



**INSPEÇÃO DA PONTE SENADOR FÁBIO LUCENA CONFORME A ABNT
NBR 9452:2019, NA CIDADE DE MANAUS-AM, 2021/2022 – ANÁLISE DAS
MANIFESTAÇÕES PATÓLOGICAS**

Luiz Feitosa Gomes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientadores: Eduardo de Magalhães Braga
Cristhian Ricardo Loayza Loayza

Belém
Novembro de 2022

**INSPEÇÃO DA PONTE SENADOR FÁBIO LUCENA CONFORME A ABNT
NBR 9452:2019, NA CIDADE DE MANAUS-AM, 2021/2022 – ANÁLISE DAS
MANIFESTAÇÕES PATÓLOGICAS**

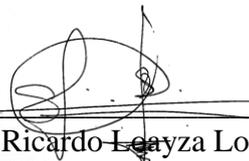
Luiz Feitosa Gomes

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

Examinada por:



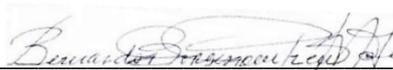
Prof. Eduardo de Magalhães Braga, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Orientador)



Prof. Cristhian Ricardo Loayza Loayza, Dr.
(PRODERNA/ITEC/UFPA-Coorientador)



Prof. Ednelson da Silva Costa, Dr.
(CABAE/UFPA-Membro)



Prof. Bernardo Borges Pompeu Neto, Dr.
(PPGEC/ITEC/UFPA-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

NOVEMBRO DE 2022

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA**

Gomes, Luiz Feitosa, 1963-
Inspeção da ponte Senador Fábio Lucena conforme a ABNT
NBR 9.452:2019, na cidade de Manaus-AM, 2021/2022 - Análise
das manifestações patológicas / Luiz Feitosa Gomes - 2022.

Orientadores: Eduardo de Magalhães Braga
Cristhian Ricardo Loayza Loayza

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal
do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Processos, 2022.

1. Conservação 2. Concreto armado 3. Pontes I. Título

CDD 670.42

*Dedico este trabalho a todos aqueles que
contribuíram para sua realização.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por conceder a minha existência, o privilégio da vida, me capacitar e me proporcionar discernimento para entender os conhecimentos disponibilizados pelos professores que dedicaram o precioso tempo com ensinamentos.

Pelas constantes orientações, acompanhamento e paciência do meu orientador, professor Doutor Eduardo de Magalhães Braga.

Ao meu Coorientador, professor Doutor Cristhian Ricardo Loayza Loayza, pelas valorosas e contínuas colaborações para o aprimoramento científico do trabalho.

Ao Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia – ITEGAM, na gestão com maestria do Diretor Presidente professor Doutor Jandecy Cabral Leite e da professora Me. Tereza Rodrigues Cabral, pelas valorosas colaborações e incentivos para a realização desta pesquisa, mesmo tendo sido desenvolvida no período crítico de pandemia.

À minha família, meu inesquecível pai Luiz Estevam Gomes (*in Memoriam*) e minha querida mãe Dalva Feitosa Gomes (*in Memoriam*), minha amada esposa Jeana Gomes, minha querida sogra Maria Lindomar de Souza Castro (*in Memoriam*), meu filho Luiz Júnior, minha filha Daína Gomes, meu filho Davi Gomes, e Ana Carolina pelo apoio incondicional, amparo, força e carinho.

Ao querido colega e amigo professor Me. Elias Souza, pelo apoio substancial na construção do presente trabalho.

Em especial ao professor Me. Juvenal Severino Botelho, pelo conhecimento compartilhado, competência e apoio, nas incansáveis reuniões norteadoras.

Ao Senhor Antônio José da Silva Velez pelos registros fotográficos, por ocasião do trabalho em campo.

A todos os colegas de turma (10), em particular à Sandra Lima, Pedro, João, Jaine, Aline, Alex Sander, Evandro, Alderglan, Bárbara dentre tantos outros não menos importantes.

Aos professores do programa de pós-graduação da UFPA, seus valiosos ensinamentos contribuíram positivamente para a minha formação.

Aos professores da banca examinadora, pelo interesse e disponibilidade.

“Façamos da interrupção um caminho novo. Da queda um passo de dança, do medo uma escada, do sonho uma ponte, da procura um encontro!”

(Fernando Sabino)

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

**INSPEÇÃO DA PONTE SENADOR FÁBIO LUCENA CONFORME A ABNT
NBR 9452:2019, NA CIDADE DE MANAUS-AM, 2021/2022 – ANÁLISE DAS
MANIFESTAÇÕES PATÓLOGICAS**

Luiz Feitosa Gomes

Novembro/2022

Orientadores: Eduardo de Magalhães Braga

Cristhian Ricardo Loayza Loayza

Área de Concentração: Engenharia de Processos

Esta dissertação abrange um estudo de caso referente à “Inspeção da ponte Senador Fábio Lucena, conforme a ABNT NBR 9452:2019, localizada entre os bairros de São Raimundo e N. S. Aparecida, na cidade de Manaus-AM, 2021/2022 – Análise das manifestações patológicas”, com a pesquisa do tipo qualitativa, sustentada em referencial teórico e em trabalho de campo, com um Roteiro de Estudo, que norteou a realização de registro de conhecimentos e imagens/fotos. O percurso metodológico teve sua base em conformidade com as normas vigentes e especificações técnicas. O conteúdo da pesquisa possui uma abordagem geral sobre pontes, com destaque às suas patologias, principalmente nas estruturas destas, englobando a infraestrutura, a mesoestrutura e a superestrutura, e um breve apontamento sobre pontes no Brasil, tendo como ênfase a ponte estudada. Os resultados e métodos possuem sustentação no estudo teórico e, também, na prática de campo realizada no próprio local da investigação. A pesquisa permitiu inferir que esta obra de arte especial (OAE), ponte Senador Fábio Lucena, inaugurada no ano de 1987, mesmo com as intempéries do tempo e da natureza, decorrentes da alta temperatura e umidade típica do clima equatorial quente e úmido da Região Norte do país, e segundo o seu aparente estado de conservação, e conforme a

ABNT NBR 9452:2019, classificou-se com conceito REGULAR, portanto, carecendo de manutenção periódica, em ações de médio prazo, para garantir boas condições ao tráfego de veículos e de pessoas.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

**INSPECTION OF THE SENADOR FÁBIO LUCENA BRIDGE ACCORDING
TO ABNT NBR 9452:2019, IN THE CITY OF MANAUS-AM, 2021/2022 –
ANALYSIS OF PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS**

Luiz Feitosa Gomes

November/2022

Advisors: Eduardo de Magalhães Braga

Cristhian Ricardo Loayza Loayza

Research Area: Process Engineering

This dissertation covers a case study referring to the “Inspection of the Senador Fábio Lucena bridge, according to ABNT NBR 9452:2019, located between the neighborhoods of São Raimundo and N. S. Aparecida, in the city of Manaus-AM, 2021/2022 – Analysis of the manifestations pathological”, with qualitative research, supported by a theoretical framework and field work, with a Study Script, which guided the recording of knowledge and images/photos. The methodological path was based on compliance with current standards and technical specifications. The research content has a general approach on bridges, with emphasis on their pathologies, mainly on their structures, encompassing infrastructure, mesostructure and superstructure, and a brief note on bridges in Brazil, with emphasis on the studied bridge. The results and methods are supported by theoretical study and also by field practice carried out at the investigation site. The research allowed us to infer that this special work of art (OAE), Senador Fábio Lucena bridge, inaugurated in 1987, even with the weather and nature, resulting from the high temperature and humidity typical of the hot and humid equatorial climate of the Region North of the country, and according to its apparent state of conservation, and according to ABNT NBR 9452:2019, it was classified as REGULAR, therefore, lacking periodic maintenance, in medium-term actions, to guarantee good conditions for vehicle traffic and of people.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 - OBJETIVOS.....	3
1.2.1 - Objetivo geral.....	3
1.2.2 - Objetivos específicos.....	3
1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	3
1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	4
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....	6
2.1 - VISÃO GERAL.....	6
2.2 - ABORDAGEM SOBRE PONTES EM GERAL.....	6
2.2.1 - Pontes históricas.....	9
2.2.2 - Abordagem sobre as pontes no Brasil.....	10
2.2.3 - Elementos constituintes das pontes em geral.....	11
2.2.3.1 - Infraestrutura.....	12
2.2.3.2 - Mesoestrutura.....	13
2.2.3.3 - Superestrutura.....	14
2.3 - ABORDAGENS PRELIMINARES - PATOLOGIAS EM PONTES/OAE..	17
2.3.1 - Normas e especificações técnicas.....	21
2.3.2 - Generalidades patológicas em estruturas diversas.....	23
2.3.3 - Patologias do concreto.....	23
2.3.3.1 - Patologias causadas por agentes químicos.....	30
2.3.3.2 - Principais manifestações na estrutura em geral.....	31
2.3.3.3 - Exemplos típicos de manifestações.....	32
2.3.4 - Principais intervenções e soluções.....	34
CAPÍTULO 3 - MÉTODOS.....	38
3.1 - METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	38
3.2 - LOCAL DE PESQUISA.....	39
3.2.1 - Local de investigação.....	42
3.3 - MÉTODOS DE INSPEÇÃO.....	44
3.4 - TRATAMENTO DA PESQUISA.....	46
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48

4.1 - ESTADO ATUAL DE CONSERVAÇÃO DA ESTRUTURA DA PONTE SENADOR FÁBIO LUCENA.....	48
4.1.1 - Da inspeção/vistoria/análise.....	48
4.1.1.1 - Procedimento gerais.....	48
4.1.1.2 - Procedimentos particulares.....	48
4.1.1.2.1 - Geometria e condições viárias.....	48
4.1.1.2.2 - Acessos.....	49
4.1.1.2.3 - Cursos d'água e muro de arrimo em pedras.....	50
4.1.1.2.4 - Infraestrutura (Fundações profundas e superficiais).....	50
4.1.1.2.5 - Mesoestrutura (Pilares em concreto e encontros).....	51
4.1.1.2.6 - Aparelhos de apoio (Mesoestrutura).....	52
4.1.1.2.7 - Superestruturas (Vigas longarinas, vigas transversinas, laje e barreira)	52
4.1.1.2.8 - Pista de rolamento e drenagem.....	54
4.1.1.2.9 - Juntas de dilatação.....	56
4.1.1.2.10 - Sinalização.....	58
4.1.1.2.11 - Passarela de pedestres.....	58
4.1.2 - Observações gerais.....	59
4.1.3 - Ficha demonstrativa da inspeção rotineira realizada.....	59
4.1.4 - Resultado obtido.....	63
4.2 - RECOMENDAÇÕES PARA CORREÇÃO DAS ANOMALIAS IDENTIFICADAS NA INVESTIGAÇÃO.....	64
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	67
5.1 - CONCLUSÕES.....	67
5.2 - SUGESTÕES.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Ponte suspensa primitiva sobre uma ravina no Peru, feita de cordas de fibras vegetais trançadas.....	7
Figura 2.2	Locomotiva na Inglaterra no Século XVIII.....	8
Figura 2.3	Ponte Firth of Forth (Escócia).....	8
Figura 2.4	Ponte da Caravana atravessa o rio Meles desde 850 a.C. (Izmir, Turquia).....	9
Figura 2.5	Ponte Zhaozhou (China).....	10
Figura 2.6	Ponte Rio-Niterói – RJ (Imagem: Alexandre Macieira).....	11
Figura 2.7	Elementos constituintes das pontes.....	12
Figura 2.8	Fundação rasa (Sapata) em obra.....	12
Figura 2.9	Bloco sobre estacas em pontes.....	13
Figura 2.10	Esquema (básico) da estrutura de uma ponte.....	15
Figura 2.11A	Lajes típicas com seções maciças.....	15
Figura 2.11B	Lajes típicas com seções vazadas.....	15
Figura 2.12A	Modelo de seção transversal multicelular.....	16
Figura 2.12B	Modelo de seção transversal multicelular com redução de espessura nos balanços.....	16
Figura 2.12C	Modelo de seção transversal unicelular com redução de espessura nos balanços.....	16
Figura 2.12D	Modelo de seção caixão treliçada.....	16
Figura 2.13	Distribuição percentual de falhas patogênicas nas etapas de construção no Brasil.....	17
Figura 2.14	Diferentes desempenhos de uma estrutura ao longo do tempo....	18
Figura 2.15	Efeitos da manutenção na vida útil de uma estrutura.....	19
Figura 2.16	Desabamento ponte - rio Curuçá, BR-319, AM - em 2022, com vítimas fatais.....	19
Figura 2.17	Outro ângulo da ponte que desabou sobre o rio Curuçá, BR-319, AM, em 2022.....	20
Figura 2.18	Lei de evolução de custos, ou, a Regra de Sitter aplicada a projetos construtivos.....	21
Figura 2.19	Corrosão da armadura e cobrimento insuficiente na ponte sobre	32

	a Laguna do Roteiro-AL.....	
Figura 2.20	Desagregações em ponte na BR-020, região de Sobradinho-DF.	33
Figura 2.21	Lixiviação/eflorescências em ponte na BR-020, região de Sobradinho-DF.....	33
Figura 2.22	Segregação de material em ponte na BR-020, região de Sobradinho-DF.....	33
Figura 2.23	Fissurações em ponte na BR-020, região de Sobradinho-DF.....	34
Figura 2.24	Aparelho de apoio de neoprene oco, circular e retangular.....	35
Figura 3.1	Fluxograma da pesquisa.....	38
Figura 3.2	Mapa dos setores urbanos e bairros de Manaus-AM.....	40
Figura 3.3	Planta parcial da cidade de Manaus, mostrando a localização da ponte Senador Fábio Lucena e os bairros limítrofes.....	42
Figura 3.4	Vista panorâmica da ponte Senador Fábio Lucena, Manaus-AM	43
Figura 3.5	Localização da ponte Senador Fábio Lucena.....	43
Figura 4.1	Vista lateral esquerda da ponte em estudo, sentido centro-bairro	49
Figura 4.2	Vista sentido centro-bairro, descontinuidade da barreira em concreto.....	49
Figura 4.3	Muro de arrimo em pedras à jusante da ponte, inibe o processo erosivo.....	50
Figura 4.4	Vista do encontro na cabeceira da ponte pelo bairro São Raimundo.....	51
Figura 4.5	Vista da ponte em estudo, com destaque ao “pilar de concreto”.	52
Figura 4.6	Vista lateral da superestrutura.....	53
Figura 4.7	Vista inferior da laje e vigas.....	53
Figura 4.8	Desnívelamento da pista por problema na capa de asfalto.....	54
Figura 4.9	Degradação da camada asfáltica em diversas partes da pista.....	55
Figura 4.10	Evidência de formação cavidades no revestimento do pavimento asfáltico.....	55
Figura 4.11	Vista de um ponto de drenagem na ponte Senador Fábio Lucena.....	56
Figura 4.12	Junta de dilatação apresentando desgastes e acúmulo de detritos.....	56
Figura 4.13	Início do desgaste no pavimento, e acúmulo de sujidades na	57

	junta.....	
Figura 4.14	Formação de buraco no pavimento asfáltico.....	57
Figura 4.15	Espaçamento inadequado no piso da passagem de pedestres.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Causas intrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto.....	24
Tabela 2.2	Causas extrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto.....	27
Tabela 3.1	Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade da ABNT.....	45
Tabela 4.1	Inspeção rotineira da Ponte Senador Fábio Lucena em 25/09/2021.....	59
Tabela 4.2	Levantamento fotográfico.....	61
Tabela 4.3	Ficha de classificação da OAE.....	63
Tabela 4.4	Quadro resumo da inspeção rotineira.....	63
Tabela 4.5	Classificação da “ponte Senador Fábio Lucena” resultante da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.....	64

NOMENCLATURA

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
DNIT	DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DBO	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO
ELU	ESTADO LIMITE ÚLTIMO
ELS	ESTADO LIMITE DE SERVIÇO
FCK	FEATURE COMPRESSION KNOW (RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO À COMPRESSÃO)
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
IMPLURB	INSTITUTO MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO
MANAUSCULT	FUNDAÇÃO MUNICIPAL DE CULTURA, TURISMO E EVENTOS - PREFEITURA MUNICIPAL DE MANAUS.
NBR	NORMA BRASILEIRA
OAE	OBRA DE ARTE ESPECIAL
PH	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO
SEMA	SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE
UFPA	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - MOTIVAÇÃO

Inspeções e manutenções em pontes e viadutos são extremamente necessárias para evitar colapsos, rupturas e tragédias. Casos recentes de desabamentos (fatos ocorridos na BR-319/AM), total ou parcial, de obras de arte especial colocam em evidência a necessidade de se realizar vistorias periódicas nessas importantes estruturas, que assegurem suas condições de utilização. Avaliações de notável significância estão prescritas na norma brasileira NBR 9452:2019 (ABNT), que valida um conjunto de diretrizes e especificações para a diligência dessa atividade primorosa, que é a “inspeção”.

A deterioração por meio dos agentes humanos e ambientais é uma manifestação presente nas construções, as quais mesmo projetadas para que tenham uma durabilidade considerável, vide, por exemplo, o concreto armado em geral, que é dimensionado para manter sua solidez por não menos de 50 (cinquenta) anos, como instruído pela ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, passam por uma gradativa degeneração que, se não tratada, põe em risco a usabilidade e higidez do ambiente, expondo seus ocupantes a riscos diversos.

Ao se desenvolver um estudo vinculado às pontes de concreto armado, urge apresentar uma definição que caracteriza o grupo especial, onde as pontes têm grande participação e relevância, que são as obras de arte especial (OAE). (MEDEIROS *et al.*, 2020).

No que tange tratar das obras de arte especial, particularmente, as pontes, a definição trazida por COSTA (2016), nos informa que as obras de arte especial são aquelas cujas solicitações de carregamentos são maiores, mais específicas e distribuídas diferencialmente para cada tipo e forma.

Conforme ARAÚJO (2014), as obras de arte especial são estruturas com a finalidade precípua de transpor obstáculos, tais como avenidas, vales, rios, entre outros. Por definição, quando estes obstáculos são corpos hídricos, as obras chamam-se pontes; quando avenidas e vales secos são viadutos.

Da mesma forma, MARCHETTI (2008) e OLIVEIRA (2013) informam em uníssono que as pontes são obras destinadas a permitir a transposição de obstáculos à continuidade de uma via de comunicação qualquer, que podem ser rios, braços de mar, vales profundos e outros cursos d'água.

Conforme alguns apontamentos, as pontes carecem de inspeções periódicas para fins de constatação de possíveis patologias e perigos de acidentes, visando ainda a observância de outras anormalidades decorrentes do desgaste natural da obra e vícios de construção.

