



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005*  
*ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL*

MATEUS LOUREIRO RODRIGUES

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS RELACIONADAS A COLISÕES DE  
EMBARCAÇÕES NOS PILARES DA PONTE FHC - ESTUDO DE CASO**

Palmas – TO

2019

MATEUS LOUREIRO RODRIGUES

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS RELACIONADAS A COLISÕES DE  
EMBARCAÇÕES NOS PILARES DA PONTE FHC - ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

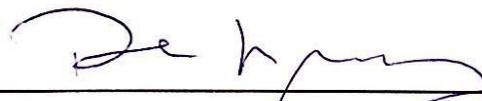
Palmas – TO

2019

MATEUS LOUREIRO RODRIGUES

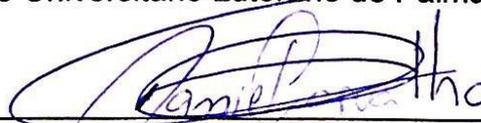
**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS RELACIONADAS A COLISÕES DE  
EMBARCAÇÕES NOS PILARES DA PONTE FHC - ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II  
elaborado e apresentado como requisito parcial  
para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil pelo Centro Universitário  
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).  
Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo  
Ribeiro



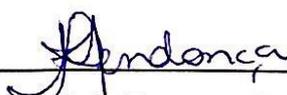
---

Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo Ribeiro  
Centro Universitário Luterano de Palmas



---

Prof. Esp. Daniel Iglesias de Carvalho  
Centro Universitário Luterano de Palmas



---

Prof. Esp. Kênia Parente Lopes Mendonça  
Centro Universitário Luterano de Palmas

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Exemplo de ponte e viaduto.....	12
Figura 2- Elementos constituintes de uma ponte.....	14
Figura 3- Tipos estruturais de pontes.....	15
Figura 4- Pilar em estado crítico de corrosão.....	16
Figura 5- Panorama aéreo da ponte após colisão.....	28
Figura 6- Estado de comprometimento da ponte após colisão.....	28
Figura 7- Colapso da ponte I-40 em Oklahoma, em 2002.....	29
Figura 8- (a); (b)- Embarcação de médio porte.....	31
Figura 9- Embarcação de médio porte denominada "flutuante".....	32
Figura 10- Ponte FHC.....	33
Figura 11- Vista Lateral da Ponte FHC; b – Aterro e Ponte FHC.....	34
Figura 12- (a) - Desgaste da camada de cobrimento; (b) Pilar com camada de cobrimento comprometida.....	36
Figura 13- Marca de desgaste mecânico por abrasão.....	37
Figura 14- Desgaste por abrasão na camada de cobrimento.....	38
Figura 15- Vista de perfil do pilar central P12; (b) Armadura exposta no pilar P12.....	39
Figura 16- Corrosão de armadura exposta no pilar P12.....	40
Figura 17- (a) e (b) - Armadura exposta devido ao choque de embarcações no pilar P11.....	42
Figura 18- Armadura exposta em Pilar.....	43
Figura 19- Pilar P11 e P11'.....	44
Figura 20- Presença de bolor e fissuras no pilar P10.....	45
Figura 21- (a) Outra face do pilar P10; (b) Várias trincas e fissuras em outra face do pilar P10.....	47
Figura 22- Trincas, fissuras e rachaduras no Pilar.....	48
Figura 23- Trincas, fissuras e rachaduras no Pilar.....	49
Figura 24- Ilustração da estrutura de um dolfim.....	54
Figura 25- Proteção em estacas da Ponte Tromso, em Tromso, Noruega.....	55
Figura 26- Sistema de proteção flutuante da Ponte Punta Pizzone, em Taranto, Itália.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dimensões das manifestações patológicas identificadas nos pilares.....	51
--	----

## RESUMO

É importante o estudo a respeito das manifestações patológicas relacionadas a colisões de embarcações e as possíveis soluções para evitar novas. Há indícios de manifestações patológicas nos pilares da ponte. O objetivo deste trabalho foi Analisar as manifestações patológicas presentes nos pilares da ponte Fernando Henrique Cardoso relacionados a colisões de embarcações, em Palmas – TO. As embarcações que navegam sob os pilares da ponte FHC foram analisadas para identificação das potenciais causadoras de manifestações patológicas, vistoria nos quatro pilares centrais com medição e registro fotográfico de todas as manifestações, análise de possíveis soluções para as existentes e também para evitar o surgimentos de novas. Os resultados mostraram as embarcações que apresentam maior risco, caso haja contato com os pilares, são os flutuantes. Foram encontradas manifestações patológicas em todos os pilares analisados, com presença de desgaste na camada de cobertura, corrosão das armaduras, presença de bolor, eflorescência, fissuras, trincas e rachaduras. Os resultados apontaram três métodos de proteção de pilar, são eles: dolfin, estacas e flutuantes. O sistema de proteção de pilares mais indicado para a ponte FHC é o de flutuantes, pois tem baixo custo de implantação e atende, em suas especificações, de acordo com o tamanho das embarcações que navegam próximas aos pilares. Poderá servir para trabalhos futuros que tenham como objetivo apresentar métodos de monitoramento e reparos para as manifestações patológicas encontradas.

**Palavras-chave:** Manifestações Patológicas, Colisões de Embarcações, Sistema de Proteção de Pilares

## ABSTRACT

It is important to study the pathological manifestations related to ship collisions and possible solutions to avoid new ones. There are signs of pathological manifestations on the pillars of the bridge. The objective of this work was to analyze the pathological manifestations present in the pillars of the Fernando Henrique Cardoso bridge related to vessel collisions in Palmas - TO. The vessels that sail under the pillars of the FHC bridge were analyzed for identification of the potential causes of pathological manifestations, inspection in the four central pillars with measurement and photographic registration of all manifestations, analysis of possible solutions for existing ones and also to avoid the emergence of new ones. The results showed the vessels that present the highest risk, in case of contact with the pillars, they are the floating ones. Pathological manifestations were found in all the analyzed columns, with presence of wear on the covering layer, corrosion of the reinforcement, presence of mold, efflorescence and cracks. The results pointed out three methods of pillar protection, namely: dolfin, cuttings and floating. The most suitable pillar protection system for the FHC bridge is that of floating, because it has a low implantation cost and meets, in its specifications, according to the size of the vessels that sail near the pillars. It may be useful for future work aimed at presenting methods of monitoring and repairing the pathological manifestations found.

**Keywords:** Pathological Manifestations, Vessel Collisions, Pillar Protection System

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>1.1 OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
1.1.1 Objetivo Geral.....	10
1.1.2 Objetivos Específicos .....	10
<b>1.2 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>11</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 PONTES</b> .....	<b>12</b>
2.1.1 Classificação das pontes.....	14
<b>2.2 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS</b> .....	<b>16</b>
2.2.1 Manifestações patológicas nas estruturas de concreto.....	16
2.2.2 Desempenho das estruturas.....	18
2.2.3 Vida útil e durabilidade das estruturas .....	19
2.2.4 Sintomatologia das estruturas .....	20
2.2.5 Causas da deterioração das estruturas de concreto.....	22
2.2.6 Processos físicos de deterioração das estruturas .....	24
2.2.7 Diagnóstico.....	25
<b>2.3 A IMPORTÂNCIA DE IMPLANTAR SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE PILAR</b> .....	<b>27</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>31</b>
3.1 MÉTODO DE PESQUISA .....	31
3.2 ANÁLISE DAS EMBARCAÇÕES .....	31
3.3 VISTORIA DO LOCAL.....	33
3.4 RELATÓRIO FOTOGRÁFICO E DIAGNÓSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICA.....	34
3.5 ANÁLISE DOS DADOS E POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EXISTENTES.....	34
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1 RELATÓRIO FOTOGRÁFICO E DIAGNÓSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS</b> .....	<b>36</b>
4.1.1 Desgaste da camada de revestimento .....	36
4.1.2 Corrosão das armaduras .....	39
4.1.3 Presença de Bolor e Eflorescência .....	44
4.1.4 Fissuras, trincas e rachaduras .....	46
4.1.5 Dimensões das manifestações patológicas identificadas nos pilares .....	50
<b>4.2 POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA EVITAR NOVAS COLISÕES</b> .....	<b>53</b>
4.2.1 DOLFIN.....	53
4.2.2 ESTACAS.....	55
4.2.3 FLUTUANTES	56
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre as obras de arte, as pontes são estruturas de grande importância para o sistema viário, pois integra cidades e até países, ajudando no desenvolvimento e progresso econômico, social e cultural (DIÓGENES et al., 2014). Com o tempo essas estruturas vão sofrendo desgastes, seja pelo uso ou até mesmo a exposição às situações do ambiente em que se encontram.

Existem alguns acidentes de choque de embarcações contra pontes, registrados no Brasil e em outros países. No Estado do Pará, em 2014, uma balsa com 900 toneladas de óleo de palma, colidiu com um pilar da ponte que passa sobre o rio Moju e um trecho da ponte colapsou deixando-a intransitável, prejudicando o acesso à região sudeste do Pará (G1-PA, 2014; SILVA, 2016). O acidente mais recente registrado no Brasil foi em 2019, novamente em ponte sobre o rio Moju, no Pará, em que uma embarcação se chocou em um dos pilares ocasionando o colapso de uma parte da estrutura.

Outro acidente evidenciado no Brasil aconteceu na cidade de Corumbá, Mato Grosso do Sul, em 2011, em que uma embarcação carregada com minério de ferro bateu em um dos pilares da ponte sobre o Rio Paraguai, provocando fenda de 25 cm e como segurança aos usuários, a ponte foi interditada (G1-MS, 2011).

Pode-se citar alguns acidentes de colapso de pontes registrados em alguns países, como o que aconteceu em Mardan, no Paquistão, em que deixou várias pessoas mortas e desaparecidas. Na Índia, 34 pessoas morreram em queda de ponte de 150 anos. Em Portugal existe um registro de queda de ponte centenária onde 58 pessoas morreram (G1- GLOBO, 2018).

Muitas dessas quedas de pontes aconteceram por falta de identificação de manifestações patológicas, que com o tempo vão deteriorando os materiais que compõem a estrutura da obra, ou até mesmo por choque de embarcações, em que os pilares de sustentação são colapsados.

Percebe-se que, se o condutor de uma embarcação de grande porte com carga máxima, por desídia ou imperícia causar uma colisão da embarcação com a estrutura de um dos pilares de uma ponte, tal incidente certamente causaria prejuízos de proporções catastróficas para o desenvolvimento da região. Além disso, não se poderia descartar o risco de mortes ou ferimentos de usuários da ponte devido ao colapso da sua estrutura.

Nesse sentido, os tráfegos de embarcações próximos aos pilares de pontes representam um fator de alto risco às suas estruturas, sendo que a possibilidade de colisões suficientes a causar danos à estrutura das pontes e até mesmo o seu total comprometimento, não deve ser desconsiderada.

Esse trabalho vem abordar sobre as manifestações patológicas relacionadas a colisões de embarcações nos pilares da ponte Fernando Henrique Cardoso (FHC), situada no km 10 da Rodovia TO-080, próximo à cidade de Palmas, capital do Estado do Tocantins. É um tema de grande relevância, pois com o iminente uso da hidrovia, é urgente e necessário o aprofundamento de estudo relacionado ao risco de colisões de embarcações de médio e grande porte com os pilares da ponte FHC, visando, com isso, ampliar a discussão sobre modelos de proteção de pilares, constatar o grau de evolução de manifestações patológicas nos pilares e mensurar os riscos que estas representam a sua estrutura.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Analisar as manifestações patológicas presentes nos pilares da ponte Fernando Henrique Cardoso relacionados a colisões de embarcações, em Palmas - TO.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Identificar os tipos de embarcações que navegam sob a ponte FHC.
- Diagnosticar as manifestações patológicas existentes nos quatro pilares centrais da ponte FHC, como causas e mecanismos;
- Apontar possíveis soluções para prevenir novas manifestações patológicas relacionadas à colisão de embarcações.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento do transporte de cargas de grande volume mediante a utilização de hidrovias no país e em todo o mundo é inevitável já que tem benefícios incontestáveis quanto ao barateamento do custo do frete. Todavia, traz consigo algumas preocupações, especialmente na área ambiental, diante da necessidade de eventuais modificações nos cursos d'água utilizados, bem como na preservação e manutenção da integridade das estruturas das pontes existentes sobre essas hidrovias e as que serão projetadas e construídas no futuro. Nesse propósito, no que se refere especificamente às obras de arte especiais, é fundamental o estudo aprofundado sobre manifestações patológicas ligadas a colisões de embarcações nos seus pilares.

Com o avanço deste modal surge a preocupação que com o aumento do tráfego de embarcações próximo aos pilares da ponte FHC, o risco de colisões certamente aumentará. O colapso de um elemento da mesoestrutura resultaria em grande prejuízo para a microrregião.

Com o intuito de salvar vidas, evitar problemas na logística dos transportes e prejuízos para população e o comércio, faz-se necessária à implementação de medidas visando evitar tais transtornos, pois se um pilar viesse a ser danificado em decorrência de um choque de uma embarcação, isso poderia comprometer totalmente a estrutura da ponte FHC.

Esse assunto é de grande relevância para os engenheiros civis, bem como empreiteiras, construtoras e prestadoras de serviços, como também a sociedade em geral, principalmente a população que mora em Porto Nacional, que trafegam constantemente no sentido Palmas. É preciso conscientizar a respeito dos possíveis danos por impactos de embarcações, como também a reparos de ordem preventivas e/ou corretivas e ocorrências de paralizações em decorrência a danos na estrutura.

Este trabalho tem como justificativa o aprofundamento de ideias a respeito das manifestações patológicas relacionadas a colisões de embarcações, ou não, nos pilares da ponte FHC, para evitar o comprometimento e diminuição da vida útil da estrutura da ponte FHC.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

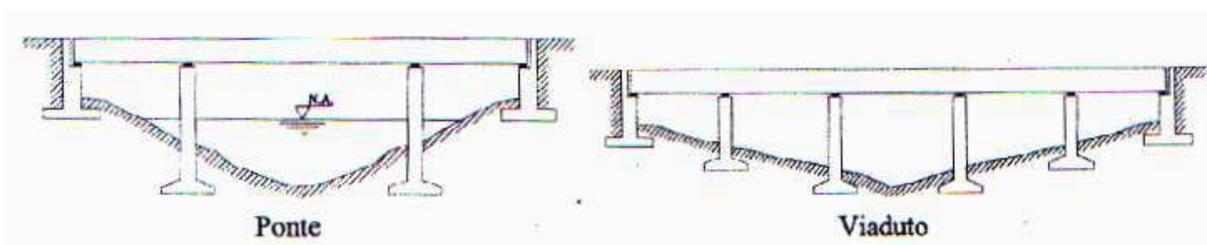
Neste capítulo serão explanados os principais conceitos acerca do tema de estudo, tais como: pontes e seus elementos, concreto e concreto armado, manifestações patológicas em estruturas de concreto, embarcações, proteção de pilares, acidentes relacionados a colisões de embarcações e vistorias.

