



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

ADEGILSON JOSÉ BENTO

AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE
VIADUTOS EM CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO
DA FERROVIA RECIFE/GRAVATÁ-PE

Recife, PE
2021



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

ADEGILSON JOSÉ BENTO

**AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE
VIADUTOS EM CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO
DA FERROVIA RECIFE/GRAVATÁ-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Eliana Cristina Barreto Monteiro.

Recife, PE
2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco

B478a Bento, Adegilson José
Avaliação do estado de conservação de viadutos em concreto armado: estudo de caso da ferrovia Recife/Gravatá-PE. / Adegilson José Bento. – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2021.

177 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Eliana Cristina Barreto Monteiro

Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2021.

1. Inspeção. 2. Obra de Arte Especial. 3. OAE. 4. Viadutos. I. Engenharia Civil - Dissertação. II. Monteiro, Eliana Cristina Barreto (orient.). III. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. IV. Título.

CDD: 690.028

ADEGILSON JOSÉ BENTO

**AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE
VIADUTOS EM CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO
DA FERROVIA RECIFE/GRAVATÁ-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Aprovado em: Recife, 17/12/2021.

BANCA EXAMINADORA:

Orientador:

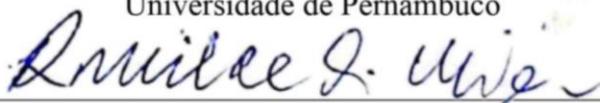


Prof. Dra. Eliana Cristina Barreto Monteiro
Universidade de Pernambuco

Examinadores:



Prof. Dra. Yêda Vieira Póvoas
Universidade de Pernambuco



Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira
Universidade Federal de Pernambuco

Recife, PE
2021

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Adelson e Maria de Fátima, meus primeiros e eternos educadores. E ao meu avô, Otávio, quem um dia apresentou-me essas obras incríveis.

AGRADECIMENTOS

Desenvolver essa pesquisa envolveu superar muitos obstáculos que só foi possível graças a dedicação e apoio de várias pessoas e instituições, que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão de mais esta etapa. Sei o quão importante foram todos que estiveram presentes nessa caminhada, assim, é com essa certeza que agradeço:

A Deus, que me deu força e me auxiliou durante essa jornada.

A minha adorável família, minha mãe Maria de Fátima, que me encheu sempre com seu carinho, cuidados e afeto, meu pai, Adeilson, que nunca mediu esforços para me proporcionar a melhor educação, sempre apoiando as minhas escolhas e me permitindo sonhar e ir em busca desses sonhos e minha irmã incrível Mazé, a melhor para todas as horas, aquela que torna sempre meus dias mais felizes, com você, carrego a certeza de que nunca estarei só!

Aos professores e todos os profissionais do PEC, em especial a minha orientadora, professora Eliana Monteiro, pela dedicação na sua orientação, pelo seu incentivo e disponibilidade desde a época da graduação, a minha admiração só cresce a cada dia. Obrigado por acreditar no meu potencial!

Aos professores Yeda Póvoas e Romilde Almeida, pela contribuição dada na banca de qualificação.

A todos os amigos e companheiros que fiz durante esses anos, com certeza, levarei todos vocês em meu coração, principalmente minha dupla Daniely, com quem dividi muitas atividades, dúvidas e inseguranças durante as etapas do mestrado.

Gostaria de agradecer também aos amigos Paulo Silva, ao meu cunhado, Carlos Maurício e ao meu primo Emerson Otávio, que foram minha equipe de suporte em campo para a realização desta pesquisa, me acompanhando nas inspeções e realizações dos ensaios.

A Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo financiamento e apoio financeiro da presente pesquisa.

A todos o meu simples e eterno obrigado, por me compreenderem, me encorajarem a crescer e buscar a cada dia ser um profissional melhor.

“... Professores ideais são aqueles que se transformam em pontes e convidam os alunos a cruzá-la, depois de ter facilitado sua passagem, com alegria e colapso, incentivando-os a criar pontes a partir de suas próprias atitudes...!”

Nikos Kazantzakis, escritor, poeta e pensador grego.

RESUMO

A deterioração de grandes monumentos da engenharia como pontes e viadutos, é um problema mundial, e a solução está na manutenção e conservação dessas obras, através do real entendimento de suas condições e da realização de inspeções periódicas. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o estado geral de conservação dos viadutos, Obras de Arte Especiais (OAE's) situadas no trecho tombado da estrada ferroviária, Linha Tronco Centro de Pernambuco – LTCPE. Com o intuito de realizar de forma sistemática o estudo em questão, foi adotado o método de levantamento prescrito pela NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2019), dividindo em inspeção cadastral (preliminar) e detalhada, apresentando o “mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis da OAE” (ABNT, 2019, p. 5). Como resultado verificou-se o acúmulo de água e/ou sedimentos, manchas e eflorescências, infiltração de água no interior concreto, tendo como causas a drenagem deficiente ou ausente pela concepção incorreta do sistema e a falta de manutenção. Foi possível identificar ainda, deterioração do concreto, corrosão de armaduras, com aparecimento de manchas de corrosão, fissuras e exposição de armaduras, causados pela carbonatação, originada por erros de projeto (recobrimento insuficiente) e/ou por erros de execução (cofragem, betonagem e descofragem). Esses problemas podem ser corrigidos, a princípio, com manutenções corretivas com reparo das áreas afetadas e melhoramento do sistema de drenagem, preenchimento ou selagem de fissuras, colocação de sistemas de drenagem eficientes e outros trabalhos de reparo, sendo importante um estudo da estabilidade dessas estruturas.

Palavras-chave: Inspeção. Obra de arte especial. OAE. Viadutos.

ABSTRACT

The deterioration of major engineering monuments such as bridges and viaducts is a worldwide problem, and the solution lies in the maintenance and conservation of these constructions, through a real understanding of their conditions and the performance of periodic inspections. Therefore, the objective of this work was to evaluate the general state of conservation of the viaducts, Special Artworks (SA's) located in the section of the railway road listed as national historic heritage, Linha Tronco Centro de Pernambuco - LTCPE. In order to systematically carry out the study in question, the survey method prescribed by the NBR 9452: Inspection of bridges, viaducts and concrete walkways - Procedure (Brazilian National Standards Organization - ABNT, 2019) was adopted, dividing into cadastral inspection (preliminary) and detailed, presenting the "graphic and quantitative mapping of the anomalies of all apparent and/or accessible elements of the SA" (ABNT, 2019, p. 5). As a result, there was an accumulation of water and/or sediments, stains and efflorescence, water infiltration into the concrete, caused by poor or absent drainage due to the incorrect design of the system and lack of maintenance. It was also possible to identify concrete deterioration, reinforcement corrosion, with the appearance of corrosion stains, cracks and reinforcement exposure, caused by carbonation, derived from design errors (insufficient coating) and/or by execution errors (formwork, concreting and formwork removal). These problems can be corrected, at first, with corrective maintenance repairing the affected areas and improving the drainage system, filling or sealing cracks, placement of efficient drainage systems and other repair work, requiring a study of the stability of these structures.

Keywords: Inspection. Special Artworks. SA. Viaducts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ponte de Chazelet, primeira ponte de argamassa armada.	26
Figura 2 – Partes de uma Ponte ou Viaduto.	29
Figura 3 – Fluxograma de gerenciamento de OAE.	40
Figura 4 – Fluxograma de inspeção.	49
Figura 5 – Veículo aéreo não tripulado VANT (DRONE).	51
Figura 6 – Esclerômetro de reflexão.	52
Figura 7 – Esquema utilizado para realização do ensaio esclerométrico com 16 impactos.	54
Figura 8 – Ábaco de correlação do índice esclerométrico.	55
Figura 9 – Mapa de toda malha ferroviária em Pernambuco.	58
Figura 10 – Linha Tronco Centro Recife/Caruaru.	59
Figura 11 – Viadutos do Trecho Pombos/Gravatá da Linha Tronco Centro.	59
Figura 12 – Viaduto em estrutura metálica na serra das Russas, 1943.	60
Figura 13 – Esquema longitudinal em perfil do V1.	62
Figura 14 – Vista lateral do V1, face norte.	63
Figura 15 – Vista superior do V1.	63
Figura 16 – Legenda das Manifestações patológicas detectadas.	65
Figura 17 – Mapeamento vista lateral direita/norte V1.	66
Figura 18 – Mapeamento vista lateral esquerda/sul V1.	67
Figura 19 – Corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos do V1.	68
Figura 20 – Presença de vegetação nos blocos de infraestrutura do V1.	68
Figura 21 – Fissuração no encontro, vista lateral direita do V1.	69
Figura 22 – Manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem no fundo da laje do V1.	69
Figura 23 – Refúgios apresentando fissuras e armaduras expostas no V1.	70
Figura 24 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em um refúgio do V1.	72
Figura 25 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em uma longarina do V1.	72
Figura 26 – Esquema longitudinal em perfil do V2.	75
Figura 27 – Vista lateral do V2, face sul.	75
Figura 28 – Vista superior do viaduto 2.	76
Figura 29 – Mapeamento vista lateral direita/norte V2.	78
Figura 30 – Mapeamento vista lateral esquerda/sul V2.	Erro! Indicador não definido.
Figura 31 – Corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos do V2.	80

Figura 32 – Aparelhos de apoio esmagados no V2.	80
Figura 33 – Presença de vegetação e manchas brancas indício de lixiviação no V2.	81
Figura 34 – Fissuração nas estruturas de dos encontros do V2.	81
Figura 35 – Manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem do V2.....	82
Figura 36 – Refúgios apresentando fissuras e armaduras expostas no V2.....	82
Figura 37 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em um refúgio do V2.	84
Figura 38 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em uma longarina do V2.....	85
Figura 39 – Esquema longitudinal em perfil do V3	87
Figura 40 – Vista lateral do V3, face norte.....	87
Figura 41 – Vista lateral do V3, face sul.	87
Figura 42 – Vista superior do V3.	88
Figura 43 – Vista aérea do V3.....	88
Figura 44 – Vista inferior do V3.	88
Figura 45 – Mapeamento vista lateral direita/norte V3.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 46 – Mapeamento vista lateral esquerda/sul V3.	92
Figura 47 – Corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos próximos ao encontro, no V3.	93
Figura 48 – Corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos centrais do V3.	93
Figura 49 – Armadura exposta por erro de concretagem, aço sem cobertura suficiente no V3.	94
Figura 50 – Corrosão de armaduras em estágio avançado nos blocos do V3.	94
Figura 51 – Manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem do V3.....	95
Figura 52 – Corrosão com deslocamento do concreto próximo aos furos de drenagem V3. .	95
Figura 53 – Refúgios apresentando fissuras e armaduras expostas no V3.....	96
Figura 54 – Refúgios apresentando fissuras e armaduras expostas no V3 (detalhe).....	96
Figura 55 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos no pilar 10 do V3.....	98
Figura 56 – Ensaio de carbonatação em uma longarina do V3.	99
Figura 57 – Cobrimento na longarina do V3.....	99
Figura 58 – Ensaio de presença de cloretos em longarina do V3.....	99
Figura 59 – Esquema longitudinal em perfil do V4.	102
Figura 60 – Vista superior do V4.	102
Figura 61 – Mapeamento vista lateral direita/norte V4.....	105
Figura 62 – Mapeamento vista lateral esquerda/sul V4.	106
Figura 63 – Corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos do V4.....	107

Figura 64 – Corrosão nas longarinas do V4.	107
Figura 65 – Refúgios apresentando fissuras e armaduras expostas no V4.	108
Figura 66 – Refúgios apresentando fissuras e armaduras expostas no V4 (detalhe).	109
Figura 67 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em um refúgio do V4.	111
Figura 68 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em uma longarina do V4.	111
Figura 69 – Esquema longitudinal em perfil do V5.	113
Figura 70 – Vista lateral do V5, face sul	113
Figura 71 – Vista superior do V5.	114
Figura 72 – Mapeamento vista lateral direita/norte V5.	116
Figura 73 – Mapeamento vista lateral esquerda/sul V5.	117
Figura 74 – Corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos do V5.	118
Figura 75 – Corrosão de armaduras em estágio avançado nas longarinas do V5.	118
Figura 76 – Encontros com fissuração, deslocamento e armadura exposta no V5.	119
Figura 77 – Fundo da longarina com fissuração, deslocamento e armadura exposta no V5.	119
Figura 78 – Refúgios apresentando armaduras expostas e vegetação no V5.	120
Figura 79 – Refúgios com acúmulo de umidade no V5.	120
Figura 80 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em um refúgio do V5.	122
Figura 81 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em uma longarina do V5.	123
Figura 82 – Esquema longitudinal em perfil do V6.	125
Figura 83 – Vista superior do V6.	125
Figura 84 – Mapeamento vista lateral direita/norte V6.	128
Figura 85 – Mapeamento vista lateral esquerda/sul V6.	129
Figura 86 – Corrosão de armaduras no vão do V6	130
Figura 87 – Corrosão em longarina do V6.	130
Figura 88 – Presença de vegetação na superestrutura do V6.	131
Figura 89 – Deslocamento, umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem do V6. ..	132
Figura 90 – Refúgios apresentando armaduras expostas no V6.	132
Figura 91 – Refúgios apresentando armaduras expostas no V6 (detalhe).	133
Figura 92 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em um refúgio do V6.	135
Figura 93 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em uma longarina do V6.	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vida Útil de Projeto (VUP).	33
Tabela 2 – Valores de reflexão obtidos no V1.	71
Tabela 3 – Notas do V1 conforme o método da NBR 9452 (ABNT, 2019).	74
Tabela 4 – Notas do V1 conforme o método do DNIT (BRASIL, 2004).	74
Tabela 5 – Valores de reflexão obtidos no V2.	83
Tabela 6 – Notas do V2 conforme o método da NBR 9452 (ABNT, 2019).	86
Tabela 7 – Notas do V2 conforme o método do DNIT (BRASIL, 2004).	86
Tabela 8 – Valores de reflexão obtidos no V3.	97
Tabela 9 – Notas do V3 conforme o o método da NBR 9452 (2019).	101
Tabela 10 – Notas do V3 conforme o método do DNIT (BRASIL, 2004).	101
Tabela 11 – Valores de reflexão obtidos no V4.	110
Tabela 12 – Notas do V4 conforme o método da NBR 9452 (ABNT, 2019).	112
Tabela 13 – Notas do V4 conforme o método do DNIT (BRASIL, 2004).	112
Tabela 14 – Valores de reflexão obtidos no V5.	121
Tabela 15 – Notas do V5 conforme o método da NBR 9452 (ABNT, 2019).	124
Tabela 16 – Notas do V5 conforme o método do DNIT (BRASIL, 2004).	124
Tabela 17 – Valores de reflexão obtidos no V6.	134
Tabela 18 – Notas do V6 conforme o método da NBR 9452 (ABNT, 2019).	136
Tabela 19 – Notas do V6 conforme o método do DNIT (BRASIL, 2004).	137

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos estruturais de pontes.	30
Quadro 2 – Tecnologias e suas limitações	37
Quadro 3 – Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.	40
Quadro 4 – Instruções para atribuição de notas de avaliação.....	43
Quadro 5 – Especificações Técnicas do Esclerômetro analógico - Martelo de teste de concreto.	53
Quadro 6 – Relação de Obras de Arte especiais e características construtivas (continua).	61

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARTESP	Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte no Estado de São Paulo
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i>
SARPA	Sistema para solicitação de acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por Aeronaves Não Tripuladas
BSI	<i>British Standards Institution</i>
BS	<i>British Standards</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEE-169	Comissão de Estudo Especial de Inspeções de Estruturas de Concreto
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
Nevada DOT ou NDOT	<i>Nevada Department of Transportation</i>
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DEF	<i>Delayed Etringite Formation</i> (etringita tardia)
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
FIB	<i>Fédération Internationale Du Béton</i>
FUNDARPE	Fundação do Patrimônio Histórico e Artístico de Pernambuco
GWBR	<i>Great Western of Brazil Railway</i>
CH	Hidróxido de Cálcio
I.E.	Índice Esclerométrico Médio Efetivo
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
LiDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
LTCPE	Linha Tronco Centro de Pernambuco
NBR	Norma Brasileira
OAE	Obra de Arte Especial
SGO	Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais
SHRP	<i>Strategic Highway Research Program</i>
UNI	<i>Unificazione Nazionale Italiana</i>
VANT	Veículos Aéreos Não Tripulados
VUP	Vida Útil de Projeto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Justificativa	22
1.2	Objetivo geral	23
1.3	Objetivos específicos	23
1.4	Estrutura do Trabalho	24
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1	Concreto armado e as Obras de Arte Especiais	25
2.2	Aspectos Construtivos de Pontes e Viadutos.....	28
2.3	Deterioração das estruturas de concreto armado	32
2.3.1	<i>Origens.....</i>	34
2.3.2	<i>Mecanismos de deterioração relativos ao concreto.....</i>	35
2.4	Inspeção em obras de artes especiais	36
2.4.1	<i>NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto — Procedimento 38</i>	
2.4.2	<i>DNIT 010/2004-PRO: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido</i>	42
3	METODOLOGIA	44
3.1	Método da Pesquisa	44
3.2	Revisão sistemática.....	44
3.3	Método de inspeção	48
3.4	Ensaio tecnológicos.....	50
3.4.1	<i>Levantamento com Veículo aéreo não tripulado – VANT (DRONE).....</i>	50
3.4.2	<i>Esclerometria.....</i>	52
3.4.3	<i>Profundidade de carbonatação</i>	56
3.4.4	<i>Presença de cloretos livres</i>	56
3.5	Caracterização do Campo de Estudo	57
3.5.1	<i>Breve Histórico da Estrada de Ferro de Pernambuco</i>	57
3.5.2	<i>Delimitação do Campo de estudo.....</i>	58
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	62
4.1	Estudo de caso: Viaduto 1	62
4.1.1	<i>Características Construtivas</i>	62
4.1.2	<i>Quadro Patológico do Viaduto 1.....</i>	65
4.1.3	<i>Ensaio tecnológicos</i>	70
4.1.4	<i>Diagnóstico</i>	73
4.2	Estudo de caso: Viaduto 2	75
4.2.1	<i>Características Construtivas</i>	75

4.2.2	<i>Quadro Patológico do Viaduto 2</i>	77
4.2.3	<i>Ensaio tecnológico</i>	83
4.2.4	<i>Diagnóstico</i>	85
4.3	Estudo de caso: Viaduto 3	86
4.3.1	<i>Características Construtivas</i>	86
4.3.2	<i>Quadro Patológico do Viaduto 3</i>	90
4.3.3	<i>Ensaio tecnológico</i>	97
4.3.4	<i>Diagnóstico</i>	100
4.4	Estudo de caso: Viaduto 4	102
4.4.1	<i>Características Construtivas</i>	102
4.4.2	<i>Quadro Patológico do Viaduto 4</i>	104
4.4.3	<i>Ensaio tecnológico</i>	109
4.4.4	<i>Diagnóstico</i>	112
4.5	Estudo de caso: Viaduto 5	113
4.5.1	<i>Características Construtivas</i>	113
4.5.2	<i>Quadro Patológico do Viaduto 5</i>	115
4.5.3	<i>Ensaio tecnológico</i>	121
4.5.4	<i>Diagnóstico</i>	123
4.6	Estudo de caso: Viaduto 6	125
4.6.1	<i>Características Construtivas</i>	125
4.6.2	<i>Quadro Patológico do Viaduto 6</i>	127
4.6.3	<i>Ensaio tecnológico</i>	133
4.6.4	<i>Diagnóstico</i>	136
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	138
	REFERÊNCIAS	140
	APÊNDICE I	149
	APÊNDICE II	152
	APÊNDICE III	177

1 INTRODUÇÃO

As estruturas de grande porte em concreto, comuns no país, desempenham papel importante para diversos setores econômicos no Brasil. A deterioração e o aumento dos riscos ligados a falta de manutenção dessas estruturas, essencialmente das obras de arte especiais – OAE's, como pontes e viadutos, é um problema nacional fruto da carência de estratégias públicas voltadas a sua conservação (SILVA; MONTEIRO; VITÓRIO, 2018).

[...] os prejuízos materiais e financeiros do setor produtivo, do setor público e da própria sociedade a quem cabe, em última análise, arcar com os altos custos dos reparos. A demora em iniciar a manutenção de uma obra torna os reparos mais trabalhosos e onerosos (VITÓRIO, 2006, p. 3).

Mesmo com a evolução dos métodos construtivos e de projetos, ainda acontecem colapsos de pontes em todo o mundo, alguns com vítimas fatais. A seguir está apresentada a cronologia dos acidentes mais graves em OAE's desde 2000:

28 de junho de 2000 (NEGLIGENCE..., 2010) - Desmoronamento do viaduto do Boulevard du Souvenir, Laval (Quebec), Canadá.

O viaduto ainda estava em construção quando desabou esmagando um carro e matando 1 pessoa e ferindo 2 outras. As vigas de suporte eram muito curtas e mal alinhadas - em resumo, a construção era instável e um estado precário, conforme a investigação do legista.

4 de março de 2001 (PORTUGAL..., 2001) - Ponte Hintze Ribeiro, Entre-os-Rios e Castelo de Paiva, Portugal

Acredita-se que a ponte de 200 metros de comprimento tenha desabado depois que um de seus pilares de sustentação cedeu após uma chuva forte e prolongada, A fundação do pilar ficou comprometida devido a anos de ilegalidade, mas permitiu a extração de areia e o vão central desabou. Cinquenta e nove pessoas perderam a vida, sendo o acidente com o maior número de vítimas mortais na Europa.

26 de maio de 2002 (DEATH..., 2002) - Desastre da ponte I-40, Webbers Falls, Estados Unidos

O pilar número 3 da ponte de concreto para tráfego de veículos sobre o rio Arkansas foi atingida por uma barça. O impacto causou o desmoronamento de 150 metros da I-40. Morreram 14 pessoas e 5 ficaram feridas.

28 de agosto de 2003 (DAMAN..., 2003) – Ponte em Daman, Daman, Índia

A ponte de 300 metros encontrava-se em ruínas. O trecho de 90 metros que desabou estava sem colunas e era feito de ferro, pois nenhuma fundação foi construída pelas condições inadequadas do solo. O número total de mortos foi 26.

7 de novembro de 2005 (SEIS..., 2005) – Ponte na Espanha, Granada, Espanha

Parte da ponte rodoviária em construção em uma estrada do Mediterrâneo no sul da Espanha caiu em uma ravina. Ocorreu uma falha na cofragem de uma seção elevada, o que desencadeou o colapso, causando a morte de seis pessoas que trabalhavam na obra.

30 de setembro de 2006 (ONTARIO..., 2006) – Viaduto da rodovia 19 em Laval (desmoronamento do viaduto De la Concorde) Laval – Quebec, Canadá

A seção central da faixa sul do viaduto desabou por falha de cisalhamento devido à colocação incorreta de vergalhões e concreto de baixa qualidade. A seção desabada esmagou dois veículos sob ela, matando cinco pessoas e ferindo gravemente outras seis que ultrapassaram a borda durante o trajeto no viaduto.

1 de agosto de 2007 (FROMMER, 2008) - Ponte Minneapolis I-35W sobre o rio Mississippi, Minneapolis -Minnesota, Estados Unidos

O *National Transportation Safety Board* informou que uma falha de projeto seria a causa provável do colapso. O acidente deixou 13 mortos e 145 feridos. A Ponte I-35W Saint Anthony Falls foi reconstruída e reaberta em 18 de setembro de 2008.

26 de setembro de 2007 (SÂP..., 2007) - Ponte Can Tho, Can Tho , Vietnã

Uma rampa de acesso de 90 metros da ponte desabou durante a construção, caindo de 30 metros de altura. O número oficial de mortos é de 54, com 80 feridos graves. As investigações determinaram que a fundação de assentamento irregular foi a principal causa do colapso.

27 de julho de 2010 (DEATH..., 2010) – Ponte do Rio Yihe, Luanchuan – Henan, China

Uma investigação inicial do governo mostrou que a ponte em ruínas desabou depois que troncos de árvores caídos ficaram presos sob ela, bloqueando a passagem das águas da enchente. Quarenta e nove pessoas morreram e 17 foram dadas como desaparecidas depois da queda de uma ponte em Luanchuan, na zona central da China.

5 de janeiro de 2010 (MATGE, 2020) - A ponte do Rio Jacuí, Restinga Seca e Agudo, Brasil

A força das turvas águas fez com que cem metros da estrutura caíssem. A queda foi causada pela força das turvas águas que se acumulavam devido ao período de chuvas intensas. Cinco pessoas morreram na tragédia.

26 de novembro de 2011 (ARSHAD, 2011) – Ponte Kutai Kartanegara, Tenggarong - Kalimantan Oriental, Indonésia.

Enquanto os trabalhadores realizavam a manutenção na ponte, um cabo de suporte se partiu e a estrutura sofreu uma falha catastrófica. O tabuleiro caiu deixando apenas as duas torres da ponte e alguns cabos de suporte restantes. Pelo menos 20 pessoas foram mortas e 40 ficaram feridas, com mais 19 pessoas desaparecidas.

24 de agosto de 2012 (THREE..., 2012) - Ponte Yangmingtan sobre o rio Songhua, Harbin, República Popular da China

Uma parte da ponte que estava recém-inaugurada de 15 quilômetros de comprimento desabou matando 3 pessoas e ferindo 2 outras. A Construção de má qualidade e a sobrecarga foram causadoras do incidente, principalmente o projeto de construção, já que o mesmo foi concluído muito rapidamente e a carga foi permitida na ponte pelos controladores de tráfego.

1º de julho de 2013 (ESCOMBROS..., 2014) - Ponte que caiu no Rio Piracicaba, São Paulo, Brasil

A perícia feita no local apontou falhas na execução dos trabalhos. Ainda conforme os laudos periciais, uma das colunas de apoio não suportou a carga exigida e isso teria levado ao desabamento. Quando a estrutura desabou, cinco profissionais que trabalhavam na obra morreram e outros cinco ficaram feridos.

10 de junho de 2014 (FINALLY..., 2014) – Cable Bridge Surat, Surat – Gujarat, Índia

Falha de projeto na seção de curvatura de um vão resultou no colapso de uma laje durante a remoção das placas de escoramento. Toda a laje, pesando 650 toneladas e 35 metros de comprimento, desabou de 12 metros de altura. Dezesesseis trabalhadores foram enterrados sob a laje, 10 trabalhadores morreram no local e 6 sofreram ferimentos graves ou leves.

3 de julho de 2014 (LAS CASAS; FREITAS, 2014) - Desabamento do Viaduto Batalha dos Guararapes, Belo Horizonte - Minas Gerais, Brasil

O viaduto desabou na Avenida Pedro I. Dois caminhões, um carro e um micro-ônibus foram atingidos pela estrutura. A motorista do ônibus morreu no local e, segundo a Secretaria de Estado de Saúde, 22 pessoas ficaram feridas.

14 de outubro de 2015 (UPDATE..., 2015) - Grayston Pedestrian and Cycle Bridge, Estrada M1 (Joanesburgo), África do Sul

O Colapso de estruturas da ponte temporária deixou duas pessoas mortas e 19 ficaram feridas.

2 de agosto de 2016 (MUMBAI-GOA..., 2016) – Savitri River Bridge, Maharashtra, Índia

A velha ponte na rodovia Mumbai-Goa desabou, dois ônibus e alguns carros caíram no rio. O Colapso parcial deixou 28 mortos.

9 de março de 2017 (A14..., 2017) – Viaduto camerano, Província de Ancona, Itália

Estava sendo realizado o levantamento da estrutura para realização das obras de alargamento da auto-estrada. Duas pessoas que passavam de carro morreram.

14 de agosto de 2018 (CROLLO..., 2018) – Desabamento da Ponte Morandi, Gênova – Ligúria, Itália

Durante uma tempestade torrencial, uma grande parte da ponte, com seção de 210 metros, desaba e os veículos que estavam nela caíram na Polcevera inundada pela chuva. O total de vítimas foi de 43 pessoas.

14 de março de 2019 (BMC..., 2019) - A passarela desmorona perto de estação em Mumbai, Mumbai, Índia

O relatório preliminar culpou os consultores estruturais de negligência, informando que a auditoria estrutural da passarela não foi realizada corretamente. O colapso matou seis pessoas e deixou 35 feridas.

8 de agosto de 2019 (PARTE..., 2019) - Parte de viaduto cai na Zona Norte do Rio, Rio de Janeiro, Brasil

Um caminhão carregando um contêiner teria atingido a estrutura do viaduto que estava sendo montado na parte baixa da Avenida Transbrasil, na altura de Coelho Neto. O choque teria provocado o desabamento da estrutura sobre o veículo. Duas pessoas morreram.

2 de maio de 2021 (RODRÍGUEZ *et al.*, 2021) - Desmoronamento do viaduto do metrô da Cidade do México, Tláhuac - Cidade do México, México

A estrutura que sustentava um dos trechos externos da linha 12 do metrô desabou sobre uma das principais artérias do sudeste da capital. Uma viga cedeu no momento em que o trem passava. Pelo menos 24 pessoas morreram e cerca de 80 ficaram feridas.

De modo geral, muitas dessas estruturas são implantadas sobre vias urbanas, ou rodovias, quase sempre expostas a um intenso tráfego de veículos perpendiculares ou esconsos, sob as suas superestruturas. Isso faz com que os elementos estruturais mais próximos das vias corram o risco de receberem choques de veículos, para os quais não foram dimensionados.

Todos esses incidentes demonstram a necessidade de melhorar e ampliar os conhecimentos da construção civil em patologia, inspeção, diagnóstico e recuperação de estruturas e o controle sobre as causas e mecanismos responsáveis pelos processos de deterioração para minimizar o número de acidentes e os graves problemas em OAE's.

As OAE's sempre estarão sob os efeitos do envelhecimento natural, e identificar o real estado de conservação das estruturas de concreto armado é a etapa inicial para ser possível manter a vida útil desejada, possibilitar a promoção de práticas de manutenção adequadas para a conservação das mesmas e evitar acidentes com danos fatais.

O presente trabalho pretende analisar as condições estruturais, funcionais e de durabilidade de viadutos ferroviários do trecho situado no município de Gravatá-PE, que fazem parte da Estrada de Ferro Central de Pernambuco (Linha Tronco Centro) e determinar o seu estado de conservação.

1.1 Justificativa

Gravatá é um município brasileiro do agreste Pernambucano, localizado a 84 km da cidade do Recife a uma latitude 8° 12' 04" sul e uma longitude 35° 33' 53" oeste, estando a uma altitude de 447 metros. É uma das principais cidades que compõem o Agreste Pernambucano, que com a inauguração da Ferrovia *Great Western of Brazil Railway* (GWBR), no final do século XIX, que ligava o Recife ao sertão do estado, tomou impulso e, gradualmente, foi definida sua vocação para o turismo, sendo atualmente uma forte representante não apenas do setor, como também da gastronomia e da produção moveleira do estado (A CIDADE, 2019).

Em 2019, entrou para o grupo de municípios que fazem parte do Mapa Nacional de Turismo 2019-2020, através da Portaria 271 (BRASIL, 2019), que traz 2.694 Municípios, que compõem 333 regiões turísticas, como prioridade para a Política Nacional de Turismo, prevista na Lei 11.771 (BRASIL, 2008). Essas regiões receberão atenção especial de planejamento, desenvolvimento e estímulo ao setor. Neste cenário, o município demonstra interesse em reativar o trecho ferroviário da antiga estrada de ferro do estado, desativada desde o ano 2000, de modo a torná-lo mais um de seus atrativos turísticos, promovendo assim a valorização da vegetação e relevo da região, assim como, da cultura, culinária e das demais produções locais e atrativos turísticos da cidade.

Por se tratar de construções do fim do século XIX entre 1886 e 1894, a concepção e os projetos da estrutura, seus materiais e as condições de execução se adequavam aos padrões da época, o que não quer dizer que atendam aos padrões e normas atuais. Além disso, são obras que passaram por processo de envelhecimento natural e podem apresentar danos que reduzem ainda mais sua capacidade de atender aos requisitos de utilização, ou seja, funcionalidade, segurança estrutural e durabilidade. Como ilustrado por diversos incidentes recentes, a perda gradual ou abrupta da capacidade resistente, ou funcional da estrutura, ou de seus elementos pode comprometer as condições de serviço, ou até provocar sua ruína.

É fundamental observar que a maioria dos processos de deterioração desenvolve-se gradualmente e tem manifestações visíveis ou detectáveis por ensaios específicos. Assim, pode-se identificar, diagnosticar e solucionar os problemas antes que atinjam proporções graves ou que resultem em custos financeiros e sociais elevados de recuperação. Por essa razão, o acompanhamento periódico do estado das OAE's, através de vistorias e inspeções detalhadas, executadas conforme um conjunto de procedimentos padronizados e tecnicamente adequados, é o modo mais eficaz de subsidiar uma política de manutenção corretiva e preventiva de OAE's. Esse é o melhor meio para garantir economia, segurança, funcionalidade e alocação racional dos recursos disponíveis para a recuperação e manutenção de OAE's conforme a urgência de intervenção de cada obra.

1.2 Objetivo geral

Avaliar o estado geral de conservação das OAE's situadas no trecho tombado da estrada ferroviária, LTCPE, localizado no município de Gravatá, através da aplicação da NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto — Procedimento (ABNT, 2019).

1.3 Objetivos específicos

- Realizar revisão sistemática acerca dos principais métodos e técnicas existentes de avaliação do estado geral de conservação de OAE's e m concreto armado;
- Realizar um estudo de caso das 6 (seis) OAE's do trecho estudado, através da inspeção cadastral e especial descritas na NBR 9452 (ABNT, 2019), considerando tanto uma inspeção visual direta quanto uma inspeção realizada a partir das imagens obtidas por um VANT;
- Classificar as estruturas atribuindo notas de acordo com os parâmetros estabelecidos tanto pela NBR 9452 (ABNT, 2019) quanto instrução normativa do DNIT 001/2002 – PRO (BRASIL, 2004), para fins de comparação.
- Identificar as manifestações patológicas dos viadutos objetos do presente estudo e determinar suas origens e mecanismos; e
- Avaliar a influência das características físicas (resistência, cobrimento e homogeneidade) dos concretos que compõem as estruturas estudadas e das condições planialtimétricas em que estão inseridas;

1.4 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação é composta por 5 capítulos seguidos das Referências e Apêndices. O capítulo 1 de introdução, capítulo 2 de revisão bibliográfica, capítulo 3 de metodologia, capítulo 4 de resultados e discussões e finalmente o capítulo 5 de conclusões.

O capítulo 1 – “INTRODUÇÃO” apresenta uma breve motivação do estudo, um resumo do cenário geral do tema no Brasil e no exterior, seguida da justificativa. Faz parte desse capítulo, os objetivos da pesquisa e a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 – “REFERENCIAL TEÓRICO” apresenta uma breve revisão sobre OAE’s em concreto armado, deterioração e inspeção dessas estruturas e os principais conceitos teóricos inerentes à pesquisa, para garantir o bom entendimento do trabalho além de fornecer subsídios para as definições metodológicas e de análise dos resultados.

O capítulo 3 – “METODOLOGIA” são apresentadas as etapas necessárias para o desenvolvimento do presente trabalho, especificamente a descrição dos métodos e práticas adotados.

O capítulo 4 – “RESULTADO E DISCUSSÕES” explana os resultados e discussões da pesquisa. Este capítulo apresenta detalhadamente as duas etapas que compõem a pesquisa exploratória e os estudos de caso realizados na pesquisa experimental. Incluindo uma análise geral da experiência de inspeção e detecção de manifestações patológicas.

O capítulo 5 – “CONSIDERAÇÕES FINAIS” apresenta as conclusões do trabalho, explanando as considerações cabíveis após toda a pesquisa realizada, além de sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Em conformidade à estrutura do trabalho apresentada, neste capítulo é abordada uma breve revisão da literatura relativa aos elementos de interesse para o procedimento de inspeção em OAE's de concreto armado. Assim, em primeiro lugar, é essencial introduzir os mais importantes conceitos, justificativas e características sobre manifestações patológicas em concreto armado.

2.1 Concreto armado e as Obras de Arte Especiais

O surgimento do concreto armado data da segunda metade do século XIX, mas foi apenas no início do século seguinte que esse material artificial tão utilizado atualmente pela humanidade se disseminou pelo mundo, tornando-se o principal material de construção. A popularidade do concreto se deve ao fato desse material agregar características importantes para as construções, como resistência e durabilidade, fazendo com que grande parte das estruturas em todo o mundo seja construída em concreto (AL-SAADY *et al.*, 2019).

Segundo Rich (1875), Cardoso (2018) e Belarmino (2016), as pontes são monumentos da engenharia que estão presentes desde as primeiras civilizações. Uma das primeiras pontes de que há registro histórico foi construída na Babilônia por volta de 2000 a.C., composta por um tabuleiro de troncos de madeira apoiado sobre montes de pedras atados com tiras de couro. Em 400 a.C. há indícios de construções tais como estruturas em arco de pedra, e em 55 a.C. foi construída uma ponte longa de madeira sobre o rio Reno, durante o império de Júlio César. Durante esse período, pontes e aquedutos, similares no sistema estrutural, foram construídos para desenvolver e expandir o território dominado.

Até o século XIX eram utilizados blocos de rochas, madeira e uma mistura de cimento produzido com cal e pozolanas vulcânicas como materiais na construção dessas estruturas. Com a revolução industrial, as pontes passaram a ser construídas em aço, uma liga de ferro-carbono, que trouxe mais leveza às estruturas e maior rapidez na execução, mas só no início do século XX, com a disseminação do concreto armado, é que o material foi adotado na construção de pontes e viadutos. Ainda na primeira metade do século XX, o concreto protendido surge como material na construção motivado pelo emprego do aço de elevada resistência (*Fédération*

Internationale Du Béton – FIB, 2000). A primeira ponte de argamassa armada¹ de autoria de Monier foi construída em 1875, no castelo de Chazelet (Figura 1).

