



INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
NORA NEI JESICA OLIVEIRA SANTANA

IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DOS APARELHOS DE APOIO
DA PONTE DA CACHOEIRA – ESTÂNCIA/SE

ESTÂNCIA
2022

NORA NEI JESICA OLIVEIRA SANTANA

IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DOS APARELHOS DE APOIO
DA PONTE DA CACHOEIRA – ESTÂNCIA/SE

Trabalho de conclusão de curso (TCC II) apresentado
ao Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância,
como pré-requisito parcial para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. D.Sc. Marcus Alexandre Noronha
de Brito

ESTÂNCIA
2022

Santana, Nora Nei Jesica Oliveira.
S232i Identificação e avaliação da integridade dos aparelhos de apoio da ponte da cachoeira - Estância/SE. / Nora Nei Jesica Oliveira Santana. - Estância, 2022.
58 f.; il.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Alexandre Noronha de Brito.

1. Aparelho de apoio. 2. Inspeção técnica. 3. Integridade do aparelho de apoio. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - IFS. II. Brito, Marcus Alexandre Noronha de. III. Título.

CDU: 621.7:624+624.131



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
Av. Jorge Amado, 1551 – Loteamento Garcia, Bairro Jardins - CEP 49025-330 – Aracaju/SE
Fone: (79) 3711 1400 – E-mail: reitoria@ifs.edu.br

APÊNDICE 11 – TERMO DE APROVAÇÃO
(sem coorientador)

CURSO DE **Bacharelado em Engenharia Civil**

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia
IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DOS APARELHOS DE APOIO DA
PONTE DA CACHOEIRA – ESTÂNCIA/SE

Nora Nei Jesica Oliveira Santana

Esta monografia foi apresentada às 14:00 horas do dia 22 de fevereiro de 2022 como requisito parcial para a obtenção do título de IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DOS APARELHOS DE APOIO DA PONTE DA CACHOEIRA – ESTÂNCIA/SE. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos examinadores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.


Prof. Thiago Augustus Remacre Munreto Lima
avaliador (a)
(IFS)


Prof. Marcos Honorato de Oliveira
(a) avaliador
(UNB)


Prof. Marcus Alexandre Noronha de Brito
Orientador(a)
(IFS)

Prof. Marcos Elan Alves de Araújo
Coordenador (a) do Curso
(IFS)

AGRADECIMENTOS

Sou grata a Deus por ser tão presente em minha vida, pois sem ti tudo seria bem mais difícil.

Aos meu pais, José Oliveira de Santana e Noelia Patrício de Oliveira Santana, por todo amor, incentivo e apoio em todos os momentos da minha vida.

Aos meus irmãos, Nivia, Mateus e José Carlos, pela dedicação, confiança e apoio.

Aos meus amigos, Esli, Rose, Karine, Welder e Matheus, todos distantes fisicamente, porém a amizade de cada um muito presente em minha vida. Grata a vocês pelo carinho, atenção, incentivo, confiança e momentos de alegrias compartilhadas.

Aos meus amigos de curso, Nayara, Henrique, Camilla, Jobson, Silvia, Taiane e Rainara. Conviver com vocês durante todos esses anos deixou a correria do curso um pouco mais branda e animada.

Ao meu orientador, D.Sc. Marcus Alexandre, por todo conhecimento compartilhado, apoio, incentivo, orientação e amizade.

A Moisés, pela disponibilidade e dedicação na realização da primeira tentativa de inspeção dos apoios.

A equipe da Selfiedrone, pelo comprometimento e disponibilidade no registro das imagens durante a inspeção dos apoios.

E por fim, a todos os professores que fizeram parte da minha história acadêmica.

RESUMO

O aparelho de apoio é um elemento determinante no comportamento estrutural da ponte, devido à sua função e posicionamento. Contudo, possui durabilidade menor quando comparados à vida útil global da estrutura, sendo necessário recorrer a atividades de inspeção e manutenção para reduzir as chances de substituição dos aparelhos de apoio precocemente. Visto que, a presença de anomalias nestes dispositivos pode interferir em seu correto funcionamento, introduzindo alterações consideráveis que afetam o comportamento em serviço da estrutura, e em alguns casos reduzem a capacidade de operação. Além disso, com o carregamento dinâmico da ponte, surgem vibrações e esse movimento oscilatório constante pode contribuir para o desgaste dos aparelhos de apoio. Com isso, este trabalho teve como objetivo identificar e avaliar a integridade dos aparelhos de apoio da Ponte da Cachoeira no município de Estância – SE. Para alcançar tal objetivo, foi realizada uma inspeção técnica, na qual foram utilizados um Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT e uma câmera fotográfica de lente óptica para registro de imagens dos aparelhos. Diante da avaliação das imagens, constatou-se a existência de dezesseis aparelhos de apoio de elastômero simples, desgaste considerável desses apoios e a presença de anomalias. De acordo com a NBR 9452:2019 foram classificados como em situação ruim 19% e crítica 6%, totalizando 25% dos apoios inspecionados, fazendo-se necessário a realização de manutenção e acompanhamento da funcionalidade dos dispositivos, considerando que a OAE está em operação há 65 anos e situada na BR-101, uma das mais relevantes rodovias do país que permite ligação entre polos industriais, zonas turísticas e grandes centros urbanos de norte-sul do Brasil.

Palavras-chave: Aparelho de apoio. Inspeção técnica. Integridade do aparelho de apoio.

ABSTRACT

The bearing is a determining element in the structural behavior of the bridge, due to its function and positioning. However, it has a shorter durability when compared to the overall useful life of the structure, making it necessary to resort to inspection and maintenance activities to reduce the chances of replacing the bearings early. Since the presence of anomalies in these devices can interfere with their correct functioning, introducing considerable changes that affect the structure's in-service behavior, and in some cases reduce its operating capacity. In addition, with dynamic bridge loading, vibrations arise, and this constant oscillatory movement can contribute to bearing wear. With this, this work aimed to identify and evaluate the integrity of the support equipment of Ponte da Cachoeira in the municipality of Estância - SE. To achieve this objective, a technical inspection was carried out, in which an Unmanned Aerial Vehicle – UAV and a photographic camera with an optical lens were used to record images of the bearings. In view of the evaluation of the images, it was verified the existence of sixteen simple elastomer bearings, considerable wear of these supports and the presence of anomalies. According to NBR 9452:2019, 19% were classified as in a bad situation and 6% were critical, totaling 25% of the supports inspected, making it necessary to carry out maintenance and monitor the functionality of the devices, considering that the OAE is in operation 65 years old and located on BR-101, one of the most important highways in the country that connects industrial centers, tourist areas and large urban centers in the north-south of Brazil.

Keywords: Bridge bearings, Technical inspection, Bearing integrity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Imagem de satélite da Ponte da Cachoeira - Estância - SE.....	14
Figura 2 - Apresentação da divisão das partes de uma ponte.....	15
Figura 3 - Estrutura de ponte em vigas e aparelho de apoio.....	16
Figura 4 - Diagramas de momentos fletores.....	17
Figura 5 - (a) Rolo Único, (b) Rolo Múltiplos	19
Figura 6 - Rolo único - Ponte Jensen Drive em Houston - Texas.....	19
Figura 7 - Rolo múltiplos - Museu Oscar Niemeyer - Curitiba.....	19
Figura 8 - (a) Aparelho de apoio de contato pontual, (b) Aparelho de apoio de contato linear.....	20
Figura 9 - Aparelho de apoio de elastômero simples.....	21
Figura 10 - (a) Compressão, (b) Cisalhamento, (c) Rotação.....	22
Figura 11 - Aparelho de apoio de elastômero fretado e sua utilização.....	22
Figura 12 - Ensaio de distorção em aparelho de apoio de elastômero.....	23
Figura 13 - (a) Aparelho de apoio deslizante, (b) Ilustração das camadas de composição do aparelho.....	23
Figura 14 - (a) Aparelho de apoio de elastômero contido (<i>Pot-Bearings</i>) em corte, (b) Imagem do aparelho de apoio <i>Pot-Bearings</i> sendo utilizado.....	24
Figura 15 - Articulação Freyssinet.....	25
Figura 16 - Articulação Mesnager.....	26
Figura 17 - Exemplo de articulação metálica - Ponte Findhorn – Escócia.....	26
Figura 18 - Acúmulo de detritos na base de assentamento do aparelho de apoio.....	32
Figura 19 - (a) Fissuração do aparelho de apoio, (b) Problemas de corrosão do aparelho metálico.....	33
Figura 20 - (a) Deslocamento sobre o suporte, (b) Deformação excessiva do elastômero.....	34
Figura 21 - Processo de macaqueamento da estrutura de ponte.....	36
Figura 22 - Vista lateral e inferior da ponte.....	37

Figura 23 - Corte longitudinal.....	37
Figura 24 - Corte transversal.....	38
Figura 25 - VANT utilizado.....	38
Figura 26 - Câmera fotográfica.....	39
Figura 27 - Obstáculos próximos a OAE.....	40
Figura 28 - Representação da área de captura de imagens com o VANT.....	40
Figura 29 - Representação da sequência de captura de imagens com a câmera fotográfica.....	41
Figura 30 - Seccionamento da estrutura.....	42
Figura 31 - Aparelho de apoio de elastômero ressecado.....	43
Figura 32 - Aparelho de apoio com características físicas conservadas.....	43
Figura 33 - Aparelho de apoio de elastômero com fissuras.....	44
Figura 34 - Superfície de assentamento do aparelho de apoio irregular.....	45
Figura 35 - Cupinzeiro nas imediações do aparelho de apoio.....	45
Figura 36 - Resíduo de material na região do apoio.....	46
Figura 37 - Vínculo de argamassa entre viga e pilar.....	46
Figura 38 - Aparelhos de apoio com argamassa.....	47
Figura 39 - Aparelho de apoio esmagado.....	47
Figura 40 - Condições dos aparelhos de apoio.....	48
Figura 41 - Localização dos apoios de acordo com suas condições de uso.....	49

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil

DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

OAE - Obras de Arte Especiais

NBR - Norma Brasileira

PTFE - Politetrafluoretileno

EN - Norma Europeia

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Geral.....	13
1.2.2	Específico.....	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1	CONCEITO E CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES	14
2.2	APARELHOS DE APOIO.....	15
2.2.1	Contexto Histórico	16
2.2.2	Classificação dos aparelhos de apoio	17
2.2.2.1	<i>Aparelhos de Apoio Móveis.....</i>	<i>18</i>
2.2.2.1.1	<u>Aparelho de apoio de rolamento.....</u>	<u>18</u>
2.2.2.1.2	<u>Aparelho de apoio pendular.....</u>	<u>19</u>
2.2.2.1.3	<u>Aparelho de apoio de elastômero</u>	<u>19</u>
2.2.2.2	<i>Aparelhos de Apoio Fixos</i>	<i>23</i>
2.2.2.2.1	<u>Articulações de chumbo</u>	<u>23</u>
2.2.2.2.2	<u>Articulações de concreto.....</u>	<u>24</u>
2.2.2.2.3	<u>Articulações metálicas</u>	<u>25</u>
2.3	INSPEÇÕES	25
2.3.1	Inspeção em pontes.....	26
2.3.2	Inspeção em aparelhos de apoio	29
2.4	ANOMALIA DOS APARELHOS DE APOIO	30
2.4.1	Aparelho de apoio metálico.....	31
2.4.2	Articulação de concreto.....	32
2.4.3	Aparelho de apoio de elastômero	32
2.5	MANUTENÇÃO DOS APARELHOS DE APOIO.....	33
2.6	PROCEDIMENTO DE SUBSTITUIÇÃO DO APARELHO DE APOIO	34
3	MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1	OBJETO DE ESTUDO.....	36
3.2	MATERIAIS.....	37
3.3	MÉTODOS	38
3.3.1	Primeira etapa.....	38

3.3.2	Segunda etapa	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1	FISSURAS NO APARELHO DE APOIO.....	42
4.2	ASSENTAMENTO DO APARELHO DE APOIO	43
4.3	ACÚMULO DE DETRITOS.....	44
4.4	ESMAGAMENTO DO APARELHO DE APOIO	46
4.5	AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DOS APARELHOS DE APOIO.....	47
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	50
	REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

Estruturas de pontes são conhecidas por pertencerem ao conjunto de Obra de Arte Especiais – OAE, caracterizadas por sua robustez e solidez dos seus elementos e especificidade das técnicas construtivas. Estas estruturas são responsáveis por transpor obstáculos naturais, contribuindo economicamente, socialmente e na fluidez do sistema viário.

As pontes, ao longo de sua vida útil, estão sujeitas às ações dinâmicas que provocam deformações e deslocamento da estrutura. Por isso, é necessário que sejam previstas soluções adequadas para distribuição das tensões e acomodação dos movimentos estruturais (VIEIRA, 2013).

As primeiras pontes eram construídas de madeira e de alvenaria, com vãos pequenos e de baixo carregamento e dispensava qualquer tipo de solução de vinculação da estrutura para acomodar as deformações, pois o próprio material e geometria da construção realizava esta função (MAIA, 2014).

Porém, com a solicitação de maiores vãos e carregamentos, houve uma evolução dos materiais utilizados na construção de pontes, os quais exigem métodos que satisfaçam as condições de movimento e deformações da estrutura (VIEIRA, 2013).

Sendo assim, em estruturas de ponte em vigas, são utilizados aparelhos de apoio, os quais são elementos fundamentais, localizados em um ponto crítico da estrutura (FREIRE; BRITO, 2006), cuja função é transmitir as cargas verticais da superestrutura aos sistemas vinculados (mesoestrutura ou infraestrutura) e permitir movimento de translação e rotação devido às deformações e deflexões respectivamente (CORDEIRO, 2014).

O mau funcionamento do aparelho de apoio pode comprometer a segurança, a durabilidade e o comportamento da OAE. Assim, é essencial que sejam realizadas atividades de inspeção e manutenção para assegurar a vida útil e desempenho do dispositivo. Entretanto, a dificuldade de acesso aos locais pode impedir a inspeção e favorecer o surgimento de anomalias que venham a deteriorá-los (FREIRE; BRITO, 2006).

No Brasil as atividades de inspeção, monitoramento e manutenção dentro do sistema viário, ainda é limitado (DORNELAS; XAVIER, 2018). Isso gera uma preocupação ao evidenciar o envelhecimento de pontes e a defasagem em relação ao dimensionamento e intensidade de tráfego (VITÓRIO, 2006).

