Logo, quanto maior a relação água/cimento, maior a porosidade e permeabilidade do concreto e conseqüentemente maior facilidade de entrada de agentes agressivos. (SOUZA E RIPPER, (1998); NEVILLE e BROOKS, 2013).

- Fatores resultantes do tráfego rodoviário - São aqueles que estão ligados à utilização da estrutura e são de natureza externa, são eles: as cargas rodoviárias e a velocidade dos veículos, que têm crescido continuamente. Os aumentos das cargas rodoviárias também provocam o desgaste da pavimentação devido à falta de balanças nos postos de pesagem; de acordo com Plano Nacional Estratégico de Pesagem, 77% dos caminhões trafegam com excesso de peso e apenas 10% de excesso de peso por eixo já reduzem em até 40% a vida útil da estrutura por onde trafegam, e têm como conseqüências: o aumento dos efeitos da fadiga, a fissuração e apressam o desgaste das juntas de dilatação e dos aparelhos de apoio;
- Fatores ambientais - Estão relacionados às condições climáticas ou atmosféricas que correspondem ao meio onde a estrutura está inserida. Como exemplo: as variações sazonais e diárias de temperatura, tais como poluição atmosférica, chuva ácida, entre outros.
- Fatores resultantes do tipo e intensidade da manutenção - Fatores que correspondem à durabilidade da estrutura, que são as manutenções corretivas e preventivas, ou seja, limpeza, proteção anticorrosiva e medidas corriqueiras de conservação. Essas manutenções são fatores decisivos na durabilidade.
- Fatores correlacionados à atividade humana – Estão diretamente ligados a falhas humanas, durante as quatro fases fundamentais da vida da estrutura já mencionadas, exemplo: erro de projeto, acidentes automobilísticos, erro de execução, entre outros (SANTOS, 2012).

Dentre esses fatores, as patologias em pontes podem ser condicionadas à agressividade em seu local de exposição (DNIT, 2010).

Já para Mehta e Monteiro (2008) de maneira geral, as causas da deterioração do concreto podem ser divididas em causas biológicas, físicas e químicas.

As causas biológicas estão relacionadas aos efeitos dos microrganismos na estrutura, que podem criar meios corrosivos para a massa do concreto e a armadura, através de bactérias oxidantes. Já as causas físicas estão ligadas ao desgaste superficial e fissuras, as principais ações físicas que causam degradação são a variação de temperatura, umidade e a presença de ventos. As causas químicas estão associadas à presença de determinadas substâncias presentes no meio ambiente, por exemplo, água, solo e ar. Esses possuem ou podem vir a possuir agentes agressivos como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ); tendo como consequências patologias como: eflorescências, carbonatação, corrosão das armaduras e degradação (MEHTA & MONTEIRO, 2008; SOUZA & RIPPER, 1998).

### 3.6 Manifestações patológicas usuais em pontes de concreto armado no Brasil

As patologias são consequências das ações dos diversos agentes causadores, citados anteriormente. Destacam-se a seguir as manifestações patológicas mais frequentes e representativas de acordo com Vitorio (2002).

#### 3.6.1 Fissura

A fissura é o tipo mais comum de patologia e interfere diretamente na estética, na durabilidade e característica estrutural da obra. Para Curcio (2008), fissuras são pequenas aberturas na superfície da estrutura e que passam a ser uma manifestação patológica quando apresentam abertura superior àquela definida na NBR 6118/2014, ou quando não são originárias do funcionamento normal da estrutura, tornando-se caminhos para entrada de agentes agressivos que possam corroer a armadura; podem surgir antes ou depois do endurecimento do concreto, como também podem ser provocadas por diversos fatores. Neste trabalho citaremos as mais comuns.

Quadro 1- Limite de abertura de fissura em função das classes de agressividade ambiental (Parte da tabela 13.4 da NBR 6118:2014)

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	

**NOTAS**

- 1 ELS-W, estado-limite de abertura das fissuras- estado em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais aos máximos especificados  
 $w_k$  – Abertura característica de fissuras na superfície do concreto
- 2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens
- 3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.

Fonte: NBR 6118/2014.

Ao observar o quadro 1 pode-se perceber que quanto maior a agressividade ambiental do local onde a obra está inserida, menor será o valor tolerável da fissura, pois se a fissura for maior que o limite especificado pode trazer consequências como a facilitação da entrada de agentes agressivos que traz consigo a carbonatação, ataque de cloretos, sulfatos e entre outros.

De acordo com Souza e Ripper (1998), a fissura como deficiência estrutural dependerá sempre da sua origem, intensidade e magnitude do quadro de fissuração existente, já que o concreto fissura por natureza devido à baixa resistência do concreto à tração, é por isso que é de suma importância determinar a causa correta para se estabelecer os trabalhos de recuperação ou reforço como a situação exige; uma análise equivocada pode levar à aplicação de um método de recuperação ou de reforço inadequado; e se as causas não forem eliminadas, não adianta sanar o problema, pois ele ressurgirá

Segundo Vitório (2002), as fissuras podem ser classificadas como passivas ou ativas. A primeira ocorre quando a fissura chega ao seu ponto máximo e se estabiliza devido ao término das causas que as originaram, como é o caso de fissuras de retração hidráulica ou que são provocadas por um recalque diferencial de fundação que esteja estabilizado. A segunda é produzida por ação de intensidade variável, que provoca deformações também variáveis no concreto, como é o caso das fissuras de origem térmica e provocadas por flexão de ações dinâmicas.

### 3.6.2 Corrosão das armaduras

Como afirma Jambor e Fófano (2008), corrosão se trata de um fenômeno de degradação das armaduras do concreto expostas em meio corrosivo, ou seja, corresponde à deterioração do aço que acontece por uma associação de etapas químicas e eletroquímicas quando este é exposto a agentes agressivos; ocorrem geralmente na presença de água ou ambientes úmidos.

Nas estruturas de concreto armado, as armaduras estão protegidas pela alcalinidade do cimento (PH 12 e 13). Essa alcalinidade proporciona uma película superficial sobre a armadura, chamada de película apassivadora, isolando o contato direto com os agentes agressivos. “Esta película é formada como resultado do impedimento da dissolução do ferro pela elevada alcalinidade da solução aquosa que existe no concreto”. (SOUZA E RIPPER, 1998; SARTORI, 2008; COSTA 2009). Os dois agentes responsáveis pela perda dessa película são a carbonatação e a entrada de cloreto do ambiente, que depois da despassivação, atacaram o aço desencadeando a corrosão da armadura.

A agressividade ambiental é uma das principais responsáveis pela perda da qualidade do concreto e conseqüentemente, o aparecimento de problemas patológicos como a corrosão. A mesma está relacionada às ações químicas e físicas que atuam sobre a estrutura de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, entre outras. (CARVALHO E FIGUEIREDO, 2014).

Segundo Sartorti (2009), a corrosão diminui a área de aço, podendo levar a estrutura a ruína, já que os agentes que a potencializam são: a porosidade do concreto, os ambientes agressivos, deficiência do cobrimento, alta capilaridade; a melhor maneira de combater a corrosão é controlar a permeabilidade do concreto respeitando o fator água/cimento proposto pela norma NBR 6118:2014 e no que diz respeito aos cobrimentos adequados levando em consideração a agressividade ambiental, como apresentado nos quadros 2 e 3.

“Entre os fatores dos quais depende a durabilidade das estruturas de concreto armado e pretendido, são fundamentais a qualidade e a espessura do concreto de cobrimento das armaduras”. (CARVALHO E FIGUEIREDO, 2014). O cobrimento se trata da menor distância livre entre a face da peça e a camada da barra de aço mais próxima dessa face, e tem como finalidade proteger as barras tanto da corrosão como da ação do fogo.

O quadro 2 a seguir mostra a classificação adotada para projetos de estrutura de concreto armado de acordo com o quadro 1.8 da Tabela 6.1 da ABNT NBR 6118/2014, já o quadro 3 relaciona o valor do cobrimento com a agressividade ambiental definidos no quadro 2.