Figura 1 – Ponte de Chazelet, primeira ponte de argamassa armada.



Fonte: Midi Libre (2011)².

“O concreto de Cimento Portland provou ser o material de construção mais adequado para as estruturas, superando com grandes vantagens outras alternativas viáveis, tais como madeira, aço e alvenaria” (HELENE; PEREIRA, 2007, p. 17, tradução nossa). No entanto, embora apresente uma capacidade durável superior a outros materiais de construção, e se tenha acreditado por muito tempo que o concreto era um material perene, o tempo mostrou que falta de manutenção de estruturas feitas com esse material, sobretudo a partir da segunda metade do século, levaram com que estas estruturas começassem a apresentar altos índices de deterioração, o que serviu de alerta para algumas partes do mundo.

Atualmente existe uma grande necessidade de monitoramento e manutenção da integridade das OAE's de concreto armado, fator essencial para garantir a segurança oferecida diariamente, estruturas estas que estão presentes no dia-a-dia de muitos usuários. Mesmo assim, é notável o descaso dos órgãos responsáveis, como o poder público, em manter a operação e manutenção

¹ Argamassa armada: a argamassa armada é uma categoria de “concreto armado” feito de componentes de menor espessura.

² MIDI LIBRE. **Conférence:** Joseph Monier, inventeur du béton armé. Montpellier, 2011. Disponível em: <https://www.midilibre.fr/2011/05/04/conference-joseph-monier-inventeur-du-beton-arme,313494.php>. Acesso em: 16 out. 2019.

destas estruturas, que se tornam mais complexas e onerosas com o aumento da idade (CHANG; FLATAU; LIU, 2003; REHMAN *et al.*, 2016; GIBB *et al.*, 2018).

De forma geral, as dificuldades técnicas, os custos e as patologias, quando não reparadas, crescem de forma desproporcional, em função da idade de suas causas. Assim sendo, quanto mais cedo realiza a intervenção, menores serão os danos provocados por essas patologias, menores serão as dificuldades técnicas para saná-las e, conseqüentemente menores os custos de reparos, de acordo com o preconizado pela Regra de Sitter (ou “Lei dos 5”) (SALES *et al.*, 2018, p. 45).

Segundo a *Federal Highway Administration* – FHWA (2017) cerca de 25% das pontes no Canadá e cerca de 7,7% nos Estados Unidos encontram-se em péssimas condições de uso. Estima-se que no Canadá sejam necessários US \$50 bilhões para substituir todos esses ativos e que até 2025 as recuperações das OAE’s vão custar aos Estados Unidos US \$3,9 trilhões (*American Society of Civil Engineers* – ASCE, 2016).

Segundo Júlio Timerman (2017)³ não há um conhecimento profundo do estado geral do conjunto de todas as OAE’s brasileiras. Em seu estudo, o engenheiro estimou um patrimônio nacional de cerca de 120 mil pontes, mas as rodovias brasileiras são divididas em três níveis governamentais (federais, estaduais e municipais), acrescidos ainda do setor privado (MENDES, 2009). Em nível federal, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, possui atualmente sob sua jurisdição 6.151 estruturas (BRASIL, 2020).

Para Ourives (2021)⁴ embora a vida útil de serviço das OAE’s deveria estar em torno de 50 anos, muitas vezes acaba não atingindo 25 anos, o que gera o seguinte custo de manutenção em dólar: leve - sendo em torno de US \$200/ m², para estruturas com até 3 anos, média - US \$400/ m², para estruturas com até 10 anos e pesada - US \$650/ m², para estruturas com 40 anos ou mais. Enquanto o custo de construção de uma ponte chega a ser US \$ 650/ m².

Através da análise dos últimos cinco anos do relatório de Gestão do DNIT, constatou-se que foram realizadas até o mês de dezembro de 2020, cerca de 4.646 inspeções de OAE, mas para

³ Guia do Transportador. **Alguém sabe quantas pontes existem nas rodovias do Brasil?** Disponível em: <http://www.guiadotrc.com.br/noticias/noticialD.asp?id=36867>. Acesso em: 05 maio 2021.

⁴ 3º Seminário Internacional de Jovens Alconpat/Penetron. **Nova abordagem de reparos do concreto em condições.** Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=ThZ2DLyPJpc#t=2h22m53s>. Acesso em: 07 jul. 2021.

maio de 2021 a previsão é que o total das OAE sob a jurisdição do órgão sejam inspecionadas, perfazendo o montante de 6.151 obras e todas elas constando no banco de dados do Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais – SGO (DNIT, 2020).

Esse número melhorou em comparação com os anos anteriores que foram 5.135 vistorias em 2019, 713 em 2018, 38 em 2017 e 282 em 2016, totalizando 2061 inspeções (DNIT, 2020; 2019; 2018; 2017; 2016). Mesmo assim, para o total de cerca de 4.646 foi possível estimar o estado crítico de conservação de somente 19,43% (903 obras). Isso demonstra que nenhuma das normas citadas vinha sendo seguida nos últimos 5 anos, mas que o cenário apresenta uma melhora no último ano.

Mesmo com os esforços em nível federal, no Brasil ainda não é comum a cultura de inspeção e reparo de OAE's, sendo realizadas, muitas vezes, apenas em último caso, quando as estruturas se encontram em estado crítico. Os países desenvolvidos já estão utilizando efetivamente os sistemas de gerenciamento e conservação de OAE's, por exemplo, o Departamento de Transporte de Nevada (Nevada DOT ou NDOT). Na América do Norte normalmente as inspeções acontecem em intervalos de 24 meses, conforme exigido pelas normas nacionais. Nos Estados Unidos da América a cada dois anos quase 600.000 pontes são inspecionadas e, dependendo da condição, passam por reparos para manter sua vida útil. No restante do mundo são adotados outros intervalos na realização de inspeção como 48, 72 meses ou até mais (NASROLLAHI; WASHER, 2014; PINES; AKTAN, 2002).

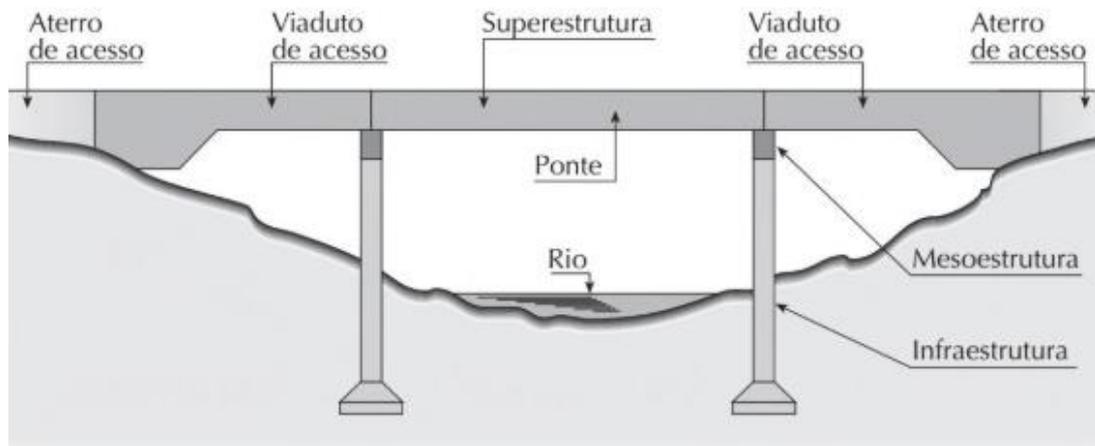
2.2 Aspectos Construtivos de Pontes e Viadutos

Segundo a definição da NBR 9452 (ABNT, 2019), OAE's são as pontes, pontilhões, viadutos ou passarelas; são ponte e viaduto as estruturas destinadas à transposição de acidentes geográficos naturais que impeça a continuidade do leito normal de uma via, onde nas pontes o obstáculo trata-se de um curso d'água, como lagos, rios, enquanto nos viadutos poderá ser outra via, ou até mesmo montanhas, vales e serras.

Para Vitória (2002), as OAE's se dividem em três partes funcionais (Figura 2): a superestrutura, tabuleiro ou estrado que é responsável por receber a carga e transmiti-la para a mesoestrutura; a mesoestrutura, composta pelos pilares e travessas, que conduz as cargas até as fundações; e

finalmente a infraestrutura, composta pelos blocos, sapatas, estacas ou tubulões, que é responsável por transmitir as cargas para o solo.

Figura 2 – Partes de uma Ponte ou Viaduto.



Fonte: Marchetti, 2018.

- ***Infraestrutura***

Parte da ponte por meio da qual são transmitidos ao terreno de implantação da obra (rocha ou solo) os esforços recebidos da mesoestrutura. Os elementos da infraestrutura podem ser: blocos, sapatas, estacas e tubulões.

- ***Mesoestrutura***

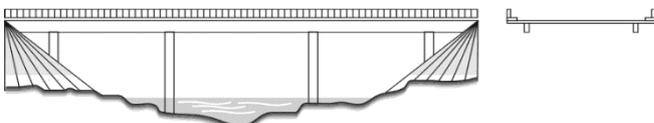
Responsável por receber os esforços da superestrutura e os transmitir à infraestrutura, em conjunto com os esforços recebidos diretamente de outras forças solicitantes da OAE, tais como pressões do vento e da água em movimento. Os principais elementos da mesoestrutura são: os pilares, que servem como suportes intermediários, apenas recebendo os esforços da superestrutura (são chamados cavaletes, quando formados por treliça metálica ou em madeira); os encontros, suportes de extremidades que ficam em contato com os aterros, sendo sua função resistir, além dos esforços da superestrutura, aqueles provenientes dos empuxos e subpressões; os pilares-encontros, suportes reforçados que devem garantir a estrutura ou resistir a empuxos de arcos ou abóbadas adjacentes; e os muros de acompanhamento, complementos dos encontros que se destinam a conter os taludes dos aterros nas entradas das pontes (muros de ala; muros de retorno).

- ***Superestrutura***

É a parte da ponte composta geralmente de lajes e vigas principais e secundárias; é o elemento de suporte imediato do estrado, do ponto de vista da sua finalidade. Os elementos da superestrutura são: o tabuleiro, conjunto dos elementos que vão receber diretamente as cargas móveis, e pode ser dividido em estrado (parte que contém a superfície de rolamento, o leito da estrada e o suporte da estrada) e vigamento secundário (constituído pelas longarinas e transversinas); o tímpano, elemento de ligação entre o arco inferior e tem a finalidade de transmitir ao arco todas as cargas aplicadas na ponte; os pendurais, elementos que aparecem nas pontes em arco quando o tabuleiro é inferior ou intermediário é através deles que os arcos recebem as cargas aplicadas no tabuleiro; a estrutura principal, a parte destinada a vencer a distância entre dois suportes sucessivos (o tipo e o material da estrutura principal geralmente definem uma ponte); os apoios, permitem a localização das reações, podendo ser fixos (permitem apenas rotação da estrutura) ou móveis (permitem rotação e translação da estrutura); e os enrijamentos, elementos que fornecem rigidez à ponte, sendo de contraventamento (resistem aos esforços oriundos de ação perpendicular ao eixo longitudinal - vento) e de travejamento (resistem aos esforços oriundos de ação que atua longitudinalmente - frenação ou aceleração).

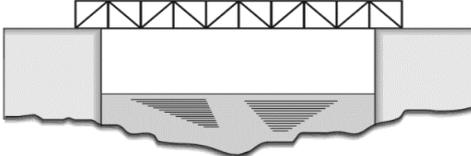
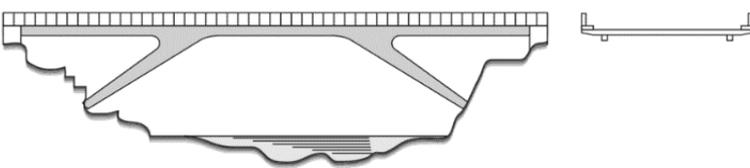
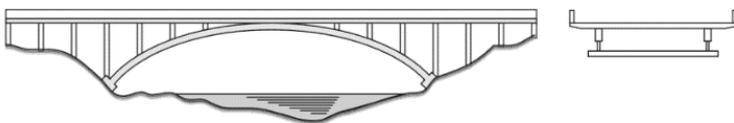
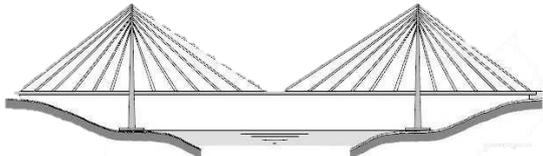
Segundo Marchetti (2018), as pontes podem ser classificadas de diversas formas, mas é possível destacar quanto aos materiais que compõem a superestrutura, que pode ser madeira, alvenaria, concreto simples, concreto armado, concreto protendido, aço ou mais de um (ex.: concreto e aço) e ainda quanto ao sistema estrutural. No Quadro 1 são ilustrados alguns destes tipos.

Quadro 1 – Tipos estruturais de pontes. (continua)

SISTEMA ESTRUTURAL		ILUSTRAÇÃO
EM VIGAS	Ponte em laje	 <p>Fonte: Marchetti, 2018.</p>
	Ponte em viga reta de alma cheia	 <p>Fonte: Marchetti, 2018.</p>

Fonte: Autor.

Quadro 1 – Tipos estruturais de pontes. (continuação)

	Ponte em viga reta de treliça		Fonte: Marchetti, 2018.
EM PÓRTICOS	Ponte em quadro rígido		Fonte: Marchetti, 2018.
EM ARCO	Ponte em abóbada		Fonte: Marchetti, 2018.
	Ponte em arco superior		Fonte: Marchetti, 2018.
SUSPENSÃO	Ponte pênsil		Fonte: Marchetti, 2018.
ESTAIADA	Ponte estaiada em leque		Fonte: Toledo, 2014.
	Ponte estaiada em harpa		Fonte: Toledo, 2014.

Fonte: Autor.

2.3 Deterioração das estruturas de concreto armado

Derivada do grego, a palavra patologia é determinada como o estudo das doenças, tanto na medicina quanto em outras áreas, como na engenharia. Para a NBR 9452, trata-se do “estudo técnico e especializado do fator (ou conjunto de fatores) que gera determinada anomalia, bem como alterações trazidas ao elemento em análise e à OAE” (ABNT, 2019). Sendo assim uma forma abrangente de tratar e classificar os problemas que acarretam uma estrutura de engenharia.

Já o desempenho de um material, componente, estrutura ou edifício, é o comportamento relacionado ao uso, que pode ser: acústico, térmico, lumínico, estético, mecânico, relacionado à durabilidade, dentre outros. Para a NBR 6118, o desempenho em serviço consiste na capacidade de a estrutura manter-se em condições plenas de utilização durante sua vida útil, não podendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada (ABNT, 2014).

Entender e determinar os diagnósticos das manifestações patológicas, e criar ações proativas, através de diagnósticos, prognósticos e prescrições técnicas se conceitua como o papel da Engenharia Diagnóstica, disciplina das investigações técnicas, resumidamente sendo o *check up* da construção, que visa aprimorar a qualidade ou apurar responsabilidades, se desenvolve estudando a “saúde” e a “doença” da construção (desempenho e patologia) (GOMIDE e FLORA, 2019).

O termo durabilidade é comumente utilizado como qualitativo para expressar a condição em que a obra ou seus sistemas mantêm seu desempenho requerido durante um determinado intervalo de tempo, a vida útil. Para a NBR 6118 (ABNT, 2014), consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

A vida útil, por outro lado, é uma medida de tempo para a durabilidade de uma obra ou de suas partes que pode ser normalmente prolongada por ações de manutenção, ou abreviada se essas ações não forem executadas nos momentos corretos e com as técnicas necessárias.

Vida útil de projeto (VUP): é também definida como o tempo a qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos aos requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais, NBR 6118 (ABNT, 2014).

Cabe destacar que a maioria dos estudos de previsão de vida útil de um projeto é voltada ao sistema “estruturas”, por ser considerado o principal sistema da edificação, por conta da exigência normativa de maior tempo de vida útil (VUP mínima de 50 anos) e pela eventual inviabilidade da substituição, alteração ou retirada de qualquer elemento, ou componente que o constitua devido aos custos elevados, à dificuldade técnico-executiva e aos riscos associados.

Na NBR 6118 (ABNT, 2014) não traz especificações para vida útil mínima das estruturas, descritas somente na norma de desempenho de edificações, NBR 15575-1 (ABNT, 2013) que estabelece uma vida útil de projeto mínima para estruturas de concreto armado para conjuntos habitacionais, segundo a Tabela 1. Já no *Guide to durability of buildings and building elements products and components*, norma britânica BS 7543 (BSI, 2015), são fornecidas orientação sobre a durabilidade, vida útil projetada e vida útil prevista de edifícios, ativos construídos e suas peças; aplica-se a edifícios novos e existentes.

Tabela 1 – Vida Útil de Projeto (VUP).

Sistema	VUP mínima anos
Estrutura	≥ 50 segundo ABNT NBR 8681-2003
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2013)

Para entender como estas estruturas sofrem com a deterioração, apresentam-se a seguir, algumas definições de conceitos, sob a ótica de diferentes autores.

2.3.1 *Origens*

Para Vieira (2016, p. 05) as “manifestações patológicas aos quais as edificações estão expostas podem ocorrer em qualquer fase, considerando que em cada fase haverá um responsável”. Para Ferreira e Lobão (2018) é possível dividir a origem dos problemas patológicos da seguinte forma:

- **Congênitas:** estão ligadas à fase de projeto. É possível dizer que nascem com a estrutura, e se dão pelo esquecimento de itens fundamentais de durabilidade durante a concepção da mesma, como, por exemplo, o descuido com as especificações de durabilidade de elementos em concreto armado, que embora em alguns casos possam não ter responsabilidade estrutural, favorecem o aparecimento e desenvolvimento de manifestações patológicas, especialmente em ambientes agressivos.
- **Construtivas:** se dão na fase de execução. Assim como as congênitas, essa causa acontece com o surgimento da estrutura, principalmente pela falta de cuidado durante a realização de algum elemento ou até mesmo, erros na execução de determinada etapa construtiva. É possível citar como um exemplo recorrente o esquecimento de formas na estrutura, como pingadeira, que pode eventualmente se tornar porta de entrada para problemas patológicos, até mesmo erros de concretagem e cura das peças de concreto.
- **Adquiridas:** acontecem durante o uso e manutenção da edificação, visto que a vida útil da edificação deve estar atrelada a uma rotina adequada de manutenção, sendo esta uma etapa determinante na prevenção da deterioração e do desenvolvimento de algumas manifestações patológicas, visto que, nem todas as partes de uma obra terá o mesmo tempo de uso. Fazendo-se necessário, portanto, a substituição ao longo da vida útil da estrutura, como é o caso dos aparelhos de apoio, que precisam ser trocados ao passar dos anos, ou mesmo as juntas estruturais de movimentação que precisam ser refeitas periodicamente.
- **Acidentais:** esta causa está relacionada aos fenômenos atípicos que podem acometer as estruturas, como choques e incêndios, que acabam por fragilizar-lá e propiciar a instalação de diversos problemas na estrutura.

2.3.2 *Mecanismos de deterioração relativos ao concreto*

A NBR 6118 (ABNT, 2014) determina que a deterioração que ocorre nas peças de concreto são derivadas de distintos processos:

- **Lixiviação:** resultado da eletrólise decorrente da exposição da estrutura à água, agente responsável por levar, em alguns casos, à dissolução do hidróxido de cálcio da matriz cimentícia. A reação que ocorre entre os íons de cálcio em contato com o CO₂ da atmosfera causam o aparecimento de eflorescências, uma crosta branca de carbonato de cálcio, fruto da reação. O processo de lixiviação deixa o concreto mais poroso e interfere em seu pH, o que acaba favorecendo a entrada de substâncias nocivas às armaduras e ao próprio concreto.
- **Reação Álcali-Agregado e formação de etringita tardia (DEF):** segundo a NBR 15577-1 (ABNT, 2008, p. 2), trata-se de uma “reação química entre alguns constituintes presentes em certos agregados e componentes alcalinos dissolvidos na solução dos poros do concreto”. As tensões internas, resultado da expansão do gel formado pela reação dos álcalis do cimento (potássio, sódio e hidróxido de cálcio) com os agregados na presença de água, causam a fissuração das peças. Assim que as peças estão fissuradas permitem a entrada de umidade e de agentes agressivos, o que resulta em muitos casos no aparecimento de manifestações patológicas.
- **Expansão por sulfatos:** é um processo físico-químico que normalmente resulta na formação de um sal, a etringita. Ocorrendo quando íon sulfato, derivados de agregados, do cimento ou do ambiente em que a estrutura está inserida, reagem com o aluminato tricálcico hidratado. A etringita, fruto dessa reação, poderá expandir, causando o desaparecimento de fissuras que aceleram o processo de deterioração da estrutura.

Ainda para a NBR 6118 (ABNT, 2014), a deterioração das armaduras corresponde ao processo de despassivação da mesma e podem ocorrer através de dois processos distintos:

- **Corrosão causada por cloretos:** os íons cloretos podem ser de origem externa, quando a estrutura está inserida em ambientes marinhos, industriais, ou até mesmo pelo uso de ácido muriático utilizado no tratamento das superfícies, ou de origem interna, quando se

encontram nas peças de concreto, por contaminação durante o processo de produção ou até mesmo pelo uso de acelerador de pega a base de cloretos. A porcentagem de cloretos que a NBR 12655 (ABNT, 2015) estabelece para estruturas de concreto é de 0,4% em relação à massa de cimento. Identificar a porcentagem de cloretos na estrutura serve de parâmetro para determinar se as peças atendem aos quesitos de durabilidades estabelecidos por normas, e também para determinar a terapia que será aplicada na recuperação quando necessária. A melhor forma de evitar que a estrutura se deteriore pela ação dos íons cloreto é evitar que estes adentrem a estrutura, podendo ser feito pelo uso de cimentos compostos, e também por um controle adequado do cobrimento e da fissuração do concreto.

- Corrosão causada por carbonatação: a carbonatação é um processo físico-químico caracterizado pela formação de sais de carbonato pela reação de neutralização do hidróxido de cálcio (CH) pelo gás carbônico (CO₂). A redução do pH alcalino (12-14) da pasta de cimento para valores inferiores a 9 configura a carbonatação. Por difusão, o gás carbônico penetra no concreto e se desloca através da fase aquosa do poro da matriz, se dissolvendo na solução aquosa. Ao penetrar no concreto o gás carbônico reage com os minerais do cimento hidratado, principalmente com o hidróxido de cálcio, e forma o carbonato de cálcio. A redução deste composto alcalino do concreto resulta na carbonatação. Como o CH é a reserva alcalina responsável por manter o pH da pasta de cimento elevado (valores superiores a 12,5), caso seja consumido na reação de carbonatação, tem-se um efeito de redução do pH do concreto para valores inferiores a 8,3, e essa camada de concreto perde a capacidade de proteger quimicamente as barras de aço dos elementos estruturais (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Sua determinação é um procedimento simples que consiste na aspersão dos reagentes fenolftaleína ou timolftaleína em uma superfície recém-fraturada de concreto (CASCUDO; CARASEK, 2011). Quando em contato com o concreto esses reagentes se combinam com o hidróxido de cálcio livre e adquirem coloração típica, enquanto as partes carbonatadas permanecem incolores. Para minimizar os efeitos da carbonatação a NBR 6118 (ABNT, 2014) indica a utilização de concretos de baixa porosidade, cobrimentos adequados e um maior controle da fissuração das peças.

2.4 Inspeção em obras de artes especiais

Embora estejam disponíveis no mercado diversos métodos e equipamentos para a realização de inspeção, como demonstrado pelos autores Stochino, Fadda e Mistretta (2018), Rashidi, Samali

e Sharafi (2016), Rehman *et al.* (2016); Stanislav *et al.* (2016) e Hesse, Atadero e Ozbek (2015), a inspeção visual é a técnica mais utilizada nesse tipo de avaliação, visto que possui uma metodologia simples que não inclui apenas o levantamento das manifestações patológicas, mas também suas características construtivas e detalhes das condições ambientais em que está inserida. Consiste muitas vezes de levantamentos feitos a olho nu ou até mesmo com auxílio de máquinas de filmar, ou fotográficas, equipamentos do mesmo modo simples, favorecendo sua ampla adoção (SALES *et al.*, 2018; XIE, 2018; PUSHPAKUMARA; SILVA, S.; SILVA, G., 2017).

Alguns outros métodos como o uso de veículos aéreos não tripulados – VANT (drone), sistemas a laser como o LiDAR (da sigla inglesa *Light Detection And Ranging*) e até mesmo o uso de sensores infravermelho, ultra-som e de radar podem complementar e até substituir a inspeção visual, visto que são mais chegando a apresentar desde um detalhamento bidimensional (2D) da superfície inspecionada até um detalhamento tridimensional (3D) aliada a detecção de danos (ESCHMANN; WUNDSAM, 2017).

Mesmo apresentando muitos aspectos positivos como demonstram estes trabalhos sobre inspeções com ferramentas robóticas (LA *et al.*, 2014; LIM; LA; SHENG, 2014; GUCUNSKI *et al.*, 2013), processamento de dados (DINH *et al.*, 2015; GUCUNSKI, 2015; LA *et al.*, 2015) e inspeção automatizada com veículos aéreos não tripulados (PHUNG *et al.*, 2017; YAN *et al.*, 2016; SCHERER *et al.*, 2008), algumas dessas tecnologias ainda apresentam limitações que devem ser analisadas antes de optar pelo seu uso. O Quadro 2 resume as limitações das tecnologias mencionadas.

Quadro 2 – Tecnologias e suas limitações (continua).

Ensaio não destrutivo e Tecnologia	Principais limitações potenciais
Termografia por infravermelho (TI)	Detecta principalmente vazios e delaminação no concreto, sendo fortemente influenciada pelas condições ambientais e outros fatores.
Pulso-eco ultra-sônico (PEUS)	Detecta descolamento, rachaduras rasas e delaminação. A detecção dos produtos da corrosão, apenas em estágios avançados e sua visualização em um determinado período do dia.
Potencial de meia célula (PMC)	Avalia a probabilidade de corrosão no concreto armado. Não fornecendo dados quantitativos do processo de corrosão.

Fonte: Adaptado de Alsharqawi; Zayed e Dabous (2017, p. 5, tradução nossa).

Quadro 2 – Tecnologias e suas limitações (continuação).

Ensaio não destrutivo e Tecnologia	Principais limitações potenciais
Eco-impacto (EI)	A reflexão no perímetro de elementos prismáticos causa modos complexos de vibração. Detecta com clareza apenas a delaminação superficial da ponte.
Radar de penetração no solo (GPR)	Limitado ao potencial de corrosão do aço e da delaminação.

Fonte: Adaptado de Alsharqawi; Zayed e Dabous (2017, p. 5, tradução nossa).

Para Schneider *et al.* (2015), garantir que sejam adotadas práticas corretas de inspeção, é essencial para estas revelarem o estado real da estrutura, reduzindo incertezas relacionadas à aplicação de modelos estatísticos.

Para isso foram criadas regulamentações por todo o mundo, que reúnem as diretrizes para garantir a efetividade das práticas de inspeção, estabeleçam metodologias padronizadas, fornecendo diretrizes para que os procedimentos resultem em dados uniformes e confiáveis. Segundo Sales *et al.* (2018, p. 292)“ em países como os Estados Unidos, Canadá e o Reino Unido são utilizados guias de inspeção visual, por exemplo, o *Strategic Highway Research Program* (SHRP) ou o *The Concrete Bridge Development Group Technical Guide 2 [...]*”; no Brasil, para inspeção de OAE’s, às duas principais normativas para a inspeção são a NBR 9452 (ABNT, 2019): Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento e DNIT 010/2004-PRO (BRASIL, 2004): Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido.

2.4.1 NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto — Procedimento

A norma brasileira de inspeção de OAE’s teve sua primeira edição homologada em agosto de 1986, intitulada: Vistorias de Pontes e Viadutos de Concreto – Procedimento (ABNT, 1986). No entanto, ao longo dos últimos anos vem passando por diversas revisões para melhor atender aos requisitos de mercado, tendo sido publicada sua segunda edição em 2012, a terceira em 2016 e a mais recente elaborada pela Comissão de Estudo Especial de Inspeções de Estruturas de Concreto (CEE-169) e publicada pela ABNT em 2019. A. As revisões da norma buscaram atualizar a metodologia para aproximar o procedimento do que é praticado pelas referências internacionais.

A primeira versão da norma proveu a base normativa para dois outros documentos nacionais: a Instrução Normativa DNIT 010:2004 - “Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento”, utilizada para obras em vias federais, e a resolução ET-C21/002 -

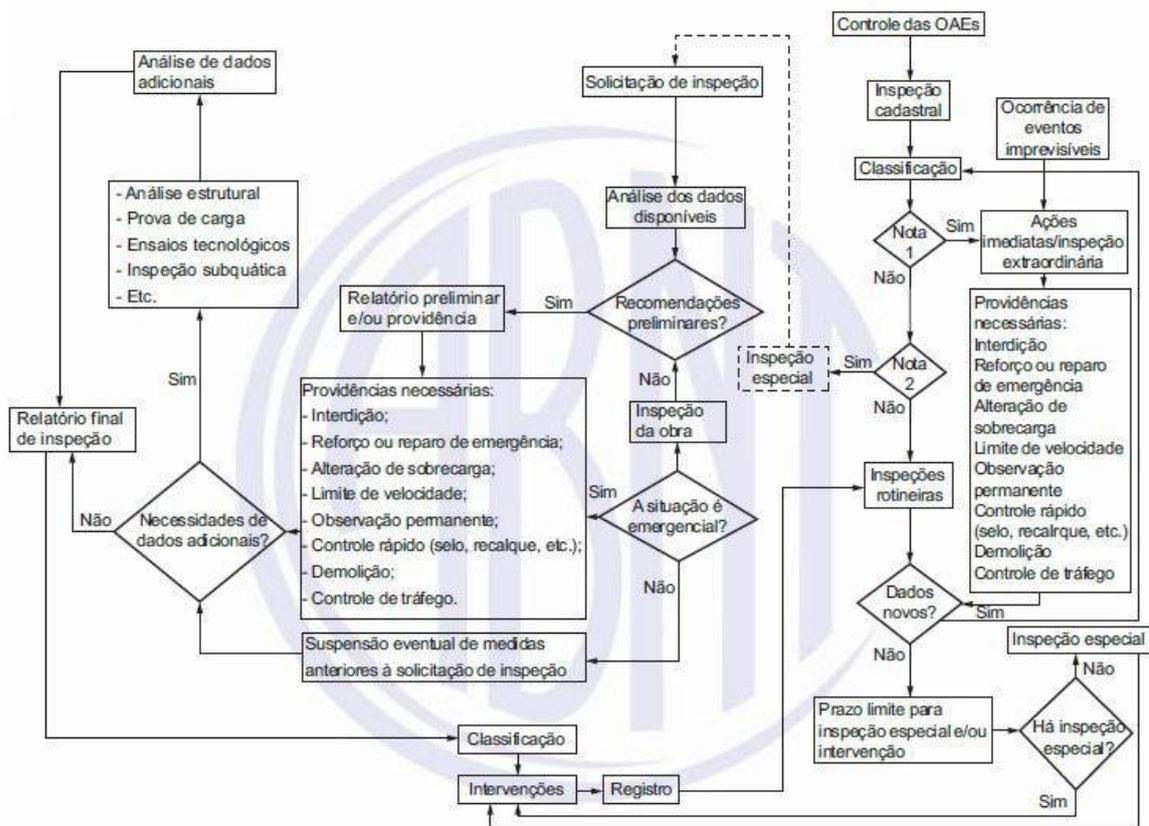
“Controle das condições estruturais, funcionais e de durabilidade das Obras de Arte Especiais” da Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte no Estado de São Paulo - ARTESP (1999), empregada para pontes em concessão no Estado de São Paulo. Segundo Cruz *et al.* (2017),

os elementos acrescentados nesses novos documentos, acabaram levando ao maior emprego em relação à versão original da NBR 9452, que apresentava apenas os conceitos primários de tipos de vistoria, dividida na época em três: vistoria cadastral, rotineira e especial, além de 2 anexos: Anexo A – Roteiro básico para inspeção de pontes e viadutos de concreto e o Anexo B – fluxograma de vistoria especial, num total de 13 páginas.

Na sua 4ª edição NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto — Procedimento (ABNT, 2019), as inspeções descritas são: Inspeção Cadastral, Inspeção Rotineira, Inspeção Especial e Inspeção Extraordinária, além da Inspeção Subaquática. As normas NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 16230 (ABNT, 2013) são indicadas como referências normativas relativas a projetos de estruturas de concreto e qualificação de inspetores, respectivamente. De tal modo, a metodologia de inspeção de pontes é descrita exclusiva e integralmente pela NBR 9452.

A norma apresenta um Fluxograma da Figura 3 que orienta a sequência e periodicidade dos procedimentos a serem adotados durante o gerenciamento de uma OAE, sendo os seguintes procedimentos realizados, conforme determina a norma: registros de identificação das obras, com histórico contendo todas as ocorrências, datas e localização das mesmas; levantamentos fotográficos; e descritivos da superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, indicando as dimensões, detalhes construtivos e tipologia estrutural. São registradas as anomalias observadas para posterior caracterização da urgência de atividades de manutenção. As vistorias rotineiras visam acompanhar o estado de conservação e detectar eventuais anomalias existentes ou que surjam, dando subsídios em tempo hábil ao planejamento dos trabalhos de inspeções especiais, cuja função é diagnosticar de maneira mais precisa as patologias existentes, apresentando os tipos de terapias que as atividades de manutenção devem realizar.

Figura 3 – Fluxograma de gerenciamento de OAE.



Fonte: NBR 9452 (ABNT, 2019).

A norma inclui tabelas para cada um dos parâmetros de avaliação - estrutural, funcional e de durabilidade. A Tabela 1 da NBR 9452 (ABNT, 2019) apresenta a atribuição de notas aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. Essas notas variam de 1 a 5 refletindo maior ou menor gravidade dos problemas detectados, discriminadas quanto à relevância do elemento avaliado na segurança estrutural da ponte, dividida em principal, secundária e complementar. O Quadro 3 apresenta esta correlação das notas com a condição da OAE.

Quadro 3 – Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. (continua)

Nota de classificação	Condição	Caracterização Estrutural	Caracterização Funcional	Caracterização de Durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.

Fonte: NBR 9452 (ABNT, 2019).

Quadro 4 – Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. (continuação)

Nota de classificação	Condição	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 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 com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometem sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema de risco estrutural e/ou funcional.

Fonte: NBR 9452 (ABNT, 2019).

Todos os elementos da ponte recebem uma nota em função dos danos identificados, e a nota final será a menor nota atribuída a esses elementos. Porém, nessa metodologia os componentes são classificados de acordo com três parâmetros, estrutural, funcional e de durabilidade, e a nota final será composta por três notas técnicas, sendo uma para cada parâmetro. Todavia, a subjetividade do procedimento proposto pela norma pode gerar resultados insuficientemente confiáveis, ocorrendo devido à maneira prática de como a perícia é executada, pela metodologia de classificação e os critérios apresentados para tal (SIMÕES; RODRIGUES e PINHEIRO, 2019)

2.4.2 DNIT 010/2004-PRO: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido

O DNIT tem sob a sua responsabilidade a administração das OAE's do Brasil, e para fazer essa administração foi criado o SGO. Este sistema visa a obtenção de um inventário completo, atualizado e permanentemente disponível de todas as OAE's sob jurisdição deste órgão. Esta metodologia é voltada para o registro e análise de dados de inspeção.

Os dados que compõem o SGO precisam de precisão e qualidade para ter confiança e um bom funcionamento, e esses dados são obtidos através de inspeções regulares através do manual de Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido (BRASIL, 2004), em que são registradas todas as informações referentes aos danos das obras. Esses dados servem para alimentar um banco de dados onde o DNIT avalia as condições de conservação da obra (VERLY, 2015).

O manual de inspeção de pontes rodoviárias do DNIT, baseada na Instrução Normativa DNIT 001/2002 – PRO (BRASIL, 2002) e que substituiu as normas do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem DNER-PRO 123 (BRASIL, 1988) e DNER-PRO 123 (BRASIL, 1984), apresenta muitas similaridades com a NBR 9542 (ABNT, 2019), ainda acrescentando outro tipo de inspeção denominada intermediária (inspeção recomendada para monitorar uma deficiência suspeita ou já detectada), além da Inspeção cadastral (primeira inspeção realizada na obra, imediatamente após a sua construção, quando ainda se encontra disponível seus projetos e relatórios de fiscalização); Inspeção rotineira (é uma inspeção programada, segundo o DNIT são normalmente realizadas a cada dois anos) e Inspeção extraordinária (é uma inspeção não programada solicitada quando surge um dano estrutural excepcional, causado pelo homem ou pela natureza).

A metodologia do DNIT utiliza a atribuição de uma nota de avaliação para cada elemento componente de uma ponte, variando de 1 a 5 conforme a gravidade das manifestações patológicas (BRASIL, 2004). O Quadro 3 mostra os critérios para atribuição de notas técnicas.

Quadro 5 – Instruções para atribuição de notas de avaliação. (continua)

Nota	Danos no elemento/insuficiência estrutural	Ação Corretiva	Condição de estabilidade	Classificação das condições da ponte
5	Não há danos nem insuficiência estrutural.	Nada a fazer.	Boa	Obra sem problemas
4	Há alguns danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural.	Nada a fazer; apenas serviços de manutenção	Boa	Obra sem problemas importantes
3	Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.	A recuperação da obra pode ser postergada, devendo-se, porém, neste caso, colocar-se o problema em observação sistemática.	Boa aparentemente	Obra potencialmente problemática Recomenda-se acompanhar a evolução dos problemas através das inspeções rotineiras, para detectar, em tempo hábil, um eventual agravamento da insuficiência estrutural.
2	Há danos gerando significativa insuficiência estrutural na ponte, porém não há ainda, aparentemente, um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) da obra deve ser feita no curto prazo.	Sofrível	Obra problemática Postergar demais a recuperação da obra pode levá-la a um estado crítico, implicando também sério comprometimento da vida útil da estrutura. Inspeções intermediárias são recomendáveis para monitorar os problemas.
1	Há danos gerando grave insuficiência estrutural na ponte; o elemento em questão encontra-se em estado crítico, havendo um risco tangível de colapso	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) - ou alguma substituição da obra – devendo ser feita sem tardar	Precária	Obra crítica Em alguns casos, pode configurar uma situação de emergência, podendo a recuperação da obra ser acompanhada de medidas preventivas especiais, tais como: restrição de carga na ponte, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramentos provisórios, instrumentação com deslocamentos, leituras contínuas de deformações.

