



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS**  
**CAMPUS DE PALMAS**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GEYZA SILVA PEREIRA**

**ANÁLISE COMPARATIVA EM PILARES DE PONTES:  
CASO DA PONTE DE PORTO NACIONAL - TO**

Palmas – TO  
2022

**Geyza Silva Pereira**

**Análise Comparativa em pilares de pontes:  
Caso da ponte de Porto Nacional - TO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II) elaborado e apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

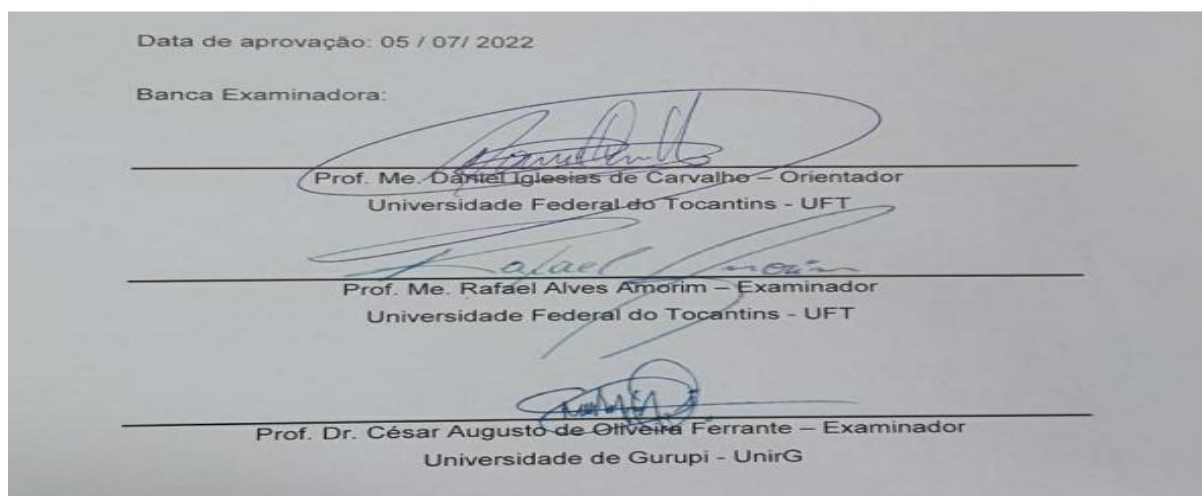
Orientador: Prof. Me. Daniel Iglesias de Carvalho

Palmas – TO  
2022

GEYZA SILVA PEREIRA

ANÁLISE COMPARATIVA EM PILARES DE PONTES:  
CASO DA PONTE DE PORTO NACIONAL - TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II) elaborado e apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.



Palmas – TO  
2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

P436a Pereira, Geyza Silva Pereira.  
Análise comparativa em pilares de pontes: caso da ponte de Porto Nacional-TO: caso da ponte de Porto Nacional •TO . / Geyza Silva Pereira Pereira. – Palmas, TO, 2022.  
71 f.  
Monografia Graduação • Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas • Curso de Engenharia Civil, 2022.  
Orientador: Daniel Iglesias de Canhalo Iglesias de Canhalo  
1. Pontes de Concreto Armado. 2. Manifestações patológicas. 3. Pilares de Pontes. 4. NBR 9452:2016. I. Título

CDD 624

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizada desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, quero agradecer ao meu Deus por me conduzir e iluminar no desenvolvimento deste trabalho. Obrigada Senhor, por ter guiado pessoas importantes em minha vida na realização desta conquista.

Agradeço aos meus pais, Álvaro Divino e Maria das Dores, sem o apoio de vocês esse dia jamais teria chegado, sua força e coragem são minha inspiração. Dedico este trabalho aos meus filhos: Pedro, Felipe e Bernardo (in memoriam), obrigado por serem minha força motivadora. Vocês, são a luz da minha vida.

Estendo minha gratidão e reconhecimento ao Professor Daniel Iglesias de Carvalho pelo incentivo, disponibilidade e compreensão com que me orientou.

Por fim, mas não menos importante quero agradecer aos meus professores da graduação por todo conhecimento repassado durante minha jornada nesta instituição.

## RESUMO

O presente trabalho trata-se de um estudo de caso feito na cidade de Porto Nacional-TO, na ponte sobre o rio Tocantins localizada na TO-255 que liga a cidade ao distrito de Pinheirópolis, sendo via de acesso aos municípios de Fátima e Brejinho de Nazaré. Essa pesquisa teve como objetivo precípua realizar uma inspeção visual especial, seguindo a metodologia na Norma Brasileira (NBR) 9452:2016: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento, para avaliar o estado de conservação dos pilares de concreto da ponte, visto que estes são, segundo a norma supracitada, elementos principais, onde o comprometimento destas estruturas pode causar o colapso da obra. A inspeção foi realizada via embarcação com a utilização de drone, sendo este último um método eficaz para o alcance de patologias de difícil acesso. Durante a inspeção, foram feitos registros fotográficos, bem como a identificação visual e anotação manual, para posterior análise comparativa com os relatórios do LSE (Laboratório de Sistemas Estruturais - São Paulo) 2017, nestes relatórios o LSE realizou inspeções visuais em toda a estrutura da ponte, identificando os danos presentes. Com o acervo fotográfico em mãos e os relatórios do LSE, foi realizada a análise das manifestações patológicas nos pilares da ponte. Os pilares inspecionados foram do P2 até o P5, sentido Porto nacional – Pinheirópolis, e faces jusante e montante sendo estas lado direito e lado esquerdo do rio, respectivamente. A escolha dos pilares estudados se deu devido ao pilar 4, ser o mais deteriorado da ponte, e por conseguinte os pilares adjacentes sofrerem mais o impacto devido sua proximidade ao mesmo. Os resultados de pesquisas anteriores realizadas pelo LSE apontam que os pilares são os elementos mais danificados da ponte, alguns dos problemas identificados foram: corrosão de armadura, desagregação e deslocamento do concreto. Dentre as manifestações patológicas mais encontradas neste trabalho estão infiltrações, eflorescências, lodo e principalmente a reação álcali-agregado (RAA), todas se desenvolvem na presença da água e sua interação com os componentes do concreto na estrutura. A reação álcali-agregado foi encontrada nos quatro pilares, e sua presença comprovada por meio de ensaios realizados pelo LSE. O pilar mais danificado é o P4, conforme trabalhos acadêmicos realizados por estudantes de universidades das cidades de Porto Nacional e Palmas, além dos relatórios realizados pelo LSE, com a leitura destes foi possível afirmar a presença de intensa fissuração e RAA, degradação do concreto e exposição da armadura nos elementos inspecionados. Ao serem classificados na norma NBR 9452:2016, o resultado encontrado foi 1 para os quatro pilares, o que significa que estes se encontram em estado crítico, conforme já era esperado, visto que este estudo não é o primeiro a ser realizado na ponte, trata-se de mais um trabalho que corrobora a condição precária da estrutura. Por fim, levando-se em consideração os trabalhos anteriormente realizados na ponte, os resultados obtidos neste estudo e a literatura conclui-se como a falta de manutenção preventiva reduz a vida útil das Obras de Arte Especiais (OAE's) e na maioria dos casos acontece dano irreversível da estrutura, como ocorreu com a ponte de Porto Nacional, que será substituída nos próximos anos.

**Palavras-chave:** Reação Álcali-Agregado. Pilares. Manifestações patológicas. Obra de Arte Especial.

## ABSTRACT

The present work is a case study carried out in the city of Porto Nacional-TO, on the bridge over the Tocantins river located on the TO-255 that connects the city to the district of Pinheirópolis, being the access route to the municipalities of Fátima and Brejinho. from Nazareth. The main objective of this research was to carry out a special visual inspection, following the methodology of the Brazilian Standard (NBR) 9452:2016: Inspection of concrete bridges, viaducts and walkways - Procedure, to assess the state of conservation of the bridge's concrete pillars, since these are, according to the aforementioned standard, main elements, where the compromise of these structures can cause the collapse of the work. The inspection was carried out via vessel using a drone, the latter being an effective method for reaching pathologies that are difficult to access. During the inspection, photographic records were made, as well as visual identification and manual annotation, for later comparative analysis with the reports of the LSE (Laboratory of Structural Systems - São Paulo) 2017, in these reports the LSE carried out visual inspections throughout the structure of the bridge, identifying the damage present on the bridge. With the photographic collection in hand and the LSE reports, the analysis of the pathological manifestations in the bridge pillars was carried out. The inspected pillars were from P2 to P5, towards Porto Nacional – Pinheirópolis, and downstream and upstream faces, these being the right and left sides of the river, respectively. The results of previous research carried out by the LSE indicate that the pillars are the most damaged elements of the bridge, some of the problems identified were: corrosion of reinforcement, disaggregation and spalling of the concrete. Among the pathological manifestations most found in this work are infiltration, efflorescence, sludge and mainly the alkali-aggregate reaction (AAR), all of which rely on the presence of water and its interaction with the concrete components in the structure. The alkali-aggregate reaction was found in the four pillars, and its presence was confirmed through tests carried out by the LSE. The most damaged pillar is P4, according to academic works carried out by students from universities in the cities of Porto Nacional and Palmas, in addition to reports made by the LSE, with the reading of these it was possible to affirm the presence of intense cracking and RAA, concrete degradation and Armor exposure in inspected elements. When classified in the NBR 9452 standard, the result found was 1 for the four pillars, which means that they are in a critical condition, as expected, since this study is not the first to be carried out on the bridge, on the contrary, this is yet another work that corroborates the precarious condition of the structure. Finally, taking into account the work previously carried out on the bridge, the results obtained in this study and the literature, it is concluded that the lack of preventive maintenance reduces the useful life of Special Works of Art (OAE's) and in most cases it happens irreversible damage to the structure, as occurred with the Porto Nacional bridge, which will be replaced in the coming years.

**Keywords:** Alkali-Aggregate Reaction. Pillars. Pathological manifestations. Special Arts Works.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Visão panorâmica da ponte sobreo Rio Tocantins.....	14
Figura 2 – Exemplo de ponte e viaduto.....	18
Figura 3 - Elementos constituintes de uma ponte. ....	19
Figura 4 - Principais componentes da infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura de uma ponte em concreto armado.....	20
Figura 5 - Fissura (a), Trinca (b), e Rachadura (c).....	25
Figura 6: Bloco de fundação com padrão de fissuração típico de RAA.....	27
Figura 7 - Corrosão da armadura e desagregação do concreto.....	30
Figura 8 - Desplacamento do concreto por corrosão das armaduras.....	31
Figura 9 - Abertura da junta do tabuleiro e esmagamento do concreto.....	31
Figura 10 - Abertura excessiva da junta de dilatação do tabuleiro. ....	32
Figura 11 - Lixiviação. ....	32
Figura 12 - Inspeção de ponte através de drone.....	37
Figura 13 – Redução da seção transversal observada no tubulão 1 do apoio P4.....	40
Figura 14 – Localização geográfica da cidade de Porto Nacional.....	42
Figura 15 - Seção transversal da seção caixão .....	43
Figura 16 - Drone modelo Dji Phantom 4 Plus,preparado para decolagem .....	44
Figura 17: Reação álcali-agregado, manchas de umidade em P2, face montante ...	48
Figura 18: Reação álcali-agregado, eflorescências e lodo em P2, face jusante..	48
Figura 19: Reação álcali-agregado, e sinais de corrosão das armaduras na face Fátima pilar 3.....	49
Figura 20: Reação álcali-agregado, manchas de umidade e lodo na face jusante pilar 3.....	49

Figura 21: Reação álcali-agregado , nichos de concretagem, muitas fissuras na parte do pilar rente a água na face montante em P4.....	50
Figura 22: Abrasão por atrito com a água e fissuras na face Fátima em P4. ....	50
Figura 23: Manchas de infiltração na face Porto Nacional em P4.....	51
Figura 24: Eflorescência, nichos de concretagem e bolor na face jusante em P4 ...	51
Figura 25: Produtos resultantes da oxidação, fissuras, infiltrações e lodo na face jusante em P5. ....	53
Figura 26: Reação álcali-agregado na face montante em P5 .....	53
Figura 27: Fissuras na face jusante do pilar 2.....	54
Figura 28 : Fissuras na face jusante do pilar 2.....	54
Figura 29: Fissuras e RAA na face montante do pilar 2 .....	54
Figura 30: Fissuras e RAA na face montante do pilar 2 .....	54
Figura 31: Fissuras na face Porto Nacional do pilar 3.....	55
Figura 32: Fissuras na face Porto Nacional do pilar 3.....	55
Figura 33: Fissuras e reação alcáli-agregado na face Fátima do pilar 3. ....	56
Figura 34: Fissuras e reação alcáli-agregado na face Fátima do pilar 3. ....	56
Figura 35: Fissuras e RAA na face jusante do pilar 4. ....	56
Figura 36: Fissuras e RAA na face jusante do pilar 4 .....	56
Figura 37: Fissuras e reação alcáli-agregado na face montante do pliar 4 .....	57
Figura 38: Fissuras e reação alcáli-agregado na face montante do pliar 4 .....	57
Figura 39: Fissuras na face Porto Nacional do pilar 4.....	57
Figura 40: Fissuras na face Porto Nacional do pilar 4.....	57
Figura 41: Fissuras e RAA na face Fátima do pilar 4 .....	58
Figura 42: Fissuras e RAA na face Fátima do pilar 4.....	58
Figura 43: Fissuras e reação alcáli-agregado na face montante do pilar 5.....	58