### 2.1 PONTES

Pontes são estruturas constituídas normalmente por concreto e aço e, as que transpõe obstáculos não constituídos por água são conhecidas como viadutos (LIPENER, 2018). Nesse mesmo sentido, Marchetti (2008), afirma que pontes são elementos estruturais designados a transpor obstáculos naturais (cursos d'água) e os viadutos são designados a transpor uma via ou um vale. Apesar de receberem nomenclaturas diferentes a concepção das estruturas é igual em praticamente tudo, alterando apenas o obstáculo a ser superado.

As pontes podem ser para transporte rodoviário, ferroviário, pedestres, canal, aqueduto, tubulação, etc (GAMA, 2014). As pontes também recebem o nome de “Obra-de-arte especial”, que está relacionado a obras em estradas, que por sua vez eram projetadas de modo empírico por artistas da antiguidade. No caso das especiais recebe esta denominação por necessitar de projeto específico para cada obra (PFEIL, 1979; GIOVANNETTI, 2014).

Figura 1- Exemplo de ponte e viaduto



FONTE: El Debs e Takeya (2003, p.2)

De acordo com Pfeil (1979), as pontes são divididas em três setores principais: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura. A infraestrutura consiste

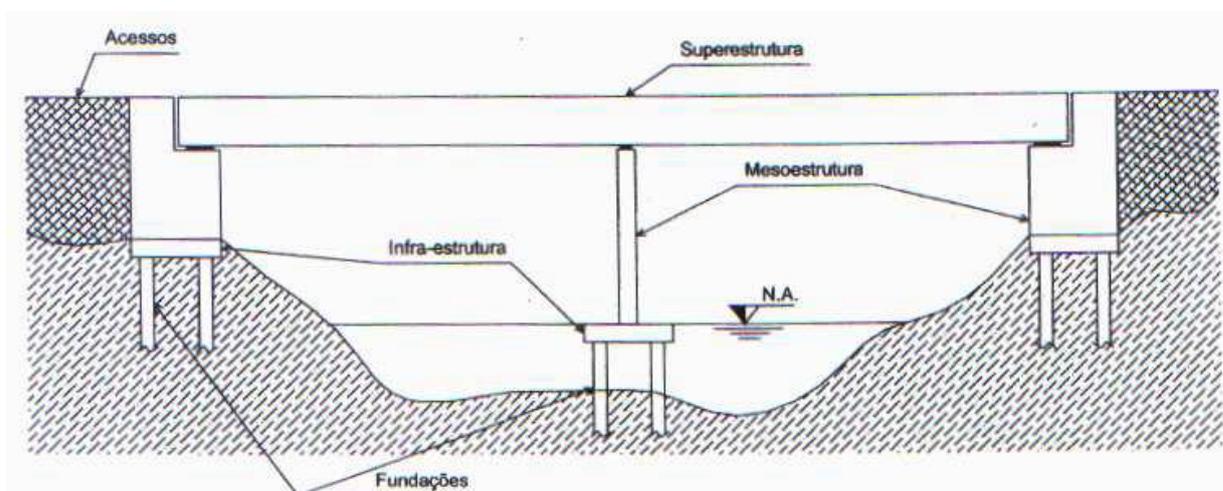
das partes que recebem os esforços vindos da mesoestrutura e fazem interação de forma segura com o solo, obedecendo as suas características, no qual os esforços são dissipados. A infraestrutura também recebe a denominação de fundação, que pode ser direta, indireta e profunda. Da mesma forma estão incluídos na infraestrutura os blocos de coroamento de estacas que fazem a ligação da fundação com os pilares.

Nesse sentido, a infraestrutura consiste na parte responsável em transferir as cargas ao terreno, rocha ou solo e as solicitações da mesoestrutura. Essa estrutura do meio é o elemento responsável pelo recebimento das solicitações da superestrutura, como as pressões do vento e da água em movimento. A superestrutura tem a função de receber as cargas de utilização da ponte, ou seja, os esforços de carregamentos, veículos e pedestres e, transmiti-las à mesoestrutura (LIPENER, 2018).

A mesoestrutura caracteriza-se pela parte média da ponte, onde estão localizados os pilares que dão apoio à superestrutura da ponte, as posições dos pilares normalmente são no sentido vertical, porém a casos de pilares inclinados. Sua principal função está ligada a transferência dos esforços ocasionados pela superestrutura até a infraestrutura (PFEIL, 1979).

Segundo o autor supracitado, as superestruturas das pontes são os elementos localizados na parte superior dos apoios, que são constituídas pelas vigas primárias e secundárias, tabuleiro, juntas de dilatação, aparelhos de apoio, estrutura principal e outros elementos importantes. A função básica da superestrutura compõe-se por vencer os vãos entre os apoios no caso da estrutura principal. No que se diz respeito ao tabuleiro, esse tem a importante função de receber as cargas móveis, também chamadas de cargas de utilização da ponte. A Figura 2 apresenta a disposição de cada elemento de uma ponte.

Figura 2 – Elementos constituintes de uma ponte



FONTE: Adaptado de Manson (1997, p.1)

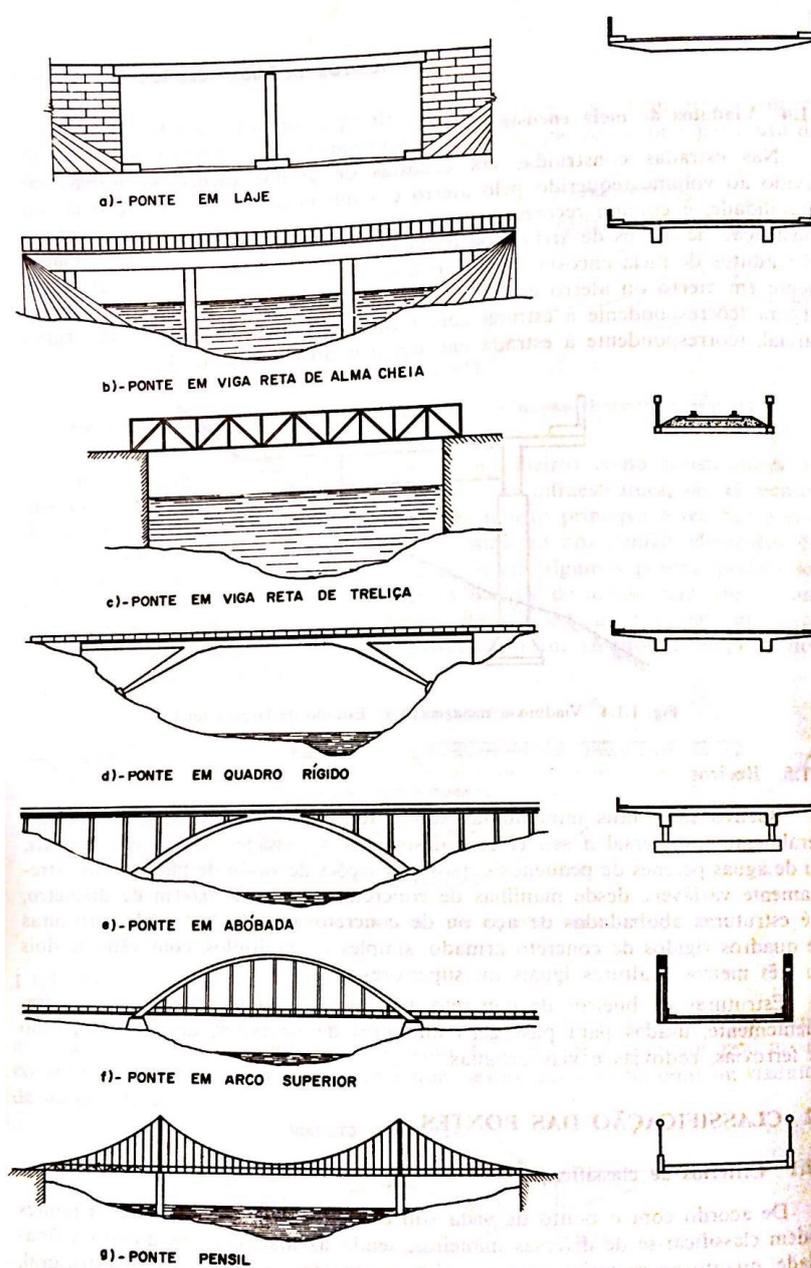
Percebe-se na ilustração que a superestrutura é constituída pelo tabuleiro da ponte, onde os veículos irão trafegar; a mesoestrutura é composta por pilares, blocos e componentes de apoio e a infraestrutura é composta pela fundação da ponte.

### 2.1.1 Classificação das pontes

As pontes podem ser classificadas de acordo com as seguintes características: Finalidade; Comprimento do vão; Materiais empregados na obra; Durabilidade; Tipo de tráfego (PFEIL, 1979). Isso faz com que exista uma desigualdade entre cada obra, fazendo com que pertençam a classes distintas e, conseqüentemente, os métodos utilizados nas suas construções tenham exigências diferentes (MAIA et al., 2010).

A Figura 3 representa alguns dos modelos usuais de estruturas de pontes.

Figura 3- Tipos estruturais de pontes



FONTE: (PFEIL, 1979, p.4)

Percebe-se na figura 3 alguns modelos estruturais de pontes como ponte em viga reta de alma cheia, ponte em viga reta de treliça, ponte em quadro rígido, ponte em abóbada, ponte em arco superior e ponte pênsil.

## 2.2 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS

A respeito do estudo de manifestações patológicas relacionadas a colisões de embarcações, faz-se necessário o conhecimento no assunto para discernir as que são causadas pelo choque de embarcações e as ocasionadas por outros motivos.

As manifestações patológicas podem ser definidas como todas as manifestações que podem aparecer no ciclo de vida de uma estrutura, prejudicando o desempenho esperado do edifício e suas partes, como os subsistemas, elementos e componentes (GONÇALVES, 2015).

De acordo com Souza e Ripper (1998, p.14), pode-se dizer que manifestações patológicas das estruturas é o “[...]campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas”.

Figura 4 - Pilar em estado crítico de corrosão



FONTE: (<http://www.abq.org.br/cbq/2014/trabalhos/5/4940-16756.html>)

Observa-se no pilar apresentado na figura 4 que as armaduras estão expostas e oxidadas devido ao deslocamento de concreto, que constitui a camada de cobertura ou de proteção das barras de aço.

### 2.2.1 Manifestações patológicas nas estruturas de concreto

As manifestações patológicas podem ser de origem exógena e endógena. As externas podem ser provocadas por terceiros ou pela natureza, como as vibrações

provocadas por estaqueamento, percussão de máquinas, tráfego variações térmicas, chuvas, terremotos, maremotos, dentre outros. As de origem Endógena estão relacionadas à própria estrutura, que podem ser em decorrência de falhas de projeto (PONTES, 2018).

Segundo Souza e Ripper:

Desde os primórdios da civilização que o homem tem se preocupado com a construção de estruturas adaptadas às suas necessidades, sejam ela habitacionais (casa e edifícios), laborais (escritórios, indústrias, silos, galpões, etc.), ou de infraestrutura (pontes, cais, barragens, metrô, aquedutos, etc.) (1998, p.13).

De acordo os supracitados autores, com o desenvolvimento rápido da construção civil houve a exigência de novas tecnologias construtivas, que trouxeram consigo preocupações a respeito de maiores riscos. O desenvolvimento da tecnologia aconteceu espontaneamente, de maneira que, aceitando estes riscos dentro dos limites estabelecidos permitiu-se ter exemplos de falhas e com elas um aprofundamento no que se diz respeito à deterioração precoce e acidentes. Para os autores, os motivos da degradação estrutural podem ser variados, são eles: desgaste prematuro, acidentes, falta de responsabilidade dos técnicos que fazem a escolha equivocada dos materiais visando apenas à economia, ou a junção de todos estes fatores.

Tratando-se de manifestações patológicas das estruturas pode-se classifica-las em simples e complexas. Nas simples adota-se um comportamento adequado ao seu tipo, como um diagnóstico onde a investigação e prevenção são claras, admitindo certo padrão e não é necessário entendimento especializado do profissional encarregado. Podendo citar as eflorescências, decorrente de depósitos salinos de metais alcalinos na superfície, em que é possível identificar esse fenômeno facilmente, como também realizar o seu diagnóstico, não sendo não sendo comprometedora a estrutura da edificação (ZUCHETTI, 2015).

As complexas necessitam de observação específica e minuciosa, ao contrário das manifestações patológicas simples em que a complexidade do problema exige métodos de perícias diferentes dos normais, mais específicos e esquema frequente de vistoria, onde são tomadas medidas para assegurar a integridade da estrutura, para este caso é fundamental que se tenha notório saber sobre manifestações patológicas das estruturas (SOUZA; RIPPER, 1998). Os autores ainda afirmam que

hoje a percepção de que as estruturas e o material concreto estão entrando na terceira idade, exige um tratamento diferenciado se comparado àquele que até agora vinha sendo dispensado.

### **2.2.2 Desempenho das estruturas**

Para assegurar o correto desempenho das estruturas é fundamental a preocupação com relação ao material empregado no projeto e o meio ambiente onde se encontram.

Os tempos modernos ditaram a certeza de que o concreto, como material de construção, é instável ao longo do tempo, alterando suas propriedades físicas e químicas em função das características de seus componentes e das respostas às condicionantes do meio ambiente. Às consequências destes processos de alteração que venham a comprometer o desempenho de uma estrutura, ou material, costuma-se chamar deterioração. Os elementos agressores, em si, são designados agentes de deterioração. (SOUZA; RIPPER, 1998, p.17)

Todo elemento constituinte da estrutura interage de maneira diferente com o meio ambiente no qual está inserido e os meios de deterioração em que são sujeitos, permitindo assim o estudo da deterioração da estrutura e dos materiais que estão inseridos. A vida útil do material usado está relacionada ao tempo em que ele consegue atender suas características de forma a não deixar os requisitos mínimos de suas propriedades serem rebaixados a um nível inferior aos limites estabelecidos. Estes aspectos estabelecem parâmetros para elaboração de manuais de manutenção pertinentes a um cada deles (ARAUJO, 2014; FUSCO, 2012).

Quando se fala em desempenho das estruturas é possível dizer que “[...] por desempenho entende-se o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e a sua medida relativa espelhará sempre, o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção” (SOUZA; RIPPER, 1998, p.17).

Mesmo com todos os cuidados, análises e planos de manutenção sobre as estruturas, vale ressaltar que os materiais sofrem deterioração, este é um processo natural onde não pode ser evitado, apenas reduzir a níveis mínimos.

Souza e Ripper também destacam que:

O estudo da vida útil das estruturas está ligado ao que é tecnicamente ponderável, e a sua evolução deve necessariamente passar por maior conhecimento de durabilidade dos materiais, dos componentes e dos vários sistemas estruturais, assim como pelo aperfeiçoamento dos processos construtivos, dos programas e das técnicas de manutenção (1998, p.19).