Com o carregamento dinâmico da ponte, surgem vibrações que podem ser intensificadas por irregularidades da via e imperfeições dos próprios veículos (AMORIM, 2017). Esse movimento oscilatório, provoca o desgaste dos aparelhos de apoio. Sendo que, o desgaste pode

ocorrer em consequência de vibrações excessivas ou por fadiga do material. Essa última é causada por ações dinâmicas repetitivas e cíclicas, em casos extremos isso pode acarretar no colapso (SOLETO JR.; FRANÇA, 2006).

Nesse contexto, a pesquisa busca identificar e avaliar a integridade dos aparelhos de apoio da Ponte da Cachoeira no município de Estância – SE, apresentando as principais interferências causadas na estrutura em geral. Para isso, foi realizada uma inspeção técnica na região dos apoios, utilizando uma câmera fotográfica com lente óptica e um VANT para registro das imagens.

1.1 JUSTIFICATIVA

Os aparelhos de apoio são elementos essenciais para o desempenho estrutural das pontes. Entretanto, devido à dificuldade de acesso aos locais onde estão fixados, os aparelhos de apoio nem sempre passam por inspeções. Dessa forma, os dispositivos não são verificados e a falta de manutenção os torna suscetíveis ao surgimento de anomalias, que podem interferir no comportamento da estrutura, introduzindo modificações na transmissão das forças dinâmicas e alterando o grau de liberdade de movimento.

Diante dessa premissa, este trabalho busca identificar e avaliar a integridade, bem como, a presença de anomalias nos aparelhos de apoio da Ponte da Cachoeira (Figura 1), em operação há 65 anos. A OAE está situada no km 154 da BR-101, município de Estância – SE.

Essa pesquisa contribuirá com informações relevantes para a preservação da segurança estrutural e dos seus usuários, disponibilizando dados para um planejamento do poder público quanto à destinação de recursos disponíveis para ações de manutenção preventiva ou corretiva.

Figura 1 – Imagem de satélite da Ponte da Cachoeira - Estância - SE



Fonte: Google Earth (2021)

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

A presente pesquisa busca identificar e avaliar a integridade dos aparelhos de apoio da Ponte da Cachoeira, km 154 da BR-101, município de Estância – SE.

1.2.2 Específico

- Identificar o tipo de aparelho de apoio utilizado na ponte;
- Realizar inspeção técnica e apontar possíveis anomalias;
- Classificar as condições do aparelho de apoio de acordo com a NBR 9452 “Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento” (2019);

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCEITO E CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES

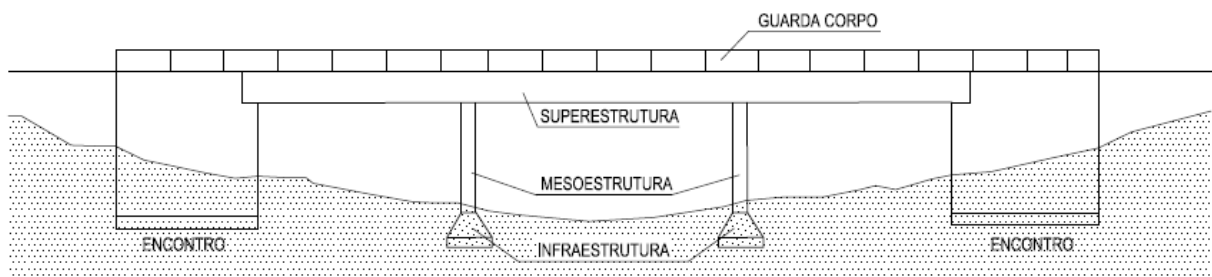
Denomina-se ponte um tipo de OAE que faz parte do conjunto da malha viária, destinada a realizar a transposição de um obstáculo que cause descontinuidade da via, seja ele um rio, braço de mar, vales profundos, entre outros. (MARCHETTI, 2008).

Em termos de funcionalidade a estrutura de ponte pode ser subdividida em três partes: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura, como visto na Figura 2. A Infraestrutura é composta pelos elementos de fundação, cuja função é receber e resistir aos esforços da mesoestrutura e transmiti-los ao solo (PFEIL, 1979).

A Mesoestrutura é a parte da ponte constituída pelas vigas de travamento dos pilares, viga-travessa, pilares e os aparelhos de apoio. É atribuída a este sistema a função de receber os esforços da superestrutura e transferi-los para a infraestrutura, bem como resistir a esforços decorrentes do empuxo hídrico e pressão do vento nos pilares.

A superestrutura constituída por lajes e vigas, sofre influência direta dos esforços resultante do carregamento móvel e permanente, sua função é conduzi-los até a mesoestrutura.

Figura 2 – Apresentação da divisão das partes de uma ponte



Fonte: Adaptado Pfeil (1979)

As pontes podem ser classificadas de acordo com a função, material construtivo e tipo de sistema estrutural. Entre os tipos mais comuns de estruturas de ponte, estão as projetadas em vigas, em treliça, em balanço, em arco e pênsil (WIWATANAPATAPHEE et al., 2019).

A escolha do sistema estrutural está ligada a realização de um estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental. Outro aspecto de grande influência nessa escolha, é a representação estética da OAE para a sociedade (COSTA, 2009).

2.2 APARELHOS DE APOIO

As pontes estão sujeitas a movimentos, que são provocados devido à carga de tráfego; carga permanente; a forças laterais, como o vento, empuxo hídrico e empuxo do solo; esforços longitudinais, como aceleração, frenagem, força de derrapagem e tração; mudança de temperatura; assentamento em apoios (assentamentos uniformes e diferenciais) e força de impacto.

Assim, é imprescindível considerar esses movimentos no projeto estrutural, evitando que esforços sejam gerados pelos movimentos extras não considerados, que venham a danificar a estrutura da ponte (OLADIMEJI, 2012).

Esses movimentos e deformações são absorvidos pelos aparelhos de apoio que realiza a vinculação em estruturas de pontes, fixado abaixo do tabuleiro ou viga, interligando o sistema da superestrutura à mesoestrutura ou diretamente à infraestrutura (FREIRE; BRITO; CORREIA, 2013).

Sua função é de caráter estrutural, transmitindo as cargas da superestrutura para os demais sistemas vinculados. Esse dispositivo permite movimentos longitudinais da superestrutura gerados pela variação térmica e movimentos de rotação causados pela deflexão decorrente das cargas móveis e permanentes (ARIA; AKBARI, 2013).

A utilização de aparelhos de apoio no sistema de ponte em vigas (Figura 3) é imprescindível. Visto que, na ligação apoiada o dispositivo evita o contato direto entre os elementos estruturais (tabuleiro e pilar), impedindo que girem ou deslizem um em relação ao outro e causem danos estruturais que podem provocar o colapso da obra (VIEIRA, 2013).

Figura 3 – Estrutura de ponte em vigas e aparelho de



Fonte: Adaptado Sketchup3D Construction (2021)

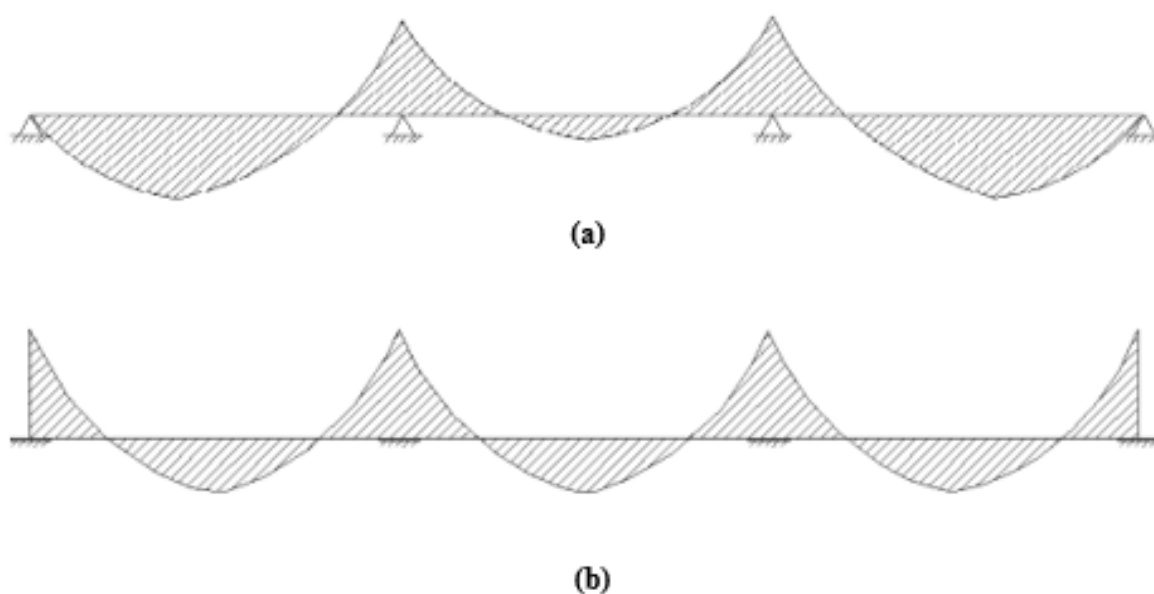
A localização do aparelho de apoio está em um ponto crucial da estrutura. O mau funcionamento do dispositivo pode gerar interferências significativas, por exemplo, a alteração na distribuição das cargas e consequentemente no comportamento estrutural inadequado (NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, 2013).

Dito isso, a Figura 4 apresenta a diferença de esforços, como por exemplo, momentos fletores, conforme exposto na Figura 4a referente ao diagrama, cujo aparelho de apoio utilizado na estrutura permite movimentos de rotação.

Já, a Figura 4b trata-se da situação em que aparelho de apoio não satisfaz a essa condição de movimento, devido ao seu mau funcionamento. Isso gera esforços em pontos específicos que não foram previstos no projeto, causando problemas estruturais.

Os digramas indicados na Figura 4 apresentam-se desta forma devido à algumas condições hipotéticas da estrutura como: simetria entre os vãos das vigas longarinas, das seções transversais dessas vigas e solicitações, do contrário os diagramas nos pontos negativos apresentariam uma defasagem à esquerda e à direita do apoio.

Figura 4 – Diagramas de momentos fletores



Fonte: Autora (2021)

2.2.1 Contexto Histórico

A princípio, as pontes eram erguidas em alvenaria de pedra ou madeira, com pequenos vãos e pouco carregamento, pois sua utilização se restringia principalmente a pedestres, e não se fazia o uso de aparelhos de apoio na estrutura. Com a evolução do nível de projeto e a descoberta do aço, as estruturas passaram a transpor vãos maiores, suportando carregamentos

mais elevados e maior volume de tráfego, o que gerou a obrigatoriedade da consideração dos deslocamentos e movimentos entre a superestrutura e a mesoestrutura.

A partir disso, estas estruturas deixaram de ser compreendidas como estruturas de comportamento rígido e passaram a ser vistas como de comportamento móveis (CORDEIRO, 2014; VIEIRA, 2013).

Outro fator que revelou a necessidade da utilização de aparelhos de apoio, foram os problemas ocorridos pela falta de consideração dos efeitos térmicos ou rotação dos apoios de pontes em estruturas metálicas, que ao contrário das estruturas em alvenaria de pedra ou madeira, não se apresentavam com tanta relevância (VIVAN, 2015).

Constatada a necessidade da aplicação de tais dispositivos para garantir o deslocamento e as rotações solicitadas pela utilização da estrutura, foram usados os “*roller bearings*” ou aparelhos de apoio sobre roletes metálico, que mesmo com a evolução crescente das pontes de concreto, continuaram em uso, porém o custo e a suscetibilidade à corrosão impulsionaram o surgimento de outras alternativas, tais como, as articulações e pêndulo de concreto, apoios sobre placas de chumbo e argamassa rica em cimento (SILVA, 2016).

Com o avanço da tecnologia e a descoberta dos polímeros policloropreno (neoprene) e politetrafluoretileno – PTFE ou Teflon como é mais conhecido, realizados pela Dupont, nos Estados Unidos, em meados das décadas de 30 e 40, surgiram os primeiros aparelhos de apoio de elastômero, com propriedades resistentes ao envelhecimento, alcançando soluções satisfatórias para os movimentos de rotação, translação e transmissão de cargas (VIVAN, 2015).

2.2.2 Classificação dos aparelhos de apoio

Segundo Vieira (2013) os aparelhos de apoio podem ser classificados de acordo com os materiais de constituição, sendo, portanto, metálico, de concreto, de placas de chumbo e elastoméricos ou, de acordo com o DNIT Norma 091:2006 podem ser classificados conforme o grau de liberdade, ou seja, móveis e fixos. Outros autores como Pfeil (1983) classificam em três tipos: móveis, fixos e elastoméricos, entretanto será abordado levando em consideração a Norma do DNIT 091:2006.

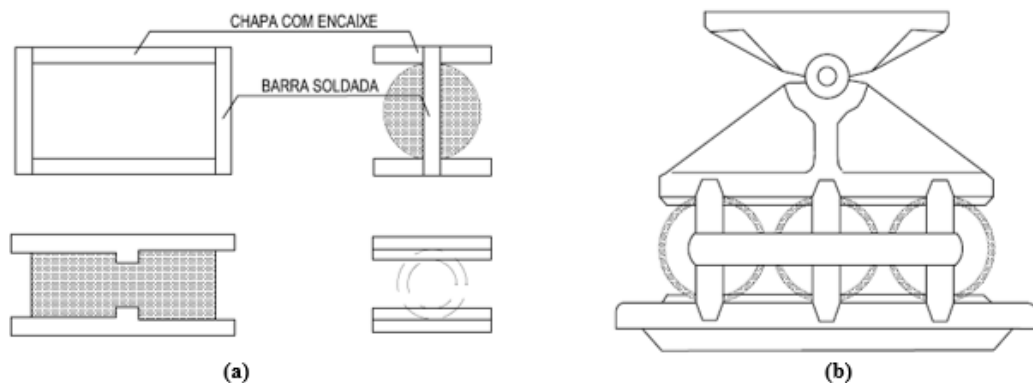
2.2.2.1 Aparelhos de Apoio Móveis

Estes aparelhos, segundo Pfeil (1983) permitem movimentos de translação e rotação, realizando transmissão apenas dos esforços verticais, somando-se com os esforços horizontais por atrito.