Figura 44: Fissuras e reação alcáli-agregado na face montante do pilar 5 .....	58
Figura 45: Fissuras na face jusante pilar 5.....	60
Figura 46: Fissuras na face jusante pilar 5.....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das pontes quanto ao tipo de carregamento. ....	22
Tabela 2 - Principais causas das manifestações em estruturas de concreto. ....	23
Tabela 3 - Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.....	35
Tabela 4 - Classificação da mesoestrutura segundo os parâmetros estruturais e de durabilidade conforme o Anexo E da NBR 9452:2016 .....	59
Tabela 5 - Comparação da evolução das patologias de 2017 a 2020 na ponte de Porto Nacional – TO.....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LSE: Laboratório de Sistemas de Estruturas

NBR: Norma Brasileira

OAE: Obra de Arte Especial

PBT: Peso Bruto Total

PBTC: Peso Bruto Total Combinado

RAA: Reação Álcali-agregado

RBAC: Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial

VANT: Veículo Aéreo Não Tripulado

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 Justificativa</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<b>15</b>
1.2.1 Objetivo Geral .....	15
1.2.2 Objetivos Específicos .....	16
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1 Pontes</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2 Elementos de uma ponte</b> .....	<b>18</b>
<b>2.3 Classificação das pontes</b> .....	<b>20</b>
<b>2.4 Manifestações patológicas em pontes de concreto armado</b> .....	<b>22</b>
2.4.1 Fissuração .....	24
2.4.2 Reação álcali-agregado.....	26
2.4.2.1 <i>Reação álcali-sílica</i> .....	28
2.4.2.2 <i>Reação álcali-silicato</i> .....	28
2.4.2.3 <i>Reação álcali-carbonato</i> .....	29
2.4.3 Outras patologias .....	29
<b>2.5 Inspeção e avaliação em pontes</b> .....	<b>32</b>
2.5.1 Inspeção cadastral .....	33
2.5.2 Inspeção rotineira .....	33
2.5.3 Inspeção extraordinária .....	34
2.5.4 Inspeção especial.....	34
2.5.5 Avaliação dos elementos da ponte.....	35
<b>2.6 Uso de drones na inspeção de pontes</b> .....	<b>37</b>
<b>2.7 Normativas para o uso de drones</b> .....	<b>38</b>
<b>2.8 Resultados do LSE ( Laboratório de Sistemas Estruturais)</b> .....	<b>38</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1 Tipo e finalidade de estudo</b> .....	<b>41</b>

<b>3.2 Descrição do objeto de estudo .....</b>	<b>41</b>
<b>3.3 Coleta de dados.....</b>	<b>43</b>
<b>3.4 Caracterização e plano de voo .....</b>	<b>43</b>
<b>3.5 Procedimentos para captura das imagens com o drone .....</b>	<b>46</b>
<b>3.6 Classificação e processamento do resultado das inspeções .....</b>	<b>46</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1 Inspeção visual de patologias na ponte de Porto Nacional - TO .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2 Patologia dos pilares .....</b>	<b>47</b>
<b>4.3 Análise Comparativa dos pilares .....</b>	<b>53</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>62</b>
<b>5.1 Sugestões para trabalhos futuros .....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO I – FICHA DE INSPEÇÃO ESPECIAL .....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A partir da década de 40, implantou-se a malha rodoviária no país, surgindo às primeiras Normas Brasileiras que tratam do cálculo e execução de estruturas de concreto armado, porém somente na década de 70 que houve um crescimento acelerado no país, surgindo grandes obras, entre elas as pontes (CURCIO, 2008). Pontes são denominadas como as obras destinadas à transposição dos obstáculos de uma via, podendo ser rios, braços de mar, vales profundos, sendo que quando transpõe um vale, denominam-se viadutos (MARCHETTI, 2008). As pontes são fundamentais para a sociedade, visto que promovem meios para o transporte de cargas, e contribuem para o relacionamento humano e desenvolvimento das cidades (CARNAÚBA, 2017).

Em virtude da grande importância que as pontes desempenham, estas necessitam de cuidados que vão além de um bom projeto, execução e correta utilização, requerem também inspeções e manutenções periódicas, de modo a garantir o bom funcionamento (CARNAÚBA, 2017).

Em contrapartida, verifica-se uma negligência dos órgãos competentes no que se refere à manutenção das pontes, onde se preocupam apenas com a execução do projeto, gerando uma grande quantidade de pontes que apresentam inúmeras patologias comprometedoras, causando prejuízos econômicos e oferecendo riscos à segurança daqueles que trafegam pela mesma ou ficam em seu entorno (CALIL JUNIOR; GÓES, 2004).

A pesquisa foi realizada na cidade de Porto Nacional, localizada entre os paralelos 10° S e 11° S, o município limita-se ao norte com Miracema do Tocantins; a leste com Palmas e Monte do Carmo; ao sul com Silvanópolis, Ipueiras e Brejinho de Nazaré e a oeste com Nova Rosalândia, Fátima, Oliveira de Fátima, Pugmil e Paraíso do Tocantins.

Construída no final da década de 70, a ponte conforme Figura 1, possui duas fases, a primeira se refere ao nível da água pela qual a mesma foi dimensionada, com um regime natural até o ano de 2001, e a segunda se trata do nível d'água na cota acima de 20 metros, após a formação da Barragem de Lajeado e represamento do Rio Tocantins, submergindo os blocos de fundação e tubulões permanentemente e os pilares parcialmente (LSE, 2017).

Figura 1: Visão panorâmica da ponte sobre o Rio Tocantins.



Fonte: LSE (2017)

Frente ao exposto, na cidade de Porto Nacional – TO encontra-se uma ponte sobre o Rio Tocantins, interligando a cidade ao seu distrito de Pinheirópolis, e tornando-se o menor trecho para o acesso à BR-153. A ponte de Porto Nacional apresenta-se em estado patológico comprometedor, fazendo com que a mesma tenha sido interditada em 2011 para o tráfego de veículos de carga com Peso Bruto Total (PBT) ou Peso Bruto Total Combinado (PBTC) superior a 30 toneladas, a partir da publicação da PORTARIA SEINFRA/TO Nº 799, de 20 de setembro de 2011. A partir do DECRETO Nº 5.907, de 12 de fevereiro de 2019, a ponte passou a ser inteiramente interditada, e após a realização de estudos e de uma reforma, voltou a ser liberada já no segundo semestre de 2019, porém com restrições, podendo ser utilizada somente por veículos leves, de até 2,20m de altura.

Todo o período de interdição impacta diretamente na economia e desenvolvimento da cidade. Apesar de atualmente a ponte de encontrar parcialmente interditada, o impacto ainda é muito grande. Nesse sentido, a presente pesquisa buscou realizar uma inspeção na ponte de Porto Nacional – TO, através do uso de drones e de embarcação para a inspeção e, a fim de identificar as patologias existentes, especialmente nos pilares, de modo a avaliar a segurança que a mesma oferece.

### **1.1 Justificativa**

Em Porto Nacional, a ponte que dá acesso à BR-153 desempenha um papel fundamental, isso porque ela integra a cidade a outras cidades, além de integrar os povoados do município de Porto Nacional à cidade, conforme o IBGE (2019), Porto

Nacional possui uma longa extensão, caracterizada por muitos povoados e distritos, entre eles encontra-se a Escola Brasil e Pinheirópolis.

Apesar da importância da ponte, a mesma já chegou a ser interditada devido aos problemas estruturais, e atualmente encontra-se operando com restrições, após a realização de vistorias e inspeções.

Em virtude das suas restrições, veículos com altura superior a 2,20m de altura precisam realizar a travessia por balsa, o que dificulta e atrasa o transporte. O governo do estado já realizou estudos na ponte, identificando sua situação crítica, e mantendo-a parcialmente interditada até a construção de uma nova ponte, visto que a atual apresenta patologias que comprometem sua estrutura.

Assim sendo, o estudo da caracterização das patologias encontradas nos pilares da Ponte de Porto Nacional – TO torna-se uma ferramenta fundamental na construção de conhecimento relacionado a patologias. Além disso, a caracterização dos pilares da ponte de Porto Nacional se destaca para o auxílio do estudo de patologias de pontes no geral, especialmente aquelas relativamente novas, considerando que a ponte possui apenas 40 anos. Desse modo, contribui para a construção bibliográfica para a engenharia civil.

O trabalho serve também de aprofundamento de conhecimentos a respeito da matéria de Pontes e da aplicação prática da NBR 9452:2016. A sociedade usufruirá das informações sobre o estado de manutenção da referida ponte, podendo solicitar do governo as providências cabíveis de restauração ou substituição da mesma.

O uso do drone se justifica pela facilidade que o equipamento possui para o alcance das áreas difíceis, captando imagens e vídeos com agilidade, o que possibilita uma melhor análise, em um menor tempo. Além de oferecer uma maior segurança para a pesquisadora, visto que a partir do uso do drone, não se faz necessário realizar a inspeção por outros meios, como rapel.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o estado de conservação de quatro (P2, P3, P4 e P5) possíveis pilares de concreto mais danificados dos nove pilares da ponte de Porto Nacional – TO.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar os pilares da obra de arte especial através de uma inspeção especial, com o intuito de classificá-los através dos parâmetros de desempenho estrutural e durabilidade prescritos na ABNT NBR 9452:2016.
- Realizar análise comparativa do estado de conservação dos pilares de P2 a P5, com os relatórios do Laboratório de Sistemas Estruturais elaborados no ano de 2017.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Pontes

Segundo a ABNT NBR 9452:2016, ponte é uma estrutura destinada à transposição de algum obstáculo em rios, mares, lagos, córregos e outros canais aquíferos, que impeça a continuidade do leito normal de uma via.

Para o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2004), em sua norma 010, pontes são estruturas construídas sobre uma depressão ou um obstáculo, podendo ser uma rodovia, ferrovia, a água, ou outros, com a finalidade de sustentar a via ou pista para a passagem de veículos e/ou outras cargas móveis, possuindo um vão livre de mais de seis metros, medido ao longo do eixo da rodovia.

Chama-se ponte toda obra cujo objetivo é vencer obstáculos que venham a impedir a continuidade de uma via, sejam eles rios, lagos, braços de mar, vales, ou até mesmo outras vias, sendo que quando vence obstáculos causados por outras vias é conhecida como viaduto, e, no geral, as pontes são classificadas como Obras de Artes Especiais (FILHO, 2008).

Apesar de um viaduto ser considerado uma ponte, de acordo com a ABNT NBR 7188 (2013), há uma diferenciação no conceito de pontes e viadutos, incluindo passarelas também, sendo definidos:

“Ponte: Estrutura sujeita a ação de carga em movimento, com posicionamento variável (chamada de carga móvel), utilizada para transpor um obstáculo natural (rio, córrego, vale, etc.)

Viaduto: Estrutura para transpor um obstáculo artificial (avenida, rodovia, etc.);

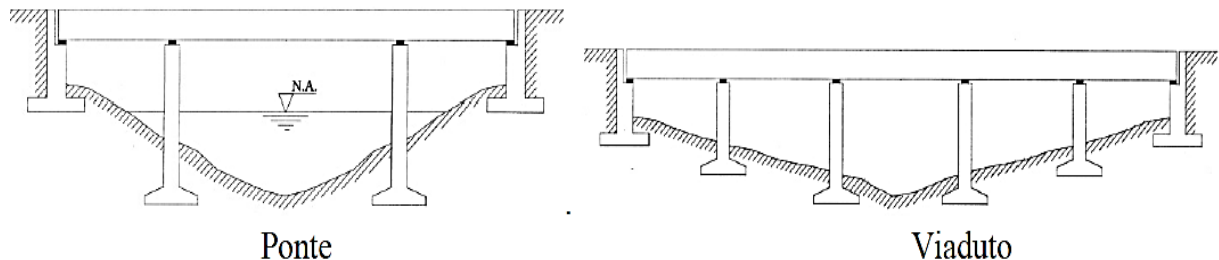
Passarela: Estrutura longilínea destinada a transpor obstáculos naturais e/ou artificiais exclusivamente para pedestres e/ou ciclistas (ABNT NBR 7188:2013).

Quando o obstáculo a ser vencido se refere a um vale muito aberto, é necessário que a ponte seja construída com obras de acesso, podendo ser aterros ou viadutos, chamados de viadutos de acesso, sendo definido o principal método a partir, principalmente, da análise de custos (MARCHETTI, 2008).

Para El Debs e Takeya (2009), a ponte é destinada a transpor algum obstáculo constituído por algum curso d'água, de todo tipo, ou outra superfície

líquida, já o viaduto é destinado a transpor um vale ou uma via, conforme a Figura 2, e apesar da diferenciação, o tratamento estrutural de ambos é quase todo idêntico.

Figura 2 - Exemplo de Ponte e Viaduto



Fonte: El Debs e Takeya (2009)

## 2.2 Elementos de uma ponte

De acordo com Pfeil (1985) e Marchetti (2008), as pontes podem ser divididas, sob o ponto de vista funcional, em três principais partes, sendo: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura.

No que se refere à infraestrutura, ela é definida como a parte da ponte que recebe os esforços da mesoestrutura e os transfere para o terreno onde está implantada, sendo constituída pelos blocos, sapatas, estacas, tubulões, bem como as peças de ligação destes elementos entre si, e as peças de ligação dos mesmos com a mesoestrutura (FILHO, 2008).