As pontes são compreendidas como uma solução específica, aplicando a engenharia estrutural, ou seja, para uma determinada situação prática. São construções formadas por elementos estruturais prismáticos (vigas e pilares) e elementos de superfície (lajes), compostos dos principais materiais de construção bastante conhecidos, propriamente dito, pedras, concreto armado, aço e madeira, ou associados. (PFEIL, 1983).

Compreendendo-se a magnitude destas importantes construções e os danos incalculáveis de perda de vidas e recursos, nota-se que a execução destas soluções envolve uma imperiosa durabilidade de todos os seus elementos construtivos, que pelas ações de n -fatores pode ser ampliada, ou, mais comumente (de modo indesejado), reduzida, caso seja ignorada por aqueles a quem compete a adoção de tais cuidados.

Esta dissertação, num ambiente de trabalho ponderado ao objeto do estudo, propõe apresentar uma análise objetiva do estado de conservação e segurança dessa importante construção e, também, sugestões sobre adoção de medidas de prevenção e manutenção, através da verificação concisa dos elementos estruturais pela investigação científica, fundamentada na Norma Brasileira NBR 9452:2019, referências bibliográficas/técnicas e dados de visitas *in loco* na ponte Senador Fábio Lucena, na cidade Manaus, Amazonas.

Para avaliação do estado de pontes, viadutos e passarelas de concreto, a ABNT NBR 9452:2019 utiliza um sistema próprio de classificação, segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade, conforme a gravidade dos problemas detectados.

Assim como, nas inspeções cadastrais, para realização de inspeções rotineiras, a ABNT NBR 9452:2019 também estabelece um modelo de ficha específico. Neste, devem ser registradas as anomalias encontradas na OAE, e feitas as devidas sugestões de terapias, finalizando com a classificação da ponte. Esses parâmetros estruturais, sob

o ponto de vista de prioridades, devem receber maior atenção quando detectadas anomalias que visualmente comprometem o desempenho estrutural.

Assim, o presente estudo, depois de concluído, torna-se uma importante contribuição, e estará, portanto, disponível aos órgãos responsáveis e a sociedade em geral, em particular, o poder público e suas representações, o qual pode se balizar pelo conjunto de informações do estudo realizado para a devida tomada de decisão, conforme as anomalias verificadas e soluções propostas.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Objetivo geral

Inspecionar, analisar e avaliar o estado de conservação, através das manifestações patológicas presentes em obras de arte especial, em consonância com a norma brasileira NBR 9452:2019 (ABNT), mediante um estudo de caso, propriamente a ponte Senador Fábio Lucena, situada na cidade de Manaus/AM.

1.2.2 - Objetivos específicos

- Realizar inspeções visuais (trabalho de campo), de acordo com a metodologia da NBR 9452:2019.
- Documentar com imagens (fotografias) e analisar as anomalias/patologias encontradas na vistoria.
- Avaliar o estado atual de conservação em que se encontra a ponte, conforme os critérios da norma brasileira NBR 9452:2019.

1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

Esta pesquisa importa à sociedade, pela contribuição da Academia, através de material científico, com informações técnicas atualizadas quanto ao objeto estudado, Obras de Arte Especiais (pontes), e, também, aos gestores públicos responsáveis pelo gerenciamento dessas estruturas, posto que a ruína de estruturas desta magnitude acarreta um elevado custo material, e humano, com possível perdas de vidas, adoção de rotas temporárias *etc.*, além do elevado custo econômico de reconstrução. Com este

estudo de caso, é oportunizado subsidiar aos gestores públicos, dados (qualitativos) das condições atuais em que se encontra tal importante Obra de Arte Especial, propiciando, assim, tomadas de decisões para a manutenção preventiva, a fim de se evitar os altos dispêndios financeiros em manutenção corretiva. E até, se possível, auxiliando num plano ainda mais prévio, com soluções técnicas a serem aplicadas em novos projetos e novas execuções, operando uma profilaxia ainda mais antecipada para ao fim, gerar benefícios incontáveis pela extensão da vida útil destes aparelhos urbanos.

1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 1 apresenta a motivação, os objetivos, as contribuições da dissertação e a forma de organização do trabalho, com os aspectos introdutórios da pesquisa sobre pontes e suas principais patologias, a problematização da deterioração de estruturas, a justificativa da pesquisa, sua importância científica e prática, assim como a sua delimitação e os objetivos que se propõe alcançar ao fim do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura de forma concisa e sistemática dos principais conceitos adstritos às pontes, como, por exemplo, sua história, informações normativas de concepção, durabilidade, qualidade, assim como as principais patologias surgidas em estruturas usuais (compostas por vários tipos de materiais).

O capítulo 3, dedicado aos métodos, apresenta os principais elementos observados na visita técnica e a forma normatizada em que estes dados serão obtidos, de forma a serem seguros e tratáveis (métodos padronizados pelo órgão competente nacional e/ou internacional), observando a metodologia e o tipo de pesquisa, abrangendo os procedimentos referentes à pesquisa bibliográfica, organização de dados, no contexto da investigação qualitativa em estudo de caso.

O capítulo 4 apresenta os resultados e discussão, com a exposição das análises técnicas das observações *in loco*, verificando a situação real do estado de conservação da ponte Senador Fábio Lucena, na cidade de Manaus/AM, com as classificações e críticas pertinentes ao objeto de estudo e as principais intervenções que podem ser aplicadas frente à realidade encontrada.

O capítulo 5 apresenta as conclusões e sugestões, com as principais inferências sobre o estudo realizado, os resultados esperados e obtidos, conforme o planejamento

feito. Neste, também serão apresentadas sugestões às pesquisas futuras, de modo a ampliar ou especializar (restringir) o escopo deste estudo.

E por derradeiro, as referências bibliográficas, que apresenta sistematicamente as fontes consultadas para o desenvolvimento da pesquisa. Assim, a partir do tema da pesquisa, alicerçado nos objetivos propostos, com a revisão da literatura, dialogando com diversos estudiosos, fortalecendo a abordagem investigativa, o trabalho se delinea.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - VISÃO GERAL

No intuito de desenvolver um trabalho conciso e bem orientado aos objetivos determinados no capítulo anterior, foram abordados os principais conceitos subordinados ao estudo de pontes, a sua história, exemplos, normas, além das manifestações patológicas às que todas as construções poderão sofrer. E, finalmente, o método desenvolvido e aplicável à inspeção das estruturas da Obra de Arte Especial, que proporcionará avaliar e classificar as condições do estado atual de conservação desta importante construção na cidade de Manaus.

2.2 - ABORDAGEM SOBRE PONTES EM GERAL

Historicamente, as pontes são soluções de engenharia destinadas a transpor obstáculos geográficos, mantendo a continuidade das vias de fluxo urbano e rural, que são solicitadas por cargas cada vez maiores, haja vista o desenvolvimento dos transportes. Seus projetos são formados de soluções ímpares, ou seja, desenvolvidas para cada caso concreto. (LEONHARDT, 1979).

Desde tempos imemoriáveis, as pontes foram elementos fundamentais para desenvolvimento humano, seja para preservação de rotas, escoamento de pessoas e mercadorias e/ou pontos de controle (domínio) em eventuais conflitos (guerras). (PFEIL e PFEIL, 2009).

Neste sentido, importante relato histórico é desenvolvido por LEONHARDT (1979) e PFEIL e PFEIL (2009), sendo estes últimos para explicar o desenvolvimento das estruturas de aço, ao contar que os povos mais primitivos faziam uso de madeira e cordas, na forma de viga, vigas escoradas e vigas armadas mais simples. Para os povos civilizados, a construção deste tipo de estrutura em nada se diferenciava da arte, principalmente quando se tem em vista as limitações de mensuração e cálculo.



Figura 2.1 - Ponte suspensa primitiva sobre uma ravina no Peru, feita de cordas de fibras vegetais trançadas.

A história das pontes, ao redor do mundo, evolui em função principalmente dos métodos de cálculo estrutural empregado para estas soluções e o aprimoramento dos materiais construtivos. Os chineses e romanos iniciam esta trajetória (WINKEL, 2019) ao desenvolverem os sistemas estruturais em arcos (antes de Cristo, inclusive), com arcos de pedra de até 30 (trinta) metros de vão, que certo tempo depois, na Idade Média, passaram a ser mais abatidos, atingindo vão de até 50 (cinquenta) metros.

Com a Revolução Industrial e todas as profundas modificações na sociedade, como a produção em grande escala, com conseguinte aumento de consumo de matérias-primas, inchamento das cidades e do consumo humano, surgem as ferrovias, modal que transportava uma elevada quantidade de cargas sobre trilhos de ferro fundido. O qual passa a ser o principal material construtivo no século XVIII, ainda com uso dos sistemas estruturais em arcos, como a ponte de Coalbrookdale e, já naquela época, introduz-se os sistemas em vigas, com seção transversal celular, como a ponte Britannia. (LEONHARDT, 1979).



Figura 2.2 - Locomotiva na Inglaterra no Século XVIII.

A partir de 1850, aplicam-se às pontes um novo sistema estrutural que são as treliças metálicas, um sistema reticulado que reduz a transmissão de esforços para apenas compressão e tração que, empregado com o material metálico, apresenta um excelente comportamento, dependendo quase que exclusivamente da geometria longitudinal e transversal da peça. Destacam-se a ponte de Vístula, com 6 (seis) vãos de 124 (cento e vinte e quatro) metros cada, além das pontes pênsis, que se servem deste sistema treliçado, com grande destaque à ponte de Firth of Forth, na Escócia, finalizada em 1890, com vão livre de impressionantes 521 (quinhentos e vinte e um) metros. (PFEIL e PFEIL, 2009).

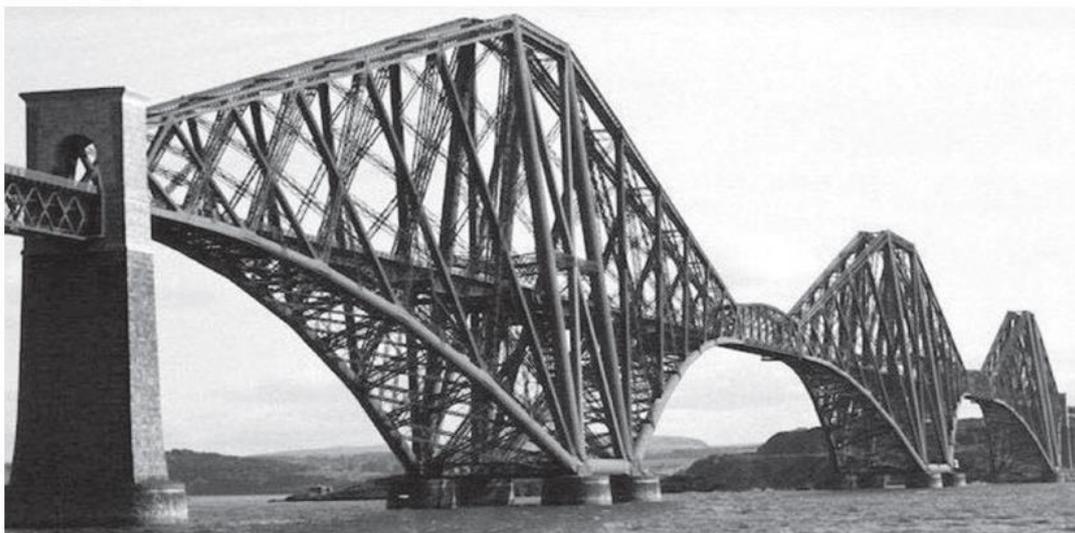


Figura 2.3 - Ponte Firth of Forth (Escócia).

A partir de 1900, insere-se como material construtivo, o concreto armado, material este que permite grande maleabilidade, haja vista sua capacidade de se amoldar à forma que for desejável, além de sua capacidade impressionante de resistir à compressão, o qual passou a ser posto nos tabuleiros (lajes de suporte de cargas), composição dos arcos triarticulados, alcançando vãos cada vez maiores, como a ponte Sando, na Suécia, a qual possui 280 (duzentos e oitenta) metros de vão livre, além das pontes em pórticos de concreto armado, os quais naturalmente alcançavam vão bem menores. (PFEIL e PFEIL, 2009).

2.2.1 - Pontes históricas

Segundo MARÉ (2011), as primeiras estruturas em arco terão inicialmente surgido na Mesopotâmia e no Egito há cerca de 4000 anos. No entanto, a técnica de construção em arco aplicada às pontes aparece mais tarde. Provavelmente, a mais antiga ponte em arco de pedra, com um só vão, chegada aos nossos dias, encontra-se sobre o Rio Meles em Esmirna na Turquia, e está datada do séc. IX a.C. (Figura 2.4).



Figura 2.4 - Ponte da Caravana atravessa o rio Meles desde 850 a.C. (Izmir, Turquia).

Na China, durante a Dinastia Tang (618-907), surgem as primeiras pontes em arco e os primeiros registos sobre o seu desenvolvimento. Porém, durante a Dinastia Sui (518-619) foi construída a mais famosa e antiga, ainda existente, ponte em arco com um

único vão, a Ponte de Zhaozhou (Figura 2.5) construída entre os anos de 595 e 605 d.C. (MARÉ, 2011).



Figura 2.5 - Ponte Zhaozhou (China).

2.2.2 - Abordagens sobre as pontes no Brasil

No Brasil, a história da execução de pontes reporta-se ao ano de 1643, na cidade do Recife, onde foi construída uma estrutura de grande porte sobre o rio Capibaribe, sob a administração do holandês Maurício de Nassau. Esta ponte, devido à deterioração do material escolhido, foi posteriormente substituída por uma ponte de ferro, que também não resistiu devido à agressividade do ambiente marítimo, sendo finalmente substituída por uma ponte de concreto armado em 1917. (BATTISTA, 1996).

Cita-se também duas pontes executadas no sul do país, mais especificamente executadas em Santa Catarina, por volta de 1909 a 1920, com objetivo de ligar o porto de Itajaí até a Argentina. Ambas utilizaram sistemas treliçados, no caso daquela de Blumenau, este foi o sistema exclusivo e, na ponte Hercílio Luz, uma dupla solução, onde aliou-se ao sistema treliçado, um sistema cabeado. (BATTISTA, 1996).

Por fim, cita-se um verdadeiro espetáculo da engenharia construtiva brasileira, que é a ponte Rio-Niterói, um impressionante sistema estrutural de concreto protendido e aço, construída com comprimento total de mais de 13 (treze) quilômetros, num

sistema de balanços sucessivos de concreto protendido, com vão central em vigas de seção celular de aço de 848 (oitocentos e quarenta e oito) metros, com altura igual à 74 (setenta e quatro) metros (Figura 2.6). (BATTISTA, 1996).

Apesar da excelente tecnologia aplicada na época de execução do projeto, as vibrações e conseqüente deslocamentos do vão central em até 60 (sessenta) centímetros para cima e para baixo, sempre foram um grande incômodo, ocasionando inclusive o fechamento da ponte quando excessivos estes deslocamentos. (BATTISTA, 1996).



Figura 2.6 - Ponte Rio-Niterói – RJ (Imagem: Alexandre Macieira).
Fonte: BRASIL, 2020.

Atualmente, esta estrutura conta uma refinada (e bem desenvolvida) solução de engenharia para atenuação de vibrações ocasionadas pelo vento, com sistema de contrapesos e molas, chamado de ADS - Atenuadores Dinâmicos Sincronizados. (BATTISTA, 1996).

2.2.3 - Elementos constituintes das pontes em geral

Os elementos principais que compõem tais estruturas são, em ordem de execução, de acordo com as sistematizações (Figura 2.7) apresentadas por EL DEBS e TAKEYA (2007):

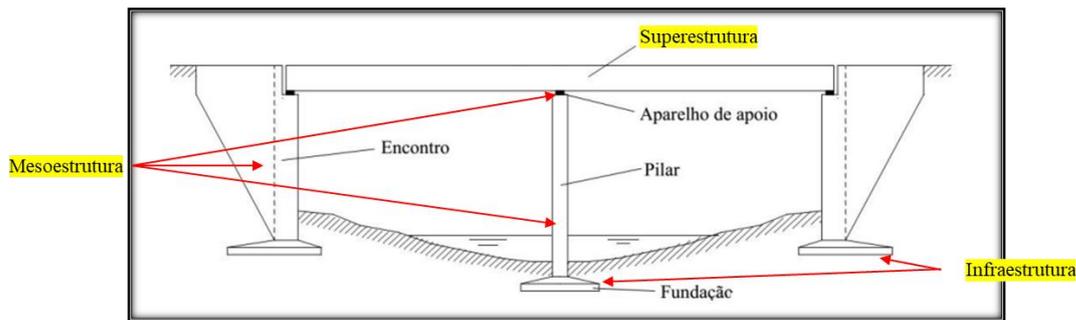


Figura 2.7 - Elementos constituintes das pontes.
 Fonte: Adaptado de EL DEBS e TAKEYA (2007).

2.2.3.1 - Infraestrutura

Parte responsável pela transmissão dos esforços ao solo, compreendendo as fundações e demais obras de apoio da ponte, sendo por isso distinguidas em:

- a) Fundações Superficiais ou Rasas, que são as conhecidas como sapatas e blocos que, pela definição de RODRIGUEZ (2010), são elementos estruturais que transmitem suas cargas através das pressões distribuídas sob a base (Figura 2.8).



Figura 2.8 - Fundação rasa (Sapata) em obra.
 Fonte: TOCA OBRAS, 2020.

- b) Fundações Profundas: são elementos estruturais esbeltos, inseridas no solo por perfuração ou cravação, para transmitir aos solos os carregamentos, diferenciando-se das fundações superficiais anteriormente citadas, em função da forma que as tensões são distribuídas no solo, que são por atrito lateral

(resistência de fuste) e/ou resistência superficial (resistência de ponta) (Figura 2.9).



Figura 2.9 - Bloco sobre estacas em pontes.
Fonte: OLIVEIRA, 2019.

Os materiais comumente empregados nessas fundações são madeira, aço e concreto, sendo este último o mais empregado nas fundações de pontes.

2.2.3.2 - Mesoestrutura

Como definida pelo próprio nome, a mesoestrutura é aquela estrutura intermediária, entre a superestrutura e a infraestrutura da ponte, basicamente são os elementos não-enterrados e imediatamente abaixo das vigas e do tabuleiro, os pilares de sustentação da estrutura. (PFEIL, 1983)

Sobre os pilares e a sua vinculação, apenas a estética e a análise estrutural poderão definir qual a melhor vinculação dos pilares entre si, posto que em boa parte dos casos, as vigas que constituem a superestrutura ficam apenas apoiadas (“descansadas”) sobre o topo dos pilares, em aparelhos específicos. (PFEIL, 1983).