2.2.2.1.1 Aparelho de apoio de rolamento

Este aparelho de apoio pode ser de um ou mais rolos entre placas de aço superior e inferior. O rolo único (Figura 5a) geralmente é utilizado para carregamento menores, absorvendo ao mesmo tempo, movimento de rotação e translação, enquanto que os rolos múltiplos (Figura 5b) são indicados quando há a necessidade de suporte de maiores cargas, sendo indispensável a instalação de uma rótula para distribuição uniforme do carregamento entre os rolos (DNIT, 2004). Nas Figuras 6 e 7, são apresentados exemplos da utilização de aparelhos de apoio de rolamento.

Figura 5 – (a) Rolo Único, (b) Rolo Múltiplos



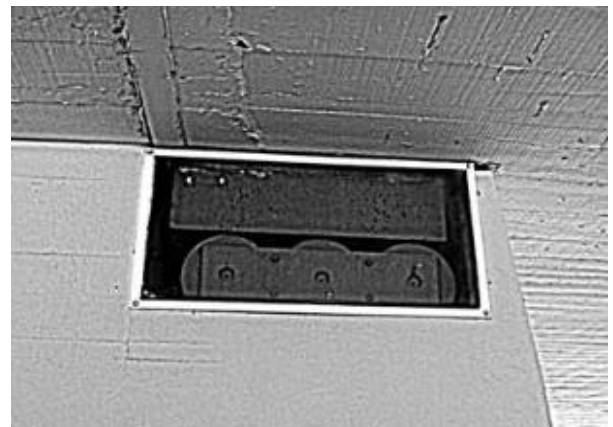
Fonte: Adaptado DNIT (2004)

Figura 6 – Rolo único - Ponte Jensen Drive em Houston - Texas.



Fonte: Wikimedia Commons (2020)

Figura 7 – Rolo múltiplos - Museu Oscar Niemeyer - Curitiba.



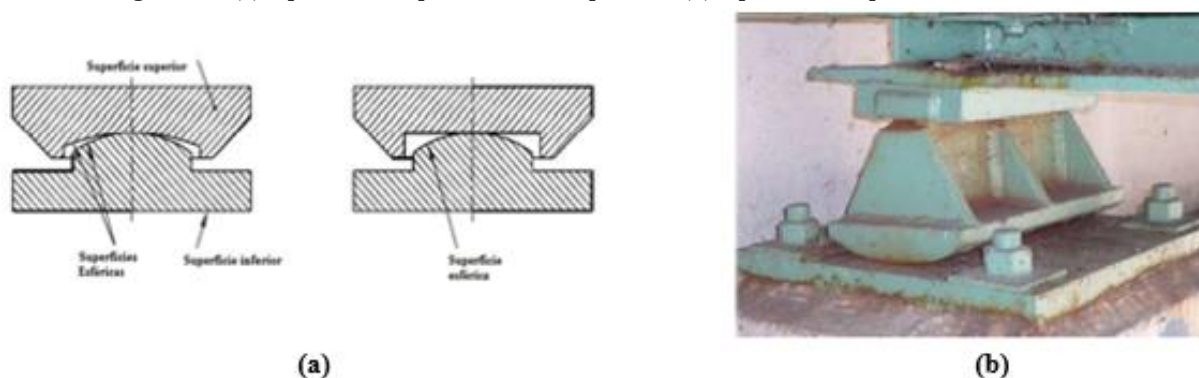
Fonte: Rebello, Leite (2015)

2.2.2.1.2 Aparelho de apoio pendular

Aparelhos pendulares consistem numa superfície curva em contato com uma outra superfície plana ou curva. Na utilização da superfície plana, esta deve evitar a ocorrência de movimentos horizontais, já a superfície curva, deve permitir a rotação em torno de um ou mais eixos. Geralmente esse tipo de apoio é utilizado para complementar os aparelhos de rolamento, suportando grandes cargas (CORDEIRO, 2014).

Segundo a Norma Europeia EN 1337 “*Structural bearings - Part 6: Rocker bearings*” (2004), aparelho de apoio de pêndulo são classificados em dois tipos: pendular de contato pontual (Figura 8a) e de contato linear (Figura 8b). O DNIT (2004) classifica-os quanto ao material utilizado em sua constituição, concreto ou metal. Os pêndulos de concreto possuem uma certa limitação tanto na geometria quanto física, relacionado com deslocamentos admissíveis.

Figura 8 – (a) Aparelho de apoio de contato pontual, (b) Aparelho de apoio de contato



Fonte: Vieira (2013)

2.2.2.1.3 Aparelho de apoio de elastômero

O elastômero é uma substância polimérica derivada do processo de vulcanização da borracha. Com esse processo é conferido ao elastômero características mecânicas importantes, como boa elasticidade e rápida recuperação elástica quando submetido a deformações consideráveis, assim como, propriedades de resistência a agentes químicos, ao ozônio e a intempéries (CHIMUAGA, 2015).

Os aparelhos de apoio fabricado com elastômero são os mais utilizados atualmente. Eles podem ser em blocos de elastômero simples (formato retangular ou circular) e fretado constituído por camadas de elastômero separadas por chapas de aço.

Além disso, são considerados simples, de elevada resistência ao envelhecimento e resistência a vibrações, tem demonstrado eficiência em relação a deslocamentos e deformações.

Em comparação com os aparelhos de apoio metálicos e de concreto, possui menor dificuldade de manutenção, e maior qualidade quanto ao material. (DNIT, 2004; GONÇALVES, 2019).

a) Aparelho de apoio de elastômero simples

Segundo Vivan (2015) é constituído apenas por elastômero (Figura 9), admitindo-se tensões de compressão relativamente baixas e utilizados com mais frequência em edificações e pré-fabricados leves. A sua baixa resistência ficou comprovada quando a indústria da construção realizou os primeiros ensaios, constatando a tendência de escoamento lateral baseado em uma certa tensão à compressão, a qual dependia diretamente da dureza do elastômero e da geometria do aparelho (SILVA, 2016).

No Brasil as espessuras comerciais são: 5,0 mm; 6,3 mm; 10,0 mm; 12,5 mm; 16,0 mm; 20,0 mm; 22,0 mm; e 25,0 mm, sendo recomendado como espessura mínima 10,0 mm (NEOPREX, 2022).

Os critérios de dimensionamento do aparelho de apoio são abordados pela NBR 9062:2017 “Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado”, sendo estes: limite de tensão, deformação, estabilidade e deslocamento.

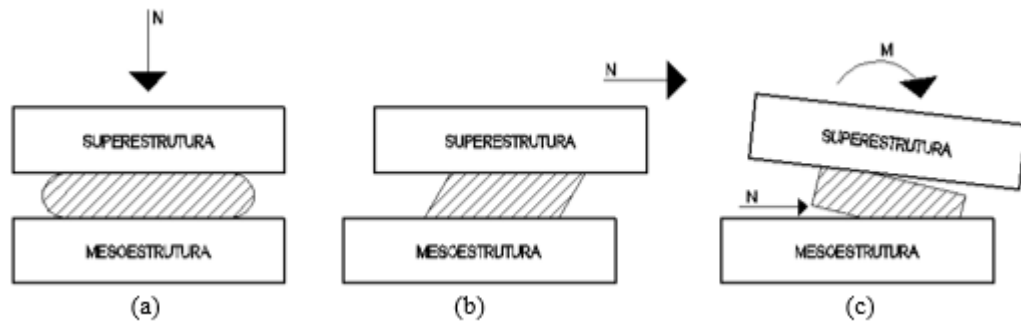
Figura 9 – Aparelho de apoio de elastômero simples



Fonte: Trafbor (2021)

São apresentados na Figura 10 os comportamentos deste dispositivo quando solicitado aos diferentes esforços.

Figura 10 – (a) Compressão, (b) Cisalhamento, (c) Rotação



Fonte: Adaptado Leonhardt (1979)

b) Aparelho de apoio de elastômero fretado

A NBR 19783 “Aparelhos de apoio de elastômero fretado - Especificação e métodos de ensaio” (2015) define como um produto composto por uma ou mais camadas de elastômero, cobrimento e chapas de aço, com a ou sem a presença PTFE, unidas quimicamente através do processo de vulcanização do material (Figura 11). Esse procedimento permite que os aparelhos de apoio trabalhem com módulos de deformação longitudinal e transversal aceitáveis, elevada resistência à compressão e a intempéries (LAN, 2020).

A fabricação deste aparelho está limitada a certificar o paralelismo das chapas de aço, assim como a resistência da ligação elastômero-aço e resistência ao rasgamento do elastômero, verificado no ensaio de distorção (Figura 12), como estabelece a NBR 19783:2015.

Figura 11 – Aparelho de apoio de elastômero fretado e sua utilização



Fonte: Tradeindia (2021); Maurer (2021)

Figura 12 – Ensaio de distorção em aparelho de apoio de elastômero



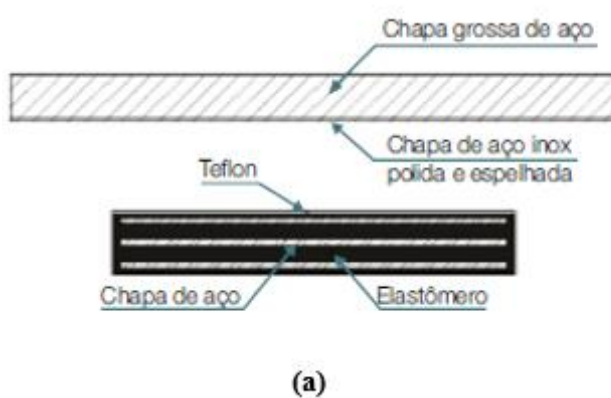
Fonte: AECweb (2021)

c) Aparelho de apoio deslizantes

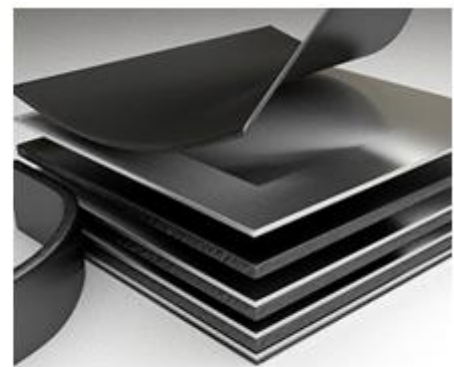
Este aparelho de apoio é utilizado em situações cujo propósito é reduzir as reações horizontais, oriundas do atrito entre as superfícies da superestrutura e o apoio, permitindo assim maior mobilidade ao sistema. O dispositivo conta com a uma chapa de aço fixada à superestrutura, na qual é ligada a uma superfície de aço inoxidável polida até o espelhamento, que desliza contra uma superfície de PTFE ou teflon (Figura 13), (VIVAN, 2015, p. 113).

De acordo com a NBR 19783:2015 o “coeficiente de atrito dos aparelhos deslizantes deve ser igual ou inferior a 4% para uma tensão de compressão de 8 Mpa”.

Figura 13 – (a) Aparelho de apoio deslizante, (b) Ilustração das camadas de composição do aparelho



(a)



(b)

Fonte: Vivan (2015) (a); TOP TEC (2021) (b)

d) Aparelho de apoio de elastômero contido (*Pot-Bearings*)

Consiste em um vaso de aço com uma almofada de elastômero simples, com uma tampa ou êmbolo na parte superior (Figura 14). Quando solicitado à carga de compressão, o elastômero tem comportamento similar a um fluido viscoso e para evitar a extrusão do material é aplicado um vedante para auxiliar a tampa. Devido ao seu comportamento fluido, o aparelho de apoio permite grandes rotações, deslocamentos horizontais e deformação mínima (CORDEIRO, 2014).

Figura 14 – (a) Aparelho de apoio de elastômero contido (*Pot-Bearings*) em corte, (b) Imagem do aparelho de apoio *Pot-Bearings* sendo utilizado



Fonte: DNIT (2004) (a); IndiaMART (2021) (b)

Segundo Maia (2014) estes aparelhos são muito versáteis, possibilitando a utilização em diversas obras de arte com vãos variáveis e de solicitação de cargas verticais elevadas. Ainda de acordo com o autor, a tensão sobre o aparelho é limitada pela tensão admissível dos berços de concreto e não se aconselha que ultrapasse os 30 MPa.

2.2.2.2 *Aparelhos de Apoio Fixos*

Os aparelhos fixos também podem ser denominados “articulações” e podem variar de acordo com o material (concreto, metálico e chumbo). Neste tipo de aparelho é permitido movimentos apenas de rotação, impedido a translação e transmitindo os esforços verticais e horizontais (PFEIL, 1983).

2.2.2.2.1 Articulações de chumbo

A citação dessa articulação é apenas de conhecimento histórico, pois atualmente encontra-se em desuso em consequência da sua ineficiência, visto que o material escoava e sua deformação resultava em uma chapa delgada de formato irregular. Um outro problema era o

escorregamento gradual até a expulsão total do chumbo da articulação, devido a movimentação da estrutura (PFEIL, 1983).

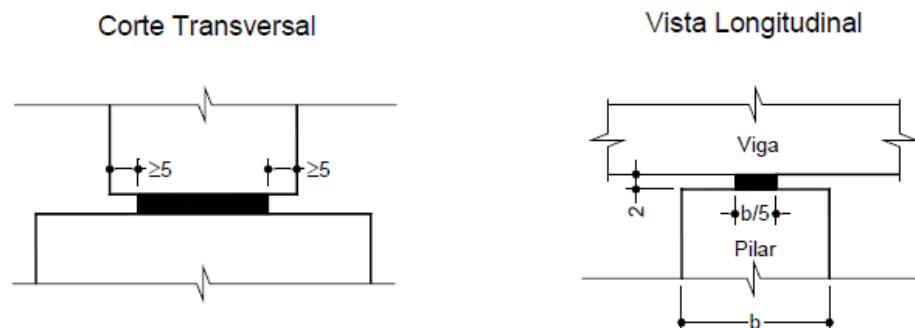
2.2.2.2.2 Articulações de concreto

Considerada um tipo de aparelho de apoio, é executada com o próprio material da OAE, preservando a descontinuidade entre a superestrutura e a mesoestrutura, que garante a distribuição de cargas e liberdade de movimento de rotação (CORDEIRO, 2014).

a) Articulação Freyssinet

Este tipo de articulação é obtido do estreitamento da seção do elemento de concreto (Figura 15), em que a parte estreita do concreto é responsável por resistir às reações transmitidas, ficando sujeita às tensões cisalhantes devido ao alargamento das seções adjacentes. Este estreitamento é flexível e possibilita rotações de um membro, surgindo momentos fletores mínimos que são transmitidos à estrutura (CORDEIRO, 2014).