Os referidos autores também afirmam que, o plano ideal a se fazer quando se fala de estrutura consiste na elaboração de um projeto, obedecendo às normas, onde sua construção seja feita atendendo os critérios mais específicos e seu plano de manutenção seja descomplicado, assim poderá manter em níveis mínimos a deterioração das estruturas.

### **2.2.3 Vida útil e durabilidade das estruturas**

De acordo com Araújo (2014) a durabilidade é um agrupamento de ações e métodos que irão assegurar na estrutura e em seus materiais constituintes comportamento adequado ao longo de seu tempo útil, sem a necessidade de medidas extras de manutenção. Segundo o autor, a vida útil das estruturas está relacionada ao período que a estrutura consegue manter, em níveis satisfatórios, a função para qual foi projetada.

A associação destes dois conceitos é inevitável. Conhecidas, ou estimadas, as características de deterioração do material concreto e dos sistemas estruturais, entende-se como durabilidade o parâmetro que relaciona a aplicação destas características a uma determinada construção, individualizando-a pela avaliação da resposta que dará aos efeitos da agressividade ambiental, e definido, então, a vida útil da mesma. (SOUZA; RIPPER, p.19)

Nos últimos anos as questões relacionadas à vida útil, segurança, confiabilidade, como também aos riscos dos sistemas de infraestrutura civil, tornaram-se assuntos de grande importância (FELIX et al., 2018).

As estruturas de concreto e sua vida útil, como também a sua resistência e outras características estão diretamente ligadas à água que faz parte de sua composição. Nesse sentido, a quantidade de água inserida no material influencia nas características de densidade, compacidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade, fissuração, como também na resistência mecânica do concreto (ROSA; LOPES, 2016). Por isso, que se deve levar em consideração a relação água/cimento

(a/c) do material pois quanto maior essa relação, menor será a resistência do concreto.

A partir destas características se podem atestar a durabilidade ou não da estrutura de concreto, sem esquecer o meio ambiente onde estão localizadas, se possuem ou não a propensão do transporte de líquidos e gases no seu interior (FUSCO, 2012).

## **2.2.4 Sintomatologia das estruturas**

Define-se sintomatologia das estruturas os problemas patológicos manifestados nas estruturas de concreto, que surgem ao apresentarem falhas em uma ou mais etapas da estrutura, estas etapas são: concepção, execução e utilização (SOUZA; RIPPER, 1998). A seguir serão apresentadas as manifestações patológicas geradas nas três etapas apresentadas, porém será dada ênfase às relacionadas a colisões de embarcações, em que estão englobadas na etapa de utilização.

### **2.2.4.1 Manifestações patológicas geradas na etapa de projeto**

Nesta esta etapa são consideradas as falhas oriundas dos processos anteriores à construção, podendo ocorrer nas fases de: estudo preliminar, execução do anteprojeto e no projeto executivo (SOUZA; RIPPER, 1998).

Ainda de acordo com os autores supracitados, os erros de projeto da estrutura geralmente oneram a etapa construtiva da obra. Também podem afetar a etapa de utilização, dificultando a mesma, por último são os erros na fase do projeto executivo, esses podem ser causadores de manifestações patológicas graves.

Durante a fase em que a edificação é gerada, ela se torna base para todas as etapas posteriores, sendo então de grande importância para que não ocorra o surgimento de problemas patológicos (ZUCHETTI, 2015).

As manifestações patológicas que podem ocorrer durante essa etapa podem ter origem da deficiência de um estudo preliminar ou de anteprojetos equivocados, que podem estar relacionado ao cálculo da estrutura, a algum equívoco na análise de resistência do solo, falta de compatibilidade entre a estrutura e a arquitetura,

materiais inadequados, erros ou insuficiência de detalhamentos, dentre outros (SANTOS, 2014).

#### **2.2.4.2 Manifestações patológicas geradas na etapa de construção**

Logo após a etapa de projeto, devem ser feitos os estudos e projetos preliminares com sucesso, para começar a etapa da construção. É importante lembrar que nesta fase algumas precauções são necessárias para garantir o seguimento correto da etapa construtiva, como a “[...] caracterização da obra, individualizada pela programação de atividades, alocação de mão-de-obra, definição do “*layout*” do canteiro e previsão de compras dos materiais” (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 25).

De acordo com o autor:

Assim, uma vez iniciada a construção, podem ocorrer falhas das mais diversas naturezas, associadas a causas tão diversas como falta de condições locais de trabalho (cuidados e motivação), não capacitação profissional da mão-de-obra, inexistência de controle de qualidade de execução, má qualidade de materiais e componentes, irresponsabilidade técnica e até mesmo sabotagem (SOUZA; RIPPER, 1998, p.25).

Percebe-se que existe diversos tipos de falhas que podem acontecer nessa etapa, desde a falta de mão-de-obra qualificada, falta de controle da qualidade como também irresponsabilidade técnica. Essas falhas estão relacionadas ao processo de produção, refletindo em problemas socioeconômicos, que provocam baixa qualidade técnica dos trabalhadores qualificados ou sem nenhuma capacitação (SANTOS, 2014).

Torna-se necessário ter um controle de qualidade e dos processos construtivos para evitar problemas patológicos no futuro, sendo que deve existir um controle de materiais, como também a fiscalização para que tudo ocorra de acordo com o que está especificado em projeto (ZUCHETTI, 2015).

Portanto, fica registrada a importância de seguir determinados procedimentos relacionados à etapa de construção. A obra deve conter mecanismo de controle de qualidade, a mão-de-obra deve ser fiscalizada quanto ao andamento de sua produção e também é notável adotar medidas para incentivar os colaboradores e evitar que suas ações sejam prejudiciais à construção, sendo que a falta de mão-de-

obra qualificada é a principal causa de estruturas sem durabilidade (SOUZA; RIPPER, 1998).

#### **2.2.4.3 Manifestações patológicas geradas na etapa de utilização**

Souza e Ripper (1998) afirmam que após as etapas de concepção e construção concluídas ainda há possibilidade de surgir patologias, são elas decorrentes da má utilização e falta de manutenção. Os usuários estão ligados a estes problemas, pois são contribuintes para a conservação da estrutura, porém, alguns assumem o papel de degradadores da estrutura.

Nesse sentido, muitas manifestações patológicas que surgem durante a fase de utilização são originadas pelos próprios usuários, como também a falta de manutenção da estrutura (ZUCHETTI, 2015). Para que a estrutura apresente um bom desempenho deve-se observar se o seu uso está de acordo com o que está em projeto, seja relativa a carregamentos, como a presença de materiais que sejam agressivos ao concreto armado (SANTOS, 2014).

As embarcações que passam sob a ponte e seus respectivos comandantes assumem, nesse caso, o papel de usuário da estrutura, podendo contribuir para a degradação, seja por imperícia, imprudência ou negligência.

#### **2.2.5 Causas da deterioração das estruturas de concreto**

Ao analisar uma estrutura com manifestações patológicas faz-se necessário à averiguação da causa desse problema, após o esclarecimento da causa vem a etapa da cura, que deve ser de acordo com o tipo estudado. Deve-se conhecer pormenorizadamente a causa inicial da doença, não somente para que seja remediada, mas também para assegurar que o problema não volte a acontecer (SOUZA; RIPPER, 1998).

Podem ser segundo Araújo (2014), causas físicas, químicas e biológicas, onde em alguns casos há mais de um fator combinado, o resultado dessa combinação se dá pela aceleração do processo de deterioração. Nesse sentido, as causas de deterioração do concreto são classificadas em intrínsecas e extrínsecas.

### **2.2.5.1 Causas intrínsecas**

Segundo Souza e Ripper as causas intrínsecas são:

[...] processos de deterioração das estruturas de concreto as que são inerentes às próprias estruturas (entendidas estas como elementos físicos), ou seja, todas as que têm sua origem nos materiais e peças estruturais durante as fases de execução e/ou de utilização das obras, por falhas humanas, por questões próprias ao material concreto e por ações externas, acidentes inclusive (1998, pg.28).

As causas podem ser classificadas por falhas humanas durante a construção, falhas humanas durante a utilização (ausência de manutenção) e causas naturais (FUSCO, 2012; SOUZA; RIPPER, 1998).

Entre as falhas humanas durante a construção estão as deficiências de concretagem, inadequação de escoramentos e fôrmas, deficiências nas armaduras, utilização incorreta dos materiais de construção, inexistência de controle de qualidade. Dentre as falhas humanas na fase de utilização se encontra a ausência de manutenção programada e, aquelas por causas naturais, as causas próprias à estrutura porosa do concreto, as químicas, físicas e biológicas (TRINDADE, 2015).

### **2.2.5.2 Causas extrínsecas**

Ao contrário das causas intrínsecas que são inerentes à própria estrutura e nos materiais empregados, as causas extrínsecas são, de forma geral, ocasionadas por fatores externos a estrutura. Esses fatores acontecem durante a vida da estrutura ou na fase de construção (SOUZA; RIPPER, 1998). Podem classificar-se em falhas humanas durante o projeto, falhas humanas durante utilização, ações mecânicas, ações físicas, ações químicas e ações biológicas.

Para os autores, as ações mecânicas podem ser choques de embarcações contra a mesoestrutura da ponte ou mesmo uma sucessão de pequenos choques, tipo raspar, em função dessas ações podem surgir manifestações patológicas como a deterioração da camada de cobrimento, exposição da armadura do concreto e até o total comprometimento de um pilar quando não houver alguma medida protetiva contra choques. As causas mecânicas dificilmente são passíveis de previsão e, “[...] na maioria das vezes estes agentes, que podem causar consideráveis danos às

estruturas, inclusive levando-a à ruína, são impossíveis de ser considerados nas etapas de concepção e execução das estruturas [...]” (SOUZA; RIPPER, 1998, p.56).

As ações físicas que causam desagregação na estrutura estão relacionadas às variações de temperaturas, a exposição direta ao solo, como também a ação da água (TRINDADE, 2015).

As ações químicas podem ocorrer devido a presença de sais, como cloretos e nitratos, que reagem com o cloreto de cálcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  do cimento, na presença de água. O concreto também pode sofrer ataques por sulfatos, que gera tensões capazes de fissurá-lo. A reação álcali-agregado também é outro exemplo que causa deterioração no concreto, ocorrendo no interior da estrutura, envolvendo os hidróxidos alcalinos do cimento e minerais presentes no agregado, gerado fissurações e deslocamentos (SANTOS, 2014).

### **2.2.6 Processos físicos de deterioração das estruturas**

Dependendo do meio onde estão inseridas, as estruturas de concreto podem apresentar problemas patológicos por vários motivos, a junção desses motivos é o principal causador de manifestações patológicas e redução significativa na vida útil da estrutura. Quando há a existência destes problemas patológicos agregados a falhas na etapa de construção, mão-de-obra desqualificada e fiscalização ineficiente são visíveis que a estrutura tenha ponto de fraqueza, isso facilitaria a manifestação de patologias e em consequência desta soma de fatores podem aparecer problemas como degradação do concreto e oxidação das armaduras (FUSCO, 2012).

Para o alcance de um bom resultado é imprescindível que se conheçam as condições físicas, ambientais e mecânicas no qual a estrutura está exposta e as causas de suas patologias e seus sintomas (SOUZA; RIPPER, 1998).

Os processos físicos de deterioração das estruturas de concreto são: Fissuração, Desagregação do concreto; Carbonatação do concreto; Perda de aderência e Desgaste do concreto.

As fissuras podem surgir por contração plástica do concreto, ocorrendo logo após a concretagem, através da redução de volume causada pela taxa de perda da água em relação à taxa de água que foi exsudada, que evapora antes do endurecimento da pasta de concreto. Podem ocorrer também no assentamento do

concreto com a perda de aderência. A Movimentação de formas e escoramentos, através de deslocamentos, também resulta em fissuras. A Corrosão das armaduras que com o surgimento da ferrugem, ocorrerá uma expansão da armadura, causando fissuração no concreto, reduzindo a aderência com o aço (TRINDADADE, 2015).

Para o autor supracitado, a desagregação do concreto consiste na sua desintegração, com perda da sua propriedade de aglomerante e o desgaste da superfície do concreto ocorre por abrasão, erosão e cavitação. O desgaste por abrasão “pode ser causado por tráfego pesado e por impacto ou deslizamento de cargas [...], materiais de enchimento e partículas sólidas transportadas pelo vento ou pela água”, e a cavitação é “caracterizada pela formação de pequenas cavidades, que pode ser verificadas em concreto submetido a fluxos de água em alta velocidade” (BRANDÃO, 1998, p.79).

A carbonatação acontece naturalmente nas estruturas de concreto, com a presença de dióxido de carbono e de umidade na atmosfera. É um processo que progride lentamente no interior das estruturas, da superfície externa para a interna (MIRANDA, 2018).

### **2.2.7 Diagnóstico**

Quando uma estrutura de concreto está com problemas, ou seja, com manifestações patológicas, é indispensável à fiscalização minuciosa e detalhada desta para correto diagnóstico e atestar a real situação na qual se encontra. Devem ser tomadas medidas para classificar as existentes, seus motivos, medidas a serem executadas e os modelos para amparo e restauração da estrutura (SOUZA; RIPPER, 1998).

Para os autores supracitados, no diagnóstico das manifestações patológicas existentes em estruturas de concreto, é essencial que seja feito levantamento de dados por engenheiro capacitado e especialista na área, para que possa atestar suas condições e aplicar medidas, quando necessárias. Nesta etapa estão incluídos os seguintes processos:

- Classificação quanto à agressividade do meio ambiente;
- Observação visual e medição da estrutura;
- Suposição das consequências das avarias;

- Levantamento metuculoso das manifestações patológicas, com fotografias e medições de suas dimensões;
- Análise de falhas nas etapas de projeto, construção e utilização;
- Análise do projeto original, do projeto de ampliação ou modificação se houver a fim de atestar problemas na elaboração e no dimensionamento das estruturas que apresentam manifestações patológicas;
- Realização de ensaios especiais como:
  - Tipologia e intensidade dos sistemas de deterioração e dos agentes agressores;
  - Medições: geometria, nível, prumo e excentricidades, mapeamento das fissuras; determinação de flechas residuais, evolução da abertura de fissuras e de deformações;
  - Estudo e ensaios: verificação das dimensões dos elementos, investigação geotécnica, avaliação da resistência do concreto e das características do aço.

De acordo a NBR 9452 (ABNT, 2016), durante a inspeção deve-se realizar o registro fotográfico das anomalias que comprometam as condições estruturais, funcionais e de durabilidade da obra.

Na etapa seguinte está a observação dos dados coletados que é fundamental para atestar as causas dos problemas patológicos, bem como as condições da estrutura e o motivo de seu desenvolvimento. Enfim, a etapa final consiste em diagnosticar de acordo com os processos executados nas etapas anteriores, ou até mesmo condenar à estrutura a demolição pelo fato do custo de reparo não ser viável (SOUZA; RIPPER, 1998).