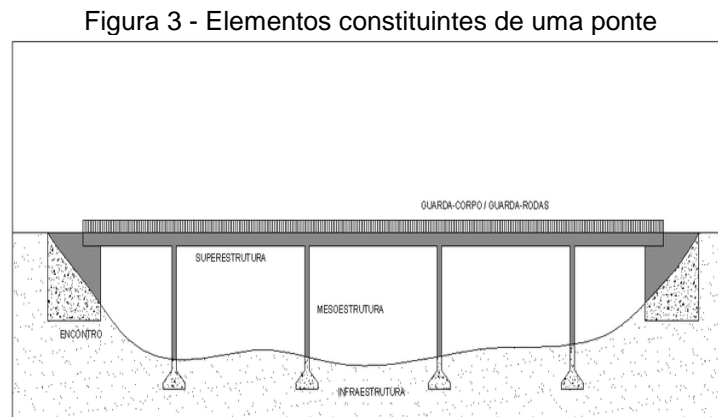
Boettger (2018) afirma que a infraestrutura compreende as fundações utilizadas na estrutura das pontes, sendo que estas fundações podem ser diretas ou profundas.

A mesoestrutura se refere aos pilares e encontros, cuja função é suportar as cargas provenientes da superestrutura e transmiti-las para a fundação ou infraestrutura (CURCIO, 2008). Para Boettger (2018), a mesoestrutura é composta pelos elementos estruturais responsáveis pela sustentação da superestrutura, transmitindo as cargas da mesma para a infraestrutura.

Segundo a ABNT NBR 9452:2016 contempla os seguintes elementos: viga-travessa, pilar, pilone (torre, portal, etc.), aparelho de apoio e viga de travamento de pilares.

Já a superestrutura se refere ao componente da ponte que suporta o estrado e as cargas aplicadas o mesmo, transmitindo essas cargas do estrado ao longo dos vãos para a mesoestrutura, ou os apoios (BOETTGER, 2018). De acordo com DNIT (2004), o estrado é a parte que apoia imediatamente os elementos estruturais e utilitários que possuem função viária, como a pista de rolamento, a laje do tabuleiro, as vigas longarinas, as vigas transversinas, guarda-corpo, proteção para veículos, juntas e etc.

De um modo geral, os elementos de uma ponte estão dispostos conforme a Figura 3.

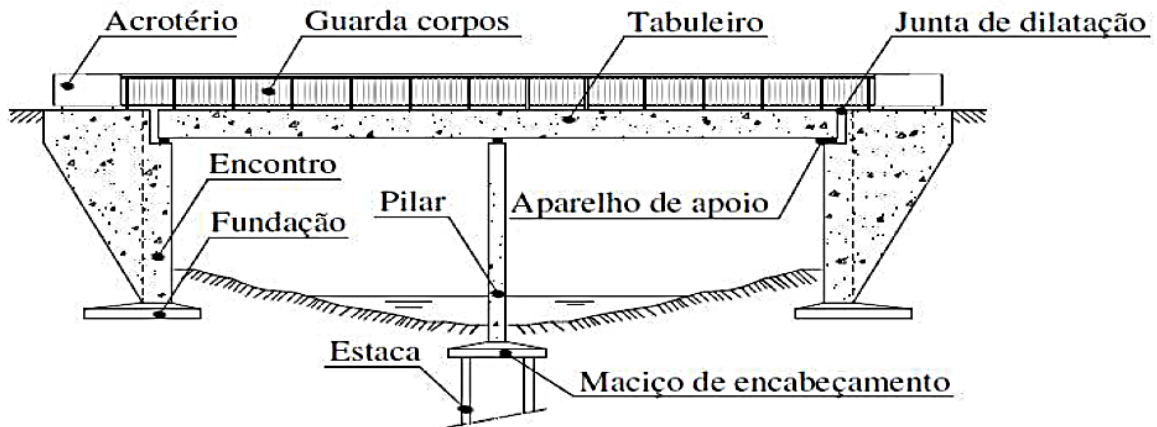


Fonte: Figueiredo, David (2012)

A Figura 3 demonstra, além da infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura, o elemento chamado encontro, que Pfeil (1985) afirma que há uma divergência na sua classificação, podendo fazer parte tanto da mesoestrutura como da infraestrutura, visto que recebe o empuxo proveniente dos aterros e evita que o mesmo se propague aos demais elementos da ponte.

De um modo geral, todos os elementos da ponte em concreto armado são partes constituintes da infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura, vistos conforme a Figura 4.

Figura 4 - Principais componentes da infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura de uma ponte em concreto armado



Fonte: Costa (2009)

### 2.3 Classificação das pontes

A classificação das pontes é de diversas maneiras, as mais comuns consistem em: quanto à finalidade de utilização ou natureza do tráfego; quanto ao material de construção, quanto ao seu tipo estrutural ou quanto à superestrutura, quanto ao tempo de utilização e quanto à mobilidade do estrato (FILHO, 2008). Para Curcio (2008), a classificação das pontes também pode ser quanto à planimetria, altimetria, quanto ao comprimento, posição do tabuleiro, quanto ao período de utilização, quanto ao tipo de carregamento e quanto ao processo construtivo.

De acordo com Vitório (2015), no que se refere à natureza do tráfego, as pontes podem ser classificadas em:

- Pontes ferroviárias, destinadas ao tráfego ferroviário;
- Pontes rodoviárias, destinada ao tráfego rodoviário;
- Pontes rodoferroviárias, destinada ao tráfego de veículos e trens;
- Passarelas, destinadas ao tráfego de pedestres e ciclistas;
- Pontes aeroviárias, destinadas ao tráfego de aeronaves em pátios de aeroportos.

As pontes ainda podem ser classificadas quanto à natureza do tráfego como canais e mistas, sendo que as mistas se tratam de dois tipos de tráfego (CURCIO, 2008).

De acordo com Vitório (2015), na classificação quanto ao material de construção, as pontes podem ser:

- Pontes de pedras;
- Pontes de madeiras
- Pontes metálicas
- Pontes de concreto, podendo ser simples, armado ou protendido;
- Pontes mistas, com mais de um tipo de material, como aço e concreto, aço e madeira, etc.

No que se refere à classificação quanto ao tipo estrutural, Filho (2008) afirma que as pontes podem ser em viga, laje, caixão, treliça, em arco, em pórtico ou suspensa.

Vitório (2015) explica que as pontes em laje são aquelas cujos tabuleiros são constituídos somente por laje, sem nenhuma viga, utilizados para pequenos vãos, de até 15m; as pontes em viga são aquelas cujo a estrutura do tabuleiro é constituída por duas ou mais vigas longarinas e transversinas; as pontes em pórticos são aquelas onde há a ligação das vigas com os pilares ou com as paredes dos encontros; as pontes em arco são aquelas com predominância de esforços de compressão com pequena excentricidade; pontes suspensas, também conhecidas como pênséis, são aquelas constituídas por cabos parabólicos e pendurais verticais, podendo vencer grandes vãos.

Haus (2019) argumenta que as pontes em vigas são as mais comuns, utilizadas há milênios, e na atualidade permanecer como o tipo de estrutura mais utilizadas, tanto pela simplicidade quanto pela viabilidade econômica, visto que as pontes sobre pilares de concreto são mais baratas que outros tipos de pontes.

Na classificação quanto ao tempo de utilização, as pontes podem ser permanentes e provisórias; já quanto à mobilidade do substrato, as pontes podem ser flutuantes, corrediça, levadiça, basculante e giratória (FILHO, 2008).

No que se refere à planimetria e altimetria, as pontes podem ser classificadas em retas, podendo ser horizontais ou em rampa; e pontes curvas, com o tabuleiro côncavo ou convexo; já quanto à posição do tabuleiro, podem ser pontes com tabuleiro superior, tabuleiro intermediário e tabuleiro inferior (CURCIO, 2008).

De acordo com Curcio (2008), quanto ao comprimento, as pontes podem três tipos de classificações:

- Galerias/bueiros – de 2,00 a 3,00 metros de vão;
- Pontilhões – de 3,00 a 10,00 metros de vão;

- Pontes e viadutos – acima de 10 metros de vão.

As pontes ainda podem ser classificadas de acordo com o tipo de carregamento, conforme a ABNT NBR 7188 (2013), demonstrado na tabela 1.

Tabela 1 - Classificação das pontes quanto ao tipo de carregamento

Cargas dos veículos								
Classe da ponte	Veículo			Cargas uniformemente distribuídas				Disposição da carga
	Tipo	Peso total		p		p'		
		kN	tf	kN/m <sup>2</sup>	Kgf/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	Kgf/m <sup>2</sup>	
12	12	120	12	4	400	3	300	Carga p em toda a pista Carga p' nos passeios
30	30	300	30	5	500	3	300	
45	45	450	45	5	500	3	300	

Fonte: ABNT NBR 7188 (2013)

E no que se referem aos processos construtivos, as pontes podem ser classificadas como: moldadas *in loco*, de concreto pré-moldado; de balanços sucessivos; e com deslocamentos sucessivos.

## 2.4 Manifestações patológicas em pontes de concreto armado

O termo “patologia”, que é uma das principais bases deste estudo é uma palavra de origem grega e significa “estudo da doença”. Segundo Boettger (2018), no âmbito da construção civil, as patologias são estudos dos danos encontrados em edificações de concreto armado e podem ocorrer devido a problemas no projeto, na execução ou ao uso inadequado devido à ausência de manutenção preventiva; além de outros fatores ambientais e acidentais.

De acordo com o DNIT (2004), em seu Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, as principais manifestações patológicas em pontes de concreto são: fissuração, corrosão das armaduras, desagregações, carbonatação, reação álcali-agregado, desgaste da superfície, lixiviação, vazios de concretagem, perda de aderência, danos de colisões. Em uma estrutura de concreto armado, as manifestações patológicas podem ter a origem associada ao projeto; à execução; ao uso inadequado, sendo que este último inclui-se a ausência de manutenção preventiva; além de fatores naturais e acidentais, conforme a tabela 2 (BOETTGER, 2018).

Tabela 2 - Principais causas das manifestações em estruturas de concreto

Causas	Fase	Causas específicas
Causas Humanas	Fase de Projeto	Inadequação do projeto ao ambiente
		Má concepção estrutural do projeto
		Projeto incompleto
		Erros de cálculo e/ou detalhamento
		Modelo de análise inadequado
		Especificação de materiais inadequados
	Fase de Execução	Adoção de materiais inadequados ou de baixa qualidade
		Despreparo técnico para a execução
		Execução em desacordo com o projeto
		Negligência na execução
Fase de Utilização	Sobrecargas excessivas	
	Falta de programa de manutenção	
Causas Naturais	Degradação Física dos Materiais	Ação da temperatura, do vento, da chuva, da abrasão, da vibração, etc.
	Degradação Química dos Materiais	Presença de águas agressivas ou puras, sulfatos, sais, oxigênio, processo de carbonatação do concreto
	Degradação Biológica dos Materiais	Agentes vegetais: ação de fungos e raízes
Agentes animais: ação de esgotos e dejetos animais		
Causas Acidentais	Enchentes, choques, incêndios, recalques, deslizamentos de terra, explosões, etc.	

Fonte: Adaptado de Lencioni (2005)

Em pontes de concreto, o DNIT (2004) afirma que existem três tipos de defeitos, sendo:

- Defeito tolerável – aquele que não diminui substancial o desempenho da ponte;
- Defeito grave – aquele que afeta o desempenho da ponte em parte;
- Defeito crítico – aquele que afeta o comportamento da ponte de forma acentuada.

Ainda de acordo com o DNIT (2004), em seu Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, as principais manifestações patológicas em pontes de concreto são: fissuração, corrosão das armaduras, desagregações, carbonatação, reação álcali-agregado, desgaste da superfície, lixiviação, vazios de concretagem, perda de aderência, danos de colisões.

#### 2.4.1 Fissuração

A fissuração é definida como abertura que ocorrem na superfície do elemento estrutural, facilitando a entrada de agentes agressivos (GONÇALVES, 2015). A fissuração pode ter causas intrínsecas, de origem na própria estrutura, a partir dos processos de degradação do concreto, os materiais e os processos construtiva; e causas extrínsecas, fatores externos ao concreto, como ventos, sobrecargas, etc. (LENCIONI, 2005).

Apesar de haver inúmeras patologias que afetam as estruturas de concreto, a fissuração pode ser considerada a mais recorrente, ou pelo menos aquela que mais chama atenção (SOUZA; RIPPER, 1998).

De acordo com o DNIT (2004), os principais tipos de fissuras são: por flexão e por cisalhamento, de retração e temperatura, de torção, por perda de aderência e colapso da ancoragem da armadura, por corrosão de armadura, por formação de espaços vazios ou poros sob barras horizontais, trincas de ruptura frágil em apoios externos mal posicionados, trincas em dentes de articulação, fissuras por deficiência de fretagem em pilar isolado.

De acordo com a ABNT NBT 6118:2014, as fissuras podem ser agressivas a partir da sua abertura na superfície do concreto armado, de acordo com o ambiente que estão inseridas, onde:

- Para meios agressivos muito fortes, como industrial e onde há respingo de maré, as fissuras são agressivas quando ultrapassam 0,2mm;
- Para meios com agressividade moderada a forte, como o ambiente urbano, marinho e industrial, as fissuras são agressivas quando ultrapassam 0,3mm;
- Para meios de fraca agressividade, como o meio rural ou submerso, as fissuras são agressivas quando ultrapassam 0,4mm.

As fissuras se assemelham aos conceitos de trinca e rachadura, entretanto possuem características distintas, onde as fissuras são mais “leves”, as trincas são aquelas com abertura superior a 0,5mm, e as rachaduras são aquelas que possuem aberturas acentuadas e profundas (GONÇALVES, 2015). Essas três patologias são evidenciadas conforme a Figura 5.

Para melhor escolha do meio de reparo, quando este é possível, é necessário obter informações sobre o estado atual das manifestações patológicas, ou seja, compreender se as fissuras estão ativas ou estáveis. Sabe-se que quando as fissuras estão ativas são consideradas manifestações patológicas, entretanto, quando estas param sua movimentação se tornam meios de acesso a outros agentes agressivos ao concreto, se tornando então, causas das manifestações patológicas.

