

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
ENGENHARIA CIVIL

KAMYLA CARLA SOARES DA SILVEIRA

RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL DE PONTES

NATAL/RN

2019

KAMYL CARLA SOARES DA SILVEIRA

RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL DE PONTES

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

NATAL/RN

2019

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Silveira, Kamyla Carla Soares da.
Recuperação e reforço estrutural de pontes / Kamyla Carla Soares da
Silveira. – Natal, 2019.
95f.

Orientador: Profº. PhD. Fábio Sergio da Costa Pereira.
Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário
do Rio Grande do Norte.

1. Engenharia civil – Monografia. 2. Pontes – Monografia. 3.
Recuperação – Monografia. 4. Reforço – Monografia. I. Pereira, Fábio
Sergio da Costa. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

KAMYL CARLA SOARES DA SILVEIRA

RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL DE PONTES

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira

Orientador – UNI-RN

Prof. MSc. Mariana Freitas

Membro interno – UNI-RN

Prof. Esp. Tarcísio Medeiros

Membro externo – UFRN

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por estar comigo em todos os momentos da minha vida.

A todo o corpo docente da universidade UNI-RN, que contribuem imensamente com seus conhecimentos técnicos para a boa formação profissional de seus alunos.

A minha mãe Danusa Soares e vó Rosa Maria, que apesar de toda a dificuldade, as duas tem me ajudado nessa realização.

Ao meu namorado David Jonas, por ter sido parceiro e paciente o tempo todo, fazendo bastante diferença durante essa fase.

Ao professor e coordenador do curso Fábio Sérgio da Costa Pereira, que aceitou ser meu orientador, contribuindo com seu conhecimento e tempo para elaboração deste trabalho.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A maioria das pontes existentes hoje no Brasil são bastante antigas e tem ficado cada dia mais notório os seus sinais de desgaste, mas não apenas por isso, mas também pelo fato da maior parte delas não terem a devida atenção que merecem, apresentando graves problemas, continuando mesmo assim em operação com o fluxo de tráfego superior ao projeto original.

Quando o desempenho de uma estrutura está comprometido é necessário que intervenções sejam realizadas. Para isso se recorre as técnicas de recuperação que visam restabelecer o seu desempenho e/ou reforço que possibilita aumentar o desempenho dessa.

Este trabalho teve como estudo de caso a ponte Presidente Costa e Silva ou “ponte de Igapó”. A partir da detecção das patologias e realização de ensaios in loco foram detalhados os procedimentos de reparos mais apropriados e modernos que existem atualmente visando o máximo de aumento de sua durabilidade, destacando os procedimentos de aplicação da tela de zinco como proteção catódica, a utilização de concreto projetado com inibidores de corrosão e aplicação de argamassa polimérica. A proposta de intervenção para a ponte apresentada neste trabalho não é a mesma apresentada pelo DNIT/RN, o órgão responsável pela ponte irá realizar apenas uma obra emergencial, não incluindo todos os pilares parede e vigas, utilizando metodologia composta por procedimentos tradicionais de recuperação e reforço.

Palavra-chave: Pontes. Recuperação. Reforço.

.

ABSTRACT

Most of the bridges that exist in Brazil today are quite old and their signs of wear have become more and more noticeable, but not only because of this, but also because most of them do not have the proper attention they deserve, presenting serious problems, while still in operation with traffic flow higher than the original design.

When the performance of a structure is compromised it is necessary that interventions are performed. To this end, recovery techniques are used to restore their performance and / or reinforcement, which allows them to increase their performance.

This work had as a case study the Presidente Costa e Silva bridge or "Igapó bridge". From the detection of the pathologies and on-site tests, the most appropriate and modern repair procedures that are currently in place aiming to maximize their durability have been detailed, highlighting the procedures for applying the zinc screen as cathodic protection, the use of concrete designed with corrosion inhibitors and application of polymer mortar.

The proposal of intervention for the bridge presented in this work is not the same one presented by the DNIT / RN, the body responsible for the bridge will only carry out an emergency work, not including all the wall pillars and beams, using a methodology composed of traditional recovery procedures and reinforcement.

Keyword: Bridges. Recovery. Reinforcement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ponte Presidente Costa e Silva (Igapó)	13
Figura 2 – Detalhe do trecho do viaduto do Eixão Sul que desabou.....	14
Figura 3 – Elementos componentes de uma ponte	21
Figura 4 – Denominações dos elementos relativos à seção transversal.	22
Figura 5 – Denominações dos elementos relativos à seção longitudinal	23
Figura 6 – Esquema estrutural de laje e vigamento do tabuleiro.	24
Figura 7 – Vista de laje e vigamento de tabuleiro.	24
Figura 8 – a) Passeio; b) Barreira de proteção; c) Guarda-corpos.....	25
Figura 9 – Vista de Passeio, barreira de proteção e guarda-corpos de uma ponte..	25
Figura 10 – Detalhamento de cortinas, alas e placas de transição.	26
Figura 11 – Esquema de junta de dilatação do tabuleiro	26
Figura 12 – Detalhe da junta de dilatação da ponte Governador Orestes Quércia ..	27
Figura 13 – Detalhe na drenagem no tabuleiro.....	27
Figura 14 – Plataforma de uma ponte com duas faixas de tráfego	28
Figura 15 – Pistas de rolamento sobre o tabuleiro	28
Figura 16 – Representação dos pilares de uma ponte	29
Figura 17 – Tipos de aparelhos de apoio	30
Figura 18 – Detalhe de aparelho de apoio estrutural em elastômero.....	30
Figura 19 – Fundação profunda tipo estaca	31
Figura 20 – Corte esquemático de um tubulão	31
Figura 21 – Esquema estrutural de Encontros.....	32
Figura 22 – Laje maciça	34
Figura 23 – Laje vazada.....	34
Figura 24 – Detalhe de ponte em laje.....	34
Figura 25 – Esquema de ponte simplesmente apoiada por um único vão	35
Figura 26 – Esquema de ponte simplesmente apoiada com diversos vãos.....	35
Figura 27 – Esquema de ponte simplesmente apoiada em balanço	35
Figura 28 – Esquema de ponte em viga contínua	36
Figura 29 – Vista de ponte em viga	36
Figura 30 – Esquema longitudinal	37
Figura 31 – Esquema de seção transversal de tabuleiro em grelha	37
Figura 32 – Vista da ponte ferroviária São João – Portugal.....	38

Figura 33 – Vista da ponte do Rio Zhijinghe, na china.....	38
Figura 34 – Vista da ponte Hercilio Luz, localizada no estado de Santa Catarina ...	39
Figura 35 – Vista da ponte Newton Navarro – Natal/RN.....	40
Figura 36 – Disposições das cargas estáticas.....	41
Figura 37 – Evolução dos custos nas diversas fases da construção	43
Figura 38 – Esquema de perda de aderência por efeito parede	47
Figura 39 – Detalhe de trinca devido à movimentação das formas.....	47
Figura 40 – Esquema de fissuras e trincas na alma devidas à retração e/ou temperatura.....	48
Figura 41 – Esquema de trincas ou fissuras provocadas por corrosão de armaduras	48
Figura 42 – Esquema de fissuras de retração na alma da viga	49
Figura 43 – Esquema de fissuras típicas de flexão, força cortante, variação de temperatura e/ou retração.....	49
Figura 44 – Esquema da armadura protegida por pastilha	61
Figura 45 – Tela galvânica de proteção.....	62
Figura 46 – Aplicação de película de ZTP	62
Figura 47 – Detalhe do reforço com fibra de carbono na ponte Teles Pires – MT. ...	65
Figura 48 – Sistema de aplicação das folhas de carbono.....	65
Figura 49 – Vista de pilar confinado por lâminas de fibra de carbono.....	67
Figura 50 – Detalhe de vigas reforçadas ao cortante, por lâminas de fibra de carbono.....	67
Figura 51 – Vista do reforço com adição de armadura (encamisamento) na ponte Jerônimo Rosado – Mossoró/RN	68
Figura 52 – Esquema dos Mecanismos da protensão externa	70
Figura 53 – Esquema estrutural de uma viga protendida externamente	70
Figura 54 – Vista da facilidade de inspeção visual do sistema protendido externamente	71
Figura 55 – Vista da ponte Presidente Costa e Silva – Natal/RN	72
Figura 56 – Detalhe da corrosão dos pilares e deslocamento do concreto – Ponte de Igapó.....	74
Figura 57 – Vista do ensaio de probabilidade de corrosão em pilar de concreto armado de ponte rodoviária	77

Figura 58 – Tabela de probabilidade de corrosão em função do potencial em relação ao eletrodo de referência de Ag/AgCl	77
Figura 59 – Representação de carbonatação na parte com coloração incolor após aspersão com solução de nitrato de prata.....	78
Figura 60 – Lápis medidor de pH e paleta de referência	78
Figura 61 – Representação de possíveis cloretos livres (branco) e cloretos combinados (marrom)	79
Figura 62 – Detalhe do aparelho de apoio da primeira ponte de Igapó (1970)	82
Figura 63 – Detalhe do aparelho de apoio da segunda ponte de Igapó (1988)	82
Figura 64 – Vista de dreno mal posicionado sobre talão inferior da viga	83
Figura 65 – Vista de junta longitudinal com problemas de vedação	83
Figura 66 – Detalhe de infiltração causada por deficiência na junta de dilatação	84
Figura 67 – Detalhe de fissuras no pavimento sobre a junta	84
Figura 68 – Detalhe de fissura em um dos encontros.....	85
Figura 69 – Detalhe de fissura com 2,5 mm de espessura	85
Figura 70 – Detalhe do passeio danificado.....	86

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Geral	15
1.2.2 Específicos	15
1.3 JUSTIFICATIVA	16
1.4 METODOLOGIA	17
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 HISTÓRICO DE PONTES	19
3 CONCEITOS E ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE PONTES	21
3.1 ELEMENTOS ESPECÍFICOS DA SUPERESTRUTURA:	23
3.1.1 Lajes do tabuleiro	23
3.1.2 Vigamento do tabuleiro	23
3.1.3 Passeios de pedestres, guarda-corpos e barreiras	24
3.1.4 Cortinas e alas	25
3.1.5 Placa de transição	25
3.1.6 Juntas de dilatação	26
3.1.7 Sistema de drenagem	27
3.1.8 Faixa de rolamento	27
3.2 ELEMENTOS ESPECÍFICOS DA MESOESTRUTURA	29
3.2.1 Pilares	29
3.2.2 Aparelhos de apoio	29
3.3 ELEMENTOS ESPECÍFICOS DA INFRAESTRUTURA	30
3.3.1 Fundações profundas	31
3.4 CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES	32
3.4.1 Quanto à finalidade	33
3.4.2 Quanto aos materiais	33

3.4.3 Quanto ao sistema estrutural	33
3.4.3.1 Pontes em laje	33
3.4.3.2 Pontes em viga	34
3.4.3.3 Pontes em grelha	37
3.4.3.4 Pontes em pórticos.....	37
3.4.3.5 Pontes em arco	38
3.4.3.6 Pontes pênséis.....	39
3.4.3.7 Pontes estaiadas.....	39
3.5 CARREGAMENTOS/SOLICITAÇÕES	40
4 MANUTENÇÃO DE PONTES	43
4.1 FATORES QUE PROVOCAM A DETERIORAÇÃO DAS PONTES	44
4.2 PROCESSOS FÍSICOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO E SUAS CARACTERÍSTICAS	45
4.2.1 Contração Plástica do Concreto	46
4.2.2 Assentamento do concreto/ Perda de aderência	46
4.2.3 Movimentação de formas e escoramentos	47
4.2.4 Retração do concreto	48
4.2.6 Fissuras do concreto na fase de utilização da estrutura	49
4.2.7 Fissuras do concreto causadas pelo tráfego de cargas móveis	49
4.3 PROCESSOS QUÍMICOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO E SUAS CARACTERÍSTICAS	50
4.3.1 Ataques de sulfatos	50
4.3.2 Ataques de cloretos	51
4.3.3 Carbonatação do concreto	51
4.3.4 Reação álcali-agregado	52
4.3.5 Agressividade do meio ambiente	52
4.3.6 Corrosão das armaduras	53
5 TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE PONTES.....	55

5.1 TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO E TRATAMENTOS	55
5.1.1 Remoção e substituição de concreto	55
5.1.2 Remoção de corrosão	56
5.1.3 Remoção de manchas	57
5.1.4 Tratamento de vazios, cavidades, ninhos e disgregações	57
5.1.5 Tratamento de trincas e fissuras	57
5.1.6 Corrosão	58
5.1.7 Proteção catódica	60
5.1.7.1 Proteção catódica galvânica:.....	60
5.1.7.2 Proteção catódica por corrente impressa	63
5.2 TÉCNICAS DE REFORÇO E TRATAMENTOS	64
5.2.1 Reforço mediante fibras de carbono	64
5.2.2 Reforço mediante aumento da seção transversal	68
5.2.4 Reforço com protensão externa	69
6 ESTUDO DE CASO	72
6.1 PONTE DE IGAPÓ	72
6.2 ENSAIOS REALIZADOS.....	76
6.2.1 Ensaio de probabilidade de corrosão	76
6.2.2 Ensaio de presença e profundidade de carbonatação e pH do concreto .	77
6.2.3 Ensaio de presença e profundidade de cloretos por meio de método colorimétrico	79
6.2.4 Ensaio de resistência à compressão	79
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES	80
7.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS	80
7.1.1 Ensaio de probabilidade de corrosão	80
7.1.2 Ensaio de presença e profundidade de carbonatação e pH do concreto .	80
7.1.3 Ensaio de presença e profundidade de cloretos por meio de método colorimétrico	81

7.1.4 Ensaio de resistência à compressão	81
7.1.5 Aparelhos de apoio	81
7.1.6 Drenagem	82
7.1.7 Juntas de dilatação	83
7.1.8 Encontros	84
7.2 SERVIÇOS PROPOSTOS DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL	86
8 CONCLUSÕES.....	89
REFERÊNCIAS	90

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o dicionário Priberam (DICIONÁRIO..., 2013), uma ponte é definida como “construção que liga dois pontos separados por um curso de água ou por uma depressão de terreno”. Esta definição, em sua essência, encontra-se em consonância com todas as diferentes definições das diversas áreas do conhecimento: a ideia de interligação.

A maioria das pontes e viadutos foi construída entre as décadas de 1960 e 1970 e, atualmente, boa parte delas carece de obras de reparo e recuperação visto que o volume de veículos que transita pelas obras de arte aumentou, ocasionando um dos problemas mais frequentes nesse tipo de construção: a fissuração e corrosão das armaduras (Figura 1) (ROCHA, 2016).

Figura 1 – Ponte Presidente Costa e Silva (Igapó)



Fonte: Pereira (2018, s. 79).

No Brasil, a discussão sobre problemas ligados a falta de manutenções das obras civis vêm ganhando ênfase; a sociedade tem notado a desatenção por parte das autoridades para com essas edificações, destacando principalmente as obras de arte especiais (OAE), que são as pontes e grandes estruturas, das quais muitas sequer passaram por uma única manutenção desde que foram inauguradas. No geral, as estruturas “avisam” quando algo não está indo bem e é importante ficar atento a estes sinais, pois são a partir deles que se pode evitar inúmeros danos à estrutura dessas obras e até mesmo acidentes catastróficos, como já ocorreu em diversos lugares do mundo. Um exemplo ocorrido aqui no Brasil foi o desabamento

de um trecho do viaduto do Eixão Sul (Figura 2), situado na área central de Brasília no dia 06/02/2018. O caso foi bastante divulgado pela imprensa, e segundo a defesa civil em reportagem ao G1 do DF, não houve vítimas, no entanto, carros ficaram soterrados e alguns danificados. Nos últimos anos através de estudos, constatou-se e até mesmo foi alertado, que o viaduto precisava urgentemente de reparos, assim também como outros da cidade incluindo as pontes.

Figura 2 – Detalhe do trecho do viaduto do Eixão Sul que desabou



Fonte: G1, DF (2018).

Na busca pela segurança contínua das pontes a engenharia tem se preocupado com a otimização dos métodos de recuperação e reforço dessas edificações, sem deixar a estética de lado. É necessário deixar claro que os métodos de recuperação e reforço diferem entre si, uma vez que o reforço pode ser entendido como “o aumento da capacidade resistente da estrutura, em um nível superior que o proposto no projeto original. Já a recuperação trata-se da substituição ou correção de materiais, componentes ou elementos deteriorados ou danificados” (DNIT, 2010, p. 33-34).

Para que os procedimentos de recuperação e/ou reforço sejam executados é necessário, a princípio, que se faça uma inspeção de toda a estrutura permitindo a identificação das patologias existentes e, a partir destas, encontrar os métodos mais apropriados de intervenção. Neste trabalho serão descritas as metodologias executivas para recuperação e reforço de pontes.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

O trabalho teve como objetivo realizar um estudo das principais técnicas utilizadas para a recuperação e reforço de pontes, em decorrência das manifestações patológicas existentes nessas estruturas, através de pesquisa bibliográfica de tccs, artigos, etc.

1.2.2 Específicos

Identificar as manifestações patológicas existentes propondo soluções para as mesmas apresentando as técnicas mais adequadas que podem ser úteis para o tratamento de recuperação/reforço da ponte Presidente Costa e Silva - Igapó - Natal/RN.

1.3 JUSTIFICATIVA

Diante do cenário atual das obras civis, em especial as pontes, vemos no geral que elas estão envelhecendo, muitas se encontram bastante deterioradas e, em consequência disso, apresentam baixo desempenho. Muitas delas antes mesmo de atingir o tempo de vida útil já começam a apresentar problemas e isso normalmente decorre da insuficiência de fatores que são decisivos para a integridade da estrutura, como o uso de materiais de boa qualidade, execução adequada, mão de obra qualificada e projetos devidamente especificados, além da manutenção periódica.

As pontes são de suma importância para toda a sociedade, pois facilitam a passagem de pedestres e veículos em locais onde o acesso é limitado, ao mesmo tempo em que melhoram o tráfego nas grandes cidades. Ao analisar a importância desse tipo de obra percebe-se a grande necessidade de mantê-las íntegras. Para isso é vital a periodicidade de inspeções e manutenções no local.

A opção pelo tema “recuperação e reforço estrutural de pontes” advém da expressiva ocorrência de manifestações patológicas nas pontes do Brasil, decorrente da falta de manutenções preventivas. O trabalho teve o intuito de fazer uma análise das patologias e apresentar propostas de soluções de intervenção para a ponte Presidente Costa e Silva (Igapó), na cidade de Natal/RN.

1.4 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado mediante estudo de caso da ponte Presidente Costa e Silva ou “ponte de Igapó”, localizada na cidade de Natal-RN, no qual, inicialmente foram expostas as manifestações patológicas existentes, em seguida os ensaios realizados na estrutura, onde estão citados a seguir:

- Ensaio de probabilidade de corrosão: (**Norma ASTM-C876**);
- Ensaio de presença e profundidade de carbonatação (**solução de fenolftaleína**) e pH do concreto (**lápis medidor de pH**);
- Ensaio de presença e profundidade de cloretos (**solução de nitrato de prata**);
- Resistência à compressão: (**NBR 7680-1 e 5739**);

Baseado na análise dos resultados dos ensaios, foram apresentadas às soluções mais adequadas para a recuperação e reforço estrutural da ponte de Igapó.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se dividido em 8 capítulos.