Fonte DNIT 010/2004-PRO (BRASIL, 2004).

A nota final da ponte corresponde a menor dentre as notas recebidas pelos seus elementos com função estrutural (BRASIL, 2004).

3 METODOLOGIA

3.1 Método da Pesquisa

Pretendendo estudar sobre o estado de conservação de OAE's, para contribuir para recuperação e/ou reparo das mesmas, é possível dizer que a presente pesquisa, através dos conceitos que Gil (2017) apresenta em seu livro, pode ser classificada como um estudo de caso aplicado, de caráter exploratório que aborda técnicas de experimentação, posto que, durante a inspeção das estruturas foram aplicadas fichas de inspeção, e foram realizados ensaios visando coletar o máximo de informações acerca da estrutura em análise.

Neste contexto, definiu-se como campo empírico a Linha Tronco Centro da Estrada de Ferro de Pernambuco e nela as Obras de Artes Especiais, que foram vistoriadas considerando seu tipo, delimitadas em pontes e viadutos do trecho tombado através do Decreto Estadual. Por se tratar de uma escolha não-aleatória das OAE's, a amostra adotada para o trabalho é considerada do tipo não probabilística.

3.2 Revisão sistemática

Foi realizada uma revisão sistemática para identificar, selecionar e avaliar criticamente todas as pesquisas disponíveis e relevantes relacionando-a com a questão da pesquisa, através da coleta e análise dos dados desses estudos, para assim conduzir uma avaliação justa do tópico de pesquisa, por se tratar de um método rigoroso, confiável e auditável. Inclui um protocolo de busca realizada para que outros pesquisadores interessados possam repetir a revisão. O protocolo seguido durante a configuração deste trabalho consiste em uma mescla dos modelos propostos por Biolchini *et al.* (2005) e Kitchenham (2004).

O protocolo de revisão sistemática a ser descrito foi montado e revisado na fase de planejamento e aplicado na fase de execução e análise de resultados da revisão. Seus principais pontos são apresentados.

Objetivo: Identificar e investigar os métodos e técnicas existentes de avaliação do estado geral de conservação de OAE's em concreto armado.

Formulação da pergunta: Quais são os métodos e técnicas existentes de avaliação do estado geral de conservação de OAE's em concreto armado?

- **Questão Primária:** Quais são os principais métodos de inspeção de OAE's?
- **Questão Secundária:** Quais são os ensaios existentes para avaliar o estado geral de conservação das OAE's em concreto armado?

Intervenção: Métodos de inspeção para avaliação do estado geral de conservação das OAE's em concreto armado.

Controle: Coleção de artigos e outros trabalhos levantados e relacionados em revisões bibliográficas de dissertações de mestrado, teses de doutorado, Normas e livros relacionados à área da pesquisa.

População: Pesquisadores que realizam trabalhos de avaliação do estado geral de conservação das OAE's em concreto armado e também pesquisadores de outras áreas de conhecimento que apresentam metodologias de avaliação em outros tipos de sistemas e podem servir como referência.

Resultados: Visão profunda e abrangente dos métodos, parâmetros e ensaios para avaliar o estado geral de conservação das OAE's em concreto armado.

Aplicação: Pesquisadores da área de inspeção em OAE's que desenvolvem métodos de avaliação das condições estruturais, funcionais e de durabilidade dessas estruturas em concreto armado.

Crítérios de seleção de fontes: disponibilidade de consulta de artigos através da *web*; presença de mecanismos de busca através de palavras-chave; garantia de resultados únicos através da busca de um mesmo conjunto de palavras-chave.

Fontes de busca: bases de dados eletrônicas indexadas, incluindo, por exemplo: JCR, SciELO, SCOPUS, Web of Science, Science Direct, ICE Proceedings e Journals, DRJI e DOAJ. Acessadas através do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de

Nível Superior – CAPES, a qual é uma biblioteca virtual que reúne e disponibiliza a instituições de ensino e pesquisa no Brasil o melhor da produção científica internacional (CAPES, 2021). A busca avançada foi realizada em janeiro de 2021, contemplando os artigos publicados até aquela data e através das opções de pesquisa fornecidas pelo portal, pesquisando no “assunto” e no “título” do artigo.

Idioma: preferencialmente a língua inglesa, por ser considerado o idioma aceito internacionalmente para artigos científicos na área do trabalho, mas artigos relevantes encontrados na língua portuguesa, publicados em eventos nacionais relacionados à área de pesquisa, também foram considerados.

Palavras-chave: *“Aerial photos”, “Assays”, “Bridge inspection”, “Bridges and viaducts”, “Bridges”, “Concrete”, “Corrosion”, “Infrared thermography”, “Inspection”, “Maintenance”, “Monitoring”, “Pathological manifestations”, “Pathologies”, “Rehabilitation”, “Structural damage”, “Structures”, “UAV”, “Visual inspection”.*

A escolha dos termos e suas relações se justificam pelo objetivo principal da revisão, que foi identificar os principais métodos de inspeção de OAE’s e os ensaios existentes para avaliar o estado geral de conservação das OAE’s em concreto armado.

Data de publicação: para realizar a revisão sistemática foram considerados artigos publicados a partir do ano 2015, para se buscar novas abordagens de avaliação. Mas eventualmente foram encontradas fontes clássicas com definições (Normas e livros com conceitos clássicos da engenharia) que também foram consideradas.

Critérios de inclusão de trabalhos:

- a) descrições que abordam normas de como é realizada inspeção de OAE’s em concreto armado;
- b) descrições de diferentes métodos de inspeção para avaliar o estado geral de conservação das OAE’s em concreto armado;
- c) abordagem de técnicas e ensaios que visam avaliar o estado geral de conservação das OAE’s em concreto armado;
- d) estudos experimentais que validam a aquisição de conhecimento;

- e) apresentação de metodologias de avaliação em outros tipos de estruturas de concreto armado, mas que sejam metodologias estabelecidas pelos pesquisadores da área de conhecimento;
- f) descrições de aplicações que utilizam as tecnologias disponíveis para avaliar as condições estruturais, funcionais e de durabilidade das OAE 's em concreto armado.

Critérios de exclusão de trabalhos:

- a) trabalhos publicados como artigo curtos ou pôsteres;
- b) trabalhos que apresentam avaliações sem apresentar o método utilizado;
- c) artigos cujo foco não corresponda à questão de pesquisa

Processo de Seleção Preliminar: Construir uma *string* de busca formada pela combinação das palavras-chave identificadas e submetê-las às máquinas de busca relacionadas. Os trabalhos recuperados das bases foram inicialmente armazenados em um *software* de organização de referências bibliográficas, e em seguida foi realizada a leitura dos resumos dos trabalhos armazenados. Após a leitura do resumo e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, o trabalho foi selecionado se confirmada a sua relevância pelo principal revisor (aluno), em seguida, ele foi selecionado para ser lido na íntegra. Se houve dúvida da relevância, os demais revisores foram consultados. Os textos foram documentados em um formulário de condução da revisão e selecionados com base nos critérios previamente definidos. Obras repetidas foram documentadas uma única vez.

Processo de Seleção Final: O processo de seleção final consistiu na leitura completa dos trabalhos selecionados na etapa de seleção preliminar. O revisor se encarregou de fazer uma síntese geral e algumas considerações sobre os resultados observados nos trabalhos selecionados, destacando-se métodos de inspeção da(s) OAE'(s) em concreto armado, como também os ensaios utilizados para avaliar as condições estruturais, funcionais e de durabilidade dessas estruturas, quando foi o caso. Para conceitos clássicos provenientes de livros, teses de doutorado e dissertações de mestrado da área, foram realizados fichamentos de conteúdo acompanhado de um fichamento de citações.

Sumarização dos resultados: Por meio dos critérios definidos para seleção dos estudos, os artigos encontrados durante a revisão, sendo eles incluídos ou excluídos, foram todos agrupados

em uma tabela, primeiramente organizados pelo método de inspeção aplicado, e em segundo, pelos ensaios empregados para avaliar das OAE's em concreto armado. As seguintes informações foram extraídas de cada artigo incluído: finalidade da investigação, método usado na inspeção e na avaliação das OAE's de concreto armado, classificação do método de inspeção (ensaios estatísticos e dinâmicos, modelo matemático teórico-experimental, monitoração e análise experimental dinâmica), se o método experimental ou normatizado.

3.3 Método de inspeção

O trecho de estudo trata-se de um segmento tombado da LTCPE, localizado no município de Gravatá, onde foi verificado o estado de conservação dos 6 viadutos em concreto armado que compõem o trecho. As inspeções foram realizadas entre os meses de abril de 2021 a julho de 2021.

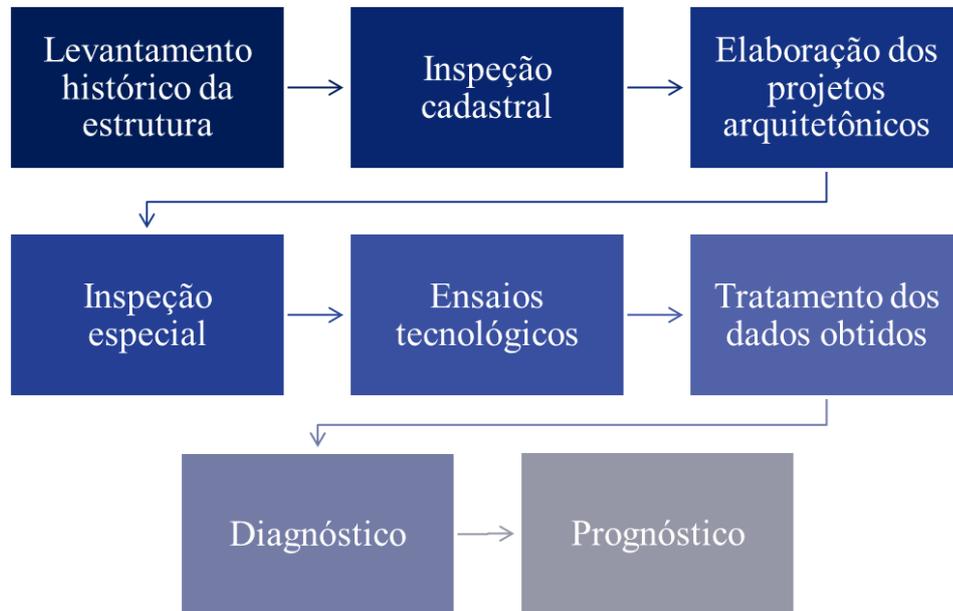
Com o intuito de realizar de forma sistemática o estudo em questão foi adotado o método de levantamento prescrito pela NBR 9452 (ABNT, 2019), que caracteriza os procedimentos para inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto.

Os procedimentos previstos nesta norma são usualmente adotados no Brasil para identificar e diagnosticar as principais anomalias existentes nas estruturas em questão. A rotina deste método teve início com uma inspeção cadastral (preliminar) e foi posteriormente realizada uma inspeção detalhada, como descreve a NBR 9452 (ABNT, 2019, p. 5), apresentando o “mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis da OAE”, com a incorporação de ensaios de campo.

Por fim, classificou-se as estruturas atribuindo notas de acordo com os parâmetros estabelecidos tanto pela NBR 9452 (ABNT, 2019) quanto pela instrução normativa do DNIT 001/2002 – PRO (BRASIL, 2004), para fins de comparação.

As principais etapas desenvolvidas foram (Figura 4):

Figura 4 – Fluxograma de inspeção.



Fonte: Autor.

- (1) Levantamento histórico da estrutura – registrar o contexto geral em que a obra está inserida através de coleta de dados, organizando todo o material existente sobre a estrutura;
- (2) Inspeção cadastral – identificar a localização das estruturas e as características funcionais, além de indicar, classificar e quantificar a gravidade de todos os sintomas visuais encontrados nas OAE's, com auxílio das fichas de inspeção de registros fotográficos e veículo aéreo não tripulado;
- (3) Elaboração dos projetos – desenvolver as plantas de vista das estruturas de estudo através do uso de *software AutoCAD ou similar*;
- (4) Inspeção especial – apresentar o mapeamento gráfico das anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis das OAE's, também através do uso de *software AutoCAD ou similar*;
- (5) Ensaios tecnológicos – realizar ensaios na estrutura para verificar se a mesma atende alguns critérios de durabilidade, e entender como as áreas estão sendo comprometidas pelas manifestações patológicas.

- (6) Tratamento dos dados obtidos – tratar os dados adquiridos e interpretar o comportamento das anomalias, garantindo que todas foram detectadas;
- (7) Diagnóstico – análise os resultados obtidos no estudo das manifestações patológicas, e entender sintomas, causas e origens com a intenção de iniciar estudos sobre possíveis alternativas que possam solucionar os problemas identificados.
- (8) Prognóstico – definição da conduta a ser adotada para garantir a integridade da estrutura e/ou aumentar quando possível sua vida útil.

3.4 Ensaios tecnológicos

Neste trabalho realizou-se ensaios tecnológicos nas estruturas para verificar se as mesmas atendiam alguns critérios de durabilidade estudados.

3.4.1 Levantamento com Veículo aéreo não tripulado – VANT (DRONE)

Com vistas a atingir os objetivos propostos nesta pesquisa, fez-se necessário, para facilitar o acesso de partes importantes da estrutura, adotar o uso de um veículo aéreo não tripulado para os registros fotográficos, pois dado que se tratam de estruturas de grandes dimensões, o uso do equipamento torna possível atingir áreas de difícil acesso.

O equipamento selecionado para o desenvolvimento da pesquisa foi o Mavic 2 Pro fabricado pela DJI (Figura 21). A escolha é fundamentada pela confiabilidade e bons resultados expostos na experiência piloto de diferentes autores (HUNG *et al.*, 2018; ÁLVARES, 2016; MELO JR., 2016; MELO, 2016; IRIZARRY; COSTA, 2016), com equipamentos iguais ou similares do mesmo fabricante.

Figura 5 – Veículo aéreo não tripulado VANT (DRONE).



Fonte: Autor.

Antes da realização da inspeção foi realizada uma visita preliminar para que fosse possível se ambientar com os locais das obras, verificando os locais de acesso para a equipe, os pontos de apoio para operador do drone, as condições de segurança de deslocamento, bem como as áreas adjacentes. Essa primeira visita também foi importante para dar base ao planejamento da inspeção, de forma a otimizar o trabalho e a coleta de imagens pelo drone.

A inspeção foi realizada por empresa especializada, em dois momentos distintos. No primeiro momento foram registrados vídeos e imagens referentes aos pilares, parte inferior (tabuleiro, cabeça dos pilares e aparelhos de apoio) e laterais da ponte. Em um segundo momento, foram capturadas imagens e vídeos do tabuleiro superior. Nem sempre foi possível uma inteira aproximação do viaduto, já que as correntes de ar existentes devido às características do vale formaram um obstáculo que poderia comprometer o equipamento. A solicitação do voo foi realizada no Departamento de Controle do Espaço Aéreo - DECEA através do Sistema SARPA, desenvolvido pelo departamento para solicitação de acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por Aeronaves Não Tripuladas.

As imagens foram obtidas exclusivamente na estrutura do Viaduto 3 e a análise das imagens obtidas pelas duas formas de inspeção visual (direta e com o drone) buscou entender as potencialidades e limitações a respeito da visualização dos elementos da estrutura por meio do

drone e como esse equipamento poderia contribuir com o método tradicional utilizado pela NBR 9452 (ABNT, 2019).

3.4.2 *Esclerometria*

O esclerômetro selecionado para a realização dos ensaios foi o esclerômetro analógico - Martelo de teste de concreto, Modelo HT225A (Figura 6). A escolha é fundamentada pelo fato de ser uma tecnologia acessível, amplamente comercializada no mercado brasileiro. A bigorna adotada foi uma especial de aço, dotada de guia de aço, com massa aproximada de 16 kg e dureza Brinell de 5000 MPa. O Quadro 6 relaciona as especificações técnicas do equipamento utilizado.

Figura 6 – Esclerômetro de reflexão.



Fonte: Autor.

Quadro 6 – Especificações Técnicas do Esclerômetro analógico - Martelo de teste de concreto.

Martelo para Teste de Concreto	Modelo HT225A
Peso Total	1 kg
Pedra Esmeril	1 unidade
Dimensões	60 x 280 mm
Energia de Impacto	2,207J (0.225 kgfm)
Teste de espessura	< 70 cm
Padrões	ISO/DIS 8045, EN 12504-2, ENV 206, DIN 1048 parte 2, ASTM C 805, ASTM D 5873, NFP 18-417, B 15-225, JGJ/T 23-2001, JIG 817-1993
Valor médio do martelo de teste de concreto na bigorna de aço	80±2

Fonte: Manual do equipamento.

Para realização do ensaio foram adotados os critérios estabelecidos na NBR 7584 (ABNT, 2012). Para avaliar a dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão e correlaciona-la com a resistência foram realizadas malhas de amostragem na superestrutura (laje), mesoestrutura (pilares) e infraestrutura (sapata), consideradas zonas críticas, para possibilitar a identificação de áreas com perda de resistência em comparação aos resultados encontrados no ensaio de resistência à compressão. Os seguintes passos foram desenvolvidos:

- **AFERIÇÃO DO ESCLERÔMETRO** - O equipamento foi aferido antes de sua utilização e a cada 300 impactos realizados, utilizando a bigorna especial de aço, efetuados no mínimo 10 impactos a cada inspeção. Se atentou para que nenhum índice esclerométrico individual obtido entre os 10 impactos diferisse do índice esclerométrico médio em ± 3 , ou que o índice esclerométrico apresentasse valor inferior a 75; nesse caso, o equipamento deveria ser ajustado. Quando o índice esclerométrico médio apresentou valor diferente de 80 na inspeção do equipamento foi aplicada a correção do índice esclerométrico seguindo a Equação 1 estabelecida pela norma:

$$k = \frac{n \cdot I_{Enom}}{\sum I_{Ei}} \quad (1)$$

Onde,

k : coeficiente de correção do índice esclerométrico;

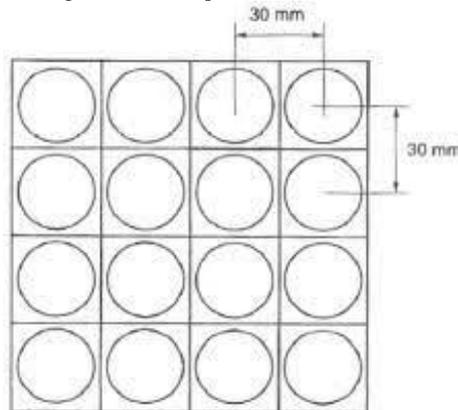
n : número de impactos;

I_{Enom} : índice esclerométrico nominal na bigorna de aço, fornecido pelo fabricante; e
 I_E : índice esclerométrico obtido em cada impacto do esclerômetro na bigorna de aço.

- EXECUÇÃO DO ENSAIO:

- (1) Superfície do concreto - inicialmente escolheram-se áreas onde as superfícies do concreto estavam secas ao ar, limpas e de preferência, planas. Evitando superfícies úmidas ou carbonatadas, que poderiam afetar os resultados.
- (2) Área de ensaio - por não apresentar revestimento, as áreas de ensaio foram preparadas através de polimento enérgico com disco de carborundum, por movimentos circulares para remover toda poeira a seco. Foram escolhidas áreas localizadas nas faces verticais dos elementos e convenientemente afastada das regiões afetadas por segregação, exsudação, concentração excessiva de armadura, juntas de concretagem, cantos, arestas, etc. Para cada área de ensaio foram demarcadas malhas quadriculadas geométrica e uniformemente distribuídas pela região da estrutura, estando a área compreendida em 8000 mm², respeitando o afastamento mínimo de 50 mm dos cantos e arestas das peças.
- (3) Impactos - para cada área de ensaio foram efetuados 16 impactos (Figura 7), uniformemente distribuídos, com distância mínima entre os centros de 2 pontos de impacto de 30 mm, atentando-se para que não fossem realizados mais de um impacto sobre o mesmo ponto e evitados impactos sobre armaduras, bolhas e áreas similares. As peças escolhidas possuíam dimensões superiores a 100 mm na direção do impacto e o esclerômetro foi aplicado na posição de maior inércia da peça ou componente estrutural.

Figura 7 – Esquema utilizado para realização do ensaio esclerométrico com 16 impactos.

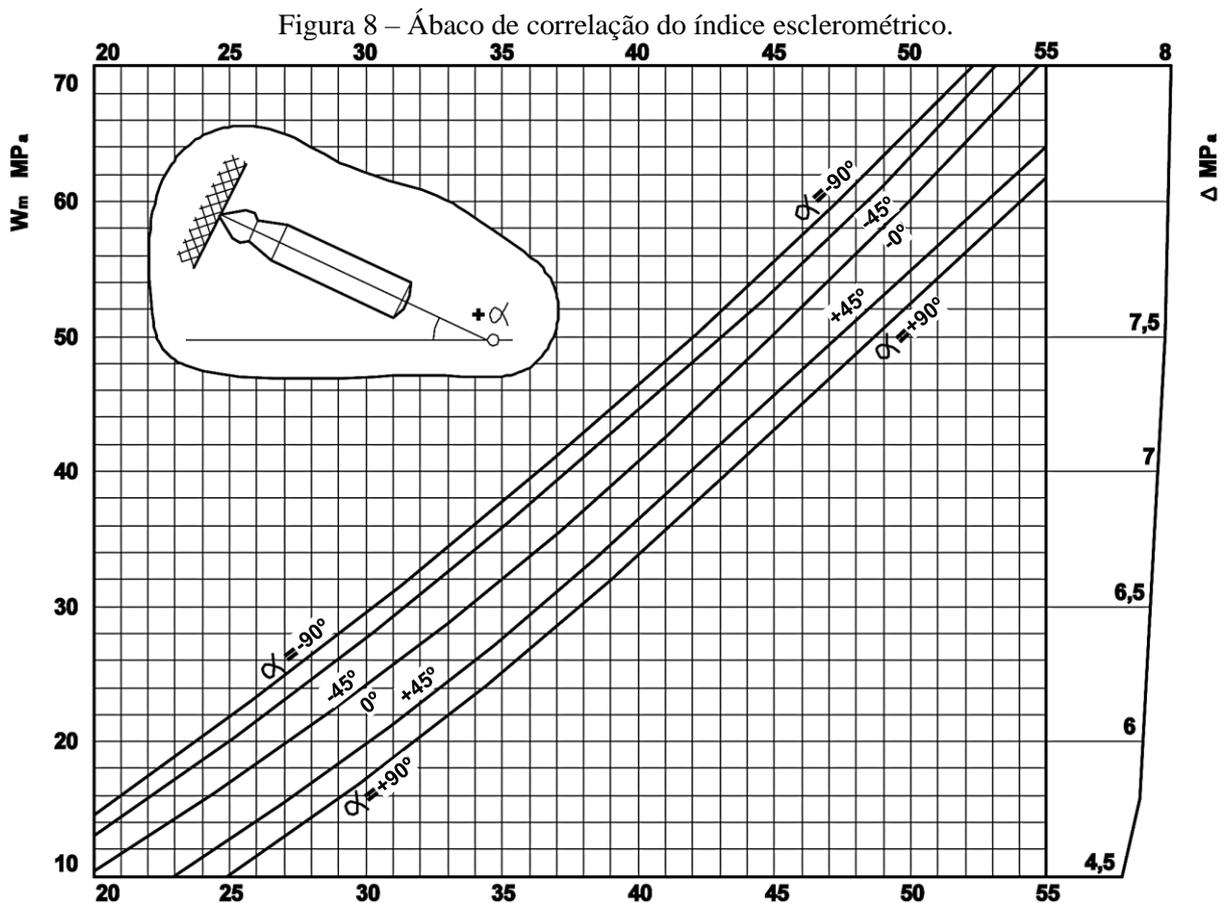


Fonte: NBR 7584 (2012).

(4) Resultados – calculou-se a média aritmética dos 16 valores individuais dos índices esclerométricos correspondentes a uma única área de ensaio, desprezando todo índice que diferiu 10% do valor médio obtido, sendo o índice esclerométrico médio final obtido com no mínimo cinco valores individuais. Quando não foi possível, o ensaio esclerométrico dessa área foi desconsiderado. De cada área de ensaio se obteve um único índice esclerométrico médio efetivo (I.E.), corrigido quando necessário, utilizando os coeficientes de correção fornecidos pelo fabricante.

- CÁLCULO DO VALOR DA RESISTÊNCIA EQUIVALENTE:

Com a obtenção dos valores e atendendo os requisitos que a NBR 7584 (ABNT, 2012) estabelece, analisou-se o ábaco esclerométrico disposto no esclerômetro (Figura 8) e obtiveram-se os valores da resistência mecânica equivalente em N/mm². A relação entre N/mm² e Megapascal (MPa), sendo a unidade comumente utilizada de 1:1.



Fonte: Manual do equipamento.

3.4.3 *Profundidade de carbonatação*

Para a realização desse procedimento utilizou-se a recomendação RILEM CPC-18 – *Measurement of hardened concrete carbonation depth* (1988).

- SOLUÇÃO - a solução ácido/base usada para detectar a frente carbonatada foi obtida através da utilização das proporções de 70% de álcool etílico, 29% de água destilada e 1% de fenolftaleína. O que resultou no indicador de pH com a seguinte fórmula: $C_{20}H_{14}O_4$. A fenolftaleína utilizada neste trabalho foi industrializada pela empresa ISOFAR Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda.

PROCEDIMENTO – As regiões avaliadas com a solução de fenolftaleína tiveram a superfície recém-rompida para realização do teste, a profundidade dos furos ou cavidades foi superior a mínimo de 1 cm ao recobrimento. Os pontos selecionados foram os mais críticos possíveis da estrutura. Após a aspersão de fenolftaleína para tratar a superfície, se a fração com indicador químico adquirisse coloração vermelha carmim em toda sua extensão, a solução alcalina teria sido eficaz para aumentar o pH da frente de carbonatação. Com isso, realizou-se a avaliação visual nas regiões de forma quantitativa. Os registros da profundidade de carbonatação auxiliaram nas discussões a respeito da eficiência da técnica de aspersão da solução de nitrato de prata, pois se sabe que por efeito da carbonatação há uma decomposição do Sal de Friedel, liberando os cloretos que se encontravam combinados, além da sobreposição da identificação dos sais de cloreto de prata e carbonato de prata com aplicação do método colorimétrico, alvo do presente estudo.

3.4.4 *Presença de cloretos livres*

Para a realização desse procedimento utilizou-se a recomendação do método colorimétrico de aspersão da solução de nitrato de prata com base na norma italiana UNI 7928 (1978) *Determinazione della penetrabilità dello tone cloruro*, publicada pela instituição normalizadora, *Unificazione Nazionale Italiana* – UNI.

- SOLUÇÃO – a solução foi de nitrato de prata ($AgNO_3$) na concentração de 0,1 mol/L, ou seja, 17 g de $AgNO_3$ para 1 litro de água destilada. O $AgNO_3$ utilizado neste trabalho

foi industrializado pela empresa ISO FAR Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda.

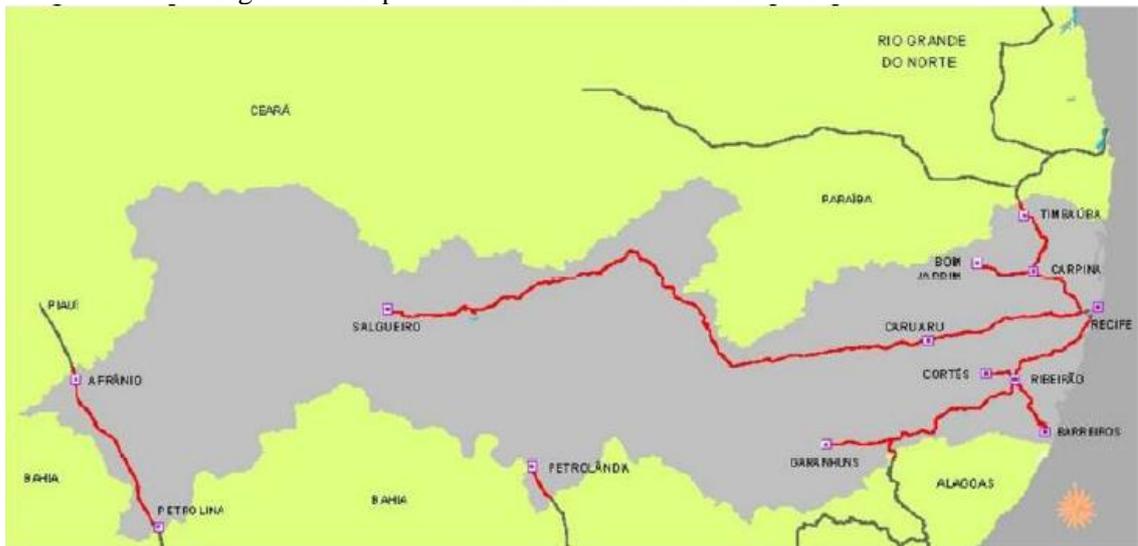
- **PROCEDIMENTO:** As regiões avaliadas com a solução de nitrato de prata também tiveram sua superfície rompida no instante em que foi realizado o teste. Assim, em seguida, foi aspergido a solução de nitrato de prata, para que os cloretos livres presentes no concreto reagissem com íons de prata, da solução de nitrato de prata, na presença de luz, formando um precipitado branco, o cloreto de prata (AgCl). A aplicação de nitrato de prata foi repetida para aumentar o contraste de cores entre as áreas com e sem cloretos. Realizou-se, então, avaliação visual nas amostras. Na região sem cloretos, ou com cloretos combinados, há a formação de um precipitado marrom, o óxido de prata, devido à reação entre os íons de prata e as hidroxilas presentes nos poros do material cimentício (KIM *et al.*, 2013).

3.5 Caracterização do Campo de Estudo

3.5.1 Breve Histórico da Estrada de Ferro de Pernambuco

Para trazer as inovações do mundo Moderno para Recife, Francisco do Rego Barros, o Conde da Boa Vista, tinha como objetivos aperfeiçoar a infraestrutura e reformular o padrão funcional e estético da província. Com isso, em 1855, no dia 7 de setembro, foi lançada a pedra fundamental, e mais tarde, devido às alterações de projeto do trajeto original que pretendia ligar Recife ao “São Francisco”, foi criada a Estrada de Ferro Central de Pernambuco (Tronco Centro), que partiria da Estação Central rumo a Petrolina (Figura 9), mas devido a questões orçamentárias avançou apenas até Salgueiro em 1960 (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN, 2009).

Figura 9 – Mapa de toda malha ferroviária em Pernambuco.



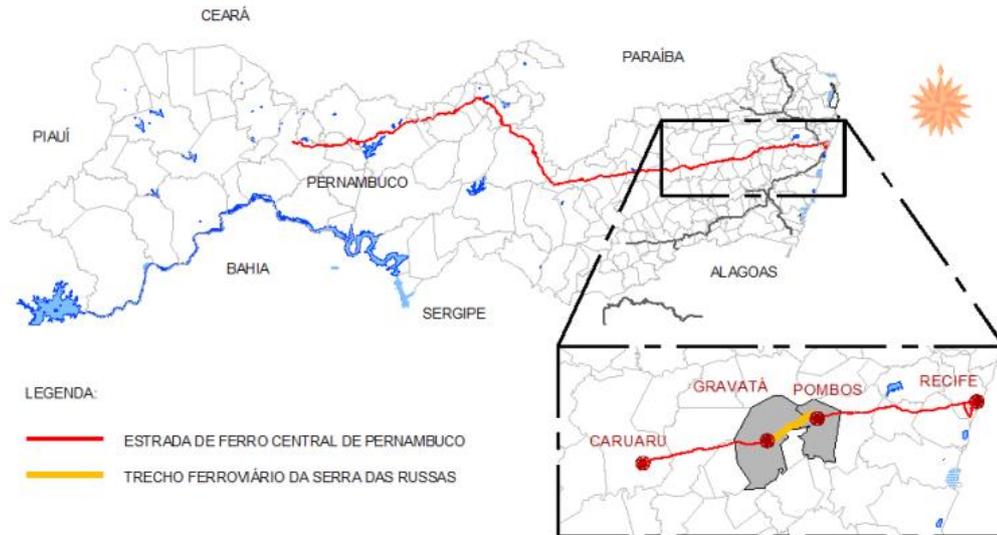
Fonte: IPHAN (2009).

Nessa época foi construída em Pernambuco, aproximadamente 1322 km de ferrovias, com 157 conjuntos ferroviários para atender a 60 municípios. A Estrada de Ferro de Pernambuco tem ao todo cinco linhas principais: a Linha Tronco Norte (Recife-Timbaúba com Ramal Bom Jardim), a Linha Tronco Centro (Recife-Salgueiro), a Linha Tronco Sul (Recife até a divisa com Alagoas e conta com os Ramais de Cortês, Barreiros e Garanhuns), a Estrada de Ferro Paulo Afonso (Vinha de Alagoas e atravessa por Jatobá e a antiga cidade de Petrolândia) e a Viação Ferroviária Federal Leste Brasileira (Parte de Salvador - BA até Teresina - PI, cruzando Petrolina e Afrânio) (IPHAN, 2009).

3.5.2 *Delimitação do Campo de estudo*

O campo de estudo, para desenvolvimento do presente trabalho, está localizado na LTCPE, mais precisamente no trecho de transposição da Serra das Russas em Gravatá, cuja forte relação histórica da população do Estado de Pernambuco levou ao seu tombamento como marco da engenharia que esta ferrovia do século XIX representa, em razão da construção de seus diversos túneis e viadutos, OAE's, que garantiram que o segmento da Estrada de Ferro Recife/Gravatá (Figura 10) fosse tombado através do Decreto Estadual n.º 11.238, de 1986, pelo governo estadual, iniciativa da Fundação do Patrimônio Histórico e Artístico de Pernambuco – FUNDARPE (PERNAMBUCO, 1986). O trecho em questão, localizado entre os quilômetros 51,54 (Pombos) e o 76,04 (Gravatá) da ferrovia, tem cerca de 25 km de extensão ao todo.

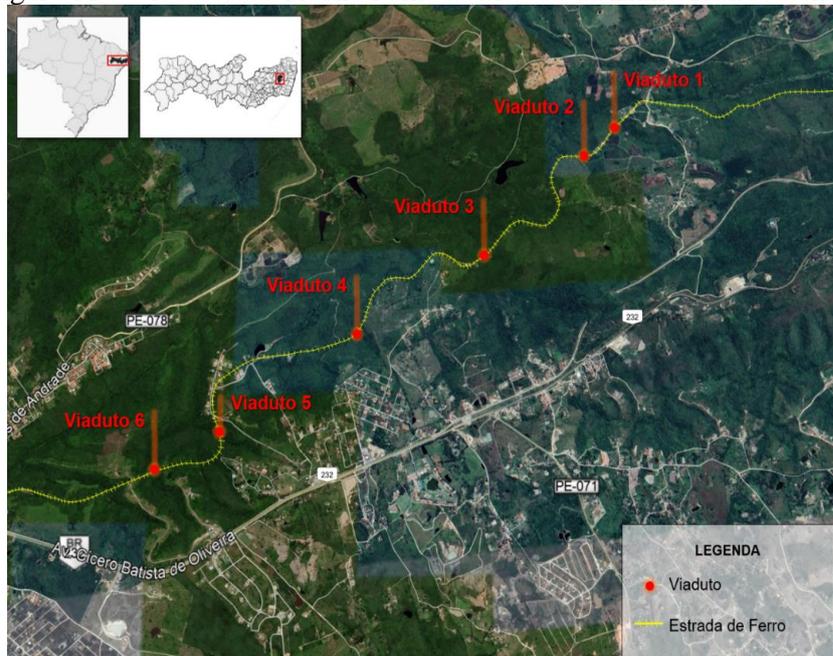
Figura 10 – Linha Tronco Centro Recife/Caruaru.



Fonte: Santos (2013).

No que diz respeito às OAE's (viadutos), foco do presente estudo, o trecho ferroviário de tombamento na Serra das Russas, com cerca de 17 quilômetros de extensão, foi construído no fim do século XIX entre 1886 e 1894. Neste período de 8 anos foram construídos os 21 túneis e 9 viadutos, que posteriormente se reduziram em 14 túneis e 6 viadutos, visto que 7 túneis foram transformados em céu aberto e 3 viadutos aterrados (Figura 11).

Figura 11 – Viadutos do Trecho Pombos/Gravata da Linha Tronco Centro.



Fonte: Adaptado do Google Maps (2020)⁵.

⁵ Google Maps. -8.193904237245006, -35.517487193131245. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-8.1824213,-35.5073169,4420m/data=!3m1!1e3>. Acesso em: 25 jan. 2020.

Os viadutos do trecho tiveram suas estruturas metálicas originais feitas em peças pré moldadas de ferro *pudlado*⁶, substituídas por concreto entre os anos de 1945 e 1947 pela Great Western. Em 1986, o trecho ferroviário compreendido entre Recife e Gravatá foi tombado, através do Decreto Estadual nº 11.238, por se constituir um marco da engenharia no estado de Pernambuco (PERNAMBUCO, 1986).

Figura 12 – Viaduto em estrutura metálica na serra das Russas, 1943.