Figura 15 – Articulação Freyssinet

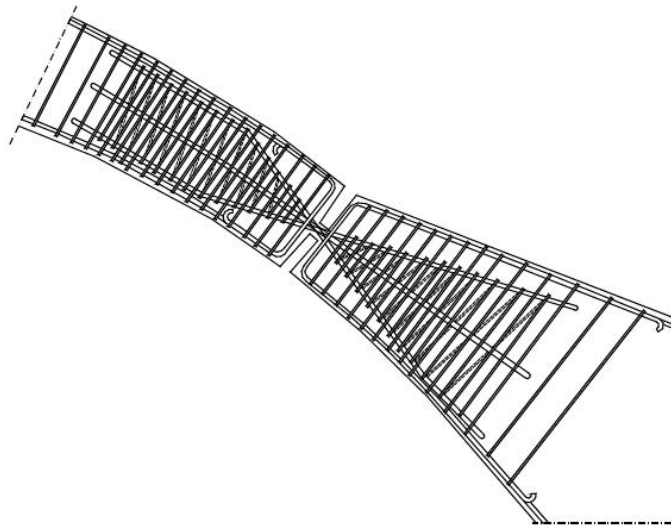


Fonte: DNIT (2004)

b) Articulação Mesnager

A transmissão dos esforços nesse tipo de aparelho ocorre por aderência, através do cruzamento de barras de aço ancoradas nos blocos a articular, cujo propósito é conduzir as forças normais e resistir aos esforços cisalhantes que se apresentam entre os dois blocos. Assim como na articulação Freyssinet, há um estrangulamento da seção de concreto, em que as barras cruzadas ficam localizadas (Figura 16), nesse ponto a resistência exigida é apenas das barras de aço, deixando o concreto apenas com a função de cobrimento (DNIT, 2004).

Figura 16 – Articulação Mesnager



Fonte: DNIT (2004)

2.2.2.2.3 Articulações metálicas

Neste tipo de articulação não existe a possibilidade de movimentos translacionais, ocorrendo apenas a rotação, mediante um pino de aço inserido entre a base superior e a inferior apoiada à estrutura (Figura 17). Estas articulações têm maior dependência de inspeção e manutenção, para que não haja acúmulo de detritos, que favorecem o processo de corrosão do elemento e dificulta a possibilidade de movimentação (CORDEIRO, 2014).

Figura 17 – Exemplo de articulação metálica - Ponte Findhorn - Escócia



Fonte: Romão (2003)

2.3 INSPEÇÕES

Baseado em Silva Filho (2018) a inspeção é um dos principais pilares da gestão de risco e da conservação de uma construção civil, cujo propósito é identificar desvios comportamentais previstos em projeto, devido ao aparecimento de manifestações patológicas. De acordo com

Souza, Ripper (1998) a realização desta atividade contribui para o planejamento de manutenção, seja ela do tipo preventiva ou corretiva, colaborando com a durabilidade, segurança e vida útil da construção.

2.3.1 Inspeção em pontes

No Brasil, é muito recente a cultura de inspeção e manutenção de OAEs, sendo que os primeiros estudos sobre patologias nas estruturas, ocorreu na década de 80. Com as revisões das Normas Técnicas a partir do ano de 2003, foi dado maior destaque aos conceitos de durabilidade e degradação das estruturas (ARAUJO, 2017).

Apesar da existência de julgamentos errôneos sobre a vida útil das pontes, considerando-a longa ou até mesmo infinita, estas obras como outras quaisquer, estão sujeitas à ação do meio ambiente, à deterioração natural dos materiais e a carregamentos acidentais durante sua utilização (MEDEIROS et al., 2020).

Mediante a isso, a execução de atividades de inspeção é de extrema importância para averiguação do estado de conservação das estruturas de pontes e viadutos, fornecendo informações imprescindíveis para que seja traçado um plano de manutenção adequado. É necessário também frisar as condições de acesso aos locais de inspeção, pois nem todos os elementos estruturais da OAE são de fácil aproximação, principalmente as juntas de dilatação e os aparelhos de apoio, onde se apresenta grande incidência de anomalias (ARAUJO, 2017).

De acordo com a NBR 9452:2019, a inspeção de estruturas de concreto é um conjunto de ações técnicas e especializadas, que consiste na coleta de dados necessários ao desenvolvimento de diagnósticos e prognósticos para a estrutura, visando a manutenção ou reconstrução das condições de segurança estrutural, de funcionalidade e de durabilidade. No item 4 desta norma estão classificados os tipos de inspeções, como apresentado a seguir:

- a) **Inspeção Cadastral:** É realizada assim que a obra é concluída e quando existir qualquer tipo de alteração da estrutura, como alargamento, acréscimo da extensão, reforço e mudança do sistema estrutural.
- b) **Inspeção Rotineira:** Realizada regularmente, com um prazo não superior a um ano para acompanhamento de anomalias observadas em inspeções anteriores e verificação da ocorrência de novas irregularidades. Este tipo de inspeção, pode ou não contar com equipamentos e/ou recursos específicos para análise ou acesso do local a ser inspecionado.
- c) **Inspeção Especial:** Deve apresentar informações referentes ao mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os componentes visíveis e/ou acessíveis da

estrutura. Este tipo de inspeção pode contar com a utilização de equipamentos especiais para acessibilidade de todos os elementos estruturais e deve ter periodicidade de cinco anos.

- d)** Inspeção Extraordinária: Ocorre em situações não programadas, como exemplo podemos citar desastres da natureza ou colisão de veículos com a estrutura. Nesses casos será necessária melhor avaliação dos elementos da OAE. Essa inspeção busca avaliar com maior critério a estrutura, sendo motivada ou não por uma inspeção anterior.

Após as atividades de inspeção, a NBR 9452:2019 apresenta os critérios de classificação das OAEs de acordo com a estrutura, funcionalidade e durabilidade. Realizando uma análise de sua condição e atribuindo notas para cada parâmetro (Quadro 1).

Quadro 1 – Classificação da condição da OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade

Notas de classificação	Condições	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatória, 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 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 e 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.
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.	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.

Fonte: Adaptado da NBR 9452:2019

2.3.2 Inspeção em aparelhos de apoio

De acordo com Cordeiro (2014) os aparelhos de apoio possuem uma durabilidade menor quando comparados à vida útil global da estrutura, devendo recorrer a atividades de inspeção e manutenção, reduzindo as chances de substituição dos aparelhos de apoio precocemente. Estas inspeções podem ser realizadas periodicamente, isso dependerá do tipo de aparelho de apoio e da agressividade do ambiente ao qual se encontra, não devendo ultrapassar um período de cinco anos.

Para a inspeção deste dispositivo, pode ser necessário a utilização de veículos providos de um guindaste articulado com cesto, posicionado sobre a ponte, ou instalação de uma passarela provisória sob a região a ser inspecionada. Isso, devido à falta de acessibilidade decorrente da topografia, vegetação, vales e rios, que impedem a utilização de escadas, plataformas elevatórias e andaimes (ARAUJO, 2014).

Com o avanço da tecnologia de *software*, sensores e câmeras, a utilização de VANTs, tem se destacado como outra alternativa para a realização de inspeção de pontes, principalmente em locais de difícil acesso, tendo como principais vantagens: a segurança durante a execução da atividade, melhor visualização dos elementos, redução de tempo e de custos diretos e indiretos envolvidos na atividade e o fato de não interditar vias durante a inspeção (ARAUJO, 2014; PERRY et al., 2020).

Nesse contexto, há diversos estudos que demonstram como a utilização de VANTs podem tornar superior os resultados de inspeção visual. Pode-se destacar as propostas desenvolvidas por Karim, Dagli e Qin (2020), a qual sugere o uso de câmeras móveis de VANTs para coletar dados de inspeção da ponte e registrar as mudanças periódicas dos elementos da OAE.

Neste segmento, foi abordado por Bolourian e Hammad (2020), um planejamento de caminho 3D para o uso de VANTs, equipado com um Scanner de alcance (LiDAR) para inspecionar estruturas de pontes.

Segundo o DNIT (Norma 010:2004, p.5) alguns pontos importantes devem ser observados para a devida avaliação do estado de conservação e funcionalidade do aparelho de apoio, como:

- O posicionamento e alinhamento do aparelho de apoio;
- A possibilidade de movimentar-se livremente;
- A existência de fissuras, fraturas ou deformações nos aparelhos de apoio;
- A presença de fissuras na superfície do berço;

- A camada de proteção anticorrosiva e estado de conservação dos chumbadores, quando for o caso de aparelhos de apoio metálicos.

De acordo com a NBR 9452:2019 o aparelho de apoio é considerado elemento principal em sistemas estruturais de duas vigas, grelha, caixão e laje, cujo dano pode colapsar a estrutura total ou parcialmente. Para avaliação, pode-se utilizar os critérios de caracterização destacados no Quadro 2 de acordo com a situação em que se encontram os aparelhos de apoio.

Quadro 2 – Referência de classificação da condição do aparelho de apoio

Nota de Classificação	Condições	Caracterização
5	Excelente	Aparelhos de apoio de neoprene com pequenos rasgos na camada superficial, sem exposição das camadas de fretagem.
4	Boa	Aparelhos de apoio metálicos com corrosão superficial.
3	Regular	Aparelhos de apoio danificados ou comprometidos gerando alguma vinculação sem causar grandes esforços, recalques diferenciais e sem criação de cunhas de ruptura ou fissuras no entorno.
2	Ruim	Aparelhos de apoio comprometidos, gerando vínculos imprevisto com cunhas de ruptura e recalques diferenciais ou fissuras.
1	Crítica	Aparelhos de apoio danificados totalmente rompidos, dando origem a esforços horizontais e ou travamentos de rotações, indesejáveis no esquema original.

Fonte: Adaptado da NBR 9452:2019

No Quadro 2 é possível observar que as notas de classificação 5 (excelente) e 4 (boa) são bem específicas quanto ao material do aparelho de apoio, elastômero e metálico respectivamente. Isso provoca limitação da real classificação dos aparelhos de apoio com material diferente dos supracitados.

No que se refere as demais notas 3 (regular), 2 (ruim) e 1 (crítica) abordam de maneira geral os aparelhos, enfatizando anomalias visuais. No entanto, a depender do tipo de material do aparelho de apoio há outras anomalias que poderiam ser abordadas nessa avaliação, as quais proporcionariam melhor classificação da condição desses dispositivos. Algumas delas são mencionadas no item seguinte.

2.4 ANOMALIA DOS APARELHOS DE APOIO

Anomalia pode ser definida como uma irregularidade ou anormalidade apresentada pela estrutura, que resulta na sua deterioração ou mau funcionamento. São diversas as causas que estão ligadas à sua origem. Entretanto, são apontadas duas delas, endógenas e exógenas. A

primeira se refere aos processos de deterioração da própria estrutura, utilização e falhas executivas. A segunda se refere a fatores externos provocados de fora para dentro da estrutura (VIEIRA, 2013).

O aparelho de apoio é um elemento determinante no comportamento estrutural da ponte, devido à sua função e posicionamento. A presença de anomalias nestes dispositivos pode interferir em seu correto funcionamento, introduzindo alterações consideráveis que afetam o comportamento em serviço da estrutura, e em alguns casos reduzem a capacidade de serviço (FREIRE; BRITO, 2006).

Este autor ainda reforça, que devido aos diferentes tipos de materiais de fabricação dos aparelhos de apoio, às características e funcionalidades são específicas, assim como suas anomalias, sendo relevante a classificação dos dispositivos para a caracterização das anomalias que lhes são pertinentes.

Segundo um estudo realizado por Santos et al. (2009), as anomalias mais recorrentes em aparelho de apoio de um modo geral são: corrosão, deformação excessiva e o acúmulo de detritos (Figura 18). Resultando na redução de desempenho do dispositivo e em alguns casos no surgimento de reações não previstas em projeto.

Figura 18 – Acúmulo de detritos na base de assentamento do aparelho de apoio



Fonte: Freire, Brito (2006)

2.4.1 Aparelho de apoio metálico

Os aparelhos de apoio metálicos são mais suscetíveis à degradação, devido à incidência de corrosão em seus elementos constituintes, tornando-se mais dependente de atividades de manutenção. Vieira (2013) destaca outras anomalias que podem vir a acometer o dispositivo:

- Degradação da superfície de contato e das de deslizamento;

- Deficiência da proteção anticorrosiva;
- Mau estado de conservação da solda;
- Posição incorreta e eventual deformação de elementos de rotação;
- Existência de alguma fissura;
- Arqueamento da chapa de deslizamento.

Figura 19 – (a) Fissuração do aparelho de apoio, (b) Problemas de corrosão do aparelho metálico



Fonte: Khaleghi et al. (2019) (a); Santo et al. (2012) (b)

2.4.2 Articulação de concreto

A falha de execução e a agressividade ambiental são consideradas duas das principais causas de anomalias em articulações de concreto (MACHADO; SARTORTI, 2010). A amplitude do movimento de rotação, decorrente do carregamento da estrutura, também é tida como um fator que influencia no surgimento de deformidades nas articulações, sendo as mais frequentes, o esmagamento do concreto ou fissuração dos cantos, corrosão da armadura, inclinação excessiva e o aparecimento de fendas, fissuras e perda de seção da articulação (CORDEIRO, 2014).

2.4.3 Aparelho de apoio de elastômero

A padronização na fabricação e o rigoroso controle de qualidade exigido pela NBR 19783:2015 reduz as chances do aparecimento de anomalias. Entretanto, a falta de manutenção ou falhas no assentamento do aparelho de apoio podem torná-lo sujeito ao aparecimento de anomalias. Cordeiro (2014) e Vieira (2013) destacam as principais:

- Deformação elevada do elastômero;
- Fissuração e fluência do elastômero;

- Deslocamento sobre o suporte;
- Variações na espessura na camada de borracha;
- Corrosão das chapas exteriores e interiores;
- Descolagem da vulcanização das chapas interiores;
- Degradação das chapas de deslizamento;
- Degradação, deslocamento e escorregamento das folhas de PTFE.

