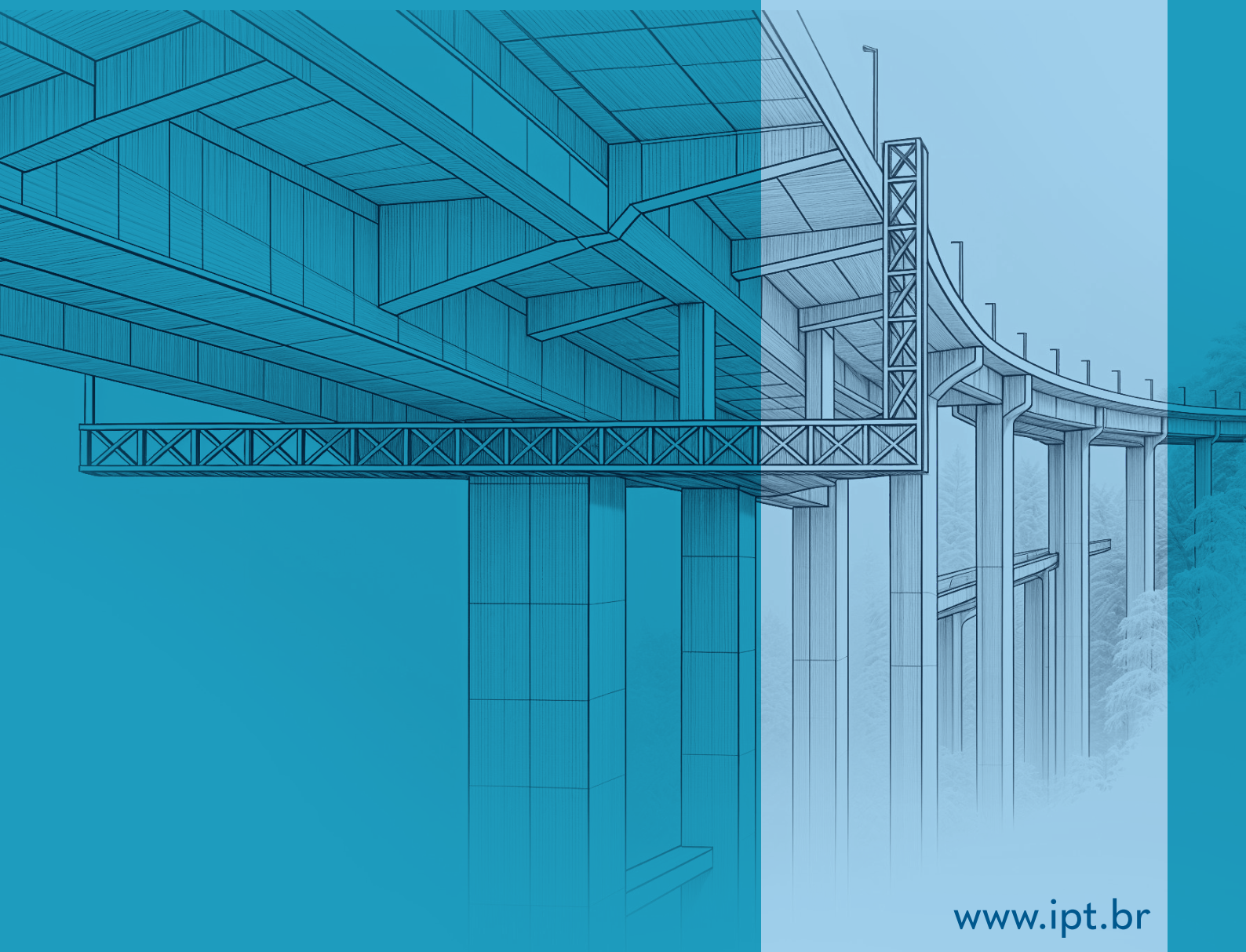


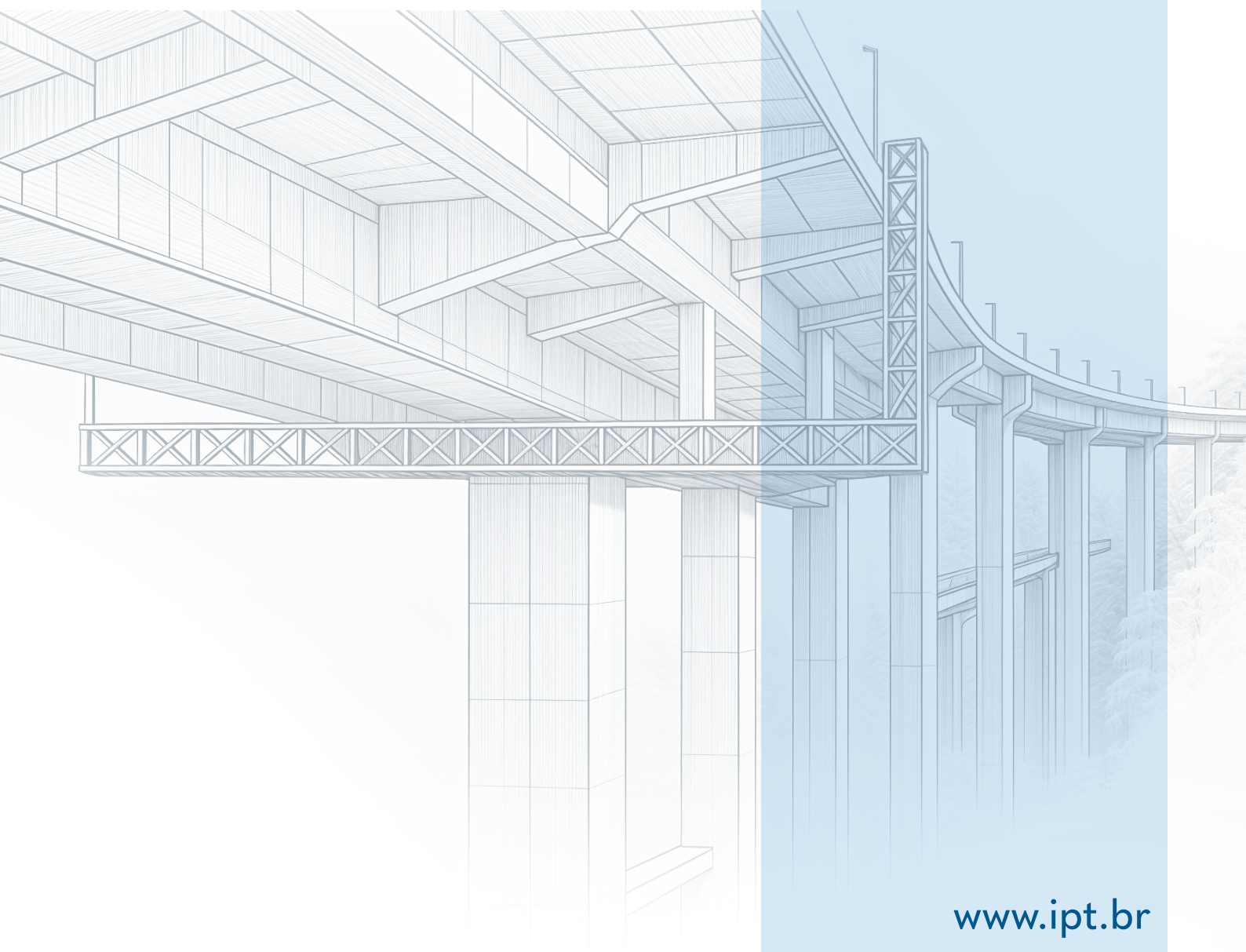
Guia de Orientação para Inspeções em **Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto**

ipt INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS



Guia de Orientação para Inspeções em **Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto**

ipt INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS



**GUIA DE ORIENTAÇÃO PARA INSPEÇÕES EM PONTES,
VIADUTOS E PASSARELAS DE CONCRETO**

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Tarcísio de Freitas
Governador

SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Vahan Agopyan
Secretário

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Anderson Ribeiro Correia
Diretor Presidente

Ana Paula Inacio da Silva
Chefia de Gabinete

Adriano Marim de Oliveira
Diretoria de Operações

Fabiano Albuquerque de Moraes
Diretoria de Desenvolvimento de Pessoas e Administração

Natalia Neto Pereira Cerize
Diretoria de Finanças e Planejamento

Levi Pompermayer Machado
Diretoria de Ambientes Inovadores e Inteligência de Mercado

Fabício Araujo Mirandola
Diretor da Unidade de Negócios Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente



Ficha Técnica

COORDENADOR

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)

Ciro José Ribeiro Villela Araujo

AUTORES

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)

Ciro José Ribeiro Villela Araujo

Gisleine Coelho de Campos

COLABORADORES

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)

Adriana de Araujo

Alessandra Cristina Corsi

Cristiane Aparecida Nunes Silva

Daniel Mariani Guirardi

Filipe Antonio Marques Falcetta

Rafael da Fonseca

Rafael Francisco Cardoso dos Santos

Ronecir Cirilo da Cruz

ACC – ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO CORPORATIVA

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)

Augusto Max Colin

Rita de Cassia Parise

Luiz Gustavo Pinto de Moraes Silviano

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Phábrica de Produções

Alecsander Coelho

Daniela Bissiguini

Érsio Ribeiro

Kauê Rodrigues

Paulo Ciola

Rebeca Tonello

Thiago Cordeiro





Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Araujo, Ciro José Ribeiro Villela

Guia de orientação para inspeções em pontes, viadutos e passarelas de concreto
[livro eletrônico] / Ciro José Ribeiro Villela Araujo, Gisleine Coelho;
coordenador Ciro José Ribeiro Villela Araujo. -- São Paulo : Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2025. -- (IPT publicação ; 3075)

PDF

Vários colaboradores.

Bibliografia.

ISBN: 978-65-5702-047-0

1. Engenharia civil (Estruturas) 2. Pontes de concreto - Projetos e construção I. Campos,
Gisleine Coelho de. II. Araujo, Ciro José Ribeiro Villela. III. Título IV. Série.

25-315108.0

CDD-624

Índices para catálogo sistemático:

1. Engenharia civil 624

Livia Dias Vaz - Bibliotecária - CRB-8/9638



Apresentação

Pontes, viadutos e passarelas, conhecidas como Obras de Arte Especiais (OAEs), enfrentam um sério problema de falta de programas efetivos de inspeção e manutenção periódica. Essa deficiência resulta em diversas patologias que comprometem a segurança, funcionalidade e durabilidade dessas estruturas, levando a constantes interdições emergenciais de vias importantes para reparos ou reconstruções. Tais interdições, por sua vez, agravam ainda mais os complexos problemas de mobilidade nas grandes cidades.

A necessidade de aumentar a frequência dos serviços de manutenção é intensificada pela idade das estruturas e pelo crescimento constante da capacidade de carga dos veículos. Enquanto nas décadas de 1960 e 1970 o modelo de carga móvel considerado nos projetos era de 360 kN, atualmente esse valor é de 450 kN, o que acelera significativamente o processo de deterioração das OAEs.

Com o objetivo de promover a importância das inspeções periódicas em obras de arte, este Guia foi elaborado no âmbito do Acordo de Cooperação celebrado entre o Instituto de Pesquisas Tecnológicas

do Estado de São Paulo S.A. – IPT e o Estado de São Paulo, por intermédio da Casa Militar do Gabinete do Governador, e essa por sua Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil, focado em OAEs de concreto em vias urbanas e rodovias.

Este Guia, dividido em nove capítulos, aborda temas e disciplinas relacionadas às atividades de inspeção de pontes, viadutos e passarelas. Merecem destaque os principais aspectos da norma ABNT NBR 9452:2023.

O Guia também cobre a identificação do tipo de estrutura, a presença e origem de anomalias e os procedimentos e cuidados necessários para o registro das inspeções periódicas. Tudo isso visa à prevenção de colapsos parciais e totais e ao aumento da vida útil das estruturas.

O público-alvo do Guia é amplo e inclui: profissionais e empresas das áreas de projeto, construção e manutenção; pesquisadores e estudantes de engenharia civil e órgãos gestores de OAEs, como prefeituras, secretarias governamentais, Defesa Civil e concessionárias de rodovias.