Figura 5 - Fissura , Trinca , e Rachadura



Fonte: Alicerceejr (2021)

Para Oliveira (2012), as fissuras podem ainda ser denominadas de fenda e brecha, onde cada anomalia apresenta a seguinte abertura:

- Fissura – 0,5mm
- Trinca – de 0,5 a 1,5mm

- Rachadura – de 1,5 a 5,0mm
- Fenda – de 5,0 a 10,0mm
- Brecha – Acima de 10,0mm

#### 2.4.2 Reação álcali-agregado

Possuindo um comportamento ainda desconhecido, ora pela complexidade dos mecanismos físico-químicos da própria reação, ora pela inconstância na composição química do gel que resulta da sua reação, a RAA é considerada como o “câncer” do concreto conforme Collins (2004 apud NOGUEIRA, 2010).

Segundo Paulon (1981 apud BONATO, 2015), existem vários fatores que influenciam a reação álcali-agregado, pois o concreto é uma combinação muito complexa de diferentes tipos de materiais com propriedades físicas diferentes, com condições de reação ideais, mesmo que materiais não reativos ou cimentos tenham baixo teor de álcalis.

De forma resumida, a RAA acontece devido ao processo químico oriundo da reação de certos compostos minerais do agregado com o cimento, água de amassamento e agentes externos, estando essas substâncias diluídas na solução dos poros do concreto, expostas à constante condição de umidade. Essa reação resulta no surgimento de expansões, com ou sem formação de gel, podendo originar fissuras, deslocamentos diferenciais, aumento de permeabilidade, diminuição da resistência física e química e consequente fragmentação da estrutura.

Os métodos comumente empregados na avaliação da RAA envolvem ensaios laboratoriais normalizados pela NBR 15577 (ABNT, 2008) e técnicas qualitativas de campo. Dentre estas técnicas destaca-se o teste da mancha, que identifica a presença da reação de forma imediata pela formação de tonalidades características em regiões afetadas do concreto (MIZUMOTO, 2009). Alguns autores citam o uso da petrografia como uma técnica de observação direta da reação, passando por estágios de inspeção visual à caracterização em lâminas finas.

Os indícios manifestados no concreto são notados no decorrer do tempo na forma de fissuras e deformações estruturais. Relacionar os sintomas observados com a ocorrência da RAA (Figura 6) nem sempre é fácil, pois existem outras

manifestações patológicas com características parecidas. Assim, é de suma importância a descrição minuciosa de seus efeitos e manifestações frente a outras patologias.

É uma das manifestações patológicas de maior grau de deterioração do concreto e de enorme dificuldade de recuperação. Por ser uma reação lenta, a prevenção é a forma mais eficiente de se evitar a RAA, pois o comportamento da reação em longo prazo ainda não é plenamente conhecido (NOGUEIRA, 2010).

Figura 6: Bloco de fundação com padrão de fissuração típico de RAA



Fonte: Pecchio, (2006 apud Mizumoto, 2009)

Para que a RAA no concreto aconteça três condições são necessárias: agregados reativos, álcalis solúveis nos poros do concreto e umidade. Nesse cenário, os álcalis reagem quimicamente com os agregados, formando um gel expansivo, o qual, em meio aquoso, pode provocar tensões internas na peça de concreto, levando ao surgimento de fissuras irregulares, superficiais e profundas.

Valduga (2002) relata que o fator temperatura funciona como um catalisador da RAA, pois altas temperaturas, de um modo geral, aceleram as reações químicas. Swamy (1988 apud BONATO, 2015) verificaram que os concretos curados a 38°C apresentaram considerável redução da resistência à compressão com o passar de um ano, além de apresentarem expansão e fissuração bastante severas.

Segundo Vasconcelos (2018), a reação álcali-agregado se configura em uma das patologias mais ofensivas em estruturas de concreto. Essa patologia é capaz de absorver a água em contato, aumentando assim o volume da estrutura, causando desagregações e tensões no concreto que, ao superarem a resistência, geram fissuras nos agregados e no concreto. Conforme Vasconcelos (2018), os fatores que corroboram para tal reação são: composição do agregado, porosidade do agregado, disponibilidade de água, permeabilidade do cimento e quantidade de álcalis no cimento.

Estas são agora subdivididas em classes conhecidas de reação: Reação álcali-sílica, reação álcali-silicato, reação álcali-carbonato.

#### *2.4.2.1 Reação álcali-sílica*

É o tipo de reação álcali-agregado em que participam a sílica reativa dos agregados e os álcalis, na presença do  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (hidróxido de cálcio) originado pela hidratação do cimento, formando um gel expansivo (NBR 15577-1, 2008).

De acordo com Diamond (1975 apud NOGUEIRA, 2010), a reação álcali-sílica é mais comum do que a reação álcali-silicato e álcali-carbonato, sendo universalmente considerada como a reação entre os íons alcalinos presentes na solução dos poros do concreto e a sílica amorfa presente nos agregados.

Como em grande parte das rochas utilizadas como agregados no concreto possuem sílica é, portanto esta reação a mais comum, e por esse motivo, a maioria dos estudos publicados, tem se concentrado na reação álcali-sílica.

#### *2.4.2.2 Reação álcali-silicato*

Conforme Sanchez (2007), a reação álcali-silicato é descrita como sendo a reação que ocorre entre os álcalis do cimento e silicatos presentes em feldspatos, folhetos argilosos, argilitos, siltitos e grauvacas ou ardósias, filitos, quartzitos e xistos ou granitos, sendo que ocorrem mais lentamente pelo fato dos minerais estarem disseminados no retículo cristalino.

Um dos prejuízos que a reação álcali-silicato causa é a degradação do concreto armado, pelo fato que o gel formado na reação não ter aderência com a pasta enrijecida de concreto, além de expandir e formar fissuração. Hasparyk (2005), ainda ressalta que as reações álcali-silica e álcali-silicato ocorrem simultaneamente, dificultando o diagnóstico isolado de cada uma.

De acordo com Valduga (2002), a reação álcali-silicato é a mais comum no Brasil, visto que as barragens que possuem esse tipo de reação no país foram construídas com agregados oriundos de quartzitos, granitos, e gnaisse.

#### *2.4.2.3 Reação álcali-carbonato*

A reação álcali-carbonato ocorre quando álcalis provenientes do cimento ou de outra fonte externa reagem com certos calcários com impurezas de argila, onde os álcalis interagem com a dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) formando brucita ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) e calcita ( $\text{CaCO}_3$ ).

Segundo NOGUEIRA (2010), a reação álcali-carbonato caracteriza-se pela formação de pontos de brucita dentro das bordas da reação e halos de carbonatos de cálcio na pasta de cimento, entretanto, esse estágio não denota em expansão ou fissuração.

O comportamento expansivo dos agregados carbonáticos depende de sua textura e não da sua formação litológica afirma QUIÁN et al. (2002 apud NOGUEIRA 2010).

#### *2.4.3 Outras patologias*

No que se refere à corrosão das armaduras, a mesma é caracterizada como a deterioração do aço por ação química ou eletroquímica. Já as desagregações

referem-se à desintegração da massa do concreto, perdendo coesão e resistência, iniciando-se por uma mudança de coloração, fissuras e empolamento (DNIT, 2004).

A corrosão é um ataque destrutivo, de natureza química ou eletroquímica, ocorrendo em meio aquoso, e acontece quando forma-se uma película de eletrólito sobre a superfície das armaduras, causada pela presença de umidade no concreto (ROCHA, 2015). Esse processo enfraquece a estrutura e favorece o aparecimento de outras patologias, como a desagregação do concreto (Figura 7), sendo que dependendo do grau da corrosão, pode ser inviável a recuperação da estrutura (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 7- Corrosão da armadura e desagregação do concreto



Fonte: Bastos e Miranda (2017)

A carbonatação é o resultado da ação do anidrido carbônico ( $\text{CO}_2$ ) sobre o cimento hidratado, transformando-se em hidróxido de cálcio, reduzindo o pH do concreto (CUNHA, 2010).

A reação álcali-agregado é uma reação lenta, acomete certos tipos de sílica e carbonato, e é caracterizada pelo aparecimento de pipocamento e exsudação de um gel, provocando a fissuração, trincas e expansão do concreto (DNIT, 2004).

O desgaste da superfície acontece quando não há uma alta resistência ao atrito da pasta de cimento enrijecida, podendo ocorrer pelo uso continuado, pela abrasão, erosão, cavitação e lixiviação (DNIT, 2004).

A cavitação é a fratura da estrutura em virtude da perda de massa e formação de cavidades, devido à ação de águas correntes, e a lixiviação é a formação de estalactites e estalagmites na superfície do concreto, em virtude do arrastamento do hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) (SARTORI, 2008; SOUZA; RIPPER, 1998).

Os vazios de concretagem são os defeitos causados pela má concretagem, onde há espaços não preenchidos pelo concreto (SOUZA; RIPPER, 1998).

Vitório (2015) ainda cita algumas outras patologias que acometem as pontes de concreto, sendo elas: deslocamento do concreto (Figura 8), abertura excessiva da junta do tabuleiro e esmagamento do concreto (Figura 9), abertura da junta de dilatação do tabuleiro (Figura 10), lixiviação (Figura 11).

Figura 8- Deslocamento do concreto por corrosão das armaduras



Fonte: Inova civil (2022)

Figura 9 - Abertura da junta do tabuleiro e esmagamento do concreto



Fonte: Vitório (2008)

Figura 10- Abertura excessiva da junta de dilatação do tabuleiro



Fonte: Vitorio (2008)

Figura 11 - Lixiviação



Fonte: Mapa da Obra (2017)

## 2.5 Inspeção e avaliação em pontes

Vitorio (2015) afirma que a garantia de maior vida útil e de satisfatórios desempenhos de pontes só é obtida por meio de manutenções, onde estas devem fazer parte de um amplo processo, identificando anomalias e diagnosticando através de vistoria/inspeções periódicas.

A inspeção em pontes é determinada de acordo com a Norma DNIT-010/2004-PRO – Inspeção em Pontes e Viadutos de Concreto Armado e Protendido, bem como a partir da ABNT NBR 9452:2016 (BOETTGER, 2018).

De acordo com o DNIT (2004), as responsabilidades e deveres de um profissional ao realizar a inspeção de pontes são:

#### RESPONSABILIDADES

- Registrar minuciosamente, e com fidelidade, os itens que necessitam de reparos ou serviços de manutenção.
- Zelar pelo patrimônio público.
- Manter a segurança e a funcionalidade das obras e garantir a confiança do usuário.

#### DEVERES

- Planejar as Inspeções.
- Realizar as Inspeções.
- Preparar os Relatórios.
- Identificar os itens que necessitam de reparos e quantificar seus custos (DNIT, 2004).

De acordo com a ABNT NBR 9452:2016, existem quatro tipos de inspeções a serem realizadas em pontes, sendo: inspeção cadastral, inspeção rotineira, inspeção especial e inspeção extraordinária.

##### 2.5.1 Inspeção cadastral

A inspeção cadastral é aquela realizada imediatamente após a conclusão ou instalação da obra, ou quando houver alterações na configuração da obra, devendo conter as informações do roteiro básico, registro fotográfico, desenhos esquemáticos, classificação da Obra de Arte Especial (OAE), e outras informações consideradas importantes para a inspeção (ABNT NBR 9452:2016).

##### 2.5.2 Inspeção rotineira

A inspeção rotineira é a de acompanhamento periódico, visual, podendo utilizar ou não equipamentos e recursos especiais para análise o acesso, sendo realizada em prazo de até um ano, devendo conter as informações básicas da ponte, a classificação da OAE, comentários quantos às alterações do estado geral da OAE em relação à inspeção anterior, ficha de inspeção rotineira com registro de anomalias, registro fotográfico, e outras informações consideradas importantes para a inspeção (ABNT NBR 9452:2016).

### 2.5.3 Inspeção extraordinária

A inspeção extraordinária é aquela solicitada quando há a necessidade de análise de algum dano na estrutura causada por ação humana ou fatores naturais, os chamados danos excepcionais, onde o inspetor avalia a necessidade de limitação ou interrupção das cargas de tráfego, além de uma avaliação dos métodos a serem utilizados na recuperação da obra para o reestabelecimento do tráfego (GIOVANNETTI, 2014).

### 2.5.4 Inspeção especial

A inspeção especial é realizada com periodicidade de cinco ou até oito anos, em obras com classificação de intervalo de longo prazo, com classificação 4 e 5, e obras com total acesso aos seus elementos, deve contemplar mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias, com o objetivo de formular o diagnóstico e prognóstico, podendo ser necessária a utilização de equipamentos especiais para acesso aos componentes (ABNT NBR 9452:2016).

Seu relatório de patologia deve conter a localização da OAE, com rodovia, nome da obra, quilômetros e coordenadas; a descrição da obra, com o descritivo, prancha em formato A1 contendo o cadastro geométrico da obra, fotos com vistas superior, inferior e lateral, histórico da obra, classe portante da obra, relação com código dos desenhos e memoriais da obra, informações do cadastro geométrico com detalhamento de diferenças do projeto original (se houver disponível), condições ambientais e micro ambientais, características do tráfego sobre e sob a OAE; a inspeção, com data, equipamentos utilizados, descrição e caracterização das anomalias detectados, legendas e convenções adotadas, mapeamento das anomalias por elemento estrutural, inspeção individual dos elementos, documentação fotográfica com a identificação do elemento e anomalia, e localização em croquis das fotos; e características dos ensaios se forem realizados (ABNT NBR 9452:2016).