Figura 20 – (a) Deslocamento sobre o suporte, (b) Deformação excessiva do elastômero



Fonte: Bruneau et al. (2010) (a); Khaleghi (2019) (b)

2.5 MANUTENÇÃO DOS APARELHOS DE APOIO

A manutenção de uma estrutura pode ser definida como uma série de atividades indispensáveis, para assegurar a funcionalidade e o desempenho esperado ao longo do tempo de utilização, ou seja, para prolongar a vida útil da estrutura (SOUZA; RIPPER, 1998).

É importante observar que os aparelhos de apoio necessitam de atividades de manutenção, visto que, esses dispositivos desempenham funções essenciais na mecânica estrutural da ponte. A falha do aparelho de apoio pode levar à falha da própria ponte, antes mesmo da sua vida útil, portanto, o custo de colocar os aparelhos de apoio em boas condições é alto, mas pequeno em comparação com o custo das soluções para a falha da estrutura no geral (OLADIMEJI, 2012).

Ainda, segundo o mesmo autor, um bom conhecimento dos tipos de aparelhos de apoio, capacidades desses dispositivos (carga vertical máxima, grau de liberdade de movimento etc.), custo do ciclo de vida, manutenção, reparo ou substituição, ajudará no uso do tipo apropriado de aparelho de apoio. Esse conhecimento aliado a inspeção adequada pode ajudar a prever e prevenir a falha dos aparelhos de apoio da ponte.

A decisão de reparos é baseada na conclusão do relatório final da inspeção. Onde consta sobre o estado de conservação, a presença de anomalias e os métodos de restauração a serem executados (CORDEIRO, 2014).

O Quadro 3 apresenta algumas atividades de manutenção para o tratamento de anomalias verificadas nos aparelhos de apoio e na região de assentamento.

Quadro 3 – Listas das atividades de manutenção

Limpeza
Remoção de detritos, resíduos de construção, excesso de tinta e vegetação
Remoção de óleos e lubrificantes de base petrolífera
Drenagem e impermeabilização
Reparação da drenagem e impermeabilização
Lubrificação
Lubrificação das folhas de deslizamento em teflon (PTFE)
Fixação à estrutura
Reaperto ou substituição de fixações aparafusadas
Recolocação dos aparelhos de apoio
Remoção das fixações provisórias
Remoção das chapas de travamento
Fixação de chapas de deslizamento
Reposicionamento
Reposicionamento altimétrico/planimétrico
Realinhamento dos aparelho de apoio para o ponto neutro/fixo
Reparação dos materiais constituintes do aparelho de apoio
Recuperação da soldaduras ou ligações aparafusadas
Substituição de vedantes do aparelho de apoio
Substituição da almofada de elastômero nos aparelhos de apoio de elastômero contido
Reparação do concreto e armadura nas articulações de concreto
Desempenamento e retificação de guias
Proteção anticorrosiva
Reparação da base de assentamento do aparelho de apoio
Reparação de danos, fissura, deformação ou esmagamento
Reposição das dimensões dos plintos (berço)
Nivelamento da base de assentamento
Substituição total ou parcial do aparelho de apoio

Fonte: Adaptado, Vieira (2013)

2.6 PROCEDIMENTO DE SUBSTITUIÇÃO DO APARELHO DE APOIO

No projeto de pontes, deve-se prever uma eventual substituição dos aparelhos de apoio. De modo que os elementos impactados pela atividade possam ser dimensionados e detalhados para atender às solicitações decorrentes. É válido que as informações desse procedimento sejam delineadas e descritas no desenho e memorial de cálculo (NBR 7187:2003).

Este plano, previsto em projeto, tem como objetivo a execução da atividade sem que haja danos à estrutura. Neste sentido, alguns pontos são levados em consideração, como: a localização de apoio do macaco hidráulico para o levantamento do tabuleiro, a amplitude da força exercida pelo macaco e o deslocamento necessário da estrutura. Na situação abordada, o tráfego é interrompido e desviado até a conclusão do procedimento (VEIRA, 2013).

Para execução da atividade de substituição, é necessário o macaqueamento da estrutura (Figura 21), sendo obrigatório a limpeza da junta de dilatação e o desbloqueio das extremidades (cabeceiras) da OAE. Ao passo que a estrutura se desliga dos apoios, são colocados calços ou equipamentos de auto travamento para evitar acidentes, os aparelhos de apoio são substituídos e o procedimento se repete de forma inversa, retirando os calços e deixando a estrutura se apoiar nos novos dispositivos (MACHADO; SARTORTI, 2010).

Essa atividade é complexa e onerosa, razão pela qual sua troca pode ser postergada, desde que se faça uma análise da estrutura e uma inspeção criteriosa na qual verifica-se a separação entre a superestrutura e mesoestrutura ou infraestrutura; se não há anomalias que possam comprometer o comportamento da OAE; e, se não há fissuras, trincas e fendas na região do apoio (DNIT, Norma 091:2006).

Figura 21 – Processo de macaqueamento da estrutura de ponte



Fonte: Adaptado de Suporte Macaqueamentos (2015)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 OBJETO DE ESTUDO

A ponte da Cachoeira (Figura 22) transpõe o rio Piauí, inaugurada no ano de 1957, fica situada no km 154 da BR-101, município de Estância – SE. Construída em concreto armado moldado “*in loco*” no sistema de ponte em vigas de ligação apoiada, com natureza de tráfego rodoviário, possui duas faixas de rolamento, passeios em ambas as laterais e, tem desenvolvimento planimétrico reto ortogonal e desenvolvimento altimétrico reto horizontal.

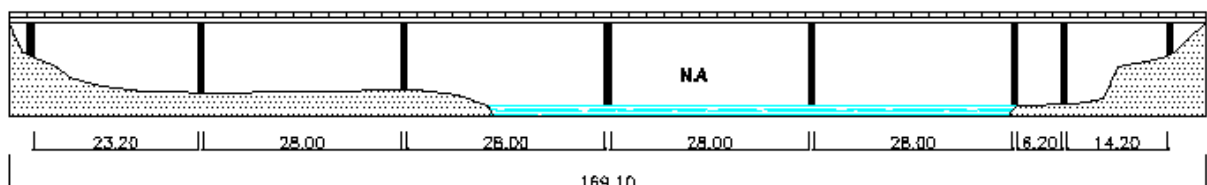
A construção possui uma extensão de 169,10 m distribuídos em nove vãos e largura total de 10,60 m (DNIT, 2019). Apesar de não aferir tais medidas em campo, foi observado uma divergência de informações quanto a extensão da ponte, visto que a placa de sinalização próxima a OAE indica 158,50 m. Nas Figuras 23 e 24 estão detalhadas as seções longitudinal e transversal da ponte.

Figura 22 – Vista lateral e inferior da ponte

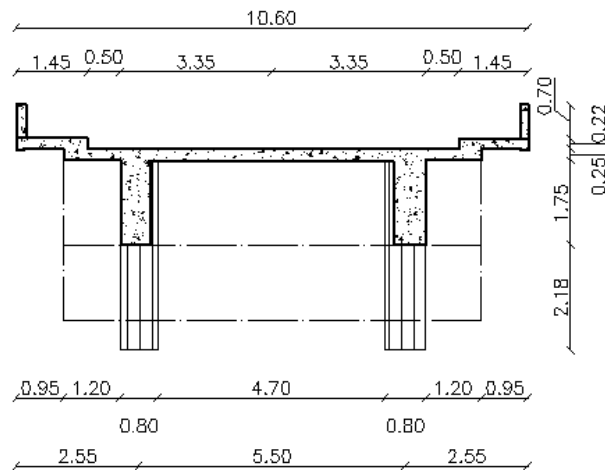


Fonte: Autora (2022)

Figura 23 – Corte longitudinal



Fonte: Adaptado DNIT (2019)

Figura 24 – Corte transversal

Fonte: Adaptado DNIT (2019)

3.2 MATERIAIS

De modo a ter acesso aos aparelhos de apoio, objeto de estudo dessa pesquisa, foi utilizado um VANT do fabricante DJI, modelo *MAVIC Mini* (Figura 25), com peso de decolagem de 249 gramas e dimensões dobrado iguais a 140 x 82 x 57 mm. O tempo máximo de voo deste equipamento é de 30 minutos, com velocidade de 14 km/h em condições sem vento (DJI, 2019). Este modelo foi escolhido em razão das particularidades do voo, tais como: tipo de estrutura a ser inspecionada, possibilidade de aproximação, tempo de voo e qualidade de imagem.

Figura 25 – VANT utilizado

Fonte: Autora (2022)

Também foi utilizado uma câmera fotográfica da Canon *EOS REBEL T3i* (Figura 26), pixels efetivo de 18 megapixels, peso de aproximadamente 550 g e dimensões 133,1 x 99,5 x 79,7 mm (Cannon, 2021), com possibilidade de utilização de lente óptica, cuja função é a aproximação da imagem sem que haja perda na qualidade, fator imprescindível nesta pesquisa.

Figura 26 – Câmera fotográfica



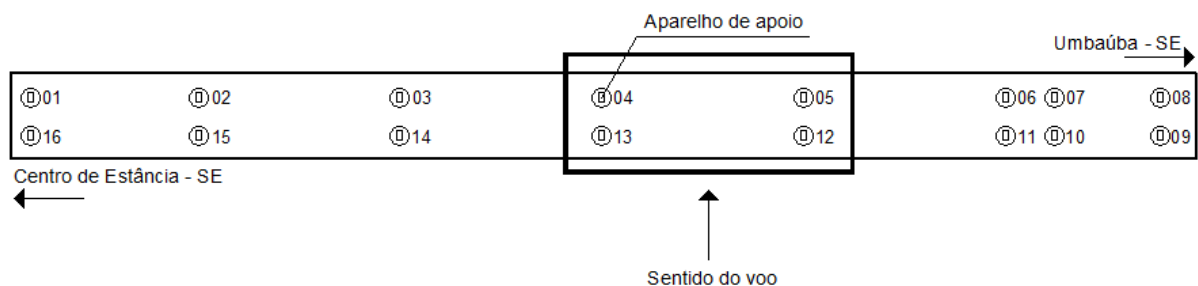
Fonte: Autora (2022)

3.3 MÉTODOS

Visando atender os objetivos propostos, a metodologia foi dividida em duas etapas, conforme detalhado a seguir:

3.3.1 Primeira etapa

Devido à proximidade entre árvores, rede elétrica e alguns aparelhos de apoio (Figura 27), por questões de segurança, foi desenvolvido um plano de voo que desconsiderasse essas áreas, bem como foram descartadas as possibilidades de sobrevoos abaixo da ponte, seguindo as recomendações do manual do fabricante, que aconselha voar em áreas livres, afastado de estruturas altas e metálicas que podem causar interferências no sinal do *Global Positioning System* – GPS conectado ao VANT (DJI, 2019). Assim, o plano de voo ficou restrito à jusante do rio Piauí, estritamente aos aparelhos de apoio fixados aos pilares situados no leito do rio como apresentado na Figura 28.

Figura 27 – Obstáculos próximos a OAE**Fonte:** Autora (2022)**Figura 28** – Representação da área de captura de imagens com o VANT**Fonte:** Autora (2022)

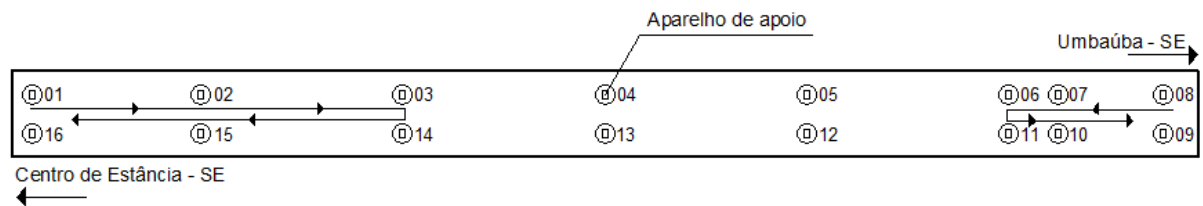
Em seguida, para realização do voo propriamente dito, foram coletadas informações meteorológicas, evitando problemas com chuva e velocidade do vento, de modo a preservar a segurança do voo. Visto que, sobrevoar em condições de muito vento, requer uma reposição de bateria do equipamento antes de atingir a capacidade de voo máxima e ainda habilidades do piloto para manter a estabilidade da aeronave (ANAC, 2017).

Após o planejamento da atividade, foi solicitado junto ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA a autorização de voo e, no dia 29 de dezembro de 2021 foi realizada a inspeção, registrando quatro imagens de cada um dos apoios para facilitar a identificação e avaliação destes.

3.3.2 Segunda etapa

No que se refere à segunda etapa da inspeção técnica, as imagens dos aparelhos de apoio fixados aos pilares das margens do rio foram coletadas com câmera fotográfica de lente óptica, devido à impossibilidade de coleta de imagem com o VANT neste local. A Figura 29 apresenta o modelo esquemático dos registros fotográficos dos aparelhos de apoio. Assim como na primeira etapa, também foram registradas quatro imagens por apoio.