De acordo com a Norma DNIT 090/2006, que define a forma de recuperação do concreto de obras-de-arte especiais atacadas por manifestações patológicas:

Os serviços de recuperação de patologias são, em geral, artesanais, mas com necessidade de utilização de equipamentos leves. Entretanto, como todas as atividades, em maior ou menor escala, dependem de decisões e orientações de profissionais experientes, a presença e o acompanhamento constantes de um engenheiro capacitado é indispensável (DNIT, 2006).

As atividades de recuperação das manifestações patológicas do concreto, de acordo com a norma DNIT 090/2006 são:

- a) Sinalização: instalação e manutenção;
- b) Desvio de tráfego;
- c) Plataformas suspensas de trabalho;
- d) Tratamento de trincas e fissuras;
- e) Descascamento do pavimento com escarificadores;
- f) Recomposição parcial do pavimento com argamassa enriquecida por microsilica, acrílico, látex ou epóxi;
- g) Demolição e remoção de pavimento de concreto;
- h) Recomposição do pavimento com concreto fck = 30 MPa;
- i) Jateamento de areia;
- j) Jateamento de água;
- k) Corte de concreto;
- l) Concreto fck = 30 MPa;
- m) Concreto projetado, fck = 30 MPa;
- n) Pintura hidrofugante;
- o) Limpeza de superfícies: escovação e aplicação de solução diluída de ácido;
- p) Injeção de epóxi;
- q) Os materiais, provenientes de tratamentos ou excedentes de qualquer natureza, imediatamente após a conclusão das obras, devem ser removidos para locais previamente determinados.

Nesse sentido, a norma ainda afirma que essas atividades de recuperação podem variar conforme a manifestação patológica.

### **2.3 A IMPORTÂNCIA DE IMPLANTAR SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE PILAR**

De acordo com Khan (*apud* BRANCO, 2003, p. 18-19), nas pontes de rios navegáveis, tomando por base os pilares, são frequentemente atingidos por embarcações.

Segundo Brito et al. (2014), é importantíssimo prevenir acidentes relacionados a colisão de embarcações, além de evitar mortes as proteções de pilares também garantem a continuidade da logística de transportes, seja ele rodoviário ou hidroviário. Para comprovar o importante papel das proteções de pilar será apresentado a seguir um acidente ocasionado pela colisão de uma embarcação no pilar da ponte sobre o Rio Moju, que fica situado no estado do Pará a 120 quilômetros de Belém. O acidente aconteceu no dia 23 de março de 2014 e comprometeu por inteiro o pilar, fazendo com que parte de sua superestrutura viesse a colapsar.

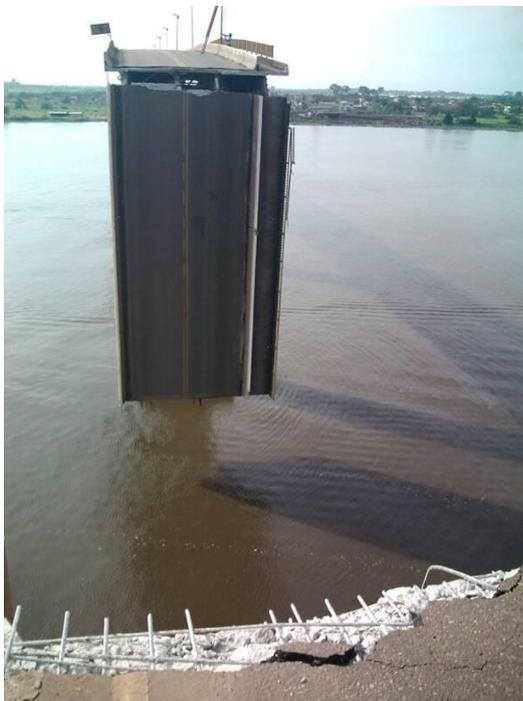
As Figuras 5 e 6 estão representando fotos do panorama aéreo da ponte e vista do tabuleiro, respectivamente, após a colisão de uma embarcação no maciço do pilar, em que a superestrutura veio a colapsar.

Figura 5 - Panorama aéreo da ponte após colisão



FONTE: (Antônio Silva/Agência Pará Site: <http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2014/03/ponte-da-alca-viaria-ficara-seis-meses-interditada-apos-acidente-com-balsa.html>)

Figura 6- Estado de comprometimento da ponte após colisão



FONTE: (Divulgação/PRF Site: <http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2014/03/ponte-da-alca-viaria-ficara-seis-meses-interditada-apos-acidente-com-balsa.html>)

Outro exemplo de colapso ocasionado por choque de embarcação aconteceu nos Estados Unidos da América, conforme a Figura 7.

Figura 7 - Colapso da ponte I-40 em Oklahoma, em 2002



FONTE: (<http://swtimes.com/sections/news/lavaca-family-killed-2002-bridge-collapse-remembered.html>)

De acordo com Padovezi (2003), o cumprimento das orientações criadas por organizações internacionais e nacionais como a Marinha do Brasil ajuda na redução dos acidentes e principalmente aqueles ligados a passagem de embarcações sob o vão de uma ponte.

Ainda com base no autor, quando é almejado o aumento da segurança é preciso identificar os perigos e a incidência dos acidentes. No Brasil, se enfrenta dificuldades com relação a esse tipo de risco, a falta de dados sobre acidentes e também um número pequeno de ocorrências, devido ao transporte hidroviário se encontrarem em desenvolvimento lento, não contribuem para uma análise eficiente das ocorrências.

As características das embarcações e ambientais da via são decisivas para o aumento ou a diminuição de choques contra pilares de pontes em uma hidrovia. Também se faz necessário à implantação de sistemas protetivos nos pilares de pontes, a fim de evitar avarias e até o colapso da ponte, que por sua vez não descartam a possibilidade de prejuízos à economia local e que vidas sejam ceifadas devido ao acidente (PADOVEZI, 2003).

Já para Khan (*apud* BRANCO, 2003, p. 20), para evitar colisões de embarcações faz-se necessário:

- Propiciar boa iluminação no caso de navegação à noite;
- Garantir melhor capacitação na formação de capitães e respectivas tripulações.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 MÉTODO DE PESQUISA

O método empregado neste trabalho foi o estudo de caso, com a coleta de dados, observação, revisões literárias de autores nacionais e estrangeiros, pesquisa na internet e artigos científicos relacionados. Teve como objetivo levantar informações e buscar possíveis soluções para o aprofundamento de ideias a respeito de patologias ocasionadas por colisões de embarcações nos pilares da ponte Fernando Henrique Cardoso (FHC), e também a identificação de outras manifestações patológicas presentes nos pilares.

#### 3.2 ANÁLISE DAS EMBARCAÇÕES

Nesta etapa foi realizada a análise das embarcações que navegam sob a ponte FHC, mediante visita aos locais onde são guardadas embarcações em Palmas e também à Capitania dos Portos da Marinha do Brasil de Palmas a fim de levantar dados como: dimensões das embarcações, tipos de propulsão, material do casco.

As figuras 8 (a) e (b) representam embarcações de médio porte em sua fase de construção, podendo ver que sua estrutura é constituída por chapas de aço soldadas que formam a parte responsável pela flutuação, estas são chamadas de bananas, e os perfis de aço que formam a estrutura do barco. As embarcações menores são construídas em fibra de vidro ou alumínio. Ambos os portes são equipados com motores de popa ou centro rabeta.

Figura 8 - (a); (b)- Embarcação de médio porte.



Fonte: Autor (2019)

A Figura 9 apresenta um flutuante de médio porte em sua fase final de construção.

Figura 9 - Embarcação de médio porte denominada "flutuante"



Fonte: Autor (2019)

Após a etapa de análise das embarcações, as com características semelhantes foram classificadas em embarcações como potencialmente causadoras de patologias ou não aos pilares da ponte FHC. Esse tipo de embarcação, Figura 9, navega no lago de Palmas e é visto com frequência próxima da Ponte FHC, sendo considerada uma possível causadora de manifestações patológicas em seus pilares.

Após levantamento feito das embarcações que navegam no lago de Palmas, foi possível notar que a grande maioria é embarcação de pequeno (miúda) e médio porte. De acordo com a norma NORMAM-03/DPC as embarcações de médio porte são as que não superam os vinte quatro metros de comprimento e não ultrapassam cem toneladas de arqueação bruta (100AB). As de pequeno porte, ou miúdas, são aquelas com comprimento inferior ou igual a cinco metros. Também podem ser inferiores a oito metros desde que cumpram algumas regras, são elas: convés aberto ou fechado, sem cabine habitável, sem propulsão mecânica fixa e é permitido equipá-la com motores de popa de até trinta cavalos de potência.

### 3.3 VISTORIA DO LOCAL

Para atender aos objetivos propostos neste estudo, foi necessária uma vistoria visual nos pilares da Ponte FHC, para coleta de informações e dados fotográficos quanto ao estado de conservação, evidências de desgaste e manifestações patológicas presentes. O Registro fotográfico foi realizado conforme orientações da NBR 9452/2016, em que as fotos devem permitir a visualização da situação das manifestações patológicas (ABNT, 2016).

A ponte FHC possui 1.042 metros de extensão, complementados com duas pequenas pontes, cada uma com 83 metros de comprimento, integradas por uma área de aterro, totalizando 7500 metros de travessia sobre o lago. A obra situa-se a 25 metros acima da cota do lago e a 220 metros acima do nível do mar e, coordenadas geográficas de  $10^{\circ} 11' 07,2''$  S e  $48^{\circ} 25' 13,6''$  O (IBGE, 2019).

Figura 10 – Ponte FHC



Fonte: Google Maps (2019)

A Figura 11 - (a) apresenta a vista lateral da ponte Fernando Henrique Cardoso; (b) em que é possível verificar a ponte e a área de aterro.

Figura 11 - (a) – Vista Lateral da Ponte FHC; (b) – Aterro e Ponte FHC



Fonte: Google Maps (2019)

Para alcançar a base dos pilares foi utilizada uma embarcação de 23 pés com casco de fibra de vidro e com propulsão via motor de popa de 150 cavalos. Em seguida, ao chegar à base dos pilares foi realizada análise nas eventuais manifestações patológicas existentes, como manchas de bolor, fissuras, trincas, desgaste, exposição da armadura e corrosão da mesma em alguns casos.

### **3.4 RELATÓRIO FOTOGRÁFICO E DIAGNÓSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS**

Superada a fase de vistoria, seguiu-se a fase de documentação das manifestações patológicas que foi registrada com um aplicativo de fotografia de celular *iPhone 7*. Primeiramente foi fotografado o perfil do pilar em questão por inteiro para identificação do mesmo, em seguida das manifestações patológicas. Este procedimento foi repetido para todos os pilares em questão. Para medição das manifestações patológicas foi utilizado uma trena, paquímetro e régua.

### **3.5 ANÁLISE DOS DADOS E POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EXISTENTES**

Após a inspeção foi possível ter noção dos tipos de embarcações que navegam sob a Ponte FHC e se há uma ou mais que apresentam perigo iminente ao

passarem próximo aos pilares da Ponte. Foi possível apontar as possíveis soluções para as manifestações patológicas presentes, e soluções como medidas de proteção em pilares de acordo com os modelos existentes nas principais hidrovias do mundo e que melhor se adapte no quesito eficiência de absorção de impacto, a fim de evitar danos ocasionados por novas colisões de embarcações.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 RELATÓRIO FOTOGRÁFICO E DIAGNÓSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Após a visita ao local foram separadas algumas fotos onde mostram as manifestações patológicas nos pilares P10, P11, P12 e P13 da Ponte FHC, onde as embarcações costumam navegar, foi usada uma tampa de garrafa PET para ter uma noção da dimensão em alguns casos.

#### 4.1.1 Desgaste da camada de cobrimento

A Figura 12 apresenta o desgaste da camada de cobrimento e é possível visualizar o agregado graúdo e fissuras com inclinação de 45°, que podem ser originárias devido ao impacto ou abrasão de algum objeto, Figura 12 (a).

Figura 12 - (a) - Desgaste da camada de cobrimento; (b) Pilar com camada de cobrimento comprometida.



Fonte: Autor (2019)

Na manifestação patológica apresentada na Figura 13 é possível ver um desgaste criado mecanicamente pela abrasão de um material desconhecido no pilar P11, que pode ter sido causada por corda ou cabo de aço de embarcações que ficam amarradas sob o tabuleiro da Ponte FHC.

Figura 13 - Marca de desgaste mecânico por abrasão



Fonte: Autor (2019)

A embarcação passa seu cabo em volta do pilar deixando-o tensionado no momento que está parada, e as ondas formadas no reservatório fazem o trabalho de movimentação da mesma, causando desgaste ao concreto quando o cabo se movimenta, pois gera abrasão entre os dois materiais. A Figura 14 apresenta um pilar com desgaste à abrasão com 1x9 cm e profundidade de 4 cm.

Figura 14 – Desgaste por abrasão na camada de cobrimento



Fonte: Autor (2019)

Na recuperação de desgaste mecânico por abrasão, deve-se observar o percentual de áreas desgastadas, que se for de 20% a 30% da área total, a recuperação é localizada e artesanal, caso contrário, será mecanizada. A reparação da área desgastada do pilar é realizada por meio de escarificação e limpeza da superfície.

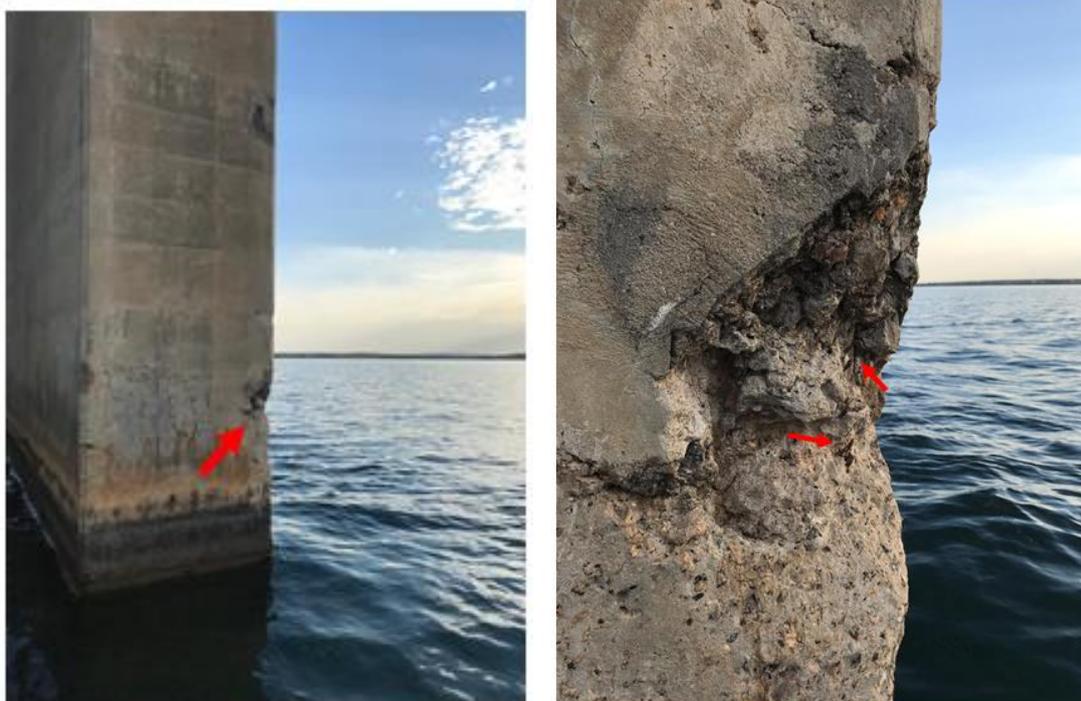
Após esse procedimento é feita a reconstituição da superfície preenchendo-a com argamassa ou concreto (LAPA, 2008; DNIT 090/2006; SILVA; CAMPOS; SANTOS FILHO, 2017).