Nesta senda, pelos trabalhos de PFEIL (1983), SÜSSEKIND (1983), LEET *et al.* (2009), entre outros, citam que usualmente se aplicam dois tipos de apoios, os fixos e os móveis, sendo os fixos (ou de 2o gênero), aqueles que restringem as translações

horizontais e verticais, transmitindo os esforços aos topos dos pilares, na forma de cargas concentradas horizontais e verticais, admitindo pequenas rotações, sem fissurar o concreto.

Quanto aos materiais de composição destes apoios, geralmente são de ligas metálicas e polímeros, com destaque às borrachas sintéticas, usualmente comercializadas com o nome de neoprene, que são borrachas sintéticas instaladas nos apoios de primeiro gênero, originando um grau de liberdade seguro à estrutura. (PFEIL, 1983).

A seção transversal (geometria e preenchimento) destes pilares também dependerá da altura, da estabilidade lateral e do método construtivo previsto para ponte. (PFEIL, 1983).

2.2.3.3 - Superestrutura

Estes são os elementos estruturais por onde os veículos e pedestres transitam, que recebem os carregamentos de tráfego e que resistem e transmite aos demais elementos já mencionados (dos apoios até o solo, ou subsolo). (PFEIL, 1983).

Percebe-se que as superestruturas desempenham papel relevante nas pontes de médio e grande porte, pois, representam o suporte para proporcionar o tráfego, principalmente de veículos de cargas pesadas, muito comuns nos grandes centros urbanos.

As superestruturas são constituídas por vigas (longarinas e transversinas) e lajes, cabendo a seguir, fazer algumas distinções, sobretudo no que diz respeito aos tipos de seções transversais, materiais empregados, modelos estruturais adotados. (PFEIL, 1983).

Quanto à resistência dos materiais utilizados na obra e suas distribuições, as superestruturas obedecem às normas técnicas, evitando, portanto, vícios de construção, além de outras inadequações estruturais, não permitidas em obras de grande estrutura, a exemplo de Obras de Arte Especiais (OAE). O esquema apresentado por Cavalcante (2016), exemplifica estas abordagens (Figura 2.10)

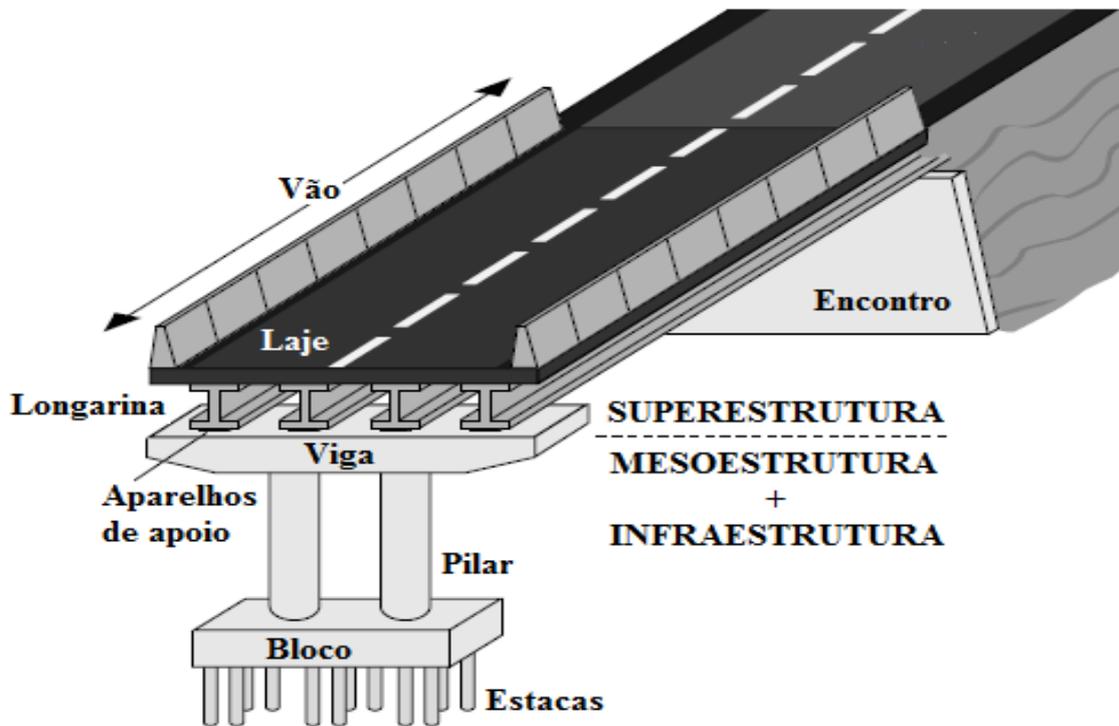


Figura 2.10 - Esquema (básico) da estrutura de uma ponte.
Fonte: CAVALCANTE, 2016.

Inicialmente, apresentam-se as lajes de tabuleiro, primeiro elemento a receber o carregamento de veículos e pedestres, feitas de concreto, ora armado ordinário, ora protendido, cuja dimensão da altura (espessura) é muitas vezes menor que a área, denotando assim um elemento estrutural de placa, que a depender da solução estrutural e construtiva, pode ser maciça (Figura 2.11A), toda seção preenchida, ou celular (Figura 2.11B), vazada (PFEIL, 1983), como nos modelos a seguir.

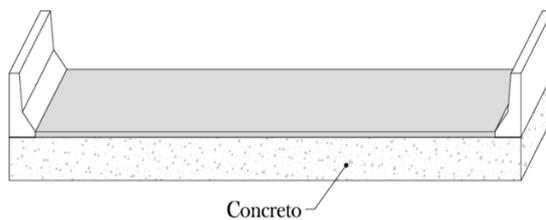


Figura 2.11A - Lajes típicas com seções maciças.
Fonte: O'BRIEN e KEOGH, 1999.

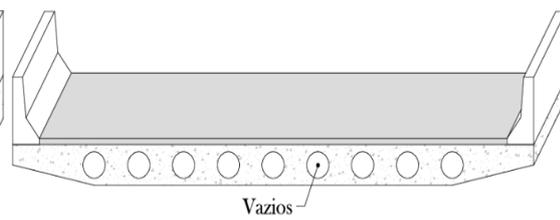


Figura 2.11B - Lajes típicas com seções vazadas.
Fonte: O'BRIEN e KEOGH, 1999.

As vigas, que são elementos prismáticos (comprimento maior que a altura e largura) dimensionados para resistir, transmitir as cargas dos tabuleiros aos apoios e ter de vencer os vãos, os quais passam por uma análise bastante sensível e crucial, para fins de segurança, durabilidade e economia, verificando o elemento estrutural como um todo

e, simultaneamente, suas partes, com a análise via elementos finitos da barra e as deformações globais e locais. (EL DEBS e TAKEYA, 2007).

Nas vigas longarinas, que estão dispostas ao longo do comprimento das pontes, para que “vençam” os vãos dos obstáculos, fazendo uso de seções transversais maciças (modelo mais simples), até o uso de sistemas celulares, que são composições de vigas e lajes num único arranjo transversal, aproximando-se de estruturas tridimensionais de grelhas. (PFEIL, 1983). (Figuras 2.12A, 2.12B, 2.12C, 2.12D).

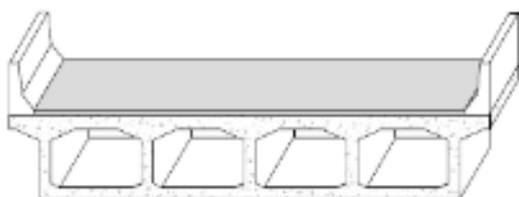


Figura 2.12A - Modelo de seção transversal multicelular.
Fonte: O'BRIEN e KEOGH, 1999.

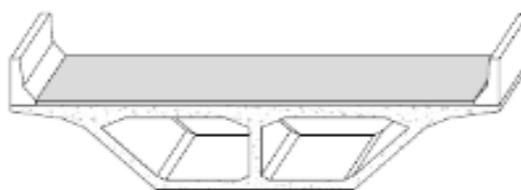


Figura 2.12B - Modelo de seção transversal multicelular com redução de espessura nos balanços.
Fonte: O'BRIEN e KEOGH, 1999.

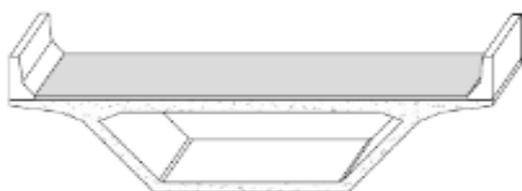


Figura 2.12C - Modelo de seção transversal unicelular com redução de espessura nos balanços.
Fonte: O'BRIEN e KEOGH, 1999.

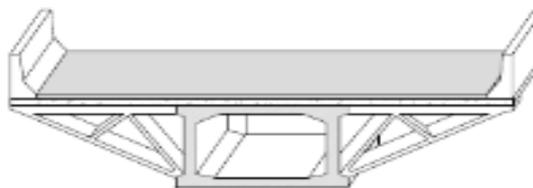


Figura 2.12D - Modelo de seção caixão treliçada.
Fonte: O'BRIEN e KEOGH, 1999.

As vigas transversinas são elementos prismáticos de menor comprimento, dispostos conforme a largura da ponte, em pontos estratégicos, de modo a reduzir tanto o comprimento de flambagem de vigas retangulares maciças (flexo torção do elemento), quanto aumentar os apoios sob o tabuleiro (melhor distribuindo os esforços e deformações da placa), proporcionando mais estabilidade lateral ao conjunto, além da absorção dos esforços horizontais de aceleração e frenagem dos veículos. (PFEIL, 1983).

2.3 - ABORDAGENS PRELIMINARES - PATOLOGIA EM PONTES/OAE

Como bem aduz CAVALCANTE (2017), de tempos em tempos, faz-se necessária a verificação do grau de deterioração das pontes, de modo a afastar o perigo de colapso estrutural, sendo estas verificações mencionadas na literatura especializada como inspeções (ou procedimentos) rotineiros de verificação de desempenho, e auxiliam a tomada de decisão dos órgãos responsáveis para que tomem as ações técnicas para ampliar a vida útil das estruturas inspecionadas.

Os principais fatores que ocasionam o colapso estrutural são: Infraestrutura (escavação); Falhas Construtivas; Colisões diversas (embarcações, veículos, massas de gelo, entre outros); Incêndios; Sismos; Grandes deslocamentos de ar e Ausência de Inspeção e consequente manutenção.

LOURENÇO *et al.* (2009) apresenta um interessante panorama acerca das etapas e distribuição percentual de falhas patogênicas no campo da construção no Brasil (Figura 2.13). Alerta-se que, sobre esse tema, os estudos apresentam divergências entre os diversos autores, quanto ao percentual dessas falhas sobre as etapas.

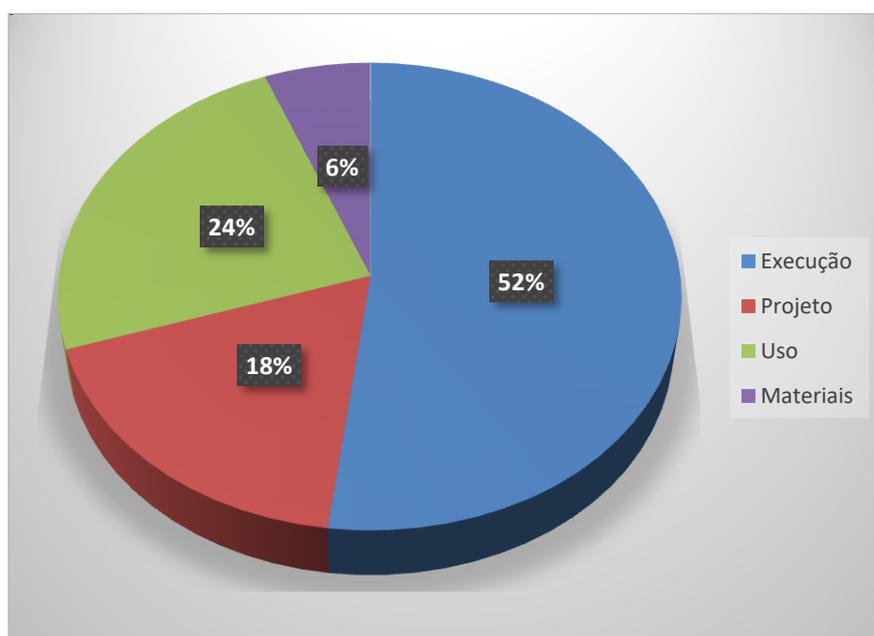


Figura 2.13 - Distribuição percentual de falhas patogênicas nas etapas de construção no Brasil.

Fonte: LOURENÇO *et al.*, 2009.

Importante notar como se comporta a resistência (aqui traduzida como desempenho) estrutural ao longo do tempo. Desenvolvido por SOUZA e RIPPER

(1998), a figura abaixo relaciona os desempenhos em 3 (três) situações distintas, comparando-os à situação média (desempenho mínimo), a saber:

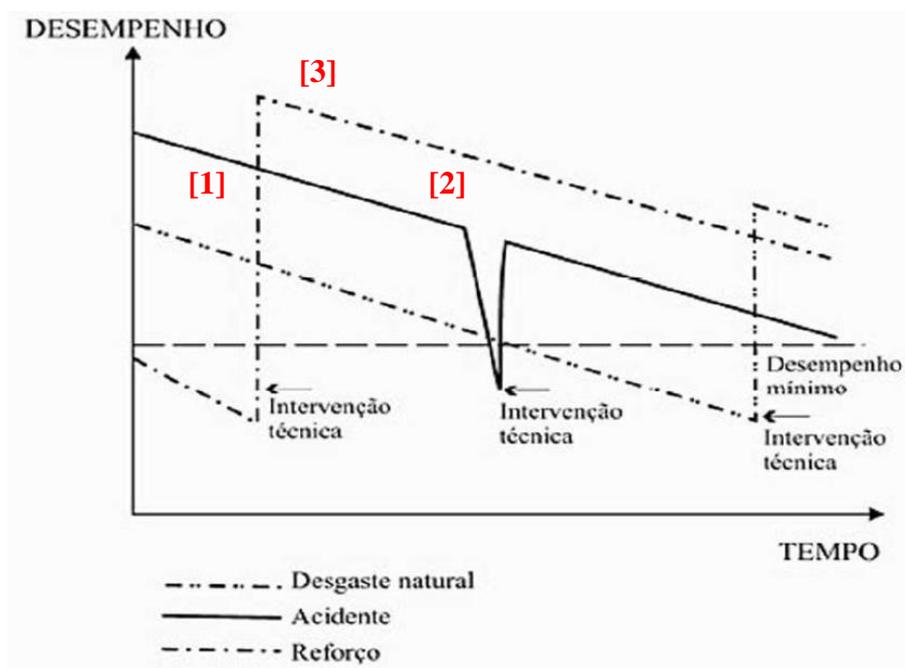


Figura 2.14 - Diferentes desempenhos de uma estrutura ao longo do tempo.
Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998.

Na Figura 2.14, temos em [1], o desgaste natural de uma estrutura ao longo de anos, por isso a reta descendente. Num determinado ponto, sofre uma intervenção que melhora seu desempenho (reforço estrutural, mudança de cargas, tratamentos especiais). Em [2], temos uma estrutura que sofre um dano abrupto (inesperado) e necessita de manutenção urgente, tal como a ponte sobre o rio Curuçá, BR-319, no Amazonas, em 2022, com as evidências (fotos) a seguir (Fig. 2.16 e Fig. 2.17). Por último, em [3], temos uma estrutura “nova” que apresenta erros em sua concepção estrutural (erros de projeto e/ou execução), que necessita de intervenção imediata para que atinja os padrões mínimos de resistência esperada.

Assim como os autores acima, COSTA (2016) apresenta uma visão complementar sobre a questão, que é a análise por meio do avanço da deterioração e seus custos de manutenção, conforme o tempo de utilização do bem, mostrado na Figura 2.15.

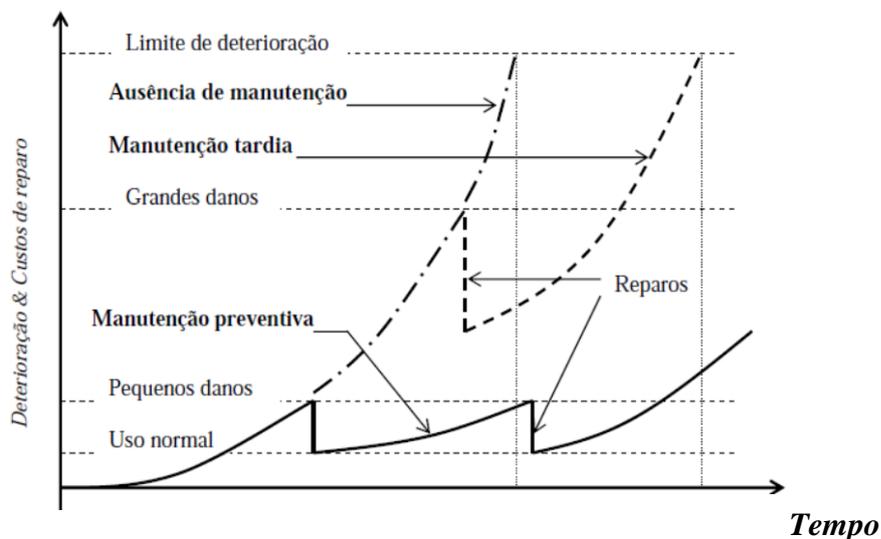


Figura 2.15 - Efeitos da manutenção na vida útil de uma estrutura.
 Fonte: COSTA, 2016.

A Figura 2.15 ilustra o desempenho de uma estrutura ao longo do tempo, submetida a três diferentes tipos de manutenção. Mesmo bem construída e submetida à manutenção preventiva, o surgimento de pequenos danos em uma estrutura é inevitável, porém o seu reparo exige poucos recursos e a edificação retorna, rapidamente, às condições normais de uso e a sua vida útil é prolongada. (COSTA, 2016).

Na manutenção tardia, ignorou-se as pequenas falhas que se transformaram em danos de maior gravidade, que exigem maiores dispêndios de recursos para reparação. E, finalmente, se os reparos não forem executados - ausência de manutenção - a vida útil da edificação será consideravelmente abreviada. (COSTA, 2016).



Figura 2.16 - Desabamento ponte - rio Curuçá, BR-319, AM - em 2022, com vítimas fatais.



Figura 2.17 - Outro ângulo da ponte que desabou sobre o rio Curuçá, BR-319, AM, em 2022.

Observa-se também que há uma relação intrínseca entre o desempenho estrutural e os custos inerentes à intervenção que há de ser feita. Que, a depender da fase que ocorrer, pode ter um valor global baixo, médio ou absurdamente grande.

Segundo HELENE (1992) os problemas patológicos são evolutivos e tendem a se agravar com o passar do tempo, podendo até ser gerado novos problemas em decorrência dos primeiros. Por este motivo, pode-se afirmar que as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis e mais baratas se forem executadas quanto mais cedo, como expressa a Lei.