Quadro 2- 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 <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: NBR 6118/2014

Quadro 3- classe de agressividade ambiental (CAA) e espessura do comprimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50

Fonte: NBR 6118/2014.

Através dos quadros observa-se que quanto maior a agressividade ambiental do local maior a necessidade de um cobrimento nominal mais espesso. A espessura desta capa de concreto é importante para garantir a proteção das armaduras frente aos agentes agressivos.

Há como consequência da corrosão das armaduras a presença de manchas causadas pelo produto da corrosão, fissuração, destacamento do concreto de cobrimento e até rompimento do estribo e perda da aderência da armadura principal (Fig. 19) (DNIT, 2004).

Figura 19 - Corrosão da armadura aparente em viga de ponte



Fonte: DNIT, 2004

A figura acima corresponde a uma estrutura com estado de corrosão da armadura bem avançado, onde já houve o destacamento do concreto de cobrimento.

### 3.6.3 Desagregação

A desagregação do material consiste na separação física das placas ou partes do concreto, com perda da função aglomerante do cimento, deixando os agregados soltos e frequentemente há perda da capacidade de união entre os agregados e da função ligante do cimento. São causadas pelos mais diversos fatores, ocorrendo, na maioria dos casos em conjunto com a fissuração; e como consequência, uma peça com essa patologia perderá, localizada ou globalmente, a capacidade de resistir aos esforços que necessitem (SOUZA E RIPPER, 1998)

Essa patologia é provocada geralmente pela expansão do aço devido à oxidação ou dilatação das armaduras (no qual o concreto se desagrega quando há o aumento de volume das barras de aço), pelo aumento do volume do concreto quando este absorve muita água, pela fissuração do concreto (muitas vezes é ocasionada pela deficiência de projeto, em que a geração de fissura naturalmente acaba por resultar no deslocamento do concreto) e pela movimentação das fôrmas, que resulta na fuga de nata de cimento pela juntas que provocam a segregação do concreto com sua consequente desagregação. (VITORIO, 2002; SOUZA E RIPPER, 1998).

### 3.6.4 Disgregações

A disgregação do concreto é consequência de processos físicos, tais como as solicitações internas e as fortes trações; causadas pela variação de temperatura ( $\Delta T$ ) que geram estado de sobretensão em diferentes seções, ocasionada pela contração ou dilatação térmica, que acarretam grande deformação no concreto. (DNIT, 2004; SOUZA E RIPPER,1998)

Uma situação típica é a que se dá nas pontes, em particular na parte inferior das vigas horizontais, pois em um determinado horário essa parte da estrutura está mais exposta ao gradiente térmico natural do que outras, gerando como consequência movimentos diferentes entre os elementos, como: alongamento e encurtamento das peças; que normalmente resultam em fissuração e disgregação, agravando no caso de diferença de inércia (encontro de tableiros e vigas).(SOUZA E RIPPER,1998).

Já para Pfeil (1983), a disgregação do concreto não acaba com suas boas características de origem, ele apenas não suportou as solicitações anormais a que foi submetido (DNIT, 2004).

### 3.6.5 Carbonatação

A carbonatação é resultado da ação dissolvente do anitrato carbônico ( $\text{CO}_2$ ), presente no ar atmosférico, que age sobre o cimento hidratado, com a formação do carbonato de cálcio, ou seja, ao ser hidratado o óxido de cálcio presente no cimento transforma-se em hidróxido de cálcio, que ao entrar em contato com o gás carbônico, produz o carbonato de cálcio e a consequência é a redução do pH do concreto até valores inferiores a 9. (SOUZA E RIPPER,1998; CUNHA, 2010).

De acordo com Sartorti (2008), em função da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera e da porosidade e do nível de fissuração do concreto, o dióxido de carbono reduz o PH, despassivando o aço e facilitando o início da corrosão e o surgimento da fissura. Como afirma Souza e Ripper (1998), “quanto maior for a concentração de  $\text{CO}_2$  presente, menor será o PH, ou por outro lado, mais espessa será a camada de concreto carbonado”.

Os principais agentes influenciadores do fenômeno da carbonatação são: a permeabilidade do concreto, a existência de fissura e a quantidade de dióxido de carbono existente na atmosfera. (VITÓRIO,2002)

### 3.6.6 Eflorescência

Uma estrutura com fissura tende a ter uma maior absorção da umidade, que diluem o carbonato de cálcio presente na estrutura e formam depósitos superficiais de cor branca na superfície da peça, conhecido como eflorescência, (Fig. 20). (CUNHA ,2011).

Figura 20 - Ilustra o fenômeno da eflorescência



Fonte: DNIT, 2004

A figura ilustra o fenômeno da eflorescência, que em outras palavras, são marcas de bolor, causadas pela infiltração da água , que ocorre na superfície do concreto, argamassas, tijolos, pedras e outros materiais porosos, que alteram a estética dos acabamentos.

### 3.6.7 Reação álcali-agregado

A reação álcali-agregado é um processo químico que é resultado da reação entre a sílica reativa de alguns compostos mineralógicos utilizados como agregado e os íons álcalis (  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ) encontrados nos cimentos, liberados durante a hidratação do cimento ou pela penetração de cloretos, contendo esses mesmos íons. Essas reações são expansivas, pela formação adicional de sólido no meio confinado, podendo originar fissuras na superfície do concreto, aumento de permeabilidade e diminuição da resistência química e física, atribuindo à estrutura o aspecto de mosaico. (SOUZA E RIPPER, 1998)

Para o DNIT (2004), essa patologia se trata de uma reação lenta, consiste na reação entre certos tipos de sílica e carbonato, e se manifesta através do aparecimento do pipocamento e exsudação de um gel, que prova a fissuração, trincas e a expansão do concreto.

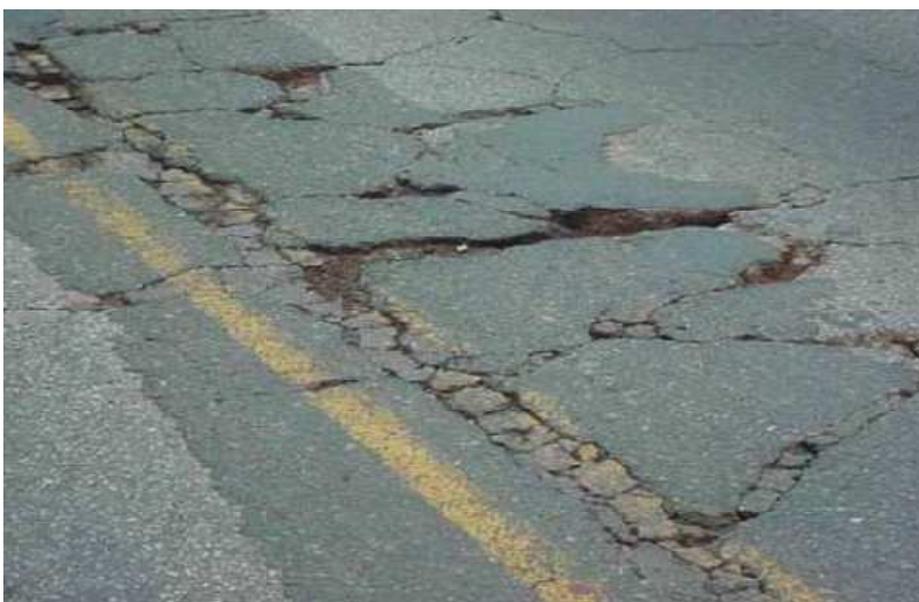
### 3.6.8 Desgaste da superfície

Segundo o DNIT (2004), o desgaste de superfície pode ter várias origens, entre elas se destacam o uso continuado, a abrasão, erosão ou cavitação e lixiviação. Esta patologia ocorre porque a pasta de cimento endurecida não possui alta resistência ao atrito.