Fonte: Acervo RFFSA (apud Santos (2013)).

De todos esses viadutos, o mais importante é o de n.4, onde o vão principal foi vencido por um arco de 45 m de vão de 27 m de flecha, engastado na rocha. A altura do trilho sobre o fundo da rocha é de 45 m. O escoramento desse arco necessitou nada menos de 462 m³ de madeira. A obra, que se caracteriza pelo seu aspecto leve, tornou-se realmente notável no gênero (Pinto, 1949, p. 200).

O Quadro 7 relaciona as OAE's (viadutos) com sua localização, ano de construção, estrutura e materiais que foram construídos.

⁶ “O Ferro pudlado é um produto siderúrgico obtido no estado pastoso com numerosas partículas de escória em virtude de seu processo particular de fabricação: vazado em moldes e depois "pudlado", quer dizer, agitado ao ar por meio de barras, para a redução do teor de carbono, com consequente formação do aço” (Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ferro_pudlado. Acessado em 05/11/2021).

Quadro 7 – Relação de Obras de Arte especiais e características construtivas (continua).

Obra de Arte	Localização	Data da construção	Estrutura/Materiais
Viaduto 1 (V1)	Distrito de Russinha (Cascavel) KM 64,782	1945	Viaduto em concreto armado de estrado superior, com 3 vãos, dois de 20,25 m e um de 22,00 m. Seu comprimento total é de 62,50 m e sua altura máxima é de 22,00 m.
Viaduto 2 (V2)	Distrito de Russinha (Cascavel) KM 65,191	1945-1946	Viaduto em concreto armado de estrado superior, com 3 vãos, dois de 20,25 m e um de 22,00 m. Seu comprimento total é de 62,50 m e sua altura máxima é de 21,50 m.
Viaduto 3 (V3)	Distrito de Russinha (Cascavel) KM 66,770	1945-1947	Viaduto em concreto armado de estrado superior, com 7 vãos, dois de 20,25 m, dois de 22,00 m, dois de 23,00 m e um de 40,00 m. Seu comprimento total é de 170,50 m e sua altura máxima é de 40,00 m. Possui 12 refúgios em concreto armado.
Viaduto 4 (V4)	Distrito de Russinha (Cascavel) KM 68,398	1945	Viaduto em concreto armado de estrado superior, com 4 vãos, dois de 20,25 m e dois de 22,00 m. Seu comprimento total é de 84,50 m e sua altura máxima é de 23,00 m. Possui seis refúgios em concreto armado.
Viaduto 5 (V5)	Distrito de Russinha (Cascavel) KM 70,039	1945	Viaduto em concreto armado de estrado superior, com 4 vãos, dois de 20,25 m e dois de 22,10 m. Seu comprimento total é de 84,70 m e sua altura máxima é de 31,00 m. Possui seis refúgios em concreto armado.
Viaduto 6 (V6)	Distrito de Russinha (Cascavel) KM 70,807	1945-1946	Viaduto em concreto armado de estrado superior, com 4 vãos, dois de 22,00 m, um de 20,25 m e um de 20,70 m. Seu comprimento total é de 84,95 m e sua altura máxima é de 24,00 m. Possui seis refúgios em concreto armado.

Fonte: Autor.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A seguir são fornecidas as informações gerais de caracterização da estrutura e de seus elementos. As informações constantes neste item foram levantadas pela inspeção visual de campo. Os dados levantados atendem às recomendações da NBR 9452 (ABNT, 2019) para uma vistoria inicial cadastral.

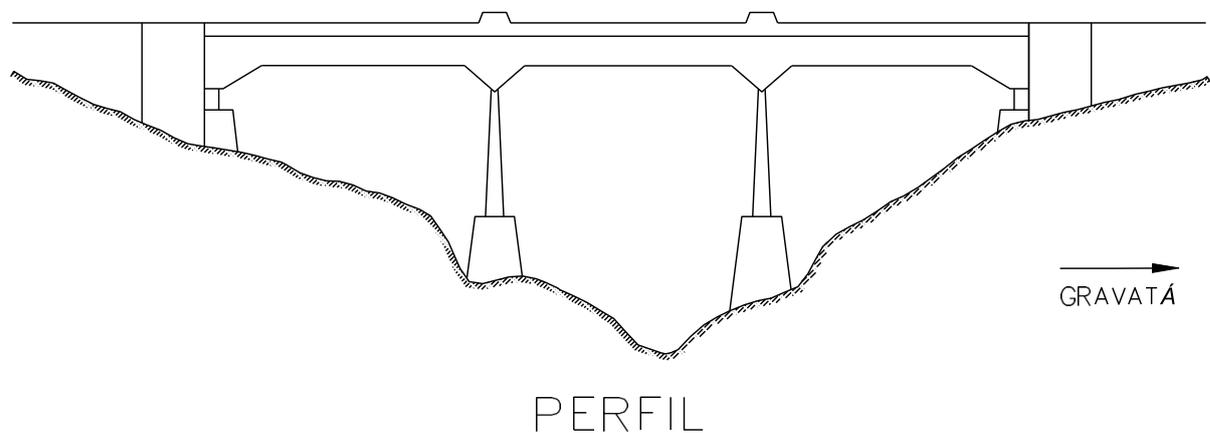
Primeiramente foram realizadas as pesquisas de projetos originais e vistorias anteriores. Não foi localizado o projeto original nem os registros de alguma vistoria. Apenas foram encontrados no IPHAN (2009) o croqui da estrutura e suas dimensões por escrito.

4.1 Estudo de caso: Viaduto 1

4.1.1 Características Construtivas

O esquema longitudinal em perfil da estrutura encontra-se na Figura 13.

Figura 13 – Esquema longitudinal em perfil do V1



Fonte: Autor.

A Figura 14 e a Figura 15 ilustram a estrutura e seu entorno.

Figura 14 – Vista lateral do V1, face norte.



Fonte: Autor.

Figura 15 – Vista superior do V1.



Fonte: Autor.

Alinhamento

- Alinhamento horizontal: estrutura de eixo reto;
- Declividade longitudinal: 0%;
- Sobrelevação transversal: 0%;

- Ângulo de transposição do obstáculo: travessia perpendicular ao eixo do vale, não há esconsidade.

Material e execução

- Estruturas de encontro, super, meso e infraestrutura: de concreto armado moldado “in loco” com forma de madeira bruta, com exceção da infraestrutura em alvenaria de pedras.

Superestrutura

- Sistema estrutural longitudinal: viga contínua;
- Sistema estrutural transversal: laje sobre duas vigas;
- Número e comprimento dos vãos: 3 (20,25 m – 20,25 m – 22,00 m);
- Altura máxima: 22,00 m
- Laje: monolítica;
- Vigas longarinas: seção transversal constante nos vãos, apresentando aumento de altura nos apoios intermediários;
- Vigas transversinas de apoio: solidárias à laje, com altura igual à das vigas longarinas;
- Vigas transversinas de vão: não solidárias à laje, com altura inferior à das vigas longarinas e espessura inferior às vigas transversinas de apoio.

Mesoestrutura

- Pilares: apoio nos encontros e dois apoios intermediários. Pilares de estrutura reticulada constituído por um pórtico de duas colunas, com linha de apoio sob o eixo das vigas longarinas;
- Aparelhos de apoio sobre os encontros (extremos): articulação fixa tipo Freyssinet;
- Aparelhos de apoio sobre os pilares (intermediários): articulação fixa tipo Freyssinet.

Infraestrutura

- Blocos: um bloco em alvenaria de pedras por linha de apoio (um sob cada pórtico). Dois blocos em cada extremo (um para apoios extremos da superestrutura e um para sustentação dos muros de arrimo e muros de ala dos encontros).

Extremos

- Estruturas de encontro: muro de arrimo, muros de ala e apoio da superestrutura;

- Taludes laterais: declividade variável de 1:3 a 1:5, com vegetação natural, sem proteção superficial.

Drenagem do tabuleiro e dos encontros

- Tabuleiro: buzinetes curtos de PVC no fundo da laje;
- Encontros: não há dispositivos de condução de águas pluviais ou de proteção superficial dos taludes contra erosão.

Juntas de dilatação do tabuleiro

- Juntas entre o tabuleiro e as estruturas de encontro sem vedação.

Elementos acessórios

- Refúgios: existem 4 refúgios (dois em cada lateral).

4.1.2 Quadro Patológico do Viaduto 1

Na vistoria, foram levantados os problemas existentes e os possíveis mecanismos de deterioração, suas causas e extensão. A seguir será mostrado o mapeamento das manifestações patológicas detectadas no viaduto, mediante a inspeção visual. Mas antes, a Figura 16 apresenta a legenda empregada na representação de tais manifestações.

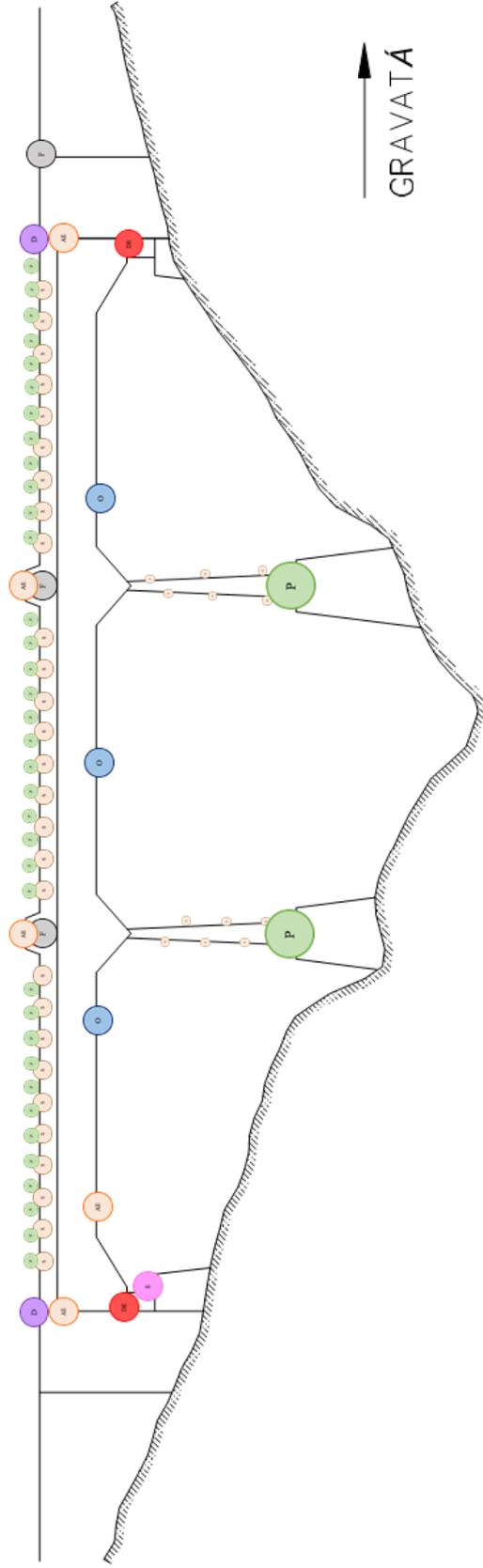
Figura 16 – Legenda das Manifestações patológicas detectadas.

	Acúmulo de água e/ou sedimentos		Infiltração
	Armadura exposta		Irregularidade no concreto
	Destacamento do concreto		Obstrução de dreno
	Deterioração do concreto		Presença de vegetação
	Eflorescência		Sujidades
	Fissuração no concreto		

Fonte: Autor.

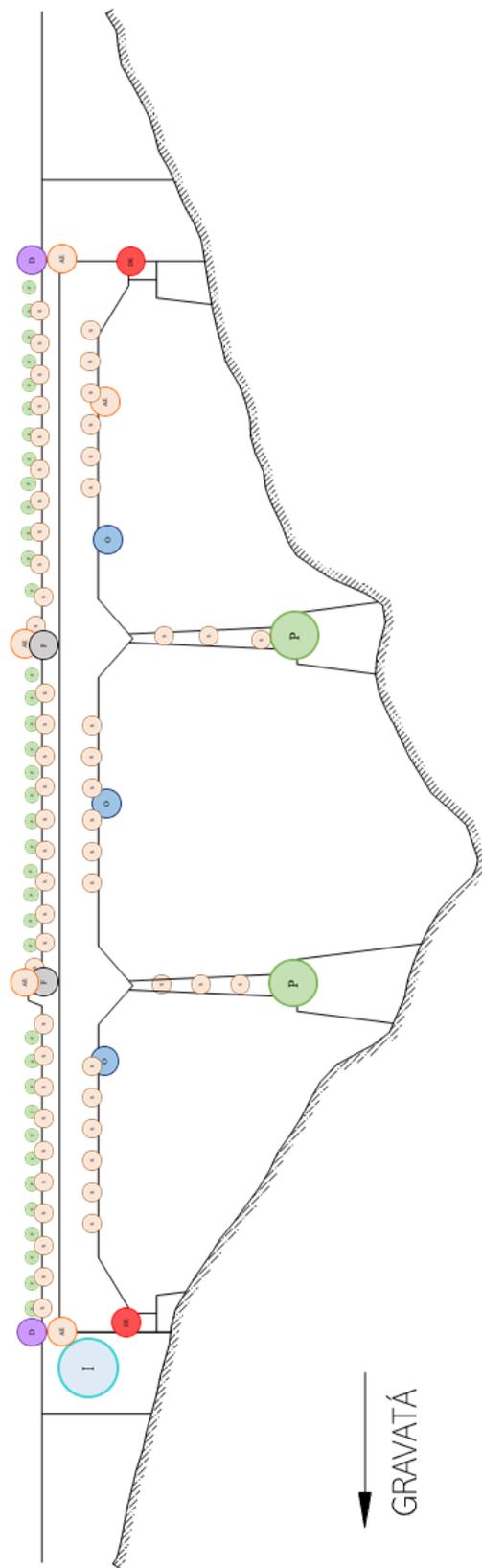
A e apresentam as vistas: lateral direita e lateral esquerda do viaduto, respectivamente.

Figura 17 – Mapeamento vista lateral direita/norte V1.



Fonte: Autor.

Figura 18 – Mapeamento vista lateral esquerda/sul V1.



Fonte: Autor.

As condições gerais de conservação da estrutura observada na inspeção preliminar são:

Superestrutura: corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos (Figura 19) e na região dos apoios intermediários das vigas longarinas. Fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas no fundo das vigas longarinas.

Figura 19 – Corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos do V1.



Fonte: Autor.

Mesoestrutura: os aparelhos de apoio encontram-se totalmente esmagados, em alguns casos impossibilitando a sua visualização e identificação. Concreto deteriorado e presença de vegetação, mofo e bolor.

Infraestrutura: presença de vegetação (Figura 20).

Figura 20 – Presença de vegetação nos blocos de infraestrutura do V1.



Fonte: Autor.

Encontros: as estruturas de contenção dos aterros dos encontros apresentam fissuras e trincas na parte superior das paredes laterais (Figura 21), com presença de umidade e os taludes dos encontros estão em boas condições.

Figura 21 – Fissuração no encontro, vista lateral direita do V1.



Fonte: Autor.

Drenagem: os tubos instalados no fundo da laje não parecem obstruídos, mas há manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem e em áreas próximas, revelando a ineficiência do sistema (Figura 22).

Figura 22 – Manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem no fundo da laje do V1.



Fonte: Autor.

Juntas de dilatação: não apresentam vedação. Não havia acesso para exame dos elementos de concreto sob as juntas.

Elementos acessórios: as estruturas dos refúgios apresentam fissuras e trincas nas laterais, com destacamento do concreto, concreto deteriorado e armaduras expostas (Figura 23). Fissura no engastamento entre os refúgios e a viga longitudinal.

Figura 23 – Refúgios apresentando fissuras e armaduras expostas no V1.



Fonte: Autor.

Embora seja possível identificar muitas manifestações patológicas no Viaduto 1, como demonstrado na e , a manifestação que se apresenta em estado mais avançado, quanto à gravidade, urgência e tendência de evolução é a corrosão, dado que é notável a perda de seção em elementos estruturais, nesse caso.

4.1.3 Ensaios tecnológicos

Nessa etapa foi definido o plano de amostragem para inspeção da estrutura e os métodos de ensaio apropriados para subsidiar um diagnóstico conclusivo.

- Esclerometria

A Tabela 2 apresenta os valores de índice esclerométrico (I.E.) obtidos no ensaio de esclerometria. Conforme recomendações da NBR 7584 (2012), as superfícies apresentaram ser planas e adequadas para o ensaio, estando secas e limpas, aumentando a precisão dos resultados. Após realizar o impacto nos 16 pontos avaliados, calculou-se a média eliminando os dados que apresentam dispersão maior do que 10% em torno da média (marcados com asterisco). Tomada

a média com o índice esclerométrico, o valor foi utilizado para obter a estimativa de resistência à compressão através do ábaco, considerando que a inclinação do aparelho está a +90.º.

Tabela 2 – Valores de reflexão obtidos no V1.

Elemento Pontos	Longarina 1 (P1)	Longarina 1 (P2)	Longarina 2 (P1)	Longarina 2 (P2)
1	31	35	42*	32*
2	37*	39*	36	33*
3	41*	37	37	38
4	31	36	39	34
5	28*	34	30*	42*
6	31	39*	32*	32*
7	22*	31*	30*	42*
8	30	29*	32*	40
9	30	39*	36	39
10	34	34	38	36
11	30	35	34	33*
12	33	30*	35	38
13	30	30*	48*	30*
14	31	34	42*	40
15	28*	38	42*	34
16	31	44*	34	45*
Média	31,13	35,25	36,69	36,75
Desvio Padrão	3,97	3,93	4,82	4,24
Lim. Inferior	28,01	31,73	33,02	33,08
Lim. Superior	34,24	38,78	40,36	40,43
Nova Média (I.E.)	31,09	35,38	36,13	37,38
Resistência MPa \cong	31,0	38,8	40,2	42,7

Fonte: Autor

Obtiveram-se os valores de índice esclerométrico médio efetivo (I.E.) entre 31,09 e 37,38 para as longarinas ensaiadas. Através do uso do ábaco esclerométrico do aparelho foi possível correlacionar esses valores, que demonstram médias de resistência equivalente entre 31,0 MPa e 42,7 MPa.

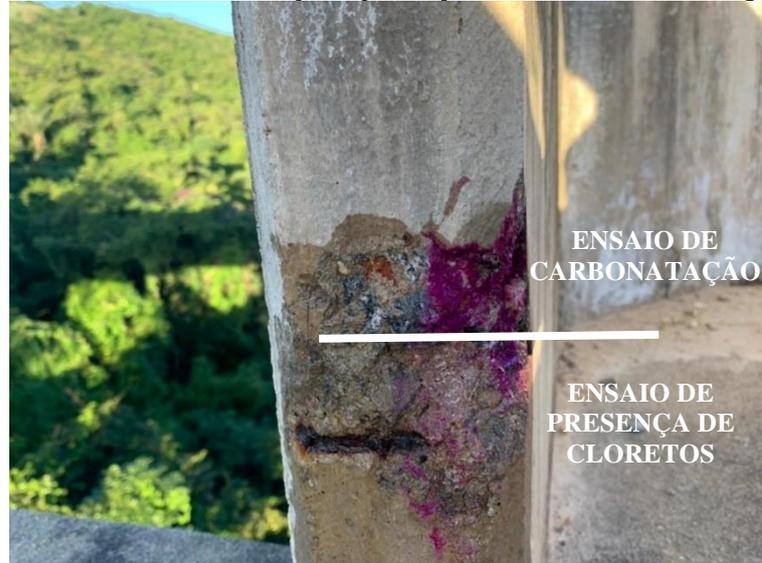
- Carbonatação e Presença de cloretos

A profundidade carbonatada do concreto foi avaliada depois na região recém-rompida sendo a frente de carbonatação registrada para determinado ponto. Foi observada a coloração vermelho carmim em todas as regiões tratadas, indicando ausência de carbonatação significativa, o que impossibilitou mensuração de frente de carbonatação nesse caso. Com relação à presença de

cloretos, não foi identificado precipitados na coloração branca, indicativo de cloretos livres, como apresentado na

Figura 24, correspondente a um dos refúgios, e Figura 25, correspondente a uma longarina.

Figura 24 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em um refúgio do V1.



Fonte: Autor.

Figura 25 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em uma longarina do V1.



Fonte: Autor.

Os registros de profundidade de carbonatação influenciam na correção dos dados obtidos em outros ensaios, como o de esclerometria e ainda auxiliam nas discussões a respeito da eficiência da técnica de aspersão da solução de nitrato de prata, visto que, os resultados da resistência superficial pelo I.E., com a introdução do CO_2 para o interior do concreto, ocorre a formação

de carbonato de cálcio nos poros, o que densifica a superfície do concreto, interferindo na reflexão do esclerômetro e como efeito da carbonatação há uma decomposição do Sal de Friedel, liberando os cloretos que se encontravam combinados, introduzir a incerteza quanto à mudança de cor neste método colorimétrico, além da sobreposição da identificação dos sais de cloreto de prata e carbonato de prata. (FRANÇA, 2011; SOUZA e GOMES, 2018).

Para os resultados de esclerometria e presença de cloreto na estrutura, não é possível dizer que a carbonatação influenciou significativamente, dado que não foi possível dizer que há carbonatação instaurada no concreto estudado. Embora estudos como o de Medeiros *et al.* (2013) e Medeiros Junior *et al.* (2015), não tenham feito o uso do método colorimétrico de aspersão de solução de nitrato de prata, que na opinião dos autores se mostrar ineficiente quanto ao fato de as estruturas estudadas apresentarem certo avanço da frente de carbonatação associada, ou não, à contaminação por cloretos. Pode-se observar também que, como nenhuma frente de carbonatação chegou até as armaduras, e apesar da velocidade de difusão do CO_2 diminuir com o tempo em função da densificação dos poros, com a transformação do Ca(OH)_2 em CaCO_3 , se torna interessante acompanhar nos próximos anos a evolução desse processo de carbonatação.

Com os resultados dos ensaios obtidos, a presença de concreto deteriorado com armaduras expostas não tem como provável causa a qualidade do concreto ou a presença de contaminação por cloretos, sendo a carbonatação ainda a causa mais provável, favorecida nesse caso pelos erros de projeto (recobrimento insuficiente) e/ou por erros de execução (cofragem, betonagem e descofragem).

4.1.4 Diagnóstico

Na avaliação das vistorias das obras realizadas para este estudo, foram utilizados os parâmetros de notas da norma NBR 9452 (ABNT, 2019) e para fins de comparação, também foram utilizados os parâmetros de notas da Instrução Normativa DNIT 001/2002 – PRO (BRASIL, 2004). As notas destas normas vão de 01 a 05, porém na norma brasileira não atribui um único valor a obra e sim avalia três parâmetros diferentes, estrutural, funcional e durabilidade enquanto a metodologia do DNIT utiliza a atribuição de uma nota de avaliação para cada elemento componente conforme com a gravidade das manifestações patológicas. As notas são atribuídas conforme os Quadro 3 e Quadro 5 dos itens 2.5.1 e 2.5.2.

Primeiramente foi atribuída para as obras estudadas a nota caso a tipologia da vistoria executada fosse a rotineira, sem considerar a realização de ensaios. Na Tabela 3 a nota estrutural atribuída foi 03 devido à presença de fissura em elemento secundário de concreto armado e armadura principal exposta e corroída em elemento principal com perda de seção. Embora se trate de um trecho desativado, não foram detectadas evidências que penalizassem a nota funcional para a estrutura de concreto, portanto o valor dado foi 05, mas essa nota não considera a ferrovia ou a sua capacidade de operação. Ao parâmetro de durabilidade a nota conferida foi 03 em consequência da presença de armadura exposta em elemento principal em processo evolutivo de corrosão. Em um segundo momento os dados obtidos nos ensaios foram considerados para a atribuição das notas. Os resultados não diminuíram a nota aferida nesse caso.

Tabela 3 – Notas do V1 conforme o método da NBR 9452 (ABNT, 2019).

PARÂMETRO	ANTES DOS ENSAIOS	APÓS OS ENSAIOS
ESTRUTURAL	3	3
FUNCIONAL	5	5
DURABILIDADE	3	3

Fonte: Autor.

As notas dos elementos da ponte, avaliados conforme o método do DNIT a partir da inspeção detalhada, estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Notas do V1 conforme o método do DNIT (BRASIL, 2004).

PARÂMETRO	DANO	ANTES DOS ENSAIOS	APÓS OS ENSAIOS
LAJE	Mancha de umidade	4	4
LONGARINAS	Desplacamento do concreto e corrosão	3	3
ENCONTRO	Fissuras	3	3
DRENAGEM	Mancha de umidade ao redor dos furos	3	3
PILARES	Presença de vegetação, mofo e bolor.	4	4
TRANSVERSINA	Mofo e bolor.	3	3
AP. APOIO	Esmagados	3	3
BLOCOS	Vegetação	3	3
NOTA FINAL		3	

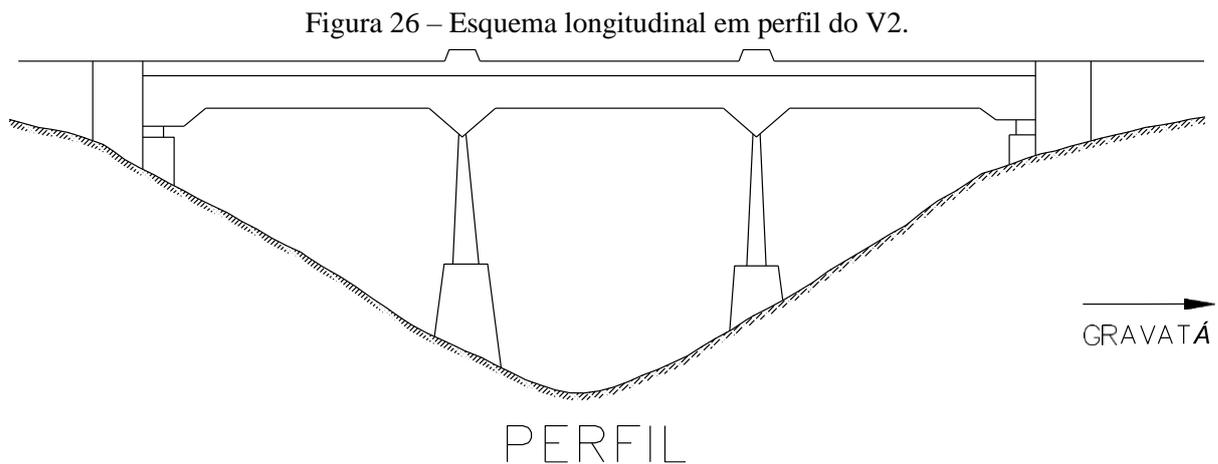
Fonte: Autor.

Alguns elementos poderiam ser classificados com notas diferentes dependendo da coluna que se considerasse do Quadro 5. Por exemplo, no caso das longarinas, na coluna Dano no elemento/ Insuficiência estrutural, seria classificada como possuindo alguns danos, mas sem sinais de que estivesse gerando insuficiência estrutural, possuindo dessa forma uma nota 4, já na coluna Ação corretiva, seria classificada como nota 3. Nesses casos optou-se pela nota menor que garantisse maior segurança. Desta forma, pode-se destacar a sensibilidade do método brasileiro a interferência de somente um defeito, pois o elemento mais danificado governa a nota final, 3. Sendo assim, a ponte foi classificada como estando boa aparentemente.

4.2 Estudo de caso: Viaduto 2

4.2.1 Características Construtivas

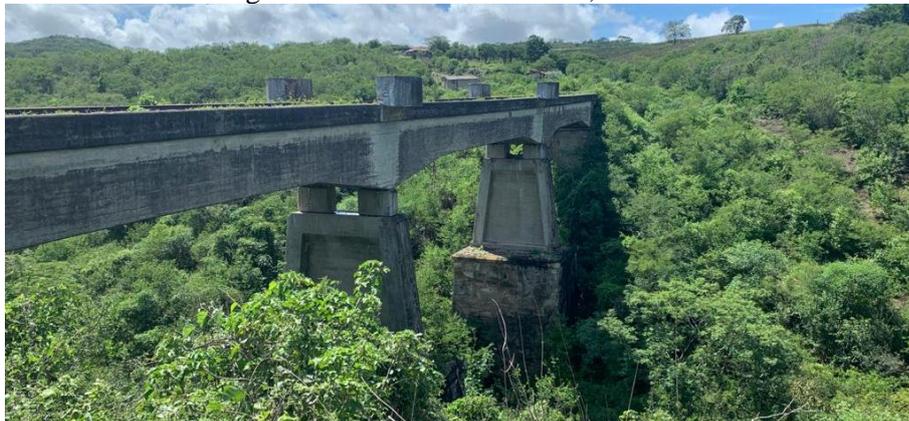
O esquema longitudinal em perfil da estrutura encontra-se na Figura 26.



Fonte: Autor.

A Figura 27 e a Figura 28 ilustram a estrutura e seu entorno.

Figura 27 – Vista lateral do V2, face sul.



Fonte: Autor.

Figura 28 – Vista superior do viaduto 2.



Fonte: Autor.

Alinhamento

- Alinhamento horizontal: estrutura de eixo levemente curvo;
- Declividade longitudinal: 0%;
- Sobrelevação transversal: 0%;
- Ângulo de transposição do obstáculo: travessia perpendicular ao eixo do vale, não há esconsidade.

Material e execução

- Estruturas de encontro, super, meso e infraestrutura: de concreto armado moldado “in loco” com forma de madeira bruta, com exceção da infraestrutura em alvenaria de pedras.

Superestrutura

- Sistema estrutural longitudinal: viga contínua;
- Sistema estrutural transversal: laje sobre duas vigas;
- Número e comprimento dos vãos: 3 (20,25 m – 20,25 m – 22,00 m)
- Altura máxima: 21,50 m
- Laje: monolítica;
- Vigas longarinas: seção transversal constante nos vãos, apresentando aumento de altura nos apoios intermediários;
- Vigas transversinas de apoio: solidárias à laje, com altura igual à das vigas longarinas;

- Vigas transversinas de vão: não solidárias à laje, com altura inferior à das vigas longarinas e espessura inferior às vigas transversinas de apoio.

Mesoestrutura

- Pilares: apoio nos encontros e dois apoios intermediários. Pilar-parede enrijecido, na linha de apoio sob o eixo das vigas longarinas;
- Aparelhos de apoio sobre os encontros (extremos): articulação fixa tipo Freyssinet;
- Aparelhos de apoio sobre os pilares (intermediários): articulação fixa tipo Freyssinet.

Infraestrutura

- Blocos: um bloco em alvenaria de pedras por linha de apoio (um sob cada pilar-parede); dois blocos em cada extremo (um para apoios extremos da superestrutura e um para sustentação dos muros de arrimo e muros de ala dos encontros).

Extremos

- Estruturas de encontro: muro de arrimo, muros de ala e apoio da superestrutura;
- Taludes laterais: declividade variável de 1:3 a 1:5, com vegetação natural, sem proteção superficial.

Drenagem do tabuleiro e dos encontros

- Tabuleiro: buzinetes curtos de PVC no fundo da laje;
- Encontros: não há dispositivos de condução de águas pluviais ou de proteção superficial dos taludes contra erosão.

Juntas de dilatação do tabuleiro

- Juntas entre o tabuleiro e as estruturas de encontro sem vedação.

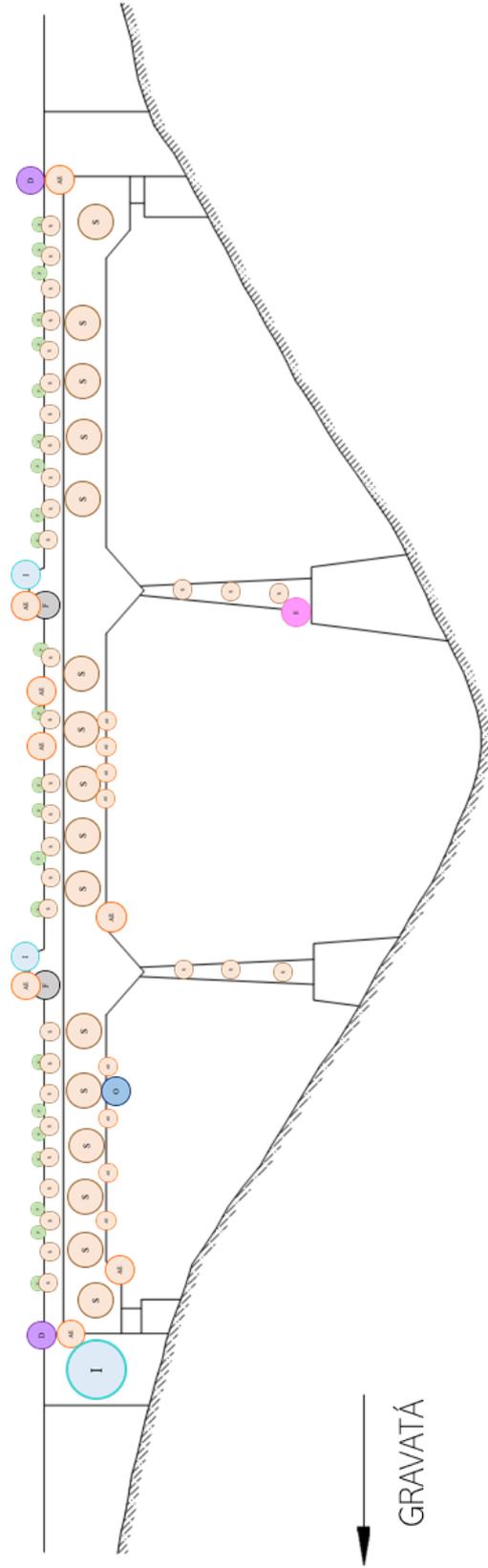
Elementos acessórios

- Refúgios: existem 4 refúgios (dois em cada lateral).

4.2.2 Quadro Patológico do Viaduto 2

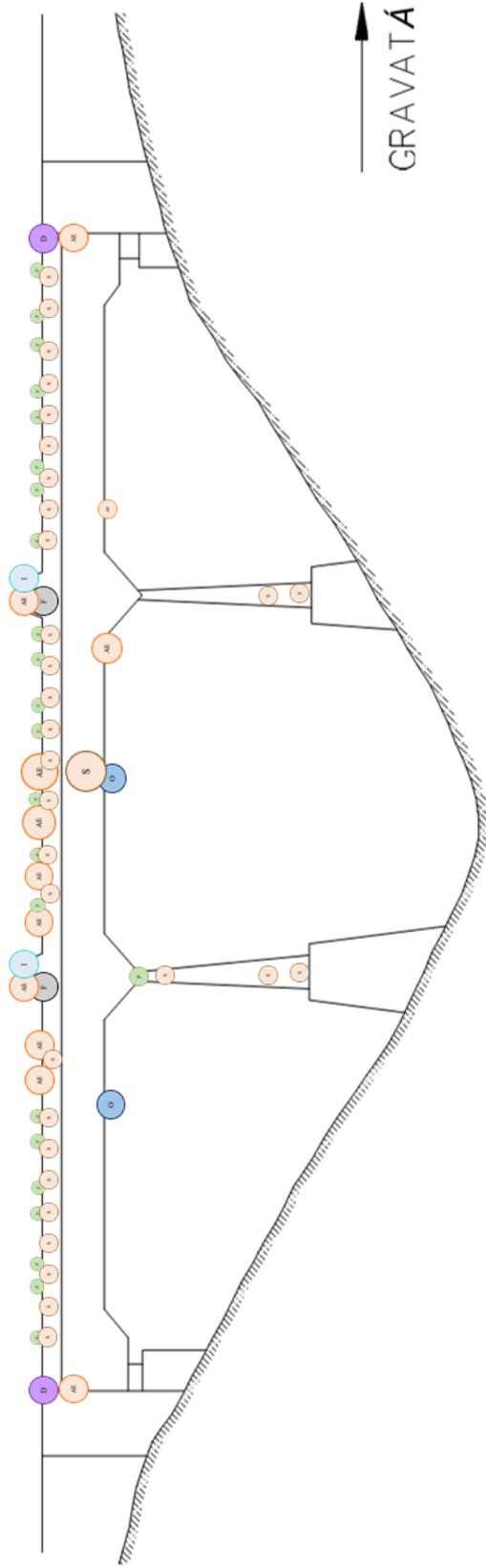
A seguir será mostrado o mapeamento das manifestações patológicas detectadas no viaduto, mediante inspeção visual. As Figura 29 e **Erro! Fonte de referência não encontrada.** a apresentam as vistas: lateral direita e lateral esquerda do viaduto, respectivamente.

Figura 29 – Mapeamento vista lateral direita/norte V2.



Fonte: Autor.

Figura 30 – Mapeamento vista lateral esquerda/sul V2.



Fonte: Autor.

As condições gerais de conservação da estrutura observada na inspeção preliminar são apresentadas a seguir.

Superestrutura: corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos e na região dos apoios intermediários das vigas longarinas. Fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas no fundo das vigas longarinas (Figura 31).

Figura 31 – Corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos do V2.



Fonte: Autor.

Mesoestrutura: os aparelhos de apoio móveis encontram-se totalmente esmagados (Figura 32), em alguns casos impossibilitando a sua visualização e identificação. Concreto deteriorado e presença de vegetação, mofo e bolor.

Figura 32 – Aparelhos de apoio esmagados no V2.



Fonte: Autor.

Infraestrutura: presença de vegetação e manchas brancas com indício de lixiviação (Figura 33).

Figura 33 – Presença de vegetação e manchas brancas indício de lixiviação no V2.



Fonte: Autor.

Aparelhos de apoio: os aparelhos de apoio móveis encontram-se totalmente esmagados, em alguns casos impossibilitando a sua visualização e identificação.

Encontros: as estruturas de contenção dos aterros dos encontros apresentam fissuras e trincas na parte superior das paredes laterais com presença de umidade e os taludes dos encontros estão em boas condições (Figura 34).

Figura 34 – Fissuração nas estruturas de dos encontros do V2.