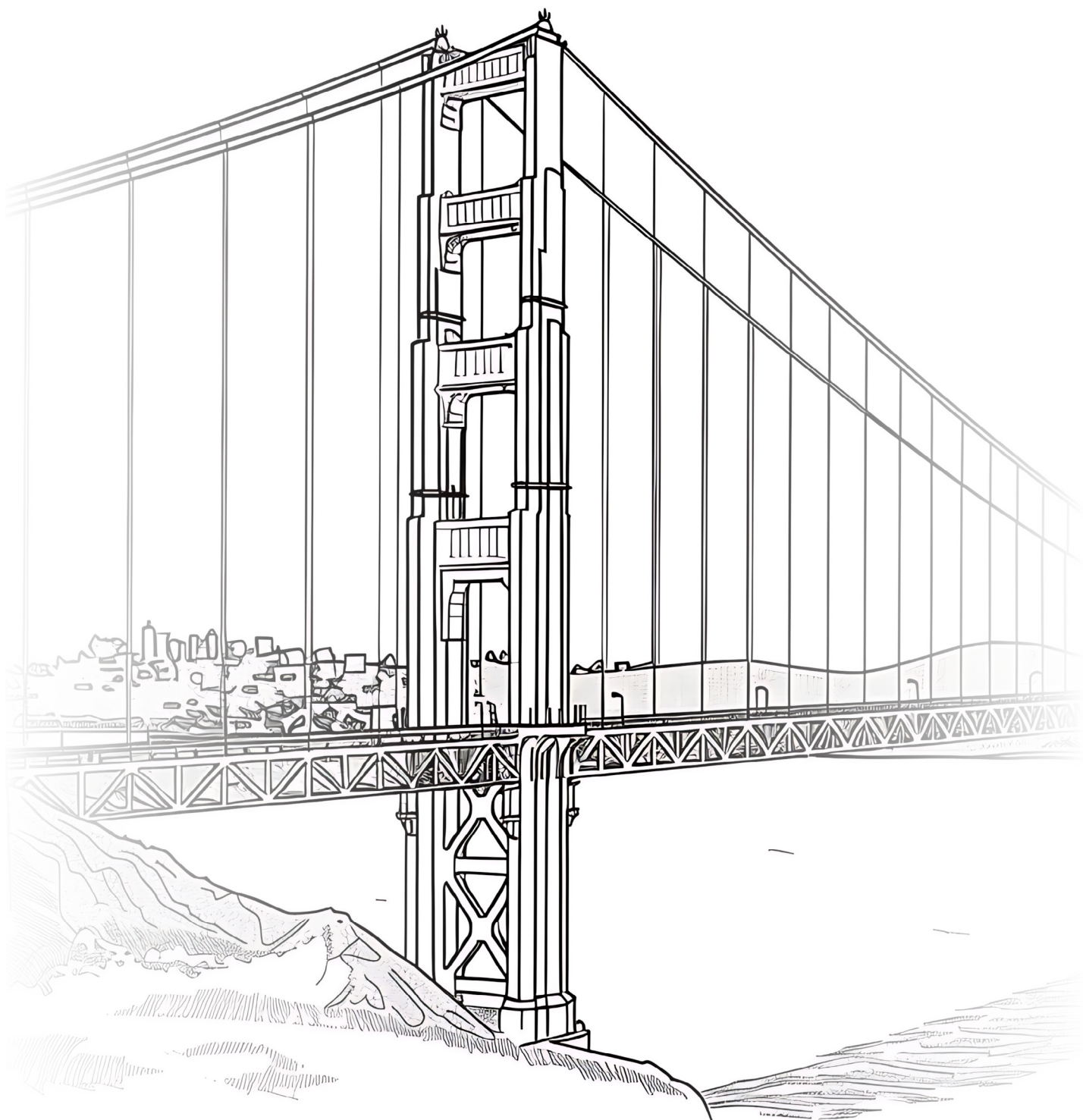




Sumário

1 Introdução.....	22
1.1. Justificativa.....	23
2 Objetivo.....	24
2.1. Abrangência e limitações do Guia	24
3 Definições e Terminologia	26
3.1. Tipologia das Obras de Arte Especiais - OAEs.....	27
3.2. Convenção de nomenclatura para inspeção em OAEs	34
3.2.1. Obras de arte especiais no eixo da rodovia	35
3.2.2. Obras de arte especiais transversais ao eixo da rodovia...	40
4 Normas, regulamentos e documentações técnicas de referência para inspeções de OAEs	46
4.1. Inspeções segundo a ABNT NBR 9452:2023	46
4.2. Regulamentações, manuais e normas estrangeiras	53
4.3. Manual e norma DNIT.....	54
5 Planejamento das inspeções e procedimentos de campo	56
5.1. Planejamento das atividades	56
5.2. Exemplo de sequência de inspeção em OAE	58
5.3. Acessibilidade.....	66
5.4. Segurança do trabalho	71

6 Fatores externos intervenientes na segurança de OAEs	74
6.1. Aspectos geológicos-geotécnicos	74
6.2. Aspectos hidráulicos e hidrológicos	78
6.3. Meio ambiente	79
6.4. Incêndios	83
7 Exemplos de anomalias em pontes e viadutos em concreto	88
7.1. Aparelhos de apoio	88
7.2. Juntas de dilatação	93
7.3. Sistemas de drenagem	98
7.4. Concreto armado ou protendido.....	101
7.5. Fissuras e trincas	102
7.5.1. Exemplos de fissuração em OAEs.....	108
8 Inspeção da infraestrutura.....	112
8.1. Inspeção Subaquática	117
8.1.1. Roteiro para inspeção subaquática	119
9 Considerações finais	122
• Referências bibliográficas	124





Lista de Figuras

Figura 1 – Exemplo de estruturas principais das Pontes – Superestrutura, Mesoestrutura e Infraestrutura.....	26
Figura 2 – Ponte rodoviária.	27
Figura 3 – Ponte ferroviária treliçada em estruturas metálicas.	27
Figura 4 – Ponte ferroviária sobre vigas.	27
Figura 5 – Passarela de pedestres em estruturas metálicas.	28
Figura 6 – Ponte canal para condução de embarcações.....	28
Figura 7 – Ponte reta ortogonal.....	29
Figura 8 – Ponte reta esconsa.	29
Figura 9 – Ponte com superestrutura disposta horizontalmente em relação ao plano altimétrico.....	30
Figura 10 – Ponte com superestrutura disposta em rampa.....	30
Figura 11 – Ponte com superestrutura convexa.	30
Figura 12 – Ponte com superestrutura côncava.	30
Figura 13 – Seções transversais mais comuns encontradas em pontes.	30
Figura 14 – Esquema estrutural isostático.	31
Figura 15 – Esquema estrutural hiperestático.	31
Figura 16 – Ponte de concreto protendido construída com vigas isostáticas. Observa-se a presença de juntas de dilatação em todos os apoios das vigas.....	31
Figura 17 – Detalhe da Figura 16.....	31
Figura 18 – Sistema estrutural com seção caixão.	32
Figura 19 – Ponte com tabuleiro posicionado sobre arco.	32
Figura 20 – Ponte com o tabuleiro posicionado na seção intermediária do arco.....	32
Figura 21 – Ponte com tabuleiro posicionado sob o arco.	33
Figura 22 – Vista diurna da Ponte Pênsil em São Vicente – SP.....	33
Figura 23 – Vista noturna da Ponte Pênsil em São Vicente.....	33
Figura 24 – Ponte Estaiada localizada na cidade de São Paulo – SP.	34
Figura 25 – Nomenclatura de longarinas (perfis simples) no eixo da rodovia.....	36
Figura 26 – Nomenclatura de meso e infraestruturas no eixo da rodovia.	36
Figura 27 – Nomenclatura de longarinas em estrutura celular no eixo da rodovia (almas internas e externas).	36

Figura 28 – Nomenclatura de elementos em travessia inferior (passagem transversal inferior) ao eixo da rodovia.....	37
Figura 29 – Nomenclatura de elementos em estrutura celular (somente almas externas) no eixo da rodovia.....	37
Figura 30 – Vista em planta da OAE	38
Figura 31 – Vista longitudinal da OAE	39
Figura 32 – Vista inferior da OAE	39
Figura 33 – Vista do observador, do Encontro E1 da OAE.....	39
Figura 34 – Vista do observador, do Encontro E2 da OAE	40
Figura 35 – Nomenclatura de longarinas (perfis simples) transversais ao eixo da rodovia.....	41
Figura 36 – Nomenclatura de meso e infraestruturas transversais ao eixo da rodovia.....	41
Figura 37 – Nomenclatura de longarinas em estrutura celular transversais ao eixo da rodovia (almas internas e externas).....	41
Figura 38 – Nomenclatura de elementos em estrutura celular (somente almas externas) transversais ao eixo da rodovia.	42
Figura 39 – Vista em planta da OAE.	43
Figura 40 – Vista longitudinal da OAE.	44
Figura 41 – Vista inferior da OAE.	44
Figura 42 – Vista do observador, do Encontro E1 da OAE.....	45
Figura 43 – Vista do observador, do Encontro E2 da OAE.	45
Figura 44 – Fluxograma de gerenciamento de uma OAE.	52
Figura 45 – Sequência de inspeção da região superior do Encontro E1.	59
Figura 46 – Sequência de inspeção da região inferior do Encontro E1: Muros de Alas e Cortina.	60
Figura 47 – Inspeção do Talude do Encontro E1 e vista da Viga Travessa VR1.....	60
Figura 48 – Vista lateral da OAE - Inspeção da região inferior: Lajes, vigas travessas, longarinas, transversinas, dispositivos de drenagem, pingadeiras e o gabarito da OAE.	61
Figura 49 – Planta inferior da OAE – Lajes, aparelhos de apoio, transversinas, longarinas e sistemas de drenagem.	62