Assim, diante das circunstâncias sujeitas, faz-se uso de métodos de “intervenção”. Essa ação pode ser, tanto a nível de projeto, quanto na modificação no modelo estrutural, como, por exemplo, na resistência e no tipo de concreto, onde a depender da etapa que precisa de intervenção, os custos se expandem numa progressão geométrica de razão 5, além do tempo dispendido para apresentação da solução também aumentar na mesma proporção, ou não. A seguir, a ilustração da Regra de Sitter propriamente dita, (Figura 2.18).

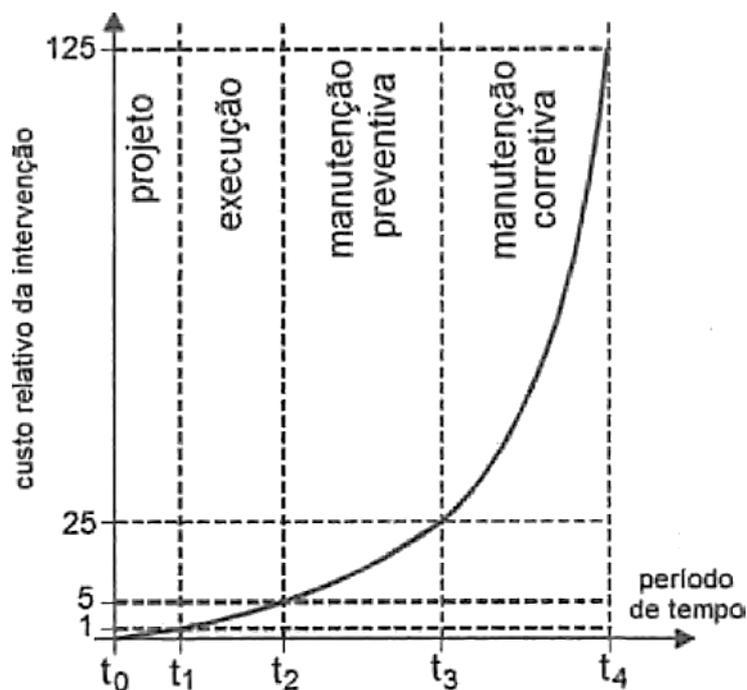


Figura 2.18 - Lei de evolução de custos, ou, a Regra de Sitter aplicada a projetos construtivos.

Fonte: VICTOR, 2019.

A relação de custos compreende a realização da intervenção e a etapa de estágio da estrutura, esta relação é conhecida como a Lei de Evolução de Custos (Regra de Sitter) ou a Progressão Geométrica de Razão 5 (cinco).

Ao se adentrar no campo específico da conservação de construções civis, nota-se que este é um campo científico eminentemente recente, posto que a prática de manutenção de estruturas era, e ainda é, algo bastante recorrente, porém, ainda desenvolvida sem muito aparato técnico. (BASTOS e MIRANDA, 2017).

De modo geral, parte dos casos opera sob uma perspectiva empírica, onde os profissionais, a depender do caso patológico, aplicam soluções gerais, a partir da experiência adquirida nos trabalhos em casos semelhantes.

2.3.1 - Normas e especificações técnicas

No Brasil, assim como em todo o Planeta, adotam-se práticas e procedimentos de segurança e durabilidade mínima das estruturas. Assim, para o desenvolvimento de projetos de pontes e grandes estruturas em geral, tem-se o subsídio das disciplinas de

cálculo estrutural, materiais de construção e construção civil (planejamento, execução e orçamentação).

Esses conjuntos de práticas e procedimentos mínimos são as chamadas Normas Técnicas. Este material de cunho técnico é desenvolvido pelos comitês técnicos (formados por produtores, consumidores e universidades) da ABNT, para cada área do conhecimento, cuja norma sistematize, estruturas de concreto, mecânica dos solos, instalações hidráulicas, instalações elétricas, dentre outros.

Outros organismos podem também desenvolver normas, a exemplo dos procedimentos técnicos desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT-SP) e o próprio DNIT, órgão fundamental do Ministério de Infraestrutura do Brasil.

As principais normas aplicáveis são:

- I. NBR nº 6.118:2014 – Projeto de estruturas de concreto;
- II. NBR nº 6.122:2022 – Projeto e execução de fundações;
- III. NBR nº 6.123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações;
- IV. NBR nº 7.187:2021 – Projeto de pontes, viadutos e passarelas de concreto;
- V. NBR nº 7.188:2013 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas;
- VI. NBR nº 7.190-1:2022 – Projeto de estruturas de madeira;
- VII. NBR nº 8.681:2003 – Ações e Segurança nas Estruturas;
- VIII. NBR nº 9.452:2019 – Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto Armado.

Sendo a última norma citada de fundamental importância ao profissional especializado, para nortear os levantamentos de campo e subsidiar os parâmetros para o devido enquadramento das condições de conservação de uma ponte.

Para tratar exclusivamente da investigação das causas das anomalias que danificaram, ou mesmo deixaram em ruínas um número tão elevado de estruturas, com significativos custos, foi criado o ramo da engenharia chamado Patologia. A cada ano cresce o número de estruturas relativamente novas que necessitam de intervenção devido à falta de desempenho satisfatório. (BASTOS e MIRANDA, 2017).

Apesar de muitos estudos realizados, as manifestações patológicas não são devidamente conhecidas, sendo necessária sua divulgação uma vez que quanto antes detectadas, menor será o custo de reparação das peças danificadas. Através deste estudo é possível fornecer subsídios para prevenção, revisão das normas, elaboração de novos métodos construtivos e dos tratamentos. (BASTOS e MIRANDA, 2017).

2.3.2 - Generalidades patológicas em estruturas diversas

As estruturas estão sujeitas naturalmente ao desgaste devido a inúmeros fatores como: qualidade do material, qualidade da execução, ação de cargas e sobrecargas, vibrações, impactos e erosões e agentes externos onde foram construídas. (CAVALCANTE *et al.*, 2019).

O período de vida útil, segundo a ABNT NBR 6118:2014, é o tempo em que a estrutura permanece mantendo suas características essenciais, atendidos os critérios de uso e manutenção previstos, assim como executados os reparos necessários decorrentes de ações acidentais.

O profissional de engenharia, para dimensionar a estrutura, tem a missão de prever a ação dos diversos agentes ou fenômenos para a evitar as patologias. Estas podem ter diversas origens como: falhas no projeto, materiais inadequados, erros na execução, erros na utilização ou manutenção (CAVALCANTE, 2017).

2.3.3 - Patologias do concreto

Para SOUZA e RIPPER (1998), designa-se por Patologia das Estruturas o campo da engenharia das construções que fomenta o estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de deterioração das estruturas.

Sob o ponto de vista de HELENE (1992), a área da engenharia que cuida das patologias é compreendida como a parte da engenharia que estuda os sistemas, mecanismos, causas e origens dos defeitos das obras civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.

Com vista ao apresentado por estes consagrados autores, verifica-se a semelhança na definição de Patologia das Estruturas.

Segundo SOUZA e RIPPER (1998), as causas de deterioração em estruturas de concreto armado podem ser classificadas em "causas intrínsecas" e "causas extrínsecas".

Nesse pressuposto, SOUZA e RIPPER (1998) apresenta a Tabela 2.1 e a Tabela 2.2, uma para cada tipo de causa, e norteia os comentários a seguir.

Tabela 2.1 - Causas intrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto.

CAUSAS INTRÍNSECAS	
FALHAS HUMANAS DURANTE A CONSTRUÇÃO	
DEFICIÊNCIAS DE CONCRETAGEM	➔
	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte • Lançamento • Juntas de concretagem • Adensamento • Cura
INADEQUAÇÃO DE ESCORAMENTOS E FÔRMAS	
DEFICIÊNCIAS NAS ARMADURAS	➔
	<ul style="list-style-type: none"> • Má interpretação dos projetos • Insuficiência de armaduras • Mau posicionamento das armaduras • Cobrimento de concreto insuficiente • Dobramento inadequado das barras • Deficiências nas ancoragens • Deficiências nas emendas • Má utilização de anticorrosivos
UTILIZAÇÃO INCORRETA DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	➔
	<ul style="list-style-type: none"> • f_{ck} inferior ao especificado • Aço diferente do especificado • Solo com características diferentes • Utilização de agregados reativos • Utilização inadequada de aditivos • Dosagem inadequada do concreto
INEXISTÊNCIA DO CONTROLE DE QUALIDADE	
FALHAS HUMANAS DURANTE A UTILIZAÇÃO (ausência de manutenção)	
CAUSAS NATURAIS	
CAUSAS PRÓPRIAS À ESTRUTURA POROSA DO CONCRETO	
CAUSAS QUÍMICAS	➔
	<ul style="list-style-type: none"> • Reações internas ao concreto • Expansibilidade de certos constituintes do cimento • Presença de cloretos • Presença de ácidos e sais • Presença de anidrido carbônico • Presença da água • Elevação da temperatura interna do concreto
CAUSAS FÍSICAS	➔
	<ul style="list-style-type: none"> • Variação da temperatura • Insolação • Vento • Água
CAUSAS BIOLÓGICAS	

Fonte: Adaptado de SOUZA e RIPPER, 1998.

Enquadram-se nas causas intrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto, as que são peculiares às próprias estruturas, ou seja, todas aquelas que tem origem em materiais ou peças estruturais, durante a execução e/ou utilização das obras, causados por falhas humanas, por questões próprias ao material concreto e por ações externas, acidentes inclusive.

Nas causas extrínsecas aos processos de deterioração da estrutura, enquadram-se aquelas que não dependem do corpo da obra em si, assim como da composição interna do concreto, ou de falhas inerentes ao processo de execução, sendo causadas de “fora para dentro”, durante as fases de concepção ou ao longo da vida útil desta.

As falhas humanas durante a construção da estrutura, na maioria dos casos, advêm da deficiência da qualificação profissional da equipe técnica.

Deficiências de concretagem surgem, em regra, no transporte, no lançamento, nas juntas de concretagem, no adensamento e na cura do concreto, conforme o método adotado.

A inadequação de fôrmas e escoramentos, provém da falta de limpeza e de aplicação de desmoldantes nas fôrmas antes da concretagem, insuficiência de estanqueidade das fôrmas, retirada prematura das fôrmas e escoramentos, e remoção incorreta dos escoramentos.

As deficiências ou erros na colocação das armaduras surgem com elevada frequência, das mais diversas ordens, e contribuem para o surgimento de patologias no concreto. As deficiências mais frequentes são: má interpretação de projeto, insuficiência de armaduras, mau posicionamento das armaduras, cobrimento de concreto insuficiente, dobramento das barras sem obediência aos regulamentos, deficiências nos sistemas de ancoragem, deficiências nos sistemas de emenda, má utilização de anticorrosivos nas barras.

A utilização incorreta de materiais de construção propicia a ocorrência de “falha” no processo, e tem elevado índice de incidência. As vezes são geradas por incompetência ou dolo, e é grave, por tratar-se de um conjunto de decisões que são encargos de engenheiro ou de responsáveis pela obra.

A mais relevante de todas as causas relacionadas com falhas humanas na construção, trata-se da “inexistência de controle de qualidade”, pois com a adoção de um controle de qualidade adequado, possibilita-se intervenções administrativas e técnicas, atenuando consideravelmente conseqüências de efeitos negativos, em termos de um quadro patológico.

Sobre “falhas humanas na fase de utilização” resume-se no fato da ausência de manutenção. Caso que importará a manutenção programada, isto é, o conjunto de medidas para manter materiais, e peças estruturais, nas condições para as quais foram projetadas e construídas.

O aspecto das “causas naturais” não resulta de falhas humanas ou de equipamento, mas do próprio material concreto, sujeito à sensibilidade ao ambiente e aos esforços solicitantes. Deriva-se daí as “causas próprias à estrutura porosa do concreto”.

As “causas químicas” no contexto da causa natural intrínseca aos processos de deterioração das estruturas de concreto podem ser:

- a) Reações internas do concreto: reação álcalis-agregados, reação álcalis-dolomita, reação entre rochas caulinizadas ou feldspatos calco-sódicos.
- b) Expansibilidade de certos constituintes do cimento: óxido de magnésio, cal livre.
- c) Presença de cloretos no concreto: adicionados involuntariamente ao concreto, penetração no concreto pela estrutura porosa.
- d) Presença de ácidos e sais no concreto: inorgânicos (clorídrico, sulfídrico, nítrico, carbônico etc.) ou orgânicos, normalmente encontrados na terra (acético, láctico, esteárico etc.).
- e) Presença de anidrido carbônico: manifesta-se pelo transporte do anidrido carbônico para o interior dos poros do concreto, e subsequente reação com o hidróxido de cálcio (água do concreto), resultando na carbonatação do concreto.
- f) Presença da água: o transporte da água através da estrutura porosa do concreto, ocasiona a dissolução do hidróxido de cálcio, fazendo precipitar gel de sílica ou de alumina, desagregando o concreto.
- g) Elevação da temperatura interna do concreto: aquecimento e expansão da massa de peças concretadas (grandes dimensões), por não haver troca positiva de calor com o exterior, na hidratação inicial, e, na continuidade do processo, o natural esfriamento, com perspectiva de gradiente térmico, e possível fissuração interna do concreto.

As “causas físicas” intrínsecas ao processo de deterioração da estrutura são as resultantes da ação da variação da temperatura externa, da insolação, do vento e da água (chuva, gelo e umidade), podendo-se incluir as eventuais solicitações mecânicas, ou acidentes, ocorridos na execução de uma estrutura. A atuação dos agentes da natureza

mencionados é contraproducente nas fases de endurecimento do concreto, particularmente, a cura.

Ainda, conforme SOUZA e RIPPER (1998), as causas dos processos biológicos podem resultar do ataque químico de ácidos (produção de anidrido carbônico) gerados pelo crescimento de raízes de plantas, ou de algas, que se instalem em fissuras ou grandes poros do concreto, ou por ação de fungos, ou pela ação de sulfetos presentes nos esgotos.

Neste último caso, o mais comum e importante em termos de ataque biológico, dá-se que os sulfetos, inicialmente em forma de gás sulfídrico, dissolvido na água, ao entrarem em contato com o cálcio do cimento Portland, e na presença de bactérias aeróbicas, formam o sulfureto de cálcio, que descalcifica o concreto, amolecendo a pasta de cimento.

Tabela 2.2 - Causas extrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto.

CAUSAS EXTRÍNSECAS	
FALHAS HUMANAS DURANTE O PROJETO	<ul style="list-style-type: none"> • Modelização inadequada da estrutura • Má avaliação das cargas • Detalhamento errado ou insuficiente • Inadequação ao ambiente • Incorreção na interação solo-estrutura • Incorreção na consideração de juntas de dilatação
FALHAS HUMANAS DURANTE A UTILIZAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Alterações estruturais • Sobrecargas exageradas • Alteração das condições do terreno de fundação
AÇÕES MECÂNICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Choque de veículos • Recalque de fundações • Acidentes (Ações imprevisíveis)
AÇÕES FÍSICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Variação de temperatura • Insolação • Atuação da água
AÇÕES QUÍMICAS	
AÇÕES BIOLÓGICAS	

Fonte: Adaptado de SOUZA e RIPPER, 1998.

Como cita SOUZA e RIPPER (1988), as causas extrínsecas são aquelas que não dependem da estrutura em si, mas surgem ocasionadas por agentes que atacam as

edificações “de fora para dentro”, e podem ser resultantes de falhas humanas e de ações externas.

As “Falhas humanas na etapa de projeto” podem ter importâncias percebidas na fase do projeto estrutural, cuja ausência de um aspecto deixado de lado pela não observância correta, tenderá a potencializar ocorrências perigosas e graves.

Com vista à “Modelização estrutural inadequada” os pontos, quanto a segurança e comportamento estrutural, devem ser apreciados na seleção do sistema mais adequado à situação da obra.

Considerando a “Má avaliação das cargas” entende-se que todas as possibilidades de carregamentos (permanentes, variáveis, acidentais e de clima) são passíveis de apreciação apropriada, através do emprego das normas vigentes na preparação do projeto, assegurando que os mesmos não serão excedidos no decorrer da vida útil da estrutura.

No “Detalhamento errado ou insuficiente”, em regra, ocorrência dessa natureza, é motivadora de falhas comprometedoras na execução, possibilitando severas anomalias na estrutura, exercendo, também, influência negativa na resistência e/ou durabilidade da obra.

Quanto a “Inadequação ao ambiente”, sobre esse aspecto deve-se pensar na durabilidade pretendida ao objeto a ser produzido, e na vulnerabilidade proporcionada pelo ambiente. Exemplifica-se que, desde o projeto, deve estar inserido pingadeiras, sistemas de escoamentos e drenagem, cobrimento adequado às agressividades previstas de serem experimentadas pelas partes que integram uma construção.

Sob o aspecto da “Incorreção na interação solo-estrutura”, sabe-se que o solo do espaço que irá receber a obra, deve possuir capacidade para resistir aos esforços a que será submetido pela estrutura. Visando essa segurança, será essencial realizar a prospecção para conhecer o solo por meio de sondagens, prevenindo contra o surgimento de recalques anormais e outros danos patológicos.

No contexto da “Incorreção na consideração de juntas de dilatação”, verifica-se que a inexistência ou a utilização inadequada de juntas de dilatação nas estruturas, leva à facilidade da entrada de água pelo cume do estrado, possibilitando o comprometimento da armadura e danos nos aparelhos de apoio em pontes.

As “Falhas humanas na etapa de utilização” decorrem da ausência de respaldo técnico dos proprietários e utilizadores que, ao realizar intervenções, acabam por causar danos nas estruturas. Tipo, aberturas em elementos estruturais, escavações no terreno

não programadas tecnicamente, e recebimento de cargas acima (sobrecargas) das previstas no projeto.

No âmbito das “Ações mecânicas”, exemplifica-se pela ocorrência do choque de veículos automotores contra guarda-rodas, e de embarcações contra as faces expostas de estacas, blocos de coroamento e pilares das pontes, e/ou mesmo o contínuo friccionar sobre estes, e, desses eventos mencionados, advém desde o desgaste da camada mais superficial do concreto até a destruição de peças estruturais, sendo necessário a adoção de proteção apropriada nestes indispensáveis elementos.

O “Recalque de fundações” refere-se ao deslocamento vertical sofrido pela edificação, por um certo período de tempo, até que o equilíbrio entre os carregamentos e o solo se estabeleça, por esse motivo deve ser tomada as devidas precauções de segurança.

No que concerne aos “Acidentes de ações imprevisíveis”, ou de difícil previsão, se relacionam as ações mecânicas, ou físicas, às quais uma estrutura seja submetida, tanto em época de ocorrência, ou em períodos de elevada intensidade local. Essas situações envolvem demandas súbitas, como incêndios, sismos, inundações, choques de veículos (os não previsíveis) e os empenhos excessivos por razão do vento.