- ✓ O primeiro capítulo, discorre toda a introdução do tema que será abordado incluindo os objetivos, justificativa e metodologia.
- ✓ O segundo capítulo, inicia o referencial teórico deste trabalho com o histórico de pontes, finalizando essa bibliografia no quinto capítulo.
- ✓ O sexto capítulo, inicia o estudo de caso, no qual trata do histórico e estrutura da ponte de Igapó juntamente com os ensaios realizados na mesma para o estudo.
- ✓ O sétimo capítulo, trata dos resultados obtidos após os ensaios e propostas de intervenções para a ponte de Igapó.
- ✓ O oitavo, finaliza com as conclusões do TCC.

2 HISTÓRICO DE PONTES

Para Debs e Takeya (2007, p. 7), um histórico das pontes pode ser explicado, de forma resumida, a partir dos materiais empregados na sua construção.

Pontes de madeira - a madeira tem sido empregada desde a antiguidade na construção de pontes, inicialmente com arranjos estruturais bastante simples, geralmente para a travessia de rios e lagos. Destaca-se que com este material chegou-se a construir pontes com vãos consideráveis, como o de uma ponte construída em 1758, sobre o rio Reno, com 118 metros de vão.

Pontes de pedra - a pedra também era empregada desde a antiguidade, na construção de pontes. Os romanos e os chineses já construíam abóbadas em pedra antes de Cristo. Os romanos chegaram a construir pontes, em forma de arco semicircular com até 30 metros de vão. Foi grande o número de pontes em pedra construídas pelos romanos; a maior parte destas desabaram, principalmente por problemas de fundação ou então foram demolidas por questões bélicas, mas até hoje existem algumas que permanecem. Na idade média as abóbadas ficaram mais abatidas, chegando a atingir vãos da ordem de 50 metros.

Pontes metálicas - embora as primeiras pontes metálicas tenham surgido no fim do século XVIII, em ferro fundido, foi a partir da metade do século seguinte, com o desenvolvimento das ferrovias - que produziam cargas bem mais elevadas que as que ocorriam até então - é que floresceu o emprego do aço na construção das pontes. Cabe destacar que já a partir de 1850 construíam-se pontes em treliça com 124 metros de vão.

Pontes de concreto armado - as pontes em concreto armado apareceram no início do século 20. Eram pontes de concreto simples em arco triarticulado, com o material substituindo a pedra. Embora já se empregasse o concreto armado na execução do tabuleiro das pontes de concreto simples, foi a partir de 1912 que começaram a ser construídas as pontes de viga e de pórtico em concreto armado, com vãos de até 30 metros.

Pontes de concreto protendido - embora as primeiras pontes em concreto protendido tenham sido feitas a partir de 1938, foi após a Segunda Guerra Mundial que o concreto protendido começou a ser empregado com grande frequência, por causa da necessidade de se reconstruir rapidamente muitas pontes destruídas durante a guerra.

A partir de então, o desenvolvimento da construção das pontes se concentrou nos processos construtivos.

3 CONCEITOS E ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE PONTES

Tendo em vista os aspectos estruturais, as pontes no geral podem ser subdivididas em três grupos dos seguintes elementos: superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura (Figura 3).

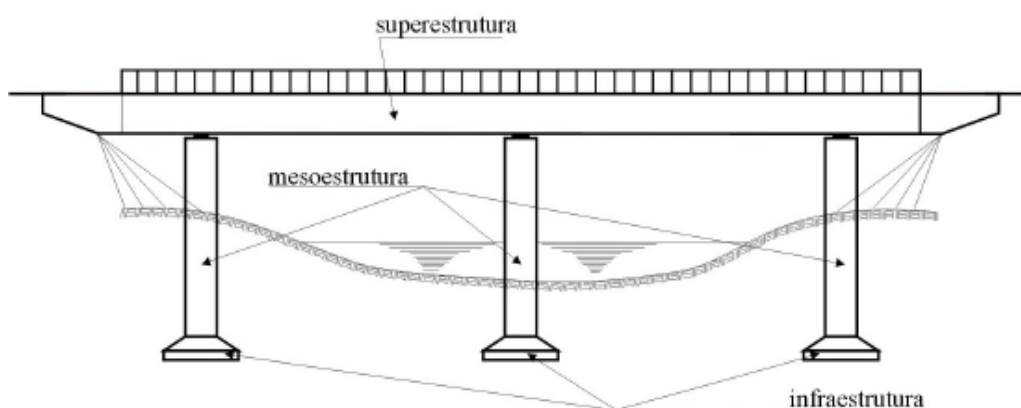
Segundo Vitório (2002), podemos definir os elementos da seguinte forma:

Superestrutura: A superestrutura vence o vão necessário a ser transposto pela ponte e recebe diretamente as cargas provenientes do tráfego dos veículos, transmitindo-as à mesoestrutura. É comumente denominada de tabuleiro ou estrado, caracterizada pelo vigamento longitudinal (vigas principais ou longarinas), e de vigamento transversal (transversinas) e das lajes superior, e inferior (no caso de estrado celular).

Mesoestrutura: Tem função de conduzir as cargas da superestrutura para as fundações, é constituída pelos pilares, travessas e encontros.

Infraestrutura: A Infraestrutura, ou fundação, tem intuito de receber as cargas da estrutura, conduzindo-as para o solo. Pode ser direta (sapatas) ou profunda (estacas ou tubulões).

Figura 3 – Elementos componentes de uma ponte



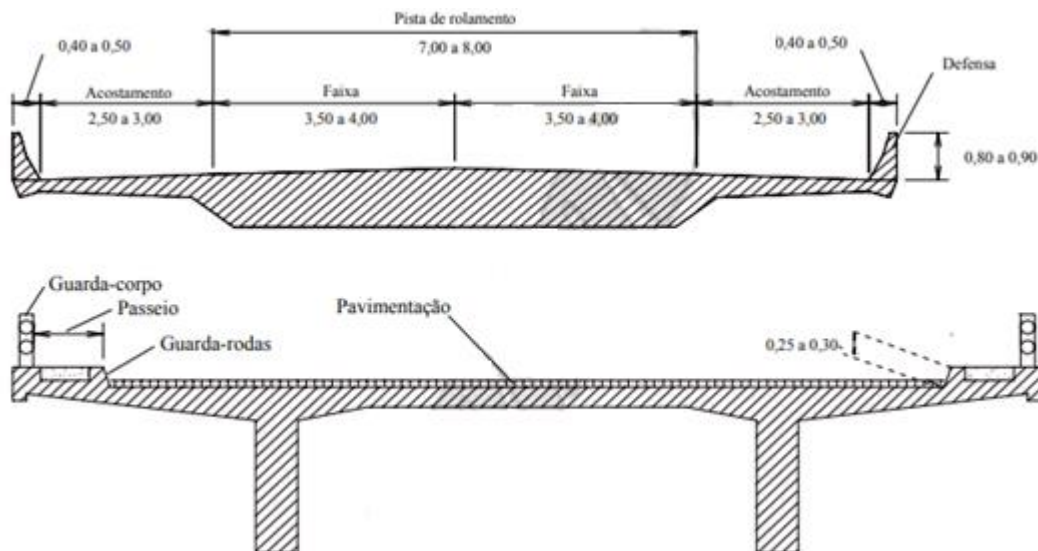
Fonte: Vitório (2002).

Com relação à seção transversal, como mostrada na (Figura 4) podem aparecer os seguintes elementos (DEBS; TAKEYA, 2007, p. 10).

- **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-rodas** - elemento destinado a impedir a invasão dos passeios pelos veículos;
- **Guarda corpo** - elemento de proteção aos pedestres.

Figura 4 – Denominações dos elementos relativos à seção transversal.

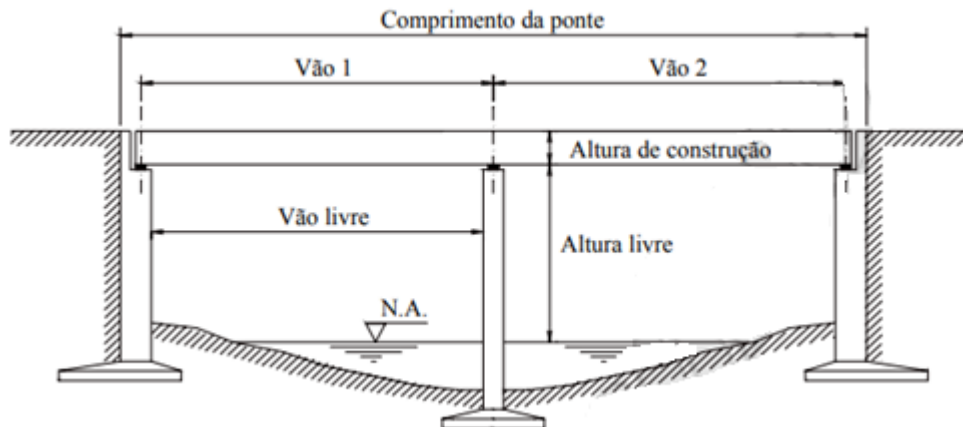


Fonte: Debs e Takeya (2007).

Com relação à seção longitudinal, mostrada na (Figura 5), têm-se as seguintes denominações:

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

Figura 5 – Denominações dos elementos relativos à seção longitudinal



Fonte: Debs e Takeya (2007).

Para Vitório (2002), a subdivisão dos grupos da superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura são constituídos dos seguintes elementos a seguir.

3.1 ELEMENTOS ESPECÍFICOS DA SUPERESTRUTURA:

- Lajes do tabuleiro;
- Vigamento do tabuleiro;
- Passeios de pedestres, guarda-corpos e barreiras;
- Cortinas e alas;
- Placa de transição;
- Juntas de dilatação;
- Sistema de drenagem;
- Pista de rolamento dos veículos.

3.1.1 Lajes do tabuleiro

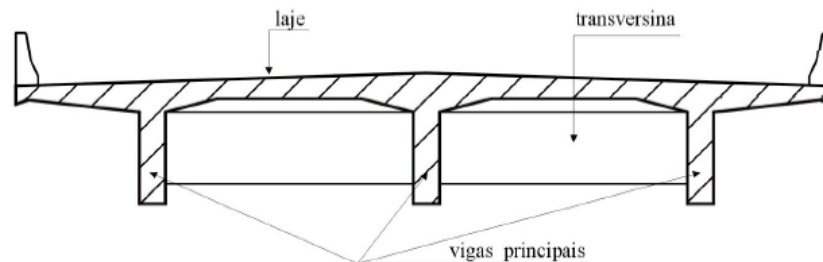
As lajes suportam diretamente as pistas de rolamento e os passeios de pedestres. Geralmente são executadas em concreto armado e, eventualmente, em concreto protendido (Figuras 6 e 7).

3.1.2 Vigamento do tabuleiro

O vigamento do tabuleiro é composto pelas vigas longitudinais (vigas

principais ou longarinas) que tem a função de vencer o vão livre entre os apoios e de suportar as cargas atuantes sobre a superestrutura, transferindo-as para os pilares ou encontros e pelas vigas transversais (transversinas) que podem ser ligadas ou separadas da laje e têm a função de contraventamento, além de colaborar na distribuição das cargas do tabuleiro para o vigamento principal, como é o caso das pontes em grelha, (Figuras 6 e 7).

Figura 6 – Esquema estrutural de laje e vigamento do tabuleiro.



Fonte: Vitório (2002).

Figura 7 – Vista de laje e vigamento de tabuleiro.



Fonte: Pereira (2018, s. 30).

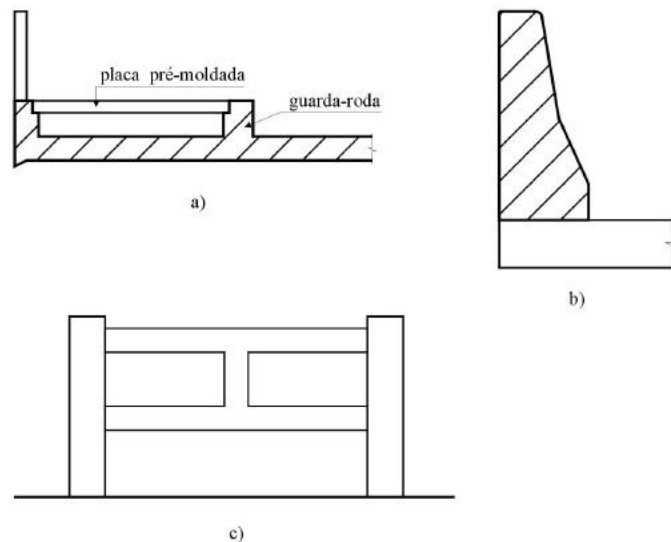
3.1.3 Passeios de pedestres, guarda-corpos e barreiras

Os passeios são larguras adicionais destinadas exclusivamente ao tráfego de pedestres. (Figura 8 e 9)

Os guarda-corpos são elementos laterais que servem de proteção aos pedestres. (Figura 8 e 9)

As barreiras de proteção são obstáculos a fim de impedir a saída de veículos da pista de rolamento. (Figura 8 e 9)

Figura 8 – a) Passeio; b) Barreira de proteção; c) Guarda-corpos



Fonte: Vitório (2002).

Figura 9 – Vista de Passeio, barreira de proteção e guarda-corpos de uma ponte



Fonte: Pereira (2018, s. 23).

3.1.4 Cortinas e alas

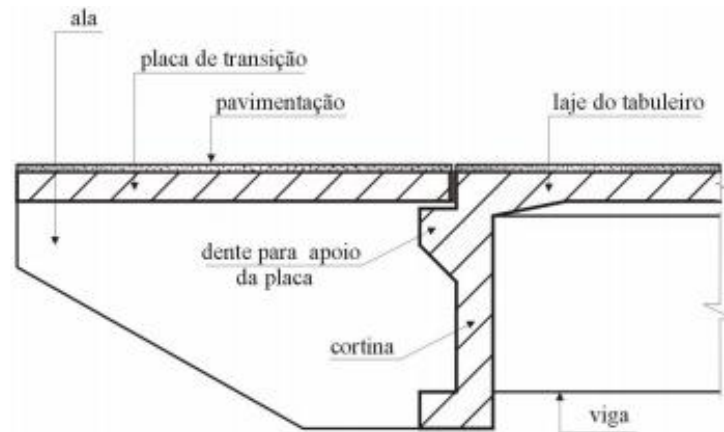
As extremidades das pontes são em geral dotadas de alas laterais com a função de aperfeiçoar as condições de contenção lateral dos aterros. As pontes com vigas em balanço também são dotadas de cortinas extremas (Figura 10).

3.1.5 Placa de transição

É composta de uma laje de concreto armado apoiada, de um lado, numa extremidade da ponte, e do outro lado, apoiada no terrapleno. A finalidade da placa de transição é amenizar a diferença de nível entre o aterro das cabeceiras e o

estrado da ponte, provocada por recalques do terrapleno ao longo do tempo (Figura 10).

Figura 10 – Detalhamento de cortinas, alas e placas de transição.

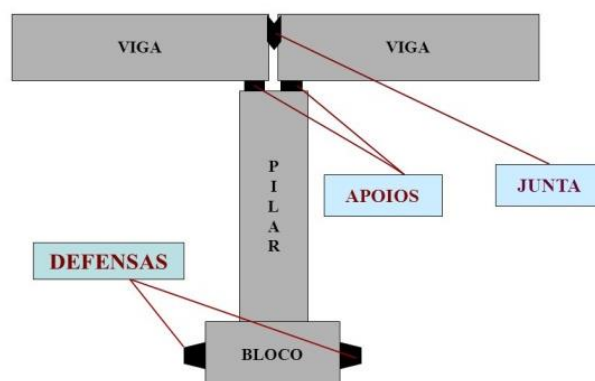


Fonte: Vitório (2002).

3.1.6 Juntas de dilatação

As juntas de dilatação são colocadas nos locais de encontro do vigamento, geralmente dotadas em projetos de pontes com grande comprimento, na qual tem a função de permitir os movimentos gerados pela variação de temperatura, retração e fluência do concreto. As juntas ajudam a evitar a fadiga estrutural dessas pontes, os detalhes estão indicados nas figuras 11 e 12.

Figura 11 – Esquema de junta de dilatação do tabuleiro



Fonte: Pereira (2018, s. 138).

Figura 12 – Detalhe da junta de dilatação da ponte Governador Orestes Quércia



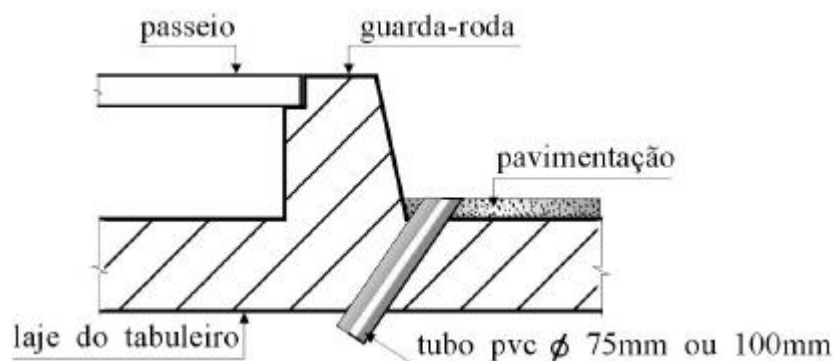
Fonte: Valquer (2016).

3.1.7 Sistema de drenagem

Para um bom desempenho da estrutura de uma ponte e para sua durabilidade é necessário que exista um eficiente sistema de drenagem.

Geralmente o escoamento das águas das chuvas sobre a ponte é feito através de drenos executados com tubos de PVC de 75 mm, ou 100mm, espaçados ao longo das bordas da pista de rolamento. A inclinação transversal da pista (mínimo de 2%) conduz a água para as bordas onde se encontram os drenos (Figura 13).

Figura 13 – Detalhe na drenagem no tabuleiro



Fonte: Vitório (2002).

3.1.8 Faixa de rolamento

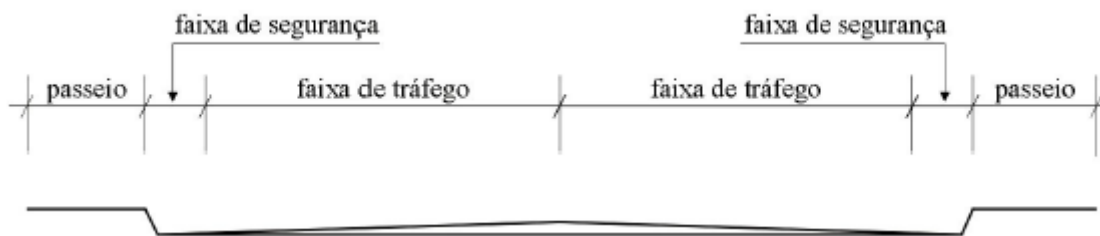
Nas pontes com superestrutura em concreto podem ser adotadas três

soluções para a faixa de rolamento:

- Pavimentação com asfalto (CBUQ);
- Revestimento fino de concreto sobre a laje;
- Laje estrutural sem revestimento.

A mais aplicada é a solução em pavimentação asfáltica, por apresentar bom desempenho e facilidade de manutenção. A largura da plataforma da ponte é determinada pelas faixas de rolamento ou de tráfego. A largura mínima de uma faixa de rolamento é de 3,00 m, sendo usualmente adotada 3,50 m. Além das faixas de rolamento, a plataforma pode ser também composta de faixa de segurança, acostamentos e passeios (Figura 14 e 15).

Figura 14 – Plataforma de uma ponte com duas faixas de tráfego



Fonte: Vitorio (2002).

