



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

DANIEL BARROS PEREIRA

**CARACTERIZAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NOS PILARES E
FUNDAÇÕES DA PONTE FERNANDO HENRIQUE CARDOSO**

**PALMAS
2020**

DANIEL BARROS PEREIRA

**CARACTERIZAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NOS PILARES E
FUNDAÇÕES DA PONTE FERNANDO HENRIQUE CARDOSO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel no Curso
Superior de Engenheiro Civil do Instituto
Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Professor Doutor Moacyr
Salles Neto

PALMAS

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

P436c Pereira, Daniel Barros
Caracterização das manifestações patológicas dos pilares e
fundações da ponte Fernando Henrique Cardoso / Daniel Barros
Pereira. – Palmas, TO, 2020.
104 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2020.

Orientador: Dr. Moacyr Salles Neto

1. Patologias. I. Salles Neto, Moacyr. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**

FOLHA DE APROVAÇÃO

DANIEL BARROS PEREIRA

CARACTERIZAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DOS PILARES E FUNDAÇÕES DA PONTE FERNANDO HENRIQUE CARDOSO.

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Coordenação do curso
de Engenharia Civil Instituto Federal
do Tocantins - Campus Palmas,
como exigência à obtenção do grau
em Engenheiro Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA AVALIADORA



Professor Doutor Moacyr Salles Neto
Orientador



Professor Doutor Adriano dos Guimarães de Carvalho



Professora Mestre Caroline Rezende Couto Luz

RESUMO

Pereira, D.B. Caracterização das manifestações patológicas nos pilares e fundações da ponte Fernando Henrique Cardoso. 2020. 24 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2020.

As pontes são de extrema importância para a sociedade em geral pois além de conectar lugares distintos, transpõem obstáculos de forma rápida e segura. Estes obstáculos que geralmente são corpos hídricos têm contato direto com boa parte da estrutura de uma ponte, como os pilares e fundações. A exposição constante a água aliada a falta de manutenção preventiva e a dificuldade de inspecionar essas peças propiciam o surgimento de manifestações patológicas que podem diminuir a vida útil da estrutura. O presente trabalho tem por objetivo analisar e caracterizar a incidência das manifestações patológicas nos pilares e fundações da ponte FHC de Palmas -TO. A metodologia utilizada foram inspeções visuais *in loco* para levantamento das manifestações patológicas dos pilares e fundações, utilizando de equipamentos e profissionais capacitados para a atividade de mergulho nas partes da estrutura que ficavam submersas. As anomalias encontradas foram registradas em fichas que ajudaram a quantificar o número e tipo de incidências por pilar. As manifestações patológicas encontradas foram, corrosão do concreto, corrosão das armaduras, desagregação e fissuras. Foi concluído que a ponte FHC já apresenta alguns problemas que atualmente, não interferem no uso normal da ponte, porém estes problemas caso não sanados, vão aumentando exponencialmente, até causar a inutilidade da ponte, seja parcial ou completa.

Palavras-chave: Patologia. Pontes. Pilares. Mergulho. Inspeções.

Pereira, D.B. Caracterização das manifestações patológicas nos pilares e fundações da ponte Fernando Henrique Cardoso. 2020. 24 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2020.

ABSTRACT

Bridges are extremely important for society in general because in addition to connecting different places, they overcome obstacles quickly and safely. These obstacles, which are usually water bodies, have direct contact with much of the structure of a bridge, such as pillars and foundations. The constant exposure to water coupled with the lack of preventive maintenance and the difficulty of inspecting these parts lead to the emergence of pathological manifestations that can shorten the life of the structure. This work aims to analyze and characterize the incidence of pathological manifestations on the pillars and foundations of the FHC de Palmas -TO bridge. The methodology used was visual inspections in loco to survey the pathological manifestations of the pillars and foundations, using equipment and trained professionals for diving activities in the parts of the structure that were submerged. The anomalies found were recorded on forms that helped to quantify the number and type of incidents per pillar. The pathological manifestations found were corrosion of concrete, corrosion of reinforcement, breakdown of construction failures. It was concluded that the FHC bridge, despite being a new bridge, already presents some problems that currently do not interfere with the normal use of the bridge, however these problems are increasing exponentially as there is no maintenance to solve the existing problems.

Keywords: Pathology. Bridges. Pillars. Diving. Inspections.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Concreto: Especificação, Desempenho, Produção e Conformidade.....	19
Quadro 2 - Nome da Abertura em Função do Tamanho.....	25
Quadro 3 - Exigência de durabilidade em função da classe de agressividade ambiente.....	26
Quadro 4 - Vistoria nos Pilares da Ponte FHC.....	45
Quadro 5 - Ficha de Inspeção.....	46

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ponte FHC (Fernando Henrique Cardoso).....	9
Figura 2 – Foto Vista Lateral Ponte FHC.....	10
Figura 3 - Esquema Ilustrativo De Ponte.....	12
Figura 4 – Divisão da Estrutura de uma Ponte.....	13
Figura 5 – Ilustração dos Aparelhos de Apoio.....	14
Figura 6 – Componentes de uma Ponte.....	14
Figura 7 – Fundações Diretas A, B e C.....	15
Figura 8 - Fundação Estaca, Tubulão e Caixaõ.....	15
Figura 9 - Sistemas Estruturais da Superestrutura de uma Ponte.....	17
Figura 10 - Modelo Ponte FHC vão Central.....	18
Figura 11 - Esquema de Desempenho Satisfatório.....	20
Figura 12 – Gráfico da Lei de Sitter.....	22
Figura 13 - Fissuras Acompanhando o Estribo do Pilar e Formação de Fissuras por Assentamento Plástico.....	27
Figura 14 - Fissura Retração Plástica do Concreto.....	28
Figura 15 - Fissuras e Trincas Fase Inicial.....	29
Figura 16 - Fissura na Alma Devido á Retração.....	30
Figura 17 - Fases do Processo de Corrosão em uma Barra de Aço.....	30
Figura 18 - Trincas Provocadas pela Corrosão Das Armaduras.....	31
Figura 19 – Fissura Retração Térmica.....	32
Figura 20 - Fissura Esforço flexão.....	33
Figura 21 – Fissura Esforço Cortante.....	33
Figura 22 - Fissura Relativa ao Esforço de Tração.....	34
Figura 23 - Fissura ao Esforço de Torção.....	34
Figura 24 - Fissura ao Esforço Compressão.....	34
Figura 25 - Representação do Avanço da Carbonatação.....	35
Figura 26 – Exemplo de Desagregação.....	36
Figura 27 - Exemplo de Segregação.....	36
Figura 28 – Reação Alkali Sílica.....	38
Figura 29 Mergulhador Durante a Inspeção.....	41
Figura 30 - P21.....	42
Figura 31 - Vista da Ponte FHC	42

Figura 32- Formato P11 e P12.....	44
Figura 33- Desgaste Concreto - P20.....	48
Figura 34- Desgaste Concreto - P18.....	49
Figura 35- Desgaste Concreto - P14.....	49
Figura 36- Desgaste Concreto - P12.....	50
Figura 37- À esquerda P11, e a direita P14.....	50
Figura 38- Fenda - P13.....	51
Figura 39- Diferença de nível da água.....	52
Figura 40- Parte Seca - P21.....	52
Figura 41- Vista Frontal - P21.....	53
Figura 42- P21 - 4 metros de profundidade.....	53
Figura 43- Vista Frontal - P15.....	54
Figura 44- Ponto de colisão - P15.....	54
Figura 45- Ponto de colisão - P14.....	55
Figura 46- Desgaste na P14.....	55
Figura 47- Comprimento da abrasão - P14.....	56
Figura 48- Ponto de colisão em quina - P13.....	56
Figura 49- Vista lateral - P12.....	57
Figura 50- Abrasão ocorrido na P12.....	57
Figura 51- Múltiplos pontos de abrasão – P11.....	58
Figura 52 - Fratura com desagregação - P11.....	58
Figura 53 - Dimensão da fratura - P11.....	59
Figura 54 - Ponto de ancoragem de embarcação - P11	60
Figura 55 - Corda usada pelas embarcações - P11.....	60
Figura 56 - Armadura exposta devido a corrosão do concreto - P15.....	61
Figura 57 - Armadura exposta devido a corrosão do concreto - P14.....	61
Figura 58 - Armadura exposta devido a corrosão do concreto - P13.....	62
Figura 59 - Armadura exposta devido a corrosão do concreto – P14.....	62
Figura 60 - Falha de concretagem P-6.....	63
Figura 61- Falha de concretagem – P9.....	63
Figura 62 - Falha de concretagem.....	64
Figura 65 - Fissuras longitudinais - P11.....	66
Figura 66 - Fenda acima e abaixo do nível d'água – P12.....	66
Figura 67 - Fenda acima e abaixo do nível d'água – P11.....	67

Figura 68 - Fissura longitudinal com mais de 5 m de comprimento – P12.....	67
Figura 69 - Barras tratadas com material derivado de petróleo - P13.....	68
Figura 70 - Pontos de fixação formas - P11.....	68
Figura 71 - Ponto de fixação das formas – P12.....	69
Figura 72 - Pontos de fixação das formas - P11.....	69
Figura 73 - Barras oxidadas – P11.....	70
Figura 74 - Barras de aço expostas a cerca de 40 cm de profundidade - P11.....	70
Figura 75 - Rachadura na base do bloco – P21.....	71
Figura 76 - Rachadura – P21.....	71
Figura 77 – Parte inferior.....	72
Figura 78 - Modelagem da atual – P21.....	72
Figura 79 - Vista Lateral e vista superior do bloco- P21.....	73
Figura 80 - Tubulão – 16 metros de profundidade P- 20.....	73

LISTA DE SIGLAS

FHC Fernando Henrique Cardoso

EN Norma Europeia

DNIT Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.2 Problema de Pesquisa.....	9
1.3 Justificativa	9
1.4 Objetivos.....	11
1.4.1 Objetivo Geral	11
1.4.2 Objetivos Específicos.....	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Pontes	12
2.1.1 Definição.....	12
2.1.2 Componentes.....	12
2.1.2.1 Superestrutura	13
2.1.2.2 Mesoestrutura	13
2.1.2.3 Infraestrutura.....	14
2.1.2.3.1 Fundações Superficiais	14
2.1.2.3.2 Fundações Profundas	15
2.1.3 Classificação.....	16
2.1.3.1 Finalidade	16
2.1.3.2 Material	16
2.1.3.3 Comprimento	16
2.1.3.4 Sistema Estrutural.....	16
2.1.4 A Estrutura da Ponte FHC.....	17
2.2 Conceitos Gerais.....	18
2.2.1 Desempenho.....	18
2.2.3 Manutenção	20
2.2.4 Reabilitação	22
2.2.5 Recuperação.....	22
2.2.6 Reforço	22
2.3 Manifestações Patológicas nas Estruturas de Pontes	22
2.3.1 Classificação das principais falhas estruturais	23
2.3.1.1 Falhas congênicas	23
2.3.1.2 Falhas adquiridas durante a construção.....	24
2.3.1.3 Falhas motivadas por causas acidentais	24
2.3.1.4 Falhas adquiridas devido as condições de exposição	24
2.3.2 Conceitos dos danos mais comuns.....	24
2.3.2.1 Fissuração	24
2.3.2.1.1 Causas de fissuras do concreto na fase plástica.....	26

2.3.2.1.1.1 Assentamento Plástico do concreto	27
2.3.2.1.1.2 Retração Plástica do Concreto	28
2.3.2.1.1.3 Retração Térmica Inicial.....	28
2.3.2.1.2 Causas de fissuras no concreto endurecido	29
2.3.2.1.2.1 Retração	29
2.3.2.1.2.2 Corrosão de armaduras.....	30
2.3.2.1.3 Causas de fissuras no concreto na fase de utilização da estrutura	31
2.3.2.1.3.1 Variação de Temperatura.....	31
2.3.2.1.4 Fissuras causadas pelo tráfego de cargas móveis ou Deficiência de projeto.....	32
2.3.2.2 Carbonatação	34
2.3.2.3 Desagregação.....	35
2.3.2.4 Segregação.....	36
2.3.2.5 Ação dos Cloretos.....	36
2.3.2.6 Corrosão do Concreto	36
2.3.2.7 Reação Álcali – Sílica.....	38
2.4 Inspeções em Pontes	38
2.4.1 Tipos de inspeções	38
2.4.2 Classificação das Obras de Arte especiais.....	39
2.4.3 Técnicas de Inspeções em estruturas submersas.....	40
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	41
3.1 Amostras.....	41
3.2 Técnicas.....	42
3.2.1 Levantamento das Manifestações Patológicas.....	42
3.2.2 Registro das Manifestações Patológicas	44
3.3 Caracterização das Patologias	45
3.4 Fluxograma de Inspeção.....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1 Pilares	49
4.1.1 Corrosão do concreto por lixiviação	49
4.1.2 Fraturas associadas a colisões de embarcações	55
4.1.3 Falhas na Execução da Estrutura	61
4.1.3.1 Falta de cobrimento	61
4.1.3.2 Falha de concretagem.....	63
4.1.3.3 Corrosão das Armaduras	66
4.2 Fundações	71
4 CONCLUSÃO	76

REFERÊNCIAS	77
APÊNDICE.....	79

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Vitório (2002, pg. 9), genericamente ponte é toda obra necessária para manter a continuidade de uma via quando existe algum tipo de obstáculo. Mas especificamente, denomina-se ponte a obra de transposição, quando o obstáculo é constituído por água, cabendo-lhe estabelecer a ligação entre duas margens. As pontes são elementos indispensáveis para sociedade atual, pois as mesmas proporcionam mais qualidade de vida aos usuários, ao conectar lugares de difícil acesso de forma rápida, segura e econômica.

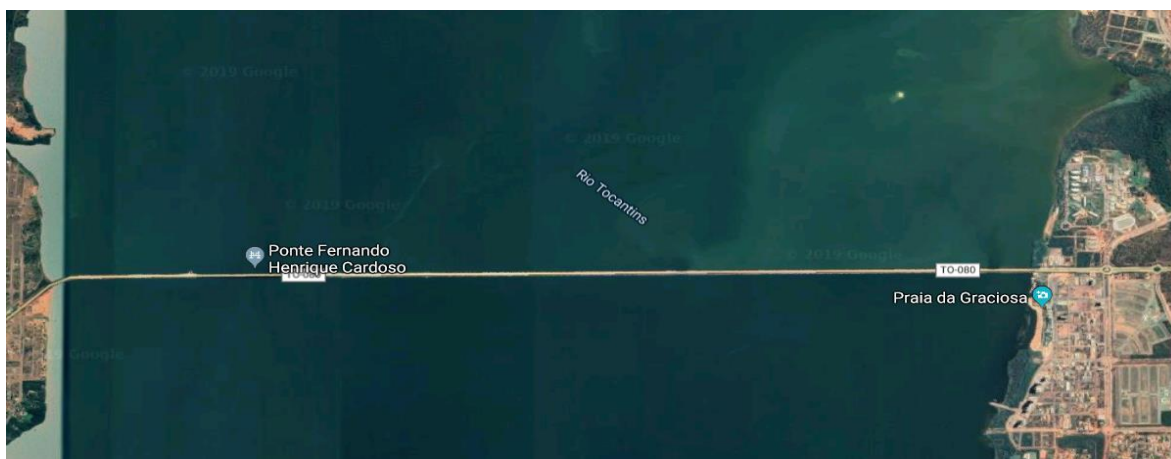
Patologia das estruturas, por sua vez, é o campo da engenharia que se ocupa com o estudo das origens, formas de manifestações, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas visando o seu desempenho durante a vida útil da mesma (Souza e Ripper, 1998).

As manifestações patológicas em pontes são bem comuns uma vez que elas têm parte de sua estrutura submersa, o que gera um ambiente suscetível à deterioração e degradação dos componentes do concreto, como é o caso dos pilares e fundações. Além disso, as essas estruturas são submetidas a esforços constantes de grande relevância, como carretas que escoam os mais variados produtos. Devido a sua importância, as pontes necessitam de atenção especial em relação às inspeções e manutenções que devem ser realizadas rotineiramente, a fim de garantir o bom desempenho da estrutura e prolongar sua vida útil.

Na cidade de Palmas-TO a ponte FHC, inaugurada em 27 de dezembro de 2002, tem a função de ligar o município de Palmas ao município de Porto Nacional, mais especificamente ao Distrito de Luzimangues, além de ser a conexão mais rápida entre a Capital Tocantinense e a BR-153, uma das rodovias mais importantes do país.

Neste trabalho, buscou-se identificar a incidência das possíveis manifestações patológicas nos pilares de concreto armado e fundações da ponte FHC. Com o intuito de esclarecer tecnicamente as causas e origens das manifestações patológicas observadas.

Figura 1 - Ponte FHC (Fernando Henrique Cardoso)



Fonte: Google Mapas (2019)

1.2 Problema de Pesquisa

Com o intuito de conhecer sobre as condições de uso e o nível de desempenho em que se encontra a ponte FHC, o presente trabalho por meio da identificação, mapeamento e classificação das anomalias visa responder a seguinte questão: “Quais as manifestações patológicas existentes nos pilares e fundações da ponte FHC localizada em Palmas –TO?”