De um modo geral, a inspeção especial deve ser realizada conforme o modelo de ficha de inspeção especial da ABNT NBR 9452:2016, disposta no Anexo I.

### 2.5.5 Avaliação dos elementos da ponte

Para a avaliação das pontes, os elementos são avaliados e dão notas de 1 a 5 para cada um deles, onde a nota 5 se refere a melhor condição possível, e nota 1 se refere à condição precária, onde ao final atribui-se uma nota geral para a ponte, de acordo com a menor nota conferida aos elementos (BOETTGER, 2018). Segundo a ABNT NBR 9452:2016, as notas a serem atribuídas aos elementos são conforme a tabela 3 .

Tabela 3 - Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

Tabela 3 (continuação)

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.	OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.

Fonte: ABNT NBR 9452:2016

## 2.6 Uso de drones na inspeção de pontes

De acordo com a ABNT NBR 9452 (2019), é necessário ter fotos com vistas superior, inferior e lateral das pontes na inspeção, bem como deve ser feito o uso de mapeamento de patologias e documentação fotográfica.

Nas inspeções, o uso de drones oferece muitas vantagens práticas, facilitando a verificação em áreas difíceis, tirando fotos de alta resolução e agilizando os trabalhos (SARKIS; SARKIS, 2016).

O levantamento fotográfico fornecido pelos drones permite detalhar e quantificar precisamente os serviços a serem executados (SARKIS; SARKIS, 2016). O uso é exemplificado pela Figura 12.

Figura 12 - Inspeção de ponte através de drone



Fonte: Civilização Engenharia (2016)

Os drones possuem facilidade em locomoção, em deslocamento vertical e horizontal, alcançam boas alturas e recolhem um grande número de imagens e vídeos, podendo ser incorporados ao gerenciamento de projetos da construção civil, promovendo uma compilação de dados através de registro fotográfico (COUTINHO. FEITAL; COSTA, 2017).

Em virtude dessas facilidades, diversos estudos têm surgido a partir do uso de drones. Seo et al. (2018) realizou um estudo investigando as anomalias em uma ponte de madeira e concreto na cidade de Keystone, nos Estados Unidos da América, onde inicialmente identificou a estrutura, posteriormente realizou uma avaliação da região da estrutura, de modo a analisar os riscos de falha do drone,

após realizou um voo teste para calibrar o drone, e somente depois realizou a investigação. Os autores compararam os dados gerados pelo drone com um relatório de inspeção convencional já realizado, e observaram que o drone fornece uma melhor identificação das patologias, conseguindo captar ainda mais danos que haviam sido identificados na inspeção convencional.

Sarkis e Sarkis (2016) utilizaram drones para inspecionar três pontes no estado do Espírito Santo, no Brasil, e concluíram que essa ferramenta permite uma captação de imagens de patologias pontuais e disseminadas, facilitando um posterior mapeamento de patologias, além de o drone ter facilitado na execução da inspeção, não sendo necessário paralisar a ponte para ser inspecionada.

## **2.7 Normativas para o uso de drones**

De acordo com Santana (2018), a partir de 2017, houve a publicação de normativas referentes ao uso de drones, tecnicamente chamados de VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado, sendo a Portaria 282/DGCEA, do Departamento de Controle do Espaço Aéreo, e o Regulamento RBAC 94 da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC este último aprovado pela Resolução nº 419, de 02 de maio de 2017.

Segundo Brasil (2017), através da Resolução nº 419, de 02 de maio de 2017, para a operação de drones, o piloto deve ter idade igual ou superior a 18 anos, possuir um Certificado Médico Aeronáutico (CMA), possuir licença e habilitação emitida ou validada pela Agência Nacional de Aviação Civil, além de determinar a proibição do transporte de pessoas, animais, artigos perigoso ou alguma carga proibida por autoridade competente.

Ainda segundo Brasil (2017), os drones só podem ser operados a uma distância horizontal de 30 metros de aglomerações de pessoas, além de serem limitados a 40 metros de altura nas zonas urbanas, e 50 metros de altura na zona rural, e cada piloto só pode operar um equipamento de cada vez.

Segundo Sarkis e Sarkis (2016) a utilização de drones para inspecionar pontes permite uma captação de imagens de patologias pontuais e disseminadas, facilitando um posterior mapeamento de patologias, além de o drone facilitar na realização da inspeção, não sendo necessário paralisar a ponte para ser inspecionada. Existem normativas específicas para o uso de VANT (Veículos Aéreos

Não tripulados ou drones), sendo necessário atentar a portaria 282/DGCEA do Departamento de Controle do Espaço Aéreo e o regulamento RBAC da Agência Nacional de Aviação Civil.

A principal premissa dessa portaria é que uma Aeronave Remotamente Pilotada é uma aeronave e, por conseguinte, para voar no espaço aéreo sob responsabilidade do Brasil, deverá seguir as normas estabelecidas pelas autoridades competentes da aviação nacional.

## **2.8 Resultados LSE (Laboratório de sistemas estruturais)**

Segundo relatório do LSE-BRD-2016-04-20170315/RF-AE-01 (2017), a ponte sobre o Rio Tocantins, na rodovia TO-255 possui uma pista com faixa simples para os sentidos entre Porto Nacional e Fátima-TO. A ponte possui um tabuleiro com dimensões de 900 metros de comprimento e 13,40 metros de largura, apoiado em nove pilares, distanciados entre si por 97,80 metros, formando oito vãos, e em dois encontros, distanciados dos pilares adjacentes de 58,80 metros.

De acordo com os relatórios do LSE (2017), os principais danos observados nos pilares são fissurações na primeira fase da vida útil da estrutura estendendo-se até a segunda fase, decorrente principalmente de reações álcali agregado (RAA), cuja presença foi identificada e demonstrada também em relatórios anteriores do LSE, quando foram realizadas investigações em material extraído da estrutura e submetidos à análise petrográfica no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Durante a segunda fase da vida útil da ponte vem sendo identificada uma ampliação da fissuração da estrutura atingindo tubulões, blocos, pilares e tabuleiro, principalmente nos pilares, que havia registros de fissuração na primeira fase da vida útil da estrutura.

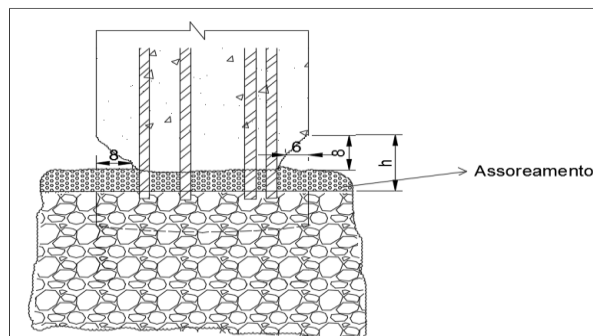
Algumas destas, como fissurações e trincas, foram visualizadas com frequência nos pilares da ponte de Porto Nacional e são resultantes principalmente de reações nas estruturas do concreto, como a reação álcali-agregado (RAA) que ocorre, segundo Nogueira (2010), devido a processos químicos da reação de compostos mineralógicos e agentes externos, os quais são dissolvidos na solução dos poros do concreto, é uma das manifestações patológicas de maior grau de

deterioração do concreto e de enorme dificuldade de recuperação, devido a fatores ambientais que prejudicam a segurança e durabilidade da estrutura.

A excessiva fissuração presente na estrutura pode ser consequência da fragilidade do concreto à exposição a fatores ambientais (alta temperatura e umidade), por esta razão o concreto recebe uma tensão maior de tração da parte superior, gerando um estado de fadiga da estrutura. Além disso, segundo relatório do LSE (2017) realizado na ponte de Porto Nacional, foram identificadas degradações das armaduras em pilares, decorrentes da reação álcalis agregado.

Conforme relatórios anteriores do LSE houve redução da seção transversal do tubulão 1 no contato tubulão-rocha, do apoio P4 (Figura 13). Apesar de não haver sido identificada outras reduções de seção nos demais tubulões, o problema identificado no tubulão 1 é grave, haja visto que se trata da fundação da estrutura, a qual é primordial para a segurança da OAE.

Figura 13 - Redução da seção transversal observada no tubulão 1 do apoio P4



Fonte: LSE (2017)

### **3 METODOLOGIA**

O presente trabalho é um estudo de caso do tipo descritivo, explicativo, de abordagem quali-quantitativa.

#### **3.1 Tipo e finalidade de estudo**

Segundo PRODANOV e FREITAS (2013), um estudo de caso é uma pesquisa em que se aprofunda nas características do assunto analisado, promovendo um maior conhecimento sobre o objeto de estudo.

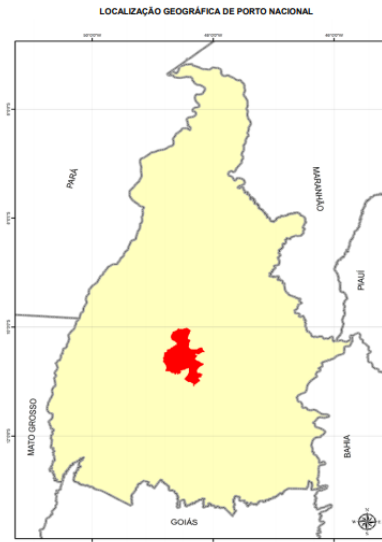
A pesquisa descritiva é definida como aquela que visa escrever, analisar e verificar a relação entre fatos e fenômenos existentes na pesquisa, realizando investigações detalhadas para um melhor entendimento quanto às causas e consequências daquilo que é pesquisado (PRODANOV; FREITAS, 2013). Enquanto que a explicativa é aquela que visa identificar os fatores que contribuem para a ocorrência dos fenômenos, buscando o porquê de cada (GIL, 2008).

A finalidade desta pesquisa foi caracterizar o estado de conservação dos pilares P2 a P5 da ponte de Porto Nacional-TO, através de inspeções visuais sob as diretrizes da NBR 9452:2016 para análise comparativa com os relatórios produzidos pelo LSE no ano de 2017.

#### **3.2 Descrição do objeto de estudo**

A pesquisa foi realizada na ponte de Porto Nacional – TO, que liga a cidade à BR-153. De acordo com a Diretoria de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins (2013), o município de Porto Nacional possui uma área extensa, com 4.478,52km, suas coordenadas geográficas são: -10°42'29" de latitude, 48°25'02" de longitude. Em virtude da sua extensão, o município de Porto Nacional possui distritos e povoados distantes entre si, entre eles: Pinheirópolis, Escola Brasil e Luzimangues. Para o acesso desses à cidade, o menor trajeto se dá pela TO-255, com acesso pela ponte da cidade de Porto Nacional.

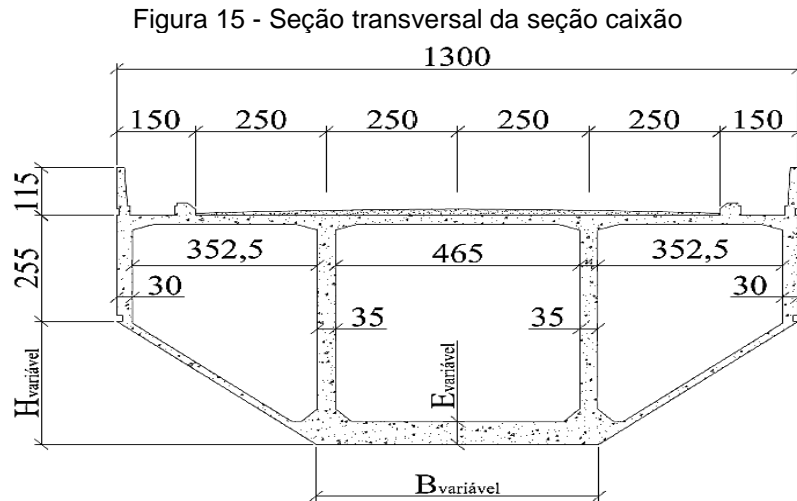
Figura 14: Localização Geográfica da cidade de Porto Nacional



Fonte: (Diretoria de pesquisas e informações econômicas, 2017)

A ponte possui um tabuleiro com dimensões de 900 metros de comprimento e 13,40 metros de largura, apoiado em nove pilares, distanciados entre si por 97,80 metros, formando oito vãos, e em dois encontros, distanciados dos pilares adjacentes de 58,80 metros. Os pilares são fixados em um bloco de fundação de base 10,6m x 8m, corando cinco tubulões com 1,6m de diâmetro, além de a ponte possuir uma superestrutura formada por caixões de seção unicelular variável, e grelhas apoiadas em dentes Gerber, com aparelhos de apoio de Neoprene fretados (LSE, 2017).

A estrutura do encontro se trata de um pórtico formado por dois tubulões de um metro de diâmetro uma viga transversina de seção retangular de 1,2m x 1m. No meio da ponte, os pilares alcançam a maior altura, com 32 metros, e altura do caixão do balanço com 5,51m (LSE, 2003; LSE, 2017). A Figura 15 apresenta seu corte transversal.



Fonte: LSE (2017)

### 3.3 Coleta de dados

A coleta de dados ocorreu a partir de uma inspeção especial, determinada pela ABNT NBR 9452:2016, juntamente a um levantamento fotográfico, que aconteceu por inspeção visual a partir de verificação com embarcação, e inspeção visual por drone (Dji Phantom 4 Plus).

A inspeção foi realizada nos pilares, em virtude de os mesmos serem considerados pela ABNT NBR 9452:2016 como elementos principais, por serem comprometedores, onde o dano pode levar ao colapso parcial ou total da obra. A inspeção especial realizada neste trabalho foi através da análise e interpretação a olho nu dos componentes estruturais de cada ponte, conforme os parâmetros definidos pela NBR mencionada.