Nos casos de desgaste superficial da camada de cobrimento, sugere-se recuperar a superfície de acordo com o sugerido pela norma DNIT 090/2006: escarificar o local; realizar limpeza; preencher com argamassa de cimento *Portland* enriquecida por microsíllica, acrílico, látex ou epóx.

#### 4.1.2 Corrosão das armaduras

A perda da camada de cobrimento encontra-se generalizada em todos os pilares analisados, não necessariamente nas quatro faces, mas todos os pilares apresentam perda de material em sua camada de cobrimento, trincas e fissuras, desgastes e armadura exposta. Na vista de perfil do pilar P12, apresentado na Figura 15 (a) é possível notar o quanto o mesmo já perdeu a camada de cobrimento e a armadura tem um trecho exposta, indicado na Figura 15 (b).

Figura 15- Vista de perfil do pilar central P12; (b) Armadura exposta no pilar P12



\*Setas da figura 15(b) indicam armadura exposta

Fonte: Autor (2019)

O local desta armadura exposta fica exatamente em contato com choques de embarcações nas épocas onde a cota do reservatório está mais elevada, fazendo com que ocorra perda da camada de cobrimento do pilar, comprometendo a vida útil da estrutura e expondo a armadura para início de corrosão.

Esse tipo de desgaste da superfície de cobrimento é considerado severo, pois existe perda da argamassa superficial, de partículas do agregado graúdo e de sua argamassa de envolvimento, profundidade maior que 25 mm e exposição de armadura (LAPA, 2008; DNIT 090/2006).

A Figura 16 apresenta o início da corrosão na armadura e conseqüentemente o agravamento da deterioração onde a mesoestrutura tem contato direto com a água.

Figura 16 - Corrosão de armadura exposta no pilar P12



Fonte: Autor (2019)

O produto da corrosão não é resistente, porém é expansivo e ocupa um volume maior que o da armadura original. Esse aumento de volume provoca um estado de tensões de tração, que tendem a fissurar o concreto e desintegrá-lo,

deixando as armaduras expostas. Nesse sentido, a corrosão diminui a área de aço, que se avançar pode levar a estrutura à ruína (SARTOTI, 2008).

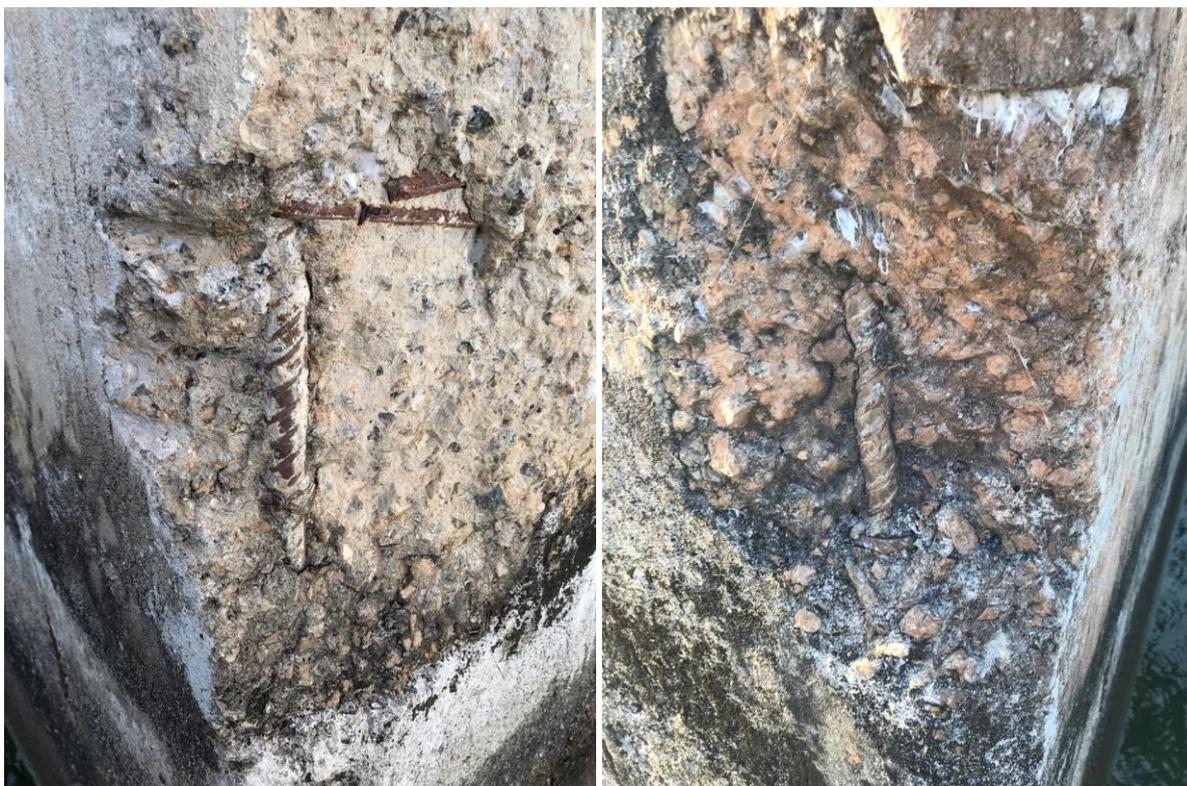
A camada de cobrimento de concreto é muito importante, pois protege a armadura contra os causadores da corrosão, como a carbonatação, íons agressivos e oxigênio, que possibilita reações eletroquímicas (OLIVEIRA, 2014). Ademais, na execução de uma obra de concreto, armado ou protendido, é preciso se atentar aos cobrimentos mínimos recomendados na ABNT (NBR 6118/2003), de acordo com o tipo de estrutura, elemento e classe de agressividade ambiental.

A corrosão da armadura pode estar associada a fatores mecânicos (vibrações e erosões), físicos (variação de temperatura), biológicos (presença de bactérias) e químicos. As vibrações na estrutura podem originar fissuras, que servem de caminho entre o aço e o meio. Infiltrações de água dentro da estrutura do concreto proporcionam um desgaste na armadura. A variação de temperatura pode provocar choques térmicos, originando microfissuras no concreto, servindo assim de caminho para agentes agressivos. A presença de bactérias oxidantes de enxofre e sulfeto origina o ácido sulfúrico. Nesse sentido, todas as ações químicas são agressivas à estrutura (OLIVEIRA, 2014).

No caso dos pilares da ponte FHC é possível perceber que as armaduras expostas estão corroídas, devido à falta da camada de cobrimento deixando-as expostas aos agentes intempéricos, como chuva, sol e, em alguns casos, por estarem submersas na água do lago e também devido à infiltração da água nas trincas e fissuras presentes na estrutura.

A Figura 17 mostra o caso de exposição da armadura no pilar, devido ao deslocamento da camada de cobertura, comprometendo a estrutura do pilar, deixando o aço livre para corrosão.

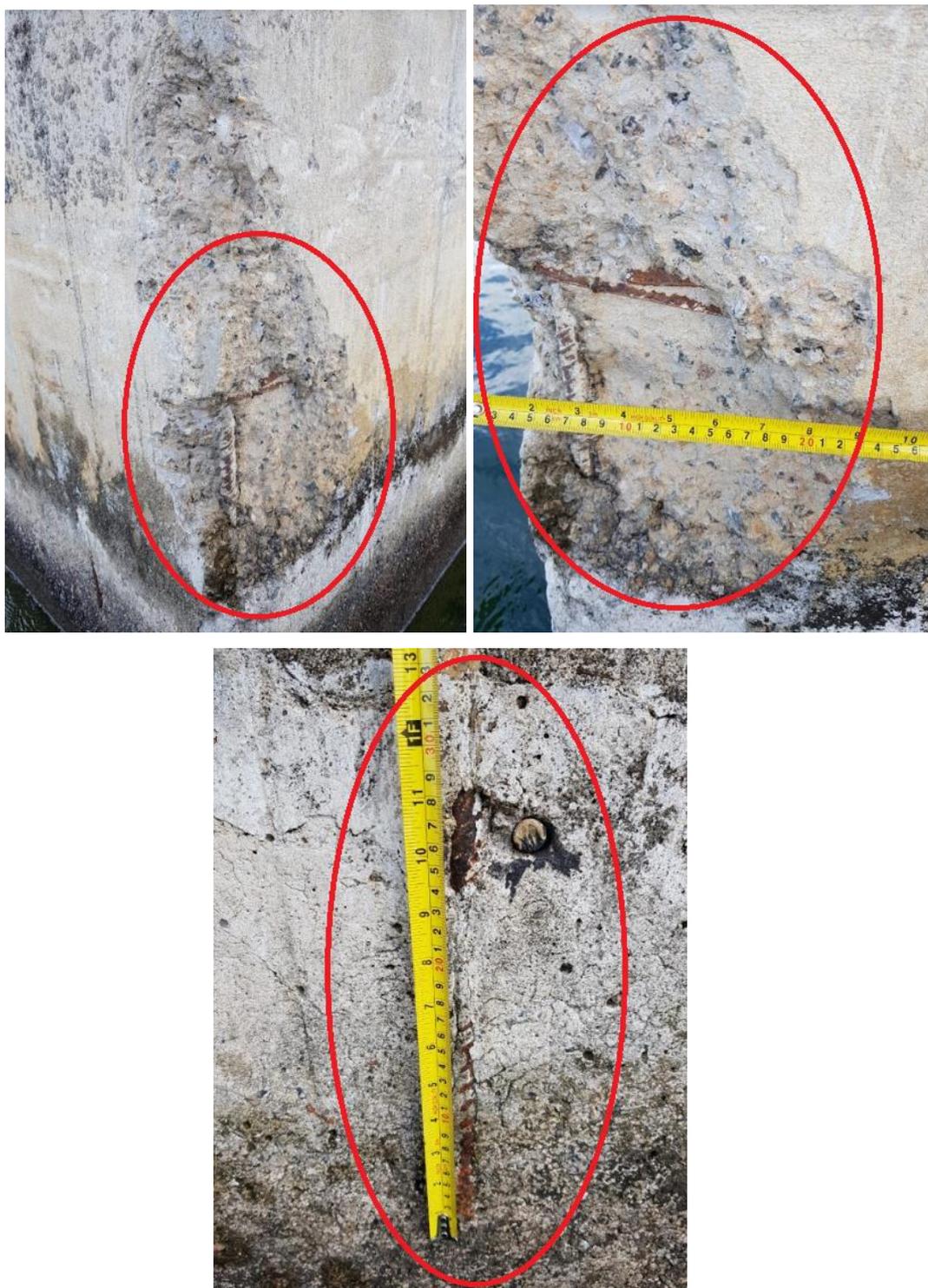
Figura 17 - (a) e (b) - Armadura exposta devido ao choque de embarcações no pilar P11



Fonte: Autor (2019)

A Figura 18 apresenta desgaste da superfície de cobrimento considerado severo, em que houve perda da argamassa superficial, de agregados graúdos e, exposição da armadura.

Figura 18 – Armadura exposta em Pilar



Fonte: Autor (2019)

É possível perceber que a camada desgastada de cobrimento da armadura possui uma largura de 10 cm, Figura 25-b e, na Figura 25-c pode-se evidenciar armadura exposta com extensão de 11 cm.

Já os reparos localizados em que as armaduras estão expostas e corroídas, sugere-se primeiramente realizar a limpeza de toda a área da manifestação patológica, com a retirada do concreto contaminante. Após esse procedimento realiza-se a limpeza e tratamento do aço com produtos à base de zinco (MARQUES, 2015).

O tratamento geralmente consiste em realizar a delimitação de contorno do reparo; remover o material deteriorado; realizar a limpeza da armadura e preparar a camada de aderência; proteger a armadura com uma pintura de revestimento, com produto à base de zinco; realizar a recomposição do concreto; impermeabilizar a superfície do concreto com argamassa impermeabilizante.

#### **4.1.3 Presença de Bolor e Eflorescência**

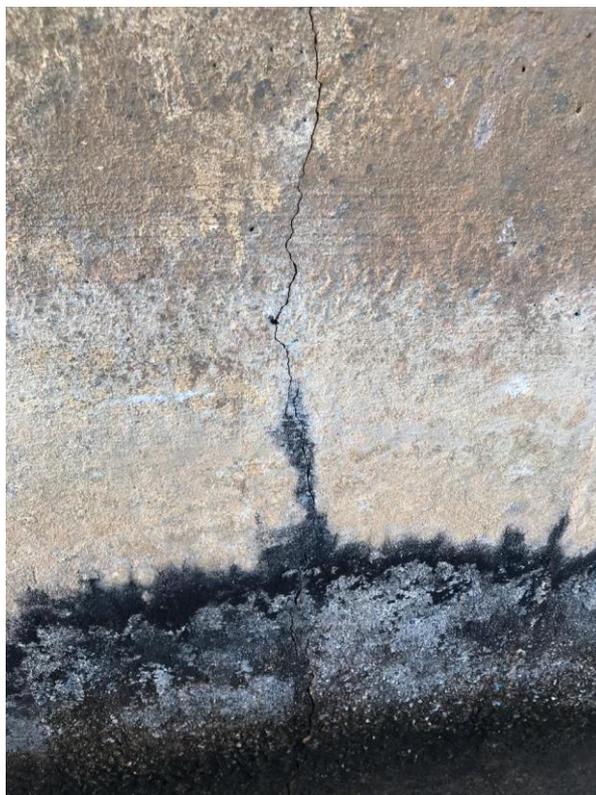
A Figura 19 apresenta os pilares P11 e P11' em que é possível evidenciar a presença de bolores nos dois pilares.

Figura 19 – Pilar P11 e P11'



A Figura 20 apresenta o pilar P10 e no ponto de contato com o nível da água, onde existe variação do nível do reservatório, é possível verificar mancha escura de bolor.

Figura 20 - Presença de bolor e fissuras no pilar P10



Fonte: Autor (2019)

Foi possível perceber que a mancha de bolor, se tocada com a mão tem uma sensação de aveludada, como um carpete bem fino. Os bolores são resultados de taxas de umidade excessivas, resultando em mais de 200 espécies de mofo e bolor (LOPES; VITÓRIO, 2016). A temperatura no município de Palmas-TO já atingiu níveis acima de 30 °C, com recordes de calor, sendo nesse sentido, um ambiente propício para a formação de bolor.