Fonte: Autor.

Drenagem: os tubos instalados no fundo da laje não parecem obstruídos, mas há manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem e em áreas próximas, revelando a ineficiência do sistema (Figura 35).

Figura 35 – Manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem do V2.



Fonte: Autor.

Juntas de dilatação: não apresentam vedação. Não havia acesso para exame dos elementos de concreto sob as juntas.

Elementos acessórios: as estruturas dos refúgios apresentam fissuras e trincas nas laterais, com destacamento do concreto, concreto deteriorado e armaduras expostas (Figura 36). Fissura no engastamento entre os refúgios e a viga longitudinal.

Figura 36 – Refúgios apresentando fissuras e armaduras expostas no V2.



Fonte: Autor.

Embora seja possível identificar muitas manifestações patológicas no Viaduto 2, como demonstrado nas Figura 29 e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, a manifestação que se apresenta em estado mais avançado, quanto à gravidade, urgência e tendência de evolução também é a corrosão, uma vez que é notável a perda de seção em elementos estruturais, nesse caso.

4.2.3 Ensaios tecnológicos

Nessa etapa também se definiu o plano de amostragem para inspeção da estrutura e os métodos de ensaio apropriados para subsidiar um diagnóstico conclusivo.

- Esclerometria

A Tabela 5 apresenta os valores de índice esclerométrico (I.E.) obtidos no ensaio de esclerometria. Conforme recomendações da NBR 7584 (2012), as superfícies apresentaram serem planas e adequadas para o ensaio, estando secas e limpas, aumentando a precisão dos resultados. Após realizar o impacto nos 16 pontos avaliados, calculou-se a média eliminando os dados que apresentam dispersão maior do que 10% em torno da média (marcados com asterisco). Tomada a média com o índice esclerométrico, o valor foi utilizado para obter a estimativa de resistência à compressão através do ábaco, considerando que a inclinação do aparelho está a +90°.

Tabela 5 – Valores de reflexão obtidos no V2.

Elemento Pontos	Longarina 1 (P1)	Longarina 1 (P2)	Longarina 2 (P1)	Longarina 2 (P2)
1	36*	42	40	42
2	40*	34*	40	50*
3	32	49*	46*	41
4	26*	40	30*	43
5	32	39	40	39
6	34	38	30*	41
7	34	38	36	36*
8	34	39	38	42
9	32	46*	43*	44
10	37*	44	32*	45
11	32	40	42*	42
12	25*	40	31*	42
13	36*	38	44*	41
14	32	34*	45*	44
15	26*	40	40	40
16	30	39	28*	44
Média	32,38	40,00	37,81	42,25
Desvio Padrão	4,00	3,74	5,71	2,93
Lim. Inferior	29,14	36,00	34,03	38,03
Lim. Superior	35,61	44,00	41,59	46,48
Nova Média (I.E.)	32,44	39,75	33,43	39,33
Resistência MPa \cong	33,3	47,6	35,1	46,8

Fonte: Autor

Assim, obtiveram-se os valores de índice esclerométrico médio efetivo (I.E.) entre 32,44 e 39,75 para as longarinas ensaiadas. Através do uso do ábaco do aparelho foi possível correlacionar esses valores, que demonstram uma resistência equivalente entre 33,3 MPa e 47,6 MPa.

- Carbonatação e Presença de cloretos

Assim como na estrutura anterior, foi observada a coloração vermelho carmim em todas as regiões tratadas, indicando ausência de carbonatação significativa, o que impossibilitou mensuração de frente de carbonatação. Com relação à presença de cloretos, não foi identificado precipitados na coloração branca, indicativo de cloretos livres, como apresentado na Figura 37, correspondente a um dos refúgios, e Figura 38, correspondente a uma longarina. Não houve indicativo de carbonatação do concreto, sendo interessante acompanhar nos próximos anos a evolução desse processo de carbonatação, apesar da velocidade de difusão do CO₂ diminuir com o tempo em função da densificação dos poros.

Figura 37 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em um refúgio do V2.



Fonte: Autor.

Figura 38 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em uma longarina do V2.



Fonte: Autor.

Com os resultados dos ensaios obtidos, a presença de concreto deteriorado com armaduras expostas não tem como provável causa a qualidade do concreto ou a presença de contaminação por cloretos, sendo a carbonatação ainda a causa mais provável, favorecida também nesse caso pelos erros de projeto (recobrimento insuficiente) e/ou por erros de execução (cofragem, betonagem e descofragem).

4.2.4 Diagnóstico

Pelo método da ABNT na Tabela 6 a nota estrutural atribuída foi 03 devido à presença de fissura em elemento secundário de concreto armado e armadura principal exposta e corroída em elemento principal com perda de seção. Embora se trate de um trecho desativado não foram detectadas evidências que penalizassem a nota funcional para a estrutura de concreto, portanto o valor dado foi 05, mas essa nota não considera a ferrovia ou a sua capacidade de operação. Ao parâmetro de durabilidade a nota conferida foi 03 em consequência da presença de armadura exposta em elemento principal em processo evolutivo de corrosão. Em um segundo momento os dados obtidos nos ensaios foram considerados para a atribuição das notas. Os resultados não diminuíram a nota já aferida nesse caso.

Tabela 6 – Notas do V2 conforme o método da NBR 9452 (ABNT, 2019).

PARÂMETRO	ANTES DOS ENSAIOS	APÓS OS ENSAIOS
ESTRUTURAL	3	3
FUNCIONAL	5	5
DURABILIDADE	3	3

Fonte: Autor.

As notas dos elementos da ponte, avaliados conforme o método do DNIT a partir da inspeção detalhada, estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Notas do V2 conforme o método do DNIT (BRASIL, 2004).

PARÂMETRO	DANO	ANTES DOS ENSAIOS	APÓS OS ENSAIOS
LAJE	Mancha de umidade com deslocamento e corrosão	3	3
LONGARINAS	Deslocamento do concreto e corrosão	3	3
ENCONTRO	Fissuras e umidade	3	3
DRENAGEM	Mancha de umidade ao redor dos furos	3	3
PILARES	Presença de eflorescência, mofo e bolor.	3	3
TRANSVERSINA	Mofo e bolor.	3	3
AP. APOIO	Esmagados	3	3
BLOCOS	Vegetação	3	3
NOTA FINAL		3	

Fonte: Autor.

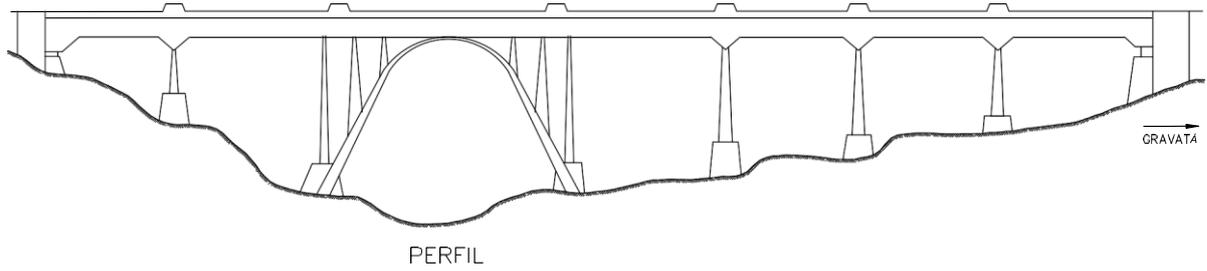
Alguns elementos poderiam ser classificados com notas diferentes dependendo da coluna que se considerasse do Quadro 5, como no caso anterior. Optando pela nota menor que garantisse maior segurança, a nota final será 3. Sendo assim, a ponte foi classificada como estando boa aparentemente.

4.3 Estudo de caso: Viaduto 3

4.3.1 Características Construtivas

O esquema longitudinal em perfil da estrutura encontra-se na Figura 39.

Figura 39 – Esquema longitudinal em perfil do V3



Fonte: Autor.

Da Figura 40 até Figura 44 ilustra-se a estrutura e seu entorno.

Figura 40 – Vista lateral do V3, face norte.



Fonte: Autor.

Figura 41 – Vista lateral do V3, face sul.



Fonte: Autor.

Figura 42 – Vista superior do V3.



Fonte: Autor.

Figura 43 – Vista aérea do V3.



Fonte: Autor.

Figura 44 – Vista inferior do V3.



Fonte: Autor.

Alinhamento

- Alinhamento horizontal: estrutura de eixo reto;
- Declividade longitudinal: 0%;
- Sobrelevação transversal: 0%;
- Ângulo de transposição do obstáculo: travessia perpendicular ao eixo do vale, não há esconsidade.

Material e execução

- Estruturas de encontro, super, meso e infraestrutura: de concreto armado moldado “in loco” com forma de madeira bruta, com exceção da infraestrutura em alvenaria de pedras.

Superestrutura

- Sistema estrutural longitudinal: viga contínua;
- Sistema estrutural transversal: laje sobre duas vigas;
- Número e comprimento dos vãos: 7 (20,25 m – 23,00 m – 40,00 m – 23,00 m – 20,25 m – 22,00 m – 23,00 m)
- Altura máxima: 40,00 m
- Laje: monolítica;
- Vigas longarinas: seção transversal constante nos vãos, apresentando aumento de altura nos apoios intermediários;
- Vigas transversinas de apoio: solidárias à laje, com altura igual à das vigas longarinas;
- Vigas transversinas de vão: não solidárias à laje, com altura inferior à das vigas longarinas e espessura inferior às vigas transversinas de apoio.

Mesoestrutura

- Pilares: apoio nos encontros, seis apoios intermediários e mais quatro apoios sobre uma estrutura reticulada em arco. Pilares de estrutura reticulada constituído por um pórtico de duas colunas, com linha de apoio sob o eixo das vigas longarinas;
- Aparelhos de apoio sobre os encontros (extremos): articulação fixa tipo Freyssinet;
- Aparelhos de apoio sobre os pilares (intermediários): articulação fixa tipo Freyssinet.

Infraestrutura

- Blocos: bloco em concreto armado sobre o bloco em alvenaria de pedras por linha de apoio (um sob cada pilar de estrutura reticulada). Dois blocos em cada extremo (um para apoios extremos da superestrutura e um para sustentação dos muros de arrimo e muros de ala dos encontros).

Extremos

- Estruturas de encontro: muro de arrimo, muros de ala e apoio da superestrutura;
- Taludes laterais: declividade variável de 1:3 a 1:5, com vegetação natural, sem proteção superficial.

Drenagem do tabuleiro e dos encontros

- Tabuleiro: buzinetes curtos de PVC no fundo da laje;
- Encontros: não há dispositivos de condução de águas pluviais ou de proteção superficial dos taludes contra erosão.

Juntas de dilatação do tabuleiro

- Juntas entre o tabuleiro e as estruturas de encontro sem vedação.

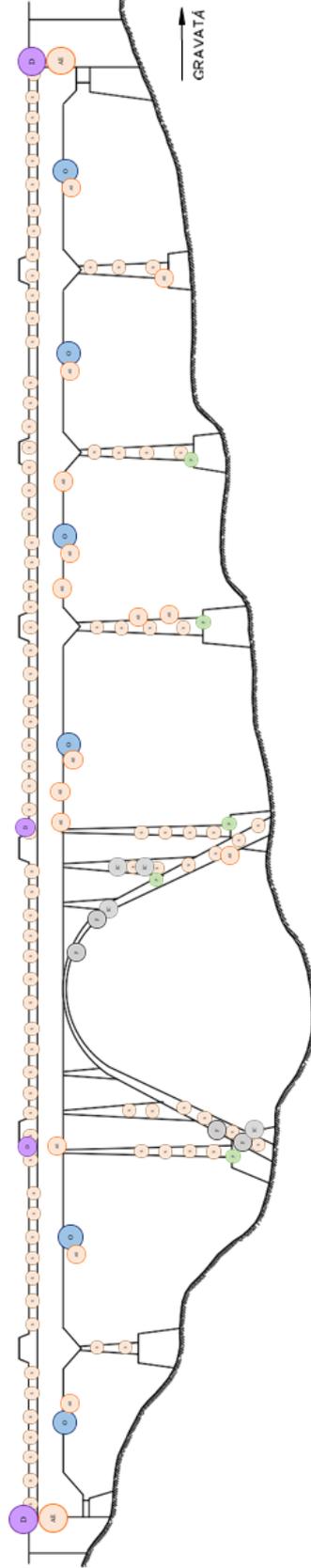
Elementos acessórios

- Refúgios: existem 12 refúgios (seis em cada lateral).

4.3.2 *Quadro Patológico do Viaduto 3*

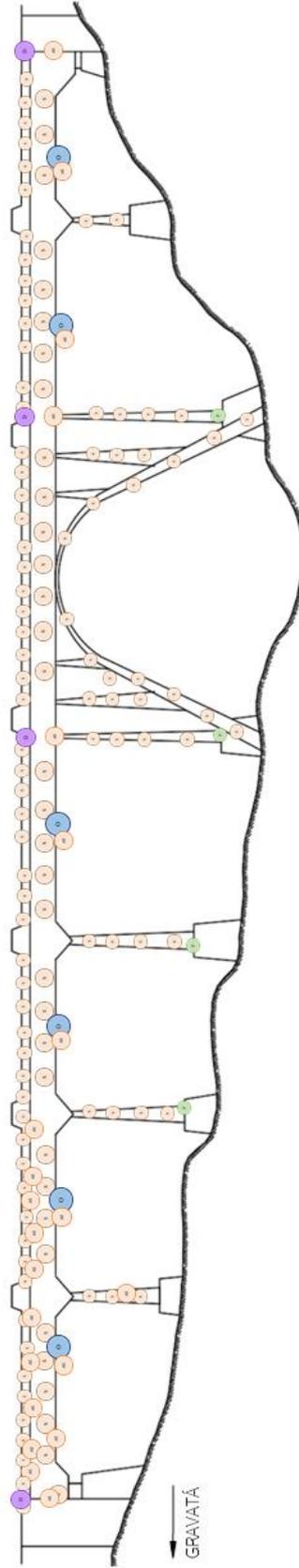
A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e a Figura 46 apresentam as vistas lateral direita e lateral esquerda do mapeamento das manifestações patológicas do viaduto, detectadas no viaduto mediante inspeção visual e com auxílio do VANT.

Figura 45 – Mapeamento vista lateral direita/norte V3.



Fonte: Autor.

Figura 46 – Mapeamento vista lateral esquerda/sul V3.



Fonte: Autor.

As condições gerais de conservação da estrutura observada na inspeção preliminar são apresentadas a seguir.

Superestrutura: corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos e na região dos apoios intermediários das vigas longarinas (Figura 47 e Figura 48). Fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas no fundo das vigas longarinas

Figura 47 – Corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos próximos ao encontro, no V3.



Fonte: Autor.

Figura 48 – Corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos centrais do V3.



Fonte: Autor.

Mesoestrutura: os aparelhos de apoio móveis encontram-se totalmente esmagados, em alguns casos impossibilitando a sua visualização e identificação. Concreto deteriorado e presença de vegetação, mofo e bolor. Pilares de estrutura reticulada com armadura exposta por falta de cobertura (Figura 49).

Figura 49 – Armadura exposta por erro de concretagem, aço sem cobertura suficiente no V3.



Fonte: Autor.

Infraestrutura: corrosão de armaduras em estágio avançado nos blocos. Fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas (Figura 50).

Figura 50 – Corrosão de armaduras em estágio avançado nos blocos do V3.



Fonte: Autor.

Encontros: as estruturas de contenção dos aterros dos encontros apresentam fissuras e trincas na parte superior das paredes laterais, com presença de umidade e os taludes dos encontros estão em boas condições.

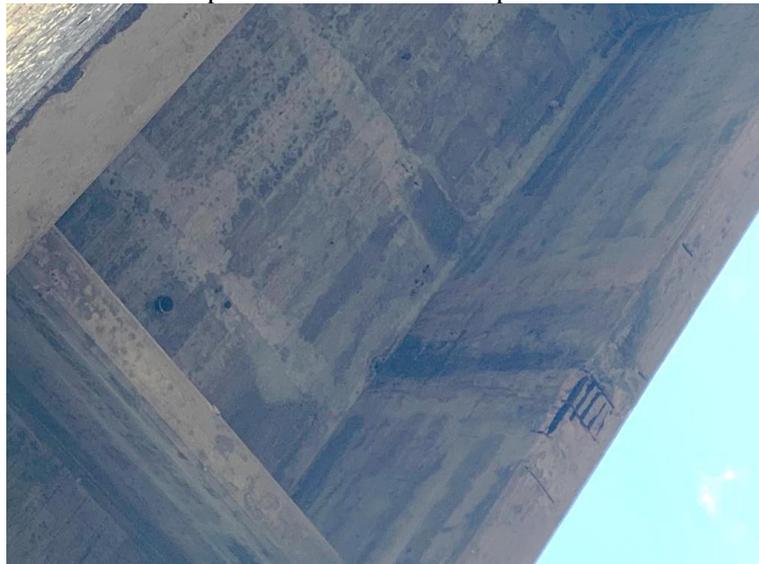
Drenagem: os tubos instalados no fundo da laje, não parecem obstruídos, mas há manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem e em áreas próximas, revelando a ineficiência do sistema (Figura 51 e Figura 52).

Figura 51 – Manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem do V3.



Fonte: Autor.

Figura 52 – Corrosão com deslocamento do concreto próximo aos furos de drenagem V3.



Fonte: Autor.

Juntas de dilatação: não apresentam vedação. Não havia acesso para exame dos elementos de concreto sob as juntas.

Elementos acessórios: as estruturas dos refúgios apresentam fissuras e trincas nas laterais, com destacamento do concreto, concreto deteriorado e armaduras expostas (Figura 53 e Figura 54).

Figura 53 – Refúgios apresentando fissuras e armaduras expostas no V3



Fonte: Autor.

Figura 54 – Refúgios apresentando fissuras e armaduras expostas no V3 (detalhe)



Fonte: Autor.

Embora seja possível identificar muitas manifestações patológicas no Viaduto 3 (**Erro! Fonte d e referência não encontrada.** e Figura 46), em especial por estar situado num vale mais descoberto, a manifestação que se apresenta em estado mais avançado, quanto à gravidade,

urgência e tendência de evolução também é a corrosão, uma vez que é notável a perda de seção em elementos estruturais, nesse caso.

4.3.3 Ensaios tecnológicos

Nessa etapa também se definiu o plano de amostragem para inspeção da estrutura e os métodos de ensaio apropriados para subsidiar um diagnóstico conclusivo.

- Esclerometria

A Tabela 8 apresenta os valores de índice esclerométrico (I.E.) obtidos no ensaio de esclerometria. Conforme recomendações da NBR 7584 (ABNT, 2012), as superfícies apresentaram serem planas e adequadas para o ensaio, estando secas e limpas, aumentando a precisão dos resultados. Após realizar o impacto nos 16 pontos avaliados, calculou-se a média, eliminando os dados que apresentam dispersão maior do que 10% em torno da média (marcados com asterisco). Tomada a média com o índice esclerométrico, o valor foi utilizado para obter a estimativa de resistência à compressão através do ábaco, considerando a inclinação do aparelho.

Tabela 8 – Valores de reflexão obtidos no V3.

Elemento Pontos	Longarina 1 (L1p1) +90°	Longarina 2 (L1p1) +90°	Pilar (P1) 0°	Pilar 10 (P10) 0°	Bloco 10 (P10) +90°
1	45*	45	52	48	37
2	40	44	48	49	33
3	42	49	42*	43	43*
4	38	50	48	44	30*
5	41	46	58*	44	45*
6	40	54*	51	48	39
7	38	48	62*	46	36
8	36*	42	46	42	36
9	43	51	40*	36*	36
10	41	44	54*	36*	32
11	42	46	44	48	37
12	41	48	38*	46	33
13	38	37*	46	52*	32
14	44	51	48	44	33
15	38	51	48	42	30*
16	36*	38*	36*	46	36
Média	40,19	46,50	47,56	44,63	35,50
Desvio Padrão	2,60	4,60	6,72	4,18	4,09
Lim. Inferior	36,17	41,85	42,81	40,16	31,95
Lim. Superior	44,21	51,15	52,32	49,09	39,05
Nova Média	40,46	47,31	47,89	45,38	35,00
Resistência MPa \cong	49,2	60	59,7	53,6	38,2

Fonte: Autor

Obtiveram-se os valores de índice esclerométrico médio efetivo (I.E.) entre 35,00 e 47,31 para as longarinas ensaiadas. Esses valores demonstram uma resistência equivalente entre 38,2 MPa e 60 MPa.

- Carbonatação e Presença de cloretos

Assim como na estrutura anterior, foi observada a coloração vermelho carmim em todas as regiões tratadas na mesoestrutura do viaduto, mesmo não estando com a cor bem acentuada, indica ausência de carbonatação significativa, o que impossibilitou mensuração de frente de carbonatação nessa região, com relação à presença de cloretos, não foi identificado precipitados na coloração branca, indicativo de cloretos livres, como apresentado na Figura 55, correspondente a um dos pilares. Na superestrutura, há indicativo de carbonatação com frente máxima de 1,00 centímetro, sendo o cobrimento nas áreas ensaiadas em média de 1,50 centímetros (Figura 56 e Figura 57), correspondente a longarina. Com relação à presença de cloretos, não foi identificado precipitados na coloração branca (Figura 58).

Figura 55 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos no pilar 10 do V3.



Fonte: Autor.

Figura 56 – Ensaio de carbonatação em uma longarina do V3.



Fonte: Autor.

Figura 57 – Cobrimento na longarina do V3.



Fonte: Autor.

Figura 58 – Ensaio de presença de cloretos em longarina do V3.



Fonte: Autor.

Nesse caso, os registros de profundidade de carbonatação irão interferir nos dados obtidos para esclerometria e introduzir a incerteza quanto à mudança de cor no método de presença de cloretos por aspersão de nitrato de Prata. Corroborando com os estudos como o de Medeiros *et al.* (2013) e Medeiros Junior *et al.* (2015), o método colorimétrico para identificação de cloretos livres se mostrou ineficiente para esta estrutura.

Pode-se observar também que a frente de carbonatação chegou até as armaduras, e nesse caso, segundo Song e Kwon (2007) e Malvya e Chaudary (2006) apud Sales *et al.* (2018), pode estar havendo a formação de uma rede de poros mais grosseiros, devido à decomposição do silicato de cálcio hidratado (C-S-H) na pasta de cimento, indicado pela má qualidade do concreto encontrado. Em relação à dureza superficial, Possan (2010) afirma também que a resistência do concreto está proporcionalmente ligada ao tamanho e quantidade dos poros do concreto endurecido. Portanto, as resistências estimadas encontradas através do ensaio de esclerometria, não podem ser consideradas as resistências do concreto quando adensado inicialmente, sendo necessário a extração de testemunhos para obter melhores resultados.

Com os resultados dos ensaios obtidos, a presença de concreto deteriorado com armaduras expostas tem como provável causa a carbonatação, mesmo assim, a identificação de erros de projeto (recobrimento insuficiente) e/ou por erros de execução (cofragem, betonagem e descofragem) de forma ainda mais acentuada que nas demais estruturas, também se mostra como facilitadores no processo de aparecimento das manifestações patológicas identificadas.

4.3.4 Diagnóstico

Pelo método da ABNT na Tabela 9 a nota estrutural atribuída foi 03 devido à presença de fissura em elemento secundário de concreto armado e armadura principal exposta e corroída em elemento principal com perda de seção, com muitos pontos de deslocamento de concreto na superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura. Não foram detectadas evidências que penalizassem a nota funcional para a estrutura de concreto, mas pelas características estruturais que apresenta a nota 04 foi dada, uma vez que a operação da ferrovia pode agravar os problemas encontrados. Para o parâmetro de durabilidade a nota conferida foi 03 em consequência da presença de armadura exposta em elemento principal em processo evolutivo de corrosão. Em um segundo momento os dados obtidos nos ensaios foram considerados para a atribuição das notas. Os resultados mostram que a vida útil da estrutura está comprometida, mesmo não

estando em uma região de alta agressividade ambiental, a ação do tempo associada aos efeitos da carbonatação em toda a estrutura acelera o processo de deterioração, assim foram minoradas as notas estruturais e de durabilidade, bem como as notas dos elementos da superestrutura no método DNIT.

Tabela 9 – Notas do V3 conforme o o método da NBR 9452 (2019).

PARÂMETRO	ANTES DOS ENSAIOS	APÓS OS ENSAIOS
ESTRUTURAL	3	2
FUNCIONAL	4	4
DURABILIDADE	3	2

Fonte: Autor.

As notas dos elementos da ponte, avaliados conforme o método do DNIT a partir da inspeção detalhada, estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Notas do V3 conforme o método do DNIT (BRASIL, 2004).

PARÂMETRO	DANO	ANTES DOS ENSAIOS	APÓS OS ENSAIOS
LAJE	Mancha de umidade com deslocamento e corrosão	3	2
LONGARINAS	Deslocamento do concreto e corrosão	3	2
ENCONTRO	Deslocamento do concreto e corrosão	3	2
DRENAGEM	Mancha de umidade ao redor dos furos	3	3
PILARES	Corrosão e armadura aparente por insuficiência no cobrimento.	3	3
TRANSVERSINA	Manchas de umidade, mofo e bolor.	3	3
AP. APOIO	Esmagados	3	3
BLOCOS	Corrosão de armaduras em estágio avançado.	3	3
NOTA FINAL		2	

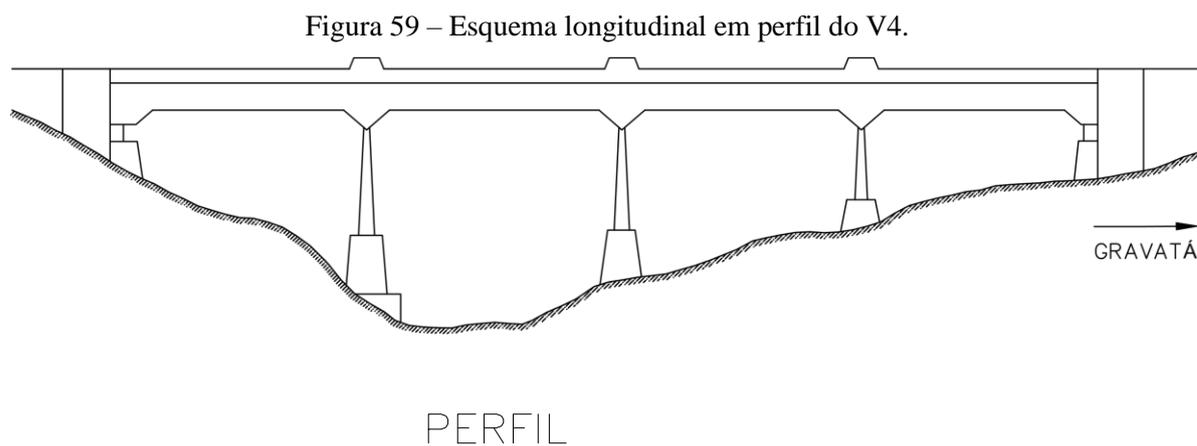
Fonte: Autor.

Alguns elementos poderiam ser classificados com notas diferentes dependendo da coluna que se considerasse do Quadro 5, como no caso anterior. Optando pela nota menor que garantisse maior segurança, a nota final será 2. Sendo assim, a ponte foi classificada como estando sofrível.

4.4 Estudo de caso: Viaduto 4

4.4.1 Características Construtivas

O esquema longitudinal em perfil da estrutura encontra-se na Figura 59. A Figura 60 ilustra a estrutura.



Fonte: Autor.

Figura 60 – Vista superior do V4.



Fonte: Autor.

Alinhamento

- Alinhamento horizontal: estrutura de eixo reto;
- Declividade longitudinal: 0%;
- Sobrelevação transversal: 0%;
- Ângulo de transposição do obstáculo: travessia perpendicular ao eixo do vale, não há esconsidade.

Material e execução

- Estruturas de encontro, super, meso e infraestrutura: de concreto armado moldado “in loco” com forma de madeira bruta, com exceção da infraestrutura em alvenaria de pedras.

Superestrutura

- Sistema estrutural longitudinal: viga contínua;
- Sistema estrutural transversal: laje sobre duas vigas;
- Número e comprimento dos vãos: 4 (22,00 m – 22,00 m – 20,25 m – 20,25 m);
- Altura máxima: 23,00 m
- Laje: monolítica;
- Vigas longarinas: seção transversal constante nos vãos, apresentando aumento de altura nos apoios intermediários;
- Vigas transversinas de apoio: solidárias à laje, com altura igual à das vigas longarinas;
- Vigas transversinas de vão: não solidárias à laje, com altura inferior à das vigas longarinas e espessura inferior às vigas transversinas de apoio.

Mesoestrutura

- Pilares: apoio nos encontros e dois apoios intermediários. Pilares de estrutura reticulada constituído por um pórtico de duas colunas, com linha de apoio sob o eixo das vigas longarinas;
- Aparelhos de apoio sobre os encontros (extremos): articulação fixa tipo Freyssinet;
- Aparelhos de apoio sobre os pilares (intermediários): articulação fixa tipo Freyssinet.

Infraestrutura

- Blocos: um bloco em alvenaria de pedras por linha de apoio (um sob cada pÓrtico). Dois blocos em cada extremo (um para apoios extremos da superestrutura e um para sustentação dos muros de arrimo e muros de ala dos encontros).

Extremos

- Estruturas de encontro: muro de arrimo, muros de ala e apoio da superestrutura;
- Taludes laterais: declividade variável de 1:3 a 1:5, com vegetação natural, sem proteção superficial.

Drenagem do tabuleiro e dos encontros

- Tabuleiro: buzinetes curtos de PVC no fundo da laje;
- Encontros: não há dispositivos de condução de águas pluviais ou de proteção superficial dos taludes contra erosão.

Juntas de dilatação do tabuleiro

- Juntas entre o tabuleiro e as estruturas de encontro sem vedação.

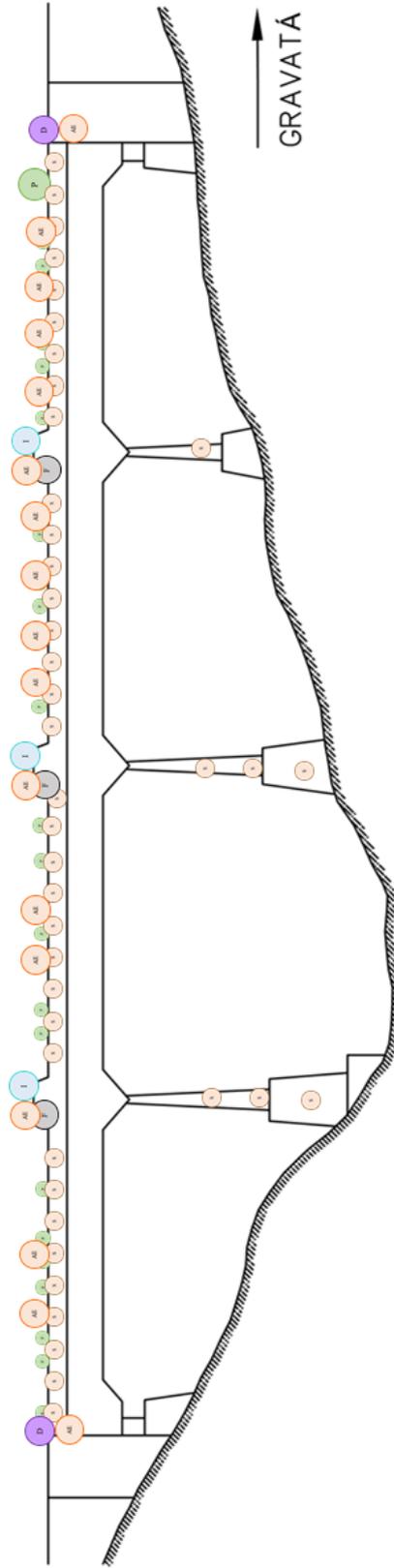
Elementos acessórios

- Refúgios: existem 6 refúgios (três em cada lateral).

4.4.2 Quadro Patológico do Viaduto 4

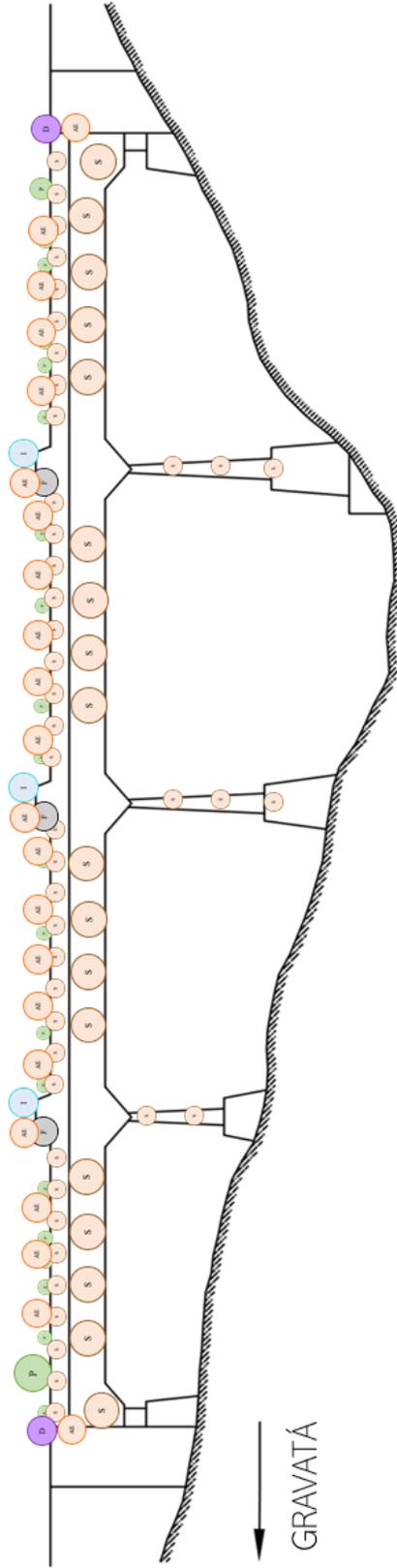
A Figura 61 e a Figura 62 apresentam as vistas lateral direita e lateral esquerda do mapeamento das manifestações patológicas do viaduto.

Figura 61 – Mapeamento vista lateral direita/norte V4.



Fonte: Autor.

Figura 62 – Mapeamento vista lateral esquerda/sul V4.



Fonte: Autor.

As condições gerais de conservação da estrutura observada na inspeção preliminar são apresentadas a seguir.

Superestrutura: corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos (Figura 63) e na região dos apoios intermediários das vigas longarinas. Fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas nas vigas longarinas (Figura 64).

Figura 63 – Corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos do V4.



Fonte: Autor.

Figura 64 – Corrosão nas longarinas do V4.



Fonte: Autor.

Mesoestrutura: os aparelhos de apoio móveis encontram-se esmagados, em alguns casos impossibilitando a sua visualização e identificação. Concreto deteriorado e presença de vegetação, mofo e bolor.

Encontros: as estruturas de contenção dos aterros dos encontros apresentam fissuras e trincas na parte superior das paredes laterais, com presença de umidade, e os taludes dos encontros estão em boas condições.

Drenagem: os tubos instalados no fundo da laje não parecem obstruídos, mas há manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem e em áreas próximas, revelando a ineficiência do sistema.

Juntas de dilatação: não apresentam vedação. Não havia acesso para exame dos elementos de concreto sob as juntas.

Elementos acessórios: as estruturas dos refúgios apresentam fissuras e trincas nas laterais, com destacamento do concreto, concreto deteriorado e armaduras expostas (Figura 65 e Figura 66). Fissura no engastamento entre os refúgios e a viga longitudinal.

Figura 65 – Refúgios apresentando fissuras e armaduras expostas no V4.



Fonte: Autor.

Figura 66 – Refúgios apresentando fissuras e armaduras expostas no V4 (detalhe).



Fonte: Autor.

Embora seja possível identificar muitas manifestações patológicas no Viaduto 4 (Figura 61 e Figura 62), em especial por estar situado em um vale mais descoberto, a manifestação que se apresenta em estado mais avançado, quanto à gravidade, urgência e tendência de evolução também é a corrosão, uma vez que é notável a perda de seção em elementos estruturais, nesse caso.

4.4.3 Ensaios tecnológicos

Nessa etapa também se definiu o plano de amostragem para inspeção da estrutura e os métodos de ensaio apropriados para subsidiar um diagnóstico conclusivo.

- Esclerometria

A Tabela 11 apresenta os valores de índice esclerométrico (I.E.) obtidos no ensaio de esclerometria. Conforme recomendações da NBR 7584 (ABNT, 2012), as superfícies apresentaram serem planas e adequadas para o ensaio, estando secas e limpas, aumentando a precisão dos resultados. Após realizar o impacto nos 16 pontos avaliados, calculou-se a média, eliminando os dados que apresentam dispersão maior do que 10% em torno da média (marcados com asterisco). Tomada a média com o índice esclerométrico, o valor foi utilizado para obter a estimativa de resistência à compressão através do ábaco, considerando que a inclinação do aparelho está a +90°.

Tabela 11 – Valores de reflexão obtidos no V4.

Elemento Pontos	Longarina 1 (L1p1)	Longarina 1 (L1p2)	Longarina 2 (L2p1)	Longarina 2 (L2p2)
1	39*	42*	36	34
2	30*	28*	35	36
3	36	34	35	32
4	24*	37*	32	30
5	38	25*	40*	39*
6	38	35	36	21*
7	32	32	26*	34
8	38	30	33	24*
9	36	42*	32	35
10	42*	33	32	31
11	30*	30	30	42*
12	36	38*	30	34
13	38	27*	27*	35
14	36	35	40*	34
15	30*	30	26*	30
16	38	30	37*	34
Média	35,06	33,00	32,94	32,81
Desvio Padrão	4,46	4,83	4,29	4,91
Lim. Inferior	31,56	29,70	29,64	29,53
Lim. Superior	38,57	36,30	36,23	36,09
Nova Média	36,60	32,11	33,10	33,25
Resistência MPa \cong	41,2	32,7	34,6	34,8

Fonte: Autor.