Figura 50 – Planta superior da OAE – Inspeção dos elementos do lado esquerdo, além do pavimento, juntas e sinalizações.	63
Figura 51 – Sequência de inspeção da região superior do Encontro E2.	64
Figura 52 – Sequência de inspeção da região inferior do Encontro E2: Muros de Alas e Cortina.	64
Figura 53 – Inspeção do Talude do Encontro E2, Muros de Alas e Viga Travessa VTR2.	65
Figura 54 – Planta superior da OAE – Inspeção dos elementos do lado direito, além do pavimento, juntas e sinalizações.	65
Figura 55 – Inspeção realizada em ponte com auxílio de caminhão com braço articulado – Necessidade de interdição de 2 faixas de rolamento para posicionamento do caminhão.	66
Figura 56 – Outra imagem de caminhão utilizado para inspeção, com interdição de duas faixas de rolamento.	66
Figura 57 – Sistema de plataforma provisório para realização de atividades de inspeção e manutenção.	67
Figura 58 – Uso de drones na inspeção de pontes.	67
Figura 59 – Uso de scanner para levantamentos de dados geométricos de OAE's.	67
Figura 60 – Ponte Pênsil localizada na cidade de São Vicente – SP.	68
Figura 61 – Outra vista da ponte. A seta indica a plataforma móvel para inspeção e manutenção, instalada sob a ponte.	68
Figura 62 – Detalhe da plataforma móvel para Inspeção e manutenção dos elementos do tabuleiro da Ponte Pênsil.	68
Figura 63 – Plataformas fixas para inspeção e manutenção de sistema viário no Japão. As setas indicam os locais onde estão instaladas as plataformas.	69
Figura 64 – Detalhe da plataforma instalada na região de junta, indicada na seta 1 da Figura 63 – Note-se que as plataformas estão instaladas em ambos os lados.	69
Figura 65 – Detalhe da plataforma instalada na região de junta, indicada na seta 2 da Figura 63.	69
Figura 66 – Detalhe da plataforma instalada na região de encontro das superestruturas, indicada na seta 3 da Figura 63.	69
Figura 67 – Desenho esquemático das plataformas instaladas em ambos os lados da junta, com seus respectivos acessos.	70
Figura 68 – Detalhe da Figura 67 – Desenho esquemático da estrutura metálica da plataforma.	70
Figura 69 – Outro detalhe da Figura 67 - Desenho da vista inferior da ponte mostrando a plataforma fixada nas longarinas.	70
Figura 70 – Plataforma metálica instalada sob o viaduto VA 19 da Rodovia dos Imigrantes em Cubatão – SP, utilizada para os trabalhos de inspeção.	70
Figura 71 – Ruptura do aterro de acesso em ponte no ano de 1990, com consequente desabamento da laje de transição. Notar a presença de material retido junto aos pilares.	75

Figura 72 – Destruição do aterro de acesso durante cheia no ano 2000.....	75
Figura 73 – Outro caso de destruição do aterro de acesso durante cheia no ano 2000.....	75
Figura 74 – Desabamento de cabeceira de ponte em Brusque, Santa Catarina, em abril/2021.....	76
Figura 75 – Outro desabamento, também em Brusque, Santa Catarina, em jun/2021.....	76
Figura 76 – Desabamento parcial de ponte no norte da Bahia no ano de 2019.....	76
Figura 77 – Desabamento de ponte em estrada rural em Minas Gerais.....	76
Figura 78 – Ruptura de apoios em ponte no Mato Grosso do Sul em 2018.....	76
Figura 79 – Ruptura de encontro de ponte em Sergipe em 2019.....	76
Figura 80 – Vista geral da The Bellevue Bridge, Reino Unido, em 2013.....	80
Figura 81 – Detalhe de pilar degradado pela ação de etringita tardia na The Bellevue Bridge, Reino Unido, em 2013.....	80
Figura 82 – (a) Inspeção de pilar deteriorado por ação de etringita tardia em estrutura de viaduto e (b) detalhe da configuração e dimensão das fissuras.....	81
Figura 83 – Sulco junto ao muro de ala de uma ponte no interior do Estado de São Paulo.....	82
Figura 84 – Processo de ravinamento em encontro de ponte.....	82
Figura 85 – Boçoroca de evolução acelerada destrói ponte.....	82
Figura 86 – Incêndio atinge ponte do Jaguaré na zona Oeste de São Paulo.....	84
Figura 87 – Vista da região inferior da ponte do Jaguaré, mostrada na Figura 86, após o incêndio.....	84
Figura 88 – Incêndio na região inferior do Viaduto Condessa de São Joaquim em São Paulo. Segundo informações da mídia, o incêndio teria começado em pertences de moradores em situação de rua.....	85
Figura 89 – Incêndio em viaduto na avenida dos Bandeirantes em São Paulo, ocasionado por colisão entre um caminhão tanque e uma carreta bi trem.....	85
Figura 90 – Presença de depósito de material inflamável, localizado sob viaduto.....	86
Figura 91 – Armazenamento de vegetação seca sob o viaduto.....	86
Figura 92 – Vista longitudinal de ponte com 2 tramos isostáticos - Detalhe da região do aparelho de apoio.....	89
Figura 93 – Aparelho de apoio fixo - Impede movimentos de translação nos sentidos longitudinal e transversal, porém permite rotações.....	89
Figura 94 – Aparelho de apoio móvel - Permite movimento de translação no sentido longitudinal da ponte.....	89
Figura 95 – Aparelho de apoio de elastômero fixo - Permite movimentos de rotação e translação em ambas as direções, por meio das deformações do elastômero entre as chapas metálicas.....	90

Figura 96 – Imagem dos materiais constituintes de um aparelho de apoio de elastômero seccionado - Chapas de aço fretadas separadas por elastômero.....	90
Figura 97 – Aparelho de apoio deslizante - Vista do sistema desmontado - Permite rotação e translação em ambas as direções.....	90
Figura 98 – Outra imagem do aparelho de apoio deslizante - Vista das partes côncava e convexa dos materiais deslizantes.	90
Figura 99 – Vista do aparelho de apoio deslizante montado, com guia lateral impedindo à movimentação de translação perpendicular a guia e permitindo translação na outra direção.	90
Figura 100 – Imagem de aparelho de apoio deslizante instalado sob a viga metálica de ponte.....	90
Figura 101 – Aparelho de apoio de elastômero impedido de se movimentar, devido a presença de concreto no seu entorno.....	91
Figura 102 – Presença de detritos e concreto no entorno do aparelho de apoio de elastômero, impedindo o seu funcionamento adequado.	91
Figura 103 – Aparelho de apoio com elastômero danificado.....	91
Figura 104 – Aparelho de apoio deslocado da posição de projeto, ocasionando concentração de carga somente de um lado.	91
Figura 105 – Falta de aderência entre a viga longitudinal e o aparelho de apoio, provocando o deslizamento entre as interfaces dos materiais.....	92
Figura 106 – Rotações exageradas da viga longitudinal, provocando excentricidade no aparelho de apoio, com excesso de concentração de carga somente de um lado do aparelho.	92
Figura 107 – Aparelho de apoio de placa de chumbo deteriorado.....	92
Figura 108 – Aparelho de apoio de placa de chumbo seccionado.....	92
Figura 109 – Falta de aderência entre a viga longitudinal e o aparelho de apoio, provocando o deslizamento entre as interfaces dos materiais.....	93
Figura 110 – Movimentações em que o material de vedação da junta está submetido.	94
Figura 111 – Junta de dilatação com material elastomérico fixado em cantoneiras metálicas.	95
Figura 112 – Junta de dilatação com material elastomérico fixado em lábios poliméricos.....	95
Figura 113 – Junta de dilatação utilizando material asfáltico.	95
Figura 114 – Junta de dilatação monobloco.....	95
Figura 115 – Junta de dilatação modular.....	96
Figura 116 – Presença de vegetação na abertura da junta de dilatação, proveniente da degradação ou da ineficiência do material de vedação da junta. Manchas de escorrimento de coloração escura, indicando infiltração de água na junta com carreamento de partículas.	97
Figura 117 – Infiltração de água através da junta de dilatação - Material da junta danificado, sem função de vedação. Manchas de umidade (coloração mais escura do concreto) e de eflorescências (coloração esbranquiçada).....	97