As “Ações físicas” mais comuns, como agentes agressores às estruturas, referem-se às variações de temperatura ambientais e as que concebem gradientes térmicos; aos movimentos de interface entre materiais com coeficientes de dilatação térmica distintos, submetidos à mesma variação de temperatura; a incidência direta do sol (semelhante ao gradiente térmico) sob a camada (face) do concreto, modificando a textura e cor do mesmo; e a ação da água (umidade, chuva, gelo). Desse modo, estes concorrem como agentes geradores de patologias.

Menciona-se, oportunamente, as “Ações químicas”, onde seus agentes por quanto considerados causadores de degradação extrínsecas, agem na vida útil da estrutura, destacando-se os ambientes industriais pela susceptibilidade a danos, e atuam de modo semelhante enquanto agentes intrínsecos. Como agentes agressores das estruturas, cita-se o ar, os gases, as águas puras e agressivas, os ácidos, os sais, os sulfatos e o gás carbônico, quando traz o problema da carbonatação.

O grande número de automóveis e indústrias, principalmente em centros urbanos, que acarretam diversos problemas à sociedade. A construção civil está dentro deste panorama, sendo afetada devido à imensa quantidade de gases liberados nas reações de combustão.

Ainda, SOUZA e RIPPER (1998), menciona que as “Ações biológicas” contemplam o surgimento de vegetação nas fissuras e juntas, e propiciam a manifestação de microrganismos, inclusive, cupins e formigas, provocando danos a certos materiais e o comprometimento das estruturas.

Para que as estruturas mantenham durabilidade e funcionalidade nas melhores condições durante a vida útil, é preciso maior rigor na qualidade das inspeções e, conseqüentemente, na manutenção das pontes e viadutos brasileiros. (TEIXEIRA, 2020).

2.3.3.1 - Patologias causadas por agentes químicos

Os principais fenômenos químicos que ocorrem em estruturas de concreto armado, segundo CAVALCANTE (2017), podem ser causadas por: cloretos, sulfatos, carbonatação e lixiviação, descritos a seguir.

1. **Ataque por cloretos:** estes geram inúmeros danos ao concreto. A estrutura porosa do material, composição química, PH e fissuração do concreto são fatores que influenciam na penetração destes agentes no concreto. Os íons cloreto, ao penetrar nos poros de concreto semipreenchidos com água, têm a capacidade de despassivar as armaduras de aço e iniciar a corrosão mesmo com pH - Potencial Hidrogeniônico, por isso é um dos agentes mais nocivos para a corrosão das barras de aço.
2. **Ataque por sulfatos:** estes são bastantes ofensivos as estruturas de concreto, reagindo com elementos do cimento e causando um aumento de volume, que pode ocorrer após o concreto endurecido. Podem ser encontrados na água do mar, solo, águas subterrâneas, esgoto, águas poluídas e chuva ácida.
3. **Carbonatação:** esta ação inicia o processo corrosivo das armaduras pela penetração de gás carbônico (CO₂) nos poros, o que reduz o pH da pasta de cimento, desde que haja água e oxigênio, comprometendo a durabilidade do conjunto.
4. **Lixiviação:** provocada quando águas puras, com pouco ou nenhum íon de cálcio, interagem com o concreto, ocorrendo a hidrólise ou dissolução e carregamento dos produtos contendo cálcio para o meio externo. A lixiviação provoca a perda da resistência e agressões estéticas, por meio do produto lixiviado que interage com o dióxido de carbono presente no ar, formando

carbonatos que aparecem na forma de manchas brancas e estalactites na superfície.

Além destes, os vícios na realização da concretagem podem gerar diversos defeitos posteriores na estrutura. (BASTOS e MIRANDA, 2017).

2.3.3.2 - Principais manifestações na estrutura em geral

Com os ensaios visuais, e laboratoriais, podem ser descritas as manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado. Estas lesões, falhas ou sinistros, se apresentam na maior parte dos casos na forma de: eflorescência, corrosão e oxidação da armadura, degradação por carbonatação, fissurações, segregação de material, abrasão, entre outras, conforme a seguir:

- a) **Eflorescência:** manifesta-se produzindo manchas esbranquiçadas de aspecto escorrido na parte superficial do concreto. Segundo SILVA (2019), quando por diversos fatores essa dissolução não chega à superfície e ocorre a secagem na porção interna do material, a recristalização pode ocorrer no interior ou na interface entre o elemento construtivo e seu revestimento, determinando o aumento de volume interno nestas regiões.
- b) **Corrosão e oxidação da armadura:** manifesta-se pela perda progressiva de massa e seção do metal, por meio de reações químicas. A corrosão ocorre em meio aquoso por meio do contato do metal com a água e sais minerais. (SILVA, 2019). Trata-se de um processo eletroquímico onde ocorre dissolução dos íons de ferro que deve ser entendido por completo para impedir sua ocorrência ou sua recorrência após a restauração dos elementos atacados. (CAVALCANTE, 2017).
- c) **Degradação por carbonatação:** resulta na diminuição do pH do concreto, aumentando a vulnerabilidade corrosiva das armaduras, comprometendo a durabilidade da estrutura. A carbonatação avança da superfície para o meio do concreto, atingindo a profundidade da armadura, provocando o início da corrosão pela desestabilização da camada protetora do aço. (SILVA, 2019).
- d) **Fissurações:** manifestam-se através de aberturas finas e alongadas na parte externa do concreto, em geral não maiores que 1mm. Quando essas aberturas são mais profundas e acentuadas, entre 1 e 3mm, podem ser chamadas de trincas. As chamadas rachaduras são notadas mais facilmente e são mais graves por serem mais profundas, com aberturas maiores que 3mm. (SILVA, 2019).

- e) **Segregação de material:** ocorre devido às falhas no período de transporte, lançamento do concreto, ou de adensamento. As formas principais de manifestação são, a segregação entre o agregado graúdo e a argamassa, a formação de ninhos de concretagem e de cavidades no concreto, determinando, assim, o surgimento de pontos frágeis na estrutura. (SOUZA e RIPPER, 1998).
- f) **Abrasão:** definido pelo desgaste superficial causado por agente abrasivo ocasionando perda de material na superfície. (BASTOS e MIRANDA, 2017).

2.3.3.3 - Exemplos típicos de manifestações

Em uma ponte localizada na rodovia AL-101 sobre a laguna da cidade de Roteiro (AL), durante um trabalho de inspeção visual, foram encontradas as seguintes patologias: corrosão, cobrimento insuficiente, fissuras e deslocamento do concreto, conforme mostrado na Figura 2.19. (SILVA, 2018).



Figura 2.19 - Corrosão da armadura e cobrimento insuficiente na ponte sobre a Laguna do Roteiro-AL.

Fonte: SILVA, 2018.

Outros exemplos de patologias encontradas em pontes e viadutos de concreto, estão reunidos no trabalho de COSTA (2016), como: desagregação na Figura 2.20, lixiviação/eflorescência na Figura 2.21, segregação na Figura 2.22 e fissurações na Figura 2.23.



Figura 2.20 - Desagregações em ponte na BR-020, região de Sobradinho-DF.
Fonte: COSTA, 2016.



Figura 2.21 - Lixiviação/eflorescências em ponte na BR-020, região de Sobradinho-DF.
Fonte: COSTA, 2016.



Figura 2.22 - Segregação de material em ponte na BR-020, região de Sobradinho-DF.
Fonte: COSTA, 2016.



Figura 2.23 - Fissurações em ponte na BR-020, região de Sobradinho-DF.
Fonte: COSTA, 2016.

2.3.4 - Principais intervenções e soluções

Dependendo da gravidade da manifestação podem ser utilizados vários métodos ou sistemas de reparos. O objetivo principal do reforço e da recuperação é devolver à estrutura as condições ideais de desempenho para as quais ela foi projetada. No caso de corrosão das armaduras, a intervenção consiste na exposição das armaduras corroídas, execução de tratamento no local, e posterior cobrimento para reconstituição da seção. Como essa intervenção é a mais comum, suas técnicas de execução já são bem conhecidas e disseminadas na construção civil. Nesse tratamento, os aços devem ser rigorosamente limpos a fim de remover todos os produtos da corrosão e tratados com produtos específicos. (MARQUES, 2015).

Esses procedimentos estão resumidos na seguinte sequência de etapas: a) Delimitação de contorno do reparo; b) Remoção do material deteriorado; c) Limpeza; d) Preparação da camada de aderência; e) Revestimento da armadura (pintura); f) Recomposição do concreto; e g) Proteção da superfície de concreto.

A fim de restaurar as características geométricas, resistência e desempenhos originais da estrutura, CAVALCANTE (2017) elenca algumas outras ações realizadas para efetuar reparos:

- a) **Lavagem com jato de areia e água:** utilizado para remoção das camadas superficiais deterioradas, para posterior tratamento ou recuperação da estrutura.

- b) **Apicoamento:** realizado quando é necessário remover uma fina camada na superfície de concreto, proporcionando aderência suficiente para a futura camada ou para aumentar a espessura do revestimento.
- c) **Injeção de fissuras:** indicada para fissuras que não aumentam, ou tem um aumento insignificante, com o passar do tempo em que são preenchidas com material adequado, em geral, resinas epóxi ou mesmo poliuretano. Durante as inspeções intermediárias, pode ser verificado se há aumento das fissuras através de selos de gesso.
- d) **Reforço estrutural:** realizado para aumento da capacidade portante, nos casos de mudança no uso da estrutura ou para regeneração desta capacidade, quando diminuída em função de anomalias, além dos casos de falha de projeto e execução.

Uma situação problemática comum é a substituição dos aparelhos de apoio, quase sempre após a sua degradação total, indicando não haver preocupação em realizar periodicamente as manutenções necessárias. Quanto ao custo, afirma-se que as obras pertencentes aos órgãos públicos necessitam de um volume de recursos bastante superior, quando comparadas as de órgãos particulares. (BASTOS e MIRANDA, 2017).



Figura 2.24 - Aparelho de apoio de neoprene oco, circular e retangular.
Fonte: CORDEIRO, 2014.

No caso de corrosão das armaduras, a intervenção consiste na exposição das armaduras corroídas, execução de tratamento no local, e posterior revestimento para reconstituição da seção. Como essa intervenção é a mais comum, suas técnicas de execução já são bem conhecidas e disseminadas na construção civil.

Os aços devem ser rigorosamente limpos a fim de remover todos os produtos da corrosão e tratados com produtos específicos. Segundo MARQUES (2015), esses procedimentos estão resumidos na seguinte sequência de etapas: Delimitação de contorno do reparo; Remoção do material deteriorado; Limpeza; Preparação da camada de aderência; Revestimento da armadura (pintura); Recomposição do concreto e Proteção da superfície de concreto.

Em pavimentos asfálticos, para que se tenha um tratamento prévio, reduzindo o potencial de reflexão de trincas, podem ser realizadas as seguintes ações: fresagem, reciclagem, recapeamento, execução de reparos localizados e selagem de trincas. (GONÇALVES, 1999).

Para VIANA *et al.* (2018), as juntas de dilatação precisam atender às funções para as quais foram projetadas. Em caso de degradação das juntas, dependendo da estrutura, pode-se efetuar diversas intervenções:

- a) Fazer a demolição, se necessário, na área delimitada no berço de aproximação, utilizando martelos ou marteletes deixando a superfície rugosa.
- b) Retirar toda a armação antiga do berço danificado e limpar a área para estar livre de poeiras, óleos e resíduos que comprometam a aderência entre o graute e substrato.
- c) Posicionar a nova armação e ancorá-la no substrato, através de furos preenchidos com adesivo estrutural a base de epóxi, conforme projeto previamente planejado para manter o cobrimento necessário.
- d) Umedecer o substrato e posicionar o isopor como forma no lugar e na posição onde será instalado posteriormente o perfil elastomérico.
- e) Lançar o graute e adensar levemente com colher de pedreiro. Devem ser tomados os cuidados necessários para a realização da cura hidráulica.
- f) Após o tempo necessário para o endurecimento do graute, deve ser cortado o berço com o auxílio de uma serra para criar a área que irá receber o lábio polimérico.
- g) Após a conclusão e limpeza do corte, aplicar um primer para proporcionar maior aderência entre o berço de aproximação e o lábio polimérico.
- h) Com o primer ainda úmido e pegajoso, aplicar, após mistura, a argamassa epoxídica nivelando-o com o nível superior no berço de concreto.
- i) Retirar a forma de isopor e, se necessário, melhorar o acabamento utilizando esmerilhadeira. Deve-se tomar cuidado para não gerar danos nos lábios.
- j) Cortar ou emendar a junta elastomérica, conforme a largura da via. Nas duas extremidades da junta deve ser colocado tampão para permitir que o perfil infle. Em uma destas fixar a válvula de pressurização através de um pequeno furo. Para todas as emendas e fixações é utilizado adesivo monocomponente instantâneo.

- k) Instalar o perfil elastomérico aplicando adesivo epóxi bi-componente (conforme indicação do fabricante) nas suas laterais e no lábio polimérico de forma contínua e ainda fresco.
- l) Após a instalação do perfil, realizar sua pressurização através da supracitada válvula utilizando um compressor de ar, dilatando assim o perfil contra as paredes dos lábios.
- m) Remover a válvula de pressurização após a cura do adesivo (aproximadamente 24h). Tamponar o furo.
- n) Por fim, remover todo o excesso de adesivo epoxídico.

Segundo PEREIRA *et al.* (2019), no processo de recuperação de guarda-corpos em estrutura metálica, quando a corrosão ainda é superficial, realiza-se uma limpeza mecânica com escova de aço ou escova rotativa elétrica das superfícies afetadas. Após isso, devem ser aplicados na superfície produtos específicos para proteção da estrutura, decapante e fosfatizante ou outro tipo de pintura.

Os problemas que podem ocorrer nas estruturas de concreto armado são inúmeros, e, portanto, carece de cuidados por parte de profissionais qualificados.

CAPÍTULO 3

MÉTODOS

3.1 - METODOLOGIA EXPERIMENTAL

No contexto geral da investigação, a pesquisa qualitativa tornou-se a mais apropriada, obedecendo o percurso de estudo teórico e prático, conforme o Fluxograma demonstrado a seguir (Figura 3.1):

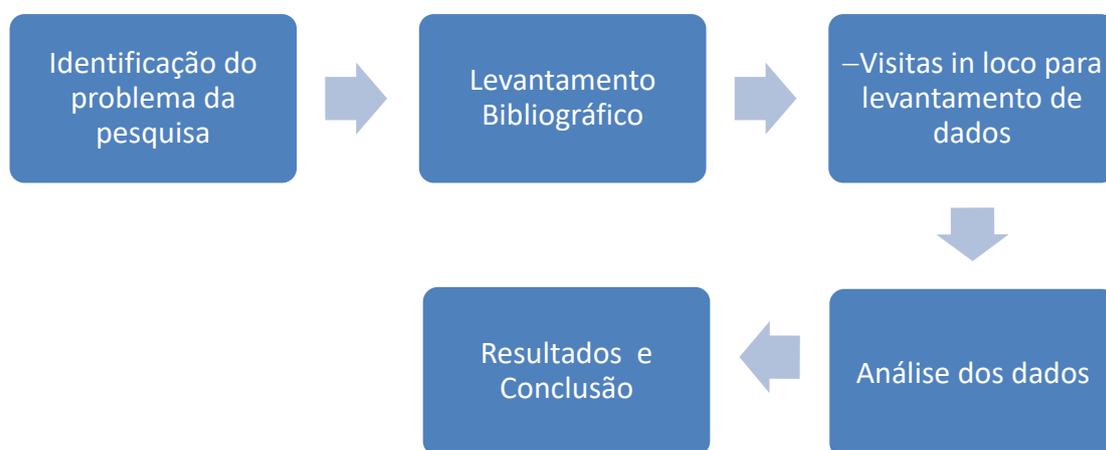


Figura 3.1 - Fluxograma da pesquisa.

No ano de 2019, a ABNT publicou a última edição da sua norma com os procedimentos para fins de inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto. A ABNT NBR 9452:2019, mostra os critérios exigíveis na realização das inspeções e na apresentação de seus resultados. Inicialmente, publicada em 1986 com o título “Vistorias de Pontes e Viadutos de Concreto”, a norma passou por atualizações nos anos de 2012 e 2016 até chegar à versão atual em vigor.

Assim, a investigação, a partir do projeto inicial com o tema escolhido e os objetivos delineados e demais elementos indispensáveis ao trabalho científico, respeitando a pesquisa bibliográfica de acordo com o tema, aprofundamento das leituras, realizando fichamentos, a investigação mostrou-se estruturada.

Com a obtenção dos dados do estudo *in loco*, o momento da pesquisa possibilitou a organização dos dados conhecidos e suas devidas análises, dialogando com diversos autores, culminando com as abordagens finais.

Consoante ao local da pesquisa, com a síntese da metodologia apresentada, a investigação teve o seu percurso de acordo com a estrutura formal do trabalho, possibilitando de forma sistêmica, a realização das diversas partes da investigação e a aferição referente ao Método.

Para coleta de dados desse estudo, foram realizadas visitas ao local para o levantamento dos elementos do atual estado de conservação da ponte Senador Fábio Lucena. Realizou-se uma *checklist*, conforme a norma NBR 9.452:2019. Esse levantamento de informações foi subsidiado por uma pesquisa observacional, com coleta de imagem feita pelo próprio autor.

Algumas informações sobre o cronograma de manutenções de conservação da ponte Senador Fábio Lucena foram solicitadas ao órgão competente do Estado do Amazonas para uma análise documental.

3.2 - LOCAL DA PESQUISA

O local da pesquisa realizada está situado no município de Manaus, capital do estado do Amazonas, que integra a região norte do Brasil.

O município de Manaus encontra-se dividido em sete zonas geográficas, que são as seguintes: Norte, Sul, Centro-Sul, Leste, Oeste e Centro-Oeste. A figura 3.2 mostra os bairros e zona administrativa de Manaus.