Não foram realizados ensaios, visto que o objetivo do estudo se refere apenas à inspeção visual das patologias.

### 3.4 Caracterização e plano de voo

A inspeção ocorreu por meio da verificação por drone, o qual era manuseado de dentro de uma embarcação, esta era posicionada ao redor de cada pilar, conforme a face do pilar almejada para a captura das imagens.

O modelo de drone ( Figura 16) utilizado para inspeção desta pesquisa foi o Dji Phantom 4 Plus, de fabricação chinesa composto por quatro hélices é um

dispositivo avançado e capaz de resistir a ventos de até 10m/s (36km/h), além de ser capaz de chegar a velocidades de até 72km/h, funcionando por até 30 minutos com uma única carga. Pesando 1.388 gramas, ele possui uma distância máxima de alcance de 7 km e altura máxima de 6 km. Possui uma câmera compacta avançada de 20 MP CMOS (5472x3648) para captação de imagens.

Figura 16: Drone modelo Dji Phantom 4 Plus, preparado para decolagem.



Fonte: Autora (2020)

O drone é controlado por um aplicativo, que deve ser usado em um tablet ou celular, conectado ao controle, garantindo a transmissão de dados e o acompanhamento direto da execução do voo. Sua montagem é bem simples: basta inserir a bateria e encaixar as quatro hélices. As operações são feitas por meio de um aplicativo, o DJI GO, com ele é possível o acompanhamento em tempo real do sobrevoo, envio de comandos de pouso, mudanças de direção ou tomada de imagens.

A interface do programa mostra informações relevantes com relação ao nível de bateria, temperatura ambiente, altitude, posição, duração e velocidade do voo, velocidade do vento, resolução e sobreposição longitudinal e latitudinal da área a ser sobrevoada, altitude e tempo de voo. O aplicativo também permite controlar a exposição, como em uma câmera profissional. Há também um modo automático, que determina tudo isso de acordo com o que a câmera achar melhor. Ele já vem de fábrica com 120 metros de altura ativados. Pelo software, é possível aumentar essa configuração, mas não é recomendado usar o drone em sua altura máxima, segundo a fabricante.

### 3.5 Procedimentos para captura das imagens com o drone

O sentido adotado tem como ponto inicial de partida do drone a cidade de Porto Nacional como referência, e os pilares enumerados de acordo com o sentido adotado de forma que a análise das informações possa estar organizada, aumentando o entendimento e confiabilidade do estudo, e facilitando a identificação do local da patologia no pilar.

A ordem de contagem dos pilares desse estudo seguiu a nomenclatura sugerida pelo relatório do LSE (2017), isto é, o pilar mais próximo da margem direita do Rio Tocantins, o lado de Porto Nacional, é o P1 (Pilar 1) e assim sucessivamente até o pilar P9 localizado próximo da margem esquerda do Rio Tocantins, o lado da cidade de Fátima.

As faces dos pilares, também adotando o sentido de Porto Nacional para Fátima conforme relatório LSE (2017), ficam definidas em jusantes (lado direito do rio) e montantes (lado esquerdo do rio). Os pilares inspecionados nesta pesquisa foram P2, P3, P4 e P5, com maior enfoque no pilar 4, devido este apresentar maior grau de deterioração.

O experimento foi realizado no dia 16 de setembro de 2020, na parte da tarde, o clima estava ensolarado e ventos moderados, o que possibilitou de maneira eficaz o procedimento para captura de imagem e estabilidade do VANT no ar.

Com o drone, posicionado na embarcação, como mostra a Figura 16, iniciou-se a decolagem, o ponto de partida foi a cerca de 3 metros do primeiro pilar a ser inspecionado (P2), sendo decolagem e pouso controlados por um controle remoto conectado ao VANT, com acompanhamento em tempo real das imagens a serem capturadas. Cada voo teve duração média de 7 minutos e 30 segundos, foram definidas imagens tanto mais próximos da estrutura quanto um pouco mais distante, sendo assim possível obter imagens focadas na patologia e também na estrutura como um todo, haja vista que as manifestações patológicas estão presentes em todo o pilar. Em cada pilar foram tiradas aproximadamente oito fotos, sendo estas distribuídas em cada uma das faces do pilar analisado.

Após a realização do procedimento as imagens foram extraídas do cartão de memória do dispositivo e posteriormente analisadas em um computador, partindo logo depois para análise comparativa referente às imagens dos pilares presentes no relatório LSE-BRD-2016-04-20170315/RF-AE-01- Inspeção visual da estrutura da

ponte sobre rio Tocantins, Porto Nacional -TO, de 15 de março de 2017, levando em consideração se houve ou não evolução dos problemas anteriormente relatados nos respectivos pilares da estrutura.

A “Tabela 1 - Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e durabilidade” apresentada neste trabalho será preenchida de acordo com as imagens obtidas seguindo as orientações da NBR 9452 de 2016.

### **3.6 Classificação e processamento do resultado das inspeções**

Conforme a NBR 9452:2016 a cada parâmetro analisado das pontes é atribuído uma nota de classificação, sendo elas: crítica (1), ruim (2), regular (3), boa (4) e excelente (5) de acordo com parâmetros estruturais, de durabilidade e de funcionalidade de cada item.

Todas as anotações e o acervo fotográfico foram armazenados e, posteriormente, levados para estudo, análise e transferência dos dados para o computador, e usados na confecção dos resultados, discussões e conclusões presentes nesse trabalho.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Com o intuito de verificar a evolução das manifestações patológicas na OAE, foram analisados os diagnósticos feitos pelo LSE em 2017, juntamente da inspeção realizada nesse estudo.

Nesta pesquisa não foram realizados ensaios, entretanto os resultados obtidos nos ensaios realizados pelo LSE serão utilizados para averiguar a evolução e/ou corroborar a existência das manifestações patológicas já descritas pelo laboratório. Os resultados obtidos estão abordados nos tópicos seguintes.

### **4.1 Inspeção visual das patologias na ponte de Porto Nacional - TO**

Para avaliar os danos nos pilares da ponte, a principal ferramenta de comparação utilizada para análise das patologias foi a utilização de inspeções visuais oficiais anteriores e subsequentes na ponte de Porto Nacional, pelo Laboratório de Sistemas de Estruturas – LSE. A partir de novas inspeções visuais realizadas para esta pesquisa, observou-se tímida evolução das patologias, com aumento em número das fissuras, de forma subjetiva, visto que a observação foi apenas visual, e não foram realizadas medidas do tamanho das fissuras, sendo organizadas por pilares em ordem crescente, do pilar 2 até o pilar 5.

O principal objetivo da inspeção visual realizada foi avaliar a evolução dos danos estruturais que vem afetando o desempenho e a durabilidade da estrutura, tomando como referência os danos identificados na inspeção realizada pelo LSE no ano de 2017.

Após a realização da inspeção visual da ponte através de registros fotográficos de visita in loco e uso do VANT, foram observadas diversas manifestações patológicas, sendo predominante a reação álcali-agregado nos pilares inspecionados.

### **4.2 Patologias dos pilares**

As imagens a seguir, foram registradas nas inspeções visuais desta pesquisa com uso de drone, observa-se nos pilares P2, P3, P4 e P5, a reação álcali agregado, identificada pelas fissuras verticais na superfície provocadas pela reação

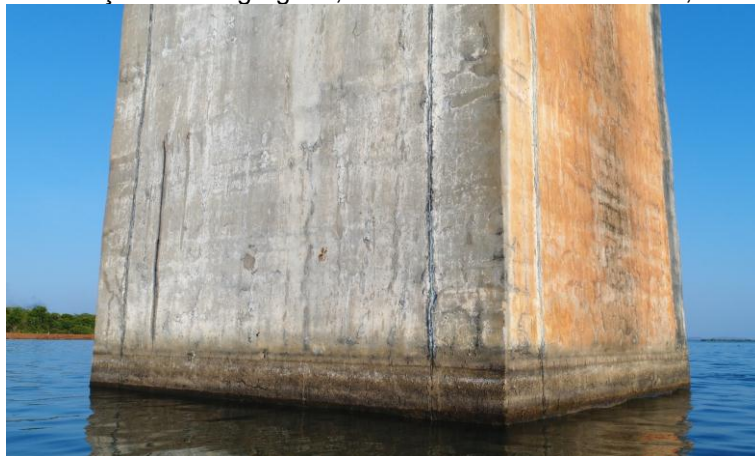
dos componentes dos agregados do concreto com os álcalis do cimento, potencializado pela intensa exposição à umidade.

Figura 17: Reação álcali-agregado, manchas de umidade em P2, face montante



Fonte: Autora (2020)

Figura 18: Reação álcali-agregado, eflorescências e lodo em P2, face jusante



Fonte: Autora (2020)

O pilar 2 apresenta sinais evidentes da reação álcali-agregado, (Figura 17 e Figura 18), além disso, na parte inferior da estrutura identificou-se o surgimento de lodos, os quais segundo Verçoza (1991 apud da Paz, 2016) são ocasionados devido à umidade e infiltrações, principais colaboradores no surgimento de eflorescência, lodos e ferrugens, além de ser considerada uma das patologias de mais difícil correção e manejo.

Figura 19: Reação álcali-agregado, e sinais de corrosão das armaduras na face Fátima pilar 3



Fonte: Autora (2020)

Figura 20: Reação álcali-agregado, manchas de umidade e lodo na face jusante pilar 3



Fonte: Autora (2020)

No pilar 3, observa-se intensa ação da RAA, visíveis nas Figuras 19 e 20, além de rachaduras contínuas com exposição da armadura por toda a extensão da estrutura. A coloração avermelhada dominante na face Fátima deste pilar é sugestiva do processo de corrosão, visto que o produto dessa reação é o surgimento dessa coloração, e na parte inferior, mais próxima da água, muitas fissuras foram identificadas juntamente com a incidência de infiltrações.

O desgaste por abrasão é um desgaste que ocorre devido ao arraste, fricção ou atrito causado por diversos fatores como água, passagem de pessoas, embarcações e até mesmo pelo ar. A erosão se dá pela movimentação do ar ou da água, que desgastam a superfície do concreto devido às partículas que carregam. E a cavitação é o processo do impacto de bolhas de vapor geradas devido à alta velocidade da água, que implodem devido às regiões de maior pressão.

Figura 21: Reação álcali-agregado, nichos de concretagem, muitas fissuras na parte do pilar rente a água na face montante em P4



Fonte: Autora (2020)

No pilar 4, assim como em algumas faces dos demais pilares, nota-se a presença de coloração avermelhada, este é um sinal da produção de óxido ferroso da armadura produzido pelo processo de corrosão na estrutura. As bases do pilar apresentam rachaduras, deslocamento do concreto e exposição da armadura, o que representa um dos fatores mais agravantes que podem levar uma determinada obra à ruptura (VITÓRIO, 2008).

Figura 22: Abrasão por atrito com a água e fissuras na face Fátima em P4



Fonte: Autora (2020)

Já nos pilar 4 existem nichos de concretagem e armadura aparente, como mostra as Figuras 21 a 24 . As manifestações patológicas citadas são decorrentes, principalmente, da má vibração do concreto. Uma das possibilidades para o surgimento dos nichos de concretagem é a falta de espaçadores no fundo das

formas, alta taxa de armadura, a qual impede que os agregados graúdos se distribuam corretamente dentro da forma, ou ainda por vibração ineficiente durante a concretagem. Porém, a determinação real da causa da manifestação só poderá ser determinada com uma avaliação mais minuciosa e a realização de ensaios laboratoriais, os quais não faziam parte do objetivo deste trabalho.

Figura 23: Manchas de infiltração na face Porto Nacional em P4



Fonte: Autora (2020)

Figura 24: Eflorescência, nichos de concretagem e bolor na face jusante em P4



Fonte: Autora (2020)

Analisando a estrutura do pilar 4, identificou-se RAA em toda sua extensão, intensa fissuração, falha na concretagem e degradação do concreto com exposição da armadura. Além disso, lodo causado pelas infiltrações também são frequentes.

O deslocamento do concreto ocorre em consequência da corrosão das armaduras o que provoca a perda da durabilidade e da segurança da estrutura. As fissuras, conforme bibliografia, contribuem para o surgimento das infiltrações além

de acelerar a degradação do concreto, se medidas corretivas não forem providenciadas.

Figura 25: Produtos resultantes da oxidação, fissuras, infiltrações e lodo na face jusante em P5



Fonte: Autora (2020)

Nessa região do pilar 5, conforme Figura 25 foram observadas armaduras expostas, o que possivelmente ocorreu em consequência à carbonatação oriunda da infiltração de água em trincas, fissuras ou rachaduras ocorridas nesta parte do elemento estrutural o que veio a causar a corrosão das armaduras e o desgaste do concreto, esta manifestação patológica também pode ser encontrada nos demais pilares da estrutura.

Figura 26: Reação álcali-agregado na face montante em P5



Fonte: Autora (2020)

Na análise do pilar 5 foram identificadas trincas e fissuras, que provavelmente foram as causas iniciais de uma infiltração que ocasionou o lodo nas

partes laterais do mesmo, como demonstrado na Figura 26. Além disso, alguns pontos de desagregação do concreto são visíveis.

### 4.3 Análise comparativa dos pilares

As imagens registradas servem de estudo comparativo com os relatórios do LSE, para avaliar a evolução das principais manifestações patológicas na ponte citada neste estudo. Adiante, as fotos do relatório LSE 2017 foram dispostas lado a lado com as imagens obtidas nesse estudo para comparação visual e constatação da possível evolução das patologias.