1.3 Justificativa

A garantia da maior vida útil, com satisfatório desempenho funcional e estrutural, depende basicamente de uma adequada manutenção ao longo do tempo. Essa manutenção, tanto preventiva como corretiva deverá fazer parte de um processo mais amplo de gestão das rodovias com suas respectivas obras de arte, compreendendo vistorias periódicas que visem identificar as falhas estruturais existentes, diagnosticando-as, e, em seguida, definindo as ações de recuperação, caso necessárias (VITÓRIO, 2002).

No ano de 2019 a ponte Luís Eduardo Magalhães que fica no município de Porto Nacional- TO foi interditada, antes disso já havia sido realizado um controle de tráfego que proibia veículos pesados de passarem pela ponte, que apresenta problemas desde 1986, quando passou pela sua primeira reforma. Tais medidas

impactaram drasticamente a vida dos cidadãos que moravam nos municípios próximos e caminhoneiros que precisavam passar pela estrutura, que já tem 40 anos de idade. Atualmente a ponte se encontra operando parcialmente, com sua capacidade de carga limitada a veículos de até 3,5 t, em quanto se aguarda a construção da nova ponte que já foi licitada.

A ponte FHC que tem 17 anos desde a sua inauguração é de extrema importância para a cidade de Palmas, pois é o elo de ligação entre a capital e o distrito de Luzimangues, onde, segundo a secretaria de habitação de porto nacional, estima-se ter mais de 20.000 habitantes que em sua maioria trabalham na Capital. O bairro de Porto Nacional também abriga o pátio multimodal da ferrovia norte-sul que é principal ponto de abastecimento de combustível da região e responsável por suprir Palmas. A ponte também é o caminho mais rápido para chegar a BR-153, cerca de 57 Km, que é a rodovia mais importante do estado do Tocantins.

Figura 2 – Foto Vista Lateral Ponte FHC



Fonte: Jornal do Tocantins (2017)

Portanto este trabalho é de extrema relevância para a sociedade em geral que depende do bom funcionamento e desempenho da ponte FHC pois o mesmo tem como objetivo levantar as patologias existentes nos pilares e fundações da ponte FHC e identificá-las, desta forma fornecendo um parecer técnico dos possíveis problemas existentes na estrutura, conscientizando a quem interessar, da situação atual da ponte

e da necessidade das manutenções periódicas em tempo hábil suficiente para que se consiga prolongar ao máximo a vida útil da estrutura, desta forma tentando evitar o que aconteceu com a ponte de Porto Nacional. Outro aspecto de grande importância do trabalho é que pelo fato de os pilares e fundações serem de difícil acesso, uma vez que, parte dessas estruturas ficam submersas a grandes profundidades, e necessitam de equipamentos e profissionais capacitados para realizar sua inspeção e fornecer possíveis diagnósticos, tanto a sociedade que tem função de cobrar, quanto os órgãos fiscalizadores que deveriam zelar por essas estruturas, acabam por negligenciar suas funções devido à complexidade ao acesso.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Analisar e caracterizar a incidência das manifestações patológicas nos pilares e fundações da ponte FHC de Palmas-TO.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar e mapear as anomalias e falhas detectadas na inspeção;
- Classificar as anomalias e falhas encontradas e apontar seu grau de risco;

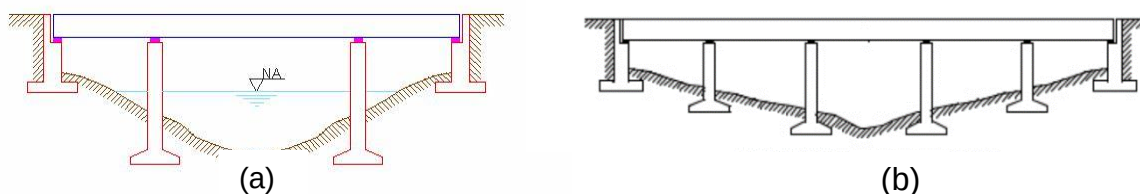
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Pontes

2.1.1 Definição

Segundo Debs e Takeya (2007, pg. 5) pontes são um tipo de construção que visa ligar dois pontos separados por algum obstáculo que interrompe a continuidade de alguma via. Quando este obstáculo for constituído por um curso d'água seja ele um rio, mar ou lago, a estrutura responsável pela ligação dessas extremidades recebe o nome de ponte (propriamente dita). Porém quando a função dessa estrutura é transpor um vale ou uma via, ela recebe o nome de viaduto.

Figura 3 - Esquema Ilustrativo de Ponte (a) e Viaduto (b)



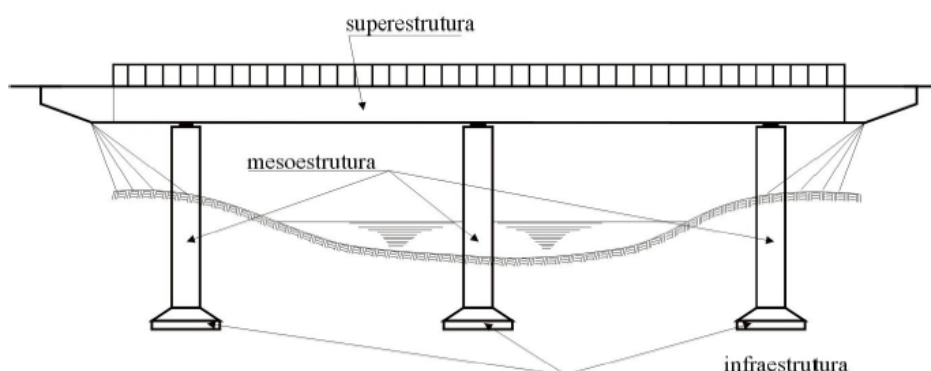
Fonte: Debs Takeya (2007)

2.1.2 Componentes

Podemos dividir a estrutura da ponte em 3 partes (figura 4):

- Superestrutura;
- Mesoestrutura;
- Infraestrutura.

Figura 4 – Divisão da Estrutura de uma Ponte



Fonte: Debs e Takeya (2007)

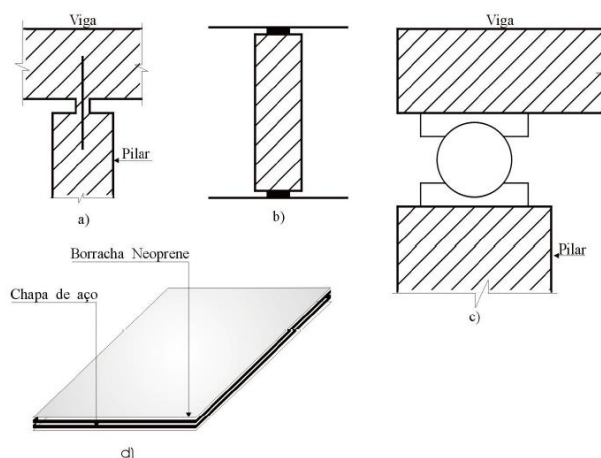
2.1.2.1 Superestrutura

Segundo Vitório (2002, pg. 9), a superestrutura é parte responsável por vencer o obstáculo e por receber diretamente as cargas atuantes sobre a ponte, como o tráfego de veículos e pessoas que transitam sobre a mesma. Pode ser dividida em secundária e principal. A secundária é a parte do tabuleiro (laje superior) responsável diretamente por absorver as cargas e transmiti-las a superestrutura principal. É composta pelas vigas longitudinais e vigas transversais que são as que realmente vencem o vão proposto.

2.1.2.2 Mesoestrutura

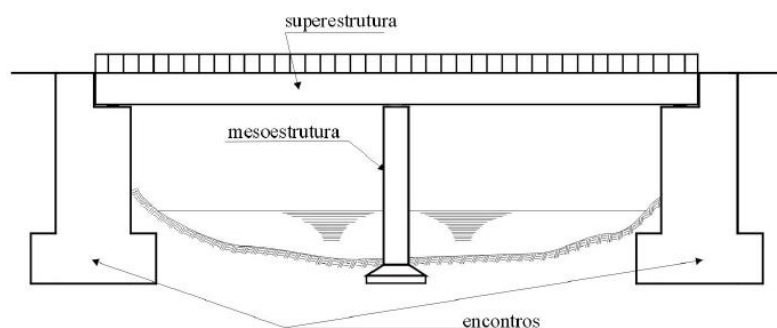
A mesoestrutura é composta por:

- a) Pilares: tem função de transmitir as cargas da superestrutura para as fundações
- b) Aparelhos de apoio: São elementos de transição situados entre os pilares e os tabuleiros que fazem a transição das cargas da superestrutura para a mesoestrutura, além de permitir movimentações entre elas (figura 5).

Figura 5 – Ilustração dos Aparelhos de Apoio

Fonte: Vittorio (2002)

c) Encontros: Os encontros além de receber essas cargas da superestrutura, fazem a contenção dos aterros nas extremidades da ponte, recebendo além de cargas verticais, empuxos horizontais provenientes dos aterros (figura 6).

Figura 6 – Componentes de uma Ponte

Fonte: Vittorio (2002)

2.1.2.3 Infraestrutura

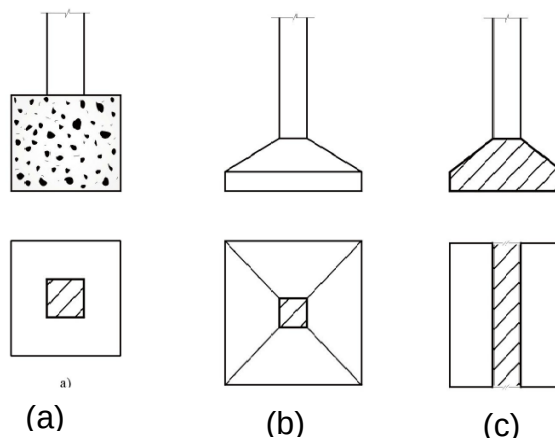
A infraestrutura ou fundações tem a função de transmitir os esforços solicitados pela estrutura e repassar os mesmos para o solo. As fundações podem ser superficiais (Diretas) ou profundas (Indiretas).

2.1.2.3.1 Fundações Superficiais

Segundo a NBR 6122/96 fundações diretas são aquelas em que a carga é transmitida ao terreno, predominantemente pelas pressões distribuídas sob a base

da fundação. São indicadas onde a uma profundidade relativamente baixa o terreno proporciona boa resistência. Tipos de fundações diretas são blocos e sapatas (figura 7).

Figura 7 – Fundações Diretas (a), (b) e (c)



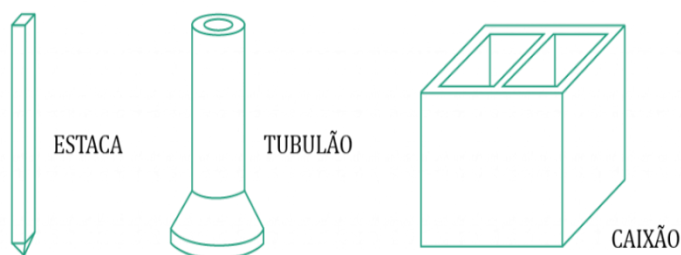
Fonte: Vittorio (2002)

Na figura 7 temos: a) Bloco Isolado; b) sapata isolada; c) Sapata corrida.

2.1.2.3.2 Fundações Profundas

Segundo a NBR 6122/96 o elemento de fundação profunda ou indireta, é o que transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas. É utilizada quando o solo de boa resistência está a uma profundidade média ou grande, o que é bastante comum na construção de pontes. Dentre as fundações indiretas são comuns: estacas, caixões e tubulão (figura 8).

Figura 8 - Fundação Estaca, Tubulão e Caixão.



Fonte: Site Obra Expertise

2.1.3 Classificação

As pontes segundo Debs e Takeya, (2007, pg.10) e Vitório (2002, pg.11) podem ser classificadas quanto a sua finalidade, material, comprimento, sistema estrutural da superestrutura e sistema construtivo.

2.1.3.1 Finalidade

As pontes podem ser classificadas como;

- Rodoviária – Obra destinada ao tráfego rodoviário;
- Ferroviária - Obra destinada ao tráfego ferroviário;
- Rodoferroviária - Obra destinada ao tráfego rodoferroviário;
- Passarela - Obra destinada ao tráfego de pedestres;
- Aeroviária - Obra destinada ao tráfego de aeronaves nos pátios dos aeroportos.

2.1.3.2 Material

- Ponte de madeira;
- Ponte de pedra;
- Ponte em concreto armado;
- Pontes metálicas;
- Pontes em concreto protendido;
- Pontes em concreto pré-moldado;

2.1.3.3 Comprimento

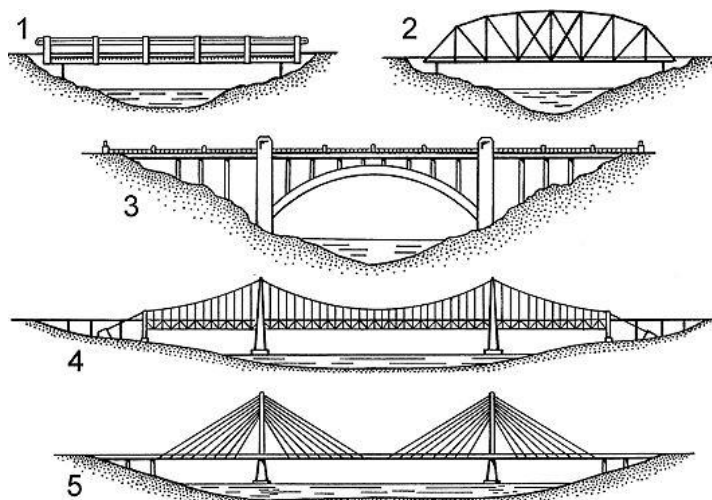
- Galerias (bueiros) – 2 a 3 metros;
 - Pontilhões - 3 a 10 metros;
 - Pontes - Acima de 10 metros;
1. Ponte de pequenos vãos - até 30 metros;
 2. Ponte de médios vãos - de 30 a 60 metros;
 3. Ponte de grandes vãos – acima de 60 metros;

2.1.3.4 Sistema Estrutural

1. Ponte em viga;

2. Ponte em pórtico;
3. Ponte em arco;
4. Ponte pênsil;
5. Ponte estaiada;

Figura 9 - Sistemas Estruturais da Superestrutura de uma Ponte



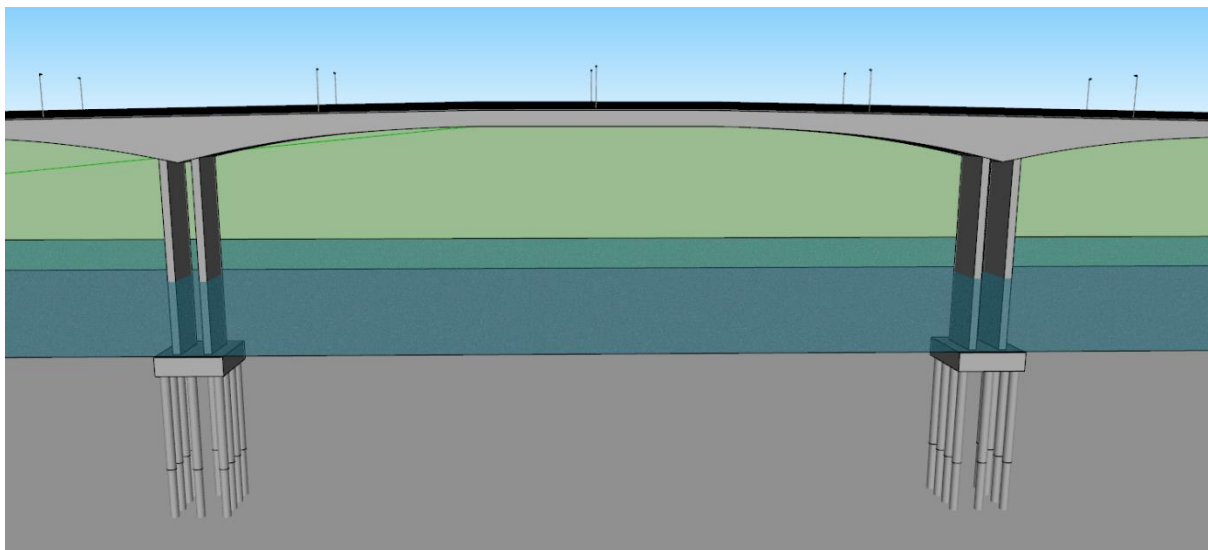
Fonte: <http://www.engenhariapt.com/>

2.1.4 A Estrutura da Ponte FHC

A ponte Fernando Henrique Cardoso, foi inaugurada em 27 de setembro de 2002 e é constituída por 4 aterros e 3 pontes que juntos totalizam mais de 8 mil metros. A maior delas, objeto do nosso estudo, possui 1042 metros de extensão, sendo em parte a responsável por fazer a travessia do lago de Palmas formado pela Usina Hidrelétrica de Lajeado.

A ponte principal tem sua superestrutura em vigas, tipo Gerber para vencer os vãos que chegam a 105 metros de comprimento, onde passa o antigo leito do Rio Tocantins. Os pilares do vão central, onde a ponte tem sua maior altura, cerca de 25 metros até o nível d'água, tem até o encontro do bloco do tubulão cerca de 33 metros de altura, sendo destes 16 metros dentro d'água. Suas fundações são compostas por blocos sobre tubulões, onde a profundidade desses tubulões podem chegar a 25 metros (figura 10).

Figura 10 - Modelo Ponte FHC Vão Central.