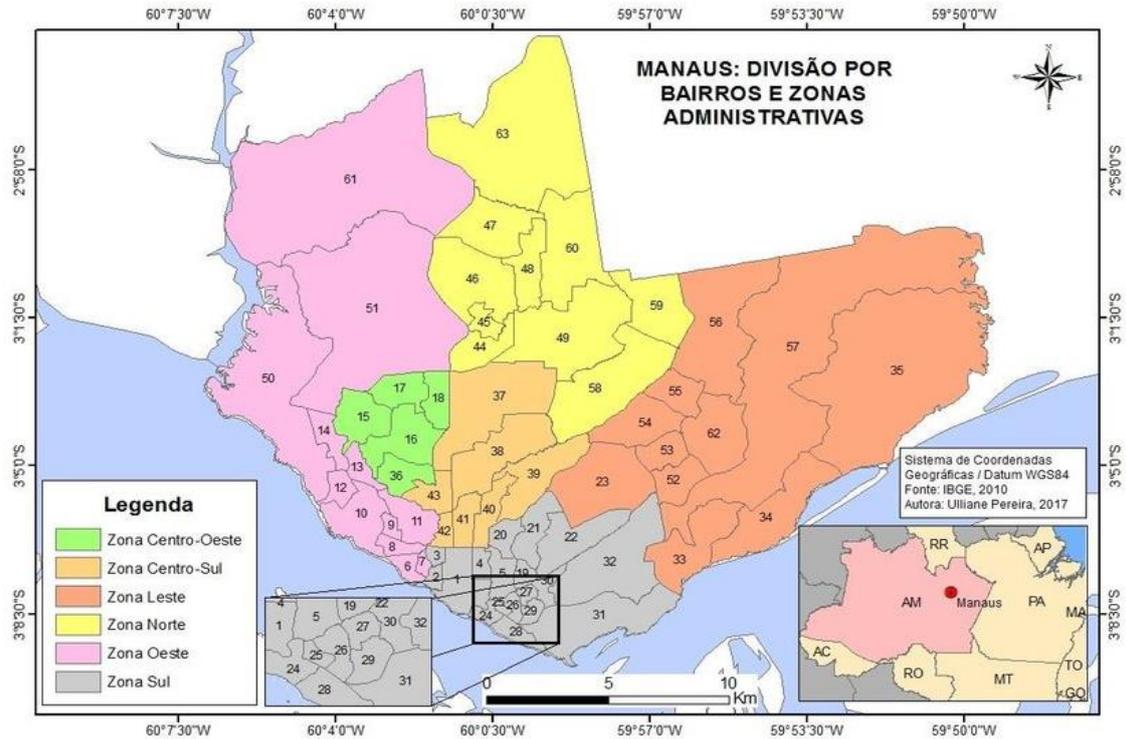


Figura 3.2 - Mapa dos setores urbanos e bairros de Manaus-AM.
Fonte: IMPLURB (2013).

Observa-se que a cidade de Manaus tem seus limites Sul, Oeste e Leste definidos pelo rio Negro, igarapé Tarumã-Açú e do rio Puraquequara, respectivamente, possuindo 63 bairros (IMPLURB, 2010) totalmente entrecortados por uma rede de drenagem de aproximadamente 412,2 km² de superfície e 70 km de igarapés (SEMA, 2019). Esta extensa rede hídrica levou à construção de inúmeras pontes dentro do sítio urbano.

Neste contexto, diversas pontes foram construídas na cidade de Manaus. Dentre elas, durante a investigação, várias foram visitadas, conforme descritas a seguir:

PONTE 1: Avenida das Torres sentido norte

Identificação e localização	
Via ou município: Av. Gov. José Lindoso.	Sentido: Norte
Localização: 1,3 km a partir de seu início na av. Cosme Ferreira em direção a zona norte da cidade.	

PONTE 2: Avenida das Torres sentido sul

Identificação e localização	
Via ou município: Av. Gov. José Lindoso	Sentido: Sul
Localização: Divisa entre os bairros de Parque Dez e Aleixo cruzando o Igarapé do Mindú.	

PONTE 3: PROFESSOR GILBERTO MESTRINHO

Identificação e localização	
Via ou município: Av. Maués	Sentido: Duplo
Localização: Divisa entre os bairros de Cachoeirinha e Morro da Liberdade cruzando o Igarapé do Quarenta.	

PONTE 4: Juscelino Kubitschek (Educandos)

Identificação e localização	
Via ou município: Av. Leopoldo Péres	Sentido: Duplo
Localização: Início da avenida Leopoldo Peres, na saída dos bairros Cachoeirinha e Centro, cruzando o igarapé do Quarenta, dando acesso ao bairro de Educandos.	

PONTE 5: Av. Silves sobre o Igarapé do Quarenta (duas pontes)

Identificação e localização	
Via ou município: Av. Silves	Sentido: Duplo
Localização: A ponte está localizada sobre o igarapé do Quarenta, entre as ruas Paço Real e Paranaíba. Uma ponte está no sentido do centro e a outra recebe o trânsito no sentido do bairro.	

PONTE 6: Av. Darcy Vargas sobre o Igarapé do Mindú (2 pontes)

Identificação e localização	
Via ou município: Av. Darcy Vargas	Sentido: duplo
Localização: Complexo Viário Ephigênio Salles no bairro Parque Dez de Novembro sobre o igarapé do Mindú.	

PONTE 7: Av. Mario Ypiranga sobre o Igarapé do Mindú (3 pontes)

Identificação e localização	
Via ou município: Av. Mário Ypiranga	Sentido: Sul
Localização: Complexo Viário Ephigênio Salles no bairro Parque Dez de Novembro sobre o igarapé do Mindú.	

Conforme os objetivos da pesquisa, a investigação foi relativa à ponte Senador Fábio Lucena, do bairro “Nossa Senhora Aparecida”. (Figura 3.3).

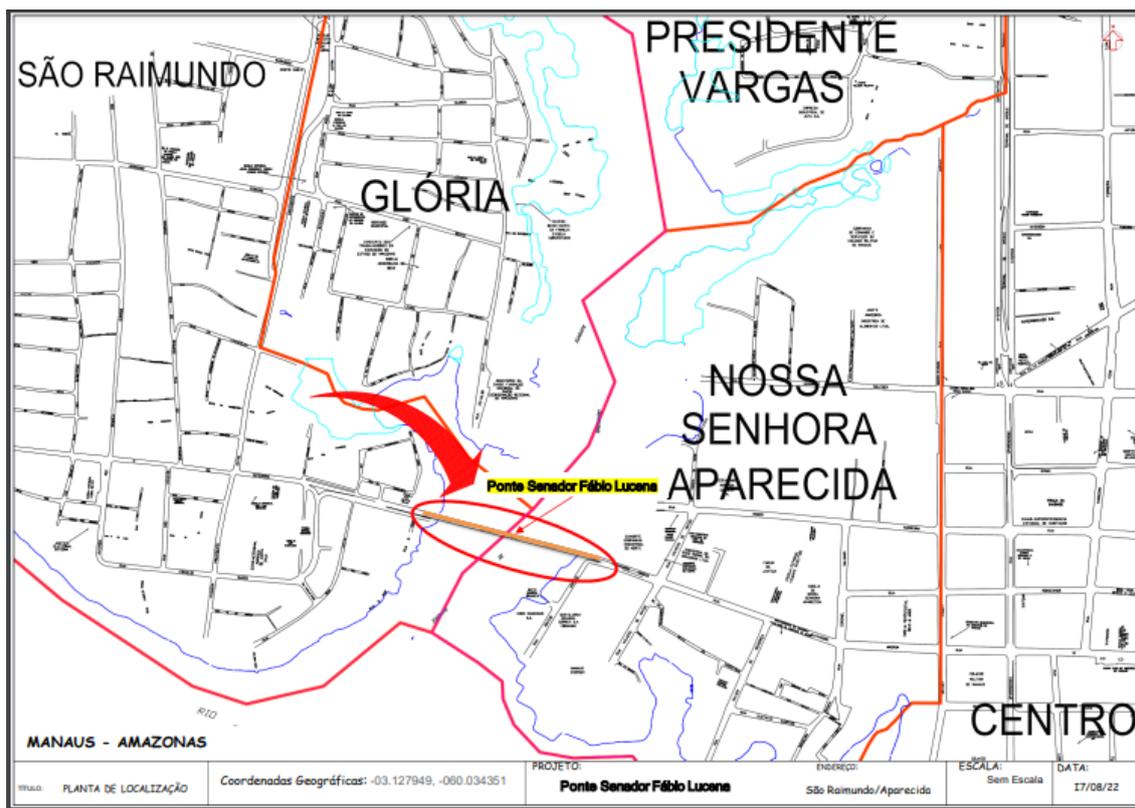


Figura 3.3 - Planta parcial da cidade de Manaus, mostrando a localização da ponte Senador Fábio Lucena e os bairros limítrofes.

Por fim, serão definidas as classes e conceitos da ponte inspecionada segundo a NBR nº. 9.452:2019 para diagnóstico do estado de conservação.

3.2.1 - Local de investigação

Interligando as zonas sul e oeste de Manaus sobre o igarapé do São Raimundo, a ponte Senador Fábio Lucena foi inaugurada no ano de 1987, após muitas tentativas de se construir uma ponte nesta região. A ponte (Figuras 3.4 e 3.5) permite hoje o acesso entre os bairros mais antigos da cidade, o bairro Nossa Senhora Aparecida e o bairro São Raimundo.

Esta é a maior ponte em extensão visitada durante toda esta pesquisa, e reduz, consideravelmente, a distância entre a zona oeste e central da capital.



Figura 3.4 - Vista panorâmica da ponte Senador Fábio Lucena, Manaus-AM.

A empresa responsável pela obra foi a Andrade Gutierrez. Sua extensão mede 256 metros de comprimento e está assim dividida em oito vãos de 32 metros, cada. O tabuleiro superior possui 11,30 metros de largura, dos quais 8,30 metros são de pista de rolamento. Os três metros restantes são do passeio, guarda-corpo e guarda-rodas. (DUARTE, 2009).



Figura 3.5 - Localização da ponte Senador Fábio Lucena.

Na época, a construção desta obra gerou muita repercussão positiva à população de Manaus, pois, possibilitou significativas melhorias para o tráfego de veículos e de pessoas (pedestres), principalmente, em relação aos bairros das Zonas Administrativas do Sul (Centro, Betânia, Cachoeirinha, Nossa Senhora Aparecida, etc.) e Oeste de Manaus (São Raimundo, Compensa, Lírio do Vale, Santo Antônio etc.).

A partir das abordagens referentes aos Materiais consoantes a pesquisa sobre a ponte Senador Fábio de Lucena, aborda-se sobre os Métodos.

3.3 - MÉTODOS DE INSPEÇÃO

As inspeções utilizadas neste trabalho são as caracterizadas como rotineiras pela ABNT NBR 9452:2019. Serão preenchidos os roteiros básicos e relatadas todas as anomalias detectadas em cada um dos componentes estruturais da ponte: superestrutura, mesoestrutura, infraestrutura, elementos complementares da estrutura, elementos complementares do encontro e pista de rolamento.

Os parâmetros estruturais estão relacionados basicamente à segurança estrutural da ponte, sob o critério dos seus estados limites últimos (ELU - Estado Limite Último) e de utilização (ELS - Estado Limite de Serviço), definições essas, dadas conforme a ABNT NBR 6118:2014: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Segundo esta norma, o estado limite último está relacionado a qualquer forma de ruína estrutural que determine a paralisação do uso da estrutura. Já o estado limite de serviço está relacionado a limites de abertura de fissuras, deformações excessivas ou descompressão, no caso do concreto protendido.

Noutra vertente, os parâmetros funcionais, entendem-se os aspectos da obra de arte especial (OAE) que se relacionam diretamente com os fins a que ela se destina, devendo proporcionar também conforto e segurança aos seus usuários. Como exemplos destes parâmetros, são citados: sinalização adequada, ausência de depressões e/ou buracos na pista de rolamento, integridade dos guarda-corpos, assim como, requisitos geométricos adequados de visibilidade e dos gabaritos horizontais e verticais da via (ABNT, NBR 9452:2019).

Por último, os parâmetros de durabilidade são designados pelas características diretamente associadas a vida útil da estrutura, o tempo em que deve cumprir suas funções de serviço. Em conjunto com estas características, deve ser avaliada a agressividade do meio, para que seja inferida a velocidade da deterioração causada.

A partir destes três tipos de parâmetros, a classificação da OAE se dá pela atribuição de uma nota que variam de 1 a 5, refletindo da maior para a menor gravidade dos problemas detectados. A ABNT NBR 9452:2019 estabelece a caracterização desses critérios e suas respectivas notas de classificação, conforme mostradas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade da ABNT.

Nota de classificação	Conceito	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.
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 não apresenta condições funcionais de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

		A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.		
--	--	---	--	--

Fonte: Tabela 1 da ABNT NBR 9452:2019.

As notas são atribuídas para cada um dos componentes estruturais, a seguir: superestrutura, mesoestrutura, infraestrutura, elementos complementares da estrutura, elementos complementares do encontro e pista de rolamento. A nota final de cada parâmetro analisado será a menor das atribuídas aos componentes. Estes componentes estruturais são definidos pela mesma norma (ABNT NBR 9452, 2019).

3.4 - TRATAMENTO DA PESQUISA

a) Análise das imagens e diagnóstico das Manifestações

Durante a visita ao local de inspeção, mencionado no subitem 3.2.1, foram obtidas as informações possíveis para a análise dos fenômenos observados. Menciona-se as condições limitantes da atividade ora realizada, ou seja, período de cheia do rio e, concomitantemente, a ausência de apoio logístico adequado.

Unindo estes ao conhecimento adquirido, durante a revisão da literatura, prepara-se o diagnóstico das manifestações.

As imagens e seus respectivos diagnósticos serão organizados para a ponte selecionada, bem como, as tabelas com os conceitos obtidos em cada elemento. Por fim, definem-se as notas de classificação das condições da ponte, de acordo com a norma NBR 9452:2019 (ABNT), segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

b) Indicação das possíveis intervenções

A partir do diagnóstico das anomalias dos componentes estruturais da ponte estudada e das demais informações obtidas, serão levantadas as hipóteses da evolução futura do problema, conforme as suas condições de exposição do seu estágio de desenvolvimento.

Para a ponte, serão apresentadas contribuições básicas sobre:

- Possíveis formas de prevenção de alguns problemas observados;
- Possíveis terapias e manutenções a serem executadas para controle das manifestações; e
- As consequências que podem surgir caso não sejam efetuadas as medidas corretivas sugeridas para eliminação do problema.

Em função dos resultados, serão também avaliadas as patologias com maior incidência na ponte em estudo e suas principais causas.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - ESTADO ATUAL DE CONSERVAÇÃO DA ESTRUTURA DA PONTE SENADOR FÁBIO LUCENA

4.1.1 - Da inspeção/vistoria/análise

4.1.1.1 - Procedimento gerais

A inspeção da OAE, ponte Senador Fábio Lucena, conduzida de forma sistemática e organizada, no entanto, devido a cheia do Igarapé de São Raimundo, e outras limitações, não foi possível garantir que todo elemento estrutural passasse por inspeção.

O documentário iconográfico consta de mais de 8 (oito) registros fotográficos. A ponte foi observada nos quatro cantos das cabeceiras e, também, em trechos intermediários, e durante a passagem de veículos em geral, verificou-se que não há aparentemente percepção de vibrações ou deformações excessivas.

4.1.1.2 - Procedimentos particulares

A inspeção incluiu as seguintes observações:

4.1.1.2.1 - Geometria e condições viárias

A obra mantém alinhamento normal em seus segmentos, com o tráfego fluindo razoavelmente, porém, com riscos na segurança por razões de problemas existentes na camada asfáltica da pista de rolamento.

A estrutura da ponte possui boa iluminação na via pública, para o trânsito de veículos em geral. Os gabaritos horizontal e vertical da ponte são satisfatórios, no entanto, não identificamos proteção junto aos “blocos de coroamento” e “pilares de concreto”, para amenizar impactos em possível ocorrência de choques/batidas de embarcações em deslocamento. (Figura 4.1).



Figura 4.1 - Vista lateral esquerda da ponte em estudo, sentido centro-bairro.

4.1.1.2.2 - Acessos

O estado da pavimentação dos acessos encontra-se regular, sem assentamentos ou asperezas incomuns, propiciando uma boa e segura entrada na OAE. As juntas entre os acessos e a ponte apresentam funcionamento regular, bem como, as saias de aterro em ambas as cabeceiras. No entanto, observa-se a descontinuidade da barreira em concreto do trecho de acesso à ponte, pelo lado esquerdo sentido centro-bairro. (Figura 4.2).



Figura 4.2 - Vista sentido centro-bairro, descontinuidade da barreira em concreto.

4.1.1.2.3 - Cursos d'água e muro de arrimo em pedras

A seção de vazão disponível é suficiente para a fluidez do igarapé, não foram observados detritos e/ou matérias flutuantes, com o escoamento livre no período de cheia (Figura 4.1). Verificou-se no decorrer da inspeção que não há manifestação ou indícios de erosão próximos que comprometam a OAE, objeto do estudo. A OAE se favorece pela construção de um muro de arrimo em pedras construído na área do bairro São Raimundo (Figura 4.3). Não foi identificado registro atualizado do regime do referido curso d'água (Igarapé de São Raimundo).



Figura 4.3 - Muro de arrimo em pedras à jusante da ponte, inibe o processo erosivo.

4.1.1.2.4 - Infraestrutura (Fundações profundas e superficiais)

A infraestrutura da OEA (ponte Senador Fábio Lucena) é constituída de estacas de concreto (fundação profunda) e blocos de coroamento (fundação superficial). As estacas em concreto, na parte que estão visíveis, apresentam-se aparentemente bom estado de conservação e alinhamento, no entanto, observou-se diversas estacas completamente submersas, não sendo possível descrever no momento quanto ao estado das mesmas.

Os blocos de coroamento (fundações superficiais) apresentam, aparentemente, bom estado de conservação e alinhamento, não há evidências de deslocamentos do concreto. No entanto, um exame mais minucioso somente poderá ser efetuado em época de vazante do rio. Em referência ao fato mencionado, nesse caso, cheia dos rios, as

anomalias nas estruturas de concreto, que possam existir nos elementos que não puderam ser visualizados, devem ser estudados no momento oportuno.

4.1.1.2.5 - Mesoestrutura (Pilares em concreto e encontros)

A mesoestrutura da OEA é constituída dos encontros situados nas cabeceiras da ponte, pilares e elementos de apoios. Visualmente as paredes dos encontros não apresentam vestígios de trincas resultantes de possíveis assentamentos, desalinhamentos ou desaprumos provocados por pressões dos aterros de acesso. No entanto, apresentam manchas e características de paredes úmidas, pela ação das intempéries, umidade relativa do ar, águas pluviais, calor da irradiação solar, poeiras e, também, danos por vandalismo, contudo, o aspecto visual ainda aparenta bom estado de conservação e boa prumada. (Figura 4.4).

Quanto aos pilares, há sinais da ação de lixiviação e, conseqüentemente, possibilidade de formação do processo de eflorescência, ainda com ausência de vestígios de trincas ou fissuras. É visível as marcas de água (umidade) nos pilares, deixadas pela cheia do rio. No entanto, esses elementos estruturais, conforme inspeção visual, ainda se encontram, aparentemente, em bom estado de conservação, e boas condições de alinhamento e prumada. (Figura 4.5).



Figura 4.4 - Vista do encontro na cabeceira da ponte pelo bairro São Raimundo.