Figura 118 – Descolamento entre o material elastomérico da junta e o lábio polimérico.....	97
Figura 119 – Berço de concreto da região da junta danificado e preenchimento asfáltico provisório do local danificado.	97
Figura 120 – Barreira rígida (guarda rodas) instalado sobre a junta de dilatação.....	98
Figura 121 – Ausência da continuidade da junta de dilatação da pista de rolamento para a região do passeio da ponte, ocasionando trincas devido às movimentações da estrutura.	98
Figura 122 – Junta de dilatação coberta com asfalto.....	98
Figura 123 – Junta de dilatação dentada com desnivelamento, provocando risco elevado de acidentes de trânsito.	98
Figura 124 – Acúmulo de água na região dos passeios.	99
Figura 125 – Acúmulo de água na região próxima aos guarda rodas laterais e ausência de tubulação de drenagem (buzinotes).	99
Figura 126 – Acúmulo de água sobre o tabuleiro devido à ausência de sistema de drenagem e escoamento adequado.	99
Figura 127 – Acúmulo de água no interior de caixão de ponte.....	99
Figura 128 – Ausência de tubulação de drenagem de águas pluviais do tabuleiro. Observa-se mancha escura resultante do escoamento de água pluvial contaminada com material particulado, que se deposita nas superfícies expostas do concreto.	100
Figura 129 – Sistema de drenagem ineficaz, permitindo o escoamento das águas pela lateral da viga.....	100
Figura 130 – Vista geral da parte inferior do tabuleiro, onde se pode observar ausência de pingadeiras.	100
Figura 131 – Armaduras expostas (seta) na parte inferior do tabuleiro, decorrente de percolação de água devido a ausência de pingadeiras.	101
Figura 132 – Mapeamento de fissuras na ponte de Elgester em Trondheim, Noruega.	103
Figura 133 – Vista geral da The Bibb Graves Bridge, em Wetumpka, Alabama.....	104
Figura 134 – Detalhamento de fissuração ocorrida devido à reação álcali-sílica no vão 5 da The Bibb Graves Bridge.	104
Figura 135 – Fissuras de cisalhamento.	105
Figura 136 – Exemplo de fissuras de flexão.	105
Figura 137 – Exemplo de fissuras por tração.	105
Figura 138 – Fissuras de torção.	106
Figura 139 – Fissuras de convergência.	106
Figura 140 – Fissuras intermediárias.	107
Figura 141 – Fissuras ao longo das barras de armação.	107
Figura 142 – Fissuras superficiais.	108
Figura 143 – Fissuras inclinadas nos cantos da ligação Gerber.....	108

Figura 144 – Fissuras no canto da viga, na região sobre o aparelho de apoio.....	109
Figura 145 – Ruptura da região do canto da viga sobre aparelho de apoio deteriorado.....	109
Figura 146 – Vista lateral da ponte esconsa.....	110
Figura 147 – Vista inferior da ponte.....	110
Figura 148 – Fissuras de flexão no vão central da laje.....	110
Figura 149 – Detalhe da Figura 148.....	110
Figura 150 – Fissuras devido aos momentos volventes nos cantos da laje.....	110
Figura 151 – Fissuras de cisalhamento.....	111
Figura 152 – Fissuras devido à protensão excessiva da viga.....	111
Figura 153 – Fissuras provocadas por protensão na região das ancoragens.....	111
Figura 154 – Vista geral do vale profundo no qual se insere a ponte em arco (cidade de Constantine, Argélia). Atentar para a característica do maciço rochoso exposto.....	114
Figura 155 – Situação crítica de encontro de ponte no município de Presidente Bernardes, SP. Observar a ocorrência de carreamento de partículas sólidas do terreno.....	114
Figura 156 – Problemas na ligação entre as estacas de fundação e o bloco (Milititsky et al., 2008).....	115
Figura 157 – Patologias no concreto na região de contato com o bloco de fundação (Bastos e Miranda, 2017).....	115
Figura 158 – Inspeção especial da infraestrutura de uma ponte no município de Iporanga, SP, usando cestos.....	115



Figura 159 – Montagem de plataforma flutuante para inspeção especial de elementos de fundação no Complexo do Cebolão, em São Paulo, SP.....	115
Figura 160 – Estacas de concreto deterioradas em ambiente agressivo.....	116
Figura 161 – Armaduras expostas e redução da seção transversal da estaca.....	116
Figura 162 – Desconfinamento de trecho superior das estacas de fundação de uma ponte, expondo problemas de concretagem da fase de execução da obra.	116
Figura 163 – Outro caso de exposição dos elementos de fundação por carreamento de solo pelas águas, erodindo a margem.	117
Figura 164 – Processos erosivos provocando o carreamento do solo sob o bloco de fundação.....	117
Figura 165 – Vista de um elemento de concreto submerso e íntegro.	118
Figura 166 – Vista de um elemento danificado de concreto, com parte da armadura exposta.	118
Figura 167 – Vista de barras de aço sem cobrimento de concreto.....	118
Figura 168 – Vista de barra de aço deformada e sem cobrimento de concreto.....	118
Figura 169 – Vista de barras de aço íntegras e parcialmente expostas em estrutura de concreto.....	119
Figura 170 – Croqui esquemático elaborado por um mergulhador, mostrando uma camisa de concreto parcialmente rompida.	119
Figura 171 – Mergulhador durante uma inspeção subaquática.	119
Figura 172 – Espátula utilizada para limpeza da superfície inspecionada.	120
Figura 173 – Levantamento de informações de uma estaca durante a inspeção subaquática.....	121



1

Introdução

Este Guia de Orientação foi desenvolvido no âmbito do Acordo de Cooperação celebrado entre o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT e o Estado de São Paulo, por intermédio da Casa Militar do Gabinete do Governador, e esta por sua Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil. O referido acordo, firmado desde 2019, tem como finalidade promover ações conjuntas voltadas ao fortalecimento da resiliência e da segurança da infraestrutura no território paulista. Entre seus objetivos específicos destacam-se a assessoria e o apoio técnico, e a busca por soluções inovadoras para desenvolvimento e eficiência dos planos de Gestão e Gerenciamento de Riscos, e das ações preventivas e emergenciais no Estado de São Paulo. Desde sua assinatura o Acordo de Cooperação busca superar os desafios da sociedade no tema risco por meio da ciência, tecnologia e

inovação, visando proteger a população e promover a qualidade de vida para toda sociedade. Como parte dessas ações o IPT, com base em sua missão de criação e aplicação de soluções tecnológicas que melhorem a qualidade de vida da sociedade, elaborou o presente documento, aqui denominado Guia de Orientação, que contém uma descrição dos principais tipos de obras de arte, construídas em concreto, nos empreendimentos rodoviários (rodovias e vias urbanas), com as anomalias típicas e os principais pontos de atenção durante as inspeções. As informações aqui apontadas são práticas recomendadas e não substituem as normas técnicas pertinentes, tampouco as instruções específicas de alguns órgãos gestores de obras de arte no Brasil, sendo que sua aceitação e aplicação são de responsabilidade exclusiva dos profissionais envolvidos nas inspeções das obras de arte.

As OAEs – Obras de Arte Especiais (pontes, viadutos e passarelas) são estruturas que têm a finalidade de transpor obstáculos, tais como avenidas, vales, rios, entre outros. Denominam-se pontes as estruturas destinadas a dar continuidade às vias, quando estas necessitam vencer obstáculos, tais como cursos d'água, lagos e regiões de mar. Quando estes obstáculos forem, por exemplo, vales secos, vias rodoviárias e vias ferroviárias estas estruturas de transposição são denominadas viadutos (MARCHETTI, 2008).