Fonte: James Souza (2019)

2.2 Conceitos Gerais

2.2.1 Desempenho

Segundo Souza e Ripper (1998, pg. 17), entende-se por desempenho o comportamento em serviço de cada produto ao longo da vida útil, que sempre reflete o trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção. Representa a capacidade do produto entregue, de fazer o que se espera dele, com a performance e tempo previsto em projeto, obedecendo-se as manutenções periódicas nele descrita.

Com a competitividade do mercado as empresas precisam se reinventar para conseguir entregar o maior desempenho possível das suas obras aliados ao menor custo, economizando quando possível em materiais, mão de obra e serviços, com o desafio de não perder a qualidade. Principalmente nas obras de arte especiais, como as pontes, que por se tratar de obras de grande complexidade e custo, têm-se a expectativa de que irá manter o desempenho de suas estruturas pelo maior período de tempo possível.

A norma europeia EN 206-1 (2007) prevê tempo de vida útil para os variados tipos de estruturas (Quadro 1).

Quadro 1 – Concreto: Especificação, Desempenho, Produção e Conformidade.

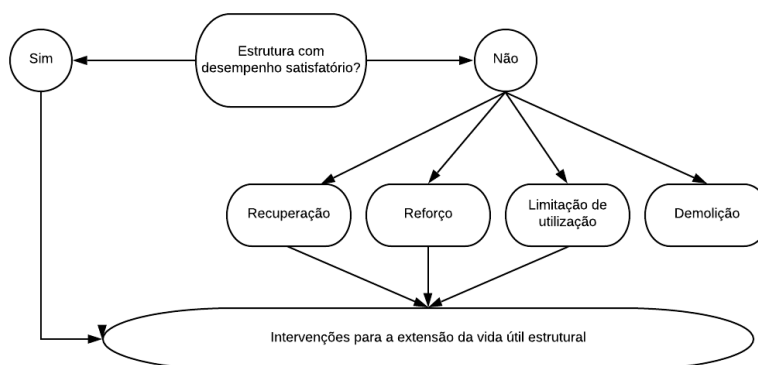
EM 206-1 (2007) Concreto: Especificação, desempenho, produção e conformidade	
Tipo de estrutura	Vida útil nominal
Temporárias	≥ 10 anos
Partes estruturais substituíveis (EX.: apoios)	10 a 25 anos
Estruturas para agricultura e semelhantes	15 a 30 anos
Edifícios e outras estruturas comuns	≥ 50 anos
Edifícios monumentais, pontes e outras estruturas de engenharia civil	≥ 100 anos

Fonte: Helene (2007)

Porém não é o que se observa, e em alguns casos as obras ao serem entregues como concluídas, já apresentam desempenho insatisfatório resultando em reformas logo nos primeiros anos, como foi o caso da ponte Luís Eduardo Magalhães de Porto Nacional que nos primeiros 7 anos de funcionamento precisou de intervenção, necessitando passar por reformas.

Contudo, não se pode atribuir a construtora somente a responsabilidade sobre os problemas que podem surgir nessas estruturas, em muitos casos a não observação, por parte do contratante, do manual que especifica a periodicidade das manutenções, necessárias para garantir o bom desempenho da estrutura é totalmente negligenciado, principalmente quando o contratante é um órgão público.

A análise de desempenho da estrutura deve ocorrer periodicamente, com um cronograma dos tipos de inspeções a serem realizadas que servirão com uma entrevista, recolhendo informações das condições da estrutura que ajudaram a definir o seu nível de desempenho e possíveis intervenções, como mostra o esquema a seguir (figura 11).

Figura 11 – Esquema de Desempenho Satisfatório

Fonte: Souza e Ripper (1998)

2.2.2 Vida Útil e Durabilidade

Segundo a ISO 13823, durabilidade pode ser definida como:

“A capacidade de uma estrutura ou de seus componentes de satisfazer, com dada manutenção planejada, os requisitos de desempenho do projeto por um período específico de tempo sob influências das ações ambientais, ou como resultado do processo de envelhecimento natural” (2008, p. 2).

Para Souza e Ripper (1998, pg.19) o conceito de vida útil e durabilidade estão associados, entendendo-se como durabilidade o parâmetro que, relaciona a aplicação das características de deterioração dos materiais que compõe o concreto, bem como do sistema estrutural de uma determinada construção, a resposta que os mesmos darão aos efeitos da agressividade ambiental, definindo assim sua vida útil.

O que salienta a importância da qualidade dos materiais usados nas estruturas de ponte, bem como os detalhes especificados em projeto para a construção da mesma, pois as pontes tem boa parte da sua estrutura imergidas em água, como é o caso da ponte FHC, que tem vinte e um pares de pilares e fundações, pra vencer o vão do lago de palmas de mais de 1 km de extensão, com boa parte dos seus corpos submersos, o que gera um ambiente que pode acelerar a deterioração dos componentes do concreto, acarretando em manifestações patológicas caso não haja a devida manutenção.

Medeiros, Andrade e Helene (2011, pg.27) afirmam que o conhecimento acerca da durabilidade e da vida útil das estruturas são de extrema importância para o auxílio na previsão do comportamento da estrutura a longo prazo, prevenir manifestações patológicas precoces e contribuir para a elaboração de planos eficazes de intervenção e manutenção das estruturas.

2.2.3 Manutenção

Souza e Ripper, (1998, pg. 21) conceituam manutenção como o conjunto de atividades necessárias a garantia do 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.

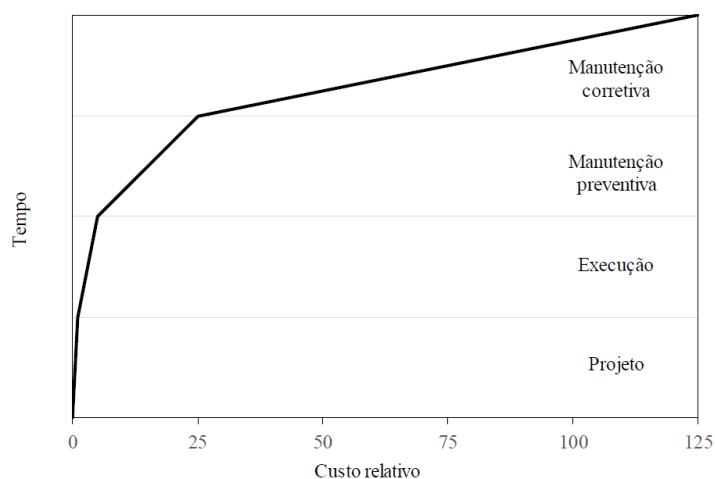
De acordo com o manual de manutenção de obras de artes especiais (OAE's) do DNIT (2016) as obras de artes especiais podem se tornar estruturalmente ou funcionalmente deficientes por conta da corrosão ou deterioração do concreto, associado a umidade ou as condições ambientais. Porém essas deficiências podem ser evitadas caso sejam realizadas manutenções periódicas.

Logo, a importância de o responsável pela estrutura, no caso das maiorias das pontes do Brasil, o Governo, de cuidar pelo zelo, manutenção e controle de tráfego das pontes. Comumente é dada atenção para as anomalias encontradas nestas estruturas quando algum problema grave acontece ou quando seu grau de deterioração está bastante avançado, acarretando maiores custos para a restauração do mesmo, dentro de um padrão aceitável.

Para que isso não aconteça é importante conhecer os tipos de manutenção e como cada uma contribui para a durabilidade das estruturas, são 3 as mais importantes:

- Manutenção Preventiva: Atividades para prevenir a origem de defeitos durante a vida útil da edificação;
- Manutenção Preditiva: Atividades realizadas para prevenir falhas na estrutura através de acompanhamentos de diversos parâmetros, desta forma quando o grau de deterioração diminuir e atingir um nível limite pré-estabelecido pela variável monitorada é tomada a decisão de intervenção;
- Manutenção Corretiva: Atividades realizadas para recuperar o desempenho perdido após a avaria.

Figura 12 – Gráfico da Lei de Sitter



Fonte: Adaptado de Sitter (1984) apud Vittorio (2005)

A lei de Sitter como apresentado na figura 12, mostra como os custos tendem a aumentar em progressão geométrica na razão 5, em cada etapa desde a concepção do projeto até sua manutenção corretiva. O intuito é reforçar a importância de agir adequadamente em cada etapa. O gráfico mostra que sendo negligenciada a manutenção preventiva, os custos para execução da manutenção corretiva, é 5 (cinco) vezes maior que o da manutenção preventiva e até 125 vezes maior que o valor inicial de projeto.

2.2.4 Reabilitação

Conjunto de atividades que além de recuperar e reforçar a estrutura, fazem modificações, podendo elas serem aumento de capacidade de carga, alargamento, passeios laterais, e barreiras de segurança. (DNIT, 2004a e AASHTO, 2007)

2.2.5 Recuperação

Conjunto de atividades que visam recuperar atividade estrutural, eliminando defeitos e reduzindo a velocidade de degradação da estrutura, aumentando sua vida útil. (DNIT, 2004a e AASHTO, 2007)

2.2.6 Reforço

Conjunto de atividades que com a eliminação de todos os defeitos que afetam o desempenho da estrutura, devolvem a ponte as condições próximas das iniciais e, até melhores, na capacidade de carga. (DNIT, 2004a)

2.3 Manifestações Patológicas nas Estruturas de Pontes

De acordo com Vitório (2003, pg. 24) toda construção é resultado de materiais diversos e heterogêneos e de mão de obra geralmente não especializada e de grande rotatividade. Somando isso a agressividade ambiental, má utilização e a falta de conservação, começam as manifestações de fenômenos patológicos que tendem a comprometer a funcionalidade e segurança da estrutura.

Com a necessidade de entender os problemas existentes, repará-los, e consequentemente evitá-los, surgiu este campo da engenharia denominado Patologias da Estruturas, que se ocupa em estudar a origem, forma de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência de falhas dos sistemas de degradação das estruturas. (SOUZA E RIPPER, 1998, p. 14)

Para estudar tais pontos, da patologia, são necessárias de informações sobre a estrutura que se pretende analisar, para que seja feito um diagnóstico, e então seja definida uma conduta de atuação. O levantamento de informações consiste no acúmulo de dados necessários para o entendimento da anomalia, estes dados podem ser obtidos através de vistorias no local, histórico de problemas anteriores e através de ensaios realizados. O diagnóstico é realizado através dos dados levantados, correlacionando-os e chegando a uma relação de causa e efeito, que caracteriza o problema patológico.

A conduta de atuação consiste em após ter clareza acerca da causa do problema, proporcionar a solução tanto para a causa do problema existente quanto para o dano já gerado por esse problema, fazendo com que a estrutura volte a sua condição de desempenho aceitável.

As pontes são estruturas que apesar serem robustas são bastantes suscetíveis a ocorrência de patologias devido ao ambiente em que se encontram, aliado a falta de manutenção. Não é diferente com a ponte FHC, que 17 anos desde a sua inauguração, ainda não passou por manutenções em seus pilares e fundações.

2.3.1 Classificação das principais falhas estruturais

Segundo Vittorio (2002, pg 33) as principais falhas estruturais que podem desencadear em algum problema patológico nas estruturas de Pontes são:

- a) Falhas congênitas;
- b) Falhas adquiridas durante a construção;
- c) Falhas motivadas por causas acidentais;
- d) Falhas adquiridas devido as condições de exposição.

2.3.1.1 Falhas congênitas

- a) Decorrentes da concepção do projeto;
- b) Devidos a inadequado estudo das condições do local onde a obra foi executada;

c) Devido a inobservância das normas técnicas vigentes.

2.3.1.2 Falhas adquiridas durante a construção

- a) Devido ao uso de materiais impróprios ou com características diferentes daqueles especificados em projeto;
- b) Decorrentes da adoção de equipamentos e métodos construtivos inadequados;
- c) Devido a utilização de mão de obra não especializada;
- d) Causada pela falta de entrosamento nos diversos níveis, envolvendo projetista, construtora, fornecedores, fiscalização e proprietário.

2.3.1.3 Falhas motivadas por causas acidentais

- a) Carregamento excessivo;
- b) utilização inadequada da estrutura;
- d) mudança repentina das condições originais do leito do rio, como é o caso das enchentes e erosões.

2.3.1.4 Falhas adquiridas devido as condições de exposição

- a) Obras situadas em meio a ambientes agressivos

2.3.2 Conceitos dos danos mais comuns

As causas relacionadas acima, individualmente ou combinadas tendem a gerar nas estruturas de ponte de concreto armado os seguintes problemas.

2.3.2.1 Fissuração

De acordo com Vitório, (2002, pg. 34) fissura é uma abertura em forma de linha que aparece nas superfícies de qualquer material sólido, proveniente da ruptura sutil de parte de sua massa.

Podendo ainda ser chamada de outros nomes em função do tamanho de sua abertura:

Quadro 2: Nome da Abertura em Função do Tamanho

Nome da abertura	Tamanho
Fissura	até 0,5 mm
Trinca	0,5 a 1 mm
Rachadura	1 a 1,5 mm
Fenda	acima de 1,5 mm

Fonte: Adaptado de Vitório (2003)

Segundo a NBR 6118:2013 a fissuração de elementos estruturais de concreto armado é inevitável, devido à grande variabilidade e a baixa resistência do concreto a tração, no entanto a abertura dessas fissuras deve ser controlada, visando a exposição das armaduras a intempéries, que pode acarretar danos a estrutura. Outro ponto importante sobre o controle das fissuras no concreto se dá devido ao desconforto psicológico que o usuário sente ao fazer uso de uma estrutura deteriorada.

O manual de recuperação de pontes e viadutos do DNIT (2010) diz que as fissuras podem ser de diferentes tipos e sua importância depende do tipo estrutural da obra, da sua localização, de sua origem, de sua abertura e de serem ativas, que é quando o comprimento e abertura aumentam com o tempo, e no caso das pontes com a passagem das cargas móveis, ou inativas, quando estes fatores não causam modificações nas fissuras.

A NBR 6118:2014 delimita uma abertura máxima características para essas fissuras com o intuito de proteger as armaduras quanto a sua durabilidade. É levado em conta também o grau de agressividade do ambiente, e se a fissura está afetando alguma função da estrutura (Quadro 3).

Quadro 3 – Exigência de durabilidade em função da classe de agressividade ambiental

Tabela 13.3 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	--
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação freqüente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação freqüente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação freqüente
		ELS-D ¹⁾	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ¹⁾	Combinação freqüente

¹⁾ A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 25$ mm (figura 3.1).

NOTAS

1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.

Fonte: NBR 6118 (2014)

As fissuras devem ser tratadas com atenção, sua classificação e mapeamento são de extrema importância para a determinação de suas causas, para proporcionar o tratamento correto para as mesmas. O tratamento inadequado para a causa de uma fissura, pode levar a não solução do problema em si, mas apenas a tranquilidade estética que irá durar pouco tempo até novas fissuras aparecerem novamente, tornando assim o trabalho realizado inútil e dispendioso. Em estruturas como as pontes, que não passam por manutenções frequentes, tais soluções ao não interromper a causa do problema na chance obtida, podem acarretar redução drástica da vida útil da estrutura até a sua próxima manutenção. Logo a importância de se conhecer as causas das fissuras.

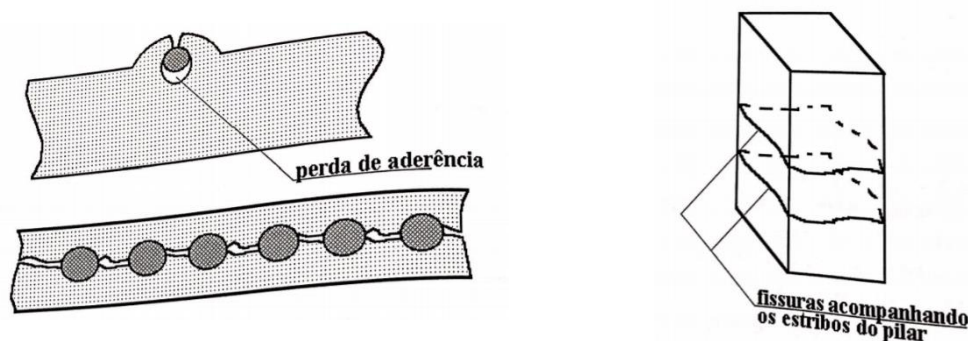
O Manual de reparo de pontes e viadutos do DNIT divide as diferentes causas para a origem de fissuras em:

2.3.2.1.1 Causas de fissuras do concreto na fase plástica

2.3.2.1.1.1 Assentamento Plástico do concreto

As fissuras provocadas pelo assentamento plástico do concreto são formadas durante as primeiras horas de cura, e tem sua origem no movimento natural da massa de concreto que devido a ação da gravidade tende a descer, porém é impedida pela presença de formas ou pelas armaduras. Esse movimento cria vazios em baixo das barras de aço, causando a perda de aderência. Tais fissuras podem ser agravadas caso o agrupamento de barras for grande, podendo ocorrer de as fissuras interagirem entre si, causando uma perda de aderência generalizada (figura 13). Essas fissuras acompanham a linha da armadura e podem causar danos graves, facilitando a entrada de água e ar, acarretando corrosão das armaduras (SOUZA E RIPPER, 1998, pg.62).