Observam-se também muitas manchas brancas, que são sinais de carbonatação do concreto, eflorescência e fissuração. A carbonatação é originada da ação do anidrido carbônico ( $\text{CO}_2$ ) ataca e degrada todos os produtos da hidratação do cimento e, pelo fato do concreto ser um material poroso o  $\text{CO}_2$  penetra pelos poros, iniciando na superfície e penetrando para o interior (LAPA, 2008), se

movendo lentamente em direção à armadura dando início ao processo de corrosão (SALOMÃO; SILVA, 2008).

A eflorescência causa a diminuição do pH, que em consequência acelera o processo de corrosão e o aumento da porosidade, fazendo com que a resistência do concreto diminua. Como o nível de eflorescência não apresenta quantidade significativa foi possível pressupor que não houve perda de resistência na estrutura, logo é preciso prevenir que o pH não diminua, comprometendo a proteção do aço e o aumento da porosidade, para que não tenha entrada de agentes agressivos. Para tal tratamento é recomendado a impermeabilização de todo o local.

Nesse sentido, a profundidade e velocidade está relacionada aos poros e pH do concreto, que são alterados pela composição e processo de execução da estrutura de concreto, como a presença de minerais, relação água/aglomerante, tempo de cura, dosagem, porosidade, resistência à compressão, fatores internos do concreto e as condições ambientais (FERREIRA, 2013).

Para o tratamento de bolores, primeiramente verificar a presença de trincas e fissuras e, no caso da existência destas deve-se tratá-las para evitar infiltrações; em seguida realiza-se a limpeza do local com água e escova de aço; finalizando com a impermeabilização do local.

Para a prevenção da carbonatação deve-se também proteger a superfície da estrutura, seja com revestimentos ou pinturas (LAPA, 2008).

#### **4.1.4 Fissuras, trincas e rachaduras**

Esses tipos de manifestações patológicas ocasionam infiltrações no material, resultando em umidade excessiva e uma forma de tratamento é o reparo da trinca e lavagem do revestimento com solução de hipoclorito (BORGES; 2008). As fissuras são anomalias que possuem abertura de até 0,5 mm, as trincas de 0,5 a 1,5 mm, as rachaduras de 1,5 a 5,0 mm, fendas de 5,0 a 10 mm e as brechas acima de 10 mm (SILVA; JONOV, 2018).

A Norma DNIT 083/2006 considera nas estruturas de concreto armado que “todas as fissuras com abertura igual ou maior que 0,3 mm devem ser tratadas e que, nos elementos de concreto protendido, qualquer fissura é importante e nociva e deve ser estudada e tratada” (DNIT, 2006, p. 2). Nos pilares da Ponte FHC foram identificadas fissuras, trincas e rachaduras com extensão de 10 cm e largura de 7

cm. Foram mapeadas e apresentadas no quadro de manifestações patológicas na Tabela 1, página 50.

No pilar P10, existe a presença das mesmas patologias apresentadas na figura 21, desta vez com trincas mais espessas e formação de pequenos musgos e líquens, na região em contato com a água, conforme apresentado na Figura 21(a) e (b).

Figura 21 - (a) Outra face do pilar P10; (b) Várias trincas e fissuras em outra face do pilar P10

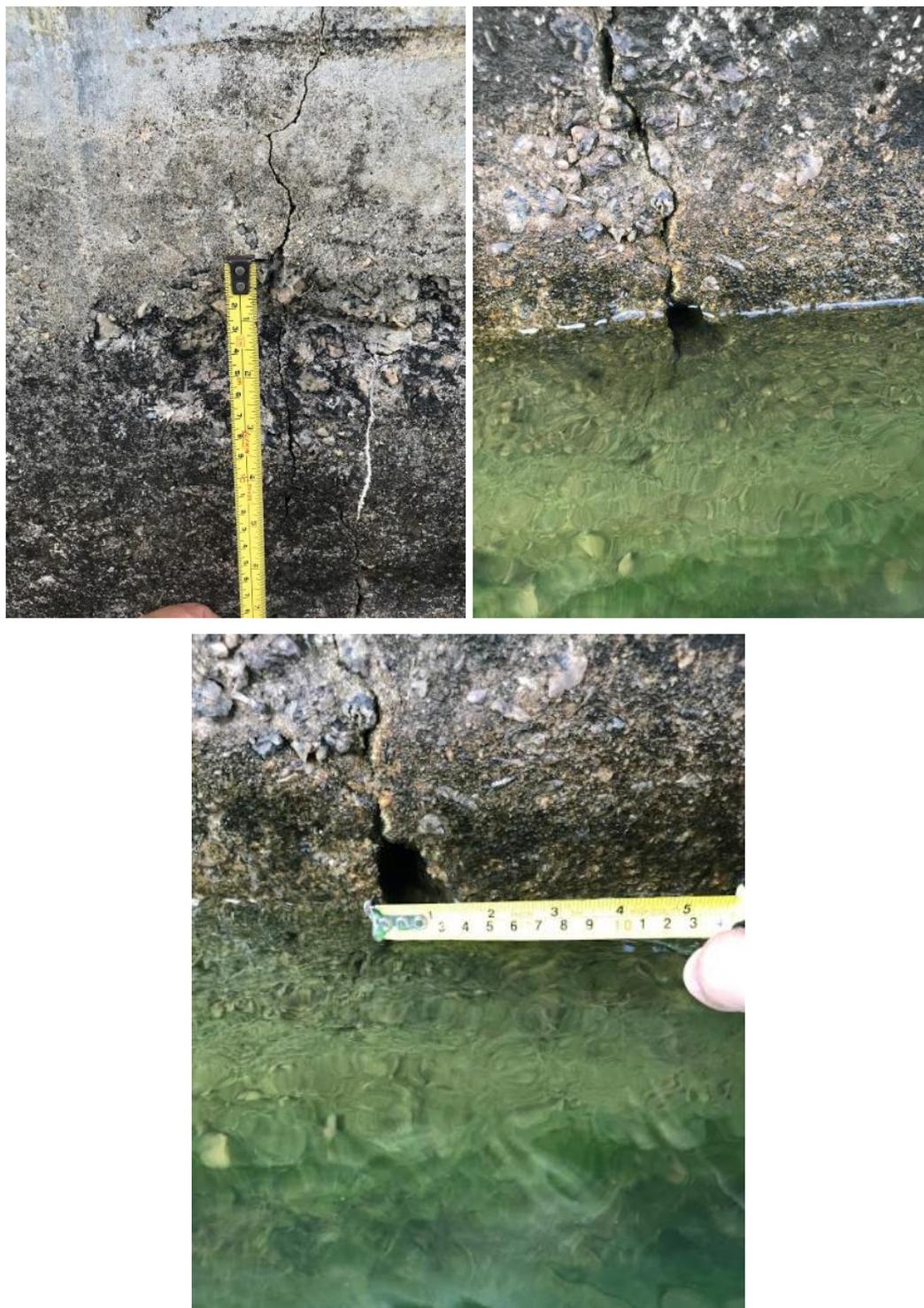


Fonte: Autor (2019)

Observa-se que existem muitas fissuras e presença de trincas em mais uma face do pilar P10. Na Figura 14 (b), apresenta uma rachadura alargada ao final de uma trinca, onde a água infiltra e reage com os elementos do concreto, causando carbonatação e a deterioração da camada de revestimento.

A Figura 22 apresenta as trincas e fissuras presentes nos pilares, em que é possível evidenciar trinca com largura maior que 1,5 cm. Essas fissuras e trincas estão também submersas na água do Lago, abrindo caminhos para a infiltração na estrutura, prejudicando assim todo o material de revestimento e a armadura.

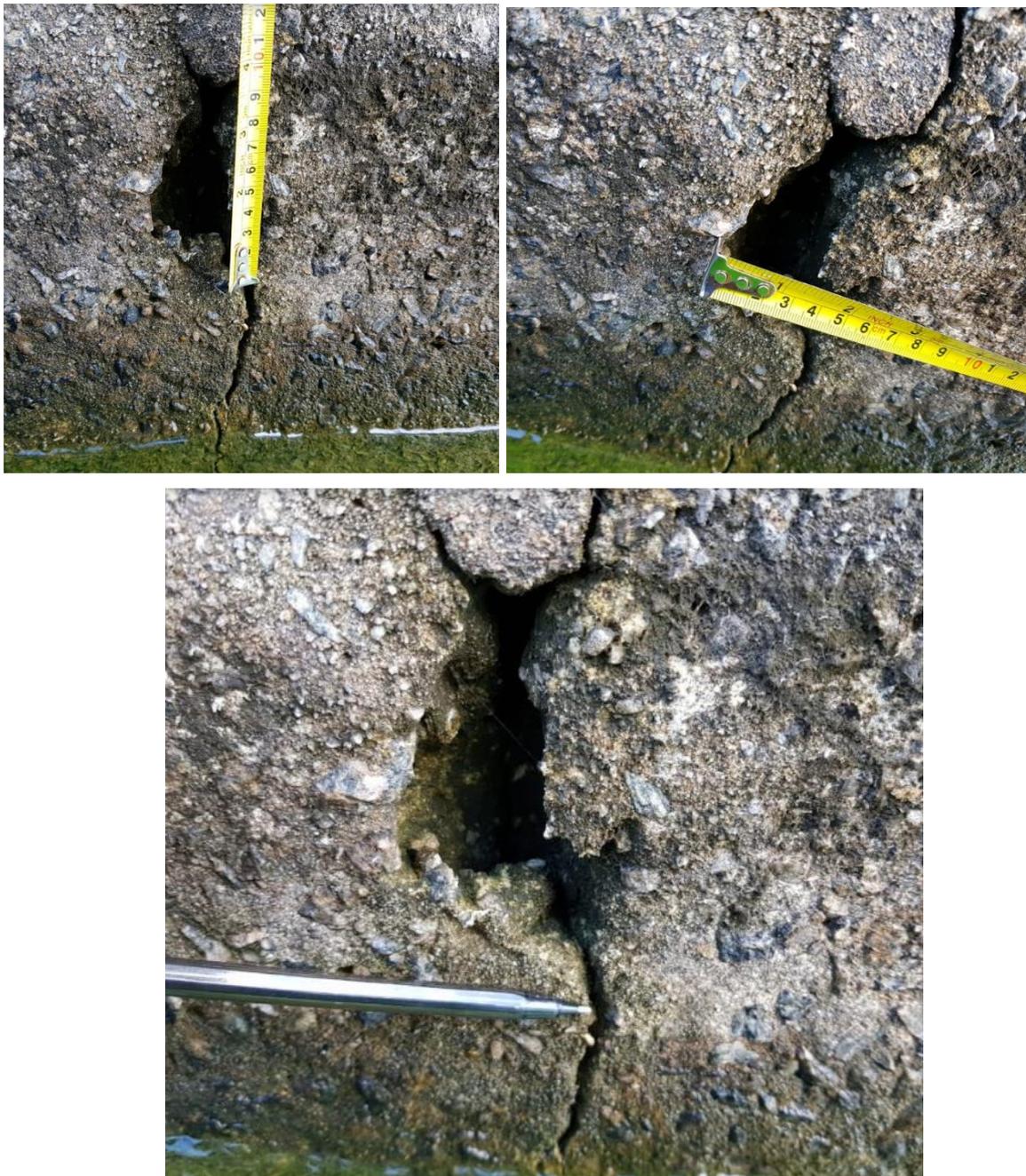
Figura 22 – Trincas, fissuras e rachaduras no Pilar.



Fonte: Autor (2019)

A Figura 23 apresenta uma fenda com dimensões de 7x10 cm, em seguida está uma fissura que percorre o sentido longitudinal do Pilar.

Figura 23 – Trincas, fissuras e rachaduras no Pilar.



Fonte: Autor (2019)

Antes de indicar o melhor tratamento de fissuras, trincas e rachaduras, torna-se necessário mapear estas na estrutura. No tratamento desse tipo de manifestações patológicas sugere-se utilizar as recomendações da norma DNIT 083/2006: realizar um monitoramento para medir e analisar a movimentação da fissura, trinca e rachadura para verificar se é ativa ou passiva; estudar a origem da

manifestação patológica se deu da corrosão de armaduras, reação sílica-agregado ou excesso de cloretos na composição do cimento; selecionar um selante plástico e comprimento da junta móvel; alargar a trinca com cinzel, limpar e secá-la com jato de água e ar; preencher a abertura com selante plástico.

Caso a trinca teve origem da corrosão da armadura será preciso retirar toda a camada de concreto e dar o tratamento adequado para corrosão. Se após monitoramento verificar que a trinca é passiva, deve-se proceder com os seguintes tratamentos: limpeza com jato de água e ar; selamento das superfícies para evitar o vazamento de epóxi; realizar furos ao longo da trinca; introduzidos tubos plásticos nos furos; injetar epóxi; limpeza da superfície tratada

#### **4.1.5 Dimensões das manifestações patológicas identificadas nos pilares**

A Tabela 1 apresenta as dimensões das manifestações patológicas identificadas nos pilares da ponte FHC. É possível observar que as maiores áreas patológicas se encontram nos Pilares P11-Norte (1.260 cm<sup>2</sup>), P12-Sul (4.104 cm<sup>2</sup>), P13-Norte (2.205 cm<sup>2</sup>), P13'-Sul (1.127 cm<sup>2</sup>).

Dentre as áreas patológicas, a maior se encontra no pilar P12-Sul, sem armadura exposta. Nos pilares P13 e P13', existe um desgaste da superfície de cobrimento severo, pois além da remoção de agregado graúdo a armadura se encontra exposta. Nesse caso, torna-se necessário que o aço seja primeiramente tratado com remoção do material deteriorado, limpeza, revestimento da armadura com pintura, para depois executar a camada de cobrimento (MARQUES, 2015).