Figura 15 – Pistas de rolamento sobre o tabuleiro



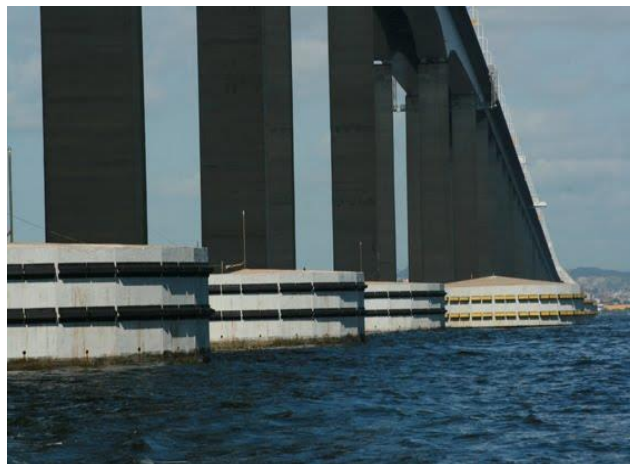
Fonte: Pereira (2018, s. 19).

3.2 ELEMENTOS ESPECÍFICOS DA MESOESTRUTURA

3.2.1 Pilares

Os pilares (Figura16) são localizados a cada linha de apoio transversal do tabuleiro. Suas quantidades, formas e dimensões dependem de diversos fatores como a altura da obra, a largura da superestrutura e o tipo de fundação.

Figura 16 – Representação dos pilares de uma ponte



Fonte: Pereira (2018, s. 21).

3.2.2 Aparelhos de apoio

A transferência das cargas do tabuleiro para os pilares ou encontros se dá através de elementos de transição denominados aparelhos de apoio (Figura 17 e 18), eles podem permitir determinados movimentos na estrutura e restringir alguns, conforme o tipo de obra.

Podem ser classificados em fixos, móveis e elastoméricos.

Os aparelhos fixos permitem movimentos de rotação e impedem os de translação, transmitindo esforços verticais e horizontais. São utilizados na forma de articulações de concreto, também conhecidos como articulações Freyssinet.

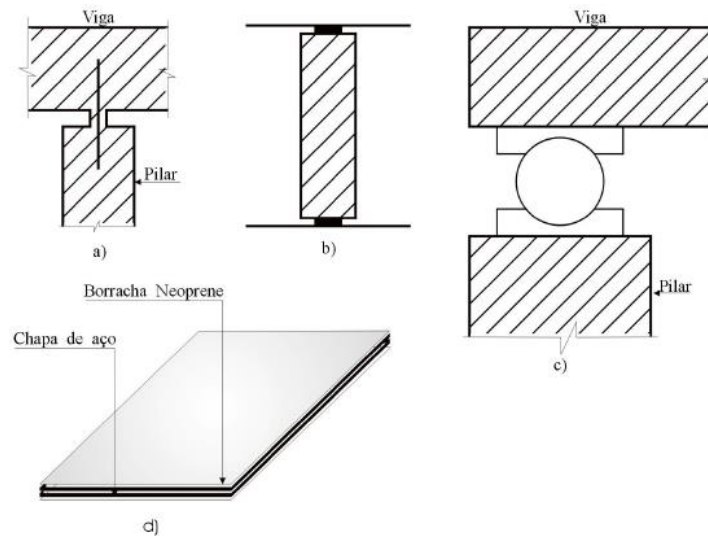
Os aparelhos móveis permitem movimento de rotação e translação horizontal, transmitindo apenas esforços verticais. São constituídos por pêndulos de concreto ou rolos metálicos.

Os apoios elastoméricos são aparelhos elásticos de borracha fretada (Neoprene) que permitem pequenos movimentos horizontais e rotações. São constituídos de camadas de Neoprene coladas a chapas metálicas de pequena espessura.

Devido às propriedades de elasticidade, à elevada resistência e à grande

durabilidade, os aparelhos de apoio de Neoprene têm-se firmado cada vez mais como a melhor solução para os projetos de pontes rodoviárias. (VITÓRIO, 2002, p. 22).

Figura 17 – Tipos de aparelhos de apoio



Aparelhos de apoio: a) apoio fixo conhecido como articulação Freyssinet; b) apoio móvel em pêndulo de concreto; c) apoio móvel em rolo metálico; d) apoio elastomérico em neoprene fretado

Fonte: Vitório (2002).

Figura 18 – Detalhe de aparelho de apoio estrutural em elastômero



Fonte: Pereira (2018, s. 154).

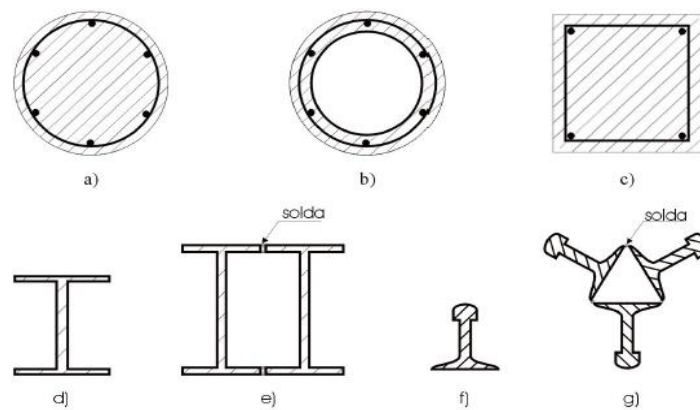
3.3 ELEMENTOS ESPECÍFICOS DA INFRAESTRUTURA

A infraestrutura de uma ponte é basicamente constituída pela fundação, o tipo de fundação de uso mais corrente em pontes são as do tipo profunda, como as estacas e tubulões.

3.3.1 Fundações profundas

Estacas: elementos estruturais em concreto, aço ou madeira, cravados por equipamentos apropriados, podem ser pré-moldadas ou moldadas in loco (Figura 19).

Figura 19 – Fundação profunda tipo estaca

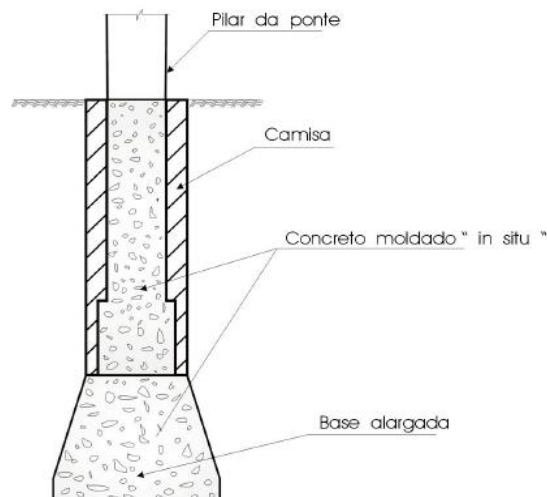


Exemplos de seções transversais de estacas: a) estaca circular de concreto; b) estaca circular oca de concreto; c) estaca quadrada de concreto; d) perfil metálico H ou I; e) perfil metálico duplo I; f) trilho simples; g) perfil formado por três trilhos soldados

Fonte: Vitório (2002).

Tubulões: Moldadas *in situ*, executadas por escavação a céu aberto ou com a utilização de ar comprimido no interior de camisas metálicas ou de concreto armado (Figura 20) (VITÓRIO, 2002).

Figura 20 – Corte esquemático de um tubulão



Fonte: Vitório (2002).

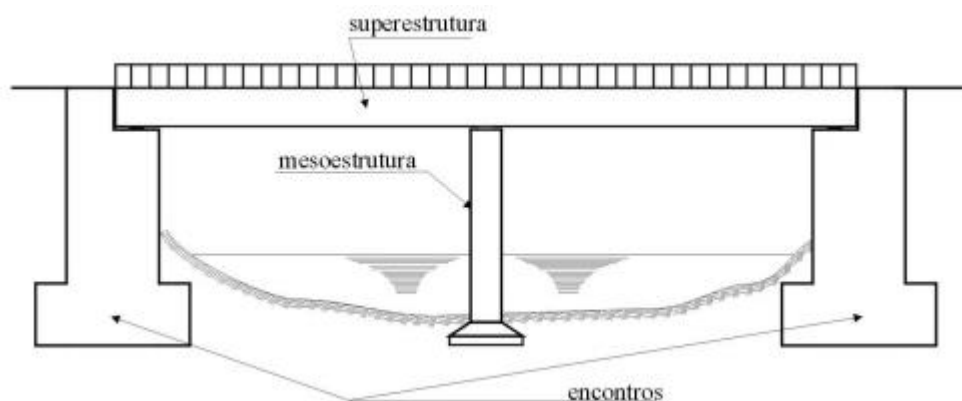
Os tubulões são constituídos das seguintes partes:

- camisa – de aço ou de concreto pré-moldado;
- fuste – executado no local;
- base – alargada ou não.

Encontros: Há determinados tipos de obras que necessita da utilização dos encontros (Figura 21), que são elementos que além de receberem as cargas provenientes da superestrutura, fazem a contenção dos aterros nas extremidades da ponte, recebendo, também, os empuxos horizontais causados por esses aterros. (VITÓRIO, 2002, p. 9).

“Quando não há perigo de erosão pelo curso de água os encontros podem não ser executados, a ponte apresenta então extremos em balanço ficando geralmente os pilares extremos sujeitos a empuxo dos aterros de acesso” (PEREIRA, 2018). Pode ainda ocorrer à necessidade da inclusão de viadutos de acesso anteriores à ponte.

Figura 21 – Esquema estrutural de Encontros



Fonte: Vitório (2002).

3.4 CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES

Para Vitório (2002), “as pontes são geralmente classificadas quanto à finalidade, quanto ao tipo de material empregado e quanto ao sistema construtivo adotado”.

3.4.1 Quanto à finalidade

- Rodoviária – obra destinada ao tráfego rodoviário;
- Ferroviária – obra destinada ao tráfego ferroviário;
- Rodoferroviária – obra destinada ao tráfego misto de veículos e trens;
- Passarela – obra destinada exclusivamente ao tráfego de pedestres;
- Aeroviária – obra destinada ao tráfego de aeronaves nos pátios dos aeroportos.

3.4.2 Quanto aos materiais

- Madeira;
- Pedra;
- Metálica;
- Concreto armado;
- Concreto protendido;
- Pré-moldadas.
- Mistas (concreto e aço).

3.4.3 Quanto ao sistema estrutural

3.4.3.1 Pontes em laje

As pontes em lajes maciças são desprovidas de qualquer vigamento, são utilizadas comumente em caso de pequenos vãos (máximo 15m), isso porque apresentam um elevado peso próprio. Para vãos maiores costuma-se adotar lajes ocas ou alveolares com formas tubulares perdidas, reduzindo assim o peso próprio da mesma. As pontes em laje (Figura 22, 23 e 24), apresentam boas vantagens como, por exemplo, pequena altura de construção, resistência ao fissuramento, simplicidade e rapidez na construção e grande resistência à torção, (VITÓRIO, 2002).

Figura 22 – Laje maciça

Fonte: Vitório (2002).

Figura 23 – Laje vazada

Fonte: Vitório (2002).

Figura 24 – Detalhe de ponte em laje

Fonte: Obras (2019).

3.4.3.2 Pontes em viga

O sistema de pontes em viga é caracterizado por vigas longitudinais (longarinas) que tem a função de suportar o tabuleiro que é por onde ocorre o tráfego. Em muitos casos são introduzidas vigas transversais (transversinas) que auxiliam no aumento da rigidez do sistema estrutural.

- Pontes em vigas simplesmente apoiadas.

Vinculação normalmente aplicada em pontes que utilizam vigas pré-moldadas, dessa forma barateando o custo da obra. Podem ter seção constante ou variável, utilizadas para vencer vãos com um único tramo (Figura 25) ou por uma sucessão de tramos (Figura 26), ou seja, uma série de vigas assentes sobre apoios

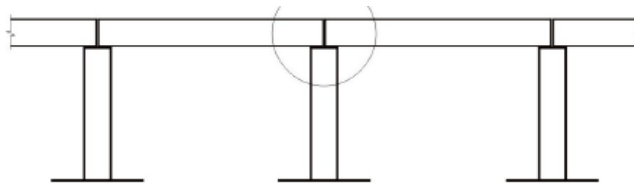
sucessivos (VITÓRIO, 2002).

Figura 25 – Esquema de ponte simplesmente apoiada por um único vão



Fonte: Vitório (2002).

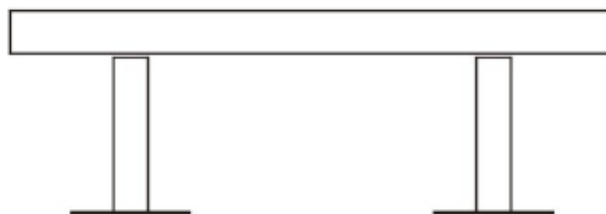
Figura 26 – Esquema de ponte simplesmente apoiada com diversos vãos



Fonte: Vitório (2002).

Algumas pontes são constituídas por vigas simplesmente apoiadas com extremos em balanços, (Figura 27). Esse tipo de estrutura permite uma melhor distribuição dos esforços solicitantes, pois ao introduzir momentos negativos nos apoios haverá uma diminuição dos momentos positivos no meio do vão (DEBS; TAKEYA, 2007).

Figura 27 – Esquema de ponte simplesmente apoiada em balanço



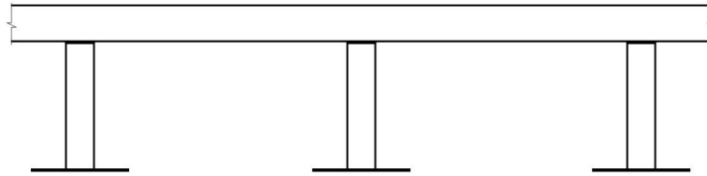
Fonte: Vitório (2002).

- Pontes em vigas contínuas

As pontes em vigas contínuas (Figura 28 e 29), são muito utilizadas devido às vantagens de ordem estética, funcional e estrutural. As vigas podem ter inércia constante ou variável. A inércia constante é utilizada no caso de vãos pequenos, enquanto a inércia variável é utilizada para grandes vãos, com o intuito de permitir uma boa distribuição dos esforços solicitantes ao mesmo tempo que proporciona

uma melhor aparência para a obra, e diminuição do peso próprio (VITÓRIO, 2002).

Figura 28 – Esquema de ponte em viga contínua



Fonte: Vitório (2002).

Figura 29 – Vista de ponte em viga

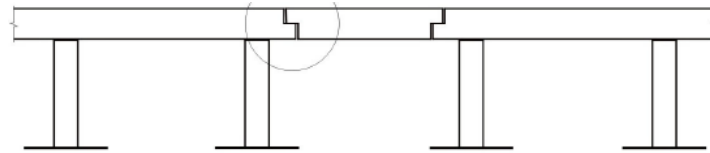


Fonte: Pereira (2018, s. 103).

- Pontes em vigas Gerber

Atualmente estão em desuso, embora aparentem ser constituídas de vigas contínuas, são na verdade estruturas isostáticas insensíveis aos recalques de apoio. Foram muito utilizadas quando, necessitando-se de uma grande quantidade de apoios, não havia maiores conhecimentos sobre o comportamento do terreno de fundação (VITÓRIO, 2002).

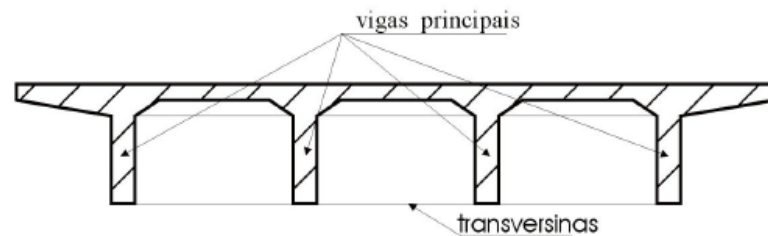
Devido a algumas desvantagens esse tipo de estrutura deixou de ser utilizada por possuir algumas desvantagens significantes referentes por exemplo às articulações, execução, comportamento e manutenção dos dentes Gerber (Figura 30) (VITÓRIO, 2002).

Figura 30 – Esquema longitudinal

Fonte: Vitório (2002).

3.4.3.3 Pontes em grelha

Seu sistema estrutural é constituído por três ou mais vigas longitudinais, com vigas transversinas intermediárias e de apoio que regulam a distribuição dos carregamentos entre as vigas (Figura 31) (VITÓRIO, 2002).

Figura 31 – Esquema de seção transversal de tabuleiro em grelha

Fonte: Vitório (2002).

3.4.3.4 Pontes em pórticos

Nesse tipo de ponte os pórticos são formados pela ligação das vigas com os pilares ou com as paredes dos encontros, causando a continuidade entre esses elementos em substituição às articulações (Figura 32) (VITÓRIO, 2002).

Como as extremidades da viga são engastadas nos encontros, os momentos negativos de engastamento reduzem o momento positivo, possibilitando a redução de altura no vão (VITÓRIO, 2002).

Os pórticos de concreto armado mais usuais são: biengastados e biarticulados (VITÓRIO, 2002).

Figura 32 – Vista da ponte ferroviária São João – Portugal



Fonte: Ponte... (2019).

3.4.3.5 Pontes em arco

O emprego deste tipo de ponte atualmente é bem menor que no passado, aonde era a alternativa mais viável para se vencer grandes vãos (Figura 33).

A predominância dos esforços de compressão com pequena excentricidade e a exigência de pequenas seções de armações fizeram do arco a estrutura adequada para a utilização do concreto armado. Porém, com a evolução do concreto protendido e das técnicas construtivas que permitiram eliminar os escoramentos, as pontes em arcos passaram a ser substituídas pelas pontes em vigas retas protendidas (VITÓRIO, 2002, p. 16).

Figura 33 – Vista da ponte do Rio Zhijinghe, na china

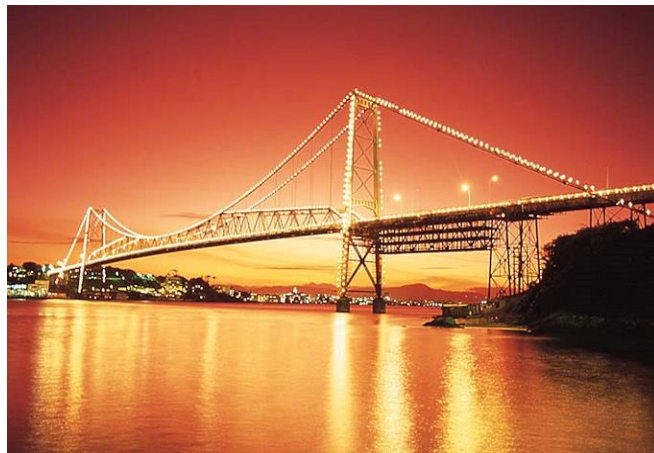


Fonte: Pereira (2018, s. 67).

3.4.3.6 Pontes pênséis

Ponte pênsil ou ponte suspensa (Figura 34) é um tipo de ponte suspensa por cabos ou tirantes de suspensão. No geral são executadas em vigamento metálico suspensos em cabos portantes de aço. Nessas pontes é necessária a utilização de vigas ou treliças com grande rigidez à flexão e principalmente a torção de modo a minimizar os efeitos de movimentos vibratórios transversais, como por exemplo, o vento (VITÓRIO, 2002).

Figura 34 – Vista da ponte Hercílio Luz, localizada no estado de Santa Catarina



Fonte: Pereira (2018, s. 101).