A degradação das estruturas das OAEs está vinculada a questões como: idade, uso para o qual foi projetada, condições de exposição ao meio onde está inserida e ausência de manutenções efetivas. (ARAUJO, et al, 2025).

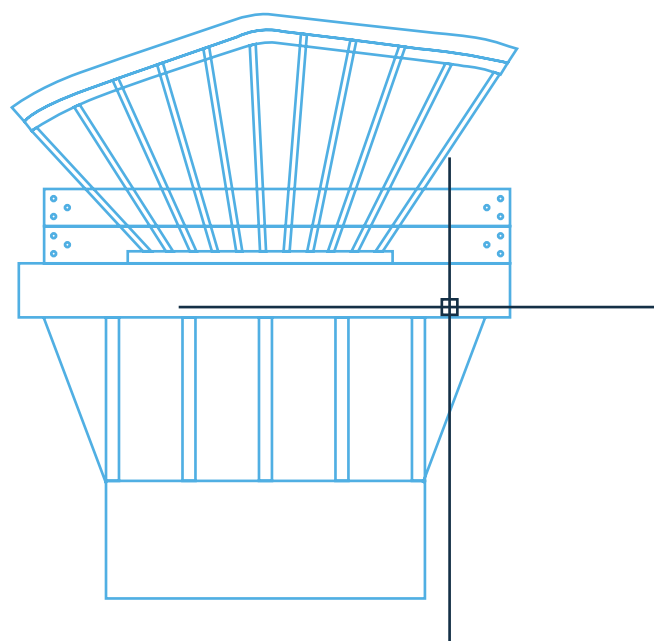
Para avaliar o estado de conservação dessas obras e a gravidade em que se encontram, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT dispõe de uma norma específica – NBR 9452:2023 – dedicada às estruturas de concreto, aço ou mistas de aço e concreto e que prevê a realização de quatro diferentes tipos de inspeções ao longo da vida útil da obra: cadastral, rotineira, especial e extraordinária, que serão descritas em detalhes no Capítulo 4, juntamente com a apresentação das normas e manuais internacionais, os quais devem ser largamente difundidos no meio técnico.

1.1. Justificativa

As OAEs são estruturas imprescindíveis para organizar e dar fluidez ao trânsito nas grandes cidades. Embora duráveis e de elevada resistência, essas estruturas

envelhecem e, com isso, podem surgir diferentes patologias, consideradas como sinais de alerta para que intervenções sejam feitas. Se os sinais dados pelas estruturas não forem corretamente interpretados e corrigidos, colapsos podem ocorrer, gerando danos materiais, perdas de vidas e grandes transtornos no fluxo de veículos dos centros urbanos, além de comprometer o desempenho dessas obras.

No Brasil, tem-se um conjunto heterogêneo de OAEs, muitas envelhecidas e com um histórico de degradação prematura, que devem ser regularmente inspecionadas para o correto planejamento de intervenções de manutenção de modo a evitar que ocorram os mencionados colapsos e outras ocorrências que afetam a sua segurança estrutural, funcionalidade e durabilidade. Tomando-se como referência a cidade de São Paulo, cita-se a queda de uma ponte sobre o Rio Tamanduateí, em 2015, a interdição do viaduto Santo Amaro, em 2016 e a ruptura de um viaduto na Marginal do Rio Pinheiros, próximo à Ponte do Jaguaré, no ano de 2018, como exemplos de colapsos que poderiam ter sido evitados, ou pelo menos minimizados, a partir da prática de inspeções periódicas e manutenções efetivas.



2 Objetivo

O objetivo principal do presente Guia é orientar os profissionais de tecnologia e engenharia que atuam na fiscalização e manutenção das obras de arte especiais (pontes, viadutos e passarelas) em rodovias e vias urbanas, principalmente nas atividades rotineiras de inspeção. Os demais tipos de inspeção previstos nas normas técnicas vigentes são mencionados para conhecimento geral. Para tanto, são apresentados os aspectos de maior relevância a serem observados em campo pelos inspetores, incluindo o planejamento e sequência de inspeção com as respectivas nomenclaturas e numerações dos elementos, figuras ilustrativas das anomalias recorrentes e fatores externos que interferem na segurança dessas obras.

2.1. Abrangência e limitações do Guia

O presente documento detalha os aspectos a serem observados nas inspeções rotineiras de OAEs de concreto, conforme definição da ABNT NBR 9452:2023, dado que esse tipo de inspeção abrange o maior número de casos atualmente existentes no Brasil, pois representa uma avaliação do estado geral de conservação das obras.

Cabe salientar que o presente guia está pautado na norma técnica acima citada, mas sem a intenção de substituí-la, tampouco se restringir a ela. Boas práticas internacionais são apresentadas e recomendadas, visando caracterizar as obras de arte especiais de concreto com diferentes tipologias construtivas e, por conseguinte, promover avanços tecnológicos relevantes para melhor desempenho e durabilidade das obras. A experiência do IPT em obras de infraestrutura no Brasil e no exterior também contribui para o estabelecimento de diretrizes orientativas para as atividades de inspeção.



Freepik

3 Definições e Terminologia

Como já mencionado, as pontes e viadutos são obras de engenharia, consideradas pelo meio técnico como Obras de Arte Especiais (OAEs). Estas obras são constituídas por quatro estruturas fundamentais: Infraestrutura, Elementos de encontro, Mesoestrutura e Superestrutura, conforme está apresentado na **Figura 1**.

A infraestrutura é constituída pelos elementos estruturais de fundação (sapatas, vigas de travamento de blocos de fundação, viga alavanca, estacas, blocos sobre estacas, blocos de transição, tubulões) que possuem função de transmitir os esforços solicitantes provenientes da mesoestrutura ao terreno (solo ou rocha).

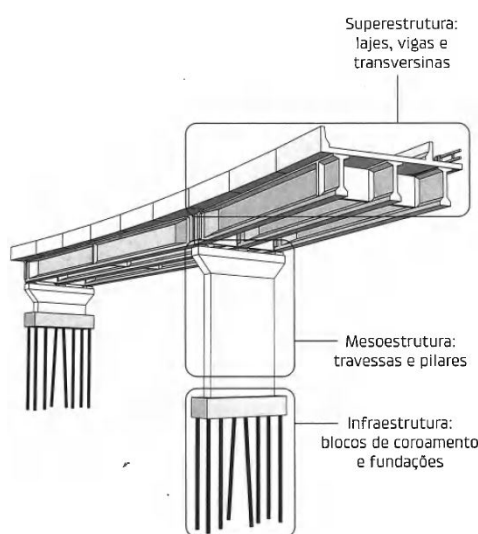
Os elementos de encontro podem ser constituídos por laje de aproximação, cortinas, muros de ala e encontro. Localizados entre o aterro e a OAE, situado nas extremidades, tem função principal de suporte do solo e conexão com o terrapleno.

A mesoestrutura é normalmente constituída por vigas travessas, pilares, aparelhos de apoio, vigas de travamento de pilares, que absorvem os esforços solicitantes da

superestrutura e também as ações externas, como ventos, empuxos de terra, pressões d'água, entre outras e transmitem às fundações.

A superestrutura é composta pelos elementos destinados a promover a continuidade das vias, sendo composta basicamente por lajes, vigas longarinas, treliças, vigas caixão, arcos; vigas transversinas, articulações (dentes tipo Gerber, Freyssinet e outros), estais etc.