#### 3.6.8.1 Uso continuado

Aparecem em superfícies sujeitas ao tráfego. A passagem de veículos provoca as trincas, desgastes e irregularidade no pavimento (figura. 21). Esses problemas contribuem para a deterioração estrutural do tabuleiro. De acordo com Costa (2009) o aumento das cargas rodoviárias para as quais a estrutura não foi dimensionada pode ocasionar fadiga e a evolução natural do tráfego rodoviário, que provoca a passagem mais frequente de cargas pesadas que contribuem significativamente para o aparecimento do desgaste superficial

Figura 21 - Desgaste superficial de um viaduto



Fonte: DNIT, 2004

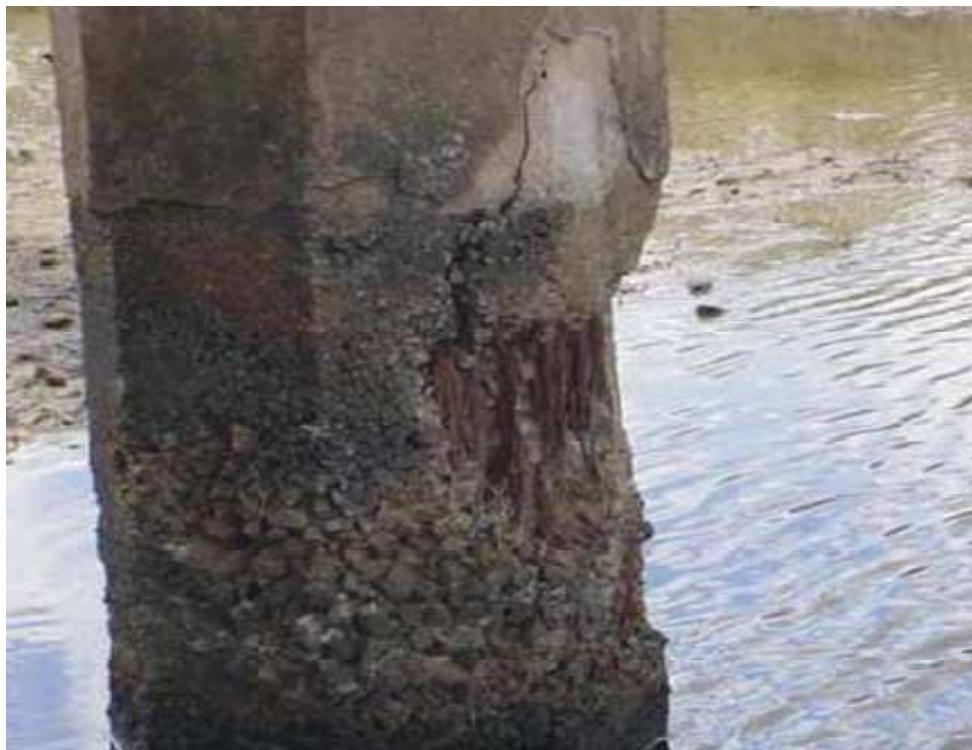
A figura 21 mostra um trecho com elevada deterioração da camada asfáltica de pavimento formadas a partir do desgaste do revestimento (de cima para baixo) pela ação abrasiva dos pneus, pela ausência da conservação de rotina ou revestimento no estágio final da sua vida útil. Nesta situação é aconselhável a reconstrução da base e do revestimento.

#### 3.6.8.2 Abrasão de fluido ou erosão

Fenômeno que ocorre com mais frequência em fundações e pilares mergulhados em água que sofrem ação das correntezas, a qual transporta partículas que se chocam contra as

superfícies de concreto, cuja intensidade dependerá da quantidade, da forma, do tamanho e da dureza das partículas (Fig. 22).

Figura 22 – Abrasão de um pilar



Fonte: DNIT, 2004

A imagem mostra a erosão de um pilar de uma ponte pelo contato ou pela movimentação de sólido em relação ao meio líquido, causando perda progressiva de material.

#### 3.6.8.3 Cavitação

De acordo com Souza e Ripper (1998), se caracteriza pela ruptura da estrutura devido a perda de massa e formação de pequenas cavidades, ocasionadas pela ação de águas correntes, resultante de bolhas que se formam e desaparecem quando a água está em movimento e em velocidade elevada.

#### 3.6.8.4 Lixiviação

De acordo com Sartorti (2008), consiste na formação de estalactites e estalagmites na superfície do concreto atacado, devido ao arrastamento do hidróxido de cálcio,  $\text{Ca(OH)}_2$  e outros compostos hidratados do cimento pela ação das águas (Figura 23).

Figura 23 - Formação de estalactites na face inferior da laje superior de uma ponte rodoviária.



Fonte: DNIT, 2004

A figura ilustra o processo de lixiviação que ocorre devido à infiltração das águas. Ao apresentar essa patologia a estrutura tende a diminuir a sua resistência e também abre caminho para entrada de gases e líquidos nocivos à armadura e ao próprio concreto, causando dentre outros problemas, a corrosão das armaduras e a carbonatação do concreto.

### 3.6.9 Vazios de concretagem

Os vazios de concretagem são defeitos encontrados nas estruturas que se manifestam por espaços não preenchidos no concreto e está relacionado aos erros no processo de lançamento e adensamento do concreto.( SOUZA E RIPPER, 1998) .

As operações de lançamento e adensamento do concreto são independentes e executadas quase simultaneamente. São muito importantes para garantir uma estrutura resistente, impermeável e durável. Para que a operação de lançamento seja bem-feita é necessário depositar o concreto o mais próximo possível de sua destinação final e executar um lançamento adequado, evitando assim a segregação e permitindo seu total adensamento; pois um lançamento malfeito pode ocasionar o deslocamento das armaduras. Lançar uma nova quantidade de concreto sobre uma superfície que já completou o processo de endurecimento, ocasiona a segregação dos diversos componentes. O lançamento de plano inclinado pode levar

ao acúmulo de água exsudada, o que ocasionará a separação entre os agregados e pasta de cimento, fazendo com que haja vazios na estrutura (NEVILLE E BROOKS, 2014; SOUZA E RIPPER, 1998).

O processo de adensamento por vibração consiste em eliminar bolhas de ar, espaços vazios e excesso de água e forçar as partículas a terem uma configuração de maior proximidade. Um mau adensamento, devido ao adensamento não uniforme e inadequadas vibrações ou excesso de vibrações, podem provocar vazios de concretagem (NEVILLE E BROOKS, 2014).

Para o DNIT (2004), vazios de concretagem são causados por defeitos na hora da concretagem e são espaços vazios dentro da massa de concreto, devido a segregação do agregado graúdo, que se separa do agregado miúdo e da pasta de cimento.

Figura 24 – Vazios de concretagem



Fonte: DNIT, 2004.

A figura 24 mostra vazios no pé de um pilar devido ao lançamento do concreto a uma altura maior que a máxima. O concreto deve ser lançado o mais próximo de sua destinação final para evitar a segregação do mesmo.

#### 3.6.10 Patologias no guarda-corpo

O guarda-corpo é um componente que contribui para segurança dos pedestres e barreiras atenuadoras de choques dos veículos, cujas principais patologias são consequências da falta de manutenção periódica ou colisões de veículos que causam uma solitação

exagerada e de difícil mensuração, e que como consequência causam deformações acentuadas e danos como destacamento de cobrimento e exposição de armaduras. (COSTA, 2009; SARTORTI, 2008)

Figura 25- Avarias em guarda-corpos



Fonte: DNIT 2004

A foto apresenta a destruição do guarda corpo de uma ponte, que foi ocasionada por uma ou mais colisões de veículos ou por outros impactos.

### 3.7 Utilizações indevidas e manutenção ausente

Utilizar a estrutura de maneira correta garante que a mesma mantenha as características originais ao longo de toda sua vida útil. A maneira correta seria garantir que a estrutura não ultrapasse o esforço para que foi projetada, além de garantir uma manutenção periódica, já que a estrutura vai diminuindo seu desempenho ao longo de sua vida útil. (ANDRADE & SILVA, 2005)

Segundo a NBR 5674 /2012, que trata dos requisitos para o sistema de gestão de manutenção, o termo manutenção consiste na conservação ou recuperação da capacidade funcional e de suas partes constituintes através de conjunto de atividades.