3.4.3.7 Pontes estaiadas

As pontes estaiadas são suspensas através de cabos inclinados fixados diretamente em torres de sustentação (Figura 35). O tabuleiro é geralmente metálico ou em concreto protendido, devem apresentar também assim como as pontes pênséis, alta rigidez à torção devido aos movimentos vibratórios causados pela ação transversal do vento (VITÓRIO, 2002).

Figura 35 – Vista da ponte Newton Navarro – Natal/RN



Fonte: Pereira (2018, s. 79).

3.5 CARREGAMENTOS/SOLICITAÇÕES

Nos projetos das pontes rodoviárias são considerados os seguintes carregamentos, os quais implicam no surgimento de esforços solicitantes:

Carga permanente: a carga permanente é constituída do peso próprio dos elementos estruturais. O peso próprio nas solicitações depende do material utilizado e do vão livre da ponte (VITÓRIO, 2002).

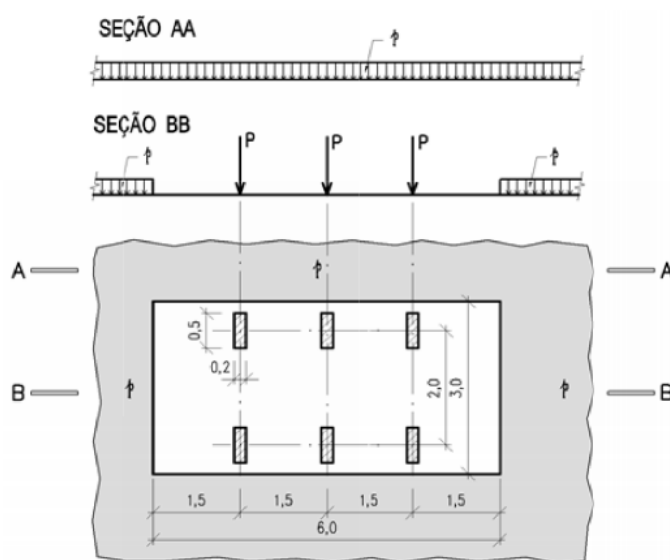
Carga móvel: considerada uma força externa, sendo uma das cargas verticais que age como solicitação na estrutura da ponte, as cargas móveis são carregamentos provenientes do tráfego (de veículos e pedestres) numa estrutura em serviço. Conhecida também por trem-tipo, a carga móvel é composta pelo arranjo estrutural gerado pela carga de um veículo juntamente com as cargas uniformemente distribuídas (carga de multidão) sobre os elementos estruturais. Os trens-tipo correspondem as cargas móveis verticais que devem ser consideradas nos projetos estruturais de obras novas, assim também na verificação e no reforço de obras existentes (SILVA et al., 2014).

Denomina-se trem-tipo o conjunto do carregamento móvel a ser aplicado à estrutura em sua posição mais desfavorável, para cada seção de cálculo e combinação de carregamento. Os trens tipos compõem-se de compressores, caminhões e multidão (FERRAZ 2018).

A norma que regulamenta os trens-tipos é a NBR 7188:2013, do qual especifica as seguintes considerações a seguir (Figura 36):

Carga móvel rodoviária padrão TB-450: veículo tipo de 450kN com 6 rodas $P = 75\text{kN}$, 3 eixos de carga afastados entre si de 1,5m, com área de ocupação de $18,0\text{m}^2$, circundado por uma carga uniformemente distribuída constante $p = 5\text{kN/m}^2$.

Figura 36 – Disposições das cargas estáticas



Fonte: NBR 7188//2013.

A carga móvel assume posição qualquer em toda a pista rodoviária com as rodas na posição mais desfavorável, inclusive acostamento e faixas de segurança. A carga distribuída deve ser aplicada na posição mais desfavorável, independentemente das faixas rodoviárias. Admite-se a distribuição espacial da carga concentrada no elemento estrutural a partir da sua superfície de contato num ângulo de 45° (NBR 7188, 2013).

Carga móvel rodoviária no mínimo igual ao tipo TB-240: veículo tipo de 240kN com 6 rodas $P = 40\text{kN}$, 3 eixos de carga afastados entre si de 1,5m. com área de ocupação de $18,0\text{m}^2$, circundado por uma carga uniformemente distribuída constante $p = 4,0\text{kN/m}^2$, isso para obras em estradas vicinais municipais de uma faixa e obras particulares, a critério da autoridade competente (NBR 7188, 2013).

As cargas de passeio são de 3 kN/m^2 e estruturas de garagem variam de 3 a 4 kN/m^2 , devendo ser verificado a passagem de veículo isolado com peso total de 80 Kn (NBR 7188, 2013).

Cargas devidas aos elementos naturais: a água, o vento, a terra, quando em contato com a ponte, exercem empuxos sobre a estrutura o que gera solicitações que devem ser consideradas no dimensionamento da estrutura.

Deformações internas: no projeto de uma ponte são consideradas as solicitações produzidas pelas deformações internas dos materiais. Tais deformações são devidas a variações de temperatura, retração e fluência do concreto (VITÓRIO, 2002).

Os efeitos devidos à variação de temperatura e retração são principalmente considerados no cálculo da mesoestrutura. Esses efeitos podem ser aliviados pela introdução de juntas de dilatação e pela adoção de um adequado plano de concretagem (VITÓRIO, 2002).

4 MANUTENÇÃO DE PONTES

Segundo Souza e Ripper (2009), entende-se por manutenção de uma estrutura o conjunto de operações que visa à garantia do seu desempenho satisfatório ao longo do tempo, ou seja, o conjunto de rotinas que tenham por finalidade o prolongamento da vida útil da obra, a um custo compensador.

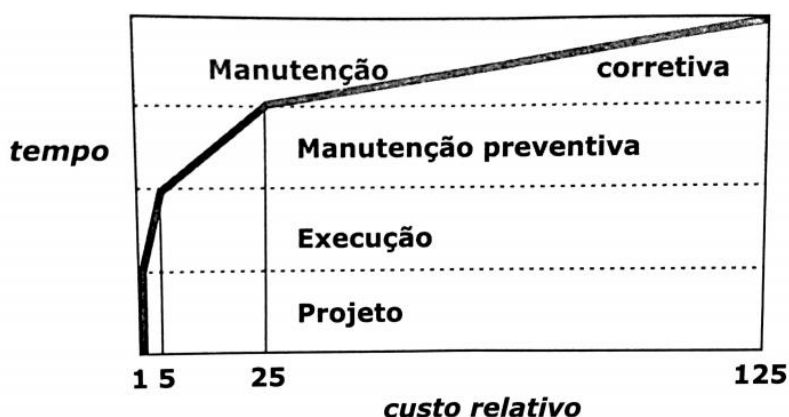
Cabe aqui esclarecer que o conceito de vida útil de uma construção, compreende o período durante o qual a estrutura, ou suas partes, mantêm o desempenho esperado, quando submetida apenas as atividades pré-definidas em projeto (NASCIMENTO, 2013).

Inspeções e manutenções regulares serão sempre importantes mesmo que a estrutura ainda não tenha apresentado problemas ou defeitos visíveis. A manutenção garante a durabilidade que implica automaticamente no prolongamento da vida útil da estrutura.

É importante destacar que além das manutenções, é primordial a atenção ainda na fase do projeto e fase de execução. Visto que esses fatores em conjunto com a manutenção é que definem de fato a durabilidade das estruturas.

A manutenção preventiva periódica é um mecanismo que além de colaborar bastante para a conservação da construção também proporciona uma melhor redução de custo comparado aos gastos efetuados com manutenções corretivas (Figura 37).

Figura 37 – Evolução dos custos nas diversas fases da construção



Fonte: Rehabilitar, (2003).

4.1 FATORES QUE PROVOCAM A DETERIORAÇÃO DAS PONTES

É importante o conhecimento dos fatores que provocam a deterioração das pontes para que se possam estabelecer os reparos mais adequados. Segundo o DNIT (2010, p. 40-41) as causas do processo de deterioração são classificadas como: fatores intrínsecos; fatores resultantes do tráfego rodoviário; fatores ambientais; fatores resultantes do tipo e intensidade da manutenção; fatores correlacionados à atividade humana.

- Fatores intrínsecos: Estes estão intimamente ligados à estrutura como sendo os principais fatores intrínsecos, a idade e a qualidade do concreto utilizado. Influem na qualidade do concreto a qualidade e a quantidade do cimento, a qualidade dos agregados, os aditivos e adições e, principalmente, a relação água/cimento. Características fundamentais como, resistência mecânica desejada, porosidade, permeabilidade, densidade, dentre outras, são adquiridas através da obtenção adequada dos materiais e suas dosagens.
- Fatores resultantes do tráfego rodoviário: São resultantes da utilização da estrutura. Devido ao aumento dos efeitos dinâmicos decorrente das cargas rodoviárias e a velocidade dos veículos que vem crescendo, ao mesmo tempo em que ocorre a diminuição entre os seus eixos, as pontes acabam não suportando esta evolução sem apresentar danos. As cargas rodoviárias majoradas provocam o desgaste da pavimentação, o aumento dos efeitos da fadiga, a fissuração e apressam o desgaste das juntas de dilatação e dos aparelhos de apoio.
- Fatores ambientais: Estes são de natureza climática ou atmosférica; os fatores ambientais objetivos como variações de temperatura, tempestades e pressão do vento são independentes da atividade humana, os fatores ambientais subjetivos são decorrentes da responsabilidade humana como, por exemplo, chuvas ácidas, água poluídas por produtos químicos e poluição atmosférica.
- Fatores resultantes do tipo e intensidade da manutenção: Como fator decisivo para a durabilidade das pontes, a manutenção é um fator indispensável. Podendo ser preventiva ou corretiva, implicando em limpeza, proteção anticorrosiva, dentre outras medidas para conservação.

Ainda que a estrutura tenha sido bem construída, com utilização de materiais e equipamentos adequados, se houver ausência de manutenção será inevitável à deterioração dela.

- Os quatro fatores explicitados acima podem, ainda, ser classificados em dois outros grandes grupos, conforme haja ou não a intervenção humana:

Fatores objetivos: fatores independentes da atividade humana no domínio da engenharia de pontes;

Fatores subjetivos: fatores dependentes da atividade humana, na engenharia de pontes e em outros domínios.

RECOMENDAÇÕES PARA ESTRUTURAS DURÁVEIS

a) Proteção do concreto contra a agressividade do meio ambiente

- Cobrimento normativo das armaduras;
- Cimento e agregados de boa qualidade, compatíveis entre si e com a agressividade do meio ambiente;
- Baixo valor da relação água/cimento;
- Aditivos adequados;
- Dosagem que proporcione baixa porosidade e baixa permeabilidade do concreto;
- Cura prolongada.

b) Detalhamento do projeto

- “Projeto de estruturas robustas, funcionais, pouco deformáveis, embora estéticas; conforme o Eurocode 1-7. Estruturas robustas são as que possuem capacidade de resistir a solicitações provocadas por fogo, explosões, choques ou consequências de erros humanos, sem sofrer danos desproporcionais às causas originais”.
- Drenagem de todos os pontos baixos e interior de células;
- Permitir acesso a todos os pontos da estrutura;
- Proteção contrachocos de veículos e embarcações.

c) Construção

- Atenção especial às boas práticas da construção, empregando equipamentos e materiais adequados e mão-de-obra especializada, conforme as normas técnicas vigentes.

d) Manutenção

- Imprescindível uma manutenção profissional, rotineira e continuada (DNIT, 2010, p. 43-44).

4.2 PROCESSOS FÍSICOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO E SUAS CARACTERÍSTICAS

Para o DNIT (2010, p. 47), nem sempre há uma linha divisória definida entre as causas de patologias do concreto: a corrosão das armaduras, que no caso é um fenômeno eletroquímico, pode provocar disgregação e delaminação do concreto, que são fenômenos físicos.

De acordo com Souza e Ripper (2009, p. 57), as fissuras podem ser

consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto, é o dano de ocorrência mais comum e aquele que, a par das deformações muito acentuadas, mais chama a atenção dos leigos, proprietários e usuários aí incluídos, para o fato de que algo ali não está bem. Posto que o concreto é um material não resistente à tração, sempre ocorrerá a fissuras quando pelos mais diversos motivos, as tensões trativas superarem a sua resistência última à tração. Em relação a classificação, quando a fissura aumenta de comprimento e abertura ao longo do tempo é considerada ativa e no caso contrário são chamadas de inativas. Seu número, localização e abertura são fatores decisivos para degradação das estruturas. De posse da classificação e mapeamento é possível determinar as causas, para que se possa estabelecer os métodos e procedimentos mais adequados de recuperação ou reforço.

A seguir constam as principais causas físicas das trincas e fissuras segundo o Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos rodoviários, DNIT (2010) e Trindade (2015):

4.2.1 Contração Plástica do Concreto

Segundo Trindade (2015, p. 50), em estruturas de concreto armado, a contração plástica é em geral a primeira causa que pode gerar fissuras no elemento estrutural, devido a ocorrer logo após a concretagem.

Este processo consiste na redução de volume devido à superioridade da taxa de perda da água em relação à taxa de água que foi exsudada, causada pela rápida evaporação da água que está na superfície da mistura antes mesmo do endurecimento da pasta de concreto.

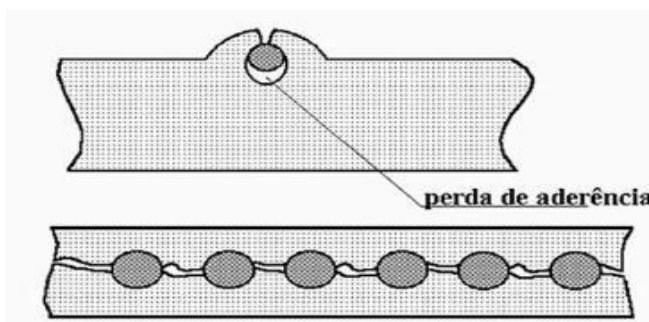
4.2.2 Assentamento do concreto/ Perda de aderência

De acordo com Trindade (2015, p. 50), no momento da concretagem, a pasta irá se movimentar e se acomodar de maneira natural resultante do efeito da gravidade. A fissuração poderá acontecer quando o concreto for impedido pelas barras de aço e o espaço entre elas for mínimo. Quanto mais espessa for a camada de concreto maior será a formação das fissuras.

Segundo Souza e Ripper (2009), esse tipo de fissura que se forma devido ao

assentamento do concreto, acarreta o efeito parede, que compreende um vazio que se forma por baixo da barra de aço, assim causando a redução de aderência e fissuras. No caso se as barras estiverem próximas e em grande número, pode haver uma interação entre as fissuras, gerando uma situação mais grave. Além da perda de aderência, esta patologia acaba permitindo a entrada de agentes agressores as armaduras, propiciando a corrosão (Figura 38).

Figura 38 – Esquema de perda de aderência por efeito parede



Fonte: Souza e Ripper (2009, p. 52).

4.2.3 Movimentação de formas e escoramentos

Para Trindade (2015, p. 51), as formas no que delimitam a geometria dos elementos estruturais podem sofrer deslocamentos por várias causas, como: escoramento mal travado, dimensões e volumes muito grandes para formas de compensado, sendo mais adequado o uso de formas metálicas. E por consequência disso, poderá ocorrer fissuração da peça ou uma deformação acentuada da mesma, com uma consequente perda de resistência mecânica (Figura 39).

Figura 39 – Detalhe de trinca devido à movimentação das formas

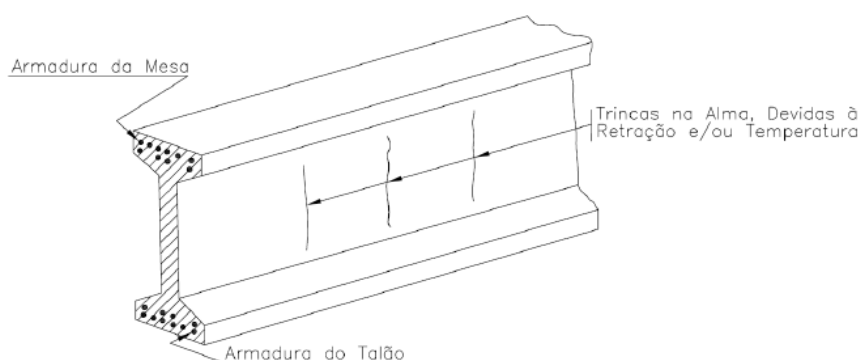


Fonte: Trindade (2015, p. 52).

4.2.4 Retração do concreto

Causa encurtamento normal do concreto, com a perda de umidade. Se não for controlada e minimizada por armaduras, as trincas se formam alguns meses após a concretagem. Localizam-se geralmente de forma perpendiculares aos encurtamentos (Figura 40) (DNIT, 2010, p. 49).

Figura 40 – Esquema de fissuras e trincas na alma devidas à retração e/ou temperatura

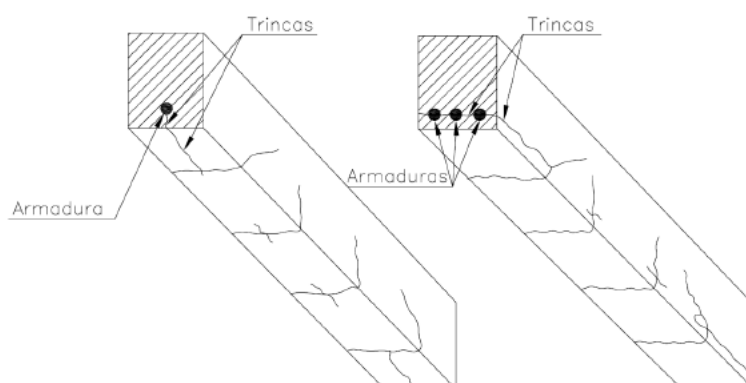


Fonte: Trindade (2015, p. 52).

4.2.5 Corrosão das armaduras

A corrosão dos aços é uma das principais manifestações patológicas ocorrentes nas estruturas de concreto armado, trazendo grandes danos e prejuízos. Para o DNIT (2010, p. 50), sua causa consiste no aumento de volume das armaduras decorrente da corrosão. Formam-se meses ou anos após o término da construção e se localizam ao longo das armaduras (Figura 41).

Figura 41 – Esquema de trincas ou fissuras provocadas por corrosão de armaduras



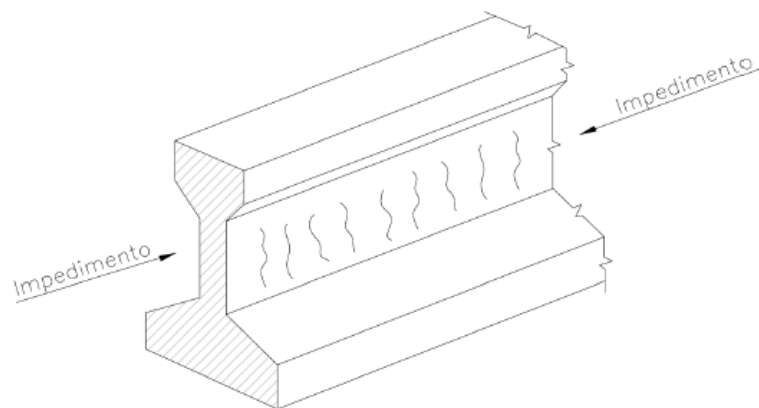
Fonte: DNIT (BRASIL, 2010, p. 50).