Obtiveram-se os valores de índice esclerométrico médio efetivo (I.E.) entre 32,11 e 36,60 para as longarinas ensaiadas, esses valores demonstram uma resistência equivalente entre 32,7 MPa e 41,2 MPa.

- Carbonatação e Presença de cloretos

Assim como na estrutura anterior, foi observada a coloração vermelho carmim em todas as regiões tratadas, indicando ausência de carbonatação significativa, o que impossibilitou mensuração de frente de carbonatação. Com relação à presença de cloretos, não foi identificado precipitados na coloração branca, indicativo de cloretos livres, como apresentado na Figura 67, correspondente a um dos refúgios, e

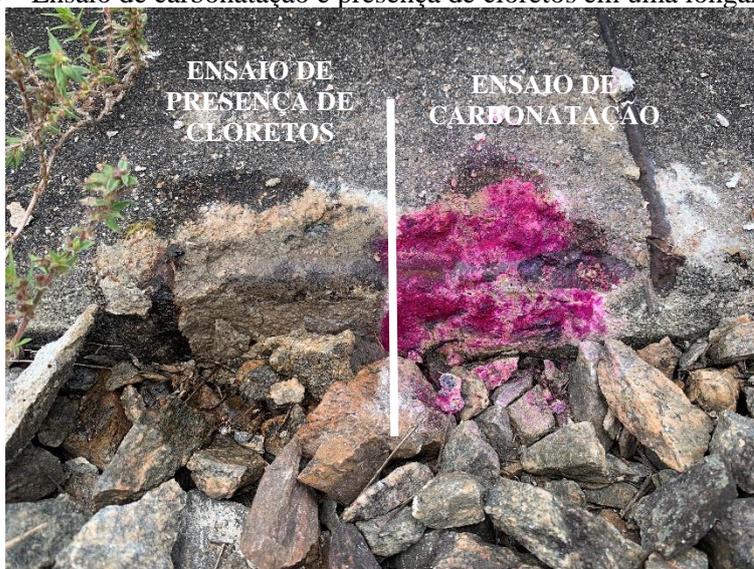
Figura 68, correspondente a uma longarina, indicando a ausência de carbonatação do concreto.

Figura 67 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em um refúgio do V4.



Fonte: Autor.

Figura 68 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em uma longarina do V4.



Fonte: Autor.

Com os resultados dos ensaios obtidos, a presença de concreto deteriorado com armaduras expostas não tem como provável causa a qualidade do concreto ou a presença de contaminação por cloretos, sendo a carbonatação a causa mais provável, acelerada nesse caso pelos erros de projeto (recobrimento insuficiente) e/ou por erros de execução (cofragem, betonagem e descofragem).

4.4.4 Diagnóstico

Pelo método da ABNT na Tabela 12 a nota estrutural atribuída foi 03 devido à presença de fissura em elemento secundário de concreto armado e armadura principal exposta e corroída em elemento principal com perda de seção. Embora se trate de um trecho desativado, não foram detectadas evidências que penalizassem a nota funcional para a estrutura de concreto, portanto o valor dado foi 05, mas essa nota não considera a ferrovia ou a sua capacidade de operação. Ao parâmetro de durabilidade a nota conferida foi 03 em consequência da presença de armadura exposta em elemento principal em processo evolutivo de corrosão. Em um segundo momento os dados obtidos nos ensaios foram considerados para a atribuição das notas. Os resultados não diminuiram a nota já aferida nesse caso.

Tabela 12 – Notas do V4 conforme o método da NBR 9452 (ABNT, 2019).

PARÂMETRO	ANTES DOS ENSAIOS	APÓS OS ENSAIOS
ESTRUTURAL	3	3
FUNCIONAL	5	5
DURABILIDADE	3	3

Fonte: Autor.

As notas dos elementos da ponte, avaliados conforme o método do DNIT a partir da inspeção detalhada, estão apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Notas do V4 conforme o método do DNIT (BRASIL, 2004).

PARÂMETRO	DANO	ANTES DOS ENSAIOS	APÓS OS ENSAIOS
LAJE	Mancha de umidade com deslocamento e corrosão	3	3
LONGARINAS	Deslocamento do concreto e corrosão	3	3
ENCONTRO	Fissuras e umidade	3	3
DRENAGEM	Mancha de umidade ao redor dos furos	3	3
PILARES	Presença de eflorescência, mofo e bolor.	3	3
TRANSVERSINA	Mofo e bolor.	3	3
AP. APOIO	Esmagados	3	3
BLOCOS	Vegetação	3	3
NOTA FINAL		3	

Fonte: Autor.

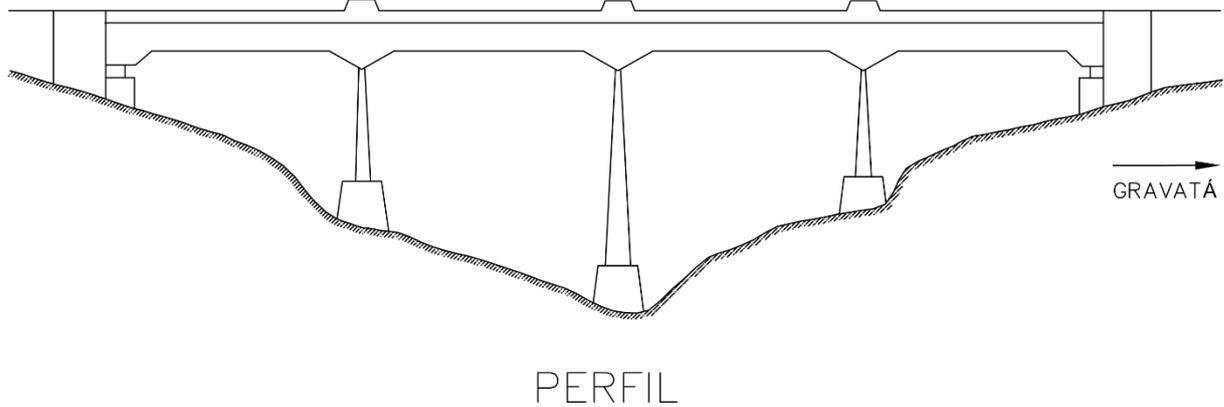
Alguns elementos poderiam ser classificados com notas diferentes dependendo da coluna que se considerasse do Quadro 5, como no caso anterior. Optando pela nota menor que garantisse maior segurança, a nota final será 3. Sendo assim, a ponte foi classificada como estando boa aparentemente.

4.5 Estudo de caso: Viaduto 5

4.5.1 Características Construtivas

O esquema longitudinal em perfil da estrutura encontra-se na Figura 69.

Figura 69 – Esquema longitudinal em perfil do V5.



Fonte: Autor.

A Figura 70 e a Figura 71 ilustram a estrutura e seu entorno.

Figura 70 – Vista lateral do V5, face sul



Fonte: Autor.

Figura 71 – Vista superior do V5.



Fonte: Autor.

Alinhamento

- Alinhamento horizontal: estrutura de eixo reto;
- Declividade longitudinal: 0%;
- Sobrelevação transversal: 0%;
- Ângulo de transposição do obstáculo: travessia perpendicular ao eixo do vale, não há esconsidade.

Material e execução

- Estruturas de encontro, super, meso e infraestrutura: de concreto armado moldado “in loco” com forma de madeira bruta, com exceção da infraestrutura em alvenaria de pedras.

Superestrutura

- Sistema estrutural longitudinal: viga contínua;
- Sistema estrutural transversal: laje sobre duas vigas;
- Número e comprimento dos vãos: 4 (22,10 m – 22,10 m – 20,25 m – 20,25 m);
- Altura máxima: 31,00 m
- Laje: monolítica;
- Vigas longarinas: seção transversal constante nos vãos, apresentando aumento de altura nos apoios intermediários;
- Vigas transversinas de apoio: solidárias à laje, com altura igual à das vigas longarinas;
- Vigas transversinas de vão: não solidárias à laje, com altura inferior à das vigas longarinas e espessura inferior às vigas transversinas de apoio.

Mesoestrutura

- Pilares: apoio nos encontros e dois apoios intermediários. Pilares de estrutura reticulada constituído por um pórtico de duas colunas, com linha de apoio sob o eixo das vigas longarinas;
- Aparelhos de apoio sobre os encontros (extremos): articulação fixa tipo Freyssinet;
- Aparelhos de apoio sobre os pilares (intermediários): articulação fixa tipo Freyssinet.

Infraestrutura

- Blocos: um bloco em alvenaria de pedras por linha de apoio (um sob cada pórtico). Dois blocos em cada extremo (um para apoios extremos da superestrutura e um para sustentação dos muros de arrimo e muros de ala dos encontros).

Extremos

- Estruturas de encontro: muro de arrimo, muros de ala e apoio da superestrutura;
- Taludes laterais: declividade variável de 1:3 a 1:5, com vegetação natural, sem proteção superficial.

Drenagem do tabuleiro e dos encontros

- Tabuleiro: buzínates curtos de PVC no fundo da laje;
- Encontros: não há dispositivos de condução de águas pluviais ou de proteção superficial dos taludes contra erosão.

Juntas de dilatação do tabuleiro

- Juntas entre o tabuleiro e as estruturas de encontro sem vedação.

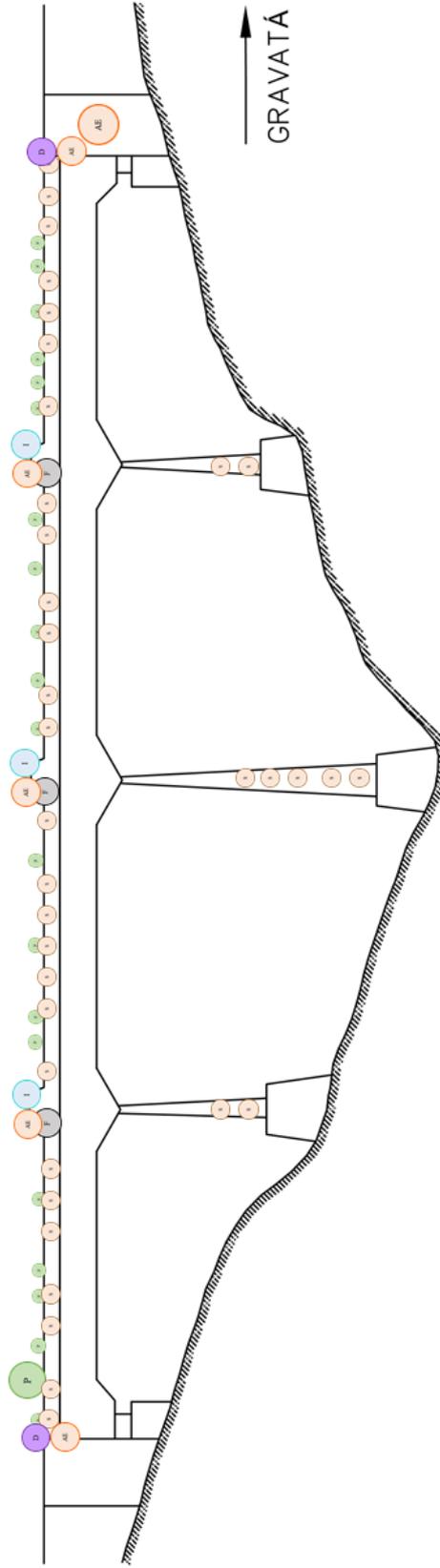
Elementos acessórios

- Refúgios: existem 6 refúgios (três em cada lateral).

4.5.2 *Quadro Patológico do Viaduto 5*

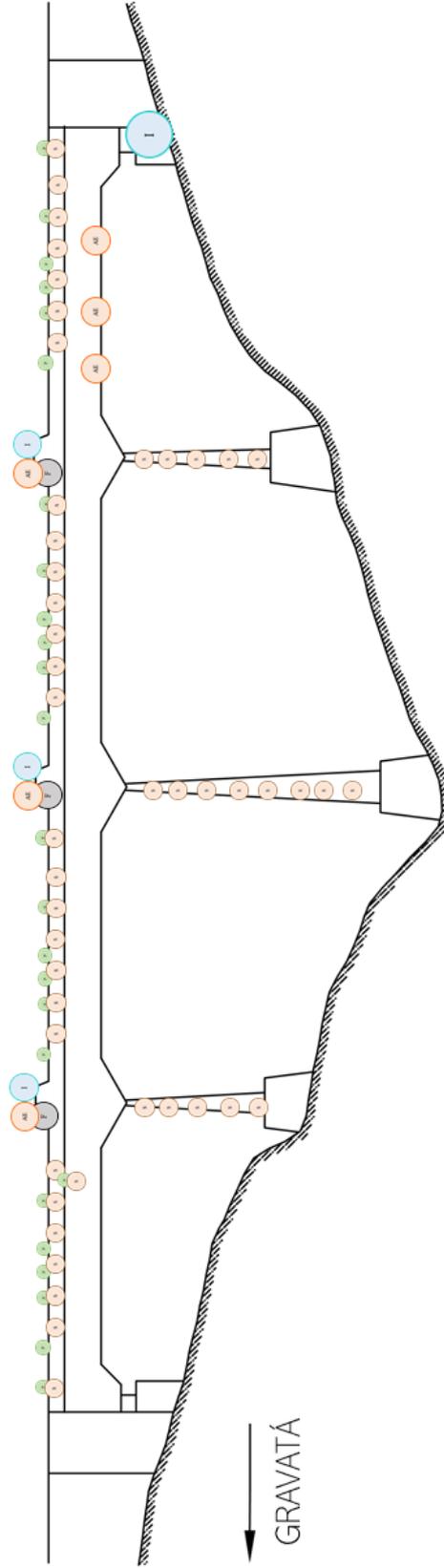
A Figura 72 e a Figura 73 apresentam as vistas lateral direita e lateral esquerda do mapeamento das manifestações patológicas do viaduto.

Figura 72 – Mapeamento vista lateral direita/norte V5.



Fonte: Autor.

Figura 73 – Mapeamento vista lateral esquerda/sul V5.



Fonte: Autor.

Na vistoria inicial, foram levantados os problemas existentes e os possíveis mecanismos de deterioração, suas causas e extensão. As condições gerais de conservação da estrutura observada na inspeção preliminar são apresentadas a seguir.

Superestrutura: corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos (Figura 74) e na região dos apoios intermediários das vigas longarinas, fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas nas vigas longarinas (Figura 75).

Figura 74 – Corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos do V5.



Fonte: Autor.

Figura 75 – Corrosão de armaduras em estágio avançado nas longarinas do V5.



Fonte: Autor.

Mesoestrutura: os aparelhos de apoio móveis encontram-se totalmente esmagados, em alguns casos impossibilitando a sua visualização e identificação. Concreto deteriorado e presença de vegetação, mofo e bolor.

Encontros: as estruturas de contenção dos aterros dos encontros apresentam fissuras e trincas na parte superior das paredes laterais, com presença de umidade e os taludes dos encontros estão em boas condições (Figura 76).

Figura 76 – Encontros com fissuração, deslocamento e armadura exposta no V5.



Fonte: Autor.

Drenagem: os tubos instalados no fundo da laje não parecem obstruídos, mas há manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem e em áreas próximas, revelando a ineficiência do sistema (Figura 77).

Figura 77 – Fundo da longarina com fissuração, deslocamento e armadura exposta no V5.



Fonte: Autor.

Juntas de dilatação: não apresentam vedação. Não havia acesso para exame dos elementos de concreto sob as juntas.

Elementos acessórios: as estruturas dos refúgios apresentam fissuras e trincas nas laterais, com destacamento do concreto, concreto deteriorado e armaduras expostas. Fissura no engastamento entre os refúgios e a viga longitudinal. Acúmulo de umidade com aparecimento de vegetação (Figura 78 e Figura 79).

Figura 78 – Refúgios apresentando armaduras expostas e vegetação no V5.



Fonte: Autor.

Figura 79 – Refúgios com acúmulo de umidade no V5.



Fonte: Autor.

Embora seja possível identificar muitas manifestações patológicas no Viaduto 5 (Figura 72 e a Figura 73), a manifestação que se apresenta em estado mais avançado, quanto à gravidade, urgência e tendência de evolução também é a corrosão, uma vez que é notável a perda de seção em elementos estruturais, nesse caso.

4.5.3 Ensaios tecnológicos

Nessa etapa também se definiu o plano de amostragem para inspeção da estrutura e os métodos de ensaio apropriados para subsidiar um diagnóstico conclusivo.

- Esclerometria

A Tabela 14 apresenta os valores de índice esclerométrico (I.E.) obtidos no ensaio de esclerometria. Conforme recomendações da NBR 7584 (ABNT, 2012), as superfícies apresentaram serem planas e adequadas para o ensaio, estando secas e limpas, aumentando a precisão dos resultados. Após realizar o impacto nos 16 pontos avaliados, calculou-se a média, eliminando os dados que apresentam dispersão maior do que 10% em torno da média (marcados com asterisco). Tomada a média com o índice esclerométrico, o valor foi utilizado para obter a estimativa de resistência à compressão através do ábaco, considerando que a inclinação do aparelho está a +90°.

Tabela 14 – Valores de reflexão obtidos no V5.

Elemento Pontos	Longarina 1 (L1p1)	Longarina 1 (L1p2)	Longarina 2 (L2p1)	Longarina 2 (L2p2)
1	29	30	39*	40
2	31	36*	30	35
3	25*	36*	30	39
4	35*	34	32	39
5	32	32	38*	45*
6	30	34	27*	40
7	31	30	30	44*
8	28	34	31	42
9	37*	28*	30	44*
10	30	36*	35	39
11	31	29	36*	32*
12	26*	29	29*	32*
13	24*	30	35	40
14	31	30	31	32*
15	34*	34	29*	42
16	36*	31	36*	36
Média	30,63	32,06	32,38	38,81
Desvio Padrão	3,62	2,68	3,48	4,17
Lim. Inferior	27,56	28,86	29,14	34,93
Lim. Superior	33,69	35,27	35,61	42,69
Nova Média	30,33	31,42	31,56	39,20
Resistência MPa \cong	29,6	31,5	31,8	46,5

Fonte: Autor.

Assim, obtiveram-se os valores de índice esclerométrico médio efetivo (I.E.) entre 30,33 e 39,20 para as longarinas ensaiadas. Esses valores demonstram uma resistência equivalente entre 29,6 MPa e 46,5 MPa.

- Carbonatação e Presença de cloretos

Como na estrutura do V3, foi observada a coloração vermelho carmim em parte das regiões na superestrutura, indicativo de carbonatação com frente máxima de 0,50 centímetro, sendo o cobrimento nas áreas ensaiadas entre 0,30 de 0,60 centímetros. Com relação à presença de cloretos, não foi identificado precipitados na coloração branca, correspondente ao refúgio (Figura 80). Nas longarinas foi identificado como frente máxima de 1,3 centímetro, sendo o cobrimento médio nas áreas ensaiadas de 1,5 centímetros. Com relação à presença de cloretos, não foi identificado precipitados na coloração branca, correspondente ao refúgio, como apresentado na

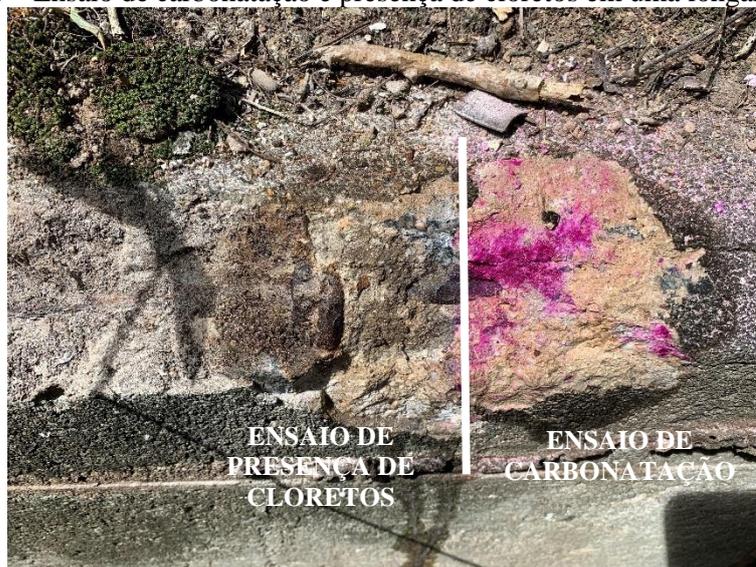
Figura 81.

Figura 80 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em um refúgio do V5.



Fonte: Autor.

Figura 81 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em uma longarina do V5.



Fonte: Autor.

Nesse caso, os registros de profundidade de carbonatação também irão interferir nos dados obtidos por esclerometria e quanto à mudança de cor no método de presença de cloretos por aspersão de nitrato de prata, além de interferir nos poros e dureza superficial, sendo necessário a extração de testemunhos para obter melhores resultados de resistências do concreto.

Com os resultados dos ensaios obtidos, a presença de concreto deteriorado com armaduras expostas tem como provável causa a carbonatação, estando relacionado as características do vale em que a obra se encontra e possivelmente pela sua proximidade com outra obra, nesse caso, a BR 232 há cerca de 700 m de distância, por onde passam centenas de automóveis diariamente emitindo CO_2 na região. Mesmo assim, os erros de projeto (recobrimento insuficiente) e/ou por erros de execução (cofragem, betonagem e descofragem) também facilitaram o processo de aparecimento das manifestações patológicas identificadas.

4.5.4 Diagnóstico

Pelo método da ABNT na Tabela 15 a nota estrutural atribuída foi 03 devido à presença de fissura em elemento secundário de concreto armado e armadura principal exposta e corroída em elemento principal com perda de seção. Não foram detectadas evidências que penalizassem a nota funcional para a estrutura de concreto, recebendo nota 5. Para o parâmetro de durabilidade a nota conferida foi 03 em consequência da presença de armadura exposta em elemento principal em processo evolutivo de corrosão. Em um segundo momento os dados

obtidos nos ensaios foram considerados para a atribuição das notas. Os resultados mostram que a vida útil da estrutura está comprometida, mesmo não estando em uma região de alta agressividade ambiental; a ação do tempo associada aos efeitos da carbonatação em toda a estrutura acelera o processo de deterioração, assim foi minorada as notas estruturais e de durabilidade, assim como as notas dos elementos da superestrutura no método DNIT.

Tabela 15 – Notas do V5 conforme o método da NBR 9452 (ABNT, 2019).

PARÂMETRO	ANTES DOS ENSAIOS	APÓS OS ENSAIOS
ESTRUTURAL	3	2
FUNCIONAL	4	4
DURABILIDADE	3	2

Fonte: Autor.

As notas dos elementos da ponte, avaliados conforme o método do DNIT a partir da inspeção detalhada, estão apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 – Notas do V5 conforme o método do DNIT (BRASIL, 2004).

PARÂMETRO	DANO	ANTES DOS ENSAIOS	APÓS OS ENSAIOS
LAJE	Mancha de umidade com deslocamento e corrosão	3	2
LONGARINAS	Deslocamento do concreto e corrosão	3	2
ENCONTRO	Deslocamento do concreto e corrosão	3	2
DRENAGEM	Mancha de umidade ao redor dos furos	3	3
PILARES	Corrosão	3	3
TRANSVERSINA	Manchas de umidade, mofo e bolor.	3	3
AP. APOIO	Esmagados	3	3
NOTA FINAL		2	

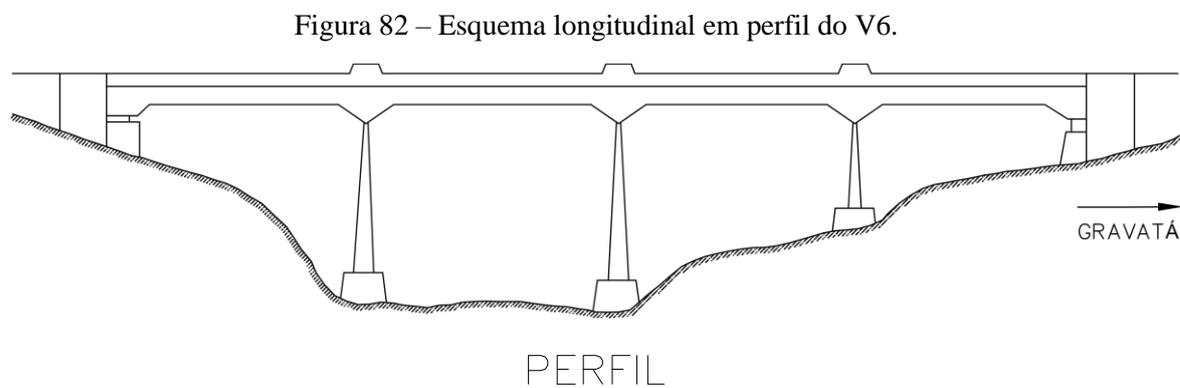
Fonte: Autor.

Alguns elementos poderiam ser classificados com notas diferentes dependendo da coluna que se considerasse do Quadro 5, como no caso anterior. Optando pela nota menor que garantisse maior segurança, a nota final será 2. Sendo assim, a ponte foi classificada como estando sofrível, muito embora pudesse ser classificada inicialmente como boa aparentemente.

4.6 Estudo de caso: Viaduto 6

4.6.1 Características Construtivas

O esquema longitudinal em perfil da estrutura encontra-se na Figura 82 .



Fonte: Autor.

A Figura 83 ilustra a estrutura.

Figura 83 – Vista superior do V6.



Fonte: Autor.

Alinhamento

- Alinhamento horizontal: estrutura de eixo reto;
- Declividade longitudinal: 0%;
- Sobrelevação transversal: 0%;
- Ângulo de transposição do obstáculo: travessia perpendicular ao eixo do vale, não há esconsidade.

Material e execução

- Estruturas de encontro, super, meso e infraestrutura: de concreto armado moldado “in loco” com forma de madeira bruta, com exceção da infraestrutura em alvenaria de pedras.

Superestrutura

- Sistema estrutural longitudinal: viga contínua;
- Sistema estrutural transversal: laje sobre duas vigas;
- Número e comprimento dos vãos: 4 (22,00 m – 20,70 m – 20,25 m – 20,25 m);
- Altura máxima: 24,00 m
- Laje: monolítica;
- Vigas longarinas: seção transversal constante nos vãos, apresentando aumento de altura nos apoios intermediários;
- Vigas transversinas de apoio: solidárias à laje, com altura igual à das vigas longarinas;
- Vigas transversinas de vão: não solidárias à laje, com altura inferior à das vigas longarinas e espessura inferior às vigas transversinas de apoio.

Mesoestrutura

- Pilares: apoio nos encontros e dois apoios intermediários. Pilares de estrutura reticulada constituído por um pórtico de duas colunas, com linha de apoio sob o eixo das vigas longarinas;
- Aparelhos de apoio sobre os encontros (extremos): articulação fixa tipo Freyssinet;
- Aparelhos de apoio sobre os pilares (intermediários): articulação fixa tipo Freyssinet.

Infraestrutura

- Blocos: um bloco em alvenaria de pedras por linha de apoio (um sob cada pórtico). Dois blocos em cada extremo (um para apoios extremos da superestrutura e um para sustentação dos muros de arrimo e muros de ala dos encontros).

Extremos

- Estruturas de encontro: muro de arrimo, muros de ala e apoio da superestrutura;
- Taludes laterais: declividade variável de 1:3 a 1:5, com vegetação natural, sem proteção superficial.

Drenagem do tabuleiro e dos encontros

- Tabuleiro: buzinetes curtos de PVC no fundo da laje;
- Encontros: não há dispositivos de condução de águas pluviais ou de proteção superficial dos taludes contra erosão.

Juntas de dilatação do tabuleiro

- Juntas entre o tabuleiro e as estruturas de encontro sem vedação.

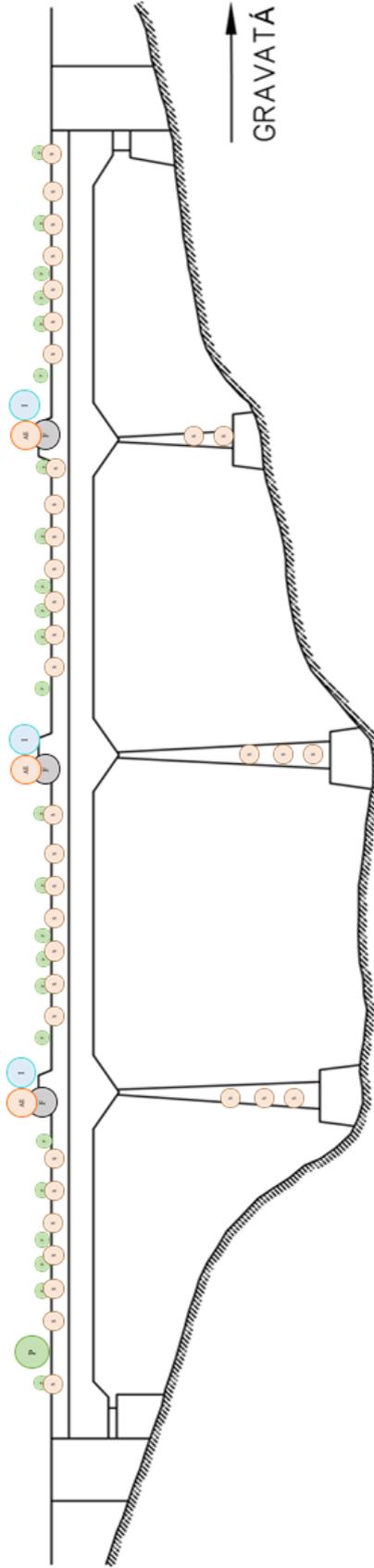
Elementos acessórios

- Refúgios: existem 6 refúgios (três em cada lateral).

4.6.2 Quadro Patológico do Viaduto 6

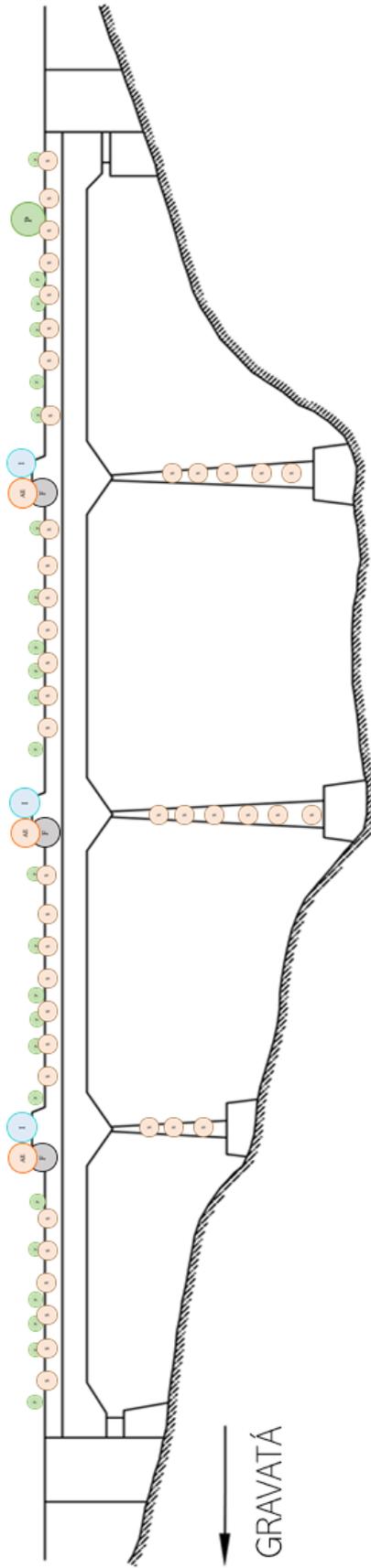
A Figura 84 e a Figura 85 apresentam as vistas lateral direita e lateral esquerda do mapeamento das manifestações patológicas do viaduto.

Figura 84 – Mapeamento vista lateral direita/norte V6.



Fonte: Autor.

Figura 85 – Mapeamento vista lateral esquerda/sul V6.



Fonte: Autor.

As condições gerais de conservação da estrutura observada na inspeção preliminar são apresentadas a seguir.

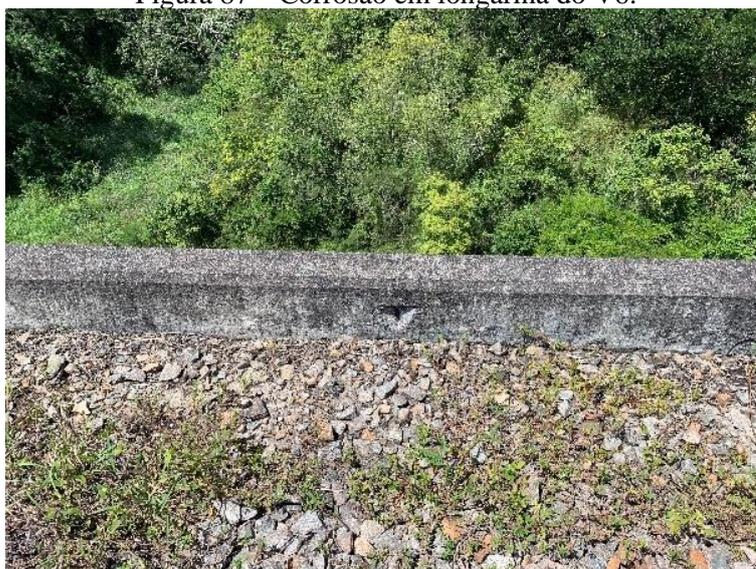
Superestrutura: corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos (Figura 86) e na região dos apoios intermediários das vigas longarinas. Fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas nas vigas longarinas e presença de vegetação (Figura 87 e Figura 88).

Figura 86 – Corrosão de armaduras no vão do V6 .



Fonte: Autor.

Figura 87 – Corrosão em longarina do V6.



Fonte: Autor.

Figura 88 – Presença de vegetação na superestrutura do V6.



Fonte: Autor.

Mesoestrutura: os aparelhos de apoio móveis encontram-se totalmente esmagados, em alguns casos impossibilitando a sua visualização e identificação. Concreto deteriorado e presença de vegetação, mofo e bolor.

Infraestrutura: corrosão de armaduras em estágio avançado nos blocos. Fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas.

Encontros: as estruturas de contenção dos aterros dos encontros apresentam fissuras e trincas na parte superior das paredes laterais, com presença de umidade e os taludes dos encontros estão em boas condições.

Drenagem: os tubos instalados no fundo da laje não parecem obstruídos, mas há manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem e em áreas próximas, revelando a ineficiência do sistema (Figura 89).

Figura 89 – Desplacimento, umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem do V6.



Fonte: Autor.

Juntas de dilatação: não apresentam vedação. Não havia acesso para exame dos elementos de concreto sob as juntas.

Elementos acessórios: as estruturas dos refúgios apresentam fissuras e trincas nas laterais, com destacamento do concreto, concreto deteriorado e armaduras expostas (Figura 90 e Figura 91). Fissura no engastamento entre os refúgios e a viga longitudinal.

Figura 90 – Refúgios apresentando armaduras expostas no V6.



Fonte: Autor.

Figura 91 – Refúgios apresentando armaduras expostas no V6 (detalhe).



Fonte: Autor.

Embora seja possível identificar algumas manifestações patológicas no Viaduto 6 (Figura 85), a manifestação que se apresenta em estado mais avançado, quanto à gravidade, urgência e tendência de evolução também é a corrosão, uma vez que é notável a perda de seção em elementos estruturais, nesse caso.

4.6.3 Ensaios tecnológicos

Nessa etapa também se definiu o plano de amostragem para inspeção da estrutura e os métodos de ensaio apropriados para subsidiar um diagnóstico conclusivo.

- Esclerometria

A Tabela 17 apresenta os valores de índice esclerométrico (I.E.) obtidos no ensaio de esclerometria. Conforme recomendações da NBR 7584 (ABNT, 2012), as superfícies apresentaram serem planas e adequadas para o ensaio, estando secas e limpas, aumentando a precisão dos resultados. Após realizar o impacto nos 16 pontos avaliados, calculou-se a média, eliminando os dados que apresentam dispersão maior do que 10% em torno da média (marcados com asterisco). Tomada a média com o índice esclerométrico, o valor foi utilizado para obter a estimativa de resistência à compressão através do ábaco, considerando que a inclinação do aparelho está a +90°.

Tabela 17 – Valores de reflexão obtidos no V6.

Elemento Pontos	Longarina 1 (L1p1)	Longarina 1 (L1p2)	Longarina 2 (L2p1)	Longarina 2 (L2p2)
1	30	44*	26*	36
2	34*	35	25*	38*
3	28	36	31	33
4	29	38*	34*	38*
5	34*	32	26*	34
6	33	37	30	38*
7	30	38*	24	32
8	33	32	31	34
9	32	28*	28	34
10	35*	37	28	35
11	33	28*	28	36
12	32	28*	27	33
13	25*	32	33*	29*
14	29	38*	28	35
15	32	34	38*	30*
16	23*	32	28	36
Média	30,75	34,31	29,06	34,44
Desvio Padrão	3,23	4,28	3,53	2,57
Lim. Inferior	27,68	30,88	26,16	30,99
Lim. Superior	33,83	37,74	31,97	37,88
Nova Média	31,00	34,11	28,78	34,36
Resistência MPa \cong	30,9	36,3	27,2	36,9

Fonte: Autor.

Assim, obtiveram-se os valores de índice esclerométrico médio efetivo (I.E.) entre 28,78 e 34,36 para as longarinas ensaiadas. Esses valores demonstram uma resistência equivalente entre 27,2 MPa e 36,9 MPa.