#### 3.7.1 Diagnósticos de patologias em estruturas de concreto armado

Para que uma manifestação patológica seja identificada é preciso inspecionar, avaliar e diagnosticar de maneira sistemática e periódica, para que os resultados e as ações de

manutenções cumpram com o seu objetivo que é a conservação ou reparo da estrutura quando for preciso (GRANATO, 2005).

Segundo Costa (2009), o diagnóstico tem como objetivo avaliar o estado de conservação em que a estrutura se encontra. Para isto, é necessária a utilização da inspeção visual e a realização de ensaios que possam identificar as causas, as consequências e as providências a serem tomadas.

A norma elaborada pelo DNIT (2004), Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento, define inspeção de pontes como:

“Atividade técnica especializada que abrange a coleta de elementos, de projeto e de construção, o exame minucioso da ponte, a elaboração de relatórios, a avaliação do estado da obra e as recomendações, que podem ser de nova vistoria, de obras de manutenção, de obras de recuperação, de reforço ou de reabilitação”.

As inspeções são classificadas em cinco tipos: inspeção cadastral, rotineira, especial, extraordinária e intermediária, diferenciando-se pela finalidade, frequência, meios humanos e materiais necessários (Vitório, 2002; DNIT, 2004).

**Inspeção cadastral** - Realizada logo após a sua construção, é a primeira inspeção a ser executada em pontes, pois ainda se encontram disponíveis os elementos de projeto e os relatórios da fiscalização ou supervisão; deve conter todos os dados da construção e um relatório bem detalhado com fotos que servirá de base para o resto das inspeções. Deve ser executada sempre que acontecer mudanças sensíveis na obra.(Vitório, 2002;DNIT, 2004; Norma DNIT, 2004).

**Inspeção rotineira** - Tem como objetivo observar e identificar as patologias no comportamento estrutural, além de tentar manter atualizado o cadastro da obra. Não precisam de equipamento e são geralmente visuais. (Norma DNIT, 2004)

**Inspeção especial** - Realizada em intervalos não superior a cinco anos,é vistoria pormenorizada da obra visual e/ou instrumental, em pontes de grande porte ou em estrutura que apresente um problema mais sério, deve ser examinada de forma minuciosa, por um profissional especialista e tem o objetivo de interpretar e avaliar ocorrências danosas detectadas pela vistoria rotineira (Norma DNIT, 2004).

**Inspeção extraordinária** - Realizada sem nenhum tipo de programação e tem a finalidade de avaliar os danos que ocorrem de forma excepcional. (Norma DNIT, 2004).

**Inspeção intermediária** - Tem a finalidade de verificar defeitos dos quais já houve suspeita; como um recalque de fundação, entre outros (Norma DNIT, 2004).

Depois de realizadas as inspeções e avaliações dos relatórios, são determinados programas de gestão de manutenção de obra de arte para que se possa conservar ou reabilitar uma estrutura. Quando se fala em conservação, as tarefas consistem em: correção de pequenas falhas, limpeza e drenagem da pista, juntas, apoios, correções nos aparelhos de apoio, reparos em guarda-corpos e reparos na pista de rolamento sem acréscimo de espessura, entre outras (SARTORTI, 2008).

Segundo Sartorti (2008), as manutenções podem ser estratégicas ou esporádicas; a primeira consiste em se obter um controle contínuo e planejado das inspeções, limpezas e pequenos procedimentos de reparo; já a segunda é caracterizada pela ausência de um programa de manutenção e prevenção patológica. Sua ocorrência geralmente é fruto de denúncias e reclamações.

## **4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

### **4.1 Caracterização do Estudo**

De acordo com a escolha do tema e o objeto de estudo, levando em consideração o ponto de vista dos procedimentos técnicos, foram realizadas pesquisas bibliográficas que tiveram como objetivo efetuar análises das principais manifestações patológicas e seus tratamentos corretivos em pontes de concreto, utilizando uma linha de pesquisa descritiva-exploratória.

Justifica-se a vertente exploratória com o objetivo de conhecer as problemáticas citadas e o intuito de verificar quais são os fatores que causam esses problemas e seus tratamentos corretivos e descritivos, tendo em vista a descrição dos fenômenos patológicos encontrados baseado nas pesquisas bibliográficas realizadas através de artigos científicos, trabalhos acadêmicos e livros na área de estudo.

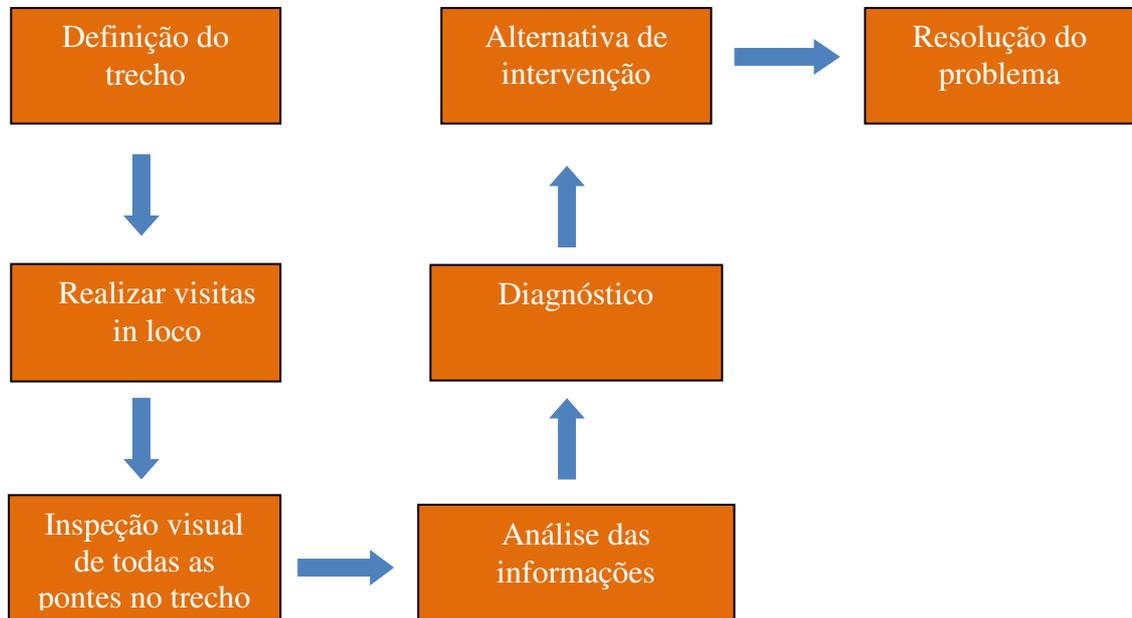
### **4.2 Método de Pesquisa**

De acordo com a problemática encontrada, o método escolhido para a pesquisa é o estudo de caso, visto que o foco do estudo é verificar quais são as manifestações patológicas encontradas por meio inspeção visual detalhada, sem o uso de equipamentos de acesso especiais do tipo Esclerometria de Reflexão, Ultrassonografia entre outras, a fim de contribuir para a soluções dos problemas e propor melhorias.

O método utilizado para identificar as manifestações patológicas nas pontes foi fundamentado na norma de inspeção do DNIT - NORMA 010/2004 – PRO, que tem por finalidade interpretar e avaliar ocorrências danosas detectadas em vistorias, podendo ser visual e instrumental. Neste caso foi apenas visual, porém fundamentado em registro fotográfico.

Para a realização desse trabalho, inicialmente definiu-se o trecho a ser estudado, no qual as pontes de concreto armado seriam avaliadas, com o objetivo de coleta de dados. Em seguida realizou-se uma inspeção visual detalhada da ponte selecionada e com as informações dessa inspeção, avaliaram-se os problemas nas pontes. As etapas da metodologia estão resumidas na figura 26.

Figura 26 – Etapas da metodologia de análise de patologias utilizadas na investigação das pontes.



Fonte: Autor, 2017.