4.2.6 Fissuras do concreto na fase de utilização da estrutura

Variações de temperatura e retração residual (Figura 42):

- Restrições ou impedimentos à livre movimentação da estrutura.
- Causa: aparelhos de apoio desgastados ou bloqueados.
- Tempo de formação: quando a estrutura ficar impedida de se movimentar.
- Localização: normais à direção dos impedimentos.

Figura 42 – Esquema de fissuras de retração na alma da viga

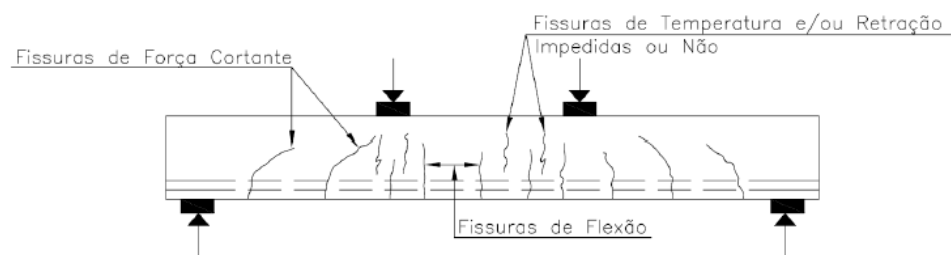


Fonte: DNIT (2010, p. 51).

4.2.7 Fissuras do concreto causadas pelo tráfego de cargas móveis

- Causa: cargas móveis não previstas ou dimensionamento insuficiente.
- Tempo de formação: quando da utilização inadequada da estrutura.
- Localização: nos elementos estruturais excessivamente solicitados, (Figura 43).

Figura 43 – Esquema de fissuras típicas de flexão, força cortante, variação de temperatura e/ou retração



Fonte: DNIT (2010, p. 51).

4.3 PROCESSOS QUÍMICOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO E SUAS CARACTERÍSTICAS

Existem diversas causas químicas de patologias em estruturas de concreto, que tem origem na própria composição do material (TRINDADE, 2015, p. 31), mas muitas também têm origem em falhas humanas, ocorridas desde a fase inicial de projeto, prolongando-se durante a execução da obra e estendendo-se ao longo da vida útil da estrutura (DNIT, 2010, p. 69).

AS PRINCIPAIS CAUSAS QUÍMICAS DE PATOLOGIAS DO CONCRETO SÃO:

- Ataques de sulfatos;
- Ataques de cloretos;
- Carbonatação do concreto;
- Reação álcali-agregados;
- Agressividade do meio ambiente;
- Corrosão das armaduras;

Adiante será explicitado o processo de cada uma dessas reações, segundo o Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos rodoviários, DNIT (2010).

4.3.1 Ataques de sulfatos

As trincas são decorrentes de reações químicas expansivas entre sulfatos, presentes no solo, na água do mar ou em elementos contaminados existentes no próprio concreto ou no cimento, e que adentram em concretos úmidos e permeáveis.

Para evitar ataques de sulfatos é importante a utilização de cimentos adequados, tais como o Cimento Portland resistente a sulfatos, Cimento Portland pozolânico e Cimento Portland de alto-forno (DNIT, 2010).

A intenção é conseguir um concreto denso, com a redução da porosidade e da permeabilidade e, conseqüentemente, da movimentação da umidade, dificultando a reação química com os sulfatos (DNIT, 2010).

4.3.2 Ataques de cloretos

O concreto de boa qualidade, com cobrimento adequado, envolve as armaduras com uma camada passiva, protetora, que impossibilita a sua corrosão.

Porém, se o cobrimento não é suficiente ou se o concreto é permeável, a camada passiva protetora pode ser rompida na presença de grande quantidade de íons-cloreto (DNIT, 2010).

Os cloretos podem advir do cloreto de sódio, conhecido como sal de cozinha, presentes em regiões marinhas, no próprio cimento utilizado, nos aditivos, nos agregados mal lavados, na água da mistura e na água usada na cura do concreto (DNIT, 2010).

Quando a camada protetora é rompida, a armadura pode sofrer corrosão, que é um fenômeno eletroquímico; a corrosão do aço produz óxido de ferro e hidróxido de ferro, que têm um volume superior que a armadura original, não afetada (DNIT, 2010).

O aumento de volume da parte oxidada causa um aumento de tensões radiais em torno da armadura que produzem trincas radiais no concreto, podendo ocasionar a delaminação deste concreto (DNIT, 2010).

4.3.3 Carbonatação do concreto

A carbonatação é ocasionada pelo dióxido de carbono (CO_2) existente na atmosfera, que reage com o hidróxido de cálcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, da pasta de cimento, podendo provocar uma diminuição crítica da alcalinidade; o valor do pH cai de 13 para em torno de 9, que é insuficiente para proteção da armadura (DNIT, 2010).

Para que este dano possa ser detectado é realizado um simples ensaio, que consiste na aplicação de fenolftaleína com indicador na superfície recém fraturada do concreto. A parte do concreto carbonatada fica incolor ($\text{pH} < 9$) e a parte não carbonatada adquire a cor vermelha – carmim (DNIT, 2010).

Existem equações, dependentes de coeficientes empíricos, da umidade relativa do ar e da resistência à compressão do concreto, que permitem calcular, com aproximação suficiente, o começo da corrosão das armaduras, para uma determinada espessura do cobrimento (DNIT, 2010).

4.3.4 Reação álcali-agregado

É uma reação química que pode ocorrer em ambientes úmidos, como resultado de reações de certos tipos de sílica e carbonatos, presentes em alguns agregados, com os álcalis do cimento, podendo levar anos para se manifestar-se.

A reação entre os álcalis do cimento e os minerais reativos do agregado produz um gel, que ocupa mais volume e causa expansão e trincas, geralmente afastando-se da fonte da expansão (DNIT, 2010).

A identificação visual da origem das trincas nem sempre é fácil, porque as trincas da reação álcali-agregado podem juntar-se às trincas resultantes dos ataques de sulfatos e cloretos, todas somente ocorrendo em condições de muita umidade (DNIT, 2010).

A identificação exata da existência da reação álcali-agregado somente pode ser feita em testes de laboratório, com testemunhos extraídos da peça estrutural sob suspeita, mas existem sinais que acusam a presença desta reação, como por exemplo, fissuração da superfície do concreto, conferindo o aspecto de mosaico e presença de gel exsudando das trincas (DNIT, 2010).

4.3.5 Agressividade do meio ambiente

Além dos sulfatos e cloretos, a agressividade do meio ambiente pode manifestar-se pela poluição atmosférica, por meio do dióxido de carbono e das chuvas ácidas, que abreviam a vida útil da estrutura, quando penetram em trincas e fissuras pré-existentes (DNIT, 2010).

A variação repentina de temperatura, principalmente uma chuva fria logo após uma forte e continuada exposição ao sol quente, pode acabar provocando trincas e fissuras; analogamente, a alternância de superfícies úmidas e secas (DNIT, 2010).

Em países de clima mais frio, neve e gelo podem reduzir a durabilidade da estrutura.

4.3.6 Corrosão das armaduras

Quando envolvidas em concreto de boa qualidade e com um cobrimento adequado, as armaduras estão protegidas; a proteção é devida à grande alcalinidade do concreto, $\text{pH} = 13$, que permite formar uma fina película protetora em torno da armadura (DNIT, 2010).

No entanto, esta fina camada protetora está constantemente sob ataque de agentes externos e, às vezes, internos; estes agentes podem ser os cloretos, os sulfatos, entre outros (DNIT, 2010).

É chamado de período de iniciação, o tempo necessário que se leva a romper a camada protetora; a duração deste período depende de uma série de fatores:

- ✓ Espessura da camada de cobrimento: quanto menos espessa a camada, menor é o período de iniciação;
- ✓ Qualidade da camada de cobrimento, dependente principalmente da relação água-cimento: o período de iniciação diminui, quando a qualidade do concreto diminui, ou quando a relação água-cimento aumenta;
- ✓ Agressividade do meio ambiente: temperatura, umidade e nível de penetração de sulfatos, cloretos e penetração de dióxido de carbono;
- ✓ O tipo de mecanismo causador da corrosão: a carbonatação e a penetração de cloretos são os fatores mais importantes da deterioração. (DNIT, 2010).

Durante esse período de iniciação, o processo da corrosão evolui sem sinais visíveis de deterioração, tanto no concreto como na armadura; nesse caso, somente testes especiais possibilitam constatar o risco de futuras corrosões (DNIT, 2010).

Quando a camada de concreto que passiva a armadura se rompe, inicia-se o processo da corrosão, que é um processo eletroquímico - uma corrente elétrica de baixa voltagem liga as áreas em corrosão: os anodos, onde a camada passivadora foi rompida, e as áreas sadias, os catodos, onde a camada passivadora está intacta (DNIT, 2010).

A corrente elétrica é o resultado do comportamento natural de metais mergulhados em líquidos ou em concreto; se dois metais, com diferentes potenciais eletroquímicos, estão eletricamente conectados, é muito provável instalar-se a corrosão no metal com potencial mais baixo.

O anodo e o catodo podem estar distantes, desde que haja conexão elétrica entre eles: o meio acidificado do concreto ou a própria barra da armadura; a reação anódica produz elétrons e a reação catódica absorve elétrons.

Se a área do anodo é pequena em relação à área do catodo, a velocidade da corrosão será alta porque a corrosão está ocorrendo em uma pequena

área, é a corrosão local; os produtos desta corrosão são pretos, não expansivos e semelhantes a líquidos. A corrosão local desenvolve-se sem sinais visíveis, sendo perigosa e podendo provocar colapsos inesperados. Quando a área do anodo é aproximadamente igual à área do catodo, tem-se a corrosão geral, que dá origem aos conhecidos produtos das cores amarelo/vermelho/castanho; estes produtos são sinais visíveis de corrosão, com aparecimento de trincas e disgregação do concreto (DNIT, 2002, p. 73).

5 TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE PONTES

De acordo com Nascimento (2013, p. 51), quando o desempenho de um elemento estrutural se comporta de forma insatisfatória, colocando em risco a segurança, sejam quais forem as causas de origem do problema, são necessárias intervenções que lhes devolvam o desempenho perdido (recuperação), ou venha aumentar o desempenho (reforço).

Ainda de acordo com Nascimento (2013, p. 51), a diferença entre recuperação e reforço é conceitual, e depende da situação exposta. As técnicas de tratamento para o aumento da capacidade resistente ou recuperação da capacidade perdida são as mesmas, mas o fim a que se destinam é que diferenciam os termos utilizados.

O tratamento das patologias do concreto depende da sua correta avaliação, baseada, primeiramente, em inspeção cuidadosa e, em certos casos, em testes de laboratório e cálculos estruturais, de verificação.

Nenhum serviço de reparo deve ser iniciado antes da precisa identificação da origem das patologias.

Os diversos elementos necessários para elaboração de um plano de recuperação são:

- ✓ Dados precisos e detalhados de inspeções;
- ✓ Locação dos danos, defeitos e dificuldades;
- ✓ Análise das causas dos danos, defeitos e dificuldades;
- ✓ Avaliação estrutural;
- ✓ Projeto de recuperação;
- ✓ Avaliação de custos (DNIT, 2010, p. 82-83).

5.1 TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO E TRATAMENTOS

De acordo com o Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos rodoviários, DNIT (2010), constam a seguir as principais técnicas para a recuperação de estruturas de pontes.

5.1.1 Remoção e substituição de concreto

Somente após verificar a estabilidade do elemento estrutural ou da obra é que se pode iniciar a remoção do concreto; após a remoção, a superfície do concreto remanescente deve ser sadia e áspera bastante, para garantir a aderência com o novo concreto, argamassa cimentícia ou não, grout, etc, que será colocado. Essa remoção se chama remoção superficial, quando a camada a ser removida é

inferior ao cobrimento da armadura, e profunda, quando ultrapassa o cobrimento da armadura e a própria armadura (DNIT, 2010).

A remoção do concreto deteriorado pode ser conseguida por meios mecânicos, térmicos ou químicos, dependendo da localização, extensão e espessura da camada de concreto a ser removida; os meios mecânicos são os mais comuns, como: remoção por ponteiros ou cinzéis, remoção com auxílio de rompedores, remoção por jato de areia e remoção por jato de água de alta pressão. A limpeza pode ser feita com jato de ar comprimido. Em todos os métodos mecânicos deve-se controlar barulho, poeira e vibração (DNIT, 2010).

Dos métodos mecânicos, é recomendável mais o uso do jato de água de alta pressão, ou hidrodemolição, que remove o material deteriorado de forma mais rápida e mais seletivamente, evitando microfissuras (DNIT, 2010).

A substituição de concreto, em áreas extensas e contínuas, deve-se processar da mesma forma que na construção da estrutura; porém, algumas particularidades da união de dois concretos diferentes, o velho e o novo, devem ser consideradas. A escolha do material de recuperação dependerá do volume de concreto que será substituído, da profundidade do reparo, dos efeitos das cargas sobre o reparo e das condições de acesso e trabalhabilidade do local do reparo (DNIT, 2010).

O novo concreto deve ter suas propriedades finais iguais às do concreto da estrutura existente: resistência, módulo de elasticidade, fluência etc (DNIT, 2010).

Deixando claro que qualquer reparo deixa cicatrizes na estrutura, no aspecto estético; deve-se considerar a possibilidade de ser necessário aplicar acabamentos para minimizar esse efeito (DNIT, 2010).

5.1.2 Remoção de corrosão

A remoção de corrosão de armaduras de concreto armado, cabos de protensão, ancoragens, aparelhos de apoio metálicos, guarda-corpos metálicos e outros elementos pode ser feita, dependendo da extensão, com ajuda de escovas de aço, lixas manuais ou mecânicas e jatos de areia; a remoção deve incluir a camada de concreto contaminada (DNIT, 2010).

Após a remoção, deverá ser verificado se ocorreu perda de seção nas armaduras; qualquer perda de seção que ultrapasse 10% deve ser coberta por

armadura adicional, devidamente ancorada (DNIT, 2010).

5.1.3 Remoção de manchas

A remoção de manchas, eliminadas suas causas e dependendo de sua extensão, pode ser retirada com escovas de aço, lixas manuais ou mecânicas e jatos de ar ou de água; dependendo da porosidade do concreto, uma solução levemente acidulada também pode ser usada (DNIT, 2010).

5.1.4 Tratamento de vazios, cavidades, ninhos e disgregações

Após a remoção do concreto deteriorado e limpeza cuidadosa, e dependendo da localização da anormalidade, pode ser aplicado grout de cimento Portland, argamassa de cimento, argamassa póxica, argamassa polimérica; o concreto projetado é mais indicado para faces inferiores e, até laterais (DNIT, 2010).

5.1.5 Tratamento de trincas e fissuras

As trincas e fissuras podem ser classificadas da seguinte forma:

- Fissuras mortas ou inativas: cujas aberturas não aumentam e nem diminuem, e não crescem de tamanho.
- Fissuras vivas ou ativas: as que ainda estão sujeitas a movimentações.

Nas fissuras inativas, para impedir a penetração de águas superficiais, é suficiente, ou apenas escovar a fissura e comprimir uma argamassa de cimento e areia, ou alargar a fissura, em forma de V, e recompor a superfície, também com argamassa de cimento e areia (DNIT, 2010).

Para fissuras ativas há um grande número de selantes para vedação; os mais conhecidos são os compostos à base de betume, os poliuretanos e os modificados (DNIT, 2010).

As fissuras ativas de pequena abertura, podem ser reparadas por injeção de resina epóxica; as injeções devem ser feitas através de purgadores distanciados de uma vez e meia a profundidade da fissura, com os intervalos selados; é preciso ter cuidado para que o composto do epóxi e do endurecedor, que ganham viscosidade

assim que são misturados, ainda estejam dentro do seu pot-life, tempo limite para sua aplicação (DNIT, 2010).

As fissuras ativas de grande abertura, devem ser encaradas como juntas móveis e os reparos devem antecipar os seus prováveis aumentos de dimensão; o tratamento começa com a abertura de uma cavidade ao longo da fissura, cavidade esta que deve ser preenchida com um selante elástico adequado (DNIT, 2010).

5.1.6 Corrosão

Em virtude de sua grande importância na degradação do concreto, a corrosão deve ser estudada sob vários aspectos (DNIT, 2010).

As armaduras, quando envolvidas por concreto de boa qualidade e com cobrimento adequado, estão protegidas contra a corrosão, em virtude da alcalinidade do meio ambiente, passivante da armadura ($\text{pH}=13$); esta proteção, porém, pode deixar de existir por variados fatores que somente se manifestam, visivelmente, após um período inicial; a duração deste período depende da espessura do cobrimento da armadura, da qualidade do cobrimento, da agressividade do meio ambiente (umidade, temperatura), do nível de contaminação de sulfatos e cloretos e da penetração de dióxido de carbono (DNIT, 2010).

A carbonatação e a penetração de cloretos são os fatores mais consideráveis para a ocorrência da corrosão.

Alguns possíveis processos de tentativas de remoção dos cloretos são:

- Tratamento com água;
- Tratamento com leite de cal;
- Eletrosmose;
- Remoção mecânica da camada de concreto contaminada.

A eficiência dos três primeiros processos não está comprovada.

A corrosão das armaduras pode ser evitada, ou, pelo menos, controlada, com projetos mais cuidadosos, especificações mais rigorosas e materiais adequados; alguns fatores que minimizam os problemas da corrosão são:

- Evitar o uso de metais diferentes ou a presença de metais enterrados em solos diferentes, para impedir a circulação de correntes galvânicas;
- Selecionar materiais adequados à agressividade do meio ambiente, especialmente nas construções de aço;
- Apurar o detalhamento para evitar o acúmulo de água ou de solo nas superfícies de concreto; seguem-se algumas indicações: as superfícies planas devem ter inclinação e drenagem; os topos dos pilares e dos encontros, onde existam articulações, além dos berços, devem ser inclinados; os cantos vivos devem ser adoçados; os caixões devem ser drenados em todos os pontos baixos; as juntas de dilatação devem ser estanques.
- Usar pinturas protetoras nas peças em contacto com a água ou a terra (DNIT, 2010).

Alguns tipos de corrosão das armaduras já foram citados, sendo relacionados a seguir:

- Corrosão provocada pela carbonatação;
- Corrosão provocada por cloretos;
- Corrosão provocada pela oxidação;
- Corrosão sob tensão, stress corrosion (*);
- Corrosão provocada por agentes químicos.

(*) Nas obras de concreto protendido, os cabos de protensão, submetidos a tensões elevadas, são suscetíveis de sofrer corrosão acelerada e ruptura frágil, a *stress corrosion*.

A corrosão provocada por agentes químicos é mais suscetível de ocorrer em áreas industriais e em atmosferas marítimas; em virtude da existência de cloretos e poluição de dióxido de carbono e de dióxido de enxofre; estes elementos provocam, inicialmente, o aparecimento de uma fina película superficial e, eventualmente, da corrosão (DNIT, 2010).

O tratamento da corrosão envolve duas fases, a preparação da superfície e a recomposição da proteção.

A remoção do concreto contaminado por cloretos, onde a corrosão já se instalou, dependerá da quantidade do cloreto, da existência de umidade e do grau de carbonatação; é uma decisão individual, que varia de caso a caso (DNIT, 2010).

Se o concreto, primitivamente de proteção da armadura, necessita ser removida, toda a armadura do trecho afetado deve ser totalmente exposta; se a armadura exhibe sinais de corrosão, esta deve ser inteiramente removida, por escova de aço ou jato de areia (DNIT, 2010).