Como já mencionado, não foram realizados ensaios de nenhuma espécie na ponte, apenas inspeções visuais. E considerando que as imagens foram capturadas em épocas do ano distintas, conseqüentemente o nível da água também apresenta marcos diferentes. A qualidade dos aparelhos fotográficos, ângulo e iluminação são diferentes daqueles utilizados pelo LSE, sendo assim, todas as comparações apresentadas a seguir são meramente possibilidades.

Figura 27: Fissuras na face jusante do pilar 2



Fonte: LSE (2017)

Figura 28: Fissuras na face jusante do pilar 2



Fonte: Autora (2020)

Nestas imagens do pilar 2, mostradas nas Figuras 27 e 28, apresentam a face jusante do pilar 2, o que é possível notar é a acentuação da RAA, demonstrada pela coloração avermelhada na base do pilar, mais visível na imagem feita pela

autora. Também na base do pilar, na imagem á direita verifica-se uma linha branca, que não é tão visível na foto do LSE, essas manchas brancas são característica da manifestação patológica eflorescência.

Figura 29: Fissuras e RAA na face montante do pilar 2



Fonte: LSE (2017)

Figura 30: Fissuras e RAA na face montante do pilar 2



Fonte: Autora (2020)

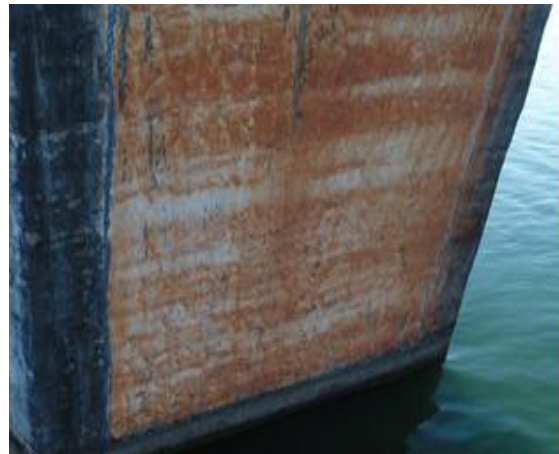
Nas figuras 29 e 30, representadas pela face montante do pilar 2, observa-se o aumento em número e na espessura das fissuras registradas pelo LSE, provavelmente provocada pela reação álcali-agregado. Além disso, na base do pilar próximo ao nível da água na imagem de 2020, é evidente o processo erosivo sendo desencadeado pelo constante atrito com a água.

Figura 31: Fissuras na face Porto Nacional do pilar 3



Fonte: LSE (2017)

Figura 32: Fissuras na face Porto Nacional do pilar 3



Fonte: Autora (2020)

Nestas imagens das figuras 31 e 32, a cor avermelhada sugere processo corrosivo, que tem sua origem com a reação álcali-agregado. Observa-se aumento do volume estrutural, caracterizado pelo enrugamento da face Porto Nacional do pilar 3, essa manifestação patológica é oriunda da RAA que absorve a água em contato, aumentando assim o volume estrutural, causando desagregações e tensões no concreto que, ao superarem a resistência, geram fissuras nos agregados e no concreto, mostradas nas Figuras 33 e 34.

Figura 33: Fissuras e reação álcali-agregado na face Fátima do pilar 3.



Fonte: LSE (2017)

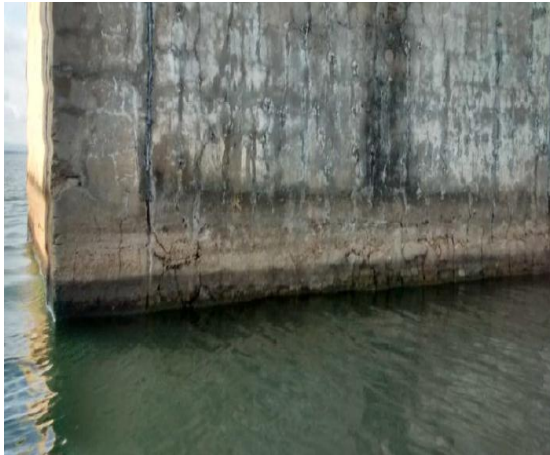
Figura 34: Fissuras e reação álcali-agregado na face Fátima do pilar 3.



Fonte: Autora (2020)

O pilar mais afetado da estrutura é o pilar 4. Nele foram encontradas as seguintes anomalias: corrosão das armaduras, desagregação, deslocamento, fissuras, manchas de bolor e sinais de esmagamento. Por conta do grau de intensidade dessas manifestações, não só no pilar 4, mas especialmente nele, gerou-se um nível de deterioração crítico no elemento, comprometendo a ponte e levando à sua interdição.

Figura 35: Fissuras e RAA na face jusante do pilar 4



Fonte: LSE (2017)

Figura 36: Fissuras e RAA na face jusante do pilar 4.



Fonte: Autora (2020)

Na face jusante do pilar 4, representadas pelas imagens 35 e 36, é notável o aumento em número das fissuras espessas e orientadas em direção à armadura, também originadas pela reação álcali-agregado. Nas figuras 37 e 38, observa-se acentuação na quantidade de fissuras mapeadas e intensificação da cor escura das manchas de infiltração.

Figura 37: Fissuras e reação álcali-agregado na face montante do pilar 4



Fonte: LSE (2017)

Figura 38: Fissuras e reação álcali-agregado na face montante do pilar 4



Fonte: Autora (2020)

Nas imagens 39 e 40 apresentadas abaixo, mostram a face Porto Nacional do pilar 4 nela é nítido o aumento na espessura das fissuras, gerando erosões e conseqüentemente mais infiltração de água na estrutura.

Figura 39: Fissuras na face Porto Nacional do pilar 4



Fonte: LSE (2017)

Figura 40: Fissuras na face Porto Nacional do pilar 4



Fonte: Autora (2020)

Figura 41: Fissuras e RAA na face Fátima do pilar 4



Fonte: LSE (2017)

Figura 42: Fissuras e RAA na face Fátima do pilar 4



Fonte: Autora (2020)

A partir da comparação das imagens dos pilares, com as imagens do relatório do LSE, pode-se retificar que o Pilar 4 possui um grau maior de deterioração, fato que pode ser explicado pela redução da seção transversal do tubulão 1 desse pilar, sendo acelerado pelo fator umidade, e ocasionando também o rebaixamento do greide da ponte. Nas figuras 41 e 42 mostradas acima, é possível observar a quantidade de fissuras na face Fátima do pilar 4.

Figura 43: Fissuras e reação álcali-agregado na face montante do pilar 5.



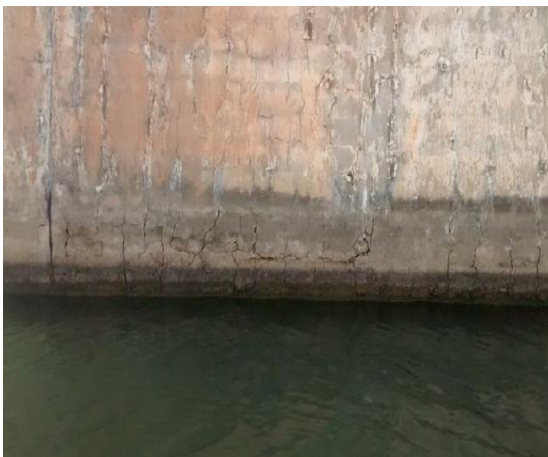
Fonte: LSE (2017)

Figura 44: Fissuras e reação álcali-agregado na face montante do pilar 5.



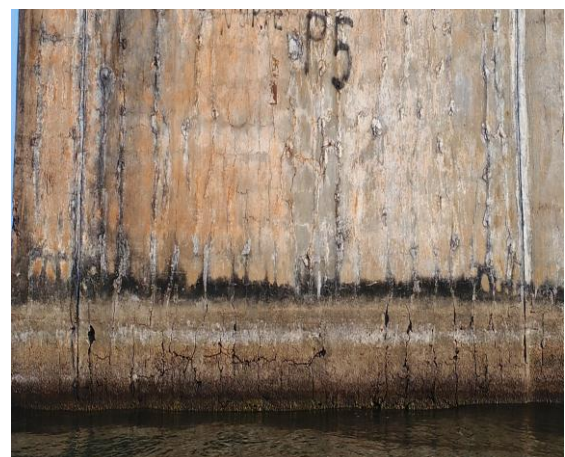
Fonte: Autora (2020)

Figura 45: Fissuras na face jusante pilar 5



Fonte: LSE (2017)

Figura 46: Fissuras na face jusante pilar 5



Fonte: Autora (2020)

É possível enxergar as manchas de bolor em grandes extensões, a infiltração, e eflorescências em todos os pilares da estrutura, como mostram as Figuras 43, 44. As imagens 45 e 46, mostram a face jusante do pilar 5 nela ocorre o aumento das manchas de infiltração, fissuras mapeadas e as armaduras encontram-se mais expostas nas fotos de 2020. Todas essas manifestações patológicas tem como origem de mecanismo a água, a diferença está na sua permanência. Para ocorrerem manchas de bolor, é necessário que haja umidade constante. Isso é fato, na ponte estudada, pois o ambiente é altamente úmido devido ao rio o qual a mesma transpõe.

Ao avaliar as patologias nas estruturas dos pilares, constata-se que a reação álcali agregado é a manifestação patológica mais presente em todos os elementos

inspecionados. As pontes são situadas em localidade de alta umidade, propiciando a ocorrência desta reação. Como é o caso da ponte estudada que vivencia condições de umidade constante e temperaturas elevadas.

Concluídas as inspeções e analisados seus dados, foi feita a classificação dos pilares, com base na NBR 9452 (ABNT, 2016), atribuindo-se notas de 1 a 5 para cada parâmetro, sendo a nota 5 excelente, nota 4 boa, nota 3 regular, nota 2 ruim e nota 1 crítica, conforme tabela 4.

Tabela 4: Classificação da mesoestrutura segundo os parâmetros estruturais e de durabilidade conforme o Anexo E da NBR 9452:2016

PONTE DE PORTO NACIONAL						
Categoria	Sistema Estrutural	Elemento	Condição Verificada	Nota de classificação		
				Estrutural	Durabilidade	
MESOESTRUTURA	PILAR	P	P2	Reação álcali-agregado; manchas de umidade; fissuras; eflorescência e lodo.	1	2
	PILAR	P	P3	Reação álcali-agregado; corrosão das armaduras; fissuras e lodo.	1	2
	PILAR	P	P4	Reação álcali-agregado; corrosão das armaduras; fissuras; lodo; nichos de concretagem e desgaste por abrasão.	1	1
	PILAR	P	P5	Reação álcali-agregado; oxidação; fissuras; infiltrações e lodo.	1	1

Fonte: Autora (2020)

Com base nos dados da Tabela 4, e como já era esperado, todos os pilares analisados obtiveram nota 1 no parâmetro estrutural, e a reação álcali-agregado presente de forma intensificada nos quatro pilares, evidenciada pelas fissuras na superfície provocadas pela reação dos componentes dos agregados do concreto com os álcalis do cimento.

A excessiva fissuração presente na OAE, juntamente com as condições ambientais, podem ter sido a causa do surgimento da corrosão nas armaduras ao longo dos pilares, agravando ainda mais a situação dos elementos da

mesoestrutura, conforme ilustrado nas figuras apresentadas neste estudo. E ainda, é visível na pista de rolamento que houve redução na seção transversal de alguns pilares.

Segundo relatório LSE (2017), a danificação estrutural da ponte de Porto Nacional é conhecida desde sua construção, quando foi identificada a presença de agregados potencialmente reativos, oriundos da região. Como se sabe, a presença de agregados potencialmente reativos e a umidade são fatores preponderante para o surgimento da reação álcali-agregado (RAA), assim, a ação química desta reação vem danificando as peças estruturais, comprometendo a durabilidade e a segurança estrutural até a presente data.

De todos os pilares analisados e comparados, verificou-se que o pilar 4 apresentou mais avanços patológicos do que os demais, sobretudo, devido à problemática do tubulão. Nos demais pilares as patologias sofreram poucas alterações de 2017 a 2020, com aparecimento de mais algumas fissuras, avanço tímido da reação álcali-agregado e algumas trincas nas regiões dos pilares próximas ao nível da água.

Na tabela 5, apresentada a seguir tem-se a comparação das mudanças nas patologias de 2017 (relatório LSE) a 2020 (presente pesquisa):

Tabela 5: Comparação da evolução das patologias de 2017 a 2020 na ponte de Porto Nacional – TO.

<b>Análises</b>	<b>Relatório LSE (2017)</b>	<b>Registro da Pesquisa (2020)</b>
<b>Principais achados</b>	Ampliação da fissuração de segunda fase da estrutura, trincas em regiões próximas ao nível da água, reação álcali-agregado.	Extensão das fissurações e trincas dos pilares.  Avanço da reação álcali agregado.
<b>Pilares Acometidos</b>	P2, P3, P4 e P5	Sobretudo em P4

Fonte: Autora (2020)

A partir da tabela 5 pode-se inferir que os danos aos pilares da ponte de Porto Nacional – TO, quando se compara o relatório do LSE de 2017 com a

pesquisa de campo deste estudo, sofreram avanços tímidos, ressaltando-se um dano maior no pilar 4 devido ao problema no tubulão e das fissuras nos blocos de fundações e nas bases dos pilares, com rachaduras acelerando, dessa forma, o processo de deterioração da ponte.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O referencial teórico trouxe a contribuição de estudiosos para que o estudo pudesse ser desenvolvido. Dentre os pontos abordados foi evidenciado as fases de construção das pontes e as inspeções realizadas a fim de avaliar o grau dos danos de ações humanas ou naturais, de forma periódica para classificar as condições dos elementos da ponte e garantir maior segurança no tráfego. Pôde ser analisado que as fissuras estão presentes em praticamente todas as pontes citadas na literatura, sendo considerada a mais comum, e foi também a anomalia mais encontrada na ponte de Porto Nacional.