Figura 1 – Exemplo de estruturas principais das Pontes – Superestrutura, Mesoestrutura e Infraestrutura.



Fonte: VALERIANO, 2021.

3.1. Tipologia das Obras de Arte Especiais - OAEs

Segundo Marchetti (2008), as Obras de Arte Especiais (OAE's) são classificadas em sua natureza de tráfego, como:

- Pontes Rodoviárias – destinadas ao tráfego de veículos automotores – A **Figura 2** mostra uma vista da Ponte Rio-Niterói.

Figura 2 – Ponte rodoviária.



Fonte: GOOGLE, 2024a.

- Pontes Ferroviárias – destinadas ao tráfego de veículos sobre trilhos – As **Figura 3** e **Figura 4** mostram exemplos de pontes ferroviárias.

Figura 3 – Ponte ferroviária treliçada em estruturas metálicas.



Fonte: IPT.

Figura 4 – Ponte ferroviária sobre vigas.



Fonte: GOOGLE, 2024b.

- Passarelas – destinadas ao uso de pedestres – **Figura 5.**

Figura 5 – Passarela de pedestres em estruturas metálicas.



Fonte: IPT.

- Pontes Aquedutos e canais – com finalidade de conduzir água e movimentação de embarcações, como mostra a **Figura 6.**

Figura 6 – Ponte canal para condução de embarcações.



Fonte: GOOGLE, 2024c.

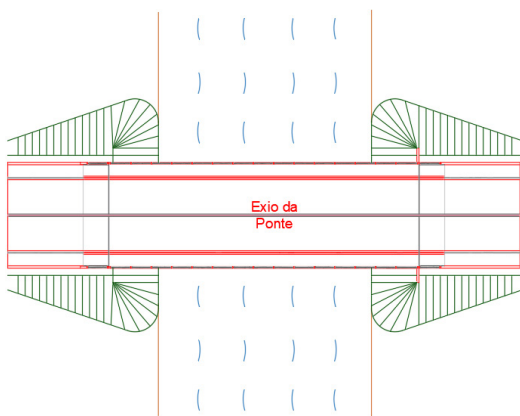
De acordo com NBR 9452:2023, as OAEs podem ser classificadas quanto aos materiais, devendo-se considerar que cada tipo de material apresentará concepções estruturais particulares. Dentre os materiais, se destacam:

- Concreto simples (CS);
- Concreto armado (CA);
- Concreto protendido (CP);
- Aço (A);
- Madeira (MA);
- Pedra argamassada (PA);
- Mista (MI);
- Alvenaria (AL);
- Outros

Quanto à projeção em relação ao seu eixo e o obstáculo que ela deve ultrapassar (desenvolvimento planialtimétrico), segundo Satori (2008) podem ser:

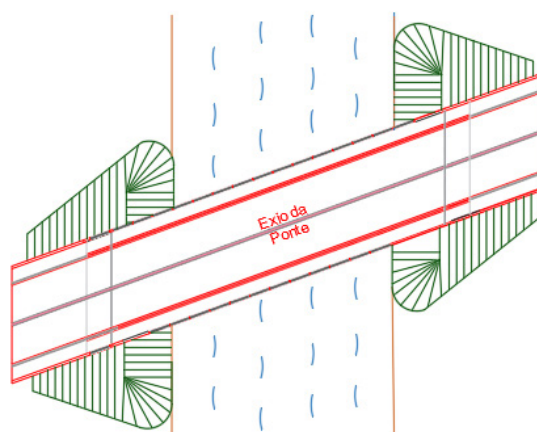
- Curvas
- Retas
- Ortogonais – estão posicionadas perpendicularmente ao obstáculo – **Figura 7**.
- Esconsas – estão posicionadas com ângulo diferente de 90° em relação ao obstáculo – **Figura 8**.

Figura 7 – Ponte reta ortogonal.



Fonte: IPT.

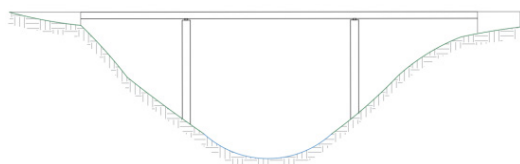
Figura 8 – Ponte reta esconsa.



Fonte: IPT.

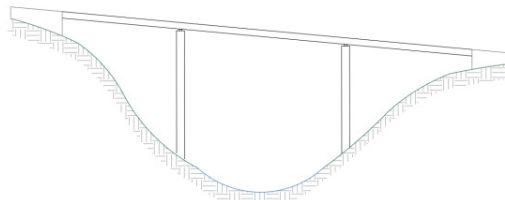
Quanto à altimetria, as OAEs podem ser (horizontais ou em rampa) e curvas (tabuleiro convexo ou côncavo), conforme **Figura 9 a Figura 12**.

Figura 9 – Ponte com superestrutura disposta horizontalmente em relação ao plano altimétrico.



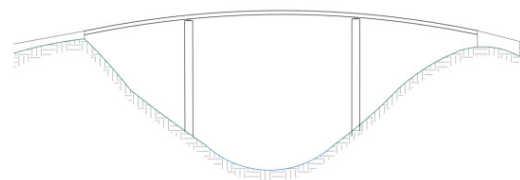
Fonte: IPT.

Figura 10 – Ponte com superestrutura disposta em rampa.



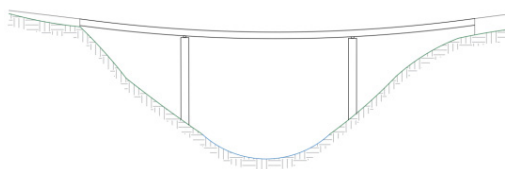
Fonte: IPT.

Figura 11 – Ponte com superestrutura convexa.



Fonte: IPT.

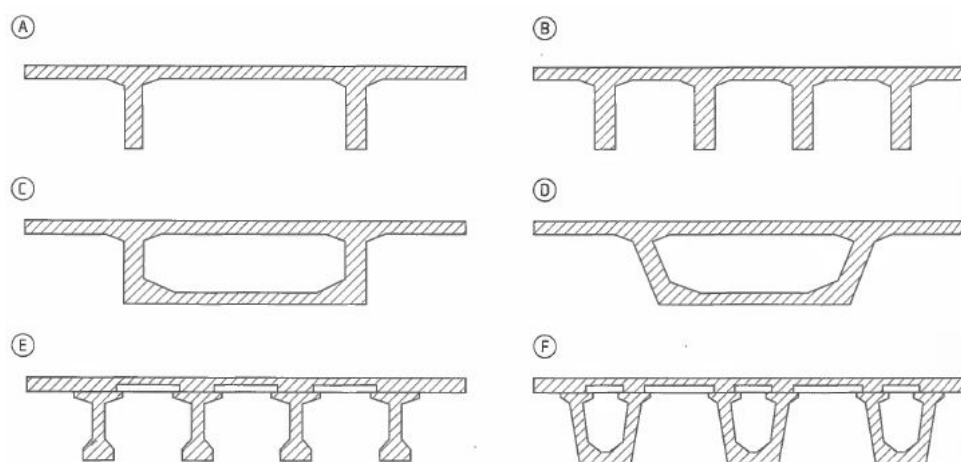
Figura 12 – Ponte com superestrutura côncava.



Fonte: IPT.

Em relação à seção transversal, as mais comuns são de laje (maciça ou vazada) e de viga (seção T ou I; seção celular; treliçada), conforme mostrado na **Figura 13**.

Figura 13 – Seções transversais mais comuns encontradas em pontes.