Se a corrosão não reduziu a seção da armadura em mais de 10%, é necessário a aplicação de uma proteção contra corrosão na armadura já tratada;

está proteção pode ser alcançada com o envolvimento da armadura em argamassa com alto teor de cimento, em grout ou em argamassa epóxica; para este envolvimento, a alternativa do concreto projetado é preferível (DNIT, 2010).

Se a corrosão já reduziu a armadura em mais de 10%, há necessidade da colocação de armadura extra, devidamente ancorada (DNIT, 2010).

5.1.7 Proteção catódica

A proteção catódica é uma técnica utilizada para o controle da corrosão de superfícies metálicas ou submersas, no qual, consiste em tornar a superfície que se deseja proteger em catodo de uma célula de corrosão. Um método simples de proteção aonde se conecta o metal a ser protegido a um “metal de sacrifício” mais facilmente corrosível para atuar como anodo. O metal de sacrifício então é corroído no lugar do metal protegido.

Normalmente a técnica de proteção catódica é mais utilizada em estruturas metálicas, submersas e enterradas sendo amplamente utilizada para construção de cascos de navio e de tubulações enterradas, por serem ambientes muito agressivos, mas desde há algum tempo ela passou a ser utilizada para reabilitação de estruturas de concreto deterioradas, e devido sua eficiência passaram também a serem adotadas como método de prevenção de corrosão em estruturas novas, tais usos podem ser em estruturas parciais ou totais enterradas ou em estruturas atmosféricas, sendo de concreto armado ou protendido e estruturas antigas durante os serviços de recuperação e reforço estrutural (Araújo; Panossian; Lourenço, 2014).

Existem dois métodos de aplicação de um sistema de proteção catódica: o método galvânico (por anodos de sacrifício) e o método por corrente impressa. A escolha do método a ser utilizado, irá depender da análise de diversos fatores de origens técnicas e econômicas.

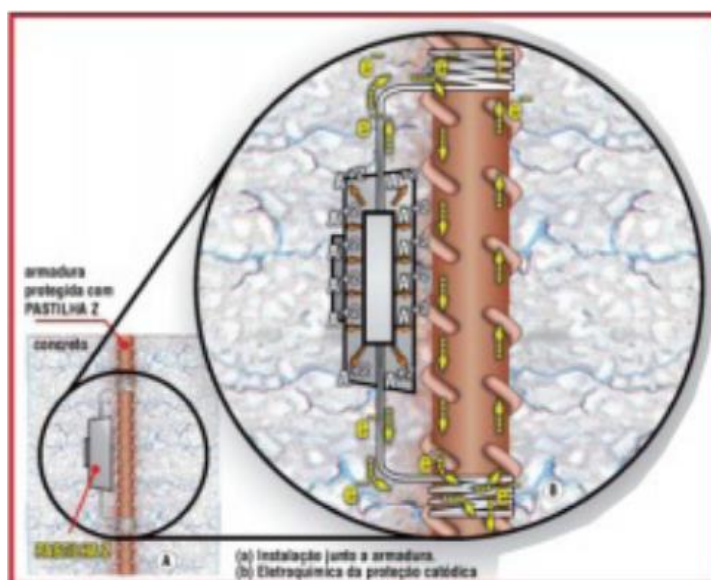
5.1.7.1 Proteção catódica galvânica:

Os anodos galvânicos, ou anodos de sacrifício, são normalmente os escolhidos quando se precisa de pouca quantidade de corrente para proteger a estrutura (revestimento de boa qualidade e estruturas de pequenas dimensões) e quando o solo possui baixa resistividade elétrica (LIMA e PEREIRA 2017). Dentre os

metais mais adotados em sistemas de proteção galvânica podemos citar o zinco, alumínio ou magnésio e ligas metálicas destes metais e os sistemas mais conhecidos são o de pastilhas de zinco, tela galvânica, Zinco termo projetado (ZTP).

A proteção galvânica de pequenas áreas pode ser feita utilizando pastilhas de zinco ou alumínio. É ligada a dois fios para fixação no aço da estrutura e revestida por uma matriz cimentícia iônica condutiva. Em estruturas em que o processo de corrosão já se instalou é necessário executar limpeza com escova de aço ou com lixa de ferro número 100, analisando se o aço perdeu ou não 10% de sua seção; caso tenha perdido, será necessário fazer um reforço com nova (s) barra (s) com o mesmo diâmetro da barra inicial. Uma vez interligada as pastilhas com a armadura, ocorrerá o processo de oxi-redução, onde a pastilha será o anodo e o aço o catodo (Figura 44) (ANDRADE, 2014).

Figura 44 – Esquema da armadura protegida por pastilha

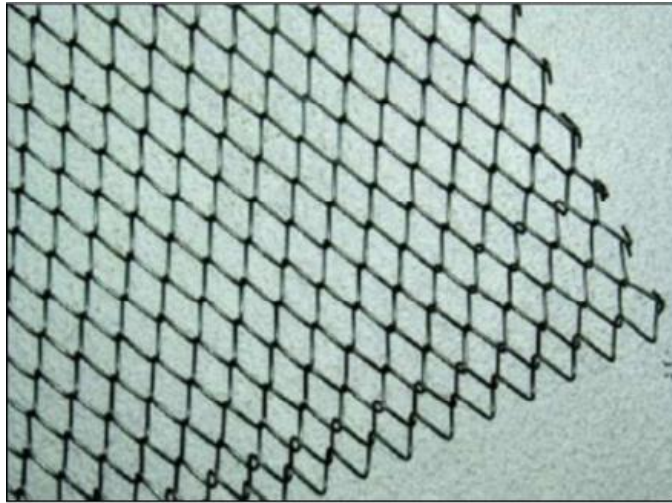


Fonte: Lima e Pereira (2017).

Para realizar a proteção de grandes áreas de concreto armado ou protendido é indicado utilizar a tela galvânica, como mostrada na figura 45. A tela é fixada diretamente na armadura garantindo um tempo superior a dez anos contra qualquer processo de corrosão. Com uma semi-pilha comum faz-se testes dos potenciais de corrosão antes da instalação da tela e os potenciais de proteção (zona de imunidade) após sua instalação. O uso do ativador eletroquímico ativa a argamassa ou concreto de recuperação a ser aplicado sobre ela, facilitando uma

troca galvânica entre a tela e a armadura, de forma constante e contínua, impedindo o aço de corroer (ROGERTEC, 2017).

Figura 45 – Tela galvânica de proteção



Fonte: Lima e Pereira (2017).

O ZTP consiste na projeção térmica de zinco puro sobre a superfície do concreto em direção as armaduras (Figura 46), que necessitam de proteção contra a corrosão.

Figura 46 – Aplicação de película de ZTP



Fonte: Lima e Pereira (2017).

Todo o serviço de recuperação da estrutura estará simplificado porque após

a remoção do concreto deteriorado, e execução do reforço estrutural (se necessário), faz-se uma limpeza da área a ser recuperada e logo após aplica-se o zinco termo projetado com um gerador/retificador e uma pistola especial que provoca a fusão de dois fios de puro zinco ao mesmo tempo em que um jato de ar comprimido projeta o zinco derretido sobre a superfície do concreto. Então o zinco, funciona como anodo de sacrifício garantindo a proteção das armaduras (LIMA e PEREIRA 2017).

5.1.7.2 Proteção catódica por corrente impressa

O sistema de proteção catódica por corrente impressa consiste na utilização de uma força eletromotriz, proveniente de uma fonte de corrente ininterrupta, para imprimir a corrente necessária à proteção da estrutura considerada. Esta força eletromotriz pode provir de baterias convencionais, baterias solares, termogeradores, conjuntos motor-gerador ou retificadores de corrente. Os retificadores constituem a fonte mais comumente utilizada, e através deles retifica-se uma corrente alternada, obtendo-se uma corrente contínua que é injetada no circuito de proteção (TRABALHO..., 2017).

Como a diferença de potência de saída da fonte pode ser estipulada em valores baixos ou elevados, a proteção catódica por corrente impressa aplica-se a estruturas situadas em eletrólitos de baixa, média e alta resistividade. É também aplicada onde se exige maiores correntes, logo, em estruturas de média para grande porte, mas também não impede o seu uso em estruturas pequenas, quando achar necessário (TRABALHO..., 2017).

Os equipamentos e materiais comumente empregados nos sistemas por corrente impressa são:

- Os retificadores, que podem ser de silício ou selênio, refrigeradores a ar ou a óleo, com alimentação monofásica ou trifásica;
- Como alternativas aos retificadores, podem ser usadas baterias solares, termogeradores, baterias convencionais, empregada onde não haja energia elétrica em corrente alternada. Esses geradores, em geral, são de baixa potência, sendo, portanto, restritos a locais de pouca exigência de corrente.
- Os ânodos mais empregados são os de grafite, ferro-silício, ferro-silício-

cromo, chumbo-antimônio-prata, titânio platinizado, nióbio platinizado e magnetita. Os ânodos de grafite, ferro-silício e magnetita são geralmente usados em solos e os demais usados em água do mar.

- Os cabos para interligação dos ânodos e ligação na estrutura devem ser cabos de cobre com capacidade de condução adequada ao sistema e com isolamento de boa qualidade, em geral de polietileno de alta densidade e alto peso molecular (TRABALHO..., 2017).

5.2 TÉCNICAS DE REFORÇO E TRATAMENTOS

A seguir constam as principais técnicas para reforço que objetivam aumentar a capacidade portante das estruturas quando necessário.

5.2.1 Reforço mediante fibras de carbono

“As fibras de carbono são obtidas a partir do tratamento térmico (carbonização) de fibras de polímeros orgânicos em elevadas temperaturas” (TRINDADE, 2015, p. 64).

Os sistemas reforçados com fibras de carbono em comparação com as fibras de vidro e aramida, por exemplo, são os que melhor se ajustam às exigências do reforço de estruturais, pois além de maiores resistências à tração e à compressão, o valor do módulo de elasticidade longitudinal é o mais próximo ao do aço (Meier, 1997 apud JUVANDES, 2002).

Os compósitos de PRFC são produzidos em forma de mantas, tecidos ou laminados, enfatizando que são os mais apropriados para o reforço de elementos estruturais de concreto armado, pois permitem uma menor interferência nas dimensões dos elementos e maior relação entre ganho de resistência e peso próprio (ZUCCHI, 2015). Na figura a seguir vemos está técnica sendo adotada como reforço da ponte Teles Pires localizada no estado de Mato Grosso (Figura 47).

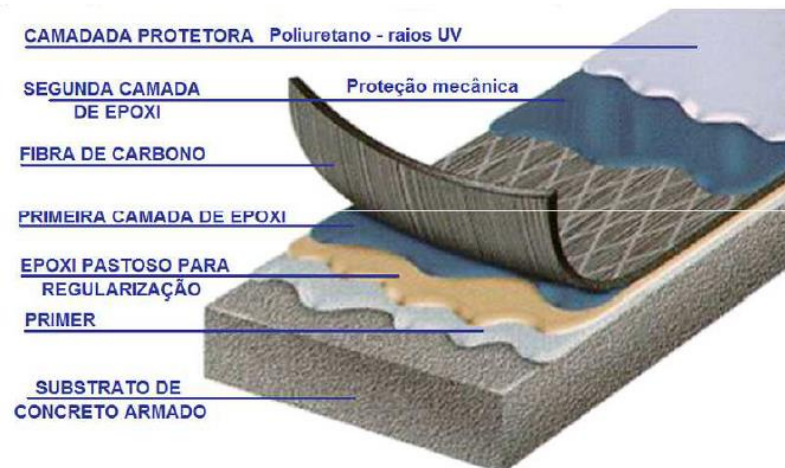
Figura 47 – Detalhe do reforço com fibra de carbono na ponte Teles Pires – MT.



Fonte: Pires, Giovanetti, Guardia (s.d.).

Os reforços com mantas ou tecidos de PRFC tem geralmente a sequência executiva realizada da seguinte forma (Figura 48).

Figura 48 – Sistema de aplicação das folhas de carbono



Fonte: Universidade Federal de Ouro Preto (s.d.).

Estas folhas são aplicadas sobre um adesivo epóxi anteriormente aplicado sobre a superfície de concreto preparada, que tem a função de transferir os esforços da estrutura para o compósito. A condição ideal para a realização de reparos com PRFC é em superfície lisa (JUVANDES, 2002). Para isso, é possível a imprimação do substrato através do primer que melhora a propriedade adesiva da superfície

para receber o adesivo, e ainda, a utilização de produtos que ajudam eliminar pequenas irregularidades na superfície, evitando assim, que o ar fique aprisionado entre a manta e o substrato. Com a superfície já preparada, aplica-se o adesivo de colagem e a manta de fibras de carbono, seguida de uma camada final de adesivo para o recobrimento das fibras.

Para acabamento final da superfície, poderá ser utilizado revestimento de proteção à ação do fogo (SILVA, 2006).

Garcez (2007), destaca diversas razões que fazem das fibras de carbono uma das melhores alternativas para a formação de compósitos estruturais de reforço:

- Elevada razão resistência/peso, podendo ser cinco vezes mais leves que o aço, com resistências à tração 8 a 10 vezes mais altas.
- Módulo de elasticidade e resistência à tração mais altos dentre as fibras (carbono, aramida e vidro), proporcionando boa rigidez ao reforço.
- Excelente comportamento à fadiga, fundamental em aplicações de cargas cíclicas.
- Não são afetadas por solventes, ácidos e bases, à temperatura ambiente.
- São capazes de manter seu módulo de elasticidade e resistência à tração quando submetidas a altas temperaturas, no entanto, oxidam e se degradam quando submetidas a altas temperaturas.
- São imunes à corrosão, podendo ser aplicadas em ambiente marinho sem prejudicar a durabilidade do sistema.

Higuero (2010), apresenta os principais campos de atuação no qual as folhas de carbono são usadas:

Para reforçar vigas e lajes submetidas à flexão, o recomendável a ser usado são os laminados retos e em alguns casos o tecido. Para uma boa eficiência é preciso que a resina que une os laminados a superfície de concreto seja bem aplicada, para que o reforço haja na zona de tração sem descolar. Esta resina irá transmitir o esforço cortante de um material para o outro.

Para reforçar elementos submetidos à compressão simples ou composta, como em pilares, por exemplo, a simples colagem das lâminas não é indicada, pois são muito esbeltas e poderiam acabar sofrendo flambagem. Devido a isto, o indicado é usar os tecidos de fibra de carbono devido à sua facilidade de se

moldarem a diferentes formas geométricas. Com estes tecidos pode-se colocar várias camadas de modo a confinar o elemento estrutural, para que a partir do momento em que a estrutura começar a se comprimir, pela Lei de Poisson a mesma tende a se dilatar transversalmente. Neste momento o reforço começa a trabalhar para impedir esta dilatação transversal. A (Figura 49) mostra um pilar confinado.

Figura 49 – Vista de pilar confinado por lâminas de fibra de carbono



Fonte: Trindade (2015).

O reforço ao cortante consiste na colagem de lâminas de carbono na região transversal do elemento estrutural. A (Figura 50) mostra duas vigas reforçadas com lâminas de carbono ao esforço cortante cada uma com uma disposição.

Figura 50 – Detalhe de vigas reforçadas ao cortante, por lâminas de fibra de carbono



Fonte: Higuero, (2010).

5.2.2 Reforço mediante aumento da seção transversal

A técnica de aumento da seção transversal de uma estrutura é mais simples do que muitas outras técnicas porque aqui o elemento estrutural é reforçado com o próprio concreto e armaduras deixando de lado a aplicação de outro tipo de material, como fibra de carbono, perfil metálico etc (Figura 51).

Conforme Takeuti (1999), esta técnica é eficaz, quando aplicada de maneira adequada principalmente em pilares e vigas, porém possui o inconveniente de aumentar as dimensões da estrutura de forma que muitas vezes chega a interferir no aspecto arquitetônico do projeto. Podemos citar como outra desvantagem, o tempo que se deve esperar para que o concreto atinja a resistência desejada, de modo a não utilizar o reforço até que esse tempo seja cumprido.

Figura 51 – Vista do reforço com adição de armadura (encamisamento) na ponte Jerônimo Rosado – Mossoró/RN



Fonte: Pereira (2018, s. 17).

A execução deste método deve ser feita inicialmente apicoando a superfície da estrutura, limpando os restos e o pó que sobrar de maneira a deixar o mais limpo possível. A seguir é adicionada uma resina epóxi com função de gerar uma boa aderência entre a camada antiga e a camada nova de concreto ou pode eliminar alguns trechos de concreto com profundidade entre 3 a 4 centímetros de modo a produzir assim reentrâncias no mesmo, o que facilitaria a ligação entre o pilar e o reforço.

Cuidados devem ser tomados quanto à limpeza da superfície das armaduras

antes da colocação do novo material, retirando-se todos os produtos da corrosão. Todo o concreto alterado deverá ser removido e aquele em volta do perímetro da armadura na região da corrosão (REIS, 2001).

A lavagem das superfícies do concreto tem por objetivo a remoção de resíduos de toda natureza tais como ferrugens e graxas, de forma a preparar o substrato para a recepção do material do reparo. As lavagens podem ser feitas com jatos d'água e com utilização de soluções alcalinas (SILVA, 2006).

O aumento da seção transversal de uma viga ocorre da mesma forma que do que um pilar geralmente. O concreto antigo deve ser apicoado para garantir uma maior aderência do concreto a ser adicionado.

Trindade (2015), lista duas maneiras de aumentar a seção quando o reforço ocorre devido ao momento fletor:

- Apicoar o concreto na face inferior até encontrar os estribos e soldar as novas barras a ele, posteriormente as formas são montadas e o novo concreto adicionado.
- Abrir sulcos na viga na região tracionada e inseri-los ao lado dos originais. Os espaços devem ser preenchidos com argamassa epóxi.

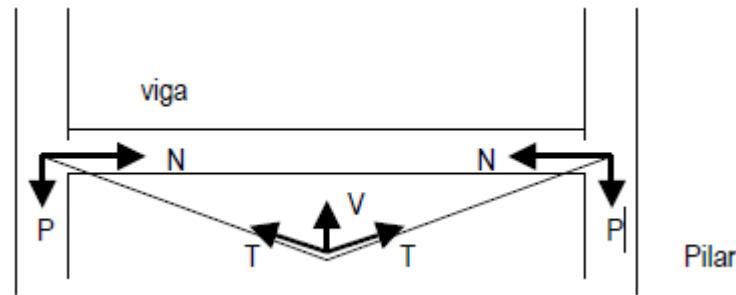
Para aumentar a resistência ao esforço cortante, sulcos devem ser abertos e estribos adicionados, sendo posteriormente preenchidos por argamassa epóxi.

5.2.4 Reforço com protensão externa

O método de reforço com protensão externa é um sistema mais utilizado, em obras de grande porte, tais como pontes e viadutos, apesar do alto custo e intervenção arquitetônica (REIS, 2001).

Tem pressupostos similares ao concreto protendido, pelo próprio mecanismo de ação, como mostra na (Figura 52). Observa-se que o esforço de tração (T), dado pela protensão do cabo, provoca compressão (N) da viga, acréscimo de carga no pilar (P) e introduz carga vertical de baixo para cima (V) que reduz as deformações e deslocamentos da peça (REIS, 2001).