- Carbonatação e Presença de cloretos

Como nas estruturas V3 e V5 foi observada a coloração vermelho carmim em parte das regiões na superestrutura, indicativo de carbonatação, mas não foi possível medir uma frente bem definida, encontrando valores de 0 até 0,80 centímetro, sendo o cobrimento nas áreas ensaiadas entre 0 e 0,70 centímetros, medindo no mesmo sentido. Vale destacar que o cobrimento não é uniforme em todos os lados. Com relação à presença de cloretos, não foi identificado precipitados na coloração branca, indicativo de cloretos livres, correspondente ao refúgio (Figura 92). Nas longarinas foi identificado como frente máxima de 0,4 centímetro, sendo o cobrimento médio nas áreas ensaiadas de 0,4 centímetros, medindo no mesmo sentido, já com relação à presença de cloretos, não foi identificado precipitados na coloração branca, correspondente ao refúgio, como apresentado na Figura 93.

Figura 92 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em um refúgio do V6.



Fonte: Autor.

Figura 93 – Ensaio de carbonatação e presença de cloretos em uma longarina do V6.



Fonte: Autor.

Assim como já mencionado, nesse caso, os registros de profundidade de carbonatação também irão interferir nos dados obtidos para esclerometria e quanto à mudança de cor no método de presença de cloretos por aspersão de nitrato de Prata, além de interferir nos poros e dureza superficial, sendo necessário a extração de testemunhos para obter melhores resultados de resistências do concreto.

Com os resultados dos ensaios obtidos, a presença de concreto deteriorado com armaduras expostas tem como provável causa a carbonatação, estando relacionado as características do vale em que a obra se encontra e possivelmente pela sua proximidade com a BR 232 há cerca de 750 m de distância, assim como nos demais casos sofre influência de erros de projeto (recobrimento insuficiente) e/ou erros de execução (cofragem, betonagem e descofragem), também identificados.

4.6.4 Diagnóstico

Pelo método da ABNT na Tabela 18, a nota estrutural atribuída foi 03 devido à presença de fissura em elemento secundário de concreto armado e armadura principal exposta e corroída em elemento principal com perda de seção. Não foram detectadas evidências que penalizassem a nota funcional para a estrutura de concreto, recebendo nota 5. Para o parâmetro de durabilidade a nota conferida foi 03 em consequência da presença de armadura exposta em elemento principal em processo evolutivo de corrosão. Em um segundo momento os dados obtidos nos ensaios foram considerados para a atribuição das notas. Os resultados mostram que a vida útil da estrutura está comprometida. Mesmo não estando em uma região de alta agressividade ambiental, a ação do tempo associada aos efeitos da carbonatação em toda a estrutura acelera o processo de deterioração, assim foram minoradas as notas estruturais e de durabilidade, assim como as notas dos elementos da superestrutura no método DNIT.

Tabela 18 – Notas do V6 conforme o método da NBR 9452 (ABNT, 2019).

PARÂMETRO	ANTES DOS ENSAIOS	APÓS OS ENSAIOS
ESTRUTURAL	3	2
FUNCIONAL	4	4
DURABILIDADE	3	2

Fonte: Autor.

As notas dos elementos da ponte, avaliados conforme o método do DNIT a partir da inspeção detalhada, estão apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19 – Notas do V6 conforme o método do DNIT (BRASIL, 2004).

PARÂMETRO	DANO	ANTES DOS ENSAIOS	APÓS OS ENSAIOS
LAJE	Mancha de umidade com deslocamento e corrosão	3	2
LONGARINAS	Deslocamento do concreto e corrosão	3	2
ENCONTRO	Deslocamento do concreto e corrosão	3	2
DRENAGEM	Mancha de umidade ao redor dos furos	3	3
PILARES	Corrosão	3	3
TRANSVERSINA	Manchas de umidade, mofo e bolor.	3	3
AP. APOIO	Esmagados	3	3
NOTA FINAL		2	

Fonte: Autor.

Alguns elementos poderiam ser classificados com notas diferentes dependendo da coluna que se considerasse do Quadro 5, como no caso anterior. Optando pela nota menor que garantisse maior segurança, a nota final será 2. Sendo assim, a ponte foi classificada como estando sofrível, muito embora pudesse ser classificada inicialmente como boa aparentemente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso apresentado neste trabalho é uma pequena demonstração de como a ausência de manutenção resulta na deterioração das obras de concreto. As manifestações patológicas apresentadas foram em grande parte decorrentes da ausência de manutenção ao longo do tempo, principalmente pela condição de abandono em que se encontram as estruturas.

Constatou-se através das inspeções e mapas de danos elaborados que o viaduto mais danificado é o Viaduto 3, por sua complexidade de projeto e por estar mais suscetível à ação do homem, se tratando de ponto para prática de esportes de aventura como o rapel negativo, assim como os Viadutos 5 e 6, estando localizados em uma área menos protegida em relação aos demais, ficando mais suscetível às ações dos agentes agressivos.

A nota final atribuída as estruturas de acordo com os parâmetros estabelecidos pela NBR 9452 (ABNT, 2019), foi nota estrutural 3, funcional 5 e durabilidade 3 para os Viadutos 1, 2 e 4, e nota estrutural 2, funcional 4 e durabilidade 2 para os Viadutos 3, 5 e 6. Quanto instrução normativa do DNIT 001/2002 – PRO (BRASIL, 2004), optando pela nota menor que garantisse maior segurança, foi nota 3 (boa aparentemente) para os Viadutos 1, 2 e 4 e nota 2 (sofável) para os Viadutos 3, 5 e 6.

Verificou-se que as principais anomalias são a acumulação de água e/ou sedimentos, manchas e eflorescências, infiltração de água no interior concreto, sendo a origem congênita ou construtiva, causadas pela drenagem deficiente ou ausência de órgãos de drenagem pela concepção incorreta do sistema de drenagem e a falta de manutenção. Foi possível identificar ainda deterioração do concreto, corrosão de armaduras, com aparecimento de manchas de corrosão, fissuras e exposição de armaduras, causados pela carbonatação de origem relacionada a erros de projeto (recobrimento insuficiente) e/ou por erros de execução (cofragem, betonagem e descofragem), drenagem insuficiente e pela falta de manutenção.

Em todos os viadutos não foram encontrados indícios da ação de cloretos livres, mas, em contrapartida, os viadutos 3, 5 e 6 apresentam carbonatação acentuada, podendo estar relacionadas às características planialtimétricas da região e a sua proximidade com a BR 232, por onde passam centenas de veículos emitindo CO₂ diariamente, agravando a ocorrência de manifestações patológicas.

É de extrema importância determinar se na atual condição em que se encontram, as estruturas oferecem algum risco para a população, além de embasar um prognóstico a ser adotado visando garantir integridade das OAE's e possibilitar a reativação do trecho, favorecendo ainda mais o turismo na região.

Os problemas encontrados, na maioria dos casos podem ser corrigidos, a princípio, com manutenções corretivas com reparo das áreas afetadas e melhoramento do sistema de drenagem, preenchimento ou selagem de fissuras, colocação de sistemas de drenagem eficientes e outros trabalhos de reparação, sendo ainda importante um estudo da estabilidade da estrutura.

Ainda como conclusão é possível dizer que a utilização da NBR 9452 (ABNT, 2019) como norteador para a realização de inspeções visuais, se trata de uma ferramenta que atende aos objetivos propostos e garante uma sistemática na execução da atividade, promovendo assim bons resultados.

A utilização do veículo aéreo não tripulado, contribui com o método tradicional utilizado pela NBR 9452 (ABNT, 2019) de inspeção direta, possibilitando acesso a regiões de difícil verificação, sendo também uma metodologia acessível em relação a outras, pelas possibilidades que oferece, mesmo assim, possui limitações que podem ou não estarem relacionadas ao modelo do equipamento, visto que não foram utilizados outros modelos em comparação, as limitações estão relacionadas a impossibilidade de atingir determinadas regiões devido às rajadas de vento no vale e impossibilidade de registrar a estrutura em diferentes ângulos como, por exemplo, a parte inferior do tabuleiro.

Em conclusão entende-se que embora a deterioração de grandes monumentos da engenharia como pontes e viadutos seja um problema mundial, a solução está na manutenção e conservação dessas estruturas, através do real entendimento de suas condições através de inspeções periódicas.

REFERÊNCIAS

A CIDADE. *In: Prefeitura de Gravatá*, 2019. Disponível em: <<https://www.prefeituradegravata.pe.gov.br/a-cidade/>> Acesso em: 05 dez. 2019

A14, crolla ponte a Camerano: 2 morti e 3 feriti. Sindaco Castelfidardo: "Lavori con autostrada aperta". *In: La Repubblica*, 2017. Disponível em: <https://www.repubblica.it/cronaca/2017/03/09/news/crolla_ponte_castelfidardo_autostrada-160138898/>. Acesso em: 18 maio 2021.

AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE NO ESTADO DE SÃO PAULO (ARTESP). **ET-00.000.000-0-C21/002**. Controle das condições estruturais, funcionais e de durabilidade das OAE's. São Paulo, 1999.

AL-SAAD, N. T. K. *et al.* A state-of-the-art review: Near-surface mounted FRP composites for reinforced concrete structures. **Construction and Building Materials**, Edimburgo, v. 209, p. 748-769, 2019.

ALSHARQAWI, M.; ZAYED, T.; DABOUS, S. A. Common practices in assessing conditions of concrete bridges. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN SUSTAINABLE CONSTRUCTION MATERIALS & CIVIL ENGINEERING SYSTEMS (ASCMCES-17), 120., 2017. **Publications** [...]. United Arab Emirates, 2017. Disponível em: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/34/mateconf_ascm2017_02016/mateconf_ascm2017_02016.html. Acesso em: 26 set. 2019.

ÁLVARES J. S. **Mapeamento 3d de canteiros via imagens coletadas com veículo aéreo não tripulado (VANT)**. 2016. 156p. Monografia (Graduação) - Escola Politécnica, Universidade Federal de Bahia, Salvador, 2016.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS - ASCE. **Failure to act report** - Closing the infrastructure investment gap for America's economic future, 2016. Disponível em: <https://www.asce.org/failuretoact/> Acesso em: 30 set. 2019.

ARSHAD, A. Hunt for survivors after Indonesia bridge collapse. *In: ABS-CBN news*, 2011. Disponível em: <<https://news.abs-cbn.com/global-filipino/world/11/27/11/hunt-survivors-after-indonesia-bridge-collapse>>. Acesso em: 17 mai. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland. Preparo, controle e recebimento. Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15577**: Agregados - Reatividade álcali-agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16230**: Inspeção de estruturas de concreto: Qualificação e certificação de pessoal. Requisitos. Rio de Janeiro, 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7584**: Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7680-1**: Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9452**: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2016.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9452**: Vistorias de pontes e viadutos de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9452**: Vistorias de pontes e viadutos de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

BELARMINO, A. S. *et al.* Criação e evolução das técnicas da engenharia na construção de pontes. **Revista FAROCIENCIA**, Porto Velho, v. 4, 2016.

BIOLCHINI, J., MIAN, P.G., NATALI, A.C.C., TRAVASSOS, G.H. **Systematic review in software engineering**. Technical report ES 679/05. Rio de Janeiro: Systems Engineering and Computer Science Department - COPPE/UFRJ. 2005.

BMC blames negligence for Mumbai CST bridge collapse, suspends 2 engineers. *In: India today*, 2019. Disponível em: <<https://www.indiatoday.in/india/story/mumbai-cst-bridge-collapse-bmc-report-engineers-suspended-1479166-2019-03-15>>. Acesso em: 18 mai. 2021.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). **DNER-PRO 123/84**: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido. Rio de Janeiro, 1984.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). **DNER-PRO 123/88**: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido. Rio de Janeiro, 1988.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **DNIT 001/2002 – PRO**: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, 2002.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **DNIT 010/2004 – PRO**: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Relatório de Gestão 2016**. Rio de Janeiro, 2016.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Relatório de Gestão 2017**. Rio de Janeiro, 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Relatório de Gestão 2018**. Rio de Janeiro, 2018.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Relatório de Gestão 2019**. Rio de Janeiro, 2019.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Relatório de Gestão 2020**. Rio de Janeiro, 2020.

BRASIL. **Lei 11.771**, de 17 de setembro de 2008. Dispõe sobre a Política Nacional de Turismo, define as atribuições do Governo Federal no planejamento, desenvolvimento e estímulo ao setor turístico; revoga a Lei no 6.505, de 13 de dezembro de 1977, o Decreto-Lei no 2.294, de 21 de novembro de 1986, e dispositivos da Lei no 8.181, de 28 de março de 1991; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 setembro de 2008.

BRASIL. Portaria 271, de 23 de agosto de 2019. Define o Mapa do Turismo Brasileiro 2019 e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 de agosto de 2019. Disponível em: <http://regionalizacao.turismo.gov.br/images/Portaria%20271%20-%202023.08.19%20-%20Define%20o%20Mapa%20do%20Turismo%20Brasileiro%202019.pdf> Acesso em: 04 out. 2019.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI. **BS 7543**: Briefing for design and construction. Code of practice for asset management (Linear and geographical infrastructure). London, 2015.

CAPES. Fundação CAPES do Ministério de Educação. (2018). Portal de periódicos Divulgação científica. 2021. Disponível em: < <http://www.capes.gov.br/>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

CARDOSO, L. B. **Análise das manifestações patológicas em pontes e viadutos no litoral norte do Rio Grande do Sul**: estudo de caso. 2018. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

CASCUDO, O.; CARASEK, H. Ação da carbonatação no concreto. *In*: ISAIA, G. E. **Concreto**: Ciência e Tecnologia. 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011. p.1984

CHANG, P. C.; FLATAU, A.; LIU, S. C. Health monitoring of civil infrastructure. **Structural health monitoring**, California, v. 2, p. 257-267. 2003. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Lei/L11771.htm. Acesso em: 10 out. 2019.

CROLLO Genova, trovato l'ultimo disperso sotto le macerie: è l'operaio Mirko. Muore uno dei feriti, le vittime totali sono 43. *In*: **La Repubblica**, 2018. Disponível em: <https://www.repubblica.it/cronaca/2018/08/18/news/crollo_genova_trovati_i_corpi_di_tre_dei_dispersi-204360358>. Acesso em: 18 mai. 2021.

CRUZ, R. B. C.; *et al.* Contribuições sobre inspeções em pontes e viadutos conforme NBR 9452:2016. **Revista Engenharia Estudo e Pesquisa**, São Paulo, ABPE, v. 17, n. 1, p. 18-29. 2017.

DAMAN death toll goes up to 26. *In: The Times of India*, 2003. Disponível em: <<https://timesofindia.indiatimes.com/india/daman-death-toll-goes-up-to-26/articleshow/152581.cms>>. Acesso em: 16 mai. 2021.

DEATH toll from China bridge collapse rises to 49, 17 still missing. *In: Global Times*, 2010. Disponível em: <<https://www.globaltimes.cn/content/558264.shtml>>. Acesso em: 17 mai. 2021.

DEATH toll rises to 13 in bridge collapse: Rain hampers recovery efforts. *In: CNN*, 2002. Disponível em: <<https://edition.cnn.com/2002/US/05/28/bridge.collapse/index.html>>. Acesso em: 16 mai. 2021.

DINH, K. *et al.* Attenuation-based methodology for condition assessment of concrete bridge decks using gpr. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION – ISARC*, 32., 2015. **IAARC Publications** [...]. Finland 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Hung_La/publication/281897410_Atenuation-based_Methodology_for_Condition_Assessment_of_Concrete_Bridge_Decks_using_GPR/links/55fcf24208aec948c4bfea0c.pdf. Acesso em: 26 set. 2019.

ESCHMANN, C.; WUNDSAM, T. Web-based georeferenced 3D inspection and monitoring of bridges with unmanned aircraft systems. **Journal of Surveying Engineering**, Oregon, v. 143, n. 3, p. 04017003_2 - 04017003-10, 2017.

ESCOMBROS de ponte que caiu serão removidos do leito do Rio Piracicaba. *In: G1*, 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/piracicaba-regiao/noticia/2014/09/escombros-de-ponte-que-caiu-serao-removidos-do-leito-do-rio-piracicaba.html>>. Acesso em: 17 mai. 2021.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION - FHWA. **National Bridge Inventory (NBI)**. 2017. Disponível em: <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbi.cfm>. Acesso em: 03 nov. 2019.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON - FIB. **Guidance for good bridge design**. Boletim 9. Lausanne: fib, 2000.

FERREIRA, J. B.; LOBÃO, V. W. N. Manifestações patológicas na construção civil. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT**, Aracaju, v. 5, n. 1, p. 71-80, 2018.

FINALLY complaint registered in the fly over bridge collapse incident. *In: The Indian Express*, 2014. Disponível em: <<https://indianexpress.com/article/india/gujarat/finally-complaint-registered-in-the-fly-over-bridge-collapse-incident/>>. Acesso em: 17 mai. 2021.

FRANÇA, C. B. **Avaliação de cloretos livres em concretos e argamassas de cimento Portland pelo método de aspersão de solução de nitrato de prata**. 2011. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2011.

FROMMER, F. J. "NTSB: Design Errors Factor in 2007 Bridge Collapse. *In: USATODAY.com*, 2008. Disponível em: <<https://www.sandiegouniontribune.com/sdut-bridge-collapse-ntsb-111308-2008nov13-story.html>>. Acesso em: 16 mai. 2021.

GIBB, S. *et al.* Nondestructive evaluation sensor fusion with autonomous robotic system for civil infrastructure inspection. **Journal of Field Robotics**, Pittsburgh, v. 35, n. 6, p. 988-1004, 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOMIDE, T. L. F; FLORA, S. M. D. **Engenharia Legal 6**. 1ª ed. São Paulo: Editora Leud, 2019.

GUCUNSKI, N. Condition assessment of bridge deck using various nondestructive evaluation (NDE) technologies. **Journal of Croatian Society for Non Destructive Testing**, Croatia, v. 5, p. 1-7, 2015.

GUCUNSKI, N. *et al.* Robotic platform rabbit for condition assessment of concrete bridge decks using multiple nde technologies. **HDKBR INFO Magazin**, Zagreb, v. 3, n. 4, p. 5-12, 2013.

HELENE, P.; PEREIRA, F. **Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto**. São Paulo, Brasil, 2007.

HESSE, A. A.; ATADERO, R. A.; OZBEK, M. E. Uncertainty in common NDE techniques for use in risk-based bridge inspection planning: Existing data. **Journal of Bridge Engineering**, Nova York, v. 20, n. 11, p. 04015004_1-04015004_8, 2015.

HUNG, M. N. W. B.; SAMPAIO, T. V. M.; SCHULTZ, G. B.; SIEFERT, C. A. C.; LANGE, D. R.; MARANGON, F. H. S.; SANTOS, I. Levantamento com veículo aéreo não tripulado para geração de modelo digital do terreno em bacia experimental com vegetação florestal esparsa. **Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise**, v. 43, p. 215-231. Curitiba, 2018.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL - IPHAN. **Inventário do Patrimônio Ferroviário de Pernambuco**. Recife: IPHAN, 2009.

IRIZARRY, J.; COSTA, D. B. Exploratory Study of Potential Applications of Unmanned Aerial Systems for Construction Management Tasks. **Journal of Management in Engineering**. v.32(3). Atlanta, 2016.

KIM, M-Y; YANG, E-I; YI, S-T. Application of the colorimetric method to chloride diffusion evaluation in concrete structures. **Construction and Building Materials**, v. 41, p. 239-245, 2013.

KITCHENHAM, B. **Procedures for performing systematic reviews**. Keele University Technical Report TR/SE-0401. Keele: Department of Computer Science Keele University. 2004

LA, H. M. *et al.* Autonomous robotic system for bridge deck data collection and analysis. In: 2014 IEEE/RSJ INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS - IROS 2014, 2014. **Publications** [...]. Chicago, 2014. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6942821>. Acesso em: 26 set. 2019.

LA, H. M. *et al.* Data analysis and visualization for the bridge deck inspection and evaluation robotic system. **Visualization in Engineering**, Australia, v. 3, n. 1, p. 6, 2015.

LAS CASAS, L.; FREITAS, R. Viaduto desaba sobre caminhões, carro e micro-ônibus em BH. **G1**, 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2014/07/viaduto-desaba-sobre-caminhoes-carro-e-micro-onibus-em-bh.html>>. Acesso em: 17 mai. 2021.

LIM, R. S.; LA, H. M.; SHENG, W. A robotic crack inspection and mapping system for bridge deck maintenance. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, Kowloon, v. 11, n. 2, p. 367-378, 2014.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de concreto armado**. Editora Blucher, 2018.

MATGE, P. R. Ponte e Trajetórias Interrompidas: tragédia no Jacuí, há 10 anos, deixou cinco mortos. *In: Diário de Santa Maria*, 2020. Disponível em: <<https://diariosm.com.br/coronav%20C3%ADrus/reportagem-especial/ponte-e-trajet%20B3rias-interrompidas-trag%20A9dia-no-jacu%20AD-h%20A1-10-anos-deixou-cinco-mortos-1.2193083>>. Acesso em: 17 mai. 2021.

MEDEIROS JUNIOR, R. A.; LIMA, M. G.; BRITO, P. C.; MEDEIROS, M. H. F. Chloride penetration into concrete in an offshore platform-analysis of exposure conditions. **Ocean Engineering**, v. 103, p. 78-87, 2015.

MEDEIROS, M. H. F.; GOBBI, A.; RÉUS, G. C.; HELENE, Paulo. Reinforced concrete in marine environment: Effect of wetting and drying cycles, height and positioning in relation to the sea shore. **Construction & Building Materials**, v. 44, p. 452-457, 2013.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3 ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MELO JR, C. M. **Metodologia para geração de mapas de danos de fachadas a partir de fotografias obtidas por veículo aéreo não tripulado e processamento digital de imagens**. 2016. 372 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, da Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

MELO, R. R. S. **Diretrizes para inspeção de segurança em canteiros de obra por meio de imageamento com veículo aéreo não tripulado (VANT)**. 2016. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade Federal de Bahia, Salvador, 2016.

MENDES, P. T. C. **Contribuições para um modelo de gestão de pontes de concreto aplicado à rede de rodovias brasileiras**. 2009, 235 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MUMBAI-GOIA highway bridge collapses, 2 buses carrying 18 people missing. *In: The Indian express*, 2016. Disponível em: <<https://indianexpress.com/article/india/india-news-india/mumbai-goia-highway-bridge-collapses-2-buses-carrying-18-people-missing-2950787/>>. Acesso em: 18 mai. 2021.

NASROLLAHI, M.; WASHER, G. Estimating inspection intervals for bridges based on statistical analysis of national bridge inventory data. **Journal of Bridge Engineering**, Nova York, v. 20, n. 9, p. 04014104_1 – 04014104_11, 2014.

NEGLIGENCE alleged in Quebec overpass collapse. *In: CBC News*, 2010. Disponível em: <<https://www.cbc.ca/news/canada/montreal/negligence-alleged-in-quebec-overpass-collapse-1.876632>>. Acesso em: 16 mai. 2021.

- ONTARIO offers Quebec a GO train to ease post-collapse traffic. *In: CBC News*, 2006. Disponível em: <<https://www.cbc.ca/news/canada/montreal/ontario-offers-quebec-a-go-train-to-ease-post-collapse-traffic-1.610227>>. Acesso em: 16 mai. 2021.
- PARTE de viaduto cai e deixa 2 mortos em Coelho Neto, Zona Norte do Rio; consórcio diz que caminhão atingiu estrutura. *In: G1*, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2019/08/08/parte-de-viaduto-cai-e-deixa-vitimas-em-coelho-neto-zona-norte-do-rio.ghtml>>. Acesso em: 18 mai. 2021.
- PERNAMBUCO. Decreto n° 11.238, de 11 de março de 1986. Homologa Resolução do Conselho Estadual de Cultura, de tombamento do trecho ferroviário compreendido entre Recife e Gravatá, neste Estado. **Diário Oficial**, Recife, 11 de março de 1986.
- PHUNG, M. D. *et al.* Enhanced discrete particle swarm optimization path planning for UAV vision-based surface inspection. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 81, p. 25-33, 2017.
- PINES, D.; AKTAN, A. E. Status of structural health monitoring of long-span bridges in the United States. **Progress in Structural Engineering and materials**, [s. l.], v. 4, p. 372-380, 2002.
- PINTO, Estevão. **História de uma estrada de ferro do Nordeste**. Rio de Janeiro: José Olympio Editora, 1949.
- PORTUGAL bridge collapse 'kills 70'. **BBC News**, 2001. Disponível em: <<http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/1202214.stm>>. Acesso em: 16 maio 2021.
- POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. 2010. 265p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- PUSHPAKUMARA, B. H. J.; SILVA, S.; SILVA, G. H. M. J. S. Visual inspection and non-destructive tests-based rating method for concrete bridges. **International Journal of Structural Engineering**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 74-91, 2017.
- RASHIDI, M.; SAMALI, B.; SHARAFI, P. A new model for bridge management: Part A: condition assessment and priority ranking of bridges. **Australian Journal of Civil Engineering**, Australia, v. 14, n. 1, p. 35-45, 2016.
- REHMAN, S. K. U. *et al.* Nondestructive test methods for concrete bridges: A review. **Construction and building materials**, Edimburgo, v. 107, p. 58-86, 2016.
- RICH, A. P. The Roman Bridge. *In: SMITH, W. A Dictionary of Greek and Roman Antiquities*. London: J. Murray, 1875. p. (936) – (939). Disponível em: https://penelope.uchicago.edu/Thayer/e/roman/texts/secondary/smigra*/pons.html. Acesso em: 30 set. 2019.
- RILEM RECOMENDATIONS. CPC 18: Measurement of hardened concrete carbonation depth**, 1988.
- RODRÍGUEZ, D; FERRI, P.; ZEREGA, G.; REINA, E. Queda de viaduto do metrô deixa 24 mortos na Cidade do México. *In: ÉL País*, 2021. Disponível em: <<https://brasil.elpais.com/>>

internacional/2021-05-04/queda-de-viaduto-do-metro-deixa-23-mortos-na-cidade-do-mexico.html>. Acesso em: 18 maio 2021

SALES, A. *et al.* **Corrosão e degradação em estruturas de concreto**: Teoria, controle e técnicas de análise e intervenção. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

SANTOS, A. R. S. **O sentido da paisagem**: a relação entre a ferrovia e a Serra das Russas em Pernambuco. 2013. 156 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano) – Centro de Artes e Comunicação, da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SÂP cầu Cần Thơ, hàng chục người thiệt mạng. *In: VnExpress*, 2007. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20071026143738/http://vnexpress.net/Vietnam/Xa-hoi/2007/09/3B9FAA05/>>. Acesso em: 17 maio 2021.

SCHERER, S. *et al.* Flying fast and low among obstacles: Methodology and experiments. **The International Journal of Robotics Research**, Los Angeles v. 27, n. 5, p. 549-574, 2008.

SCHNEIDER, R. *et al.* Assessing and updating the reliability of concrete bridges subjected to spatial deterioration—principles and software implementation. **Structural Concrete**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 356-365, 2015.

SEIS 6 killed as Spain bridge collapses. *In: CNN*, 2005. Disponível em: <<http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/1202214.stm>>. Acesso em: 16 maio 2021.

SILVA, C. J. G.; MONTEIRO, E. C. B.; VITÓRIO J. P. A. Condições estruturais e funcionais de pontes e viadutos das rodovias federais de Pernambuco. **Revista ALCONPAT**, Mérida Yucatán, v. 8, n. 1, p. 79-93, jan./abr. 2018. Disponível em: <https://www.revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/199>. Acesso em: 25 de set. de 2019.

SIMÕES, Luiz F.; RODRIGUES, Pablo F.; PINHEIRO, Débora CC. Análise crítica dos métodos de inspeção da ABNT NBR 9452: 2019. *In: XII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas*, 1., 2021. Digital. **Anais [...]**. ABPE, 2021.

SOUSA, P. A.; GOMES, T. Estudo dos efeitos da carbonatação na vida útil de pontes de concreto armado. **Engineering Sciences**, v.6, n.2, p.1- 11, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2018.002.0001>

STANISLAV, R. *et al.* Inspection of Quality of Concrete of Load-bearing Structure, Bridge No. 121-007 Across Vltava River at Zvikov. **Procedia engineering**, [s. l.], v. 156, p. 466-472, 2016.

STOCHINO, F.; FADDA, M. L.; MISTRETTA, F. Assessment of RC Bridges integrity by means of low-cost investigations. **Frattura ed Integrità Strutturale**, Italy, v. 12, n. 46, p. 216-225, 2018.

THREE dead in newly-built Chinese bridge collapse. *In: BBC News*, 2012. Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/world-asia-china-19365154>>. Acesso em: 17 maio 2021.

TOLEDO, R. L. S. **Dimensionamento de vigas de rigidez de concreto de pontes estaiadas**. 2014. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

UNIFICAZIONE NAZIONALE ITALIANA – UNI. **UNI 7928:1978**. *Calcestruzzo. Determinazione della penetrabilità dello ione cloruro*. 1978

UPDATE: Grayston temporary bridge collapses onto M1. In: **eNews Channel Africa**, 2015. Disponível em: < <https://www.enca.com/south-africa/grayston-bridge-over-m1-highway-collapses>>. Acesso em: 18 maio 2021.

VERLY, R. C. **Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais**. 2015. 178 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

VIEIRA, M. A. **Patologias construtivas: conceito, origens e métodos de tratamento**. Uberlândia, Brasil, 2016.

VITÓRIO, J. A. P. **Pontes Rodoviárias. Fundamentos, Conservação e Gestão**. Recife, 2002.

VITÓRIO, J. A. P. Vistorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 48., 2006, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: IBRACON, 2006. Disponível em: http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Vistorias_Conservacao_Gestao_Pontes_Viadutos_Concreto.pdf. Acesso em: 26 abr. 2019.

XIE, R. *et al.* Automatic multi-image stitching for concrete bridge inspection by combining point and line features. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 90, p. 265-280, 2018.

YAN, Y. *et al.* Automated damage detection and structural modelling with laser scanning. In: Structural Stability Research Council Annual Stability Conference, 2016, Florida. **Publications [...]**, 2016. Disponível em: https://repository.library.northeastern.edu/downloads/neu:m040h590t?datastream_id=contente. Acesso em: 26 out. 2019.

APÊNDICE I PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA

Objetivo:

Identificar e investigar os métodos e técnicas existentes de avaliação do estado geral de conservação de OAE's em concreto armado.

Formulação da Questão de Pesquisa:

- 1) *Quais são os principais métodos de inspeção de OAE's?*
- 2) *Quais são os ensaios existentes para avaliar o estado geral de conservação das OAE's em concreto armado?*

Itens relacionados ao escopo e especificidades da questão de pesquisa:

- **Intervenção:** métodos de inspeção para avaliação do estado geral de conservação das OAE's em concreto armado.
- **Controle:** coleção de artigos e outros trabalhos levantados e relacionados em revisões bibliográficas de dissertações de mestrado, teses de doutorado, Normas e livros relacionados à área da pesquisa.
- **População:** pesquisadores que realizam trabalhos de avaliação do estado geral de conservação das OAE's em concreto armado e também pesquisadores de outras áreas de conhecimento que apresentam metodologias de avaliação em outros tipos de sistemas e que podem servir como referência.
- **Resultados:** visão profunda e abrangente dos métodos, parâmetros e ensaios para avaliar o estado geral de conservação das OAE's em concreto armado.
- **Aplicação:** Pesquisadores da área de inspeção em OAE's que desenvolvem métodos de avaliação das condições estruturais, funcionais e de durabilidade dessas estruturas em concreto armado.

Estratégias para busca e seleção de estudos primários:

Os recursos e estratégias para busca e seleção de estudos foram definidos e selecionados com base em quatro itens fundamentais, são eles:

- **Fontes de busca:** base de dados eletrônicas indexadas (Periódicos CAPES, Google Acadêmico), anais de conferências relacionadas ao assunto, biblioteca de teses e dissertações das universidades UPE, USP e U.Porto.
- **Idioma:** preferencialmente a língua inglesa, por ser considerado o idioma mais aceito internacionalmente para artigos científicos na área do trabalho, mas artigos relevantes encontrados na língua portuguesa, publicados em eventos nacionais relacionados à área de pesquisa, também serão considerados.
- **Palavras-chave:** *"Aerial photos", "Assays", "Bridge inspection", "Bridges and viaducts", "Bridges", "Concrete", "Corrosion", "Infrared thermography", "Inspection", "Maintenance", "Monitoring", "Pathological manifestations", "Pathologies", "Rehabilitation", "Structural damage", "Structures", "UAV", "Visual inspection".*

A escolha dos termos e suas relações se justificam pelo objetivo principal da revisão, que é identificar os principais métodos de inspeção de OAE's e os ensaios existentes para avaliar o estado geral de conservação das OAE's em concreto armado.

• **Data de publicação:** para realizar a revisão foram considerados artigos publicados a partir do ano 2015, para se buscar novas abordagens de avaliação. Mas eventualmente podem-se encontrar fontes clássicas com definições (Normas e livros com conceitos clássicos da engenharia) que também serão considerados.

Critérios e Procedimentos para Seleção dos Estudos

Critérios de inclusão

Os seguintes critérios de inclusão de trabalhos foram definidos:

- a) descrições que abordam normas de como é realizada inspeção de OAE's em concreto armado;
- b) descrições de diferentes métodos de inspeção para avaliar o estado geral de conservação das OAE's em concreto armado;
- c) abordagem de técnicas e ensaios que visam avaliar o estado geral de conservação das OAE's em concreto armado;
- d) estudos experimentais que validam a aquisição de conhecimento;
- e) apresentação de metodologias de avaliação em outros tipos de estruturas de concreto armado, mas que sejam metodologias já estabelecidas pelos pesquisadores da área de conhecimento;
- f) descrições de aplicações que utilizam das tecnologias disponíveis para avaliar as condições estruturais, funcionais e de durabilidade das OAE 's em concreto armado.

Critérios de exclusão

Os seguintes critérios de exclusão foram definidos:

- a) trabalhos publicados como artigo curtos ou pôsteres;
- b) trabalhos que apresentam avaliações sem apresentar o método utilizado;
- c) artigos cujo foco não corresponda à questão de pesquisa.

Processo de Seleção dos Estudos

- Processo de Seleção Preliminar:

Construir uma *string* de busca formada pela combinação das palavras-chave identificadas e submetê-las às máquinas de busca relacionadas. Os trabalhos recuperados das bases serão inicialmente armazenados em um *software* de organização de referências bibliográficas, em seguida será realizada a leitura dos resumos dos trabalhos armazenados. Após a leitura do resumo e aplicação dos critérios de Inclusão e exclusão, o trabalho será selecionado se confirmada a sua relevância pelo principal revisor (aluno), em seguida, ele será selecionado para ser lido na íntegra. Se houver dúvida da relevância, os demais revisores serão consultados. Os textos serão documentados em um formulário de condução da revisão e

selecionados com base nos critérios previamente definidos. Obras repetidas devem ser documentadas uma única vez.

- **Processo de Seleção Final:**

O processo de seleção final consiste na leitura completa dos trabalhos selecionados na etapa de seleção preliminar. O revisor se encarregará de fazer uma síntese geral e algumas considerações sobre os resultados observados nos trabalhos selecionados, destacando-se métodos de inspeção da(s) OAE'(s) em concreto armado, como também os ensaios utilizados para avaliar as condições estruturais, funcionais e de durabilidade dessas estruturas, quando for o caso. Para conceitos clássicos provenientes de livros, teses de doutorado e dissertações de mestrado da área, serão realizados fichamentos de conteúdo acompanhado de um fichamento de citações.

- **Sumarização dos resultados:**

Por meio dos critérios definidos para seleção dos estudos, os artigos encontrados durante a revisão, sejam eles incluídos ou excluídos, serão todos agrupados em uma tabela, primeiramente organizados pelo método de inspeção aplicado, e em segundo, pelos ensaios empregados para avaliar as OAE's em concreto armado. As seguintes informações serão extraídas de cada artigo incluído: finalidade da investigação, método usado na inspeção e na avaliação das OAE's de concreto armado, classificação do método de inspeção (ensaios estatísticos e dinâmicos, modelo matemático teórico-experimental, monitoração e análise experimental dinâmica), se o método experimental ou normatizado.