Figura 13 - Fissuras acompanhando o estribo do Pilar e Formação de Fissuras por assentamento plástico



Fonte: Souza e Ripper (1998)

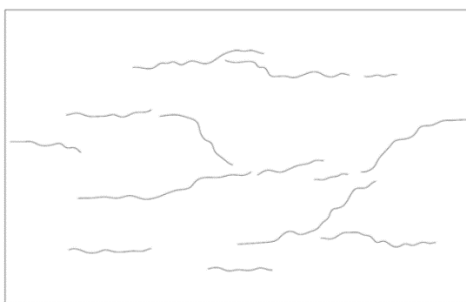
Causas que contribuem para o assentamento plástico:

- Vibração prolongada;
- Excesso de água no amassamento;
- Falta de estanqueidade das formas;
- Barras com grandes bitolas;
- Cobrimento pequeno das armaduras;
- Malhas de aço densas;
- Excesso de exsudação;

2.3.2.1.1.2 Retração Plástica do Concreto

A retração plástica, que é a perda de volume, também acontece nas primeiras horas de vida do concreto, devido a exsudação, que é a subida da água existente no interior do concreto para sua superfície. Com o calor a água que está na superfície evapora, fazendo com que o concreto reduza seu volume e consequentemente fissure. As fissuras de retração plástica se encontram nas superfícies dos elementos concretados, e são potencializadas quanto mais quente e seco estiver o clima (Figura 14).

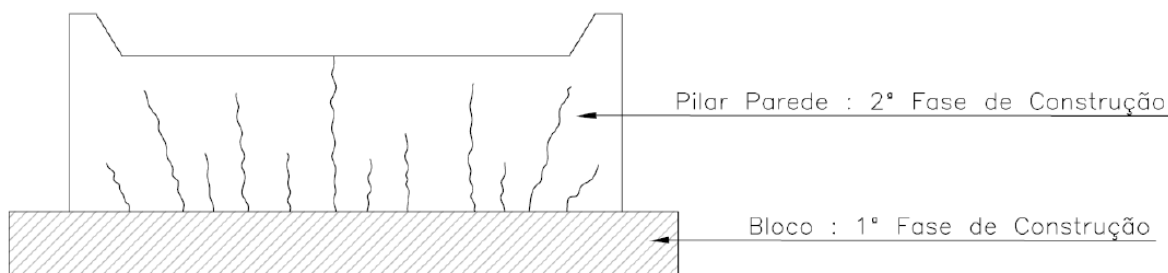
Figura 14 - Fissura retração plástica do concreto



Fonte: Manual de reparos de pontes e viadutos DNIT

2.3.2.1.1.3 Retração Térmica Inicial

De acordo com Vitório (2003), o concreto experimenta um aumento de volume quando umedecido, e uma retração durante o processo de cura, por conta do calor gerado pela reação de hidratação da pasta do concreto. Quando a porcentagem de água interna diminui, a retração começa. Sendo mais intensa em dias quentes com baixa umidade. Em elementos concretados em fases diferentes da obra, que necessitem interagir, podem vir a surgir fissuras por retração térmica nos primeiros dias da fase de endurecimento do concreto, caso não haja tratamento nas juntas de construção com armaduras suficientes para absorver as tensões geradas pela interação das estruturas. Geralmente as fissuras são localizadas perpendiculares as juntas de construção.

Figura 15 - Fissuras e Trincas Fase Inicial

Fonte: Manual de reparos de pontes e viadutos DNIT 2010

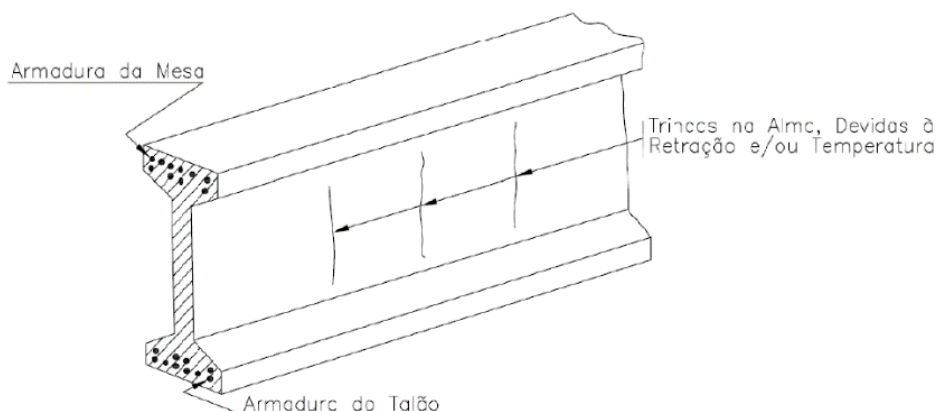
2.3.2.1.2 Causas de fissuras no concreto endurecido

2.3.2.1.2.1 Retração

A retração é um processo normal do concreto, que se estende de 2 a 3 anos, provocando tensões de tração, quando as deformações são impedidas por forças internas ou externas, originadas das armaduras, a retração dará origem a tensões de compressão no interior da peça e de tração na superfície (VITORIO, 2003, pg. 27).

Se este comportamento não foi considerado, quer em nível de projeto, quer de execução, são grandes as possibilidades do desenvolvimento de fissuração, que pode levar a formação de trincas que seccionem as peças mais esbeltas (SOUZA E RIPPER, 1998, pg.63).

Caso não seja controlado e minimizado por armaduras para absorver essas tensões, em poucos meses após a concretagem podem surgir fissuras, que geralmente se localizam perpendiculares ao encurtamento.

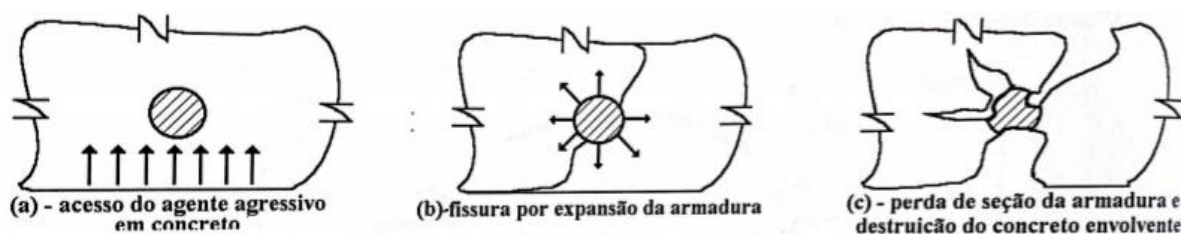
Figura 16 - Fissura na Alma Devido à Retração

Fonte: Manual de reparos de pontes e viadutos DNIT 2010

2.3.2.1.2.2 Corrosão de armaduras

Gentil (1987, pg. 47) explica que “De maneira geral, a corrosão poderá ser entendida como a deterioração de um material, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos” O processo de corrosão do aço é eletroquímico e se dá pela geração de um potencial elétrico, na presença de um eletrólito, no caso a solução aquosa do concreto em contato com o condutor metálico, que é a própria barra de aço (figura 17).

Figura 17 - Fases do Processo de Corrosão em uma Barra de Aço



Fonte: Souza e Ripper (1998)

As barras de aço imersas em meio ao concreto são protegidas por uma película passivante existente ao redor de toda superfície das barras, resultante da solução aquosa que é gerada da água do amassamento do concreto, que não sendo absorvidas vão preencher os seus veios capilares. Essa solução aquosa existente no interior do concreto é bastante alcalina, com pH variando de 12,6 a 14, como resultado da reação da água com os sais minerais que compõe o cimento (ANDRADE, 1992, 61).

Este nível de alcalinidade sendo maior que 9, garante a película passivante, através do contato entre a ferrugem superficial das barras e a água. Para que haja a corrosão, é necessário a desativação dessa película, gerando assim a oxidação, por destruição da camada óxida do revestimento protetor das barras (SOUZA E RIPPER, 1998, pg. 65).

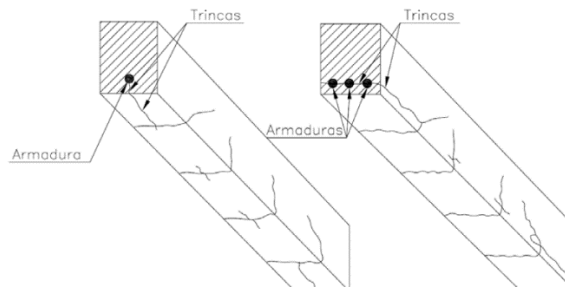
Essa destruição pode ocorrer de algumas formas:

- Corrosão por tensão fraturante: é o caso dos aços que são submetidos a grandes esforços mecânicos e que em presença ao meio agressivo podem sofrer fratura frágil;

- Corrosão pela presença de hidrogênio atômico, que fragiliza e fratura os aços;
- Corrosão por Pite, que pode ser:
 1. Localizada: caracterizada pela ação de íons agressivos, sempre que haja umidade e presença de oxigênio.
 2. Generalizada: quando em função da redução do PH do concreto para valores inferiores a 9, pela ação dissolvente do CO₂ existente no ar atmosférico.

A porosidade do concreto, a existência de trincas e o cobrimento inadequado fazem com que a armação tenha contato com os elementos agressivos, que geram assim a sua oxidação (figura 18). A parte oxidada aumenta seu volume cerca de 8 vezes e a força de expansão que pode chegar a 15 Mpa, fraturando o concreto que cobre as armaduras, deixando-as expostas a ação agressiva do meio (VITORIO, 2003, pg. 33).

Figura 18 - Trincas provocadas pela corrosão das armaduras



Fonte: Manual de reparos de pontes e viadutos DNIT 2010

2.3.2.1.3 Causas de fissuras no concreto na fase de utilização da estrutura

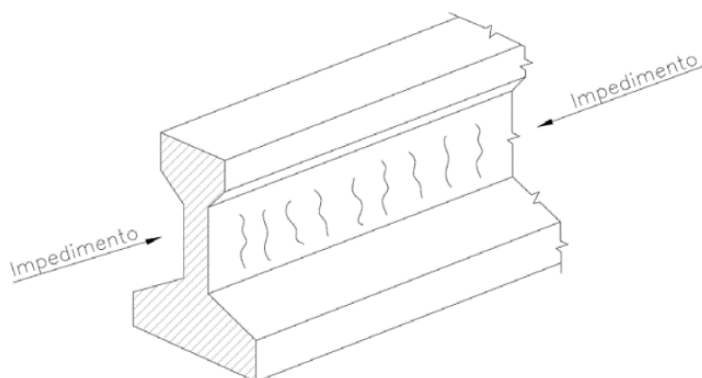
2.3.2.1.3.1 Variação de Temperatura

As fissuras relacionadas a variações de temperatura, se dão da necessidade que a estrutura como um todo ter de se movimentar, seja dilatando ou retraindo. Quando essas variações geram alteração dimensional dos materiais e são restringidas pelos vários vínculos que os envolve, surgem tensões que podem provocar o surgimento de fissuras (THOMAZ, 1989, 57).

Essas restrições podem ser causadas pelas ausências ou ineficiências das juntas de dilatação ou pelo bloqueio ou desgastes dos aparelhos de apoio, essas fissuras são localizadas normais as direções do impedimento.

Segundo Souza e Ripper (1998, pg. 70), a prevenção contra este tipo de fissuração é feita através da correta consideração da influência do meio ambiente, pela atenção especial ao detalhamento das armaduras das peças solidárias que possuam inércias muito diferentes, pela correta disposição de juntas de dilatação e pela consideração inteligente das cores das pinturas a adotar para os vários elementos estruturais (figura 19).

Figura 19 - Fissura retração térmica



Fonte: Manual de reparos de pontes e viadutos DNIT 2010

2.3.2.1.4 Fissuras causadas pelo tráfego de cargas móveis ou Deficiência de projeto

Essas fissuras são causadas pelas cargas excessivas não previstas ou incorretamente dimensionadas em projeto. É necessário um cuidado especial, uma vez que a não observância dessas cargas pode implicar em falhas estruturais, podendo até inutilizar a estrutura.

De acordo com Vittorio (2002, pg. 36), nas pontes os efeitos da fissuração podem, na maioria dos casos, ter consequências bastantes danosas devido a própria natureza das obras, sempre expostas a intempéries, muitas vezes localizadas em ambientes agressivos, submetidas a carregamentos variáveis e excessivos e muitas vezes carentes de manutenção.

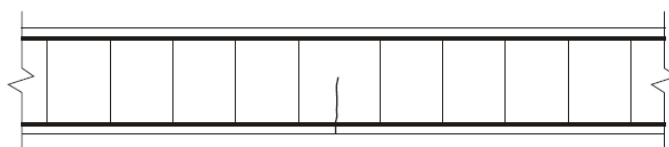
Uma peça estrutural pode fissurar em consequência dos tipos de esforços provocados pelos carregamentos, sendo eles excessivos ou não, essas fissuras

acontecem pela deficiência da estrutura em absorver os diferentes esforços a ela solicitados. Estes esforços podem ser:

a) Fissuras relativas ao esforço de flexão;

As fissuras de flexão geralmente ocorrem no trecho central do vão. Nascendo na fibra inferior, sobem pela alma, verticalmente, e depois inclinam-se devido a influência do esforço cortante. São perpendiculares as armaduras (figura 20).

Figura 20 - Fissura esforço flexão pura

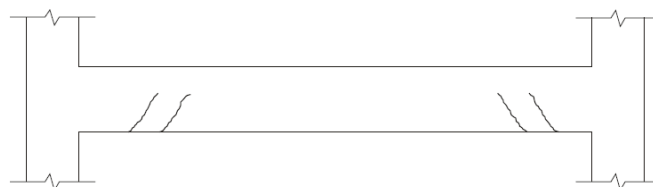


Fonte: Vitório (2002, pg. 30)

b) Fissuras relativas ao esforço cortante;

As fissuras de cisalhamento são inclinadas e surgem inicialmente nas proximidades dos apoios, manifestando-se também nas partes médias da viga (figura 21).

Figura 21 - Fissura Esforço Cortante

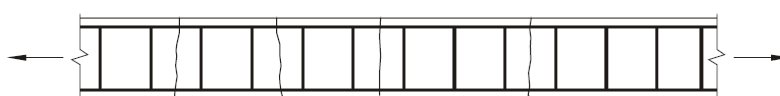


Fonte: Vitório (2002, pg. 31)

c) Fissuras relativas ao esforço de tração;

Fissuramento bastante regular, sempre perpendicular as armaduras, atravessando toda a seção (figura 22).

Figura 22- Fissura relativa ao esforço de tração

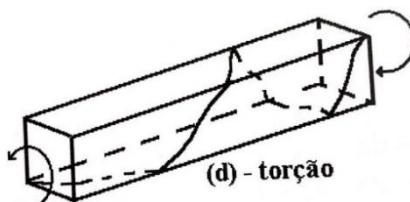


Fonte: Vitório (2002, pg. 30)

d) Fissuras relativas ao esforço de torção

Tais fissuras aparecem em todas as faces livres da peça estrutural com desenvolvimento helicoidal (figura 23).

Figura 23 - Fissura ao esforço de torção

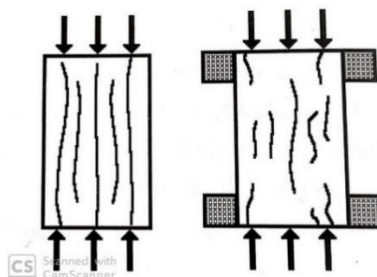


Fonte: Souza e Ripper (2002, pg.58)

e) Fissuras relativas ao esforço de compressão.

Nos casos de compressão, quando as resistências últimas do concreto, que é o responsável por absorver esses esforços de compressão, forem ultrapassadas, poderão surgir fissuras, sendo elas de traçados diferentes quando os elementos estiverem confinados ou não (figura 24).

Figura 24 - Fissura ao Esforço Compressão



Fonte: Souza e Ripper (2002, pg.58)

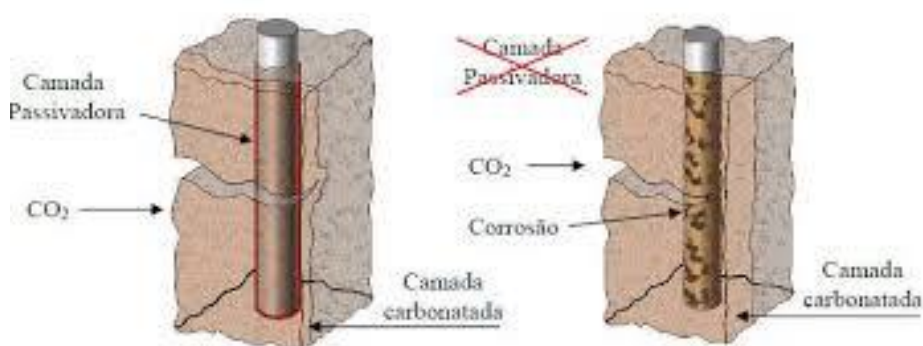
2.3.2.2 Carbonatação

A carbonatação do concreto ocorre quando o dióxido de carbono existente na atmosfera reage com o Hidróxido de cálcio $[Ca(OH)_2]$ existente na argamassa do concreto. Essa reação provoca um decréscimo na alcalinidade existente no interior do concreto, tornando o seu pH mais neutro do que alcalino, o que destrói a película passivadora das armaduras fazendo-as suscetíveis a corrosão e consequentemente diminuindo a sua durabilidade. (Manual do DNIT 2010)

A existência de umidade no concreto influencia bastante o processo de carbonatação bem como, a quantidade de CO_2 do ambiente, a permeabilidade do concreto e a existência de fissura. (Vittorio 2003)

Como essa reação não pode ser vista, para detectar essa manifestação patológica se faz uso da fenolftaleína, que é uma substância indicadora de pH, aplicada na superfície exposta do concreto. A parte carbonatada fica incolor (pH < 9) e a parte não carbonatada adquire cor vermelha – carmim (figura 25).