#### 4.2.1 Coleta de dados

O levantamento de dados consiste em obter o maior número de informações que levarão à compreensão dos fenômenos observados; as informações coletadas sobre os danos e o uso da estrutura fazem parte da pesquisa. O processo se inicia pela vistoria no local da obra, ou seja, um processo que consiste no exame utilizando os sentidos humanos, experiência e referências bibliográficas para definir as possíveis causas e consequências e então propor soluções para a problemática encontrada.

Os dados coletados foram obtidos por observação individual não participante, com estilo de relato descritivo e fundamentado com ilustrações fotográficas. A coleta de dados por observação do tipo individual não participante, manifesta para o observador da pesquisa a objetividade de suas informações e seus métodos, e a relação é simplesmente de campo. A participação tende a ser mais profunda em virtude de uma observação informal da vivência dos fatos mais relevantes e no acompanhamento das práticas cotidianas (MARCONI; LAKATOS, 2001).

### 4.3 Etapas da pesquisa

#### 4.3.1 Definição do trecho e pontes utilizadas como estudo de caso

O trecho selecionado localiza-se na AL 220, no estado de Alagoas. As marcações das pontes localizadas no decorrer do trecho selecionado foram elaboradas e identificadas com auxílio do Google Earth (<http://earth.google.com/>). O trecho possui cinco pontes.

A região do alto sertão apresenta um clima predominantemente semiárido com verão seco nos meses de dezembro a março, e inverno chuvoso predominante no período de junho a agosto. A temperatura média varia entre 17°C e 33°C, com amplitude térmica significativa (IBGE, 2015).

#### 4.3.2 Materiais utilizados

Utilização dos equipamentos, tais como máquina fotográfica, trenas, instrumento cortante, aparelho leitor de coordenadas de GPS (Sistema de Posicionamento Global), corda, elaboração de fichas de anotação e entre outros.

#### 4.3.4 Vistorias

Inicialmente as cinco pontes foram inspecionadas visualmente anotando-se informações, tais como: localização através de GPS, comprimento do vão, larguras e características estruturais, bem como as principais manifestações patológicas encontradas.

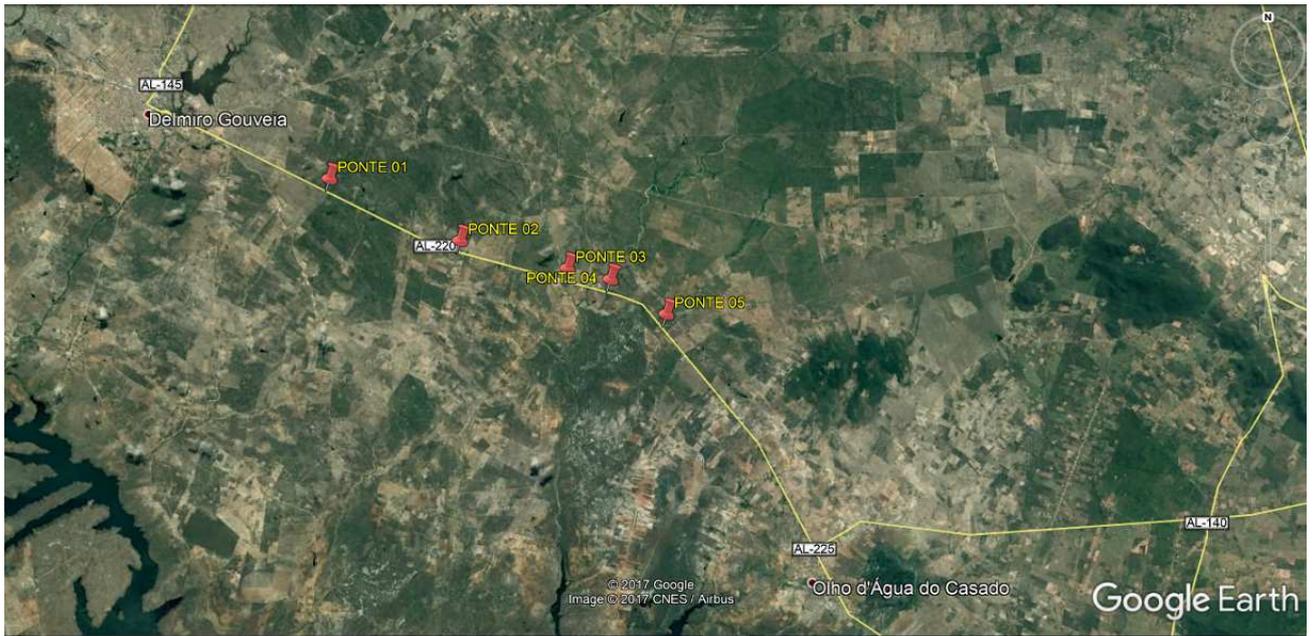
Para a realização desta inspeção levou-se praticamente um dia, percorrendo o trecho e parando em cada uma das pontes para a realização da inspeção visual.

#### 4.3.5 Análise de dados

Através das vistorias foi organizada uma tabela com dados sobre o vão, altura útil, comprimento, largura da via e largura da passarela.

Após a coleta de dados durante as vistorias, as patologias foram catalogadas com objetivo de facilitar a assimilação dos dados, pesquisa e análise através de deduções das hipóteses causadoras e possíveis alternativas de intervenção geradas a partir do diagnóstico. As vistorias foram realizadas com câmera fotográfica, canetas, papel e trena. A última somente foi utilizada para como parâmetro de comparação, não de medição.

Figura 27- Localização das pontes no trecho em estudo.



Fonte : Autor, 2017.

A imagem acima apresenta o trecho de 26 km, compreendido entre Delmiro Gouveia e à Olho D'água do Casado, no qual as pontes inspecionadas iniciam-se do ponto mais próximo cidade de Delmiro Gouveia – AL e segue no sentido norte da rodovia.

## 5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente trabalho buscou realizar inspeções visuais em cinco pontes rodoviárias localizada na AI-220. Neste capítulo serão apresentados os dados coletados em cada ponte com documentação fotográfica. O quadro 3 abaixo apresenta as principais características de cada uma das cinco pontes, para melhor entendimento:

Quadro 3- Característica de cada ponte

Pontes	Altura livre (m)	Comprimentos (m)	Largura (m)
Ponte 1	<b>4,20</b>	<b>16,34</b>	<b>8,67</b>
Ponte 2	<b>5,69</b>	<b>16,59</b>	<b>8,67</b>
Ponte 3	<b>8,25</b>	<b>20,70</b>	<b>8,54</b>
Ponte 4	<b>9,40</b>	<b>30,54</b>	<b>8,74</b>
Ponte 5	<b>7,90</b>	<b>48,94</b>	<b>8,75</b>

Fonte: Autor , 2017.

### 5.1 Patologias nas pontes de concreto e possíveis causas e tratamentos

#### 5.1.1 Ponte 1

##### Características Físicas

Sistema estrutural: ponte em Laje

Comprimento: 16,34 m

Largura: 8.67 m

Extremidades: encontro

Material constituinte: concreto armado.

Sua estrutura é de concreto armado com sistema estrutural formado por laje (figura. 28). O tabuleiro cobre um vão de 16,34 m e é sustentado pelos encontros em sua extremidade. A pista de rolamento apresenta largura junto com o passeio total de 8,67m, onde o passeio de pedestre é formado por lajes em balanço com largura aproximada de 0,80 m . A ponte serve de passagem constante de automóveis, ônibus e caminhões.

Figura 28- Sistema estrutural formado por lajes e passeio em balanço.



Fonte: Autor, 2017.

A figura mostra o sistema estrutural da ponte 1. Por ser uma ponte de pequeno comprimento utilizou-se o sistema de laje por ser o mais adequado.

Dentre os problemas patológicos encontrados estão: armaduras expostas tanto na laje principal como na laje em balanço ( figura 29), infiltração no concreto e eflorescências (figura 30).

Figura 29 - Detalhe do avançado grau de deterioração do concreto e oxidação das armaduras principais com possível rompimento dos estribos e presença de limo por infiltração (a) e (b)



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2017.

Figura 30 - Aparecimento de eflorescência e fissuras no concreto



Fonte: Autor, 2017.