Figura 52 – Esquema dos Mecanismos da protensão externa

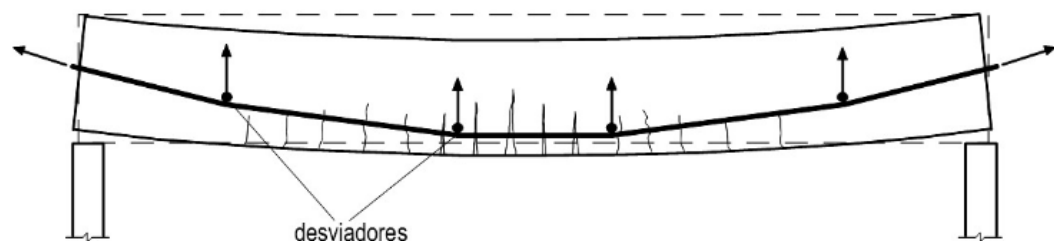


Fonte: Zucchi (2015).

Segundo Cánovas (1988), esta técnica de reforço traz como grande vantagem sobre as demais, a não necessidade de deformação do elemento estrutural para que a protensão em si haja para manter o equilíbrio desejado. Ou seja, não terão que ocorrer deformações maiores para que o reforço trabalhe. Pois ao contrário em muitos casos a estrutura afetada irá deformar até que a solução adotada entre em trabalho, podendo até mesmo inutilizar a mesma em relação aos seus fins funcionais.

O método consiste na incorporação de cordoalhas externas à estrutura, longitudinal ou transversalmente, utilizando desviadores metálicos, de forma a reestabelecer as condições originais ou reforçando a mesma para suportar cargas superiores às projetadas. A (Figura 53) mostra detalhe esquemático do reforço de protensão externa de uma viga fissurada de concreto armado. As cordoalhas são passadas através de desviadores e tensionadas, comprimindo o concreto e eliminando o fissuramento. (MARIANO, 2015, p. 18).

Figura 53 – Esquema estrutural de uma viga protendida externamente



Fonte: Mariano (2015).

Como vantagens e desvantagens desse método pode-se citar as seguintes, conforme Camargo (2013):

Vantagens:

- Relativa simplicidade do método construtivo;

- Ausência de problemas com o cobrimento dos cabos;
- Possibilidade de inspeção visual e eventual troca dos cabos durante a vida útil da estrutura (Figura 54).
- Possibilidade, na maioria dos casos, da execução da reabilitação com a estrutura em uso;
- Pouca ou nenhuma necessidade de demolições durante a obra;
- As perdas por atrito dos cabos externos são menores que as dos internos.

Desvantagens:

- Necessidade de análise criteriosa, por parte do projetista, em função de fatores diversos como: possível falta de qualidade do concreto (normalmente antigo), para suportar as tensões necessárias. Se as novas tensões não forem calculadas de forma adequada, poderá ocorrer a ruptura da peça protendida.
- Vulnerabilidade a atos de vandalismo, ação do fogo e corrosão eletroquímica, demandando necessidade de proteção do sistema;
- Necessidade de mão de obra altamente qualificada para os serviços.

Figura 54 – Vista da facilidade de inspeção visual do sistema protendido externamente



Fonte: Mariano (2015).

6 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso deste trabalho visa analisar o caso real de deterioração da ponte de Igapó da cidade de Natal-RN (Figura 55), identificando as causas e consequências das ocorrências para assim propor soluções que podem ser adotadas para a recuperação e reforço da ponte. Contribui enormemente para este estudo de caso, os dados de ensaios e vistoria executados na ponte fornecidos pelo engenheiro civil e Prof. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira e outros dados de vistoria técnica feita pela empresa Maia Melo Engenharia que constam em seu projeto executivo de recuperação e reforço da ponte apresentado ao DNIT em 2012.

6.1 PONTE DE IGAPÓ

Figura 55 – Vista da ponte Presidente Costa e Silva – Natal/RN



Fonte: Pereira (2018, s. 73).

A primeira ponte que interligou a zona norte de Natal ao restante da cidade foi a ponte ferroviária chamada na época de “ponte dos ingleses”, construída entre os anos de 1912 e 1914 e inaugurada no ano de 1916, no qual foi um marco para a região, pois até então só era possível a travessia do rio Potengi através de embarcações. Através dela a cidade pôde se expandir e crescer, principalmente a zona norte que hoje é a maior das zonas administrativas.

Foi executada pela empresa brasileira Companhia de Viação e Construções SA (CVCSA), o francês Georges Camille Imbault (1877-1951) foi quem a projetou e os materiais e a técnica de execução foram da empresa inglesa Cleveland Bridge Engineering and Co., que em 1912 já tinha no currículo exemplares construídos na Europa, Ásia e África (NEGREIROS NETO, 2013).

Com o aumento da demanda de tráfego foi construída a ponte rodoferroviária de concreto Presidente Costa e Silva ou “ponte de Igapó” como é mais conhecida devido a se localizar no bairro de Igapó e foi inaugurada em 26/09/1970, ao lado da ponte metálica, juntamente com a inauguração da ponte de concreto veio a notícia da desativação da ponte metálica que estava em operação há já 54 anos. Em 23/05/1988 foi inaugurada pela empresa Ecocil a duplicação dessa ponte de concreto, onde foi implantado o canteiro central e mais duas faixas de tráfego e passeio, desta forma acabou facilitando ainda mais o tráfego entre a zona norte e as outras zonas da cidade (MADRUGA, 2018).

A ponte Presidente Costa e Silva, encontra-se hoje em um quadro preocupante com relação a “saúde” de sua estrutura. A ponte atualmente apresenta diversas patologias em consequência da desatenção da administração federal durante anos. Não são feitas manutenções periódicas desde que foi inaugurada, o ideal seria manutenções de 5 em 5 anos, contudo, já faz 28 anos que nenhuma é realizada.

Hoje muitos usuários da ponte se sentem inseguros quando trafegam por ela, em virtude de terem consciência da deterioração escancarada em que a mesma se encontra, isso está sendo motivo atual de diversas discussões sobre o caso, inclusive se intensificaram recentemente, ressaltando a urgência de uma intervenção no local.

O CREA-RN já esteve no local algumas vezes para realizar inspeções e constatou o avanço de armaduras expostas que vem ocorrendo durante os anos (Figura 56).

Depois de tantas cobranças da população local o DNIT assinou no dia 18/04/2019 o contrato emergencial para o início dos reparos na ponte. As atividades se iniciaram no dia 06/05/2019 com prazo de conclusão de até seis meses. Inicialmente não havendo alteração no trânsito. (DNIT, 2019).

Figura 56 – Detalhe da corrosão dos pilares e deslocamento do concreto – Ponte de Igapó



Fonte: Pereira (2018, s. 78).

Não se trata de uma ponte de Igapó em concreto, mas sim de duas, feita em anos diferentes com especificações diferentes, então deve ser levado em consideração que são duas pontes diferentes estruturalmente para serem analisadas.

A seguir consta o detalhamento estrutural dessas duas pontes segundo (PEREIRA, 2018).

A primeira ponte (1970), possui um tabuleiro constituído por 4 vigas pré-moldadas protendidas onde não houve utilização de escoramento direto. Tendo 25 vãos isostáticos, cada vão igual a 34,50 m, ao lado e com a mesma modulação da ponte metálica, dispõe de 8 vigas principais protendidas em duas fases, transversinas intermediárias e de apoio também protendidas e lajes de concreto armado moldadas no local. As vigas principais apresentam seção transversal constante em duplo tê com altura de 2 m, alma de 0,15 m e mesa superior de compressão com 0,6 m de largura e talão inferior de 0,4 m de largura. Nas laterais do tabuleiro existem passeios com 1,50 m de largura que juntamente com as duas pistas de tráfego atinge uma largura total de 12 m.

As fundações são compostas de 28 estacas metálicas por bloco totalizando 520 estacas metálicas com cada uma tendo profundidade de 36 m, são constituídas

de 3 trilhos tr-32 soldados pelos patins, cravadas por bate-estacas com proteção do trecho submerso com tubos metálicos preenchidos de concreto desde o leito do rio até os blocos de coroamento.

Foi dimensionada para um trem-tipo TB-450, classe maior que a máxima existente na norma vigente da época, NB6/60. Tem uma extensão de 606,50 m, contando com 16 pilares parede de concreto armado com largura de 2,20 m com superfície superior escalona e ainda possui 2 encontros. A resistência à compressão do concreto referente a infraestrutura é de 18 MPa, 24 MPa referente ao tabuleiro rodoviário e 26 MPa para o tabuleiro ferroviário.

Referente a segunda ponte de concreto (1988), sua superestrutura também foi em vigas pré-moldadas protendidas executadas com treliças móveis, em número de seis por vão com seção em duplo tê com altura de 2 m pesando 35 t, enquanto as vigas do tabuleiro ferroviário em número de 2 por vão, também com seção em duplo tê, tem altura de 2,40 m pesando 45 t. Nesta segunda ponte de concreto as lajes também são protendidas diferentemente da primeira ponte de igapó.

A mesoestrutura é constituída de 16 pilares parede de concreto armado com largura de 2,20 m com superfície superior escalonada, com o nível de apoio das vigas do tabuleiro ferroviário 0,80 m inferior ao das vigas rodoviárias. Os aparelhos de apoio das vigas sobre os pilares são todos de placas de neoprene fretadas.

A infraestrutura é constituída de estacas pré-moldadas de seção transversal anelar de concreto armado com seção circular vazada, com diâmetro interno de 0,30 m e diâmetro externo de 0,6 m, com profundidade de 25 m, executadas com concreto centrifugado totalizando 288 estacas, cravadas com bate-estacas a vapor delmag-80.

Foi dimensionada considerando classificação de carregamento o tipo TB-360, definido pela NBR 7188/84. A resistência à compressão do concreto para a superestrutura é de 26 MPa e para a mesoestrutura é de 18 MPa.

Observa-se que as resistências a compressão das duas pontes são baixas em relação a NBR atual 6118/2014, na época não se considerava a agressividade do meio ambiente. Para o meio onde se encontra a ponte em estudo, a resistência a compressão da estrutura hoje seria de 40 MPa principalmente para os pilares que tem classificação de respingo de maré. E tanto as resistências, como recobrimento e fator a/c estão mais baixos do que o que determina a norma atual. O recobrimento, por exemplo, das duas pontes é de 2 e 3 cm respectivamente. Com um

recobrimento baixo, a facilidade de corrosão das armaduras é muito maior principalmente levando em conta o ambiente em questão.

A laje da primeira ponte foi feita em concreto armado, o que logicamente está sujeita a uma menor durabilidade que a da segunda executada em concreto protendido, entretanto, mesmo sendo de concretos diferentes as especificações como resistência a compressão, cobrimento e fator a/c são semelhantes, fato que não pode ocorrer atualmente, dado que as estruturas protendidas requerem um maior cuidado contra a corrosão.

As fundações da primeira ponte por ser em estaca metálica acabam tendo uma durabilidade menor que a da segunda com estacas de concreto armado, no entanto, as estacas metálicas estão em maior profundidade.

Uma avaliação do trem tipo da segunda ponte (1988) seria interessante visto que essa foi dimensionada com um carregamento inferior ao que a norma 7188/2013 permite. Deve-se levar em consideração que o fluxo de tráfego só vem aumentando com os anos sobre o local.

6.2 ENSAIOS REALIZADOS

A seguir consta a metodologia executiva de cada ensaio realizado na ponte:

6.2.1 Ensaio de probabilidade de corrosão

Este ensaio foi baseado na norma ASTM-C876, sendo um ensaio não destrutivo no qual é realizado com o auxílio de um eletrodo de cobre/sulfato de cobre Cu/SO₄Cu.

A medida do potencial de corrosão da armadura baseia-se no registro da diferença de voltagem entre a armadura e um eletrodo de referência, que é colocado em contato com a superfície do concreto (Figura 57). A ASTM C-876 mostra uma correlação entre intervalos de diferença de potencial, em relação a um eletrodo de referência de Cu/SO₄Cu, e a probabilidade de ocorrência de corrosão (Figura 58) (FIGUEIREDO, s.d.).

Figura 57 – Vista do ensaio de probabilidade de corrosão em pilar de concreto armado de ponte rodoviária



Fonte: Pereira (2018, s. 30).

Figura 58 – Tabela de probabilidade de corrosão em função do potencial em relação ao eletrodo de referência de Ag/AgCl

Critérios de avaliação segundo a ASTM C-876.	
E _{corr} (mv, Cu/SO ₄ Cu)	PROBABILIDADE DE CORROSÃO
> -200	< 5%
entre -200 e -350	50%
< -350	> 95%

Fonte: Figueiredo (s.d.).

6.2.2 Ensaio de presença e profundidade de carbonatação e pH do concreto

O ensaio de carbonatação consiste em verificar a alcalinidade do meio através da aspersão da solução de fenolftaleína (1g da fenolftaleína em 50 ml de álcool etílico e diluição desta mistura em água destilada até completar 100 ml), (SIQUEIRA et al., 2017). Para o ensaio, é feita a aplicação da solução sobre o concreto fraturado onde é verificado através da coloração se há ou não a presença de carbonatação.

A região carbonatada é aquela que não apresenta alteração na coloração indicando que o pH está abaixo de 9, significando que o concreto não está mais protegendo as armaduras pois há a quebra da camada passivadora do aço. A região

não carbonatada é a que apresenta a cor rosa a vermelho-carmim indicando pH acima de 9,5 normalmente, como mostrado na figura 59.

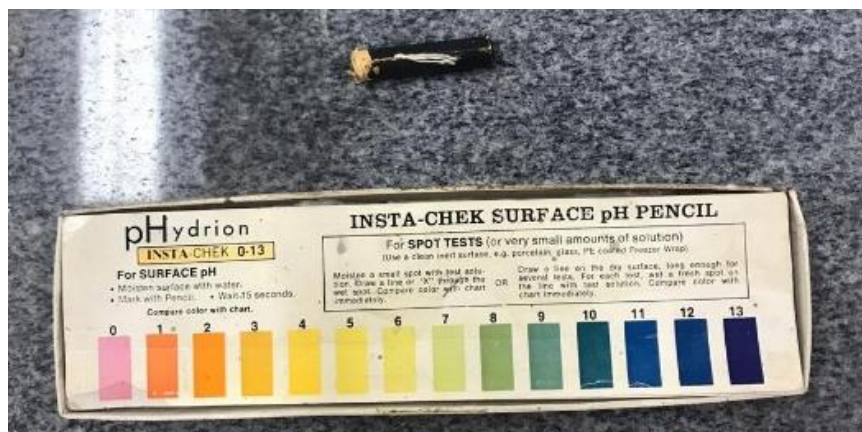
Figura 59 – Representação de carbonatação na parte com coloração incolor após aspersão com solução de nitrato de prata



Fonte: Pereira (2018, s. 273).

Para verificação do pH do concreto usou-se um lápis medidor. O procedimento consiste em riscar a superfície do concreto e em seguida observa-se a cor que surgirá. Através de uma paleta de cores específica é possível distinguir o valor de pH mais aproximado que se encontra na estrutura (Figura 60).

Figura 60 – Lápis medidor de pH e paleta de referência



Fonte: Autor (2019).

6.2.3 Ensaio de presença e profundidade de cloretos por meio de método colorimétrico

Segundo França (2011), o método de aspersão de nitrato de prata para verificação de cloretos foi desenvolvido pelo Dr. Mario Collepari, sendo um método qualitativo.

O ensaio é rápido, fácil e barato de executar, tendo a finalidade de verificar a existência e profundidade de cloretos nas estruturas de concreto. O ensaio é realizado in loco por meio da aspersão da solução de nitrato de prata em uma determinada superfície do concreto fraturado. Onde houver a presença de cloretos livres, terá formação de coloração branca. Na região com presença de cloretos combinados, há a formação de coloração marrom (Figura 61).

Figura 61 – Representação de possíveis cloretos livres (branco) e cloretos combinados (marrom)



Fonte: L. V. Real, et al (2015).

6.2.4 Ensaio de resistência à compressão

A norma que estabelece o método de ensaio à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto é a NBR 5739/2018. Em relação a corpos de provas extraídos, a norma que rege o método é a NBR 7680/2015.

As diretrizes dadas para a máquina de ensaio se encontram na norma ABNT NBR NM 7500-1.

Para determinar a resistência do concreto (em F_{ck}), o corpo de prova extraído é posto na máquina (prensa) e lá é submetido a um carregamento que aumenta progressivamente até a ruptura da amostra. O valor da força exercida no momento da ruptura indica a resistência máxima que o concreto suporta.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS

7.1.1 Ensaio de probabilidade de corrosão

O ensaio foi feito em 16 pilares-parede de concreto armado da ponte no qual, todos os valores registrados deram abaixo de -350 mv. **(-476mv, -410mv, -452mv, -365mv, -388mv, -434mv, 361 mv, -483 mv, -352 mv, -361 mv, -423 mv, -475 mv, -366 mv, -357 mv, -364 mv, -368 mv)**. Isso significa uma probabilidade de corrosão de 95% nas armaduras estudadas. Ou seja, as armaduras desses pilares já se encontram bastante comprometidas devido a corrosão (PEREIRA, 2018).

7.1.2 Ensaio de presença e profundidade de carbonatação e pH do concreto

Este ensaio também foi feito nos 16 pilares-paredes do ensaio anterior, mas também em todas as vigas protendidas e nas duas lajes de concreto armado e protendido, onde foi utilizado os indicadores fenolftaleína e lápis medidor de pH para o procedimento (PEREIRA, 2018).

Pôde-se verificar a presença de carbonatação em todos os pilares-parede analisados através da coloração incolor apresentada após a aspersão da fenolftaleína, a profundidade da carbonatação foi de 3 cm. Através do lápis medidor pôde-se constatar os seguintes valores de pHs: **(pH=8,pH=6,pH=7,pH=6,pH=6,pH=5,pH=6,pH=5,pH=6,pH=5,pH=6,pH=6,pH=7,pH=5,pH=5,pH=6)**. Esses resultados mostram que o concreto nesses pilares não está mais conseguindo proteger as armaduras devido ao seu baixo pH (PEREIRA, 2018). O ideal seria que esse pH fosse em torno de 12.

As vigas e lajes protendidas não apresentaram carbonatação, onde obtiveram coloração rosa após a aspersão da solução e pH= 12, o que significa que o concreto nessas regiões ainda está protegendo as armaduras. Já na laje de concreto armado apenas em sua superfície externa, foi identificado a carbonatação através da coloração incolor apresentada e pH=10, porém sem profundidade. Os resultados nos mostram aqui que o processo de diminuição do pH está em andamento, onde é necessário atentar para a importância de um aumento de recobrimento antes que o processo de corrosão se instale nas armaduras. Os

resultados também nos indicam que as estruturas de concreto armado das pontes possuem uma durabilidade menor em virtude maior facilidade de existência de fissuras na qual, facilitam a penetração do gás carbônico e dos cloretos do ambiente (PEREIRA, 2018).

7.1.3 Ensaio de presença e profundidade de cloretos por meio de método colorimétrico

O ensaio foi realizado nos 16 pilares-parede, nas vigas protendidas e nas lajes em concreto armado e protendido. Após a aspersão da solução de nitrato de prata nos pilares e vigas protendidas pôde-se verificar a formação de coloração branca e marrom, indicando assim a existência de íons cloretos na superfície dessas estruturas. Os pilares-parede obtiveram profundidade de cloretos igual a 3 cm, nas vigas protendidas não houve profundidade, apenas na superfície externa (PEREIRA, 2018).

Essa ação dos cloretos, se justifica ao fato de ser uma zona de respingo de maré, onde essas estruturas são as mais atingidas pelas ondas e respingos.

As duas lajes não apresentaram presença e nem profundidade de cloretos, com obtenção de coloração incolor após a aspersão do indicador (PEREIRA, 2018).