Figura 25 - Representação do Avanço da Carbonatação



Fonte: Tula apud Bazan (2000)

2.3.2.3 Desagregação

É a deterioração, por separação de partes do concreto, provocada, em geral, pela expansão devido a oxidação ou dilatação das armaduras, e também pelo aumento de volume do concreto quando este absorve água (figura 26). Pode ocorrer também devido as movimentações estruturais e choques (VITORIO,2003)

Figura 26 - Exemplo de Desagregação



Fonte: www.mapadaobra.com.br

2.3.2.4 Segregação

É a separação dos elementos que compõe o concreto, a argamassa e a brita, logo após o seu lançamento (figura 27).

Figura 27 - Exemplo de Segregação



Fonte: www.colegiodearquitetos.com.br

2.3.2.5 Ação dos Cloretos

De acordo com Araújo (2010, pg. 62), os cloretos podem penetrar no concreto, através dos seus poros ou fissuras existentes, e atingir as armaduras, atacando a película passivante que protege o aço, dando início assim ao processo de corrosão. Os cloretos estão presentes na água do mar, água de piscina, águas industriais e na própria água de amassamento do concreto.

2.3.2.6 Corrosão do Concreto

Segundo o Manual DNIT Pontes (2010, pg. 72), a corrosão do concreto, diferentemente das armaduras, é puramente química e ocorre por causa da reação da pasta de cimento com determinados elementos químicos, causando em alguns casos, a dissolução do ligante ou a formação de compostos expansivos, que são fatores deteriorantes do concreto.

O processo de corrosão do concreto depende tanto das propriedades do meio onde ele se encontra, incluindo a concentração de ácidos, sais e bases, como das propriedades do mesmo. O concreto, quando de boa qualidade, é um material bastante resistente a corrosão, embora também possa vir a sofrer danos quando em presença de alguns agentes agressores. Quando é de má qualidade, ou seja, o

concreto permeável, muito poroso, segregado ou feitos com materiais impróprios, é facilmente atacado por uma série de agentes

De acordo com Vitório (2003, pg. 33), mesmo a água totalmente pura, como é o caso da água das chuvas nas pontes, pode atacar o concreto através da infiltração e do acúmulo ao longo do tempo, devido à ausência de pingadeiras, da deficiência das juntas e da drenagem dos tabuleiros.

Pode-se classificar a corrosão do concreto segundo três ações químicas que lhe dão origem:

a) Corrosão por lixiviação

A lixiviação é a dissolução e o carreamento dos compostos hidratados existentes na massa de cimento Portland, devido ao contato com águas puras ou contaminadas (ARAUJO, 2010, pg. 63).

Quanto mais poroso o concreto, maior a intensidade da corrosão. A dissolução, o transporte e a deposição do hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 dão lugar a decomposição de outros hidratados, aumentando a porosidade do concreto, que com o tempo, se desintegra.

Segundo Souza e Ripper (2002, pg. 72), este fenômeno que acontece com o concreto é similar a osteoporose do esqueleto humano, e pode levar, em um espaço relativamente curto de tempo, o elemento estrutural atacado a ruína. Sendo este o processo de corrosão que acontece com maior frequência.

b) Corrosão química por reação iônica

A corrosão química por reação iônica ocorre em virtude da reação de substâncias químicas existentes no meio agressivo com componentes do cimento endurecido. Esta reação leva a formação de compostos solúveis, que são carreados pela água em movimento. Os principais íons que reagem com os compostos do cimento são o magnésio, amônio, cloro e o nitrato.

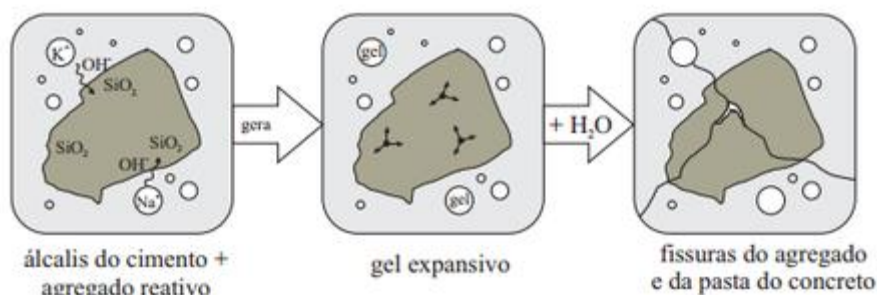
c) Corrosão por expansão

Os sulfatos reagem com os compostos da pasta de cimento hidratada, originando substâncias expansivas de até 2,5 vezes o seu volume original e, conseqüentemente desintegrando o concreto. Os sulfatos podem estar presentes nos componentes do concreto, água, ou no solo que esteja em contato com a estrutura (ARAUJO, 2010, pg. 64).

2.3.2.7 Reação Álcali – Sílica

A reação álcali sílica é uma reação química que ocorre entre a sílica existente em determinados tipos de agregados utilizados no concreto e o álcali, podendo este ser de sódio ou potássio, presente na parte do cimento. Esta reação acontece quando a sílica reativa é envolvida pelo hidróxido de cálcio dissolvido através dos álcalis do cimento Portland, atacando os poros e superfícies do agregado (figura 28). Esta reação gera um gel que na presença de umidade suficiente, expande-se causando a fissuração do concreto (DNIT, 2010, pg. 71).

Figura 28 – Reação Alkali Sílica



Fonte: (Deschenes, 2009).

2.4 Inspeções em Pontes

De acordo com Vitório (2002, pg. 52) a conservação de uma estrutura, inclusive das pontes, é definida como o conjunto de ações necessárias para que ela se mantenha com as características resistentes, funcionais e estéticas para as quais foi projetada e construída. A primeira fase dessas ações é representada pelo conjunto de técnicas, realizadas de acordo com um planejamento prévio, que fornece todos os dados de uma obra sobre um determinado instante. A esse conjunto de procedimentos técnicos se dá o nome de Inspeção.

2.4.1 Tipos de inspeções

Segundo a NBR 9452:2016, inspeção é:

“As inspeções das estruturas de concreto são conjuntos de procedimentos técnicos e especializados que compreendem a coleta de dados necessários a formulação de um diagnóstico e prognóstico

da estrutura, visando manter ou reestabelecer os requisitos de segurança estrutural, de funcionalidade e de durabilidade. “

A NBR 9452 considera sobre os seguintes tipos de Inspeções:

A) Cadastral

É a primeira inspeção realizada na obra e deve ser efetuada imediatamente após a sua conclusão ou quando houver alterações na configuração da obra. Isso para que ela sirva de referência para as demais inspeções a serem feitas.

B) Rotineira

Inspeção que deve ser efetuada periodicamente, com prazo não superior a 1 ano, com o intuito de manter atualizado o cadastro da obra. Na inspeção rotineira deve ser verificada a evolução das anomalias já observadas nas inspeções anteriores, bem como reparos ou recuperações feitas neste período.

C) Especial

A inspeção especial deve ser feita periodicamente a cada 5 anos, com intenção de dar maiores detalhes sobre o estado da obra, nela são realizadas o mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os elementos aparentes e acessíveis da OAE, para que seja realizado o diagnóstico e prognóstico da estrutura.

D) Extraordinária

A inspeção extraordinária se faz necessária quando há algum tipo de acidente, inesperado que possa ter causado algum dano na estrutura, como impactos de veículos, embarcações ou eventos da natureza como inundações ou sismos.

2.4.2 Classificação das Obras de Arte especiais

Segundo a NBR 9452 as OAE's ao serem inspecionadas, devem ter cada um dos seus componentes classificados. Para cada parte da estrutura examinada são atribuídas notas, que variam de 1 a 5, em cada um dos 3 parâmetros que a norma determina, estes parâmetros são:

a) Parâmetros Estruturais

São aqueles relacionados quanto a segurança estrutural das OAE's. Ou seja, da estrutura resistir os esforços para que foi projetada. Este parâmetro tem prioridade em relação aos demais quando precisam ser feitas adequações ou recuperações nas pontes

b) Parâmetros Funcionais

Os parâmetros funcionais estão associados ao conforto e segurança que a estrutura tem que transmitir aos seus usuários, como por exemplo: guarda-corpos íntegros, ausência de depressões, buracos na pista e sinalização adequada.

c) Parâmetros de Durabilidade

Os parâmetros de durabilidade dizem a respeito à vida útil da estrutura, ou seja, o tempo estimado que ela deve resistir cumprindo as funções para que foi concebida, com desempenho aceitável.

2.4.3 Técnicas de Inspeções em estruturas submersas

O Manual de Inspeção Subaquática do Estado de São Paulo (2005) diz que, as inspeções da infraestrutura devem ser efetuadas com a minúcia necessária para se conhecer as condições da infraestrutura da ponte. Todos os apoios da ponte que fiquem permanentemente submersos devem ser relacionados.

De acordo com a NBR 9452 as inspeções subaquáticas devem ser consideradas como parte integrante das inspeções especiais, quando realizadas em intervalos regulares, ou extraordinárias, quando realizadas em situações excepcionais decorrentes de alterações ambientais e acidentes.

As inspeções subaquáticas são de essencial importância para o conhecimento da saúde e comportamento das estruturas que ficam submersas, essas atividades requerem paciência pois levam tempo e dependem muitas vezes das condições climáticas, bem como da profundidade a que as estruturas estão localizadas e sua facilidade de acesso. O mergulhador tem a função de extrair o máximo de informações possíveis, fazendo registros visuais com o uso de câmeras sempre que julgar necessário, para que se possa analisar com mais calma as imagens.

De acordo com (FHWA-NHI-10-027), as inspeções subaquáticas, como ilustrado na figura 29, se dividem pelo nível de detalhamento que elas possam fornecer, sendo eles:

A) Nível 1: Inspeção visual e tátil

É uma inspeção do tipo visual e tátil, porém pode haver a necessidade de limpar algum local específico onde se tenha dúvida de alguma descontinuidade ou deformidade da peça. É no nível 1 de inspeção que se constata a necessidade de realizar a inspeção nível 2 ou 3.

B) Nível 2: Inspeção detalhada com limpeza parcial

É uma inspeção detalhada e localizada que procura, detectar e identificar, por amostragem, as anomalias que possam estar encobertas pelas camadas de lodo ou sujeira. São escolhidas as peças a serem examinadas e essas são limpas para uma melhor visualização, essa inspeção toma mais tempo, pois em locais de baixa visibilidade as partículas do lodo necessitam de tempo para sedimentarem e não atrapalha a visibilidade do mergulhador

C) Nível 3: Inspeção altamente detalhada com testes não destrutivos.

A inspeção altamente detalhada, são feitas quando se constatou, pelas inspeções anteriores, a presença de patologias existentes que estão interferindo no bom funcionamento da estrutura. A inspeção consiste na limpeza da área com medições detalhadas, teste não-destrutivos e técnicas parcialmente destrutivas, tais como ultrassom e extração de testemunhos.

Figura 29 - Mergulhador Durante a Inspeção



Fonte: www.proaquatica.pt

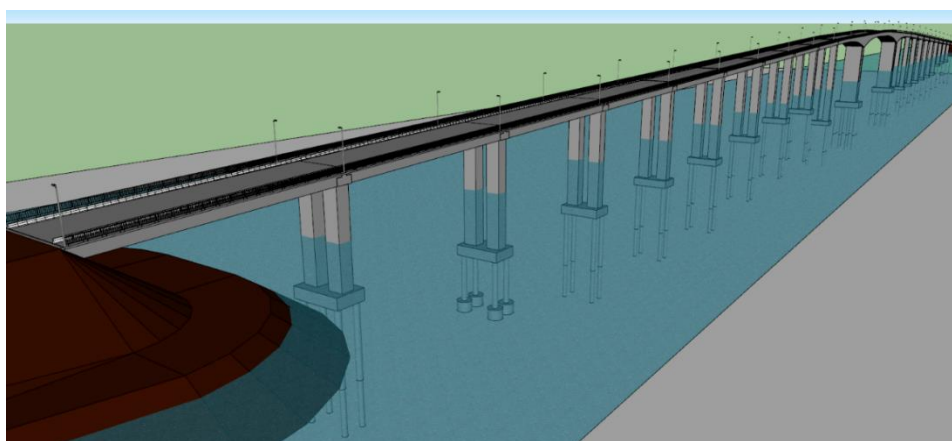
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Amostras

Para o desenvolvimento do presente estudo, foram inspecionados todos os 21 pares de pilares da ponte FHC (figura 30), e algumas de suas fundações. Todos os pilares foram construídos em concreto armado e suas fundações em bloco sobre tubulões, conforme a figura 31. Esses conjuntos de estruturas são enumerados de 2 a 21, sendo que estes foram inspecionados de forma decrescente, do 21 ao 2, que corresponde ao sentido Palmas – Luzimangues.

Figura 30 - P-21

Fonte: Autoria Própria

Figura 31- Vista da Ponte FHC

Fonte: James Souza (2019)

3.2 Técnicas

3.2.1 Levantamento das Manifestações Patológicas

Para o levantamento das patologias foram realizadas visitas ao local para realização de inspeções visuais, com o intuito de extrair o máximo de informações sobre as possíveis inconformidades existentes. Como os pilares estão parte submersos e parte acima do nível d'água, estes receberam dois tipos de vistoria, sendo elas: mista e submersa.

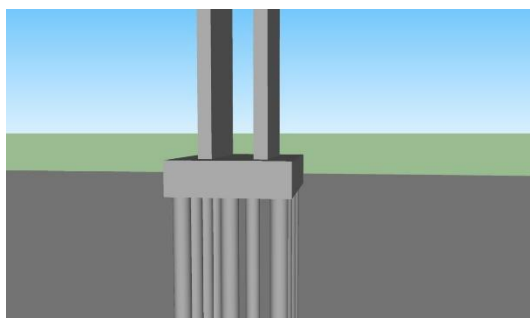
Na Vistoria Mista fora realizada a inspeção visual de todas as faces dos pilares ao longo de seu prolongamento acima do nível da água. Para conduzir tal vistoria utilizamos o auxílio de um barco para ajudar na locomoção do trajeto, entre os 21 diferentes pares de pilares, que tem mais de 1 Km de extensão. Para o registro fotográfico das anomalias encontradas acima da superfície utilizou-se de uma câmera

profissional de alta resolução, que também possibilitava o uso de zoom nas partes mais altas dos pilares. A outra parte desta vistoria consiste na inspeção visual submersa rasa, onde até um metro e meio de profundidade foram vistoriadas todas as faces dos pilares em mergulho livre (sem auxílio de equipamento de respiração) usando uma câmera a prova d'água para registrar as inconformidades, uma espátula para limpar os locais onde existia presença de incrustações e não permitia uma checagem adequada da área, e um escalímetro para medir o tamanho das fissuras encontradas.

A Vistoria Submersa, por ser uma vistoria mais completa e com grau de dificuldade de execução bem maior, foi realizada em apenas 4 pares de pilares. Nestes foram conduzidas as inspeções abaixo do nível d'água ao longo de todo prolongamento e de todas as faces dos pilares. O mergulho foi realizado por 2 mergulhadores, uma vez que este tipo de atividade sempre é realizado no mínimo em duplas, um dos profissionais atuou como vistoriador e com o auxílio de uma lanterna e o sentido tátil tentou identificar as anomalias existentes ao longo das peças, já o outro, com o auxílio de uma câmera a prova d'água filmou as inconformidades encontradas pelo vistoriador, quando este o dava o sinal já pré-estabelecido.

A inspeção foi realizada a partir da superfície, em uma descida em espiral em torno das 4 faces do pilar, até chegar no bloco, que também passou por revista. Depois seguiu-se para os tubulões, que são a parte mais difícil para vistoriar, pois além da profundidade ser maior, estes ficam em baixo do bloco que, aliado a turbidez da água, devido ao período de chuvas, dificultou a visibilidade e o mergulho em si, tornando-o mais perigoso e carecendo de mais cautela. Os tubulões foram vistoriados até o seu encontro com a terra, em seguida subia-se até bloco e novamente em espiral era realizada a inspeção no outro pilar até chegar à superfície.

Figura 32 – Formato P11 e P12.



Fonte: Autoria Própria

O quadro 4, abaixo, mostra o tipo de inspeção que foi realizada em cada pilar, sendo as inspeções submersas realizadas nos pilares P11, P19 e P21, tendo em vista a variação da cota do terreno ao longo da extensão da ponte, assim cada pilar vistoriado teve uma profundidade diferente, sendo os pilares centrais maiores e mais profundos do que os de extremidades. Outro ponto importante que influenciou a decisão de vistoriar estes determinados pilares, é que conforme a profundidade aumenta, maior é a parcela do tubulão que está aparente para ser vistoriada.