Figura 31- corrosão dos estribos e fissuração de concreto armado



Fonte : Autor, 2017

Figura 32- Vista superior das lajes em balanço mostrando deslocamento do concreto e corrosão das armaduras dos estribos e armadura principal



Fonte: Autor, 2017.

Figura 33- Vista inferior das lajes em balanço mostrando deslocamento do concreto e corrosão das armaduras dos estribos e armadura principal



Fonte: Autor, 2017.

### **I - Análise das informações**

Ao analisar as figuras 29, 30, 31, 32 e 33, nota-se que as lajes principais e em balanço apresentam sintomas típicos de corrosão das armaduras; que por ser um processo que gera expansão interna, determinam o fissuramento do concreto, seguida de deslocamento e fissuração, o que expõe a armadura diretamente ao meio externo. Quando o material fica exposto ao contato de gases nocivos ou a umidade, causa a oxidação do aço, que geralmente ocorre em meio úmido ou aquoso.

A figura 30 mostra patologia da eflorescência. Visualmente esta situação é notada pela mudança de cor na área afetada, que se caracteriza pela coloração esbranquiçada. Ocorre no concreto devido ao contato com a água, causando a dissolução do hidróxido de cálcio e do  $\text{Ca(OH)}_2$  da pasta de cimento, ou seja, os sais que são diluídos por causa da água, atravessam o material poroso pelo efeito de capilaridade e se recristalizam na superfície da estrutura em virtude da evaporação da água no momento que atinge a superfície.

## **II - Diagnóstico das causas prováveis**

Provavelmente as corrosões das armaduras foram ocasionadas pela carbonatação, que se dá porque a estrutura está em uma rodovia, local em que a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada pelos veículos no ar é maior. Por estar longe da área urbana litorânea, elimina assim a possibilidade de a estrutura ter sido afetada por cloretos. Outra causa provável para corrosão das armaduras quanto ao fenômeno da eflorescência é a infiltração da água na estrutura, que provoca o destacamento do concreto, por uma deficiência do órgão de drenagem, pelo próprio grau de porosidade alto do concreto ou pela falta de impermeabilização adequada.

## **III – Sugestões reparatórias**

Segundo Helene (1992), as correções ideais para esses casos de corrosão das armaduras seriam:

- Remoção cuidadosa do concreto afetado e os produtos da corrosão, limpando bem as superfícies e reconstruir a seção original das armaduras.

Para os casos nos quais não houve comprometimento do concreto e das barras de aço, recupera-se o componente estrutural mantendo as dimensões estruturais através de:

- Argamassa polimérica à base de cimento.
- Argamassa base epóxi;
- Argamassa base poliéster;
- Eventualmente, aplicar a argamassa em toda a superfície para aumentar o cobrimento e proteger o componente estrutural, atingindo a espessura mínima apresentada no quadro 3.

Já para os casos de corrosão avançada, reforça-se o componente estrutural aumentando as dimensões originais.

Para o tratamento da eflorescência o ideal seria:

- O tratamento de impermeabilização;
- Proteção da superfície do tabuleiro;
- Restaurar o monolitismo através da injeção de resina epóxi.

### 5.1.2 Ponte 2

#### Características Físicas

Sistema estrutural: ponte em laje

Comprimento: 16,59 m

Largura: 8,67 m

Extremidades: encontro

Material constituinte: concreto armado.

Construída em estrutura de concreto armado com sistema estrutural em laje apoiada por encontros. A ponte apresenta um único vão com extensão de aproximadamente 16,59 m, largura de 8,67 m juntamente com o passeio e altura livre de 5,69 m.

Dentre os problemas patológicos encontrados estão: as armaduras expostas na laje em balanço (figura 34), infiltração no encontro e eflorescências (figuras 30).

Figura 34 - Exposição dos estribos das lajes em balanço.



Fonte: Autor, 2017.

Figura 35 - Eflorescência da parte inferior da laje principal



Fonte: Autor , 2017.

Figura 36- Infiltração no aparelho de apoio.



Fonte: Autor, 2017.

## **I - Analise das informações**

Ao analisar as figuras 34 e 36, nota-se a laje em balanço, apresentando corrosão das armaduras por um processo de deslocamento do concreto. Já a figura 36 apresenta uma mancha ao longo da estrutura do encontro.

A figura 35 mostra patologia da eflorescência; visualmente a situação é notada pela mudança de cor na área afetada e precipitação de géis ao longo de toda laje principal.

## **II - Diagnóstico das causas prováveis**

Provavelmente, as corrosões das armaduras dos estribos foram ocasionadas devido à falta de cobertura adequada e pela ausência da pingadeira na parte do passeio, fazendo com que a água proveniente da chuva umedeça a face inferior da laje, desagregando o concreto e desprotegendo a armadura.

A eflorescência no interior da laje seguida de precipitação de géis com conseqüente formação de estalactites (lixiviação) ao longo de toda a estrutura, causada pela umidade ou capilaridade da água no concreto.

A infiltração no encontro, causada provavelmente pela falta de drenagem do aparelho de apoio ou má vedação da junta de encontro, evidenciada pelas marcas de infiltração devido à água de chuva passar pelas frestas das juntas.

## **III – Sugestões reparatórias**

Como a corrosão se dá nos estribos da estrutura e não houve comprometimento do concreto e da armadura longitudinal, recupera-se o componente estrutural mantendo as dimensões estruturais. Segundo Helene (1992), as correções ideais para esses casos de corrosão das armaduras seriam através da aplicação de:

- Argamassa polimérica à base de cimento;
- Argamassa à base epóxi;
- Argamassa à base poliéster;
- Eventualmente, aplicar a argamassa em toda a superfície para aumentar o cobertura e proteger o componente estrutural, atingindo a espessura mínima apresentada no quadro 3.

Para o tratamento da eflorescência o ideal seria:

- Instalação de órgãos de drenagem de água;
- Tratamento de impermeabilização;
- Proteção da superfície do tabuleiro;
- Restauração do monolitismo através da injeção de resina epóxi.

### 5.1.3 Ponte 3

#### Características Físicas

Sistema estrutural: 2 vigas "T" e 2 Pilares

Comprimento: 20,70 m

Largura : 8.54 m

Extremidades: encontro

Material constituinte: concreto armado

A estrutura da ponte (figura 37) é de concreto armado; tendo suas vigas em "T" apoiadas em pilares e extremidade apoiada em encontros. Sua extensão é de 20,70 m e possui largura da pista de 8,54m com dois acostamentos de 0,87 m cada.

Figura 37- Vista inferior da estrutura da ponte



Fonte: Autor, 2017.

A ponte apresenta patologias estruturais visíveis com a deterioração do guarda-corpo, eflorescências, falha de concretagem, erosão no aterro, fissuras, corrosão das armaduras e desagregação das fundações.

Figura 38- Guarda-corpo destruído por colisões



Fonte: Autor, 2017.

Figura 39- Eflorescência nas vigas



Fonte: Autor, 2017

Figura 40 - Eflorescência, corrosão das armaduras e fissuração das vigas principais



Fonte: Autor, 2017.

Figura 41- Em (a): Vazios de concretagem e em (b): detalhe da manifestação patológica.



(a)

Fonte: Autor, 2017.



(b)

Fonte: Autor, 2017.

Figura 42 - Em (a): ocorrência de erosões, descalçamento das fundações e em (b): detalhe da manifestação patológica da corrosão das armaduras.



(a)

Fonte: Autor, 2017.



(b)

Fonte: Autor, 2017.

Figura 43- Em (a): Erosão no aterro de acesso na ligação ponte/rodovia e em (b): Abertura excessiva da junta do encontro, causando infiltração, desconforto ao tráfego e oferecendo risco a segurança dos pedestres.



(a)

Fonte: Autor, 2017.



(b)

Fonte: Autor, 2017.

## **I - Análise das informações**

Ao analisar a figura 38, nota-se a destruição parcial e total do guarda-corpo da ponte em estudo. Como já mencionado, as cargas que atuam sobre ele são de difícil mensuração, acarretando a destruição total do mesmo. Já a figura 39 e 40, indica patologia da eflorescência pela mudança de coloração na área afetada tornando-a esbranquiçada. Também pode ser observada a corrosão das armaduras das vigas principais e início das fissuras na vertical; possibilitando a entrada de agentes agressivos na estrutura.