Figura 4.5 - Vista da ponte em estudo, com destaque ao “ pilar de concreto”.

4.1.1.2.6 - Aparelhos de apoio (Mesoestrutura)

Todos os aparelhos de apoio devem ser cuidadosamente examinados para verificação de seu estado e funcionamento. No estudo em questão, não foi possível verificar nenhum dos aparelhos de apoios da OAE – ponte – pois não estão facilmente visíveis, e demanda uma logística apropriado para a devida realização dessa inspeção específica.

4.1.1.2.7 - Superestruturas (Vigas longarinas, vigas transversinas, laje e barreira)

Contempla-se a vista parcial da superestrutura, demarcada na Figura 4.6, com a lateral da barreira de proteção apresentando manchas, presumivelmente pela ineficiência ou ausência de pingadeiras e, também, pelas intempéries do tempo.

Observa-se nas vigas transversinas e longarinas sinais de lixiviação e formação de eflorescências, mas não se visualizou, por enquanto, fissuras, trincas e deslocamentos do concreto. Quanto a laje na parte inferior (fundo), apresenta sinais de umidade por infiltração pelo topo, expondo esse elemento estrutural à possibilidade iminente de formação de mofos ou bolores, manchas, lixiviação seguida de eflorescência, e o mais grave, corrosão das armaduras e degradação do concreto, porém, não foi notado sinais de deslocamentos do concreto, mas ainda assim, exige atenção especial. (Figura 4.7).

A provável causa das anomalias mencionadas decorre de drenagem deficiente, ineficiência ou ausência de pingadeiras das barreiras de concreto, e problemas decorrentes de manutenção preventiva e corretiva nas juntas de dilatação.



Figura 4.6 - Vista lateral da superestrutura.



Figura 4.7 - Vista inferior da laje e vigas.

4.1.1.2.8 - Pista de rolamento e drenagem

A capa asfáltica apresenta um quadro de deterioração em várias partes da pista de rolamento, apresentando desnivelamentos, buracos, desgastes, trincas e fissuras, por isso, não proporciona um tráfego com boa fluidez e segurança, e o sistema de drenagem também apresenta deficiência. (Figura 4.8).



Figura 4.8 - Desnivelamento da pista por problema na capa de asfalto.

O desnivelamento na pista asfáltica decorrentes de reparos superficiais em diversas partes da pista, embora, aparentemente, não coloque em risco a estrutura do concreto armado, pode causar danos materiais nos veículos, decorrentes da altimetria da pista, que dependendo da velocidade provoca grande impacto. Nesse caso, a colocação de Placa de Advertência poderia amenizar e até mesmo evitar problemas de danos nos veículos.

Ainda, no que concerne à camada asfáltica na pista de rolamento, notou-se bastante desgaste, assim como, a formação de saliências que geram desconforto ao usuário (o efeito “degrau”), com muitas ondulações e cavidades, além de existência de buracos. (Figuras 4.9, 4.10 e 4.14).

Os elementos de drenagem se baseiam única e exclusivamente em furos de diâmetro de 100-150mm nos bordos longitudinais da estrutura, com a água sendo conduzida diretamente para o corpo hídrico abaixo da estrutura. (Figura 4.11).



Figura 4.9 - Degradação da camada asfáltica em diversas partes da pista.



Figura 4.10 - Evidência de formação cavidades no revestimento do pavimento asfáltico.

VITÓRIO (2006), diz que uma ponte, como qualquer outra edificação, começa a deteriorar-se no mesmo instante em que é posta em funcionamento, iniciando um ciclo de vida cuja duração dependerá de diversos fatores relacionados com as condições de uso e conservação ao longo do tempo, de modo a garantir-lhe segurança, funcionalidade e durabilidade com o menor custo possível.



Figura 4.11 - Vista de um ponto de drenagem na ponte Senador Fábio Lucena.

4.1.1.2.9 - Juntas de dilatação

As juntas de dilatação se encontram comprometidas. A maioria desses imprescindíveis elementos apresentam anomalias, sendo prejudicadas pelo desgaste, por acúmulo de detritos e sujidades, e algumas com cobertura pela camada asfáltica, criando rigidez na parte onde a estrutura teria que ter espaço para se deslocar. Essas anomalias identificadas, geram insegurança ao usuário, e eventuais danos aos veículos automotores, além do risco de afetação aos demais elementos estruturais. (Figuras 4.12 a Figura 4.14).

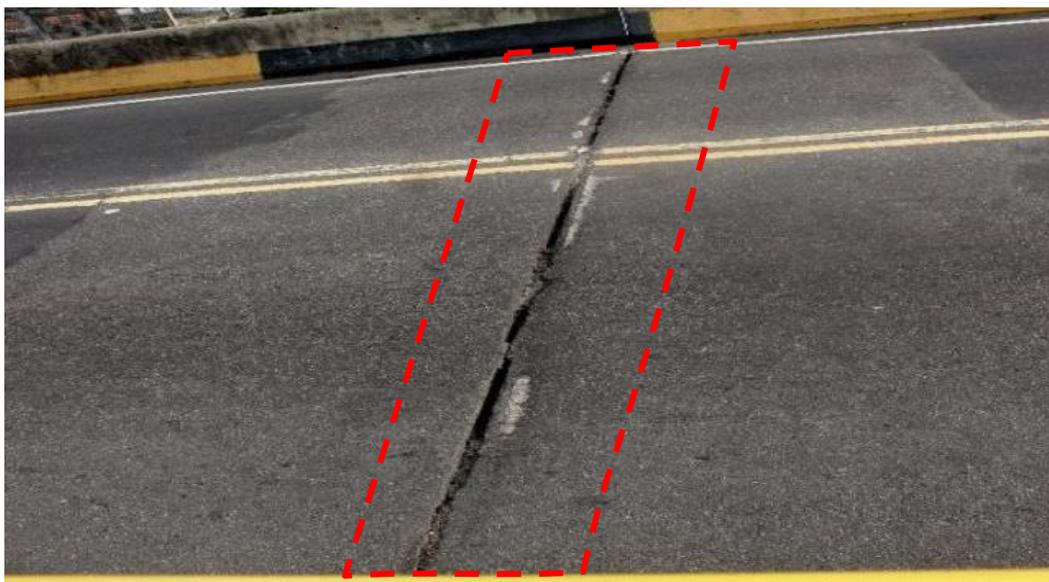


Figura 4.12 - Junta de dilatação apresentando desgastes e acúmulo de detritos.

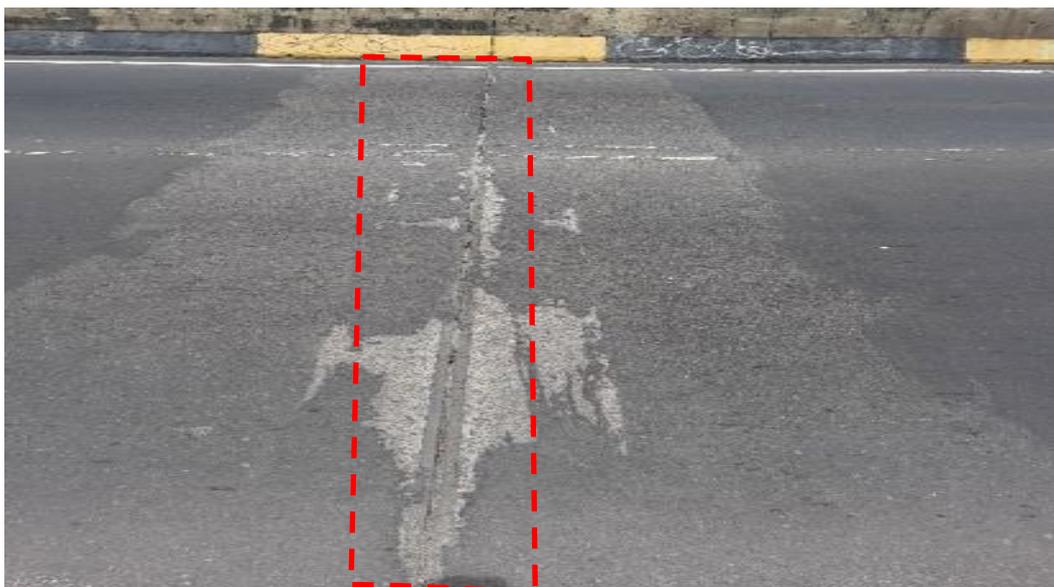


Figura 4.13 - Início do desgaste no pavimento, e acúmulo de sujidades na junta.



Figura 4.14 - Formação de buraco no pavimento asfáltico.

De acordo com MISTRY (2005), as juntas de dilatação podem ter um impacto significativo sobre o custo e desempenho da ponte ao longo de sua vida em serviço. As juntas de dilatação se não forem constantemente reparadas em manutenções periódicas, podem elevar os custos da manutenção de pontes, pois se tornará um problema de patologia estrutural.

A norma brasileira ABNT NBR 9452:2019, especifica que deve ser observado nas manutenções das pontes, se ainda existem saliências, ou depressões, causando desconforto ao usuário ou impacto na obra, como verificar se há deterioração dos lábios

poliméricos ou deterioração dos berços, deve-se atentar também para o acúmulo de detritos, e a ocorrência de agentes agressivos, as juntas também sofrem com perfil elastomérico com descolamento, rasgos, ressecamento ou esmagamento, e, por fim, deve-se olhar nas juntas de dilatação se há abertura excessiva.

4.1.1.2.10 - Sinalização

Constata-se a inexistência de placas de sinalização de trânsito e de limitação peso máximo permitido nos acessos à ponte, possibilitando a causa de eventuais acidentes graves (tragédias) envolvendo a ponte, veículos e pessoas. (Figura 4.2).

4.1.1.2.11 - Passarela de pedestres

A passarela de pedestres apresenta iluminação para o trânsito de pedestres no período noturno. Em determinados trechos constata-se a ausência de placas sobre o piso, propiciando risco de queda, em caso de breve descuido por parte do transeunte. (Figura 4.15).



Figura 4.15 - Espaçamento inadequado no piso da passagem de pedestres.

As diversas figuras elencadas anteriormente, permitem observar inúmeros aspectos da ponte Senador Fábio Lucena, que, em conjunto, contribuem para o entendimento sistêmico do estudo realizado, apontando visivelmente a necessidade da realização de reparos e inspeção programada.

4.1.2 - Observações gerais

É importante destacar quanto a dificuldade de acesso às informações técnicas pretéritas sobre o projeto e execução da ponte (objeto do estudo), bem como, aos dados da inspeção cadastral, juntos aos órgãos responsáveis por sua manutenção e conservação.

Alerta-se, ainda, que a ausência dessas informações essenciais e, também, ao reduzido apoio logístico disponível no momento, importam na limitação de detalhes mais nítidos subsidiados para pesquisa ora realizada.

4.1.3 - Ficha demonstrativa da inspeção rotineira realizada

Como resultado da vistoria, apresenta-se a Ficha a seguir, na formatação da NBR 9452:2019 (ABNT), com os dados obtidos em consonância às rotinas balizadas pela referida norma, assim como, algumas imagens, para então prosseguir com as observações técnicas e resultado obtido com esta importante pesquisa acadêmica.

Para fins de contribuir com a investigação, segue uma ficha demonstrativa de inspeção rotineira da ponte Senador Fábio Lucena, de 25 de setembro de 2021 (Tabela 4.1), na formatação da NBR 9452:2019, em consonância às rotinas balizadas pela referida norma.

Tabela 4.1 - Inspeção rotineira da ponte Senador Fábio Lucena em 25/09/2021.

Ponte Senador Fábio Lucena (São Raimundo/N. S. Aparecida)	
Inspeção rotineira (ano): 2021	Data da inspeção: 25/09/2021
PARTE I - Informações gerais	
A - Identificação e localização	
Via ou município: Rua 5 de setembro	Sentido: Sul
Localização: Início da Rua 5 de setembro em que atravessa o igarapé do São Raimundo. Liga o Centro ao bairro de São Raimundo.	
B - Histórico das inspeções	

Sem informações.
C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento
Sem informações.
PARTE II - Registro de manifestações patológicas
A - Elementos estruturais
Superestrutura: - Parcialmente visível, carecendo de equipamentos de apoio.
Mesoestrutura: - Parcialmente visível, carecendo de equipamentos de apoio.
Infraestrutura: - Parcialmente visível (período de cheia).
Juntas de dilatação: - Saliência ou depressão causando desconforto ao usuário.
Encontros: Acessível/visível pelo lado construído na área do bairro S. Raimundo e dificuldade de acesso pelo lado construído na área do bairro N. S. Aparecida.
B - Elementos da pista ou funcionais
Pavimento: - Cavidades no pavimento; - Corrugações / Ondulações transversais; - Desgaste superficial na região das juntas de dilatação.
Acostamento e refúgio: - Placas “soltas” na passagem de pedestre; - Ausência de placas configurando grande abertura.
Drenagem: - Registros de manifestações, por partes comprometidas/incompletas.
Guarda-corpos: - Sem registros de manifestações.
Barreiras rígidas/Defensas metálicas: - Manchas superficiais e inexistência de fissuras.
C - Outros elementos
Taludes: - Não visível.
Iluminação: - Sem registros de manifestações.
Sinalização: - Sem registros de manifestações.
D - Informações complementares
A ponte possui grande altura e comprimento permitindo um gabarito para passagem de embarcações maiores. Por esta razão, a visualização de todos seus elementos em uma inspeção rotineira se torna difícil sem a utilização de embarcações que permitam o trabalho.
E - Recomendações de terapia
- Remoção e recapeamento das áreas com desgaste ou fissuradas no pavimento; - Fixação das placas de concreto soltas na passagem de pedestre e colocação das placas ausentes; - Realizar inspeção especial para verificação dos elementos que não puderam ser

observados, se esta não ocorreu nos últimos 5 anos.	
PARTE III - Classificação da OAE (ver Seção 5)	
Estrutural: 4	Funcional: 3
Durabilidade: 4	
Justificativas	
Verificadas a infraestrutura, mesoestrutura, superestrutura, encontros, apoio, pista de rolamento e a passagem de pedestres, constata-se a existência de anomalias: camada asfáltica deteriorada, juntas de dilatação e drenagem comprometidas, ausência de placas de concreto no piso da passarela de pedestres. Como consequência sobrevém o risco de acidentes entre veículos, queda de pessoas e desconforto causado aos seus usuários em geral, que podem ser corrigidas através de ações de custo baixo que minimizaria as chances de transtornos futuros.	

Fonte: Ficha adaptada da ABNT NBR 9.452:2019.

Tabela 4.2 - Levantamento fotográfico.





Tabela 4.3 - Ficha de classificação da OAE.

Parâmetro	Elemento						Nota Final
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos Complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	4	4	4	4	5	4	4
Funcional	4	NA	NA	4	5	3	3
Durabilidade	4	4	4	4	5	4	4

Fonte: Tabela 2 da ABNT NBR 9452 (2019).

Tabela 4.4 - Quadro resumo da inspeção rotineira.

Resumo da inspeção rotineira						
Rodovia	Sentido	Obra	Localização (Km + m)	Classificação junho/2021		
				Estrutural	Funcional	Durabilidade
Urbana	Via dupla	Ponte	Zona Sul	4	3	4

Fonte: Tabela B.2 da ABNT NBR 9452 (2019).

A Tabela 4.1, a Tabela 4.2 e a Tabela 4.3 complementam a investigação, respeitando as orientações da Norma Brasileira ABNT NBR 9.452:2019.

4.1.4 - Resultado obtido

Considerando a Ficha de Inspeção Rotineira realizada, conforme Anexo B da norma NBR 9452:2019 (ABNT), que indica a nota final 4 para os parâmetros Estrutural e Durabilidade e nota final 3 para o parâmetro Funcional, e segundo o seu aparente estado de conservação, a OAE – ponte – estudada classificou-se com conceito REGULAR, e necessita de intervenções de médio prazo.

Segue abaixo a Tabela 4.5, com as observações gerais do enquadramento verificado.

Tabela 4.5 - Classificação da “ponte Senador Fábio Lucena” resultante da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

NOTA DE CLASSIFICAÇÃO	CONCEITO	CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL	CARACTERIZAÇÃO FUNCIONAL	CARACTERIZAÇÃO DE DURABILIDADE
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.		A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
3	Regular		A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	

4.2 - RECOMENDAÇÕES PARA CORREÇÃO DAS ANOMALIAS IDENTIFICADAS NA INVESTIGAÇÃO

Desse modo, algumas recomendações são necessárias para que a ponte retorne ao seu melhor estado. São as seguintes:

- a) No caso do processo de lixiviação em estado inicial, realizar a remoção do carbonato de cálcio que está na superfície da estrutura, e avaliar a peça com profissionais especializados.
- b) No caso do processo de eflorescências deve-se, primeiramente, identificar e controlar a fonte causadora da patologia, em seguida avaliar o quadro da situação, em casos mais simples e superficiais, remover os depósitos salinos com o uso de ácido adequado. Nos casos de maior severidade, deve-se recompor a estrutura com auxílio de materiais impermeabilizantes sobre substratos com argamassa de revestimentos sem cal.
- c) Remoção e recapeamento das áreas com desgaste ou fissuradas no pavimento, por meio dos tratamentos ordinários de reciclagem de pavimentos (pavimentação completa) e remendos simples (para tratamentos de pontos específicos);
- d) Sobre as juntas de dilatação, faz-se necessária a demolição da capa asfáltica que está sobre as partes, para depois higienizar as áreas, reconstituir as partes de

- concreto, instalar novos lábios poliméricos, com grauteamento para uniformidade e aderência de altíssima resistência;
- e) Fixação das placas de concreto soltas na passagem de pedestre e substituição das placas ausentes, de modo a gerar um caminhamento seguro e padronizado para os usuários;
 - f) Realizar inspeção especial para verificação dos elementos que não puderam ser observados se esta não ocorreu nos últimos 5 (cinco) anos, com equipamentos para trabalho em altura e, se possível, realizando uma inspeção para além da ordinária, de modo a se constituir um verdadeiro arquivo da estrutura, para melhor planejamento das ações de manutenção.

Pela observação dos aspectos analisados, a ponte Senador Fábio Lucena apresenta perigo para os usuários de transporte, decorrente dos problemas verificados no tabuleiro (pista de rolamento), com possibilidade de danos aos veículos e até mesmo acidentes com os motoristas e passageiros.

Noutra vertente, sobre a passarela de pedestres devido aos grandes espaçamentos por ausência de algumas placas no piso, apresenta grave risco de acidentes, com a possibilidade de queda de pedestres, sobretudo no horário noturno.

Assim, compete ao poder público, representado pela Prefeitura de Manaus e/ou Governo do Estado, manter a ponte Senador Fábio Lucena em perfeitas condições de trafegabilidade, realizando os reparos e manutenções básicas.