Quadro 4: Vistoria nos Pilares da Ponte FHC

	INSPEÇÃO MISTA		INSPEÇÃO SUBMERSA	
	PILAR		PILAR	
	A	B	A	B
P2	X	X		
P3	X	X		
P4	X	X		
P5	X	X		
P6	X	X		
P7	X	X		
P8	X	X		
P9	X	X		
P10	X	X		
P11	X	X	X	X
P12	X	X		
P13	X	X		
P14	X	X		
P15	X	X		
P16	X	X		
P17	X	X		
P18	X	X		
P19	X	X	X	X
P20	X	X		
P21	X	X	X	X

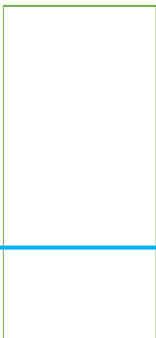
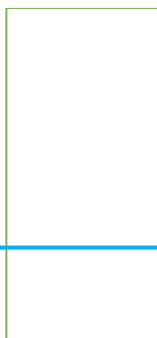
Fonte: Autoria Própria

3.2.2 Registro das Manifestações Patológicas

O registro das manifestações se deu através da inspeção, uma vez que, identificadas anomalias, estas eram registradas por pilar, com o auxílio da ficha de inspeção rotineira do Manual de Inspeções do DNIT 010/2004-PRO, adaptada para o melhor aproveitamento do trabalho, conforme o quadro 5. No caso das inspeções

submersas, o registro era realizado após a subida dos mergulhadores a superfície e complementada com a análise dos registros visuais realizados.

Quadro 5- Ficha de Inspeção

PILAR:		FICHA DE INSPEÇÃO DE PILARES			
	FACE NORTE	FACE LESTE	FACE SUL	FACE OESTE	
					
	☐ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☐ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de cobrimento ☐ 5 - Desaprumo ☐ 6 - Eflorescencia ☐ 7 - Ataque Químico Obs:	☐ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☐ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de cobrimento ☐ 5 - Desaprumo ☐ 6 - Eflorescencia ☐ 7 - Ataque Químico Obs:	☐ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☐ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de cobrimento ☐ 5 - Desaprumo ☐ 6 - Eflorescencia ☐ 7 - Ataque Químico Obs:	☐ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☐ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de cobrimento ☐ 5 - Desaprumo ☐ 6 - Eflorescencia ☐ 7 - Ataque Químico Obs:	

Fonte: Adaptado de DNIT 010 (2004)

3.3 Caracterização das Patologias e Determinação do grau de risco

A caracterização consistiu na análise dos dados obtidos, de acordo com as fichas e registros visuais, durante as inspeções realizadas. Estas informações foram de extrema importância para o entendimento das possíveis causas e origens das anomalias encontradas nas visitas.

Com essas informações foi possível apontar um grau de risco para cada pilar de acordo com as patologias identificadas em cada um e suas possíveis consequências.

O grau de risco apontado foi baseado de acordo com a Norma de Inspeção predial Nacional do instituto IBAPE, adaptada para o contexto da obra de arte examinada. Este serve como um critério de classificação das anomalias e falhas

encontradas, levando em consideração o risco oferecido aos usuários, ao meio ambiente e a estrutura em si.

3.4 Ficha de Identificação do Pilar

Para a melhor apresentação dos dados obtidos, foi criada uma ficha de identificação individual para cada par de pilar, nelas estarão contidas as seguintes informações

- Identificação do Pilar;
- Grau de risco;
- Anomalias encontradas;
- Observações pertinentes;
- Imagem.

3.4.1 Identificação do Pilar

Os pares de pilares receberam as suas numerações padrões, do número 02 ao 21, e dentre estes pares foram divididos em pilar A e B de acordo com sua posição geográfica, mais ao sul e ao norte respectivamente.

3.4.2 Grau de risco

As anomalias e falhas encontradas nos pilares foram classificadas nos seguintes graus de risco:

3.4.2.1 Crítico

Risco de provocar danos contra a saúde e segurança das pessoas e do meio ambiente; perda excessiva de desempenho e funcionalidade causando possíveis paralisações; aumento excessivo de custo de manutenção e recuperação; comprometimento sensível de vida útil. (IBAPE, 2012, pg. 5)

3.4.2.2 Médio

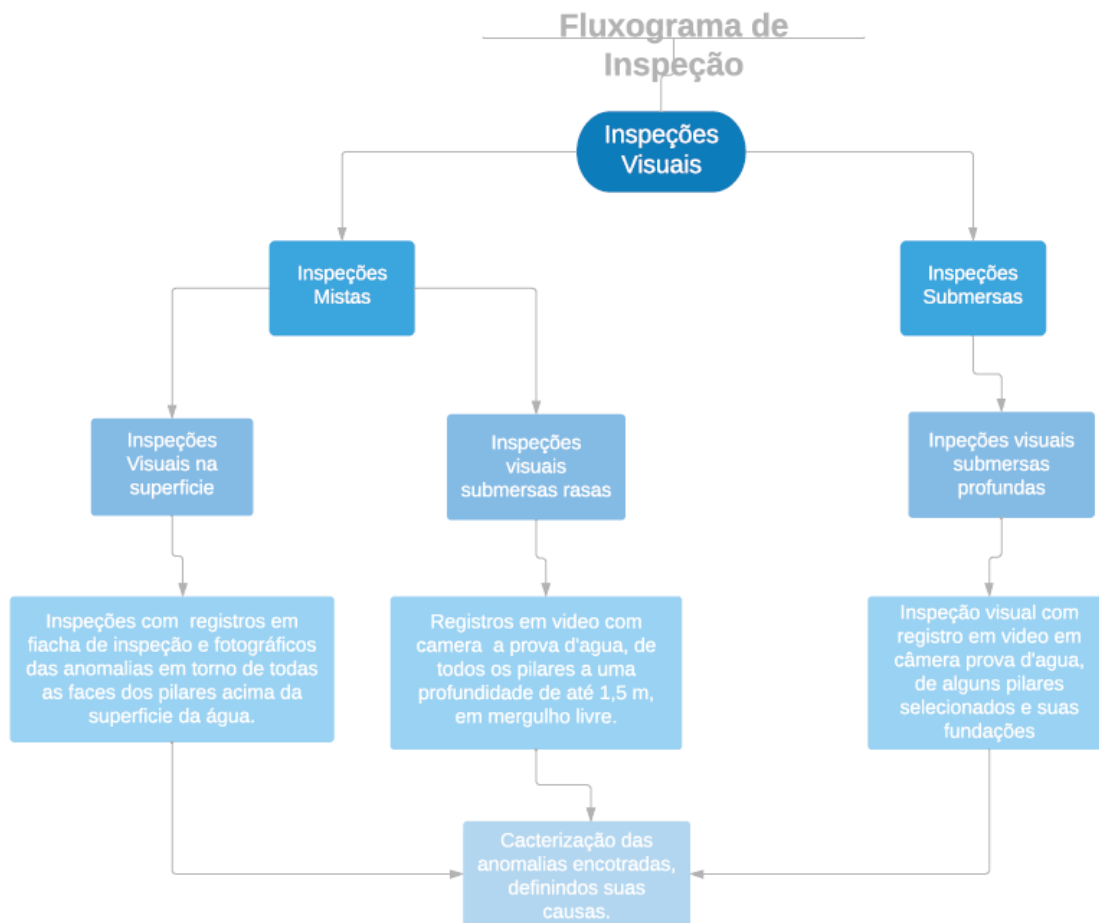
Risco de provocar a perda parcial de desempenho e funcionalidade da edificação sem prejuízo à operação direta de sistemas, e deterioração precoce.

3.4.2.3 Mínimo

Risco de causar pequenos prejuízos à estética ou atividade programável e planejada, sem incidência ou sem a probabilidade de ocorrência dos riscos críticos e regulares.

3.4 Fluxograma de Inspeção

O fluxograma abaixo facilita a compreensão de como foram conduzidos as inspeções e os detalhes explorados



Fonte: Autoria Própria

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados das inspeções realizadas na Ponte Fernando Henrique Cardoso, onde serão listadas as anomalias e falhas detectadas, os seus locais de ocorrências e suas possíveis causas e origens. Os resultados vão ser apresentados em duas partes divididos na mesoestrutura e infraestrutura da ponte: pilares e fundações.

As principais falhas encontradas na inspeção estão relacionadas a:

- Falhas adquiridas durante a construção;
- Falhas adquiridas devido a condição de exposição da estrutura;
- Falhas motivadas por causas acidentais.

4.1 Pilares

4.1.1 Corrosão do concreto por lixiviação

A corrosão do concreto devido a lixiviação, é uma manifestação patológica adquirida devido as condições de exposição da estrutura a um meio ambiente agressivo. A lixiviação é a dissolução e o carreamento dos compostos hidratados existentes na massa de cimento Portland, devido ao contato com águas puras ou contaminadas (ARAUJO, 2010, pg. 63).

A corrosão do concreto foi identificada, em todos os 21 pares de pilares que foram inspecionados, em graus de deterioração diferentes como mostram as figuras 33, 34, 35 e 36.

Figura 33- Desgaste Concreto - P20



Fonte: Autoria Própria

Figura 34- Desgaste Concreto - P18



Fonte: Autoria Própria

Figura 35- Desgaste Concreto - P14



Fonte: Autoria Própria

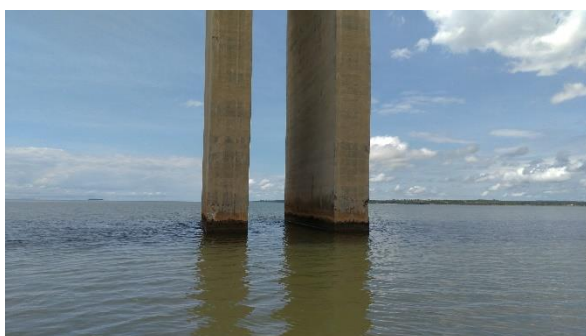
Figura 36- Desgaste Concreto - P12



Fonte: Autoria Própria

Esses níveis de deterioração diferentes para pilares de uma mesma ponte estão associados com a posição dessas estruturas em relação ao leito do rio. Sendo que, quanto mais próximo do leito estiverem posicionados os pilares, maior a velocidade que a água passa por eles, sendo maior também a força de carreamento dos compostos no cimento. Gerando assim uma diferença nítida entre as peças situadas nas extremidades como a P21 e P2 em relação as de centro como P11 e P12.

Figura 37- À esquerda P11, e a direita P14.



Fonte: Autoria Própria

Outro agravante é a posição e formato dos pilares P11 e P12 em relação aos demais. Estes 2 pilares têm formato retangular e orientação em relação ao curso d'água diferentes de todos os outros, que são quadrados e não tem fluxo de água passando no meio deles. O efeito Venturi explica que um fluido em movimento por um canal, ao encontrar um estreitamento, aumenta sua velocidade pela zona estreitada. Este aumento da velocidade, que já é a maior entre todos os outros pilares corrobora

para que o carreamento dos compostos do cimento seja mais rápido nestes pilares. E que haja uma diferença entre a parte interna do pilar, que é onde ocorre o estreitamento e a parte externa.

Na figura 37, também é possível perceber que a textura e a aparência do concreto estão mais desgastadas próximo a linha d'água, pois essa é a região que mais sofre com o impacto gerado pela corrente e as pequenas ondas, formadas pela agitação da água oriunda dos fortes ventos em algumas épocas do ano.

Figura 38 - Fenda - P13



Fonte: Autoria Própria

Nas inspeções foi possível perceber que esse desgaste está presente mais intensamente em uma variação de aproximadamente 60 cm para cima a 60 cm para baixo da linha d'água, nível este que está associado ao nível da água do lago, que varia de acordo com a necessidade de produção de energia pela usina hidrelétrica de lajeado, tornando este intervalo uma região que carece de maior atenção. Na figura 39 é possível verificar essa variação no nível da água.

Figura 39 – Diferença de nível da água



Fonte: Autoria Própria

Na figura 39 pode-se ver ao lado esquerdo uma fotografia tirada em março de 2020, e ao lado direito uma realizada em setembro de 2019.

Fora dessa região o aspecto do concreto é bem uniforme, com aparência jovem e sinal de conservação maior, tanto em sua parte submersa, quanto em sua parte seca como mostram as figuras 40 e 41.

Figura 40 - Parte Seca - P21



Fonte: Autoria Própria

Figura 41- Vista Frontal - P21



Fonte: Autoria Própria

A corrosão do concreto provocada pela lixiviação é um problema grave, que ao longo do tempo provoca efeitos significativos para a estrutura, além de um mal-estar visual para o usuário, conforme é mostrado na figura 41. Com a diminuição do cobrimento e o aumento da porosidade do concreto, tem-se uma aceleração do processo de degradação da peça. Pois com a infiltração da água nos poros e o contato dela com as armaduras, criar-se um ambiente propício a corrosão do aço e sua consequente expansão, gerando fissuras que aumentaram todo este processo de degradação da estrutura, diminuindo assim sua vida útil.

Figura 42- P21 - 4 metros de profundidade



Fonte: Autoria Própria

4.1.2 Fraturas associadas a colisões de embarcações

Outro problema frequente que tem consequências parecidas com o desgaste do concreto, são as colisões provocadas por embarcações que transitam no Lago de Palmas. Estes barcos e flutuantes dependendo do seu porte, ao colidir com os pilares fraturam o concreto, principalmente nas quinas, local de maior incidência de degradação, conforme a figura 43. Esses choques, dependendo da intensidade, provocam uma abrasão e instantaneamente diminuem o cobrimento do concreto, muitas das vezes já expondo diretamente as armaduras, ficando estas acessíveis a intempéries. As fraturas podem ser vistas com precisão nas figuras 44 e 45.

Figura 43- Vista Frontal - P15



Fonte: Autoria Própria

Figura 44- Ponto de colisão - P15



Fonte: Autoria Própria

Figura 45- Ponto de colisão - P14

Fonte: Autoria Própria

Essas colisões são frequentes por conta da atividade de pesca, comumente praticada no Lago de Palmas, e o que torna o local da ponte atraente para a pesca é a possibilidade de ancorar o barco nos pilares e se proteger do sol, conforme denotam as figuras 46 e 47. Além disso, outro fator que colabora para a deterioração dessas estruturas, por conta das colisões, é o frequente fluxo dos flutuantes. Estes têm em sua rota passagem pelos vãos da ponte para tirar fotos. Porém apesar de serem menos frequentes que os barcos de pesca, são ainda mais perigosos porque são maiores, mais pesados e podem trazer mais danos ao se chocarem com a estrutura, do que as embarcações menores.

Figura 46- Desgaste na P14

Fonte: Autoria Própria

Figura 47- Comprimento da abrasão - P14



Fonte: Autoria Própria

Foi observado também que os pilares mais afetados por este problema são os que ficam situados mais próximos ao meio do rio, pois os seus vãos maiores permitem o trânsito de embarcações maiores, logo é rota de maior fluxo e consequentemente mais acidentes. As figuras 48,49 e 50 demonstram o estado atual dos pilares severamente afetados pelo impacto das batidas.

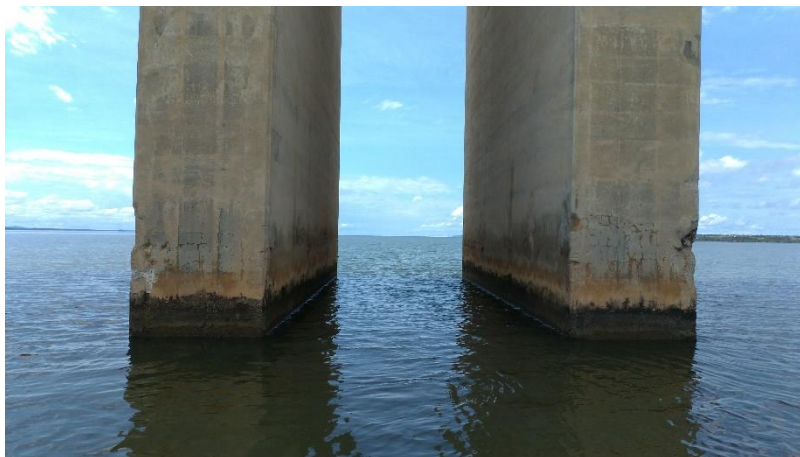
Também se observou que os pilares mais próximos ao Distrito de Luzimangues estão mais conservados em relação as colisões de embarcações, talvez porque a maior concentração de saída dos barcos é feita a partir dos piers da Praia da Graciosa, e a atracagem mais próxima são os primeiros pilares sentido Palmas – Luzimangues.

Figura 48- Ponto de colisão em quina - P13



Fonte: Autoria Própria

Figura 49- Vista lateral - P12



Fonte: Autoria Própria

Figura 50 - Abrasão ocorrido na P12



Fonte: Autoria Própria

As fraturas no concreto associadas a essas colisões, combinadas com o meio em que os pilares se encontram, geram um ambiente perfeito para a aceleração da deterioração da estrutura. A corrosão pôde ser observada nas armaduras que foram expostas por esses choques, e em alguns casos como na figura 52, foi possível retirar algumas partes do concreto com a mão, resultado da desagregação causada pelo acidente.

Nas figuras 51, 52 e 53 é possível mensurar o tamanho da deterioração já causada nos pilares, e a amplitude da corrosão.

Figura 51 - Múltiplos pontos de abrasão – P11



Fonte: Autoria Própria

Figura 52 – Fratura com desagregação - P11



Fonte: Autoria Própria

Figura 53 – Dimensão da fratura - P11



Fonte: Autoria Própria

A NBR 7187/1980, norma vigente na época da construção da ponte, cita que os pilares passíveis de serem atingidos por embarcações em movimento devem ter sua segurança verificada quanto ao impacto provocados por essas colisões. Essa verificação é dispensada caso haja dispositivos capazes de proteger a estrutura contra estes acidentes. Em toda a ponte apenas o pilar P2, um dos menos afetados pelas colisões conta com protetor de choque.

Nas figuras 54 e 55 é possível perceber vestígios da atividade pesqueira, em virtude das cordas que são deixadas nos pilares reforçando que a ancoragem nos pilares da ponte FHC é utilizada frequentemente.