Na figura 41 (a) e (b) podemos ver a patologia mais conhecida como “ninhos de concretagem”, que consiste em espaços vazios dentro da massa de concreto.

As figuras 42 (a) e (b) e 43 (a) e (b) estão ligadas a patologias nas fundações e encontros, respectivamente. Na figura 42, podemos observar erosão ou abrasão das fundações; é uma patologia comumente encontrada em fundações e pilares mergulhados em água. Na figura 43, podemos notar a erosão dos encontros e abertura excessiva do mesmo com a rodovia; trazendo com isso desconforto aos usuários, bem como a falta de segurança no tráfego dos pedestres.

## **II - Diagnóstico das causas prováveis**

As causas mais frequentes da destruição dos guarda-corpos são em detrimento de impactos de veículos e falta de manutenção periódica. .

A eflorescência na viga e corrosão da armadura da viga principal pode ser causada pela falta de aparelho de drenagem, infiltração por falta de impermeabilização correta, a alta porosidade do concreto, efeito da carbonatação, elevação do nível da água, atrito de partículas sólidas. A fissura e a exposição da armadura podem ser resultantes da associação de recobrimentos pouco espessos, carbonatação e contaminação do concreto por cloretos e dilatação térmica.

Os vazios de concretagem são consequência dos erros da sua execução, principalmente nas etapas de lançamento e adensamento, problemas no detalhamento da armadura ou na montagem das fôrmas.

A erosão das fundações pode ter sido causada pelo rebaixamento do leito do rio ao longo do tempo, variação do nível da água e correntezas; já a erosão do encontro pode ter sido causada pela falta de adequada compactação do maciço e dos taludes, deficiências (ou até a

ausência) da proteção e da drenagem dos taludes, locação inadequada da ponte, concepção inadequada dos encontros e ausência ou deficiência de lajes de transição.

### **III – Sugestões reparatórias**

Essa ponte necessita de um programa de manutenção para efetuar a reconstrução do guarda-corpo e manutenção dos encontros.

Como os vazios de concretagem não apresentam exposição das armaduras, basta fazer o reparo com aplicação de argamassa de cimento e areia fina e com aditivo adesivo sintético.

A corrosão da armadura e eflorescência pode ser tratada da mesma forma como foi supracitada nas pontes anteriores, através de limpeza da corrosão, reconstrução da seção original, tratamentos de impermeabilização, proteção da superfície do tabuleiro e limpeza da eflorescência.

Por se tratar de uma erosão da fundação o ideal seria a reparação usando argamassas ou até mesmo reforço na fundação.

#### **5.1.4 Ponte 4**

##### **Características Físicas**

Sistema estrutural: 2 vigas "T" e 2 Pilares

Comprimento: 30,54 m

Largura : 8,74 m

Extremidades: balanço

Material constituinte: concreto armado

A estrutura da ponte (figura 44) é de concreto armado, tendo suas vigas em "T" apoiadas em pilares e extremidade em balanço. Sua extensão é de 30,54 m e possui largura da pista de 8,74 m com dois acostamentos de 0,87 m cada.

Figura 44 - Vista lateral da ponte 4



Fonte: Autor, 2017.

A ponte apresenta patologias estruturais visíveis com eflorescências, falha de concretagem, fissuras, falha no sistema de drenagem e retenção de sólidos na fundação.

Figura 45- Mau funcionamento do dreno ocasionando umidade e desagregação do concreto



Fonte: autor, 2017.

Figura 46 - Pilar com deslocamento do concreto, corrosão das armaduras e dos estribos na parte inferior



Fonte: Autor, 2017.

Figura 47- Retenção da vegetação



Fonte: Autor, 2017.

## **I - Análise das informações**

Ao analisar a figura 45, observa-se o mau funcionamento do órgão de drenagem ou má localização, por ele ter a função de recolher as águas da superfície do tabuleiro.

Na figura 46, podemos ver a parte inferior do pilar com deslocamento do concreto e corrosão das armaduras dos estribos.

Já na figura 47 a fundação está completamente coberta vegetação, impossibilitando uma análise mais aprofundada.

## **II - Diagnóstico das causas prováveis**

A possível causa foi a má execução do órgão de drenagem (tubo de drenagem curto), acarretando umidade ao redor e conseqüentemente a desagregação do concreto e facilitando a corrosão.

A corrosão da armadura do pilar pode ter sido causada pela alta porosidade do concreto, efeito da carbonatação, recobrimentos pouco espessos ou até mesmo erros na concretagem.

Já para o caso das fundações as causas prováveis são o aumento do nível do rio e a ação dos ventos que levaram as partículas sólidas a se acomodarem nas fundações.

## **III – Sugestões Reparatórias**

Esta ponte necessita de um programa de manutenção para efetuar a reconstrução ou melhoramento do órgão de drenagem e a limpeza da fundação para melhor análise do problema.

Para o caso do pilar, poderia ser reparado através de aplicação de argamassa de cimento e areia fina e com aditivo adesivo sintético.

### **5.1.5 Ponte 5**

#### **Características Físicas**

Sistema estrutural: 2 vigas "T" e 2 Pilares

Comprimento: 48,94 m

Largura : 8,74 m

Extremidades: encontros

Material constituinte: concreto armado

A estrutura da ponte é de concreto armado, tendo suas vigas em “T” apoiadas em pilares com seção circular e extremidade de encontros. Sua extensão é de 48,94 m e possui largura da pista de 8,74m com dois acostamentos de 0,87 m cada.

Figura 48 - Parte da vista lateral da ponte



Fonte: Autor, 2017.

Basicamente foram notados três problemas. O primeiro refere-se à corrosão das armaduras na laje em balanço e na parte superior da viga. O segundo diz respeito à acomodação de partículas sólidas na base do pilar e o terceiro a eflorescência

Figura 49 - Mau funcionamento do dreno ocasionando umidade, desagregação do concreto e corrosão de armadura na laje em balanço.



Fonte: Autor, 2017.

Figura 50 - Corrosões da armadura na viga principal



Fonte: autor, 2017

Figura 51 - Retenção de sólidos



Fonte: Autor, 2017.

## **I - Análise das informações**

Ao analisar a figura 48, nota-se o mau funcionamento do órgão de drenagem ou má localização do mesmo, pois como já foi citado, ele tem função de recolher as águas da superfície do tabuleiro e a corrosão das armaduras nas lajes em balanço.

Na figura 49, podemos ver a parte da viga com um grau de corrosão e eflorescência na estrutura. Já na figura 51 a fundação está completamente coberta por vegetação.

## **II - Diagnóstico das causas prováveis**

A possível causa foi a má execução do órgão de drenagem (tubo de drenagem curto), acarretando em umidade ao seu redor, a desagregação do concreto e a corrosão.

A corrosão da armadura da viga pode ter sido causada pela alta porosidade do concreto, que em contato com a água e os sais presentes da pasta de concreto geraram a eflorescência e a corrosão das armaduras.

Já para o caso das fundações, as causas prováveis são o aumento do nível dos rios, o recalque da fundação e a ação dos ventos, que levaram as partículas sólidas a se acomodarem nas fundações.

## **III – Sugestões Reparatórias**

Essa ponte necessita de um programa de manutenção para efetuar a reconstrução ou melhoramento do órgão de drenagem, aplicar revestimento de proteção e efetuar a limpeza da fundação para uma melhor análise do problema.

Para os problemas da corrosão o ideal seria a limpeza do local e a injeção de resina epóxi, podendo até reparar ou reforçar as regiões com armaduras corroídas.

## 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estruturas de concreto armado estão sujeitas à ação de diversos mecanismos que podem colocá-las em situação de risco, associando assim sua segurança ao conhecimento das principais patologias, suas causas e os possíveis reparos as que estão sujeitas. Essa análise não é uma ciência exata; uma vez que todos os fatores de análise dependem das interpretações de dados de forma subjetiva pelo observador.