VITÓRIO (2006) evidencia que se torna necessário a adoção de medidas urgentes voltadas para a manutenção das pontes, e entre elas estão, as vistorias periódicas, qualificação de equipes técnicas, cadastro das obras, implantação de sistemas de gestão, planejamento e previsão orçamentária para os serviços de manutenção e recuperação.

NEVES *et al.* (2021), afirma que é correto e viável propor um plano de manutenção, operação e controle (PMOC), relacionado com atividades classificadas e designadas a partir de periodicidades (mensal, trimestral, semestral e anual) voltado para cuidados e vistorias às estruturas. Tais atividades seriam dirigidas a observação de variações na integridade física da edificação, de modo a identificar: agentes externos, infiltrações, fissuras e rachaduras, manchas em geral, carbonatação, destacamento de concreto, corrosão da armadura e outras possíveis patologias que podem ser evitadas com o cumprimento das datas e serviços corretos.

Em suma, essas estruturas da ponte analisadas estão sujeitas às intempéries, cargas acidentais e/ou permanentes que podem comprometer a sua funcionalidade, segurança e estética da arte e para garantir que esses aspectos tenham desempenho satisfatório, o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte) sugere que sejam feitas manutenções periódicas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES

Em observância à relevante pesquisa, desenvolvida com base na literatura atinente ao tema, e ainda com o trabalho de campo realizado in loco, discorrendo sobre os materiais e métodos (delimitação da área de estudo), obtendo resultados, assim como, uma análise geral da estrutura, relatando as patologias sobre pontes, especificamente a ponte Senador Fábio Lucena, assim como, as principais intervenções técnicas necessárias para melhoria da segurança e durabilidade dos seus componentes.

A pesquisa concluiu que a avaliação do estado atual de conservação da ponte Senador Fábio Lucena, apresentou um diagnóstico provável de conceito regular, porém, carece de uma investigação técnica mais aprofundada, considerando que o presente estudo científico, de natureza qualitativa, não permitiu alcançar parecer técnico com maiores detalhes.

Portanto, não houve possibilidade de verificação material para ensejar numa conclusão técnica mais precisa, mais incisiva. A partir dessa manifestação, recomendamos que haja futuras investigações abrangendo experimentos de ensaios em laboratório, utilizando instrumentação adequada para fins de constatar a resistência dos materiais, o estado da armadura, capacidade de carga, tempo estimado remanescente (vida útil) e demais considerações mais abrangentes.

Seguindo os objetivos específicos propostos, as inspeções visuais foram realizadas nos elementos que constituem as partes do objeto da pesquisa. Alguns desses elementos da obra de arte especial – ponte – não puderam ser observados, seja na integralidade da peça/elemento, ou mesmo parcialmente, em razão da cheia do rio e reduzido apoio logístico.

Na inspeção da infraestrutura, as estacas de concreto (fundação profunda) na sua maioria se encontravam completamente submersas, enquanto que os blocos de coroamento (fundação superficial) na sua maioria se achavam visíveis e relativamente acessíveis.

Na inspeção da mesoestrutura, os pilares em concreto armado apresentaram relativa condições de visibilidade e acesso. Quanto a estrutura dos encontros pôde-se

verificar, com mais precisão, a parte que está construída na área do bairro São Raimundo, enquanto que a parte construída na área do bairro N. S. Aparecida não houve possibilidade de acesso, devido as barreiras materiais e ausência de logística adequada. Em relação aos aparelhos de apoio, não se inspecionou nenhum componente, pois a posição de instalação dos mesmos é quase inacessível, sendo imprescindível logística apropriada.

Na superestrutura, inspecionou-se a parte inferior do tabuleiro, observando-se a laje, vigas longarinas e transversinas. A distância de visualização dos elementos dessa estrutura, bem como, a ausência do apoio logístico adequado, dificultou a verificação de detalhes importantes. Quanto a parte superior do tabuleiro, inspecionou-se as barreiras de proteção laterais, caixa de rodas, pista de rolamento, juntas de dilatação, sistema de drenagem e a passarela de pedestres.

Nesta etapa dos objetivos específicos documentalizou-se por meio de captura das imagens dos elementos verificados e inspecionados, registros na ficha de inspeção e análise das anomalias/patologias encontradas nestes elementos do estudo. E, entre as anomalias encontradas, destaca-se: pilares, vigas longarinas e transversinas com manchas, em aparente processo de lixiviação/eflorescência; laje (tabuleiro) com infiltração/umidade, pressupõem-se vindas das juntas de dilatação e sistema de drenagem, e em aparente processo de lixiviação/eflorescência, e possíveis fissuras; encontros apresentando manchas e umidade nas paredes, com possíveis formações de degradações; capa asfáltica deteriorada em várias partes da ponte (buracos, ondulações etc.); juntas de dilatação comprometidas; drenagem pluvial deficiente; trecho parcial do piso da passarela de pedestres comprometida, com aberturas que expõem o pedestre ao risco de queda; barreiras de proteção da ponte apresentando manchas na face lateral externa e ausência/deficiência de pingadeiras.

E na sequência, e última etapa dos objetivos específicos desta pesquisa, avaliou-se o estado atual de conservação da ponte Senador Fábio Lucena, seguindo-se os critérios normatizados pela NBR 9452:2019 (ABNT) e com base na análise das características observadas nos elementos integrantes do objeto estudado. Resultando nos parâmetros estrutural e durabilidade, ambos nota final 4, e no parâmetro funcional, nota final 3, obtendo-se o diagnóstico provável enquadrado no conceito REGULAR, e a necessidade de intervenções de médio prazo, com reforços e reparos em diversos elementos.

Conforme o resultado observado no presente estudo, faz-se necessário a implantação de um sistema de gerenciamento para planejamento e realização de inspeções obrigatórias e atividades de manutenção preventiva ou corretiva na ponte Senador Fábio Lucena, segundo a NBR 9452:2019 (ABNT). O órgão com jurisdição sobre a OAE em questão é o responsável pela sua conservação adequada, então, recomendamos que o mesmo realize os serviços necessários baseados em inspeções programadas, para evitar uma severa perda de capacidade portante da estrutura, ou o colapso da mesma, se não restaurada em tempo hábil.

Portanto, para evitar que uma obra de arte especial chegue ao nível de criticidade, é necessário constante monitoramento de patologias, através de inspeções programadas e regulares. A manutenção preventiva eficaz, gera menor custo e economia na conservação da estrutura. Desse modo, deve-se estimular uma cultura para consciência da responsabilidade sobre as OAEs, para prolongar sua vida útil e proporcionar condições de segurança.

5.2 - SUGESTÕES

Como sugestões para a continuidade desta pesquisa na temática investigada, os estudos presentes nos diversos trabalhos afins devem ser considerados, visando enriquecer a pesquisa, auxiliando os órgãos públicos responsáveis pela gestão e manutenção de pontes, especialmente na cidade de Manaus (AM), a saber:

- Ampliação da quantidade de pontes inspecionadas, inclusive com auxílio de outros equipamentos, que possibilitem a avaliação de áreas de difícil acesso;
- Inspeção instrumentalizada (sistemas de análise de deslocamentos computadorizados e extração de testemunhos de resistência);
- Resgate histórico de projetos junto ao Poder Público para atualização de *as built* destas estruturas, a fim de melhorar as inspeções futuras.
- Neste *as built*, conforme a proposição do item anterior, seria inclusive possível se constituir um projeto de como foi construído estruturalmente, via mapeamento das armaduras;
- Avaliação das pontes em épocas de vazante, para melhor inspeção dos elementos de fundação;

- Pesquisa de materiais exclusivos para recuperação de estruturas, inclusive com emprego de matrizes alternativas naturais;
- Proposição de métodos mais objetivos, com sistema de critérios e notas que permita uma nota global dessas estruturas avaliadas, de forma a complementar a atual norma.

Desse modo, que esta investigação, disponibilizada a comunidade científica e demais estudiosos, seja uma contribuição para os interessados nos estudos sobre as pontes de concreto, e colaborando com o poder público no sentido de adotar medidas de prevenção, e manutenção, destas obras de arte especiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, C. J. Vistoriando obras de arte especial. **Revista Notícias da Construção**, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187: projeto de pontes, viadutos e passarelas de concreto**. Rio de Janeiro, 2021.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-1: projeto de estruturas de madeira: parte 1: critérios de dimensionamento**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: ações de segurança nas estruturas: procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452: inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto armado: procedimento**. Rio de Janeiro, 2019.

BASTOS, H. C., MIRANDA, M. Z. **Principais patologias em Estruturas de Concreto de Pontes e Viadutos: Manuseio e manutenção das obras de arte especiais**. Construindo, v.9 (Especial), 2017.

BATTISTA, R.C. and PFEIL, M. S. Active-Passive control of vortex-induced oscillations of Rio-Niterói bridge. Proceedings of the Third European Conference on Structural Dynamics - EURODYN'96. **Structural Dynamics**, v. 1, p. 561-567, Florence, Italy, Jun 1996, A. A. Balkema Publishers, Rotterdam, 1996.

BOLDO, P. **Avaliação Quantitativa de Estruturas de Concreto Armado de Edificações no Âmbito do Exército Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Publicação E. DM-001A/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 295p, 2022.

BRASIL, C. I. **Caminhoneiros recebem kits de higiene na ponte Rio-Niterói**. 2020. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2020-04/caminhoneiros-recebem-kits-de-higiene-na-ponte-rio-niteroi#>>. Acesso em: 12 de junho de 2022.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários**. Rio de Janeiro, 159p. 2010. (IPR. Publ., 744)

CAVALCANTE, A. **Avaliação e Inspeção da Ponte de Concreto Armado da Av. Paulino Rocha em Fortaleza-CE**. (Trabalho de Conclusão do Curso). Fortaleza, Ceará, Brasil: Universidade Federal do Amazonas, 2017.

CAVALCANTE, G. H. F. **Contribuição ao estudo da influência de transversinas no comportamento de sistemas estruturais de pontes**. 2016. 310 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Alagoas. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/328293539>>. Acesso em: 19 de junho de 2022.

CAVALCANTE, P. A.; PIRES, R. C.; ALMEIDA, I. S.; FARIAS, B. M. **Estudo das patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. Construção Civil: Engenharia e Inovação, 4, 2019.

CORDEIRO, J. G. P. **Aparelhos de apoio em pontes vida útil e procedimentos de substituição**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2014.

COSTA, H. O. **Avaliação de Patologias em Obras de Arte Especiais utilizando a Metodologia GDE/UNB**. (Trabalho de Conclusão de Curso). Brasília, Distrito Federal, Brasil: Centro Universitário de Brasília (UniCEUB), 2016.

DNIT (2010). **Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva, Rio de Janeiro.

DUARTE, D. M. **Manaus entre o passado e o presente**. 1.^a ed. Manaus: Ed. Mídia Ponto Comum, 2009.

EL DEBS, M. K., TAKEYA, T. **Introdução às Pontes de Concreto (Texto de Apoio à disciplina SET-412)**. São Carlos, São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, 2007.

GONÇALVES, F. O. **Diagnóstico e a Manutenção dos Pavimentos (Notas de aula)**. Notas de Aula, 1999.

HELENE, P R L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1992.

HISTÓRIA DAS PONTES. **itti.org.br**. 2022. Disponível em: <<https://itti.org.br/historia-das-pontes/>>. Acesso em: 02 de março de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2020**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

LEET, K., UANG, C. M., GILBERT, A. M. **Fundamentos da análise estrutural**. (3.^a ed.). São Paulo, São Paulo, Brasil: McGraw-Hill, 2009.

LEONHARDT, F. **Construções em Concreto: Princípios Básicos de Pontes de Concreto**. (Vol. 6). (J. L. Merino, Trad.) Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Interciência, 1979.

LOURENÇO, L. C.; ALVES, V. R.; JORDY, J. C.; Mendes, L.; LOURENÇO, M. V. **Parâmetros de Avaliação de Patologias em Obras-de-Arte Especiais**. Engenharia Civil - UM(34), 2009.

MARCHETTI, O. **Pontes de Concreto Armado**. São Paulo, SP, Brasil: Blucher, 2008.

MARQUES, V. S. **Recuperação de estruturas submetidas à corrosão de armaduras: definição das variáveis que interferem no custo**. (Trabalho de Conclusão de Curso em Graduação em Engenharia Civil). Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

MEDEIROS, A. G.; SÁ, M. V.; SILVA FILHO, J. N.; ANJOS, M. S. **Aplicação de metodologias de inspeção em ponte de concreto armado**. Ambiente Construído, 20(3), p. 21, 2020.

MELO, F. S. V. **Estudo das condições gerais da ponte Piquet Carneiro no município de Icó/CE – estudo de caso**. 2019. 66 f. Monografia. Curso Ciência e

Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4752/1/FranciscaSVM_MONO.pdf>. Acesso em: 25 de junho de 2022.

MISTRY, V. C. **Integral Abutment and Jointless Bridges**. In: The 2005 FHWA Conference (IAJB 2005), Constructed Facilities Center, College of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University Baltimore, Session 1, pp.3-11, Maryland, USA, March 16- 18, 2005.

NEVES, G. A. *et al.* **Necessidade de programa de manutenção continuada em estrutura de concreto armado**. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC 15 a 17 de setembro de 2021.

O'BRIEN, E.; KEOGH, D. **Bridge Deck Analysis**. London: E & FN Spon, 1999.

OLIVEIRA, C. B. **Análise da eficácia de métodos de reforço de pontes rodoviárias de concreto armado**. (Dissertação em Programa de Pós-graduação em Construção Civil). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil: Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

OLIVEIRA, E. **Governador vistoria ponte do Rio Moju e determina ações imediatas para garantir a segurança do local**. 2019. Disponível em: <<https://redepara.com.br/Noticia/183740/governador-vistoria-ponte-do-rio-moju-e-determina-acoes-imediatas-para-garantir-a-seguranca-do-local/>>. Acesso em: 15 de junho de 2022.

PEREIRA, A., RIBAS, R., PAULA, G. Avaliação de manifestações patológicas em passarelas estruturadas em aço na cidade de Belo Horizonte – MG. **Revista Técnico-Científica do Crea-PR(18)**, p. 11, 2019.

PFEIL, W. **Pontes: Curso básico: projetos, construção e manutenção**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Campus, 1983.

PFEIL, W.; PFEIL M. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático**. 8º ed. Rio de Janeiro, 2009.

PONTE CARAVAN. **tricurioso.com.br**. 2022. Disponível em: <<https://www.tricurioso.com/wp-content/uploads/2019/08/pontes>>. Acesso em: 10 de março de 2022.

PONTE FIRTH OF FORTH. **docplayer.com.br**. 2022. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/docs-images/70/63136759/images/3-1.jpg>>. Acesso em: 06 de março de 2022.

PONTE ZHAOZHOU. **lovepik.com**. 2022. Disponível em: <<https://lovepik.com/image-501735613/zhaozhou-bridge-china.html>>. Acesso em: 14 de março de 2022.

Queda de ponte na BR-319, no Amazonas. **g1.globo.com**. 2022. Disponível em: <<https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2022/09/28/queda-de-ponte-na-br-319-no-am-saiba-quem-sao-as-vitimas.ghtml>>. Acesso em: 28 de setembro de 2022.

RODRIGUEZ, U. A. **Exercícios de fundações**. São Paulo, SP, Brasil: Blucher, 2010.

SANTOS, D. F., SANTANA, T. L., HONORATO, M. P., COELHO, S. C., VALARES, L. G., GAMA, P. R. Estudo e Análise das Patologias da Ponte de Porto Nacional - TO. Engenharia Estudo e Pesquisa, 17(2), p. 11, 2017.

SILVA, D. M. de *et al.* **Patologias em obras de arte**. 2018. 61 f. Monografia. Curso de Engenharia Civil. Centro universitário de Volta Redonda. Disponível em: <<http://rangellage.com.br/wp-content/uploads/2019/06/TCC-Patologias-em-Obras-de-Arte-5d0cf1b015d71.pdf>>. Acesso em: 21 de junho de 2022.

SILVA, E. C. V. **Análise das Manifestações Patológicas: Um Estudo de Caso da Ponte sobre a Laguna de Roteiro - AL**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Maceió, Agosto 2018.

SILVA, L. B. **Análise de Patologias e Inconformidades de Obras de Arte Especiais em Uberlândia – MG**. (Monografia de Graduação em Engenharia Civil). Uberlândia, Minas Gerais, Brasil: Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

SILVA, P. F. A. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Aparente em Atmosfera Urbana**. São Paulo: Pini, 1995.

SILVA, R. A. **Análise das manifestações patológicas da ponte sobre o Rio Pedra no município de Delmiro Gouveia - AL: Estudo de Caso**. (Trabalho de Conclusão de Curso em Graduação em Engenharia Civil). Delmiro Gouveia, Alagoas, Brasil: Universidade Federal de Alagoas - Campus Sertão, 2019.

SOUZA, V. C., RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo, São Paulo, Brasil: Pini, 1998.

SÜSSEKIND, J. C. **Curso de Análise Estrutural**. (6a ed., Vol. 1). Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Globo, 1983.

TEIXEIRA, Y. **Inspeção de pontes e viadutos no estado de São Paulo**. Carapicuíba, São Paulo, Brasil: REDE, 2020.

TOCA OBRAS. **Tipos de sapatas: quais são e para que servem? 2020**. Disponível em: <<https://blog.tocaobra.com.br/tipos-de-sapatas/>>. Acesso em: 02 de junho de 2022.

TOZONI-REIS, CAMPOS, M. F. DE. **Metodologia da pesquisa científica**. 2. ed. Curitiba: IESDE, 2007.

Transporte ferroviário. **mundoeeducacao.uol.com.br**. 2022. Disponível em: <<https://mundoeeducacao.uol.com.br/geografia/transporte-ferroviario.htm>>. Acesso em: 04 de março de 2022.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das Edificações**. Porto Alegre, Editora Sagra, 1991.

VIANA, S., LIMA, G., D'ÁVILA, C. **Estudo de caso de recuperação de junta de dilatação de viaduto em Belo Horizonte, MG**. Conferência sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios(6), p. 11, 2018.

VICTOR, J. **Lei da Evolução de Custos ou Lei de Sitter**. 2019. Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/lei-custos-sitter/>>. Acesso em: 22 de junho de 2022.

VITÓRIO, J.A.P. **Vistorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto**. In: ANAIS DO 48º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2006 - 48CBC0105, 2006.

WINKEL, R. L. **Análise das manifestações patológicas em pontes na cidade de Teutônia/RS**. (Trabalho de conclusão de curso em Graduação em Engenharia Civil). Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil: Universidade do Vale do Taquari, 2019.

YIN, R. **Applications of case study research**. Beverly Hills, CA: Sage Publishing, 1993.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YIN, R. Estudo de Caso. **Planejamento e Métodos.** Porto Alegre: Bookman, 2005.