Figura 54 – Ponto de ancoragem de embarcação - P11



Fonte: Autoria Própria

Figura 55 - Corda usada pelas embarcações - P11



Fonte: Autoria Própria

4.1.3 Falhas na Execução da Estrutura

Foi observado em alguns pilares, algumas inconformidades de possíveis falhas na execução da estrutura.

4.1.3.1 Falta de cobrimento

Em alguns pontos, por conta da corrosão do concreto, algumas armaduras se tornaram expostas pontos isolados, como na figura 56, indicando que talvez estas poderiam estar mal posicionadas na hora da concretagem. Outro indício evidente é

que nas regiões mais afetadas pela lixiviação, o cobrimento mínimo necessário para a proteção da estrutura já foi comprometido, necessitando essas áreas de reparos, conforme evidencia as figuras 57 e 58.

Figura 56 – Armadura exposta devido a corrosão do concreto - P15



Fonte: Autoria Própria

Figura 57 - Armadura exposta devido a corrosão do concreto - P14



Fonte: Autoria Própria

Figura 58 - Armadura exposta devido a corrosão do concreto - P13



Fonte: Autoria Própria

Essas armaduras estão com aspecto bem enferrujado, e em alguns locais há fissuras ao longo do prolongamento da armadura, indicando expansão da mesma, devido a corrosão como ocorre na figura 59.

Figura 59- Armadura exposta devido a corrosão do concreto – P14



Fonte: Autoria Própria

4.1.3.2 Falha de concretagem

Falhas de concretagem também foram identificadas em alguns pontos da inspeção, essas falhas que antes estavam encobertas, com o efeito da lixiviação ou

até mesmo com a colisão pontual de alguma embarcação acabou por evidenciar esses pontos ocos, expostos nas figuras 60 e 61.

Figura 60– Falha de concretagem P-6



Fonte: Autoria Própria

Figura 61 – Falha de concretagem – P9



Fonte: Autoria Própria

Algumas destas falhas, como a do pilar P15 que tem sua seção vazada, são profundas, cerca de 6 cm, expõem suas armaduras e são como uma grande ferida aberta na estrutura do pilar. Foi possível perceber nesta visita que o buraco mostrado nas figuras 62 e 63, está localizado a uma altura no pilar, que o faz, em algumas épocas do ano, ter contato direto com a água, resultando em um maior poder de degradação devido a lixiviação, que nesses casos não age apenas na superfície do concreto, mas também dentro da estrutura.

Figura 62 – Falha de concretagem



Fonte: Autoria Própria

Figura 63 – Profundidade falha de concretagem



Fonte: Autoria Própria

Na época da construção da ponte a norma vigente em relação as estruturas de concreto armado, era a 6118/1980 que exigia cobrimento mínimo, para estruturas situadas em ambientes agressivos, de 4 cm. Espessura essa que mudou para 5 cm com a norma 6118/2014. Mudança muito importante, e que contribui para que problemas como estes diminuam.

4.1.3.3 Corrosão das Armaduras

A corrosão das armaduras é um problema que afeta boa parte dos pilares da ponte FHC, tendo como percursor os diferentes motivos citados anteriormente, porém esta manifestação patológica por si própria, tem um alto poder de aceleração no processo de degradação da estrutura, e consequentemente na redução de sua vida útil, principalmente em uma ponte onde não é observado um programa de manutenção rotineiro.

Nos pilares p11 e p12, foi possível perceber estágios avançados no processo de corrosão das armaduras, pois durante o processo de corrosão, parte do aço que sofre oxidação expande, e devido as tensões geradas no interior concreto ocorrem as fissurações. Essas fissuras tendem a se estender ao longo do prolongamento das barras de aço conforme a oxidação vai avançando, o que pôde ser observado nas figuras 64 e 65.

Figura 64 – Fissuras longitudinais - P12



Fonte: Autoria Própria

Figura 65 - Fissuras longitudinais - P11



Fonte: Autoria Própria

Outro ponto que pôde ser observado na inspeção como mostra as figuras 66 e 67, é que as fissuras presentes são uniformemente espaçadas ao longo de toda a largura do pilar por conta da disposição das malhas de aço. Estas fissuras seguem um certo padrão: são mais largas quanto mais perto do nível d'água estão podendo até, segundo Vitório (2003), serem consideradas fendas por conta do seu diâmetro de abertura maior que 1,5 mm, porém conforme vão se distanciando do nível d'água o seu diâmetro de abertura vai diminuindo.

Figura 66 – Fenda acima e abaixo do nível d'água – P12



Fonte: Autoria Própria

Figura 67 - Fenda acima e abaixo do nível d'água – P11



Fonte: Autoria Própria

Em alguns lugares como no caso da figura 67, essas fendas são profundas, cerca de 7 – 8 cm, e nessas partes o concreto está com uma aparência ruim, podendo em alguns pontos ser retirado pedaços com a mão. Algumas dessas fissuras como foi registrado na figura 68 atingem alturas consideráveis, cerca de 5 – 6 metros acima do nível d'água.

Figura 68 – Fissura longitudinal com mais de 5 m de comprimento – P12



Fonte: Autoria Própria

Um problema diferente relacionado a corrosão de armaduras também foi verificado em alguns pilares, porém com uma causa diferente. Durante a execução de alguns pilares foram usadas formas, e para a fixação dessas, devido ao grande volume de concreto, foram usadas barras de aço. O problema é que, nem todas essas barras utilizadas receberam o tratamento adequado, que seria uma espécie de material derivado de petróleo para a impermeabilização, ou se na época da construção a receberam, com o desgaste natural, nas zonas mais críticas, perdeu sua eficácia não havendo mais nenhum vestígio do produto, ficando essas barras expostas ao meio, e suscetíveis a corrosão. É possível ver este processo nas figuras abaixo (69,70,71 e 72).

Figura 69 - Barras tratadas com material derivado de petróleo - P13



Fonte: Autoria Própria

Figura 70 – Pontos de fixação formas - P11



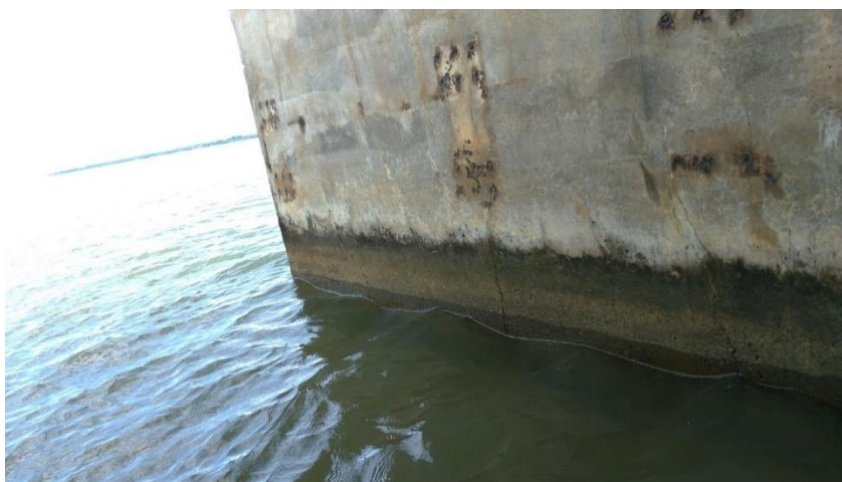
Fonte: Autoria Própria

Figura 71 – Ponto de fixação das formas – P12



Fonte: Autoria Própria

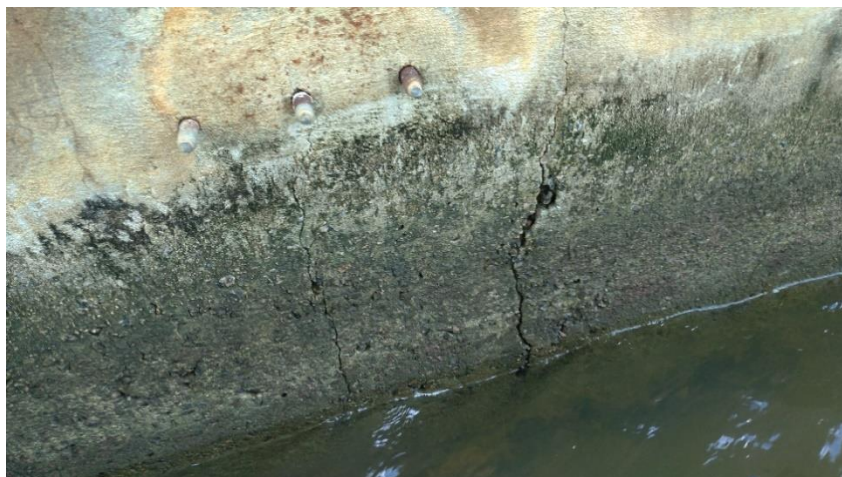
Figura 72 - Pontos de fixação das formas - P11



Fonte: Autoria Própria

Pode ser verificado que as barras de aço, estão oxidadas e com fissuras passando pelo seu plano como na figura 73, este tipo de exposição do aço também foi observado na vistoria submersa, ao longo das faces dos pilares em algumas partes do bloco. Porém, nas partes em que aço fica completamente submerso, figura 74, não foram encontrados sinais de corrosão nem de fissuras relacionadas a esta patologia.

Figura 73 – Barras oxidadas – P11



Fonte: Autoria Própria

Figura 74 - Barras de aço expostas a cerca de 40 cm de profundidade - P11



Fonte: Autoria Própria

4.2 Fundações

Ao todo três fundações foram inspecionadas, estando abaixo dos pilares P21, P19 e P11. Por estarem completamente submersas a grandes profundidades, no mínimo

10 metros, essas estruturas não sofrem com as intempéries tanto quanto parte dos pilares ao nível da água, pois a concentração de oxigênio nas profundezas é menor.

Além disso essas estruturas não estão expostas a colisões e a agitação da água que possa gerar desgaste excessivo ao concreto. Essas condições geram ambientes favoráveis para as estruturas. Porém durante a inspeção foram observadas algumas falhas que aqui serão apresentadas.

No pilar P21, uma camada de concreto de aproximadamente 20 cm, que faz parte da estrutura do bloco, está rachada. Nas figuras 75 e 76 é possível ver essas rachaduras.

Figura 75 – Rachadura na base do bloco – P21



Fonte: Autoria Própria

Figura 76 – Rachadura – P21



Fonte: Autoria Própria

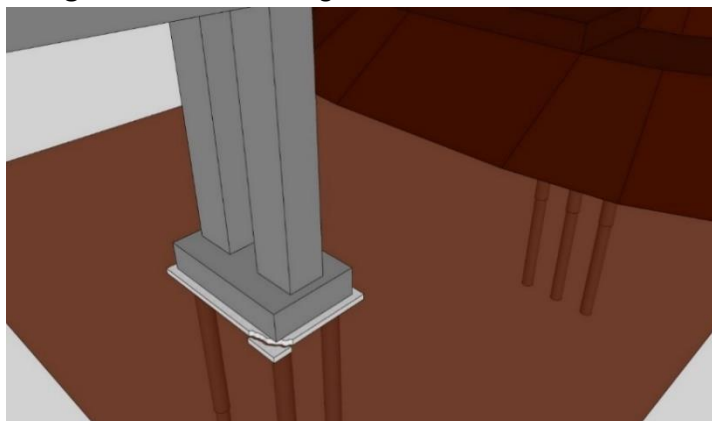
Como foi visto nas figuras 75 e 76, se trata de uma rachadura grande, porém esta peça que faz parte do bloco, parece não oferecer função estrutural para a ponte, tanto que a mesma não possui armadura. Outro ponto intrigante é que o espaço que existe entre a parte de baixo dessa peça, e o fundo do lago, sofrem algumas variações, ficando essa estrutura ora apoiada no chão, ora não. A figura 77 registra a atual situação, e as figuras 78 e 79 esboçam de maneira mais clara o espaço, que deve ter também aproximadamente 20 cm, existente entre a peça e o fundo do lago.

Figura 77 – Parte inferior



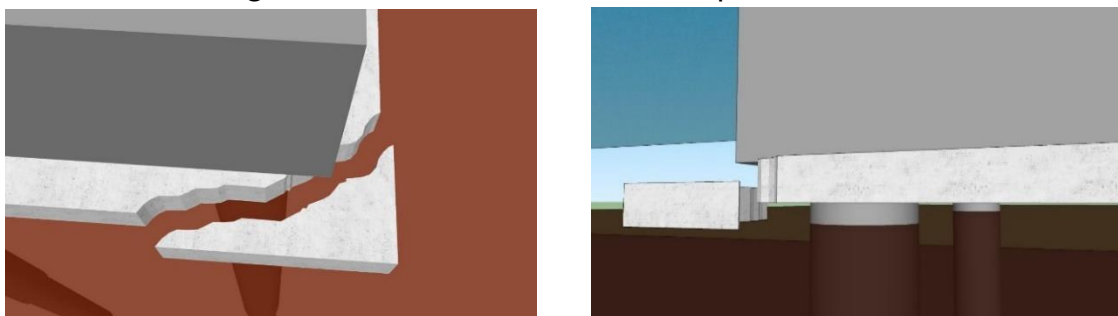
Fonte: Autoria Própria

Figura 78 – Modelagem da atual – P21



Fonte: Autoria Própria

Figura 79 – Vista Lateral e vista superior do bloco- P21



Fonte: Autoria Própria

Analisando a situação, pode-se chegar a hipótese, de que o bloco em si estava inicialmente apoiado no chão e com a inundação do lago, a água pode ter carregado, em alguns pontos, parte do solo que estava em baixo do bloco, e por não haver armaduras nesta parte, ela pode ter sido submetida a um esforço que não estava pronta para absorver, vindo assim a rachar. Porém, por essa parte não ter aparentemente função estrutural, a rachadura em si não é indicio de um risco para a ponte.

Na P21 não foi possível analisar de perto os tubulões, porque os mergulhadores não tinham espaço para entrar e tatear a peça, contudo foi possível ver um dos tubulões que estava mais perto, e aparentemente nenhum problema foi encontrado

De forma geral as demais fundações vistoriadas estão bem conservadas, não há sinais de deterioração do concreto ou armaduras expostas. No pilar P20, os seus tubulões estavam aparentes cerca de 1 metro, sendo possível vistoriar todos eles tanto visualmente como tateando. Na figura 80 é possível ver um dos tubulões logo abaixo do bloco.

Figura 80 -Tubulão – 16 metros de profundidade P- 20



Fonte: Autoria Própria

Na P11, o bloco e os tubulões inspecionados também estão em boas condições assim como as outras estruturas, porém os registros visuais não ficaram bons por conta da visibilidade muito baixa e da profundidade nesse pilar ser a maior, 26 metros, mesmo com o uso de lanternas, a turbidez da água atrapalhou bastante. Nesta estrutura só foi possível inspecionar 2 tubulões, um na descida e outro na

subida, pois o tempo que os mergulhadores podem passar em baixo d'água varia de acordo com a profundidade.

Durante o mergulho também foram encontrados muitos materiais que provavelmente foram deixados na época da construção como, andaimes, canos, madeiras com pregos, garrafas e telas. Alguns dos materiais como anzóis, iscas e varas de pescar também foram encontrados. Estes materiais atrapalham e tornam perigosas a atividade de mergulho, dificultando também a inspeção.

Com a inspeção é possível afirmar que as fundações inspecionadas estão em boas condições, conservadas e não apresentam problemas graves. Porém, não se pode dizer o mesmo das outras que não passaram por revista, sendo de extrema importância e interesse público que existam programas de inspeções periódicos para essas estruturas.

4 CONCLUSÃO

As manifestações patológicas existentes na ponte FHC atualmente não trazem prejuízos operacionais para os seus usuários. Porém, estas existem, e tendem a aumentar com o tempo. É necessário que haja um programa de inspeções periódicas para detecção e monitoramento das falhas existentes na ponte, compreendendo também as estruturas que estão submersas. Tão importante quanto, a verificação dessas falhas, é a manutenção que deve visar recuperar as partes da estrutura que não estão com desempenho aceitável.

E essas ações devem ser tomadas o quanto antes, sob pena de, quanto maior for o tempo para a realização das manutenções necessárias nestas áreas danificadas mais dinheiro custará ao erário para repará-las, podendo até em casos extremos, como o da ponte de Porto Nacional, não ser possível ou inviável do ponto de vista financeiro a recuperação de uma estrutura tão importante com uma ponte.

Este estudo torna-se de fundamental importância para indicar de forma concisa, a atual situação estrutural de parte da Ponte Fernando Henrique Cardoso, e serve de alerta, uma vez que foi possível expor através de imagens, fatores que podem vir a abreviar a vida útil de uma obra de arte indispensável à população.

REFERÊNCIAS

A Durabilidade do Betão de Acordo com a Norma NP EM 206-1:2007.

Disponível em:

http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/9090/1/Torgal_RN_2_2008.pdf.

Acesso em: 13 de out. de 2019.

((Autor Pacheco Torgal e Said Jalali))

ARAUJO, Renata. **Avaliação da profundidade de carbonatação em estruturas de concreto armado**. 2º Simpósio Paranaense de Patologia das Construções. Paraná: 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14037: **Manual de operação, uso e manutenção das edificações** - Conteúdo e recomendações para Elaboração e apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7187: **Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido** – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto** – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452: **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto** – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

CARBONATAÇÃO COMPROMETE A DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO. Disponível em:

<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/carbonatacao-compromete-a-durabilidade-das-estruturas-de-concreto/>. Acesso em: 12 de out. de 2019. Autor: Kirsanov Valeriy Vladimirovich

DEBS, Mounir Khalil El; TAKEYA, Toshiaki. **Introdução as Pontes de Concreto**. São Carlos: 2007

DESCHENES, D.J. ASR/DEF-**Damaged bent caps : shear tests and field implications**. Tese, University of Texas, Austin, 2009.