A inspeção visual e a coleta de dados in loco é apenas uma das ferramentas utilizadas para identificação dos problemas, que visa obter dados sobre as principais patologias presentes nas pontes da AL-220.

Evidenciou-se através da revisão bibliográfica a importância da elaboração de um bom projeto, importância do controle dos materiais, padronização, qualidade na execução dos serviços e a implementação de sistemas de manutenção para que se tenha uma visão do estado de conservação das pontes, planejando antecipadamente as intervenções a se realizar na estrutura.

As cinco pontes inspecionadas apresentaram patologias diversas e falta de conservação. As patologias recorrentes encontradas nas obras de artes especiais foram: manchas e corrosão do concreto nas faces inferiores das lajes e nas das vigas principais, devido à falta de conformidade com as normas vigentes quanto à espessura da camada de cobertura de concreto ou ao deficiente sistema de drenagem, exposição das armaduras e processos de corrosão, fissurações e eflorescências.

Esse trabalho visou apresentar as principais manifestações patológicas das pontes de concreto armado localizada na Al- 220 , assim como suas possíveis causas e sendo sugerida uma solução viável para cada caso, conclui-se que são muitos os problemas que ocorrem nas pontese que poderiam ser evitados, caso houvesse cuidados com o planejamento, projetos e manutenções adequadas.

Infelizmente, devido à qualidade de acesso das pontes e falta de equipamento adequado para a inspeção, não se pôde em alguns pontos mensurar o tamanho real da patologia.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se aprofundar mais em cada método de inspeção com a utilização de equipamentos, identificação de patologias através de análise de laboratório e analisar economicamente cada método de reforço .

## REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre NBR-7188**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Manutenção de edificações – Procedimento NBR- 5674**. Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto estrutural de Concreto- Procedimento NBR-6118** Rio de Janeiro, 2014.

BRANDÃO, A.M.S.; PINHEIRO, L.M. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

BRIME – **Bridge Management in Europe – Final Report D10. IV Framework programme**. Brussels, 2002.

CALIL JUNIOR, C.; GÓES, J. L. N. **Programa emergencial das pontes de madeira para o Estado de São Paulo** , São Paulo,2004.

CARVALHO, R.C; FIGUEIREDO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo a NBR 6118:2003**. São Carlos, SP: Editora Edufcar, 2014.

CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de edificações habitacionais: Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. 2ª ed. Brasília, Gadioli Cipolla Comunicação, 2013

COST 345, 2007. **Procedures for Assessing Highway Structures, Final report of the COST345 action**. Crowthornes Ljubljana, Disponível em :

<<http://cost345.zag.si:/TransportResearchLaboratory/ZavodzagradbeništvoSlovenije>>

Acesso em: 10 set. 2017

- COSTA, V. M. **Desempenho e Reabilitação de Pontes Rodovárias** : Aplicação a Casos de Estudo. Dissertação (Mestrado), Universidade de Minho, Braga, 2009.
- CREMONINI, R. A. **Incidência de manifestações patológicas em unidades escolares da região de Porto Alegre: Recomendações para projeto, execução e manutenção**. Porto Alegre, 1988. Dissertação ( Mestrado)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS
- CUNHA, A.A. **Estudo das patologias em obras de arte especiais do tipo pontes e viadutos estruturados em concreto**. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Goiás – UEG, Anápolis ,2010.
- CUNHA, D. J. E. **Análise de fissuração em vigas de concreto armado**. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.
- CURCIO, L. C. R. **PONTES RODOVIÁRIAS: Levantamento das principais patologias estruturais**.Trabalho de conclusão de curso (Monografia) – Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco – USF,Itatiba. 2008.
- DEBS, M. K.; TAKEYA, T. **Pontes de Concreto**. São Carlos, USP – Universidade de São Paulo, 2009. Notas de aula.
- DNIT- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES **010 – PRO Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2004.
- DNIT. – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES **Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários**, Rio de Janeiro, 2010
- DNIT-DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. – **Plano Nacional de Pesagem**, Rio de Janeiro, 2010
- GRANATO, J. E. **Patologia das fachadas revestidas de cerâmica e granito**. Patologia das construções. 2005. Notas de aula.
- HELENE, Paulo R. L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1992.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010. **Resultado dos Dados Preliminares do Censo** – 2010. [www.ibge.gov.br/cidade@](http://www.ibge.gov.br/cidade@)
- JAMBO, H. C M; FÓFANO, S. **Corrosão: Fundamentos, monitoração e controle**. 1ª ed. Rio de Janeiro, Editora Ciência Moderna, 2008.

LEONHARDT, F, **Construções de concreto – Princípios básicos da construção de pontes de concreto**, vol. 6, 1ª ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 1979.

MARCHETTI, O. **Pontes de Concreto Armado**. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

MARCONI, M. A. ;LAKATOS, E. M.; **Fundamentos de Metodologia Científica**.4ª ed. São Paulo: Atlas, 2001

MASON, J. **Pontes em Concreto Armado e Protendido**. Rio de Janeiro: LTC, 1977

MATTOS, T. S. **Programa para análise de superestrutura de pontes de concreto armado e protendido**. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3ª ed. São Paulo: IBRACON, 2008

MILANI, C.J. **Subsídios para o diagnóstico das pontes do sistema viário do município de Pato Branco – Paraná**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Passo Fundo- UFR. Passo Fundo, 2010

MOREIRA, C. **Recalibração de estruturas de concreto carbonatado com utilização de gel saturado de solução alcalina**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás-UFG ,Goiânia, 2013.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2ª Ed. Porto Alegre: Brookman, 2013.

OLIVEIRA, G.C. **Pontes, para que?**, Trabalho de conclusão de curso (Monografia) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Paraíba João Pessoa, 1999.

PFEIL, W. **Pontes em Concreto Armado v. 1**, 3ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 1983.

PINHO, F. O, BELLEI, I. H, **Pontes e viadutos em vigas mistas**, 1ª ed. Rio de Janeiro, IBS/CBCA, 2007- Disponível em:  
<[http://lacoferro.com.br/downloads/15\\_cbca\\_pontes\\_viadutos\\_vigas\\_mistas.pdf](http://lacoferro.com.br/downloads/15_cbca_pontes_viadutos_vigas_mistas.pdf)>. Acesso em: 05 set. 2017

RODRIGUES, B. L, QUEIROZ, G. A. TEIXERA, E. R. L ,CARDOSO, F. C. **PONTE AKSHI KAIKYO**. São Paulo: Bruno Lavoratti Rodrigues, 2016. Disponível em:  
<[http://unijipa.edu.br/uploads/files/PONTE\\_AKSHI\\_KAIKYO.pdf](http://unijipa.edu.br/uploads/files/PONTE_AKSHI_KAIKYO.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2017.

SANTOS, C.F, **Patologia de estruturas de concreto armado**. Dissertação (Graduação) – Universidade Federal de Santa Maria -UFSM, Santa Maria-2012

SARTORTI, A. L. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP.** Campinas, 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas

SILVA, F. B. **Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil.** Revista Techne, 2010.

SOUZA, V.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** – São Paulo: Pini, 1998

TAGUCHI, M. K. **Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações.** Dissertação (Mestrado): UFPR, Curitiba, 2010.

TAKEUTI, A. R. **Reforço de pilares de concreto armado por meio de encamisamento com concreto de alto desempenho.** São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

THOMAZ, E. C. S. **Concreto Protendido. Pontes com Tabuleiro Celular.** IME, Rio de Janeiro, Brasil, 2002. Notas de Aula

THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios.** 1ª ed. São Paulo: Pini, 1989.

VASCONCELOS, A. C. **Pontes Brasileiras, Viadutos e Passarelas Notáveis.** São Paulo, 1993.

VITÓRIO, J. A. P. **Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão.** Recife, CREA-PE, 2002.

ZUCHETTI, B. P. A. **Patologias da construção civil: investigação patológica em edifício corporativo de administração pública no Vale Do Taquari/RS.** Dissertação (Graduação)-Centro Universitário UNIVASTE, Lajeado, 2015