7.1.4 Ensaio de resistência à compressão

A maior resistência à compressão de projeto da ponte de igapó era de 26 MPa, com os ensaios realizados dos corpos de prova extraídos pôde-se constatar resistências maiores que 26 Mpa, como 28MPa, 29MPa e 30MPa.

7.1.5 Aparelhos de apoio

Foi feita análise visual dos aparelhos de apoio, os mais danificados são os da primeira ponte (1970), no qual, todos eles apresentam deformações e espalhamento do material (Figura 62), já os da ponte mais nova (1988) ainda não apresentam deformações consideráveis (Figura 63). Todos possuem bastante tempo de utilização e ainda não passaram por nenhuma manutenção, estando todos fora do prazo de validade devendo ser substituídos.

Figura 62 – Detalhe do aparelho de apoio da primeira ponte de Igapó (1970)



Fonte: Maia Melo Engenharia (2012).

Figura 63 – Detalhe do aparelho de apoio da segunda ponte de Igapó (1988)



Fonte: Maia Melo Engenharia (2012).

7.1.6 Drenagem

Referente a drenagem foi verificado que ao longo do tabuleiro existem drenos mal posicionados, descarregando água do tabuleiro sobre as peças da ponte (Figura 64) (MAIA MELO ENGENHARIA, 2012). E há uma junta longitudinal mal vedada que liga as duas pontes (1970 e 1988), no qual existe um canteiro sobre o tabuleiro que acaba possibilitando o escoamento da água por essa junta para o interior deste tabuleiro (Figura 65), propiciando o aparecimento de manchas causadas por fungos, mofo etc. o que acabam reduzindo o pH do concreto.

Figura 64 – Vista de dreno mal posicionado sobre talão inferior da viga



Fonte: Maia Melo Engenharia (2012).

Figura 65 – Vista de junta longitudinal com problemas de vedação



Fonte: Maia Melo Engenharia (2012).

7.1.7 Juntas de dilatação

Na vistoria foi verificado que as juntas com perfis de borracha não estão funcionando adequadamente, e acabam permitindo a passagem de água para as peças abaixo do tabuleiro (Figura 66). O pavimento apresenta fissuras transversais (Figura 67) exatamente sobre as juntas de dilatação do tabuleiro, causadas pela movimentação do tráfego. Geralmente os perfis elastômeros que são utilizados para preenchimento das juntas, ficam aparentes na face superior do pavimento, mas no caso da ponte de Igapó, foi aplicado camadas de pavimento sobre as juntas, dificultando o acesso às mesmas para uma possível manutenção.

Figura 66 – Detalhe de infiltração causada por deficiência na junta de dilatação



Fonte: Maia Melo Engenharia (2012).

Figura 67 – Detalhe de fissuras no pavimento sobre a junta



Fonte: Maia Melo Engenharia (2012).

7.1.8 Encontros

Em um dos encontros da ponte mais antiga (1970), foram localizadas duas fissuras entre as vigas ferroviárias e as vigas de suporte do tabuleiro rodoviário (Figura 68). As duas fissuras localizadas verticalmente têm abertura maior em suas partes superiores (Figura 69), o que indica que houve abatimento do suporte das vigas ferroviárias. Isso mostra que houve recalque das fundações sob as vigas ferroviárias, porém, não foi constatado se foi devido a falhas de projeto ou execução.

Figura 68 – Detalhe de fissura em um dos encontros



Fonte: Maia Melo Engenharia (2012).

Figura 69 – Detalhe de fissura com 2,5 mm de espessura



Fonte: Maia Melo Engenharia (2012).

Acabamento: Na face superior do tabuleiro das pontes observa-se a deterioração dos passeios (Figura 70).

Figura 70 – Detalhe do passeio danificado



Fonte: Maia Melo Engenharia (2012).

7.2 SERVIÇOS PROPOSTOS DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL

Adiante será exposto os métodos executivos mais indicados para a recuperação e reforço da ponte em estudo.

Referente aos pilares-paredes constatou-se perda de seção das armaduras de mais de 30% devido a intensa corrosão presente. Para este caso é indicado a seguinte metodologia a seguir (PEREIRA, 2018):

Inicialmente o indicado é realizar a remoção do concreto desagregado com liberação das armaduras principais e estribos com corrosão. Em seguida como efeito de limpeza, realizar a aplicação de um hidrojateamento de areia nas armaduras com corrosão com posterior pintura de zinco líquido em todas estas armaduras.

Após os procedimentos iniciais de preparo da estrutura é proposto aplicar uma tela de reforço de aço em todas as seções dos pilares parede (encamisamento), por se tratar de ambiente marinho é indicado a colocação de uma tela de zinco como proteção catódica, grampeadas as telas de aço, pois isso irá permitir uma maior durabilidade das telas de aço contra os cloretos principalmente, posteriormente pode ser feito a aplicação de concreto projetado com aditivo inibidor de corrosão com cobrimento de 4,5 cm de espessura e 40 MPa de resistência à compressão conforme a NBR 6118/2014. Por último a aplicação de argamassa

polimérica como revestimento na superfície externa do concreto a fim de dar uma proteção maior para a estrutura.

Nas vigas pré-moldadas e lajes protendidas, além das lajes em concreto armado devido a já presença de carbonatação/cloretos na superfície externa dos elementos estruturais deve ser realizada a seguinte metodologia executiva:

Aplicação de concreto projetado com aditivo inibidor de corrosão com 5,5 cm de espessura nas estruturas protendidas e 4,5 nas estruturas de concreto armado para 40 MPa de resistência à compressão e aplicação de argamassa polimérica na superfície externa do concreto.

Importante análise estrutural do trem-tipo da ponte de 1988 com classe TB-36 com possibilidade de execução de reforço estrutural, introduzindo novas vigas pré-moldadas protendidas (2) e de estacas raiz ancoradas nos blocos de coroamento com as mesmas características técnicas das já existentes.

Para os aparelhos de apoio que estão com deformações é indicado realizar a troca dos mesmos visto que já são estão fora do prazo de validade e não passam por manutenções rotineiras (MAIA MELO ENGENHARIA, 2012).

Referente a drenagem do tabuleiro, é ideal que inicialmente os drenos de toda a ponte sejam deslocados, a fim de que seja eliminado o fluxo de água sobre as superfícies da estrutura. No caso das manchas existentes, devem ser removidas e, se necessário, recompor o cobrimento das armaduras (MAIA MELO ENGENHARIA, 2012).

Para a junta longitudinal que se situa sob o canteiro, pode ser verificado a possibilidade de sua eliminação, ligando-se definitivamente os tabuleiros das duas pontes (MAIA MELO ENGENHARIA, 2012).

Visando reduzir os custos com manutenções futuras é interessante estudar sobre a possível troca do material de vedação das juntas de dilatação (MAIA MELO ENGENHARIA, 2012):

Deve ser estudada a possibilidade de um reforço na fundação sob as vigas ferroviárias. Após eliminação das causas das fissuras encontradas em um dos encontros da ponte, as mesmas deverão ser seladas para que agentes agressivos a estruturas sejam impedidos de adentrar ao interior da peça deteriorada (MAIA MELO ENGENHARIA, 2012).

Para a recuperação dos passeios, deverão ser demolidos os módulos danificados e construídos novos. O acesso aos passeios pode ser feito através da construção de uma rampa (MAIA MELO ENGENHARIA, 2012).

8 CONCLUSÕES

Podemos concluir que é indispensável a compreensão dos fatores químicos e físicos que contribuem para a degradação das estruturas de concreto. Havendo essa compreensão se torna mais fácil a avaliação e diagnóstico da estrutura em análise, ao mesmo tempo que também facilita a elaboração de novos métodos e produtos eficazes para a aplicação na área de recuperação e reforço estrutural.

Esse trabalho permitiu também tratar da irresponsabilidade da administração pública federal com relação a inexistência de manutenções periódicas principalmente das OAEs, em especial as pontes que se encontram em zona de alta agressividade. A manutenção preventiva ou corretiva deve ser uma atividade rotineira, de forma a evitar a progressão do estado das patologias ao mesmo tempo que os gastos com reparos emergenciais serão poupados, sem falar na segurança garantida para os que transitam por essas obras.

O estudo de caso referente a “ponte de Igapó” em Natal/RN é um espelho para as demais pontes do Brasil. Diversas se encontram em estado igual ou pior que a ponte em estudo.

Através das inspeções e ensaios obtidos pôde-se constatar a gravidade do estado de deterioração da ponte principalmente a intensa corrosão presente nos pilares, em que 95% das armaduras estão comprometidas. Foi dada uma proposta de intervenção, apresentando soluções baseadas em métodos e materiais modernos que são comprovadamente eficazes para garantir a durabilidade e proteção da ponte, como as técnicas de proteção catódica, concreto com aditivo inibidor de corrosão e a argamassa polimérica, em virtude do estado em que ela se encontra. As soluções propostas asseguram uma maior durabilidade e vida útil à obra de arte que é o desejo de toda a população da cidade de Natal.

Apesar das metodologias executivas apresentadas para solucionar as patologias existentes na ponte, o DNIT irá realizar apenas uma obra emergencial englobando somente 10 pilares paredes e algumas vigas com metodologia composta por procedimentos tradicionais de recuperação e reforço estrutural, sendo apenas uma medida paliativa e não corretiva para o caso, no qual, não irá abranger todas as patologias existentes além de manter a classificação do trem-tipo de TB-36 e estruturas sem recobrimentos e resistências ideais, não conforme com a normativa vigente.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-876**: Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. Philadelphia, 2015.

ANDRADE S. **Você realmente sabe como atua a proteção catódica no concreto armado/protendido?** São Paulo, IPT, 2014.

APPLETON, J.; GOMES, A. Reforço de Estruturas de Betão Armado por Adição de Armaduras Exteriores **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas (RPEE)**, Série I, nº 41, p. 15-20, 1997.

ARAÚJO, A.; PANOSSIAN Z.; LOURENÇO Z. **Proteção catódica de estruturas de concreto**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Laboratórios de corrosão e Proteção. São Paulo, 2014.

ASCOM, DNIT. Nota de esclarecimento: Ponte de Igapó – RN. **Portal DNIT**, RN, 14 de fev. 2019. Disponível em: < <http://www.dnit.gov.br/noticias/nota-de-esclarecimento-ponte-de-igapo-rn>> Acesso em: 23/03/2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739**: Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7188**: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7680-1**: Concreto: Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 7500-1**: Materiais metálicos: Calibração e verificação de máquinas de ensaio estático uniaxial Parte 1: Máquina de ensaio de tração/compressão: Calibração e verificação do sistema de medição da força. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários**: publicações IPR – 744. Rio de Janeiro: [s.n.], 2010.

CAMARGO, U. A. **Patologia nas obras civis** (palestra sobre reforço estrutural) – Instituto IDD, Belo Horizonte: 2013.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: 1988.

DICIONÁRIO PRIBERAM DA LÍNGUA PORTUGUESA. **Ponte**. 2013. Disponível em: <<https://dicionario.priberam.org/ponte>>. Acesso em: 24 set. 2018.
do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

FELIPPE FILHO Waldir Neme. **Avaliação dos coeficientes de impacto utilizados no cálculo de pontes rodoviárias via análise dinâmica de estruturas**. 2008. 46 f. Monografia (Graduação – Engenharia Civil) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.

FERRAZ, Daniel. Trem tipo TB-450 ou TB-240. Engenheiro do aço, 2018. Disponível em: < <http://www.engenheirodoaco.com.br/2018/04/02/trem-tipo-rodoviario/>>. Acesso em: 19 jun. 2019.

FIGUEIREDO, Enio Pazini. **Ensaio eletroquímico para avaliação da corrosão das armaduras**. [s.d.], 42 slides. Disponível em: <<http://ibracon.org.br/eventos/58cbc/Palestras/EnioPaziniFigueiredoEnsaioEletroquimicos.pdf>>. Acesso em: 23 março 2019.

FRANÇA, C. B. (2011), **Avaliação de cloretos livres em concretos pelo método de aspersão de solução de nitrato de prata**. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil.

GARCEZ, M. R. **Alternativas para Melhoria no Desempenho de Estruturas de Concreto Armado Reforçadas pela Colagem de Polímeros Reforçados com Fibras**. 2007. 267f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

HIGUERO V. A. **Características físicas y mecánicas de hormigones reforzados con fibras de vidrio, carbono y aramida**. Universidad politécnica de Madrid. Madrid, 2010.

JUVANDES, L. F. P. **Reforço e Reabilitação de Estruturas: Módulo 2**. Faculdade

de Engenharia da Universidade do Porto, 2002. 184f. Formação Profissional – Ordem dos Engenheiros – Universidade do Porto, Madeira, Portugal, 2002.

L. V. Real. Et al. Método colorimétrico por aspersão de nitrato de prata para avaliação da penetração de cloretos em concreto: estado da arte. **Revista Alconpat**, Paraná, v.5, n. 2, p. 151. Disponível em: < file:///C:/Users/Kamyla/Downloads/84-187-3-PB%20(2).pdf>. maio/ago. 2015.

LIMA, Kleyton de Oliveira; PEREIRA, Fábio Sergio da Costa. **Técnicas Eletroquímicas Aplicáveis em Estruturas de Concreto Armado e protendido: Estado da Arte**. Disponível em: <<http://www.revistaunirn.inf.br/revistaunirn/index.php/revistaunirn/article/viewFile/411/354>>. Acesso em: 13 mai. 2019.

MADRUGA, LISZT. A histórica ponte de igapó está abandonada, **Revista de turismo**, Paraíba, 14 de fev. 2018. Disponível em: <<http://revistadeturismopb.com.br/?p=3761>> acesso em: 23 março 2019.

MAIA MELO ENGENHARIA. **Projeto executivo de engenharia para recuperação e reforço do complexo de pontes de Igapó na BR – 101/RN**. DNIT/RN, NATAL, 2012.

MARIANO; José Roberto. “**Recuperação estrutural com ênfase no método da protensão externa**”. 2015. Monografia (Curso de especialização em construção civil) – Departamento de Engenharia de Materiais e Construção – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-A9MJKE/monografia_j._r._mariano_especializa__o_const._civil_ufmg_2015.pdf?sequence=1>. Acesso em: 1 dez. 2018.

NASCIMENTO, Verônica do. **Envelhecimento das obras civis: identificação das patologias e estudos de recuperação e reforço das estruturas de concreto – análise de algumas pontes e viadutos de São Paulo-SP**. Especialização (Construções Civis: excelência construtiva e anomalias). 2013. 163 f. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2013.

NEGREIROS NETO, Manoel Fernandes de. **A construção da ponte metálica sobre o rio Potengi: Aspectos históricos, construtivos e de durabilidade - Natal/RN, Brasil (1912-1916) - Estudo de caso**. 2013. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, UFRN, Natal, 2013. Cap. 4.

OBRAS. Pontes: lajes painel treliçado. **Lajes Hertel**. Disponível em:

<<http://www.lajeshertel.com.br/obras/pontes---laje-painel-trelicado>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

PEREIRA, Fábio Sérgio da Costa. **Análise estrutural e soluções para as principais pontes de Natal**. Material pelo professor. Natal: UNI-RN, 2018.

PIRES, GIOVANETTI, GUARDIA. **Reforço com fibra de carbono – Ponte Teles Pires**. Disponível em: < <http://www.pires.com/obra/reforco-ponte-teles-pires/>>. Acesso em: 04 abril 2019.

PONTE DE SÃO JOÃO. **Wikipédia**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_de_S%C3%A3o_Jo%C3%A3o>. Acesso em: 22 fev. 2019.

REHABILITAR, Red. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Degussa, 2005.

REIS; Lília Silveira Nogueira. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. 2001. Dissertação (Pós-Graduação em engenharia de estruturas0 – Escola de engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUDB-8AKG76/sobre_a_recupera__o_e_refor_o_das_estruturas_do_concreto_armado.pdf;sequence=1>. Acesso em: 1 dez. 2018.

ROCHA, Ana. Saiba como é feita a recuperação das vigas de pontes e viadutos. **Infraestrutura urbana**, 2016. Disponível em: <<https://infraestruturaurbana.pini.com.br/2016/11/saiba-como-e-feita-a-recuperacao-das-vigas-de-pontes-e-viadutos/>>. Acesso em: 24 set. 2018.

ROGERTEC. Tela Galvanica G. Rio de Janeiro, 2017.

SILVA, E. A. **Técnicas de Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. 2006. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

SILVA, P.F. et al. Efeitos da Mudança da NBR 7188:2013 nos Projetos de Pontes. Estudo de Caso: Projeto de Recuperação da Ponte sobre o Rio Correias na BR 101/SC. **VII congresso brasileiro de pontes e estruturas**. Rio de Janeiro, 2014.

SIQUEIRA, M.V. et al. Análise de carbonatação e corrosão por íons cloreto em uma passarela da zona oeste do Recife. **Conferência nacional de patologias e recuperação de estruturas**. Recife, 2017.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 2009. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAgL4kAA/patologia-recuperacao-reforco-estruturas-concreto-1>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

TAKEUTI, A. R. **Reforço de Pilares de Concreto Armado por meio de Encamisamento com Concreto de Alto Desempenho**. 1999. 205 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

TAKEYA, Toshiaki; DEBS, Mounir Khalil El. **Introdução às pontes de concreto**: Texto Provisório de Apoio à Disciplina SET – 412. Departamento de Engenharia de Estruturas - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/pontes/Apost.%20Pontes%20-%20Mounir-Takeya.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

TRABALHO Experimental: Proteção Catódica. Disponível em: < www.dfq.pucminas.br/apostilas/eng_quimica/quimica_pratica15.doc com>. Acesso em: 10 maio 2019.

TRINDADE, Diego dos Santos da. **Patologia em estruturas de concreto armado**. 2015. 87 f. Monografia (Graduação – Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2015/TCC_DIEGO%20DOS%20SANTO S%20DA%20TRINDADE.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. **Patologia das estruturas de concreto**. Escola de Minas – DECIV.

VALQUER, Jales. **Junta de da Ponte dilatação Governador Orestes Quércia localizada entre como zonas e Norte Central da Cidade de São Paulo**. 2016. Disponível em: <<https://www.alamy.es/so-paulo-sp-2001201-junta-de-dilatao-junta-de-da-ponte-dilatao-governador-orestes-quercia-localizada-entre-como-zonas-e-norte-central-da-cidade-de-so-paulo-foto-jales-valquer-fotoarena-image208907674.html>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

VIADUTO QUE CAIU NO DF JÁ PRECISAVA DE MANUTENÇÃO EM 2009, DIZ

RELATÓRIO. **G1, Distrito Federal**, 6 fev. 2018. Disponível em:
<<https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/viaduto-que-caiu-no-df-ja-precisava-de-manutencao-em-2009-diz-relatorio.ghtml>>. Acesso em: 24 set. 2018.

VITÓRIO, Afonso. **Pontes Rodoviárias: Fundamentos, Conservação e Gestão**. Recife, CREA-PE, 2002. Disponível em:
<HTTP://VITORIOEMELO.COM.BR/PUBLICACOES/PONTES_RODOVIARIAS_FUNDAMENTOS_CONSERVACAO_GESTAO.PDF>. Acesos em: 23 nov. 2018.

ZUCCHI; Fernando Luiz. **Técnicas para o reforço de elementos estruturais**. 2015. Monografia (Graduação – Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em:
<http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2015/TCC_FERNANDO%20LUIZ%20ZUCCHI.pdf>. Acesso em 01 dez. 2018.