DEPARTAMENTO DE ESTRADA DE RODAGEM DE SÃO PAULO: **Inspeção Subaquática de Obra de Arte Especial**. São Paulo, 2005.

DNIT- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES: **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários**. Rio de Janeiro, 2010.

DNIT- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES: **NORMA DNIT 010/2004 – PRO**. Rio de Janeiro, 2004.

Evolução das propriedades efetivas do concreto sob ação da reação álcali-sílica. Disponível em: https://www.scipedia.com/public/Augusto_Pianezzer_2016a. Acesso em: 14 de out. de 2019. Autor: Guilherme Augusto Pianezzer.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **FHWA-NHI-10-027 - Underwater Bridge Repair, Rehabilitation, and Countermeasures.** Washington, 2010.

Geotecnia – Fundações. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/sapatas-de-fundacao/> Acesso em: 10 de out. de 2019. Autor: Caio Pereira.

MEDEIROS, Marcelo; ANDRADE, Jairo; Helene, Paulo. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** Ibracon, 2011.

Norma de Inspeção Predial Nacional. Disponível em: <http://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2012/12/Norma-de-Inspe%C3%A7%C3%A3o-Predial-IBAPE-Nacional.pdf> Acesso em: 21 de mar. de 2020.

O Que é Segregação. Disponível em: <http://www.colegiodearquitetos.com.br/dicionario/2013/02/o-que-e-segregacao/>. Acesso em: 14 de out. de 2019. Autor: Paulo Pinhal.

PFEIL, Walter. **Pontes: Curso Básico: Projeto, Construção e Manutenção.** Rio de Janeiro: Campus: 1926.

Ponte Fernando Henrique Cardoso. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/bibliotecacatalogo.html?id=441917&view=detalhes>. Acesso em: 01 de out. 2019. Autor: Fernando Alves.

SANTOS, Douglas. **Estudo e Análise das Patologias da Ponte de Porto Nacional – TO.** In: 32 Engenharia Estudo e Pesquisa. ABPE, v. 17, n. 2, 2017.

SOUZA, Vicente Custodio de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** São Paulo, Pini, 1998.

Tipos de Fundações. Disponível em: <https://obraexpertise.com.br/tipos-de-fundacoes/>. Acesso em: 12 de out. de 2019. Autor: Lucas Valadão.

Tipos de Pontes. Disponível em: <http://www.engenhariapt.com/2013/04/12/tipos-de-pontes/>. Acesso em: 12 de out. de 2019. Autor: Rachel Jefferies.

VITÓRIO, Afonso. **Fundamentos da Patologia das Estruturas nas Perícias de Engenharia.** Pernambuco: IPEA-PE, 2003.

VITÓRIO, Afonso. **Pontes Rodoviárias. Fundamentos, Conservação e Gestão.** CREA-PE, Recife, 2002.

APÊNDICE

Ficha de Identificação do Pilar

Pilar 02 – A	Pilar 02 – B
Grau de risco: Mínimo	Grau de risco: Mínimo
Patologias Identificadas:	Patologias Identificadas:
☐ 1 - Armadura Exposta	☐ 1 - Armadura Exposta
☐ 2 - Concreto Desagregado	☐ 2 - Concreto Desagregado
☐ 3 - Fissuras	☐ 3 - Fissuras
☐ 4 - Falta de Cobrimento	☐ 4 - Falta de Cobrimento
☒ 5 - Corrosão do concreto	☒ 5 - Corrosão do concreto
☐ 6 - Corrosão da Armadura	☐ 6 - Corrosão da Armadura
☐ 7 - Fratura por Choque	☐ 7 - Fratura por Choque
Observações: único par de pilar com proteção contra colisão de embarcações.	Observações: único par de pilar com proteção contra colisão de embarcações.



Pilar 03 – A Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☐ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☐ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☐ 6 - Corrosão da Armadura ☐ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilar com desgaste maior na linha da água.	Pilar 03 – B Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☐ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☐ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☐ 6 - Corrosão da Armadura ☒ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilar com alguns sinais de colisões, e desgaste leve do concreto na linha da água.
---	--



Pilar 04 – A Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☐ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☐ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☐ 6 - Corrosão da Armadura ☐ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilar com desgaste maior na linha da água.	Pilar 04 – B Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☐ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☐ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☐ 6 - Corrosão da Armadura ☐ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilar com desgaste maior na linha da água.
---	---



Pilar 05 – A

Grau de risco: Mínimo

Patologias Identificadas:

- ☐ 1 - Armadura Exposta
- ☐ 2 - Concreto Desagregado
- ☐ 3 - Fissuras
- ☐ 4 - Falta de Cobrimento
- ☒ 5 - Corrosão do concreto
- ☐ 6 - Corrosão da Armadura
- ☐ 7 - Fratura por Choque

Observações: Pilar com desgaste maior na linha da água.

Pilar 05 – B

Grau de risco: Mínimo

Patologias Identificadas:

- ☐ 1 - Armadura Exposta
- ☐ 2 - Concreto Desagregado
- ☐ 3 - Fissuras
- ☐ 4 - Falta de Cobrimento
- ☒ 5 - Corrosão do concreto
- ☐ 6 - Corrosão da Armadura
- ☐ 7 - Fratura por Choque

Observações: Pilar com desgaste maior na linha da água.



Pilar 06 – A Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☐ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☐ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☐ 6 - Corrosão da Armadura ☐ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilar com desgaste maior na linha da água.	Pilar 06 – B Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☐ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☐ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☐ 6 - Corrosão da Armadura ☐ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilar com desgaste maior na linha da água.
---	---



Pilar 07 – A

Grau de risco: Mínimo

Patologias Identificadas:

- ☐ 1 - Armadura Exposta
- ☐ 2 - Concreto Desagregado
- ☐ 3 - Fissuras
- ☐ 4 - Falta de Cobrimento
- ☒ 5 - Corrosão do concreto
- ☐ 6 - Corrosão da Armadura
- ☐ 7 - Fratura por Choque

Observações: Pilar com falha de concretagem profunda perto da linha d'água, que torna essa área mais suscetível ao surgimento de anomalias.

Pilar 07 – B

Grau de risco: Mínimo

Patologias Identificadas:

- ☐ 1 - Armadura Exposta
- ☐ 2 - Concreto Desagregado
- ☐ 3 - Fissuras
- ☐ 4 - Falta de Cobrimento
- ☒ 5 - Corrosão do concreto
- ☐ 6 - Corrosão da Armadura
- ☐ 7 - Fratura por Choque

Observações: Pilar com desgaste maior na linha da água.



Pilar 08 – A

Grau de risco: Mínimo

Patologias Identificadas:

- ☐ 1 - Armadura Exposta
- ☐ 2 - Concreto Desagregado
- ☐ 3 - Fissuras
- ☐ 4 - Falta de Cobrimento
- ☒ 5 - Corrosão do concreto
- ☐ 6 - Corrosão da Armadura
- ☐ 7 - Fratura por Choque

Observações: Pilar com desgaste maior na linha da água.

Pilar 08 – B

Grau de risco: Mínimo

Patologias Identificadas:

- ☒ 1 - Armadura Exposta
- ☐ 2 - Concreto Desagregado
- ☐ 3 - Fissuras
- ☐ 4 - Falta de Cobrimento
- ☒ 5 - Corrosão do concreto
- ☒ 6 - Corrosão da Armadura
- ☐ 7 - Fratura por Choque

Observações: Pilar com armadura exposta, por falta de cobrimento, que já mostra sinais de corrosões pelo contato com a umidade do local.



Pilar 09 – A

Grau de risco: Mínimo

Patologias Identificadas:

- ☐ 1 - Armadura Exposta
- ☐ 2 - Concreto Desagregado
- ☒ 3 - Fissuras
- ☐ 4 - Falta de Cobrimento
- ☒ 5 - Corrosão do concreto
- ☐ 6 - Corrosão da Armadura
- ☐ 7 - Fratura por Choque

Observações: Desgaste do concreto na linha da água e fissuras identificadas nessa região.

Pilar 09 – B

Grau de risco: Mínimo

Patologias Identificadas:

- ☒ 1 - Armadura Exposta
- ☐ 2 - Concreto Desagregado
- ☒ 3 - Fissuras
- ☐ 4 - Falta de Cobrimento
- ☒ 5 - Corrosão do concreto
- ☒ 6 - Corrosão da Armadura
- ☐ 7 - Fratura por Choque

Observações: Pilar com armadura expostas e com presença de corrosão, também há presença de fissuras pela na linha da armadura.



Pilar 10 – A	Pilar 10 – B
Grau de risco: Mínimo	Grau de risco: Mínimo
Patologias Identificadas:	Patologias Identificadas:
☐ 1 - Armadura Exposta ☒ 2 - Concreto Desagregado ☒ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☐ 6 - Corrosão da Armadura ☒ 7 - Fratura por Choque	☐ 1 - Armadura Exposta ☒ 2 - Concreto Desagregado ☒ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☐ 6 - Corrosão da Armadura ☒ 7 - Fratura por Choque
Observações: Pilar bastante lascado pelo choque das embarcações, em algumas partes o concreto desagregou. Esses choques causaram fissuras e abrasões na região do impacto.	Observações: Pilar bastante lascado pelo choque das embarcações, em algumas partes o concreto desagregou. Esses choques causaram fissuras na região do impacto.



Pilar 11 – A Grau de risco: Médio Patologias Identificadas: ☒ 1 - Armadura Exposta ☒ 2 - Concreto Desagregado ☒ 3 - Fissuras ☒ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☒ 6 - Corrosão da Armadura ☒ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilares mais danificados de toda a amostra, com presença de armaduras expostas e com sinais de corrosão, fissuras que chegam a mais de 5 metros de altura na linha das armaduras e que no nível da água estão bem largas, concreto desgastado e fraturado pelas frequentes colisões.	Pilar 11 – B Grau de risco: Médio Patologias Identificadas: ☒ 1 - Armadura Exposta ☒ 2 - Concreto Desagregado ☒ 3 - Fissuras ☒ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☒ 6 - Corrosão da Armadura ☒ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilares mais danificados de toda a amostra, com presença de armaduras expostas e com sinais de corrosão, fissuras que chegam a mais de 5 metros de altura na linha das armaduras e que no nível da água estão bem largas, concreto desgastado e fraturado pelas frequentes colisões.
--	--



Pilar 12 – A Grau de risco: Médio Patologias Identificadas: ☒ 1 - Armadura Exposta ☒ 2 - Concreto Desagregado ☒ 3 - Fissuras ☒ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☒ 6 - Corrosão da Armadura ☒ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilares mais danificados de toda a amostra, com presença de armaduras expostas e com sinais de corrosão, fissuras que chegam a mais de 5 metros de altura na linha das armaduras e que no nível da água estão bem largas, concreto desgastado e fraturado pelas frequentes colisões.	Pilar 12 – B Grau de risco: Médio Patologias Identificadas: ☒ 1 - Armadura Exposta ☒ 2 - Concreto Desagregado ☒ 3 - Fissuras ☒ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☒ 6 - Corrosão da Armadura ☒ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilares mais danificados de toda a amostra, com presença de armaduras expostas e com sinais de corrosão, fissuras que chegam a mais de 5 metros de altura na linha das armaduras e que no nível da água estão bem largas, concreto desgastado e fraturado pelas frequentes colisões.
--	--



Pilar 13 – A Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☒ 1 - Armadura Exposta ☒ 2 - Concreto Desagregado ☒ 3 - Fissuras ☒ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☒ 6 - Corrosão da Armadura ☒ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilar com armaduras expostas, bastante fraturado por conta das colisões e com desgaste maior na linha d'água.	Pilar 13 – B Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☒ 1 - Armadura Exposta ☒ 2 - Concreto Desagregado ☒ 3 - Fissuras ☒ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☒ 6 - Corrosão da Armadura ☒ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilar com armaduras expostas, bastante fraturado por conta das colisões e com desgaste maior na linha d'água.
--	--



Pilar 14 – A

Grau de risco: Mínimo

Patologias Identificadas:

- ☐ 1 - Armadura Exposta
- ☐ 2 - Concreto Desagregado
- ☒ 3 - Fissuras
- ☐ 4 - Falta de Cobrimento
- ☒ 5 - Corrosão do concreto
- ☒ 6 - Corrosão da Armadura
- ☒ 7 - Fratura por Choque

Observações: Pilar com armadura exposta nas regiões dos choques, e sinais de corrosão.

Pilar 14 – B

Grau de risco: Mínimo

Patologias Identificadas:

- ☒ 1 - Armadura Exposta
- ☐ 2 - Concreto Desagregado
- ☒ 3 - Fissuras
- ☐ 4 - Falta de Cobrimento
- ☒ 5 - Corrosão do concreto
- ☒ 6 - Corrosão da Armadura
- ☒ 7 - Fratura por Choque

Observações: Pilar com armadura exposta nas regiões dos choques, e sinais de corrosão.



Pilar 15 – A Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☒ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☒ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☒ 6 - Corrosão da Armadura ☒ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilar com armadura exposta nas regiões dos choques, e sinais de corrosão.	Pilar 15 – B Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☒ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☒ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☒ 6 - Corrosão da Armadura ☒ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilar com armadura exposta nas regiões dos choques, e sinais de corrosão.
--	--



Pilar 16 – A

Grau de risco: Mínimo

Patologias Identificadas:

- ☐ 1 - Armadura Exposta
- ☐ 2 - Concreto Desagregado
- ☐ 3 - Fissuras
- ☐ 4 - Falta de Cobrimento
- ☒ 5 - Corrosão do concreto
- ☐ 6 - Corrosão da Armadura
- ☒ 7 - Fratura por Choque

Observações: Pilar com desgaste na linha d'água, e fissuras nas quinas pelos choques de embarcações.

Pilar 16 – B

Grau de risco: Mínimo

Patologias Identificadas:

- ☐ 1 - Armadura Exposta
- ☐ 2 - Concreto Desagregado
- ☐ 3 - Fissuras
- ☐ 4 - Falta de Cobrimento
- ☒ 5 - Corrosão do concreto
- ☐ 6 - Corrosão da Armadura
- ☒ 7 - Fratura por Choque

Observações: Pilar com desgaste na linha d'água.



Pilar 17 – A Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☒ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☒ 3 - Fissuras ☒ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☒ 6 - Corrosão da Armadura ☐ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilar com desgaste no concreto na linha d'água.	Pilar 17 – B Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☒ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☒ 3 - Fissuras ☒ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☒ 6 - Corrosão da Armadura ☐ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilar com desgaste no concreto na linha d'água.
--	--



Pilar 18 – A Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☒ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☒ 3 - Fissuras ☒ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☒ 6 - Corrosão da Armadura ☐ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilar com desgaste no concreto na linha d'agua.	Pilar 18 – B Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☒ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☒ 3 - Fissuras ☒ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☒ 6 - Corrosão da Armadura ☐ 7 - Fratura por Choque Observações: Pilar com desgaste no concreto na linha d'agua.
--	--



Pilar 19 – A

Grau de risco: Mínimo

Patologias Identificadas:

- ☒ 1 - Armadura Exposta
- ☐ 2 - Concreto Desagregado
- ☒ 3 - Fissuras
- ☒ 4 - Falta de Cobrimento
- ☒ 5 - Corrosão do concreto
- ☒ 6 - Corrosão da Armadura
- ☐ 7 - Fratura por Choque

Observações: Pilar com armadura exposta por falta de cobrimento, desgaste do concreto na linha d'água, e sinais de corrosão das armaduras.

Pilar 19 – B

Grau de risco: Mínimo

Patologias Identificadas:

- ☒ 1 - Armadura Exposta
- ☐ 2 - Concreto Desagregado
- ☒ 3 - Fissuras
- ☒ 4 - Falta de Cobrimento
- ☒ 5 - Corrosão do concreto
- ☒ 6 - Corrosão da Armadura
- ☐ 7 - Fratura por Choque

Observações: Pilar com armadura exposta por falta de cobrimento, desgaste do concreto na linha d'água, e sinais de corrosão das armaduras.



Pilar 20 – A Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☐ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☐ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☐ 6 - Corrosão da Armadura ☐ 7 - Fratura por Choque Observações: Desgaste do concreto na linha d'água.	Pilar 20 – B Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☐ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☒ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de Cobrimento ☒ 5 - Corrosão do concreto ☐ 6 - Corrosão da Armadura ☐ 7 - Fratura por Choque Observações: Desgaste do concreto na linha d'água e fissuras na quina por choque de embarcações.
--	---



Pilar 21 – A Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☐ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☐ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de Cobrimento ☐ 5 - Corrosão do concreto ☒ 6 - Corrosão da Armadura ☐ 7 - Fratura por Choque Observações: Desgaste do concreto na linha d'água.	Pilar 21 – B Grau de risco: Mínimo Patologias Identificadas: ☐ 1 - Armadura Exposta ☐ 2 - Concreto Desagregado ☐ 3 - Fissuras ☐ 4 - Falta de Cobrimento ☐ 5 - Corrosão do concreto ☒ 6 - Corrosão da Armadura ☐ 7 - Fratura por Choque Observações: Desgaste do concreto na linha d'água.
--	--