Tabela 1- Dimensões das manifestações patológicas identificadas nos pilares

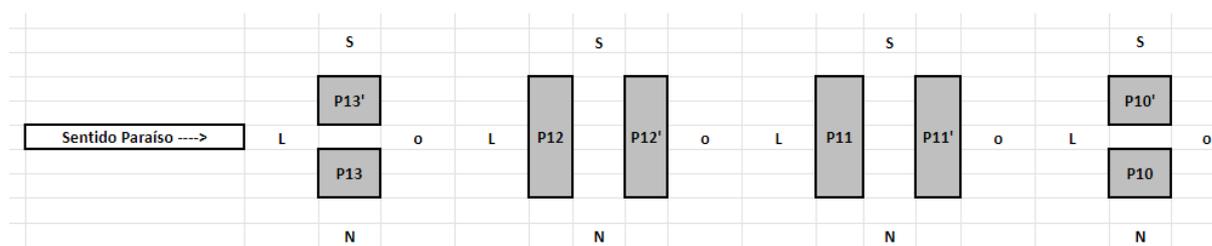
PILAR	FACE	PATOLOGIA	Nº	ARMADURA EXPOSTA	Observação	COMPRIMENTO (cm)	ABERTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	DIMENSÃO PILAR (m)
P10	Norte	Degradação	1	Não	-	38	17	646	2,5 x 3,0
P10	Leste	Degradação	2	Não	-	13	17	221	2,5 x 3,0
P10	Sul	Não há	-	Não	-	-	-	-	2,5 x 3,0
P10	Oeste	Não há	-	Não	-	-	-	-	2,5 x 3,0
P10'	Norte	Não há	-	Não	-	-	-	-	2,5 x 3,0
P10'	Leste	Degradação	3	Não	-	39	11	429	2,5 x 3,0
P10'	Leste	Degradação	4	Não	-	20	24	480	2,5 x 3,0
P10'	Sul	Não há	-	Não	-	-	-	-	2,5 x 3,0
P10'	Oeste	Não há	-	Não	-	-	-	-	2,5 x 3,0
P11	Norte	Degradação	5	Não	-	15	22	330	1,4 x 8,7
P11	Norte	Degradação	6	Não	-	57	13	741	1,4 x 8,7
P11	Norte	Degradação	7	Não	-	70	18	1260	1,4 x 8,7
P11	Leste	Não há	-	Não	Reparo feito	-	-	-	1,4 x 8,7
P11	Sul	Degradação	8	Não	-	13	14	182	1,4 x 8,7
P11	Oeste	Não há	-	Não	Reparo feito	-	-	-	1,4 x 8,7
P11'	Norte	Degradação	9	Não	-	26	8	208	1,4 x 8,7
P11'	Leste	Degradação	10	Não	-	6	14	84	1,4 x 8,7
P11'	Oeste	Não há	-	Não	-	-	-	-	1,4 x 8,7
P11'	Sul	Não há	-	Não	-	-	-	-	1,4 x 8,7
P12	Norte	Degradação	11	Não	-	54	12	648	1,4 x 8,7
P12	Leste	Degradação	12	Não	-	26	32	832	1,4 x 8,7
P12	Oeste	Não há	-	Não	-	-	-	-	1,4 x 8,7
P12	Sul	Degradação	13	Não	-	54	76	4104	1,4 x 8,7
P12'	Norte	Degradação	14	Não	-	2	20	40	1,4 x 8,7
P12'	Leste	Não há	-	Não	-	-	-	-	1,4 x 8,7
P12'	Sul	Não há	-	Não	-	-	-	-	1,4 x 8,7
P12'	Oeste	Não há	-	Não	-	-	-	-	1,4 x 8,7
P13	Norte	Degradação	15	Não	-	45	15	675	2,5 x 3,0
P13	Norte	Degradação	16	Sim	-	14	3	42	2,5 x 3,0
P13	Norte	Degradação	17	Sim	-	10	3	30	2,5 x 3,0
P13	Norte	Degradação	18	Sim	-	63	35	2205	2,5 x 3,0
P13	Leste	Degradação	19	Sim	-	19	3	57	2,5 x 3,0
P13	Leste	Degradação	20	Sim	-	29	3	87	2,5 x 3,0
P13	Leste	Degradação	21	Sim	-	20	3	60	2,5 x 3,0
P14	Leste	Degradação	22	Sim	-	14	3	42	2,5 x 3,0
P13'	Norte	Degradação	23	Sim	-	15	3	45	2,5 x 3,0
P13'	Norte	Degradação	24	Sim	-	19	3	57	2,5 x 3,0
P13'	Leste	Degradação	25	Sim	-	25	3	75	2,5 x 3,0
P13'	Sul	Degradação	26	Sim	-	49	23	1127	2,5 x 3,0

P13'	Sul	Degradação	27	Sim		30	3	90	2,5 x 3,0
P13'	Sul	Degradação	28	Sim		31	3	93	2,5 x 3,0
P13'	Sul	Degradação	29	Sim		30	16	480	2,5 x 3,0
P13'	Oeste	Degradação	30	Sim		17	3	51	2,5 x 3,0
P13'	Oeste	Degradação	31	Sim		12	3	36	2,5 x 3,0
P13'	Oeste	Degradação	32	Sim		7	3	21	2,5 x 3,0

Fonte: Autor (2019)

## OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

As fotos foram tiradas seguindo a seguinte ordem: Sempre começando pela Face Norte do Pilar. Como são pilares duplos, os voltados para o Norte são apenas P e os voltado para o Sul são P'. Seguindo no sentido horário. Então a ordem é, Faces: N, L, S, O. As fotos sempre começando pelo lado esquerdo da face e pela parte mais baixa para a mais alta do pilar.



## 4.2 POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA EVITAR NOVAS COLISÕES

É notável que a bacia Araguaia/Tocantins possui um potencial enorme para a navegação fluvial e escoamento das produções, porém vale ressaltar que não existe previsão definida, pois ainda têm alguns obstáculos para que isso se torne possível, como a construção de eclusas nas hidrelétricas e dragagem e derrocamento em lugares que a navegação não é possível, podemos citar o exemplo do Pedral do Lourenço que fica situado no município de Marabá - PA. Esta intervenção encontra-se na fase de discussão, esclarecimento técnico e aprovação de licenças ambientais, os próximos passos são audiências públicas e liberação do IBAMA para começo da execução.

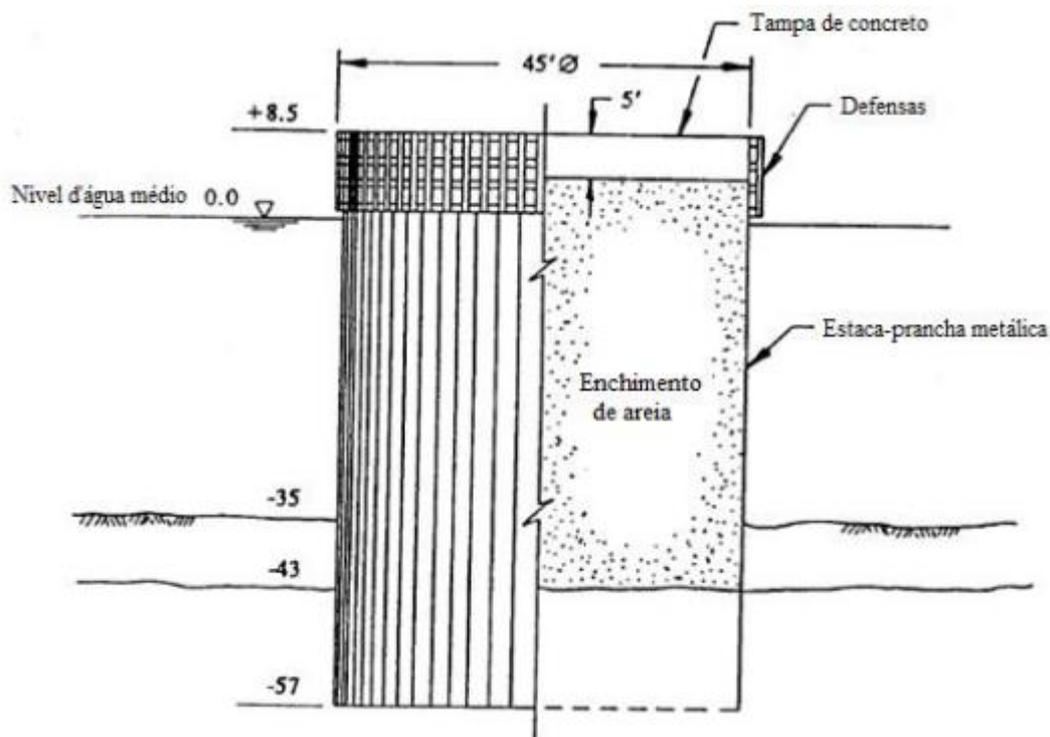
Nesse compasso, a adequação das empreiteiras, construtoras e prestadoras de serviços é imprescindível sobre a proteção de pilares de maneira a oferecer soluções para as pontes já existentes e prever nos projetos daquelas que serão construídas. Considerando que seus elementos de proteção possam ser executados ao mesmo tempo da construção da ponte, barateando custos, além de buscar novas tecnologias e capacitar os colaboradores quanto a métodos construtivos. É preciso clareza de que as soluções apresentadas neste momento são imprescindíveis para a segurança da mesoestrutura da ponte FHC.

O dimensionamento dos elementos estruturais de proteção de pilares de ponte deve ser realizado com base nas diretrizes hidroviárias, levando em consideração a velocidade de traslado e ângulo de choque, além de estudos de navegação, ou seja, tipo das embarcações que navegam no recurso hídrico da região (BRITO; SOBRINHO; MANSUR, 2014). Os sistemas de proteção de pilar mais utilizados no Brasil são os em dolphins, em estacas e flutuantes, por motivo de eficiência e adequabilidade (SILVA, 2016).

### 4.2.1 DOLFIN

O primeiro sistema a ser apresentado é o dolphin que consiste em uma estrutura circular de grande diâmetro, constituídas por estacas pranchas metálicas, que são cravadas no solo e preenchido com material granular (areia, brita ou concreto), unidas por uma laje em concreto armado (SILVA, 2016). A Figura 24 apresenta uma ilustração da estrutura de um dolphin.

Figura 24 - Ilustração da estrutura de um dolfin



Fonte: AASHTO(1991, *apud* SILVA, 2016)

Os dolphins sofrem grandes deformações e, por isso são dimensionados para resistirem a uma única colisão. Nesse sentido, quando isso ocorre eles devem ser substituídos (SILVA, 2016).

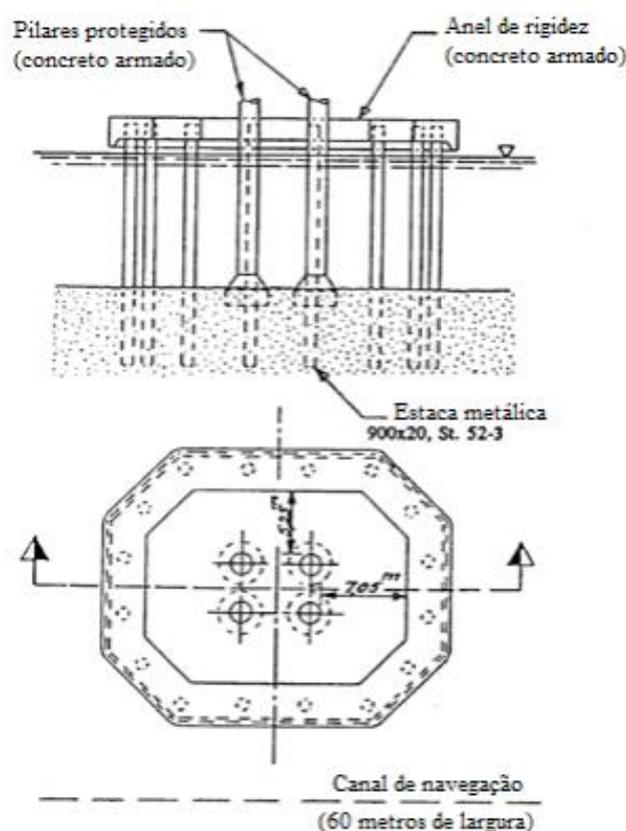
Estudo descreveu um projeto de dolphins de proteção para resistir ao impacto de navios de até 6000 toneladas, desenvolvido através de monitoramento do tráfego de embarcações. A verificação estrutural foi feita por métodos de cálculos de última geração, que levaram em consideração o histórico temporal do evento de colisões, comportamento plástico de todos os elementos estruturais, dentre outros. (KRIVOKAPIC; SJÖSTEDT, 2016).

O alto custo de implantação é uma das desvantagens do sistema dolfin, pois é preciso cravar estacas-pranchas no solo abaixo da superfície.

#### 4.2.2 ESTACAS

Esse tipo de sistema em estacas possui sua estrutura independente do pilar da ponte. Pode ser de concreto, aço ou madeira, no sentido vertical, absorvendo esforços de flexão e cisalhamento, como também estacas inclinadas, que absorvem os esforços axiais (SILVA, 2016). A Figura 25 apresenta o sistema de proteção de pilar em forma de estaca.

Figura 25 - Proteção em estacas da Ponte Tromso, em Tromso, Noruega



Fonte: Tambs-Lyche (1983 *apud* SILVA, 2016)

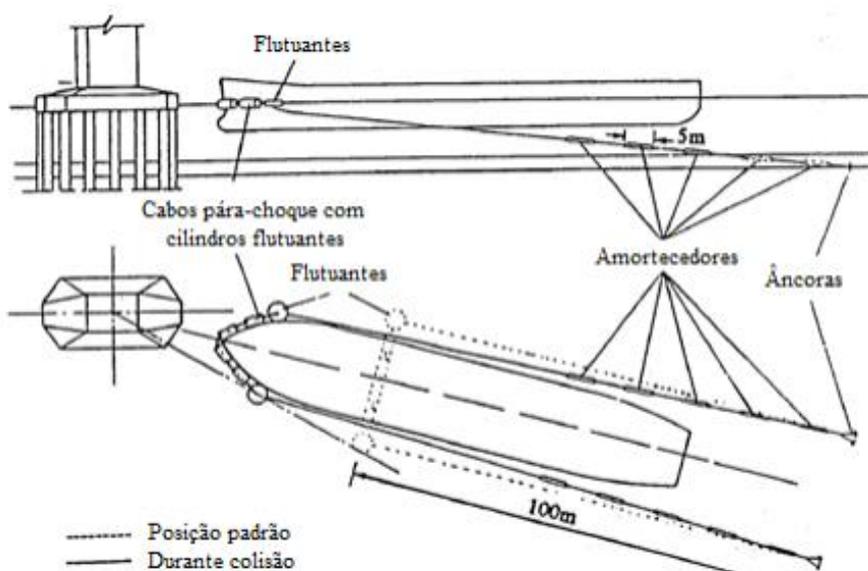
Observa-se que as estacas podem circular os pilares da ponte, sendo conectadas por um anel de rigidez, que terá a função de uma viga ou laje, protegendo-o em todos os sentidos. São estruturas dimensionadas para suportarem os choques das embarcações, com o único objetivo de proteger o pilar. O sistema pode ser dimensionado para a quebra das estacas ou até mesmo a perda total da estrutura, desde que pare as embarcações. As estacas podem ser protegidas com para-choques para absorver a energia de colisão (SILVA, 2016). O sistema de

estacas, como o dolfin, apresente alto custo de implantação, pois é necessário executar estacas no fundo do lago, para dar sustentação a estrutura que envolve o pilar.

### 4.2.3 FLUTUANTES

A utilização do sistema de proteção flutuante pode ser utilizada em locais de níveis de água elevados, podendo ser mais vantajoso e economicamente viável se comparado com os sistemas apresentados anteriormente (SILVA, 2016). Podendo ser por redes de cabos que são pontões ou boias ancorados no leito d'água que tem a função de interceptar as embarcações que forem em direção ao pilar da ponte, conforme Figura 26.

Figura 26 - Sistema de proteção flutuante da Ponte Punta Pizzone, em Taranto, Itália



Fonte: Saul e Svensson (1983 *apud* SILVA, 2016)

Percebe-se que esse tipo de sistema de proteção é composto por cabos para-choques com cilindros flutuantes, os próprios flutuantes, amortecedores e âncoras. Esse sistema de proteção do pilar da ponte Punta Pizzone, na Itália, foi projetado para suportar embarcação de 15.000 DWT a uma velocidade de 6 nós (3 m/s) (SILVA, 2016).