APÊNDICE II
FICHAS DE INSPEÇÃO CADASTRAL

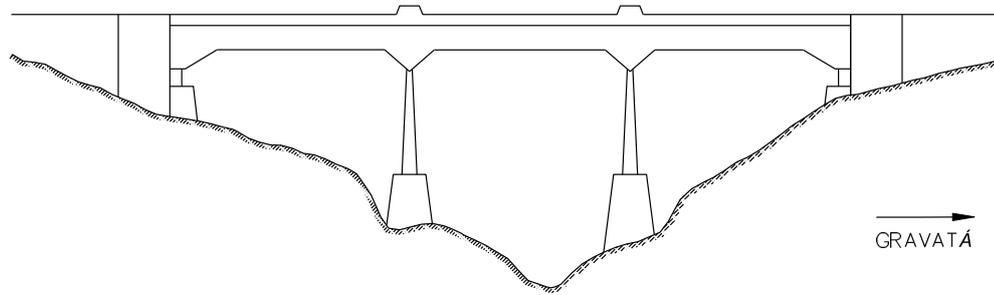
Ficha de inspeção cadastral	
Inspeção Cadastral(ano): 2021	OAE Código: V1
Jurisdição (Órgão, Concessão ou outro): RFFSA - União	Data da inspeção: 06/06/2021
Parte I - Cadastro	
A – Identificação e localização	
Via ou município: Município de Gravatá	Sentido: Recife - Caruaru
Obra: Viaduto	Localização (km ou endereço): 64,782
Ano da construção: 1945	Projetista: Firma Christiani & Nielsen
Trem-tipo: -	Construtor: Great Western
B – Características da estrutura	
Comprimento e largura	
Comprimento total (m): 62,50	Largura total (m): 4,50
	Largura útil (m): 4,50
Tipologia estrutural	
Sistema construtivo (ver Tabela A.3): 1	
Natureza da transposição (ver Tabela A.4): 4	Material (ver Tabela A. 5): 1
Seção tipo: seção T	
Longitudinal (superestrutura) (ver Tabela A.2): 1	Mesoestrutura (ver Tabela A.2): 3
Transversal (superestrutura) (ver Tabela A.2): 1	Infraestrutura (ver Tabela A.2): 1
Características particulares	
Número de vãos: 3	Comprimento do vão tipo (m): 20,25; 22,00
Número de apoios: 4	Comprimento do maior vão (m): 22,00
Número de pilares por apoio: 1	Altura dos pilares (m): 9,50
Aparelhos de apoio (quantidade e tipo): 4/articulação fixa tipo Freyssinet	Juntas de dilatação (quantidade e tipo): 2 entre o tabuleiro e as estruturas de encontro sem vedação.
Encontros: muro de arrimo, muros de ala e apoio da superestrutura	
C – Características funcionais	
Características planialtimétricas	
Região montanhosa, traçado em eixo reto, não há esconsidade.	
Características da pista	
Número de faixas: não se aplica	Largura da faixa (m): não se aplica
Acostamento: não se aplica	Largura do acostamento (m): não se aplica
Refúgios: 4 refúgios (dois em cada lateral)	Largura do refúgio (m): 1,70
Passeio: não se aplica	Largura do passeio (m): não se aplica
Barreira rígida: não	Guarda-corpo: não
Pavimento (asfáltico. concreto): não se aplica	Drenos: buzinotes curtos de PVC no fundo da laje e nos refúgios

Pingadeiras: não	
Gabaritos	
Gabarito vertical do viaduto (m): não se aplica	Gabarito navegável da ponte (m): não se aplica
Tráfego	
Frequência de passagem de carga especial: inoperante	
Parte II - Registro de anomalias	
A - Elementos estruturais	
Superestrutura: corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos e na região dos apoios intermediários das vigas longarinas. Fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas no fundo das vigas longarinas.	
Mesoestrutura: Concreto deteriorado e presença de vegetação, mofo e bolor.	
Infraestrutura: presença de vegetação.	
Aparelhos de apoio: os aparelhos de apoio móveis encontram-se totalmente esmagados, em alguns casos tornando impossível a sua visualização e identificação	
Juntas de dilatação. não apresentam vedação. Não havia acesso para exame dos elementos de concreto sob as juntas.	
Encontros: as estruturas de contenção dos aterros dos encontros apresentam fissuras e trincas na parte superior das paredes laterais, com presença de umidade e os taludes dos encontros estão em boas condições.	
Outros elementos: as estruturas dos refúgios apresentam fissuras e trincas nas laterais, com destacamento do concreto, concreto deteriorado e armaduras expostas. Fissura no engastamento entre os refúgios e a viga longarina.	
B - Elementos da pista ou funcionais	
Pavimento: não se aplica.	
Acostamento e refúgio: não se aplica.	
Drenagem: os tubos instalados no fundo da laje não parecem obstruídos, mas há manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem e em áreas próximas, revelando a ineficiência do sistema.	
Guarda - corpos: não se aplica.	
Barreira de concreto /Defesa metálica: não se aplica.	
C - Outros elementos	
Taludes: declividade variável de 1:3 a 1:5, com vegetação natural, sem proteção superficial.	
Iluminação:	
Sinalização:	
Gabaritos:	
Proteção de pilares:	
D - Informações complementares e recomendações de terapia	
Parte III - Classificação da OAE (ver Seção 5)	
Estrutural: 3	Funcional: 5
Durabilidade: 3	

Justificativas:

Croqui

Corte longitudinal



PERFIL

Levantamento fotográfico (no mínimo oito fotografias)



Fundo da laje com manchas de infiltração.



Vão da estrutura.



Vão apresentando armadura exposta.



Refúgio com fissura e manchas.



Vão com umidade aparente a esquerda.



Vão com deterioração do concreto.



Fundo da laje com fissuração e umidade.



Corrosão no refúgio.



Longarina com fissura.



Vista lateral do viaduto.



Vista superior.



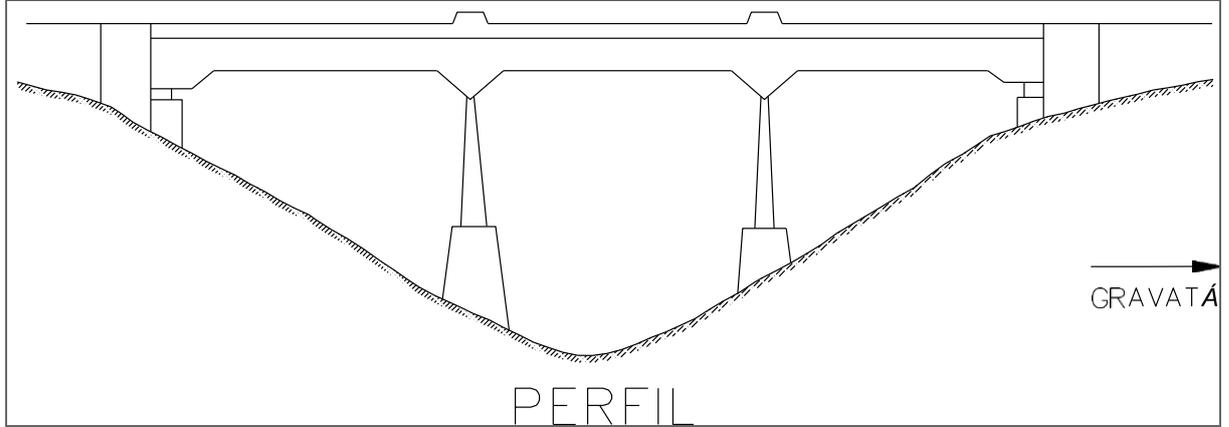
Vegetação na infraestrutura.

Ficha de inspeção cadastral	
Inspeção Cadastral(ano): 2021	OAE Código: V2
Jurisdição (Órgão, Concessão ou outro): RFFSA - União	Data da inspeção: 06/06/2021
Parte I - Cadastro	
A – Identificação e localização	
Via ou município: Município de Gravatá	Sentido: Recife - Caruaru
Obra: Viaduto	Localização (km ou endereço): 65,191
Ano da construção: 1945 -1946	Projetista: Firma Christiani & Nielsen
Trem-tipo: -	Construtor: Great Western
B – Características da estrutura	
Comprimento e largura	
Comprimento total (m): 62,50	Largura total (m): 4,50
	Largura útil (m): 4,50
Tipologia estrutural	
Sistema construtivo (ver Tabela A.3): 1	
Natureza da transposição (ver Tabela A.4): 4	Material (ver Tabela A. 5): 1
Seção tipo: seção T	
Longitudinal (superestrutura) (ver Tabela A.2): 1	Mesoestrutura (ver Tabela A.2): 4
Transversal (superestrutura) (ver Tabela A.2): 1	Infraestrutura (ver Tabela A.2): 1
Características particulares	
Número de vãos: 3	Comprimento do vão tipo (m): 20,25; 22,00
Número de apoios: 4	Comprimento do maior vão (m): 22,00
Número de pilares par apoio: 1	Altura dos pilares (m): 9,00
Aparelhos de apoio (quantidade e tipo): 4/articulação fixa tipo Freyssinet	Juntas de dilatação (quantidade e tipo): 2 entre o tabuleiro e as estruturas de encontro sem vedação.
Encontros: muro de arrimo, muros de ala e apoio da superestrutura	
C – Características funcionais	
Características planialtimétricas	
Região montanhosa, traçado em eixo reto, não há esconsidade.	
Características da pista	
Número de faixas: não se aplica	Largura da faixa (m): não se aplica
Acostamento: não se aplica	Largura do acostamento (m): não se aplica
Refúgios: 4 refúgios (dois em cada lateral)	Largura do refúgio (m): 1,70
Passeio: não se aplica	Largura do passeio (m): não se aplica
Barreira rígida: não	Guarda-corpo: não
Pavimento (asfáltico. concreto): não se aplica	Drenos: buzinotes curtos de PVC no fundo da laje e nos refúgios
Pingadeiras: não	

Gabaritos	
Gabarito vertical do viaduto (m): não se aplica	Gabarito navegável da ponte (m): não se aplica
Tráfego	
Frequência de passagem de carga especial: inoperante	
Parte II - Registro de anomalias	
A - Elementos estruturais	
Superestrutura: corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos e na região dos apoios intermediários das vigas longarinas. Fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas no fundo das vigas longarinas.	
Mesoestrutura: Concreto deteriorado e presença de vegetação, mofo e bolor.	
Infraestrutura: presença de vegetação e manchas brancas com início de lixiviação	
Aparelhos de apoio: os aparelhos de apoio móveis encontram-se totalmente esmagados, em alguns casos tornando impossível a sua visualização e identificação	
Juntas de dilatação. não apresentam vedação. Não havia acesso para exame dos elementos de concreto sob as juntas.	
Encontros: as estruturas de contenção dos aterros dos encontros apresentam fissuras e trincas na parte superior das paredes laterais, com presença de umidade e os taludes dos encontros estão em boas condições.	
Outros elemental: as estruturas dos refúgios apresentam fissuras e trincas nas laterais, com destacamento do concreto, concreto deteriorado e armaduras expostas. Fissura no engastamento entre os refúgios e a viga longarina.	
B - Elementos da pista ou funcionais	
Pavimento: não se aplica.	
Acostamento e refúgio: não se aplica.	
Drenagem: os tubos instalados no fundo da laje não parecem obstruídos, mas há manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem e em áreas próximas, revelando a ineficiência do sistema.	
Guarda - corpos: não se aplica.	
Barreira de concreto /Defensa metálica: não se aplica.	
C - Outros elementos	
Taludes: declividade variável de 1:3 a 1:5, com vegetação natural, sem proteção superficial.	
Iluminação: não possui	
Sinalização: não possui	
Gabaritos: não possui	
Proteção de pilares: não possui	
D - Informações complementares e recomendações de terapia	
Parte III - Classificação da OAE (ver Seção 5)	
Estrutural: 4	Funcional: 5
Durabilidade: 3	
Justificativas:	

Croqui

Corte longitudinal



Levantamento fotográfico (no mínimo oito fotografias)



Fundo da laje com umidade



Armadura exposta na longarina



Armadura exposta no fundo da longarina



Corrosão e eflorescência na infraestrutura



Armadura exposta no fundo da longarina



Armadura exposta no fundo da loje



Apoio esmagado



Umidade na infraestrutura



Armadura exposta no fundo da longarina



Armadura exposta no refúgio



Vista superior



Armadura exposta no vão

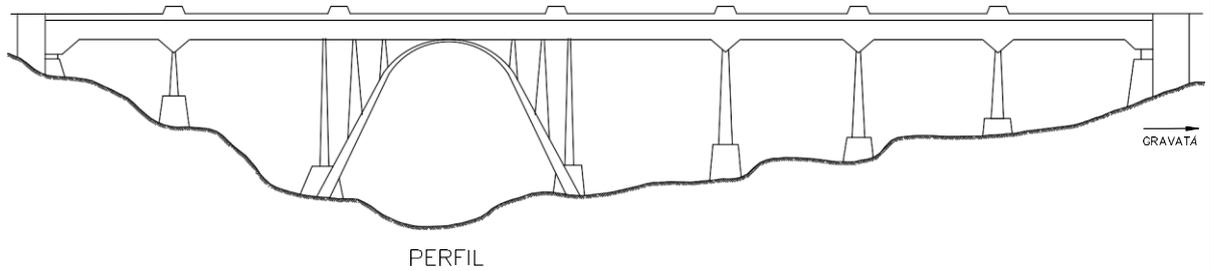
Ficha de inspeção cadastral	
Inspeção Cadastral(ano): 2021	OAE Código: V3
Jurisdição (Órgão, Concessão ou outro): RFFSA - União	Data da inspeção: 28/06/2021
Parte I - Cadastro	
A – Identificação e localização	
Via ou município: Município de Gravatá	Sentido: Recife - Caruaru
Obra: Viaduto	Localização (km ou endereço): 66,770
Ano da construção: 1945 -1947	Projetista: Firma Christiani & Nielsen
Trem-tipo: -	Construtor: Great Western
B – Características da estrutura	
Comprimento e largura	
Comprimento total (m): 170,50	Largura total (m): 4,50
	Largura útil (m): 4,50
Tipologia estrutural	
Sistema construtivo (ver Tabela A.3): 1	
Natureza da transposição (ver Tabela A.4): 4	Material (ver Tabela A. 5): 1
Seção tipo: seção T	
Longitudinal (superestrutura) (ver Tabela A.2): 1	Mesoestrutura (ver Tabela A.2): 3
Transversal (superestrutura) (ver Tabela A.2): 1	Infraestrutura (ver Tabela A.2): 1
Características particulares	
Número de vãos: 7	Comprimento do vão tipo (m): 20,25; 22,00; 23,00 e 40,00
Número de apoios: 13	Comprimento do maior vão (m): 40,00
Número de pilares par apoio: 1	Altura dos pilares (m): 7,00 – 20,00
Aparelhos de apoio (quantidade e tipo): 13/articulação fixa tipo Freyssinet	Juntas de dilatação (quantidade e tipo): 4, 2 entre o tabuleiro e as estruturas de encontro sem vedação e 2 no vão central.
Encontros: muro de arrimo, muros de ala e apoio da superestrutura	
C – Características funcionais	
Características planialtimétricas	
Região montanhosa, traçado em eixo reto, não há esconsidade.	
Características da pista	
Número de faixas: não se aplica	Largura da faixa (m): não se aplica
Acostamento: não se aplica	Largura do acostamento (m): não se aplica
Refúgios: 12 refúgios (6 em cada lateral)	Largura do refúgio (m): 1,70
Passeio: não se aplica	Largura do passeio (m): não se aplica
Barreira rígida: não	Guarda-corpo: não
Pavimento (asfáltico. concreto): não se aplica	Drenos: buzinetes curtos de PVC no fundo da laje e nos refúgios
Pingadeiras: não	

Gabaritos	
Gabarito vertical do viaduto (m): não se aplica	Gabarito navegável da ponte (m): não se aplica
Tráfego	
Frequência de passagem de carga especial: inoperante	
Parte II - Registro de anomalias	
A - Elementos estruturais	
Superestrutura: corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos e na região dos apoios intermediários das vigas longarinas. Fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas no fundo das vigas longarinas.	
Mesoestrutura: Concreto deteriorado e presença de vegetação, mofo e bolor. Pilares de estrutura reticulada com armadura exposta por falta de cobrimento.	
Infraestrutura: corrosão de armaduras em estágio avançado nos blocos. Fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas.	
Aparelhos de apoio: os aparelhos de apoio móveis encontram-se totalmente esmagados, em alguns casos tornando impossível a sua visualização e identificação.	
Juntas de dilatação. não apresentam vedação. Não havia acesso para exame dos elementos de concreto sob as juntas.	
Encontros: as estruturas de contenção dos aterros dos encontros apresentam fissuras e trincas na parte superior das paredes laterais, com presença de umidade e os taludes dos encontros estão em boas condições.	
Outros elemental: as estruturas dos refúgios apresentam fissuras e trincas nas laterais, com destacamento do concreto, concreto deteriorado e armaduras expostas.	
B - Elementos da pista ou funcionais	
Pavimento: não se aplica.	
Acostamento e refúgio: não se aplica.	
Drenagem: os tubos instalados no fundo da laje não parecem obstruídos, mas há manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem e em áreas próximas, revelando a ineficiência do sistema.	
Guarda - corpos: não se aplica.	
Barreira de concreto /Defensa metálica: não se aplica.	
C - Outros elementos	
Taludes: declividade variável de 1:3 a 1:5, com vegetação natural, sem proteção superficial.	
Iluminação: não possui	
Sinalização: não possui	
Gabaritos: não possui	
Proteção de pilares: não possui	
D - Informações complementares e recomendações de terapia	
Parte III - Classificação da OAE (ver Seção 5)	
Estrutural: 4	Funcional: 5
Durabilidade: 3	

Justificativas:

Croquis

Corte longitudinal



Levantamento fotográfico (no mínimo oito fotografias)



Vista lateral com armadura exposta



Vista lateral com manchas de fungo e bolor



Vista superior



Mesoestrutura



Mofa e bolor na mesoestrutura



Umidade no fundo do refúgio



Amadura exposta no furo de drenagem



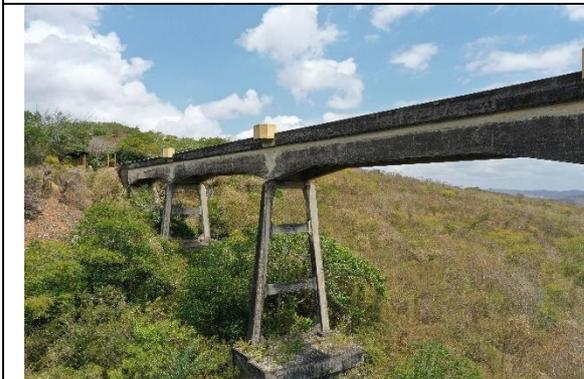
Vista superior



Vista lateral com mofo e bolor



Vista lateral



Vista lateral



Armadura exposta na parte sup. longarina



Mesoestrutura com fissuração



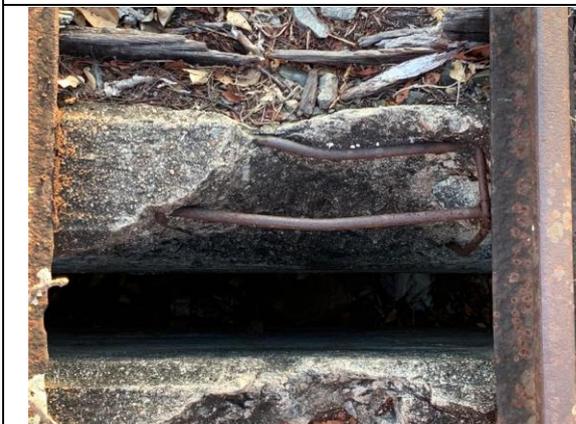
Peças de fixação na infraestrutura



Armadura exposta na infraestrutura



Armadura exposta no refúgio



Armadura exposta no vão



Detalhe de armadura exposta no refúgio



Armadura exposta na infraestrutura



Armadura exp. Mesoestrutura e longarina

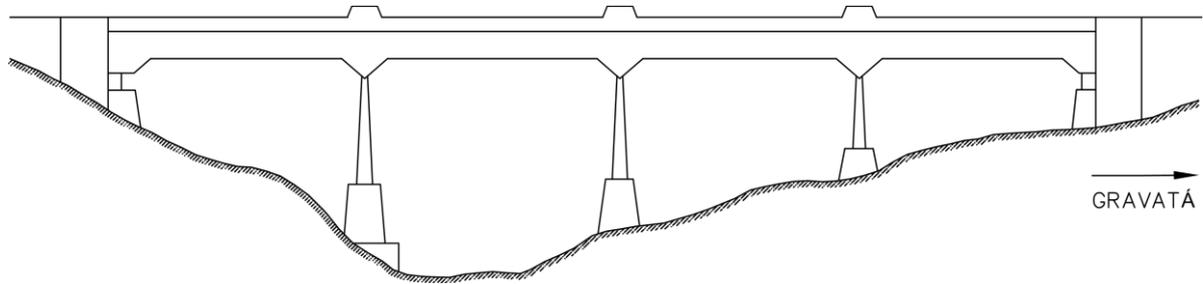
Ficha de inspeção cadastral	
Inspeção Cadastral(ano): 2021	OAE Código: V4
Jurisdição (Órgão, Concessão ou outro): RFFSA - União	Data da inspeção: 11/09/2021
Parte I - Cadastro	
A – Identificação e localização	
Via ou município: Município de Gravatá	Sentido: Recife - Caruaru
Obra: Viaduto	Localização (km ou endereço): 68,398
Ano da construção: 1945	Projetista: Firma Christiani & Nielsen
Trem-tipo: -	Construtor: Great Western
B – Características da estrutura	
Comprimento e largura	
Comprimento total (m): 84,50	Largura total (m): 4,50
	Largura útil (m): 4,50
Tipologia estrutural	
Sistema construtivo (ver Tabela A.3): 1	
Natureza da transposição (ver Tabela A.4): 4	Material (ver Tabela A. 5): 1
Seção tipo: seção T	
Longitudinal (superestrutura) (ver Tabela A.2): 1	Mesoestrutura (ver Tabela A.2): 3
Transversal (superestrutura) (ver Tabela A.2): 1	Infraestrutura (ver Tabela A.2): 1
Características particulares	
Número de vãos: 4	Comprimento do vão tipo (m): 20,25; 22,00
Número de apoios: 5	Comprimento do maior vão (m): 22,00
Número de pilares por apoio: 1	Altura dos pilares (m): 6,00 e 9,00
Aparelhos de apoio (quantidade e tipo): 5/articulação fixa tipo Freyssinet	Juntas de dilatação (quantidade e tipo): 2 entre o tabuleiro e as estruturas de encontro sem vedação e 1 intermediária.
Encontros: muro de arrimo, muros de ala e apoio da superestrutura	
C – Características funcionais	
Características planialtimétricas	
Região montanhosa, traçado em eixo reto, não há esconsidade.	
Características da pista	
Número de faixas: não se aplica	Largura da faixa (m): não se aplica
Acostamento: não se aplica	Largura do acostamento (m): não se aplica
Refúgios: 6 refúgios (3 em cada lateral)	Largura do refúgio (m): 1,70
Passeio: não se aplica	Largura do passeio (m): não se aplica
Barreira rígida: não	Guarda-corpo: não
Pavimento (asfáltico. concreto): não se aplica	Drenos: buzinetes curtos de PVC no fundo da laje e nos refúgios

Pingadeiras: não	
Gabaritos	
Gabarito vertical do viaduto (m): não se aplica	Gabarito navegável da ponte (m): não se aplica
Tráfego	
Frequência de passagem de carga especial: inoperante	
Parte II - Registro de anomalias	
A - Elementos estruturais	
Superestrutura: corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos e na região dos apoios intermediários das vigas longarinas. Fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas no fundo das vigas longarinas.	
Mesoestrutura: Concreto deteriorado e presença de vegetação, mofo e bolor. Pilares de estrutura reticulada com armadura exposta por falta de cobertura.	
Infraestrutura: não foi possível verificar	
Aparelhos de apoio: os aparelhos de apoio móveis encontram-se totalmente esmagados, em alguns casos tornando impossível a sua visualização e identificação.	
Juntas de dilatação. não apresentam vedação. Não havia acesso para exame dos elementos de concreto sob as juntas.	
Encontros: as estruturas de contenção dos aterros dos encontros apresentam fissuras e trincas na parte superior das paredes laterais, com presença de umidade e os taludes dos encontros estão em boas condições.	
Outros elementos: as estruturas dos refúgios apresentam fissuras e trincas nas laterais, com destacamento do concreto, concreto deteriorado e armaduras expostas.	
B - Elementos da pista ou funcionais	
Pavimento: não se aplica.	
Acostamento e refúgio: não se aplica.	
Drenagem: os tubos instalados no fundo da laje não parecem obstruídos, mas há manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem e em áreas próximas, revelando a ineficiência do sistema.	
Guarda - corpos: não se aplica.	
Barreira de concreto /Defensa metálica: não se aplica.	
C - Outros elementos	
Taludes: declividade variável de 1:3 a 1:5, com vegetação natural, sem proteção superficial.	
Iluminação: não possui	
Sinalização: não possui	
Gabaritos: não possui	
Proteção de pilares: não possui	
D - Informações complementares e recomendações de terapia	
Parte III - Classificação da OAE (ver Seção 5)	
Estrutural: 4	Funcional: 5
Durabilidade: 3	

Justificativas:

Croquis

Corte longitudinal



PERFIL

Levantamento fotográfico (no mínimo oito fotografias)



Armadura exposta na longarina



Armadura exposta no vão



Armadura exposta no refúgio



Armadura exposta no refúgio



Armadura exposta no vão



Concreto deteriorado no vão



Vista superior



Armadura exposta na longarina



Armadura exposta no refúgio



Detalhe armadura exposta no refúgio



Armadura exposta na longarina



Carbonatação

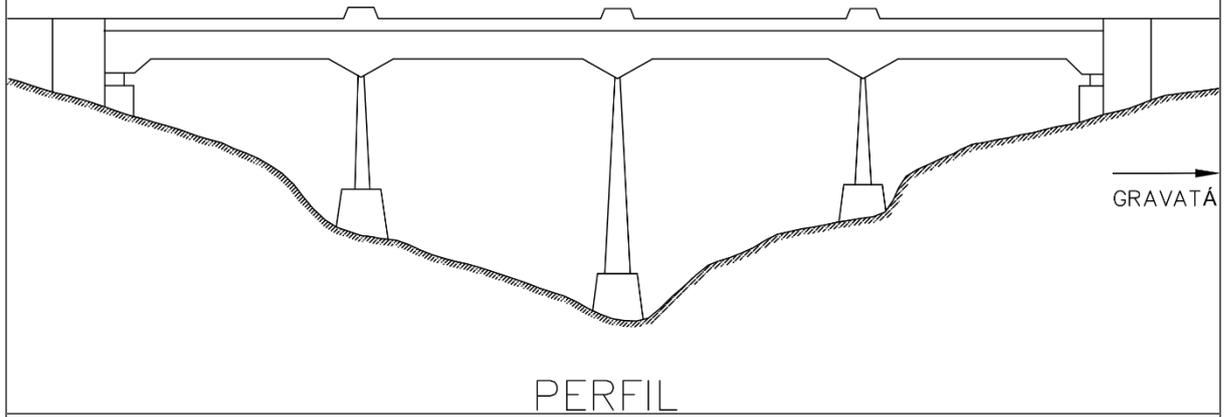
Ficha de inspeção cadastral	
Inspeção Cadastral(ano): 2021	OAE Código: V6
Jurisdição (Órgão, Concessão ou outro): RFFSA - União	Data da inspeção: 11/09/2021
Parte I - Cadastro	
A – Identificação e localização	
Via ou município: Município de Gravatá	Sentido: Recife - Caruaru
Obra: Viaduto	Localização (km ou endereço): 70,807
Ano da construção: 1945-1946	Projetista: Firma Christiani & Nielsen
Trem-tipo: -	Construtor: Great Western
B – Características da estrutura	
Comprimento e largura	
Comprimento total (m): 84,95	Largura total (m): 4,50
	Largura útil (m): 4,50
Tipologia estrutural	
Sistema construtivo (ver Tabela A.3): 1	
Natureza da transposição (ver Tabela A.4): 4	Material (ver Tabela A. 5): 1
Seção tipo: seção T	
Longitudinal (superestrutura) (ver Tabela A.2): 1	Mesoestrutura (ver Tabela A.2): 3
Transversal (superestrutura) (ver Tabela A.2): 1	Infraestrutura (ver Tabela A.2): 1
Características particulares	
Número de vãos: 4	Comprimento do vão tipo (m): 20,25; 22,10; 20,70
Número de apoios: 5	Comprimento do maior vão (m): 22,10
Número de pilares por apoio: 1	Altura dos pilares (m): 7,50 e 13,00
Aparelhos de apoio (quantidade e tipo): 5/articulação fixa tipo Freyssinet	Juntas de dilatação (quantidade e tipo): 2 entre o tabuleiro e as estruturas de encontro sem vedação e 1 intermediária.
Encontros: muro de arrimo, muros de ala e apoio da superestrutura	
C – Características funcionais	
Características planialtimétricas	
Região montanhosa, traçado em eixo reto, não há esconsidade.	
Características da pista	
Número de faixas: não se aplica	Largura da faixa (m): não se aplica
Acostamento: não se aplica	Largura do acostamento (m): não se aplica
Refúgios: 6 refúgios (3 em cada lateral)	Largura do refúgio (m): 1,70
Passeio: não se aplica	Largura do passeio (m): não se aplica
Barreira rígida: não	Guarda-corpo: não
Pavimento (asfáltico. concreto): não se aplica	Drenos: buzinetes curtos de PVC no fundo da laje e nos refúgios

Pingadeiras: não	
Gabaritos	
Gabarito vertical do viaduto (m): não se aplica	Gabarito navegável da ponte (m): não se aplica
Tráfego	
Frequência de passagem de carga especial: inoperante	
Parte II - Registro de anomalias	
A - Elementos estruturais	
Superestrutura: corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos e na região dos apoios intermediários das vigas longarinas. Fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas no fundo das vigas longarinas.	
Mesoestrutura: Concreto deteriorado e presença de vegetação, mofo e bolor. Pilares de estrutura reticulada com armadura exposta por falta de cobertura.	
Infraestrutura: não foi possível verificar	
Aparelhos de apoio: os aparelhos de apoio móveis encontram-se totalmente esmagados, em alguns casos tornando impossível a sua visualização e identificação.	
Juntas de dilatação. não apresentam vedação. Não havia acesso para exame dos elementos de concreto sob as juntas.	
Encontros: as estruturas de contenção dos aterros dos encontros apresentam fissuras e trincas na parte superior das paredes laterais, com presença de umidade e os taludes dos encontros estão em boas condições.	
Outros elementos: as estruturas dos refúgios apresentam fissuras e trincas nas laterais, com destacamento do concreto, concreto deteriorado e armaduras expostas.	
B - Elementos da pista ou funcionais	
Pavimento: não se aplica.	
Acostamento e refúgio: não se aplica.	
Drenagem: os tubos instalados no fundo da laje não parecem obstruídos, mas há manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem e em áreas próximas, revelando a ineficiência do sistema.	
Guarda - corpos: não se aplica.	
Barreira de concreto /Defensa metálica: não se aplica.	
C - Outros elementos	
Taludes: declividade variável de 1:3 a 1:5, com vegetação natural, sem proteção superficial.	
Iluminação: não possui	
Sinalização: não possui	
Gabaritos: não possui	
Proteção de pilares: não possui	
D - Informações complementares e recomendações de terapia	
Parte III - Classificação da OAE (ver Seção 5)	
Estrutural: 4	Funcional: 5
Durabilidade: 3	

Justificativas:

Croquis

Corte longitudinal



Levantamento fotográfico (no mínimo oito fotografias)



Armadura exposta no vão



Armadura exposta no apoio



Vista lateral



Vista do vão



Armadura exposta na longarina



Armadura exposta na longarina



Armadura exposta no apoio



Vista lateral



Acúmulo de água no refúgio



Vegetação no tabuleiro



Vegetação no refúgio



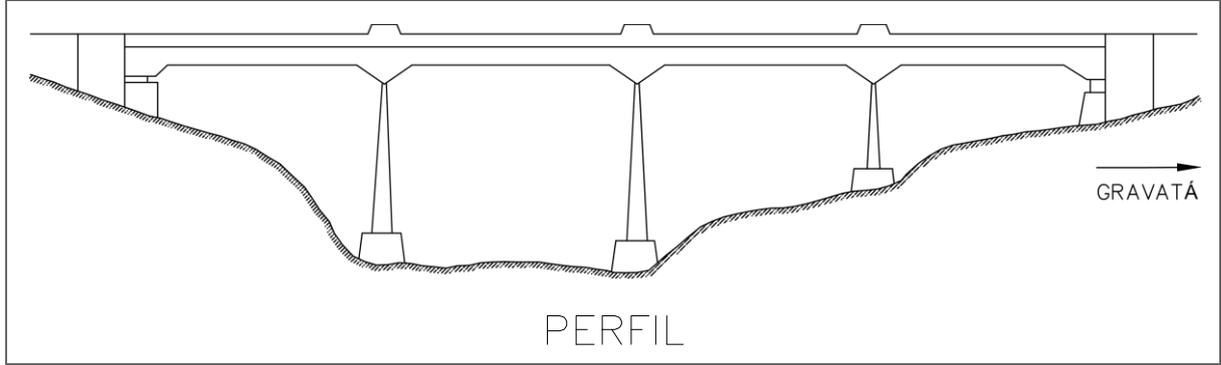
Carbonatação

Ficha de inspeção cadastral	
Inspeção Cadastral(ano): 2021	OAE Código: V5
Jurisdição (Órgão, Concessão ou outro): RFFSA - União	Data da inspeção: 11/09/2021
Parte I - Cadastro	
A – Identificação e localização	
Via ou município: Município de Gravatá	Sentido: Recife - Caruaru
Obra: Viaduto	Localização (km ou endereço): 70,039
Ano da construção: 1945	Projetista: Firma Christiani & Nielsen
Trem-tipo: -	Construtor: Great Western
B – Características da estrutura	
Comprimento e largura	
Comprimento total (m): 84,70	Largura total (m): 4,50
	Largura útil (m): 4,50
Tipologia estrutural	
Sistema construtivo (ver Tabela A.3): 1	
Natureza da transposição (ver Tabela A.4): 4	Material (ver Tabela A. 5): 1
Seção tipo: seção T	
Longitudinal (superestrutura) (ver Tabela A.2): 1	Mesoestrutura (ver Tabela A.2): 3
Transversal (superestrutura) (ver Tabela A.2): 1	Infraestrutura (ver Tabela A.2): 1
Características particulares	
Número de vãos: 4	Comprimento do vão tipo (m): 20,25; 22,10
Número de apoios: 5	Comprimento do maior vão (m): 22,10
Número de pilares por apoio: 1	Altura dos pilares (m): 8,50, 9,10 e 16,70
Aparelhos de apoio (quantidade e tipo): 5/articulação fixa tipo Freyssinet	Juntas de dilatação (quantidade e tipo): 2 entre o tabuleiro e as estruturas de encontro sem vedação e 1 intermediária.
Encontros: muro de arrimo, muros de ala e apoio da superestrutura	
C – Características funcionais	
Características planialtimétricas	
Região montanhosa, traçado em eixo reto, não há esconsidade.	
Características da pista	
Número de faixas: não se aplica	Largura da faixa (m): não se aplica
Acostamento: não se aplica	Largura do acostamento (m): não se aplica
Refúgios: 6 refúgios (3 em cada lateral)	Largura do refúgio (m): 1,70
Passeio: não se aplica	Largura do passeio (m): não se aplica
Barreira rígida: não	Guarda-corpo: não
Pavimento (asfáltico. concreto): não se aplica	Drenos: buzinetes curtos de PVC no fundo da laje e nos refúgios
Pingadeiras: não	

Gabaritos	
Gabarito vertical do viaduto (m): não se aplica	Gabarito navegável da ponte (m): não se aplica
Tráfego	
Frequência de passagem de carga especial: inoperante	
Parte II - Registro de anomalias	
A - Elementos estruturais	
Superestrutura: corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos e na região dos apoios intermediários das vigas longarinas. Fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas no fundo das vigas longarinas.	
Mesoestrutura: Concreto deteriorado e presença de vegetação, mofo e bolor. Pilares de estrutura reticulada com armadura exposta por falta de cobrimento.	
Infraestrutura: não foi possível verificar	
Aparelhos de apoio: os aparelhos de apoio móveis encontram-se totalmente esmagados, em alguns casos tornando impossível a sua visualização e identificação.	
Juntas de dilatação. não apresentam vedação. Não havia acesso para exame dos elementos de concreto sob as juntas.	
Encontros: as estruturas de contenção dos aterros dos encontros apresentam fissuras e trincas na parte superior das paredes laterais, com presença de umidade e os taludes dos encontros estão em boas condições.	
Outros elemental: as estruturas dos refúgios apresentam fissuras e trincas nas laterais, com destacamento do concreto, concreto deteriorado e armaduras expostas.	
B - Elementos da pista ou funcionais	
Pavimento: não se aplica.	
Acostamento e refúgio: não se aplica.	
Drenagem: os tubos instalados no fundo da laje não parecem obstruídos, mas há manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem e em áreas próximas, revelando a ineficiência do sistema.	
Guarda - corpos: não se aplica.	
Barreira de concreto /Defesa metálica: não se aplica.	
C - Outros elementos	
Taludes: declividade variável de 1:3 a 1:5, com vegetação natural, sem proteção superficial.	
Iluminação: não possui	
Sinalização: não possui	
Gabaritos: não possui	
Proteção de pilares: não possui	
D - Informações complementares e recomendações de terapia	
Parte III - Classificação da OAE (ver Seção 5)	
Estrutural: 4	Funcional: 5
Durabilidade: 3	
Justificativas:	

Croquis

Corte longitudinal



Levantamento fotográfico (no mínimo oito fotografias)



Vão

Armadura exposta no refúgio



Detalhe de armadura exposta no refúgio

Detalhe de armadura exposta no refúgio



Mofa e bolor no refúgio



Desplacamento do concreto



Vão



Vegetação sobre a estrutura



Vista superior



Armadura exposta superior longarina

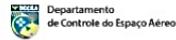


Carbonatação na logarina



Carbonatação na logarina

APÊNDICE III SOLICITAÇÃO DE VOO



INÍCIO

CONSULTA

CADASTRO

SOLICITAÇÃO

CONTATO

Menu

- Início
- Voos
- Aeronaves
- Compartilhamento
- Cadastro
- Sair (Logout)

Meus Voos

Imprimir

Solicitar

SOLICITAÇÃO DE VOO #A5B832

APROVADO

Código
SARPAS
RGBF

Operação

- Solicitante: Wildson Wellington Silva
- Perfil: 2 (Recreativo Urbano (H < 131ft , A < 200m) / Recreativo Rural (H < 164ft , A < 500m) / MCA 56-2)
- Tipo/Regra: VLOS/V

Equipamento

- Nº SISANT: PP-153759820

Ver Certificado SISANT

Localização

- Decolagem
Lat:-8.17401
Lng: -35.49834
- Destino
Lat:-8.17401
Lng: -35.49834
- Área: 500m
- Altura: 100ft

Piloto

- Nome: Wildson Wellington Silva
- Código: RGBF
- CPF: 029,***,***-58

Janela de Operação

Data	Início	Fim
15.09.2021	11:00 UTC	20:00 UTC

Comunicações

- Código de Chamada: RPA-RGBF-20
- ATS: NÃO SE APLICA
- Piloto: NÃO SE APLICA

RPS (1)

RPS	Lat/Lng	Telefone
Wildson Wellington Silva	-8.17401, -35.49834	(81) 98825-9768