Figura 29 – Representação da sequência de captura de imagens com a câmera fotográfica



Fonte: Autora (2022)

As imagens coletadas por ambos os equipamentos, foram analisadas para verificação do tipo de dispositivo utilizado na ponte, da sua integridade e da existência de anomalias. Diante dessa análise, classificou-se a condição do aparelho de apoio de acordo com a NBR 9452:2019, atribuindo notas de 1 a 5 referente a caracterização das condições dos dispositivos, sendo a nota 5 (nível excelente) e a nota 1 (nível crítico).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

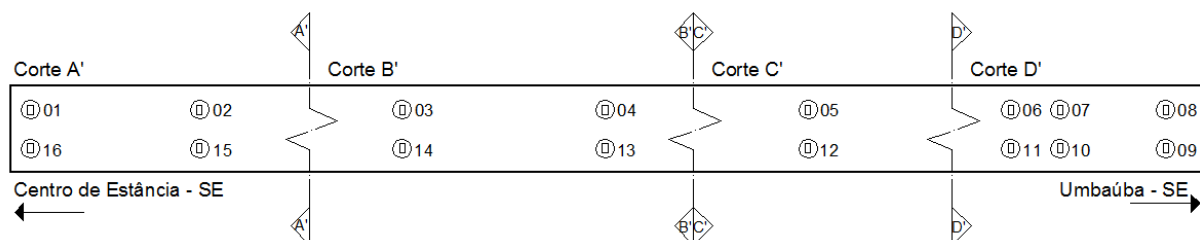
A inspeção dos aparelhos de apoio foi realizada em duas tentativas. A primeira tentativa ocorreu no dia 07 de outubro de 2021, em condições meteorológicas favoráveis de início. Na época os registros de imagens seriam feitos utilizando o VANT, modelo *Spark* do fabricante DJI, com tempo de voo máximo de 16 minutos. Fatores como instabilidade de voo, em razão do fluxo de vento próximo à ponte, e falha na conexão do VANT com o sinal do GPS, colaboraram para o esgotamento da bateria da aeronave, colocando a segurança do equipamento em risco. Além disso, foram observados obstáculos nas proximidades dos apoios das margens do rio, descartando a possibilidade de voo nestes locais.

Os fatores observados na primeira tentativa de inspeção, responsáveis pelo insucesso dela, trouxeram a possibilidade de utilização da metodologia híbrida de inspeção, conforme já apresentado neste trabalho.

Conforme ajustes no planejamento da inspeção e realização, possibilitou a verificação da existência de 16 aparelhos de apoio do tipo elastômero simples. O uso desse tipo de aparelho é comum na vinculação de estruturas que não são solicitadas por grandes carregamentos, feito basicamente de borracha, possui propriedades que melhoram a distribuição das tensões em ligações submetidas à compressão, bem como a possibilidade de movimentação da estrutura (MERLOS, 2019).

Nos aparelhos vistoriados verificou-se desgaste considerável e existência de anomalias, a seguir serão explanadas as situações mais críticas dos aparelhos de apoio, apresentadas em ordem crescente de criticidade. Para facilitar a identificação de cada imagem abordada, a estrutura foi seccionada em quatro partes (Figura 30), onde será detalhada a posição da imagem no corte.

Figura 30 – Seccionamento da estrutura



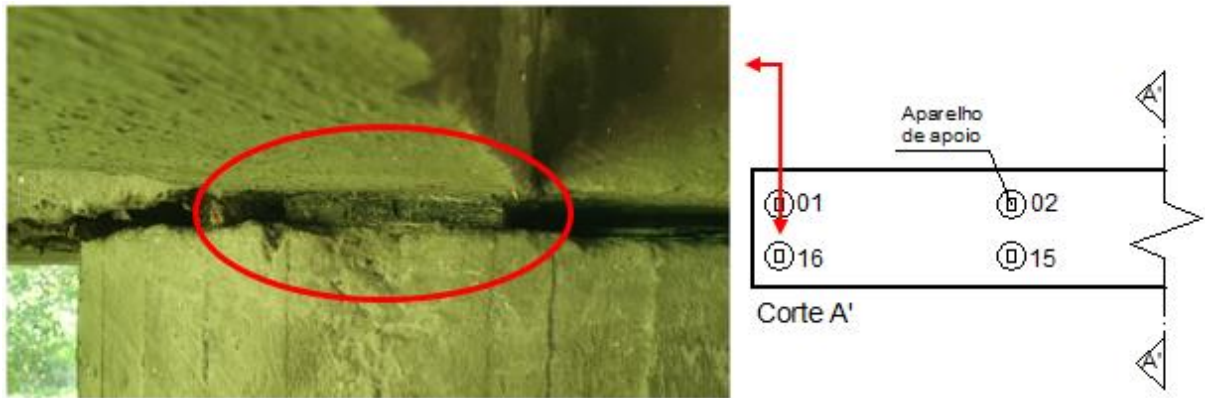
Fonte: Autora (2022)

4.1 FISSURAS NO APARELHO DE APOIO

O aparelho de elastômero é conhecido por apresentar boa durabilidade e resistência frente a intempéries. No entanto, o tempo de uso e o ressecamento do material favorecem o aparecimento de fissuras, anomalia frequente devido às circunstâncias.

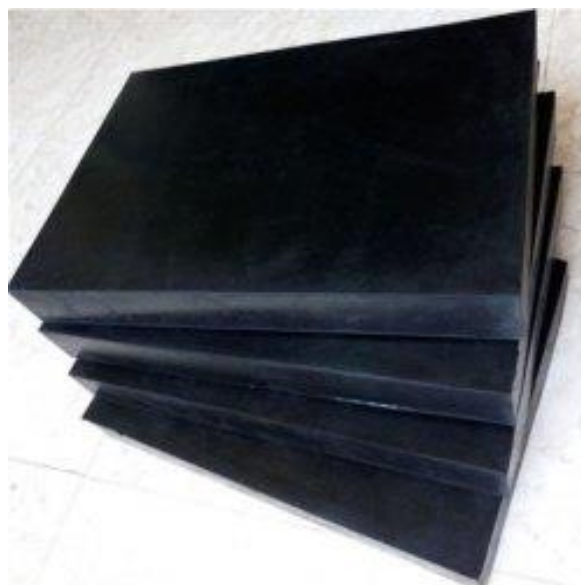
No que concerne a este assunto, foram observados durante a inspeção casos de ressecamento do aparelho de apoio, resultado do envelhecimento do material e/ou o longo tempo de exposição ao calor, oxigênio e radiação UV tornam o elastômero duro e quebradiço (FU et al., 2007). A Figura 31 e 32 apresentam respectivamente uma comparação entre a situação do aparelho de apoio vistoriado na ponte da Cachoeira e um aparelho de apoio novo.

Figura 31 – Aparelho de apoio de elastômero ressecado (apoio 16)



Fonte: Autora (2022)

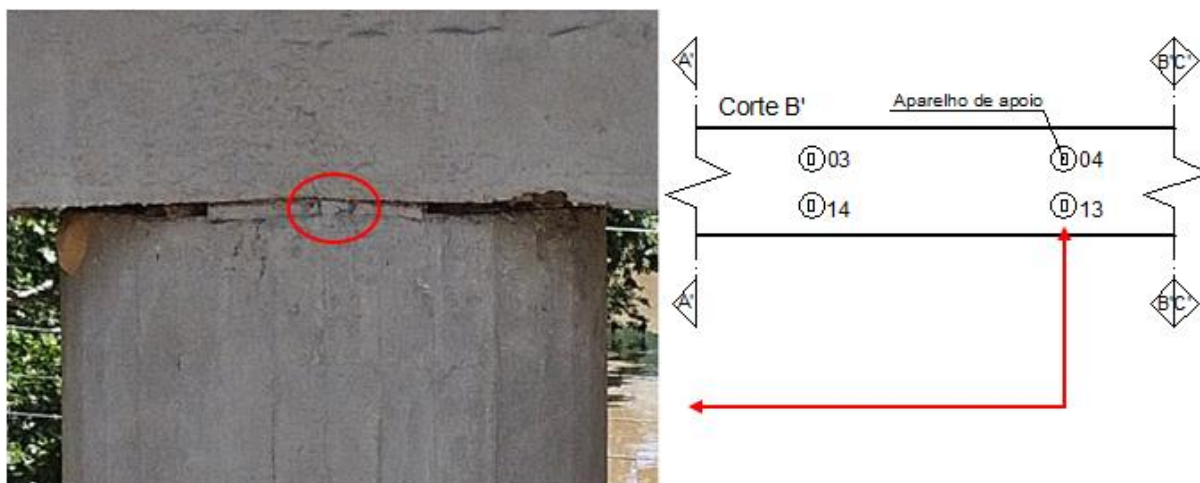
Figura 32 – Aparelho de apoio de elastômero novo



Fonte: Indiamart (2022)

Em consequência das intempéries e da ação constante de compressão, identificou-se fissuras nos aparelhos de apoio. Com relação a isso, o DNIT (Norma 091:2006) orienta que em inspeções sejam avaliados o comprimento e a profundidade das fissuras, tolerando-se de 2 a 3 mm para ambas as dimensões. Neste estudo não foi possível obter as dimensões referidas, mas pode-se observar que duas das fissuras presentes no dispositivo 13 (Figura 33) avançaram por toda a profundidade do aparelho de apoio. Essas fissuras facilitam a exposição do elastômero aos agentes agressivos do ambiente, aumentando a possibilidade de degradação do material.

Figura 33 – Aparelho de apoio de elastômero com fissuras (apoio 13)



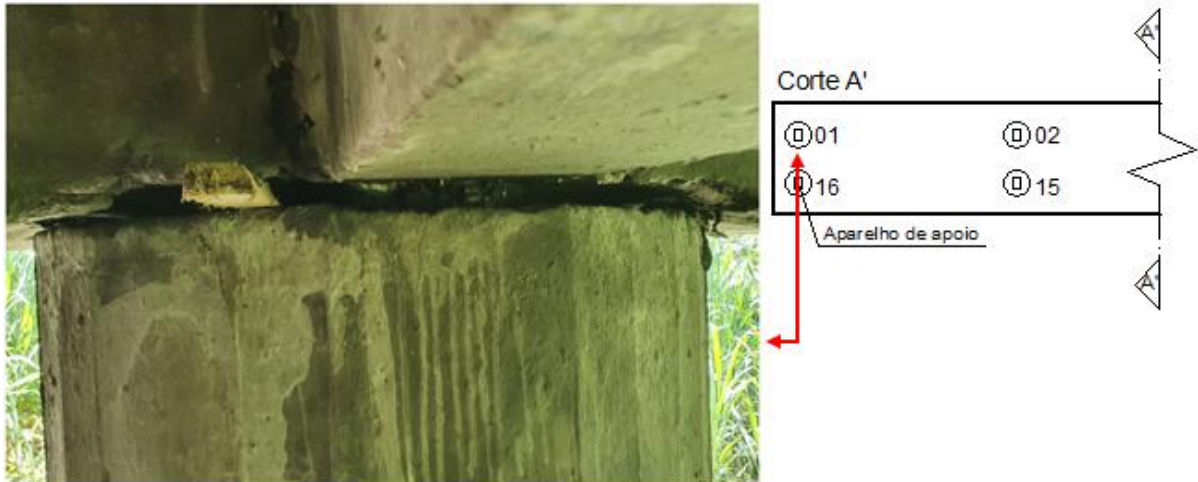
Fonte: Autora (2022)

4.2 ASSENTAMENTO DO APARELHO DE APOIO

Para fixação do aparelho de apoio, normalmente é construída uma base ou berço de assentamento, onde o dispositivo é colado através de uma resina epóxi. Esta base deve ser nivelada e construída de argamassa retrátil, com altura especificamente dimensionada. Há alguns casos específicos em que o aparelho pode ser diretamente assentado na superfície de apoio (pilar ou encontro), no entanto deve-se garantir o nivelamento e limpeza do local (VIEIRA, 2013).

Em análise das imagens, observou-se que os aparelhos de apoio da ponte da Cachoeira foram fixados diretamente sobre a superfície dos pilares, onde constatou-se detritos e agentes biológicos nas proximidades dos dispositivos e irregularidade da superfície de assentamento (Figura 34). Um problema relacionado com a falta de nivelamento da superfície de assentamento é o abaulamento do aparelho de apoio, em consequência da concentração de carga estrutural em apenas uma parte do material (ARIA; AKBARI, 2013).

Figura 34 – Superfície de assentamento do aparelho de apoio irregular (apoio 01)

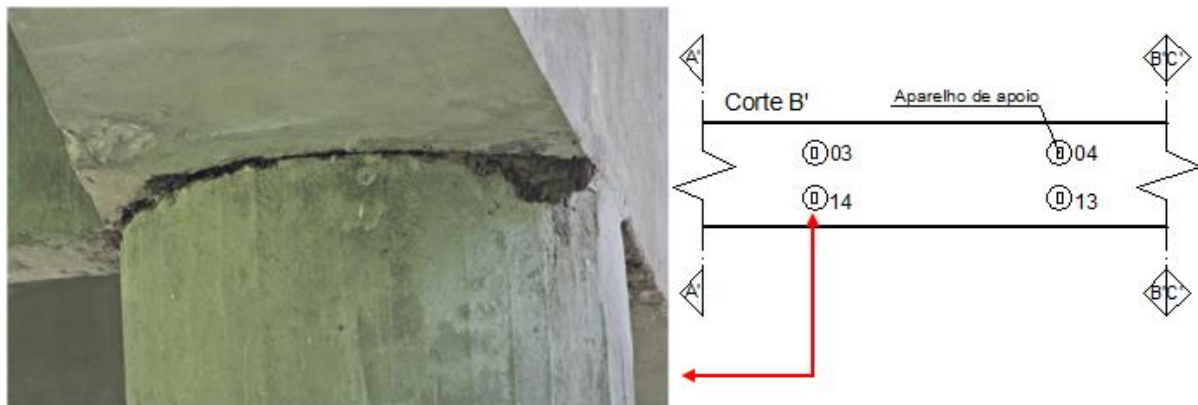


Fonte: Autora (2022)

4.3 ACÚMULO DE DETRITOS

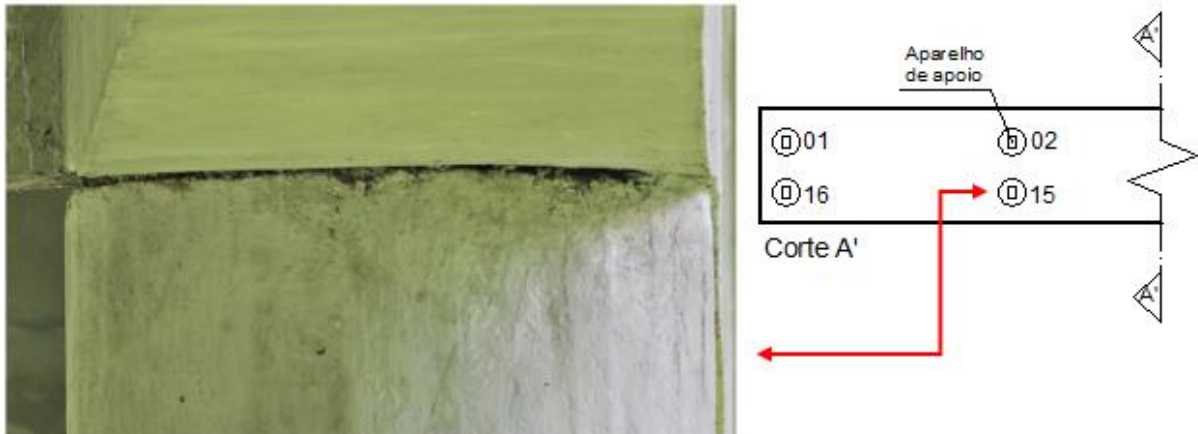
O acúmulo de detritos foi algo observado em todos os aparelhos de apoio da ponte, como apresentado nas Figuras 35 e 36. A falta de limpeza regular nas regiões dos apoios é um problema que pode restringir a liberdade de movimento do dispositivo, reduzindo sua funcionalidade e provocando o surgimento de reações não previstas na estrutura (CORDEIRO, 2014).