Tendo em vista tal fato, o uso de VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), como o drone, mostrou muita utilidade na captação de imagens, fato este possibilitado pelo acesso a diferentes locais de forma rápida e segura, aliados ao custo relativamente baixo para utilização do equipamento. As análises, in loco de alguns dos pilares da Ponte de Porto Nacional, foram realizadas de forma mais ágil e ampla na detecção de manifestações patológicas como fissuras, manchas, trincas.

Com este trabalho foi possível atestar o quanto a tecnologia atrelada a construção civil, otimiza custos e tempo na detecção de problemas em obras de difícil acesso e tende a crescer no mercado de trabalho. Considerando que os pilares da OAE estudada, foram inspecionados em 2003 pelo LSE utilizando um guindaste com lança apoiado em uma balsa, e comparado com os drones aqui utilizados, nota-se a facilidade e agilidade obtidas com uso da tecnologia.

É importante salientar que em inspeções mais detalhadas é de suma importância o contato do profissional com os problemas da OAE, haja vista algumas limitações do drone, entretanto o uso do VANT se mostra vantajoso principalmente para que se tenha uma análise preliminar da situação de uma estrutura.

Ao analisar os dados levantados, é nítido que a condição física da ponte de Porto Nacional gera muita preocupação, o que ocasionou o fim da sua vida útil, a mesma será substituída por outra OAE que já se encontra em fase de construção. A condenação da ponte, atestada por inúmeros estudos anteriores a este, se justifica pela presença de fissuras oriundas da reação álcali-agregado, trincas e outras patologias, em quase toda a estrutura da ponte, que muito provavelmente,

ocorreram devido a problemas de manutenção ou intervenção preventiva, de danos advindos de fenômenos naturais e das condições de uso pelo homem.

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Como sugestão para trabalhos futuros a realização de trabalhos utilizando outras metodologias e abrangendo todos os pilares a fim de comparar o estado em que se encontram, com execução de ensaios permitindo um diagnóstico mais aprofundado das anomalias encontradas na ponte.

Também, podem ser realizadas inspeções subaquáticas nos pilares estudados neste trabalho e nos demais, para que seja avaliada a evolução dos danos nestes elementos, já que o assoreamento no tubulão 1 do pilar 4 é grave e fator determinante na condenação da estrutura. Entretanto, não com o objetivo de recuperação da ponte, pois esta não é mais uma possibilidade, contudo entender a dinâmica e o processo de deterioração são válidos como enriquecimento da bibliografia pertinente ao assunto.

Sugere-se a ampliação deste estudo, fazendo uso de drones capazes de capturar imagens dos aparelhos de apoio da mesoestrutura, visto que esta foi uma limitação deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

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

BASTOS, Herik César do Nascimento. MIRANDA, Mateus Zanirate. **Principais patologias em estruturas de concreto de pontes e viadutos:** manuseio e manutenção das obras de arte especiais. Revista Construindo, v. 9, ed. Especial de patologia, p. 93-101, Belo Horizonte, 2017.

BOETTGER, Ana Elisa. **Análise dos métodos de avaliação de pontes do Brasil, Estados Unidos e Japão aplicados a um estudo de caso.** Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2018.

BONATO, Luciano Cezar. **REAÇÃO ALCALI-AGREGADO, PRINCIPAIS CAUSAS E ESTUDO DE REATIVIDADE POTENCIAL.** 2015. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campos Mourão, 2015. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6288/3/CM\\_COEI\\_2014\\_2\\_07.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6288/3/CM_COEI_2014_2_07.pdf). Acesso em: 04 nov. 2021.

BRASIL. **Resolução nº 419, de 02 de maio de 2017.** Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial nº 94. 2017.

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

CARNAÚBA, Karla Soares. **Manifestações patológicas em pontes sobre a rodovia AL-220, no trecho entre Delmiro Gouveia e Olho D'água do Casado – AL.** Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia – AL, 2017.

COSTA, V. M. **Desempenho e reabilitação de pontes rodoviárias:** aplicação a casos de estudo. Dissertação (mestrado), Universidade de Minho, Braga, 2009.

COUTINHO, Italo; FEITAL, Marcelo Rosa; COSTA, Shirlei Querubina. Inovação na Gestão da Qualidade: Utilização de VANT em Inspeções em Projetos Civis. **Simpósio Internacional de Gestão, Projetos, Inovação e Sustentabilidade**, São Paulo, p.3-3, 14 nov. 2017. Anual.

CIVILIZAÇÃO ENGENHARIA. Uso de veículos aéreos não tripulados na inspeção de estradas e monitorização estrutural de pontes. **Engenhariacivil.com**, 2016. Anual.

CUNHA, A. A. **Estudo das patologias em obras de arte especiais do tipo pontes e viadutos estruturados em concreto**. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Goiás – UEG, Anápolis, 2010.

CURCIO, Ronald Cristhian de Lima. **Pontes rodoviárias: levantamento das principais patologias estruturais**. Itatiba, 2008.

DIRETORIA DE PESQUISA E ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO ESTADO DO TOCANTINS. Porto Nacional. Governo do Estado do Tocantins, 2013.

DNIT. **Norma DNIT 010/2004 – PRO**. Rio de Janeiro – RJ, 2004.

EL DEBS, M. K.; TAKEYA, T. **Pontes de Concreto**. São Carlos, USP – Universidade São Paulo, 2009. Notas de aula.

FIGUEREIDO, David Leonardo Nascimento de. **Técnica de analogia de grelha associada a um modelo de pórtico para análise do comportamento de sistemas estruturais de pontes**. Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Rio de Janeiro, jun 2012.

FILHO, Waldir Neme Felipe. **Avaliação dos coeficientes de impacto utilizados no cálculo de pontes rodoviárias via análise dinâmica de estruturas**. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. Editora Atlas, sexta edição, 2008. Disponível em: <<https://ayanrafael.files.wordpress.com/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf>>. Acesso em 20 de outubro de 2019.

GIOVANNETTI, Ana Carolina Virmond Portela. **Avaliação do estado de conservação de pontes – estudo de caso**. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2014, 130 p.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015, 157p.

HASPARYK, N. P. **Investigação de concretos afetados pela reação álcaliagregado e caracterização avançada do gel exsudado**. 2005. 326 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

HAUS, Tiago. **Pontes: tipos principais e como funcionam**. 2019.

IBGE. **Porto Nacional**. 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/porto-nacional/panorama>>. Acesso em 20 out. 2019.

KASAI, S. MURILO. **Porque surgem as fissuras?** 2021. Disponível em: <<https://www.alicerceejr.com/post/por-que-surgem-as-fissuras>>. Acesso em: 05 jan 2022.

LENCIONI, Julia Wippich. **Proposta de Manual Para Inspeção de Pontes e Viadutos em Concreto Armado - Discussão Sobre a Influência dos Fatores Ambientais na Degradação de Obras-de-Arte Especiais.** 2005. 187f. Tese de Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeroportuária - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

LOTTERMANN, André Fonseca. **Patologias em Estruturas de Concreto: Estudo de Caso.** 2013. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí-RS.

LSE – Laboratório de Sistemas Estruturais Ltda. **Diagnóstico estrutural da ponte sobre o Rio Tocantins – Trecho Porto Nacional da TO-050.** Relatório Técnico, LSE-R020903, São Paulo, 2003.

LSE – Laboratório de Sistemas Estruturais Ltda. **Inspeção visual da estrutura da ponte sobre o Rio Tocantins, Porto Nacional – TO.** Relatório Final, São Paulo, 2017.

MAPA DA OBRA. **Problemas causados pela lixiviação do concreto.** 2017. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/capacitao/os-problemas-causados-lixiviacao-do-concreto/>. Acesso em: 25 set. 2021.

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

MIZUMOTO, Camilo. **“Investigação da Reação Álcali-Agregado (RAA) em Testemunhos de Concreto e Agregados Constituintes”.** Dissertação ( Mestrado em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 2009. 162 p.

NOGUEIRA, Kelson Antunes. **"REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: DIRETRIZES E REQUISITOS DA ABNT NBR 15577/2008"**. 2010. 93 f. Especialização - Curso de Engenharia Civil, Curso de Especialização em Construção Civil, Ufmg, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9A5HJ4/1/monografia\\_kelso.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9A5HJ4/1/monografia_kelso.pdf). Acesso em: 23 set. 2021.

OLIVEIRA, Alexandre Magno de. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações.** 2012. 96 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PFEIL, Walter. **Pontes em concreto armado.** v.1 e v. 2. Rio de Janeiro: LTC, 1985.

PINHEIRO, IGOR. **Manifestações patológicas nas pontes de concreto armado**. 2022. Disponível em: <https://www.inovacivil.com.br/manifestacoes-patologicas-nas-estruturade-concreto>. Acesso em: 26 jun.2022.

PINHO, F.O.; BELLEI, I. H. **Pontes e Viadutos em Vigas Mistas**. Rio de Janeiro: CBCA, 2007.

PRAÇA, Fabiola Silva Garcia. **Metodologia da Pesquisa Científica**: Organização estrutural e os desafios para redigir o trabalho de conclusão. Revista Eletrônica “Diálogos Acadêmicos”, nº 1, p. 72-87, 2015. Disponível em: <[http://uniesp.edu.br/sites/\\_biblioteca/revistas/20170627112856.pdf](http://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20170627112856.pdf)>. Acesso em 22 de outubro de 2019.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do Trabalho Científico**. Universidade Feevale, 2ª edição, 2013. Disponível em: <<http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>>. Acesso em 22 de outubro de 2019.

ROCHA, Ivan. Corrosão em estruturas de concreto armado. **Revista Especialize On-line Ipog**, Goiânia, p.2-3, 2015. Mensal.

SANCHEZ, L. F. M. **Contribuição ao estudo dos métodos de ensaio na avaliação das reações álcali-agregado em concretos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. 2008. 168p.

SANTANA, Helvio Santos. **O conjunto de normas e a segurança jurídica no mercado de drones**. Defesa net, 2018. Disponível em: <<http://www.defesanet.com.br/vant/noticia/29081/O-conjunto-de-normas-e-a-seguranca-juridica-no-mercado-de-drones/>>. Acesso em 02 dez. 2019.

SARKIS, Paulo Jorge; SARKIS, Jorge Martins. **Uso de drone em inspeção e definição de recuperação em OAEs**. IX Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, 2016.

SARTOTI, Artur Lenz. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas – SP**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2008.

SEO, Junwon; et al. **Drone-enabled bridge inspection methodology and application** [online]. College Park: Elsevier, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.06.006>. Acesso em 02 dez. 2019.

SILVA, Mauricio Alves da; SOUZA, Neila Nunes de. **Reordenamento territorial no município de Porto Nacional/TO**: um recorte histórico, discurso e poder. 2013.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1ª ed. São Paulo: Pini, 1998.

THOMAZ, Eduardo. **Fissuração – 168 casos reais**. Rio de Janeiro, 2003.

VALDUGA, L. Reação álcali-agregado – **mapeamento de agregados reativos do estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Estadual de Campinas. 2002. 213p.

VASCONCELOS, Flávio de Oliveira. **Análise das Manifestações Patológicas em Pontes de Concreto Armado – Estudo de Caso**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, Delmiro Gouveia – AL.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Avaliação do Grau de Risco Estrutural de Pontes Rodoviárias de Concreto** – Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto, Salvador, 2008.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Pontes e viadutos rodoviários: conceituação, conservação, segurança e reforço estrutural**. Escola Politécnica de Pernambuco, Curso de especialização em inspeção, manutenção e recuperação de estruturas. Recife, 2015.

## ANEXO I – FICHA DE INSPEÇÃO ESPECIAL

Tabela D.1 – Modelo de ficha de inspeção especial

Inspeção especial (ano):		OAE Código:	
Jurisdição (DNIT, Concessão ou outro):			
Data da inspeção:	Início:	Término:	
<b>PARTE I - Síntese do relatório de patologia</b>			
<b>1 - Localização</b>			
Rodovia ou município:		Sentido:	
Obra:		Localização (km ou endereço):	
<b>2 - Descrição da obra</b>			
Quantidade de vãos:		Comprimento total:	
Pilares:		Vigas:	
Largura total:		Juntas de dilatação:	
Tipologia transversal da superestrutura:		Tipologia longitudinal da superestrutura:	
Classe:			
Observações:			
<b>3 - Ensaio realizados</b>			
<b>4 - Classificação da OAE (Ver Seção 5)</b>			
Estrutural:		Funcional:	
Durabilidade:			
<b>5 – Vistoria</b>			
Data da vistoria:			
Recursos de aproximação empregados:			
<b>6 - Descrição das anomalias</b>			
<b>Superestrutura</b>			
Laje superior:			
Vigas longarinas:			
Vigas transversinas:			
<b>Mesoestrutura</b>			
Vigas travessas:			
Aparelho de apoio:			
Pilares:			
<b>Infraestrutura</b>			
Blocos:			
Fundações:			

Tabela D.1 (continuação)

<b>Encontro</b>
Estruturas de encontro:
<b>Elementos complementares</b>
Pavimento, sinalização e gabaritos:
Passeios e guarda-corpo:
Barreiras rígidas/defensas metálicas:
Juntas:
Drenagem:
<b>PARTE II - Síntese do relatório de terapia</b>
<b>1 - Parecer técnico</b>
Informar as conclusões da inspeção:
<b>2 - Resumo da análise estrutural (caso necessário)</b>
<b>3 - Proposição de restauração e/ou reforço</b>
A considerar: Informar as medidas necessárias para a restauração ou reforço.

Fonte: ABNT NBR 9452:2016.