Estudo evidenciou que sistemas flutuantes de proteção de pilares de pontes, instalados em várias obras-de-arte da hidrovia Tietê-Paraná mostraram ser eficazes na proteção dos pilares, pois foi observado marcas de choques das embarcações nos módulos flutuantes, sinalizando que o sistema estava funcionando na proteção contra choques (PADOVEZI; CALTABELOTI, 2001).

Outros tipos de sistema também podem ser utilizados, como o de estruturas flutuantes ancoradas, que são fixadas por blocos, estacas ou outros métodos. Algumas desvantagens são apontadas quanto aos sistemas flutuantes, como a corrosão dos cabos e a necessidade da constante manutenção destes. As variações de profundidades em curto espaço de tempo podem tornar o uso desse sistema inviável, pois existirá a necessidade de ajustes nos cabos, e isso pode prejudicar o sistema de navegação, pois em vez de servirem de proteção podem se tornar obstáculos para as embarcações (SILVA, 2016).

O sistema de proteção de pilares de ponte mais adequado para a Fernando Henrique Cardoso é o de flutuantes, pois pode ser utilizado em locais com níveis de água elevados e é economicamente mais viável se comparado com os de Dólfim e de Estacas. Os sistemas flutuantes demonstram ser mais frágeis que os demais, porém proporciona uma proteção parcial, suportando colisões não frontais, como também absorve parte da energia de uma colisão frontal.

Pode-se justificar a adoção do sistema flutuante, pelo motivo do fluxo de navegação no lago de Palmas - TO ainda ser pequeno, consistindo em embarcações destinadas a lazer. Nesse sentido, a princípio não é necessário um grande investimento com outros sistemas tecnicamente mais viável.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho teve como objetivo analisar as manifestações patológicas presentes nos pilares da ponte Fernando Henrique Cardoso, em Palmas- TO, pois com o tráfego de embarcações próximo aos pilares da ponte FHC, há o risco de colisões nas estruturas dos pilares e o colapso do mesmo resultaria em grande prejuízo para a microrregião.

Nesse sentido, através das visitas no local foi possível identificar várias manifestações patológicas nos pilares de sustentação da ponte, como fissuras, trincas, bolores, carbonatação, eflorescências, desgaste ocasionado por algum material agressivo, como também perda de parte da camada de revestimento da armadura do pilar, por possível choque de embarcações.

Devido a alguns acidentes e colapso de pontes ocorrido no Brasil, é evidente que medidas devem ser tomadas para evitar transtorno, pois se um pilar viesse a ser danificado em decorrência de um choque de uma embarcação, isso poderia comprometer totalmente a estrutura da ponte FHC, como também colocar em risco as vidas das pessoas que passam pelo local.

Analisando as possíveis estruturas de proteção dos pilares contra choques, como sistema de dolphin, estacas e flutuantes, verificou-se que a princípio, o mais adequado para a ponte Fernando Henrique Cardoso é o sistema flutuante. Esse sistema é o mais utilizado em níveis de água elevado, de fácil manutenção e instalação, e também é mais viável economicamente. Logo, altos investimentos com outros sistemas de proteção não seriam viáveis no momento, devido ao pouco fluxo de embarcações que navegam no lago.

Percebe-se que é necessário um sistema de sinalização e de proteção contra choque nos pilares, pois foi evidenciado nesse estudo, vários pontos de desgastes originados possivelmente por choques de embarcações. Essa proteção evita o surgimento de manifestações patológicas devido ao desgaste, perda da superfície de revestimento das armaduras, prejudicando a durabilidade das estruturas.

Como foram identificados vários tipos de manifestações patológicas nos pilares centrais da ponte, sugere-se que trabalhos futuros realizem o monitoramento e estudem formas de tratamento.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. Dunas, 2014.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9452**. Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto: Procedimento. 2016.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 2003. 170p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7187**: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT. 2003. 11p.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto Armado: eu te amo**. Edgard Blucher, 2004.
- BRANDÃO, Ana Maria da Silva. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado**: aspectos relativos ao concreto. 1998. 150 p. Dissertação (Engenharia de Estruturas). Universidade São Carlos. São Carlos. 1998.
- BRANCO, Hugo Albino Piquer. **Colapsos de pontes: Lições aprendidas**. 2013. Tese de Doutorado. INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA.
- BRITO, Marcus Alexandre Noronha de; SOBRINHO, Brunno Emidio; MANSUR, Fabiana Cardoso Meirelles. **Crítérios de Definição e Dimensionamento de Proteção de Pilares em Pontes**. In: Congresso brasileiro de pontes e estruturas, 7., 2014, Rio de Janeiro. Anais... . Rio de Janeiro: Abpe, 2014.
- BORGES, Micheline Gonçalves. **Manifestações patológicas incidentes em reservatórios de água elevados executadas em concreto armado**. TCC (Engenharia Civil). Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana. 2008.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes. NORMA DNIT 090/2006 – ES. **Patologias do concreto**: Especificação de serviço. Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit090\\_2006\\_es.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit090_2006_es.pdf)>. Acesso em: 16 mar 2019.
- \_\_\_\_\_. NORMA DNIT 083/2006 – ES. **Tratamento de trincas e fissuras**: Especificação de serviço. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/normas/download/DNIT083\\_2006\\_ES.pdf](http://www1.dnit.gov.br/normas/download/DNIT083_2006_ES.pdf)>. Acesso em: 16 mar 2019.
- DIÓGENES, Aldecira G.; BRANDÃO, Francisco S.; SANTOS, Max W.L.C; BRAGA, Weber A. **Manifestações patológicas em pontes da cidade de Sobral-CE**. X Congresso Internacional sobre Patologia y Recuperación de Estructuras – CINPAR, 2014.
- SOUZA, Vicente Custodio Moreira; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. Pini, 1998.
- EL DEBS, M. K.; TAKEYA, T. **Pontes de concreto**. São Carlos, USP – Universidade São Paulo, 2003. Notas de aula.
- FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do Concreto Estrutural**. Pini, 2012.

FERREIRA, Murillo Batista. **Estudo da carbonatação natural de concretos com diferentes adições minerais após 10 anos de exposição**. 2013. 197 p. Dissertação (Geotecnia, Estruturas e Construção Civil). Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2013.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. TCC (Engenharia civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2015.

G1-PA. Balsa bate em um dos pilares de ponte sobre rio Moju, no PA. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2014/05/balsa-bate-em-um-dos-pilares-de-ponte-sobre-rio-moju-no-pa.html>>. Acesso em: 16 mar 2019.

G1-MS. Ponte sobre o rio Paraguai, em MS, é interditada após colisão com barcaça. 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mato-grosso-do-sul/noticia/2011/05/ponte-sobre-o-rio-paraguai-em-ms-e-interditada-apos-colisao-com-barcaca.html>>. Acesso em: 16 mar 2019.

G1- GLOBO. Veja as quedas de pontes mais mortais dos últimos 20 anos. Disponível em: <https://g1.globo.com/mundo/noticia/2018/08/14/veja-as-quedas-de-pontes-mais-mortais-dos-ultimos-20-anos.ghtml>. Acesso em: 14 abr. 2019.

GAMA, Janaína Almeida Bacelar. **Pontes de concreto armado**. Trabalho de Conclusão Curso (Engenharia Civil). Centro Universitário de Brasília, 2014.

KRIVOKAPIC, A.; SJÖSTEDT, H.. **Design of protective dolphins in difficult geotechnical conditions**. NGM. Reykjavik Proceedings of the 17th Nordic Geotechnical Meeting Challenges in Nordic Geotechnic, 2016.

LIPENER, Patrícia Almeida. **Vibrações livres não amortecidas em pontes**. 2018. 62 p. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2018.

LOPES, Jhonata William Lopes; VITÓRIO, José Afonso Pereira. Análise dos danos estruturais e das condições de estabilidade da Ponte da Estrada Velha de Água Fria. **Revista de engenharia e pesquisa aplicada**, v. 3, n.1, 2016.

LAPA, José Silva. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. Monografia (Especialização em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2008.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de concreto armado**. São Paulo. Blucher, 2008.

MIRANDA, Luiza Rodrigues Meira de. **Carbonatação em concretos autoadensáveis com substituições de cimento portland por adições minerais**. 2018. 127 p. Dissertação (estruturas e construção civil). Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2018.

MARQUES, Vinícius Silveira. **Recuperação de estruturas submetidas à corrosão de armaduras**: definição das variáveis que interferem no custo. 2015. 104 p. TCC (Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2015.

MAIA, Mário. **Obras de arte em que circunstâncias se deve utilizar um cimbra fixo na construção de uma obra de arte?** Faculdade de Engenharia - FEUP. Universidade do Porto, 2010.

NORMAM--03/DPC. **Marinha do Brasil**. Diretoria de Portos e Costas. Normas da autoridade Marítima para amadores, embarcações e esporte e/ou recreio e para cadastramento e funcionamento das marinas, clubes e entidades desportivas náuticas. 2003.

OLIVEIRA, André Batista. **Cobrimento de armaduras de estruturas de concreto armado**: Levantamento de critérios adotados na utilização de espaçadores. TCC (Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2014.

PADOVEZI, Carlos Daher. **Conceito de embarcações adaptadas à via aplicado à navegação fluvial no Brasil**. 2003. Tese de Doutorado. ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

PFEIL, Walter. **Pontes em concreto armado: elementos de projeto, solicitações, dimensionamento**. Livros Técnicos e Científicos, 1979.

PEREIRA, Caroline Nascimento; CASTRO, César Nunes de; PORCIONATO, Gabriela Lanza. **Dinâmica econômica, infraestrutura e logística no MATOPIBA**. Texto para discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília: Ipea. 2018.

**PONTES, Bianca Roriz. Patologias de infiltrações em unidades habitacionais: estudo de caso em residências no município de Anápolis-Goiás**. TCC (Engenharia Civil). Unievangélica. Anápolis-GO, 2018.

PADOVEZI, Carlos Daher; CALTABELOTI, Odair. **Sistema flutuante de proteção de pilares de pontes junto a rotas de navegação**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2º Seminário Nacional de Transporte Hidroviário Interior, SOBENA, 2001.

ROSA, Fernando Augusto; LOPES, Antônio Aparecido. Análise de resistência à compressão e características do concreto produzido em obras de pequeno porte na região norte da cidade de Maringá-PR. **Revista UNINGÁ Review**, v. 28, n. 3, p. 69-77.

SILVA, Natalia Pinheiro da. **Sistemas de proteção de pilares de pontes contra colisão de embarcações**: análise e verificação de dois sistemas. Monografia (Engenharia Civil). Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2016.

TRINDADE, Diego dos Santos da. **Patologia em estruturas de concreto armado**. TCC (Engenharia Civil). 2015. 88 p. Universidade Federal De Santa Maria. Santa Maria, RS. 2015.

SILVA, Amanda Christine Gallucci. Análise de manifestações patológicas em obras de arte especiais - estudo de caso e propostas de recuperação. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, Ed. Especial, p. 1-15, 2017. ISSN 2358-5420.

SILVA, Adriano de Paula; JONOV, Cristiane Machado Parisi. **Manifestações patológicas nas edificações**. 2018. Disponível em: <[http://www.demc.ufmg.br/adriano/Manifest\\_2018.pdf](http://www.demc.ufmg.br/adriano/Manifest_2018.pdf)>. Acesso em: 18 abr 2019.

SARTOTI, Artur Lenz. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP**. Dissertação (Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2008.

SALOMÃO, Maria Cláudia de Freitas; SILVA, Turibio José da. **Ensaio acelerado de carbonatação do concreto**. XII Seminário de Iniciação Científica. Universidade Federal de Uberlândia. 2008.

SANTOS, Camila Freitas. **Patologia de estruturas de concreto armado**. TCC (Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS, 2014.

ZUCHETTI, Pedro Augusto Bastiani. **Patologias da construção civil: investigação patológica em edifício corporativo de administração pública no vale do Taquari/RS**. TCC (Engenharia Civil). Centro Universitário UNIVATES. Lajeado, 2015.



E-mail mateuslrng@gmail.com

Modo de pesquisa

Buscar em arquivos da internet

Nome do arquivo de entrada

C:\Users\Mateus\Desktop\TCC II - Mateus Loureiro Rodrigues - FINAL.doc

Relatório

Analisar

Remover



Principal

Status

Chance

Progresso

Tempo

Relatório

Tempo

Progresso

Chance

Status

Principal

Remover

1,96% Ok

100%

00:03:40

Analisar

- 00:11:49 - SIMPLE\_LOG: Configurando.
- 00:11:49 - SIMPLE\_LOG: Testando acesso a internet.
- 00:12:04 - SIMPLE\_LOG: Convertendo arquivo de entrada.
- 00:12:05 - SIMPLE\_LOG: Extraindo termos.
- 00:12:21 - SIMPLE\_LOG: Procurando termos.
- 00:14:21 - SIMPLE\_LOG: Baixando arquivos.
- 00:15:02 - SIMPLE\_LOG: Convertendo arquivos.
- 00:15:22 - SIMPLE\_LOG: Processando conluio.
- 00:15:23 - SIMPLE\_LOG: Salvando relatórios.
- 00:15:25 - SIMPLE\_LOG: Busca concluída.

**APOIA.4E**

Torne-se um Apoiador e tenha acesso a licenças exclusivas com todos os recursos do **CopySpider**.

Anúncio fechado por Google  
 Não exibir mais este anúncio Anúncio? Por quê?

TCC II - Mateus Loureiro Rodrigues - FINAL.doc (11/06/2019):

Documentos candidatos

- bibliotecadigital.uf... [1,96%]
- abpe.org.br/trabalho... [1,43%]
- g1.globo.com/pa/para... [0,34%]
- cespe.unb.br/concurs... [0,3%]
- docplayer.com.br/874... [0,29%]
- carajastudodebom.com... [0,19%]
- carajastudodebom.com... [0,14%]
- abq.org.br/cbq/ [0,05%]
- issuu.com/juniof/doc... [0,01%]

Arquivo de entrada: TCC II - Mateus Loureiro Rodrigues - FINAL.doc (10532 termos)

Arquivo encontrado	Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)	
bibliotecadigital.uf...	Visualizar	6628	330	1,96
abpe.org.br/trabalho...	Visualizar	2473	184	1,43
g1.globo.com/pa/para...	Visualizar	1662	42	0,34
cespe.unb.br/concurs...	Visualizar	4578	46	0,3
docplayer.com.br/874...	Visualizar	4146	43	0,29
carajastudodebom.com...	Visualizar	676	22	0,19
carajastudodebom.com...	Visualizar	537	16	0,14
abq.org.br/cbq/	Visualizar	354	6	0,05
issuu.com/juniof/doc...	Visualizar	105	2	0,01
posagroquimica.ufv.b...	-	-	-	-

Download  
 falhou.  
 HTTP  
 response  
 code: 0