Figura 35 – Cupinzeiro nas imediações do aparelho de apoio (apoio 14)



Fonte: Autora (2022)

Figura 36 – Resíduo de material na região do apoio (apoio 15)



Fonte: Autora (2022)

Ademais, no ano de 2020 foi realizada uma intervenção estrutural pelo órgão competente. No entanto, o serviço acabou selando com graute, material utilizado em reparos de elementos estruturais, o espaço entre a superestrutura e mesoestrutura, como apresentado na Figura 37.

Figura 37 – Selo de graute entre viga e pilar (apoio 08)

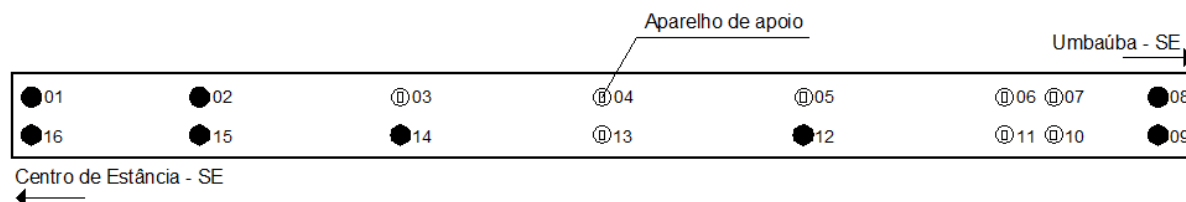


Fonte: Autora (2022)

Diante do observado, vale ressaltar a importância do acompanhamento de um profissional capacitado para impedir que situações iguais a essa aconteçam, dado que, analisando as imagens certificou-se que 50 % dos apoios ficaram comprometidos com o graute utilizado na intervenção (Figura 38).

O graute aplicado na região do aparelho de apoio acaba impossibilitando a visualização do dispositivo e possivelmente sua avaliação, visto que a metodologia aplicada pela NBR 9452:2019 para classificação das condições dos aparelhos é estritamente visual.

Figura 38 – Aparelhos de apoio com argamassa



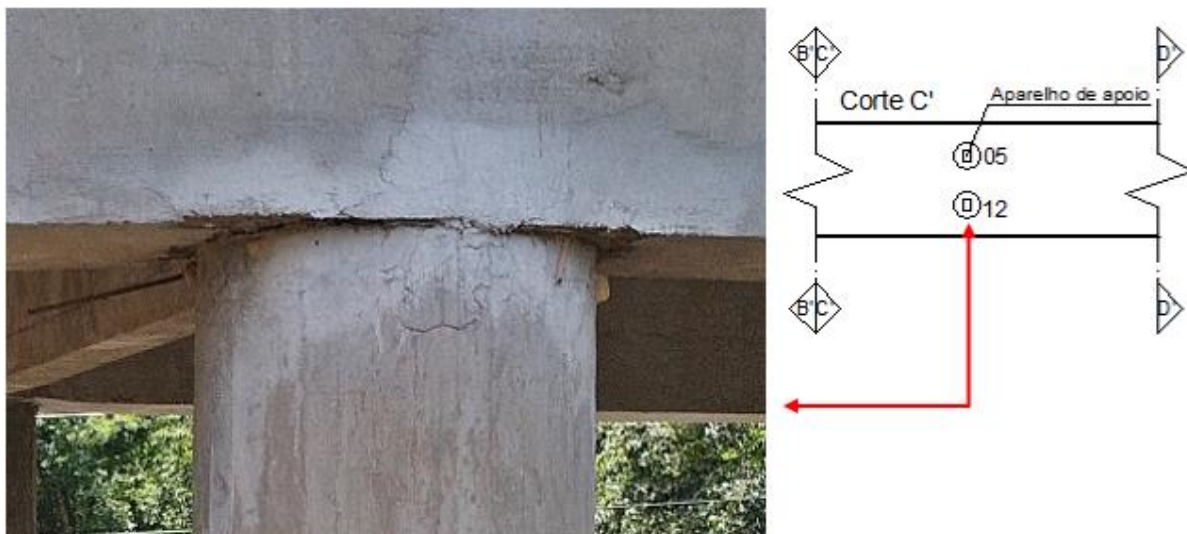
Fonte: Autora (2022)

4.4 ESMAGAMENTO DO APARELHO DE APOIO

A falha por esmagamento do aparelho pode ser provocada mediante o carregamento excessivo por um longo período ou por subdimensionamento. Quando solicitado, o aparelho de elastômero se deforma ligeiramente, porém, ao exceder a tensão suportada, este se espalhará, aumentando sua área e reduzindo significativamente sua espessura (EICHBURG; FEERO; NICASTRO, 2015).

A Figura 39 evidencia a situação de esmagamento do aparelho de apoio, falha que resulta na perda de eficiência do dispositivo, na transmissão direta dos esforços e no desgaste entre superestrutura e mesoestrutura, em razão do surgimento das forças de atrito entre os elementos. O esmagamento do aparelho de apoio é o último estágio de falha do material, nessa situação é recomendado pela literatura a substituição do dispositivo.

Figura 39 – Aparelho de apoio esmagado (apoio 12)



Fonte: Autora (2022)

4.5 AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DOS APARELHOS DE APOIO

Quanto à classificação das condições dos aparelhos de apoio, foram julgados de acordo com o Quadro 2 da NBR 9452:2019 apresentado neste trabalho. A seguir, o Quadro 4 mostra as principais características observadas para avaliação e classificação de cada aparelho de apoio vistoriado.

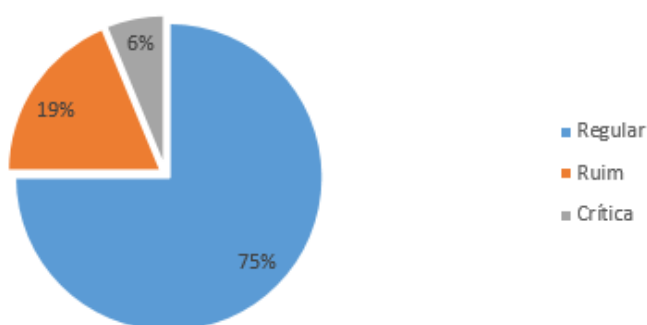
Quadro 4 – Classificação dos aparelhos de apoio

Aparelho de apoio	Nota de classificação	Condições	Principais características observadas
02, 03, 04, 05, 06, 07, 09, 10, 11, 14, 15 e 16	3	Regular	Aparelho de apoio desgastado, com acúmulo de detritos, gerando algum tipo de vinculação sem causar grandes esforços.
01, 13, 08	2	Ruim	Aparelho de apoio danificado com apresentação de fissuras e vinculação imprevista na estrutura.
12	1	Crítica	Aparelho de apoio danificado totalmente rompido, gerando problemas de movimentação da estrutura e esforços não previstos.

Fonte: Autora (2022)

Assim, dos 16 aparelhos inspecionados, 12 foram considerados em situação regular (75%), 3 em situação ruim (19%) e 1 em situação crítica (6%), apresentado na Figura 40.

Figura 40 – Condições dos aparelhos de apoio



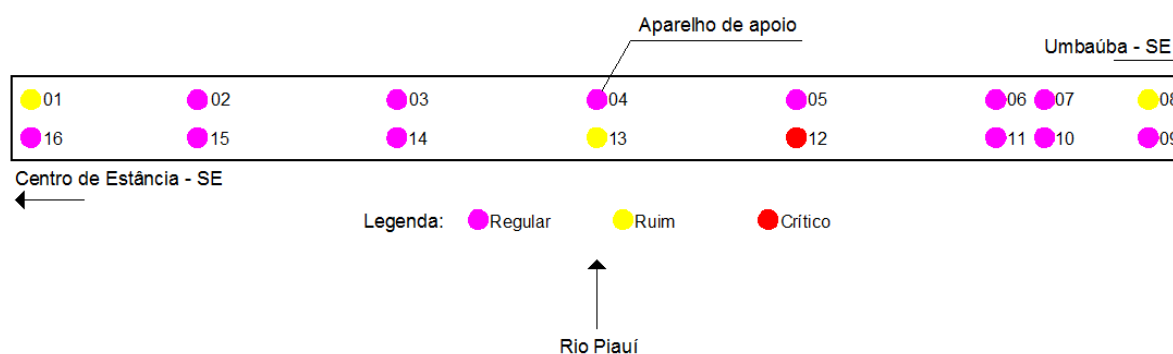
Fonte: Autora (2022)

O aparelho de apoio de número 16 (Figura 31) apresenta sinais de ressecamento do elastômero, situação que dificulta sua classificação conforme os parâmetros da NBR 9452:2019. Apesar de ser atribuído a condição regular, o mesmo poderia se enquadrar entre regular e ruim, visto que o material em ressecamento pode configurar limitação na transmissão

dos esforços, em função da diminuição da constante elástica. Logo, a norma não aborda tal modo de classificação, mas contribui com outros aspectos de avaliação da condição dos dispositivos conforme o Quadro 2.

É apresentado na Figura 41 o modelo esquemático da localização dos aparelhos de apoio e sua condição de uso.

Figura 41 – Localização dos apoios de acordo com suas condições de uso



Fonte: Autora (2022)

Segundo Amorim (2017) uma das principais causas de vibração em estruturas de ponte é o fluxo de veículos. Este movimento oscilatório é induzido pelas forças dinâmicas de interação veículo-pavimento, sofrendo maior intensidade em consequências das irregularidades na superfície da via e imperfeições dos próprios veículos (AMORIM, 2017). Com isso, é possível que a vibração tenha colaborado para o comprometimento dos aparelhos de apoio.

Neste contexto, analisando a posição dos apoios de maior criticidade apresentado no esquema acima e considerando teoricamente que a vibração da estrutura é amplificada nos vãos centrais da OAE, isso pode sugerir que os apoios 12 e 13, devido à localização, estão submetidos a maiores efeitos dinâmicos do que os demais, bem como os apoios 01 e 08, cuja posição coincide com o local de maior impacto na transição de veículos ao cruzar a ponte. Fatores esses que poderão influenciar na segurança e no comportamento da estrutura.

Um outro ponto a ser levantado é a localização oposta dos quatro aparelhos de apoio, sendo 12 e 13 à jusante do rio e 01 e 08 à montante. Tais dispositivos necessitam de estudos específicos em relação ao sentido do tráfego, o perfil de layout de cargas móveis (veículos), aos esforços e fundações divergentes entre a mesoestrutura situada no leito do rio e a fixada na margem, com a finalidade de verificar se esses aspectos favorecem na sua condição de uso atual.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como propósito a identificação e avaliação da integridade dos aparelhos de apoio da ponte da Cachoeira. Os aparelhos de apoio são elementos fundamentais de vinculação em estruturas de ligação apoiada, cuja função é transmitir as cargas verticais da superestrutura para mesoestrutura ou infraestrutura e ainda permitir movimentos de translação e rotação. Diante disso, estes elementos se tornam essenciais para a segurança, durabilidade e correto funcionamento da estrutura ao qual estão fixados.

Na inspeção foi possível a identificação do tipo de aparelho de apoio, sendo este de elastômero simples. Aparelhos de elastômeros são utilizados em larga escala, em razão das propriedades técnicas e da fácil manutenção desses dispositivos.

A ponte da Cachoeira esta operação a 65 anos e desde então os aparelhos de apoio desempenham a função de vinculação da estrutura. Estes dispositivos encontram-se desgastados e com anomalias, fazendo-se necessário a realização de uma manutenção e o acompanhamento da funcionalidade dos aparelhos.

A recuperação realizada nas vigas longarinas e/ou pilar, pontualmente na região dos apoios, pode indicar dano provocado pelo atrito entre a superestrutura e a mesoestrutura, sugerindo que os dispositivos não estão funcionando adequadamente.

No entanto, ainda que comprometidos, os aparelhos de apoio em sua maioria se encontram em condições regulares de acordo com a classificação da NBR 9452:2019, sem provocar grandes danos ou alterações no comportamento da estrutura da ponte.

A metodologia da norma supracitada é estritamente visual para avaliação dos aparelhos de apoio, onde são atribuídas notas de classificação em função da condição usual dos dispositivos. No entanto, os parâmetros abordados para tal avaliação necessitam de melhorias no quesito de incluir outros tipos de anomalias, em razão das características específicas para cada tipo de aparelho de apoio.

O uso de VANT's para inspeções de estruturas é um método eficaz. Entretanto, deve ser observado a localidade e o tipo de estrutura a ser inspecionado, bem como, a escolha do modelo do equipamento, pré-requisitos necessários para a segurança do voo.

Em observação das particularidades observadas em campo da estrutura e proximidades, esta pesquisa foi realizada com uma metodologia híbrida de equipamentos. O uso de uma câmera fotográfica com lente óptica agregou no registro das imagens dos aparelhos de apoio localizados em áreas impossibilitadas de sobrevoar.

Deste modo, o uso de tecnologia aliada a atividades da construção civil, como inspeção de estruturas, é de grande relevância, considerando a facilidade da realização da atividade, redução de tempo, melhor visualização dos elementos, minimização de custos, maior segurança da equipe e sem a necessidade de interdição da estrutura.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com objetivo de aprimorar o estudo realizado por este trabalho, foram elaboradas algumas sugestões de pesquisas futuras.

- Realizar um estudo das tensões, distribuição de esforços e deformações dos aparelhos de apoio de elastômero;
- Estudar o desempenho estrutural dos aparelhos de apoio da ponte;
- Analisar a possibilidade de substituição dos aparelhos de apoio;
- Avaliação do comportamento estrutural diante das condições apresentadas dos aparelhos de apoio;
- Estudar as condições de projetos ou falhas de execução que levam ao desgaste diferencial dos aparelhos de apoio.

REFERÊNCIAS

AECWEB. **Aparelhos de apoio oferecem alta durabilidade a estruturas de grande porte.** 1 fotografia. 2021. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/emp/cont/m/aparelhos-de-apoio-oferecem-alta-durabilidade-a-estruturas-de-grande-porte_23822_6090. Acessado em: 03 jun. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Drones e meteorologia.** Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/seguranca-operacional/meteorologia-aeronautica/assuntos-relacionados/drones-e-a-meteorologia#voo>. Acessado em: 12 jan. 2022.

AMORIM, Mayara Lobo. **Análise do comportamento dinâmico de construções históricas submetidas a vibrações induzidas por tráfego.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

ARAÚJO, Ciro José Ribeiro Villela. Principais aspectos abordados na ABNT NBR 9452:2016, a importância das atividades de manutenção em pontes e viadutos e as dificuldades das condições de acesso às inspeções. **Revista IPT | Tecnologia e Inovação.** São Paulo, v.1, n.5, ago., 2017.

_____. Vistoriando obras de arte especiais. **Revista Notícias da Construção: Soluções inovadoras.** São Paulo, v. 138, ano 11. out. 2014.

ARIA, Morteza; AKBARI, Reza. Inspection, condition evaluation and replacement of elastomeric bearings in road bridges. **Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance.** v. 9, n.9, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 19783: Aparelhos de apoio de elastômero fretado - Especificação e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 7187: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.** Rio de Janeiro, 2017.

BOLOURIAN, Neshat; HAMMAD, Amin. LiDAR-equipped UAV path planning considering potential locations of defects for bridge inspection. **Automation in Construction,** v. 117. 2020.

BRASIL. ANAC. Requisitos Gerais para Veículos Aéreos não Tripulados e Aeromodelos. RBAC-E nº 94. Brasília. 2017.

BRUNEAU, M.; ANAGNOSTOPOULOU, M.; PALERMO, A. **Preliminary report on bridge damage.** 2010. 1 fotografia. Centerbury, New Zealand. 2010. Disponível em:

<http://learningfromearthquakes.org/2010-09-03-canterbury-new-zealand/11-resources/47-preliminary-report-on-bridge-damage-from-the-darfield-new-zealand-m7-1-earthquake-of-september-4-2010-draft-of-2010-09-23>. Acessado em: 25 jun. 2021.

CANON. **Manual de instruções.** Disponível em: <https://www.canon.com.br/produtos/produtos-para-voce/cameras/linha-eos/rebel-t3i>. Acessado em: 12 jan. 2022.

CORDEIRO, João Gonçalo Paulo. **Aparelho de apoio em pontes vida útil e procedimento de substituição.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2016.

COSTA, Vanessa Miranda da. **Desempenho e reabilitação de pontes rodoviárias:** aplicação a casos de estudo. 2009. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2009.

CHIMUAGA, Litícia Purificação da Benigna. **Estudo do comportamento estrutural dos aparelhos de apoio da ponte Rio-Niterói.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Tecnologia da Construção e Estruturas) – Universidade Federal Fluminense, Niterói – Rio de Janeiro, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE (DNIT). **Norma DNIT 091 – Tratamento de aparelhos de apoio:** concreto, neoprene e metálicos – Especificação de serviço. Rio de Janeiro – RJ, p. 7, 2006.

_____. **Norma DNIT 010 – Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido** – Procedimento. Rio de Janeiro – RJ, p.18, 2004.

_____. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias.** 2 ed. Rio de Janeiro – RJ, p. 253, 2004.

_____. **Registro fotográfico:** inspeção técnica ponte sobre o rio Piauí, BR 101. Estância - SE, p. 54, 2019.

DJI. **Manual do utilizador** – Mavic Mini. 2019. Disponível em: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_Mini/20200212/Mavic_Mini_User_Manual_v1.0_PT.pdf. Acessado em: 20 jan. 2022.

DORNELAS, Lucas; XAVIER, Heraldo. Conservação de obras de artes especiais: pontes e viadutos. **PMKB**, Belo Horizonte, dez. 2018. Disponível em: <https://pmkb.com.br/artigos/conservacao-de-obras-de-artes-especiais-pontes-e-viadutos/>. Acessado em: 08 maio 2021.

EICHBURG, Doris; FEERO, Beth A.; NICASTRO, David. Bearing pad durability inn precast concrete garages. **The construction specifier** – CSI. jan. 2015. Disponível em: <https://www.constructionspecifier.com/bearing-pad-durability-in-precast-concrete-garages/>. Acessado em: 26 jan. 2022.

EUROPEAN COMMITTEE FOR SATANDARDIZANTION. **EN 1337-6:2004 – Structural bearings – Part 6:** Rocker bearings. Brussels – Belgium, p. 28, 2004.

FREIRE, Luís M. R.; BRITO, Jorge de; CORREIA, João R. Inspection survey of support bearings in road bridges. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, July. 2013.

FREIRE, Luís M. R.; BRITO, Jorge de. Identificação dos parâmetros a considerar na inspeção dos principais tipos de aparelhos de apoio aplicados na rede rodoviária portuguesa. In: CONFERENCE – 4ª JORNADAS PORTUGUESAS DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS, LNEC. At: Lisboa, Portugal. **Anais [...]**. Lisboa, 2006.

FU, C.C.; PH. D.; P. E.; ANGELILLI, Charles. **Research report**: Investigation of the performance of elastomeric bearings on Maryland concrete bridges. Maryland. University of Maryland. 2007. 87 p.

GONÇALVES. Felipe Rezende. Manifestações **Patológicas de aparelhos de apoio em obras de arte especiais** – Estudo Prático. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

IBG NEWS. **The cleanup act... water flowing under the Painganga bridge about 20 feet higher than normal.** 2021. 1 fotografia. Disponível em: <http://ibgnews.com/2018/09/02/natural-justice-the-annual-migration-of-our-sins/the-cleanup-act-water-flowing-under-the-painganga-bridge-about-20-feet-higher-than-normal/>. Acessado em: 17 jun. 2021.

INDIAMART. **Pot PTFE Bridge Bearings.** 2021. 1 fotografia. Disponível em: <https://www.indiamart.com/proddetail/pot-ptfe-bridge-bearings-20626726255.html>. Acessado em: 17 jun. 2021.

_____. **Ruber bridge bearing pad.** 2022. 1 fotografia. Disponível em: <https://www.indiamart.com/proddetail/rubber-bridge-bearing-pad-22186852097.html>. Acessado em: 10 fev. 2022.

KARIM, Muhammad Monjurul; DAGLI, Cihan H.; QIN, Ruwen. Modeling and simulation of a robotic bridge inspection system. In: KARIM, Muhammad Monjurul et al. **Procedia Computer Science**, v. 168, 2020.

KHALEGUI, B.; FU, Z.; KESTORY, E.; MONGI, A. N.; NIX, R.; WARREN, L.; ZELDENRUST, R.; STANTON, J. F.; WALSH, J. **Experiences in the performance of bridge bearings and expansion joints used for highway bridges.** 2019. 1 fotografia. Lawrenceville, NJ: Arora and Associates, P.C. Jul. 2019. 153 p. Disponível em: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/SCAN17-03-13updated.pdf>. Acessado em: 25 jun. 2021.

LAN, Rian de Oliveira. Aparelhos de apoio fretado de neoprene: uma revisão. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v.41, n.1, jun. 2020.

LEONHARDT, Fritz. **Construções de Concreto.** Rio de Janeiro: Interciência, vol. 6, 1979.

MACHADO, R. N.; SARTORTI, A. L. Pontes: Patologias dos aparelhos de apoio. *In: VI CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA Y RECUPERACION DE ESTRUCTURAS*, 2010. Córdoba, Argentina. **Anais [...]**. Córdoba, p. 1- 13, 2010.

MAIA, Miguel Araújo Azevedo. **Durabilidade de aparelhos de apoio e juntas de dilatação em obras de arte especiais**. 2014. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil - Especialização em construções) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2014.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de concreto armado**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2008.

MAURER. **Aparelhos de apoio estrutural**. 2021. 1 fotografia. Disponível em: <https://www.archiexpo.com/pt/prod/maurer-se/product-126637-1502952.html>. Acessado em: 03 jun. 2021.

MEDEIROS, Alisson Gadelha de; SÁ, Maria das Vitórias V. A. de; SILVA FILHO, José Neres da; ANJOS, Marcos Alyssandro S. dos. Aplicação de metodologias de inspeção em ponte de concreto armado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, jul./set. 2020.

MERLOS, Renata Soares. **Contribuição para determinação do módulo de deformação à compressão de aparelhos de apoio elastoméricos simples**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES. Bridge bearing. *In: NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES. Engineering, and Medicine. Design Guide for Bridges for Service Life*. Washington: The National Academies, cap. 10, p.1-65, 2013.

NEOPREX. **Catálogo Técnico: aparelho de apoio elastoméricos**. Guarulhos – SP, p. 60. 2022. Disponível em: https://www.neoprexmaurer.com.br/_files/ugd/1771b0_8ba21c25359f4724bc025a53f704a2e3.pdf. Acessado em: 26 fev. 2022.

OLADIMEJI, Fasheyi Adebawale. **Bridge Bearin**: Merits, demerits, practical issues, maintenance and extensive surveys on bridge be. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Royal Institute of Technology (KTH) Stockholm, Sweden, 2012. Disponível em: <https://docplayer.net/39607312-Bridge-bearings-merits-demerits-practical-issues-maintenance-and-extensive-surveys-on-bridge-bearing-fasheyi-adebowale-oladimeji.html>. Acessado em: 03 jun. 2021.

PERRY, Brandon J.; GUO. Yanlin; ATADERO, Rebecca; LINDT, John W. van de. Streamlined bridge inspection system utilizing unmanned aerial vehicles (UAVs) and machine learning. *In: PERRY, B.J. et al. Measurement*, v. 164, 2020.

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

_____. **Pontes: curso básico: projeto, construção e manutenção**. Rio de Janeiro: Campus, 1983.

REBELLO, Y. C. P.; LEITE, M. A. D. F. D. **Considerações sobre o ensino e aprendizagem de estrutura nas escolas de arquitetura**. 2015. 1 fotografia. Disponível em:

<https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/11298/9942>. Acessado em: 31 maio 2021.

ROMÃO, Xavier. **Condições de apoio e de fronteiras em problemas estruturais**. 2003. 1 fotografia. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/mackenzista2/apoios-tipos-diversos-em-pontes-e-obras>. Acessado em: 03 maio 2021.

SANTO, Tetsuo; SAITO, Jiro; MASUDA, Koichi. Transition and Recent Knowledge of Bridge Bearings in Japan. 2012. 1 fotografia. In: 15 WCEE. Lisboa. Portugal. **Anais [...]**. Lisboa, 2012. Disponível em: https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_1869.pdf. Acessado em: 25 jun. 2021.

SANTOS, João; VARUM, Humberto; COSTA, Anibal; RIBEIRO, Romana. Causas comuns de anomalias em obras-de-arte de betão armado. In: ASCP'09 – 1º CONGRESSO DE SEGURANÇA E CONSERVAÇÃO DE PONTES ASCP. Lisboa. Portugal. **Anais [...]**. Lisboa, 2009.

SILVA, Ricardo Barboza da. **Avaliação da resistência e funcionalidade dos aparelhos de apoio da ponte Rio-Niterói após 40 anos em serviço**. 2016. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 2016.

SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto da. Inspeção e manutenção. **Revista CONCRETO & Construções**: Inspeção e Manutenção. 91 ed. São Paulo, ano XLVI, p. 15-28, jul./set. 2018.

SOLETO JR. José; FRANÇA, Luis Novaes Ferreira. **Introdução às vibrações mecânicas**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2006.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

SUPORTE MACAQUEAMENTOS. **Trocas de aparelhos de apoio**. 2015. Disponível em: <https://www.suportemacaqueamentos.com/troca-de-aparelhos-de-apoio>. Acessado em: 03 maio 2021.

SKETCHUP3D CONSTRUCTION. **Importance of bridge elastomeric bearing pad in bridge construction**. 2021. 1 fotografia. Disponível em: <https://www.sketchup3dconstruction.com/const/bridge-elastomeric-bearing-pad.html>. Acessado em: 31 maio 2021.

TOP TEC. **Aparelhos de apoio**. 2021. 1 fotografia. Disponível em: <http://toptecborrachas.com.br/produto/aparelhos-de-apoio/#>. Acessado em: 17 jun. 2021.

TRADEINDIA. **Elastomeric rubber bridge bearing load capacity: 50 -500 tonne**. 2021. 1 fotografia. Disponível em: <https://www.tradeindia.com/products/elastomeric-rubber-bridge-bearing-c5973380.html>. Acessado em: 03 jun. 2021.

TRAFBOR. **Apoio Neoprene**. 2021. 1 fotografia. Disponível em: <http://trafbor.com.br/apoio-em-neoprene-simples/>. Acessado em: 11 ago. 2021.

VIEIRA, Margarida Isabel Cabrita. **Tipologia, instalação, funcionamento e manutenção dos diversos tipos de aparelhos de apoio em Obras de Arte**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2013.

VIVAN, Milton Emílio. Aparelhos de apoio estruturais. **Revista CONCRETO & Construções: Sustentabilidade na Construção**. 77 ed. São Paulo, ano XLII, jan./mar. 2015.

WIKIMEDIA COMMONS. **File: Roller Bearing, Jensen Drive (Hill Street) Bridge over Buffalo Bayou, Houston, Texas**. 2020. 1 fotografia. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roller_Bearing,_Jensen_Drive_\(Hill_Street\)_Bridge_over_Buffalo_Bayou,_Houston,_Texas_1310261116_\(10577360794\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roller_Bearing,_Jensen_Drive_(Hill_Street)_Bridge_over_Buffalo_Bayou,_Houston,_Texas_1310261116_(10577360794).jpg). Acessado em: 31 maio 2021.

WIWATANAPATAPHEE, Doungporn; KHAJOHNSAKSUMETH, Nathnarong; WU, Yong Hong. Effect of beam joinery on bridge structural stability. **Advances in Difference Equations**. 2019.