Fonte: VALERIANO, 2021

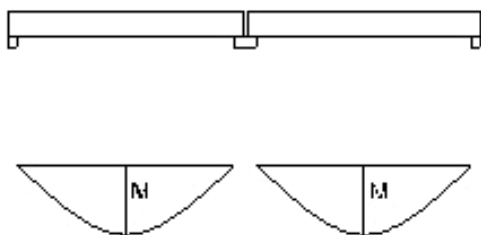
Segundo Valeriano (2021) os sistemas estruturais atuais derivam de quatro sistemas fundamentais (bi-apoiados, balanço, arco e pêncil). A seguir são destacados alguns tipos mais comuns no Brasil:

- Sistema estrutural composto por vigas

Segundo Vitório (2002), as vigas simplesmente apoiadas (esquema estrutural isostático, **Figura 14**) são muito utilizadas para vencer um vão com um único tramo ou em pontes onde o vão pode ser vencido através de uma série de vigas assentadas sobre apoios sucessivos, constituindo-se em solução vantajosa, do ponto de vista da facilidade de execução e da economia, quando são utilizadas peças pré-moldadas.

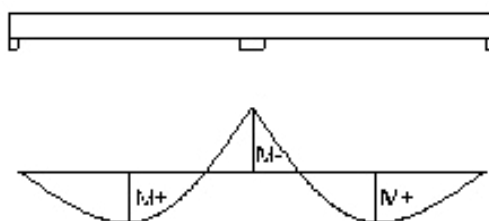
As vigas contínuas (esquema estrutural hiperestático, **Figura 15**) são bastante utilizadas devido às vantagens de ordem estética, funcional e estrutural, podendo ter inércia constante ou variável. A inércia constante é empregada no caso de vãos pequenos, enquanto a inércia variável é utilizada para grandes vãos, com a finalidade de permitir uma boa distribuição dos esforços solicitantes, além de proporcionar uma melhor aparência para a obra e a diminuição do peso próprio (VITÓRIO, 2002).

Figura 14 – Esquema estrutural isostático.



Fonte: IPT.

Figura 15 – Esquema estrutural hiperestático.



Fonte: IPT.

A **Figura 16** e a **Figura 17** mostram imagens de ponte construída com vigas isostáticas.

Figura 16 – Ponte de concreto protendido construída com vigas isostáticas. Observa-se a presença de juntas de dilatação em todos os apoios das vigas.



Fonte: IPT.

Figura 17 – Detalhe da **Figura 16**.



Fonte: IPT.

- Sistema estrutural composto por seções caixão

Formada por duas lajes, uma superior e outra inferior, interligadas por vigas longitudinais e transversais, caracterizando caixões celulares – (**Figura 18**). Esse tipo de estrutura possui grande rigidez à torção, indicado para pontes curvas. Uma das vantagens deste tipo de seção é o uso da mesa superior como laje do tabuleiro (PINHO, 2007).

Figura 18 – Sistema estrutural com seção caixão.



Fonte: IPT

- Sistema estrutural em arco

Esse sistema estrutural é utilizado para vencer grandes vãos, principalmente diante da dificuldade da execução de apoios intermediários e escoamentos sobre cursos d'água ou vales profundos (VITÓRIO, 2002).

Segundo Pinho, 2007 são usados os seguintes tipos de arco na superestrutura de pontes: Arco inferior com tabuleiro superior (**Figura 19**); Arco com tabuleiro intermediário (**Figura 20**) e Arco superior com tabuleiro inferior (**Figura 21**).

Figura 19 – Ponte com tabuleiro posicionado sobre arco.



Fonte: GOOGLE, 2024d.

Figura 20 – Ponte com o tabuleiro posicionado na seção intermediária do arco.



Fonte: GOOGLE, 2024e.

Figura 21 – Ponte com tabuleiro posicionado sob o arco.



Fonte: GOOGLE, 2024f.

- Sistema estrutural do tipo pênsil

São constituídas por cabos dispostos parabolicamente e pendurais verticais e executadas geralmente em vigamentos metálicos (treliças ou vigas de alma cheia) suspensos em cabos portantes de aço (VITÓRIO, 2002). A

A **Figura 22** e a **Figura 23** - mostram a Ponte Pênsil situada na cidade de São Vicente – SP.

Figura 22 – Vista diurna da Ponte Pênsil em São Vicente – SP.



Fonte: IPT.

Figura 23 – Vista noturna da Ponte Pênsil em São Vicente.



Fonte: GOOGLE, 2024g.

- Sistema estrutural do tipo estaiada

O tabuleiro é suspenso através de cabos inclinados fixados em torres que devem ter grande rigidez à torção, de modo a reduzir os movimentos vibratórios causados pela ação transversal do vento (VITÓRIO, 2002). A **Figura 24** mostra um exemplo de ponte estaiada.

Figura 24 – Ponte Estaiada localizada na cidade de São Paulo – SP.



Fonte: GOOGLE, 2024h.

3.2. Convenção de nomenclatura para inspeção em OAEs

A atual norma de inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto ABNT NBR 9452:2023, apresenta no seu anexo G a convenção e nomenclatura a ser utilizada nas OAE's em concreto, cujo objetivo é padronizar a nomenclatura dos elementos estruturais, estejam estas situadas no eixo ou transversalmente à rodovia, para que as anomalias registradas durante as inspeções cadastrais,

rotineiras, especiais e extraordinárias possam ser monitoradas ao longo do tempo com mais acuracidade. Os critérios ora estabelecidos podem também ser adotados quando houver recuperação, reforço e alargamento das obras.

A ABNT NBR 9452:2023 também fornece códigos para identificação dos elementos, visando facilitar a elaboração de desenhos e croquis, principalmente para as inspeções especiais, que demandam uma grande quantidade de informações:

AA	Aparelho de Apoio	LI	Laje Inferior
AB	Abóbada	LS	Laje Superior
AL	Muro de Ala	LT	Laje de Transição
ALE	Alma Externa (caixão)	MT	Montante
ALI	Alma Interna (caixão)	P	Pilar
AP	Apoio	PA	Parede
BL	Balanço Longitudinal	PC	Piso de Concreto
BR	Barreira Rígida	PF	Pavimento Flexível
CO	Cortina	PR	Pavimento Rígido
DG	Dente Gerber	PS	Passeio
DM	Defensa Metálica	SAP	Sapata
ET	Estaca	TRE	Treliça
EB	Emboque	TUB	Tubulão
ENC	Encontro	VLR	Viga Longarina de Rampa (passarela)
GC	Guarda-corpo	VLT	Viga Longarina de Travessia (passarela)
GR	Guarda-rodas	VT	Viga Transversina
JD	Junta de Dilatação	VTR	Viga Travessa
LB	Laje em Balanço (transversal)	VTRAV	Viga de Travamento

3.2.1. Obras de arte especiais no eixo da rodovia

Segundo essa norma, a numeração dos elementos, com a OAE no eixo da rodovia, deve obedecer aos seguintes critérios: com o observador posicionado de costas para a menor quilometragem, na direção longitudinal da pista, a numeração deve ser crescente a partir da menor quilometragem para a de maior valor e, na direção transversal, a numeração deve ser crescente da esquerda para a direita.

No encontro, a posição de menor quilometragem, deve ser denominado “encontro 01” e o encontro à frente do observador deve ser denominado “encontro 02”.

No encontro 01, os muros de ala são denominados “muro de ala 01”

(lado esquerdo e “muro de ala 02” (lado direito), e no encontro 02, os muros de ala são denominados “muro de ala 03” (lado esquerdo e “muro de ala 04” (lado direito).

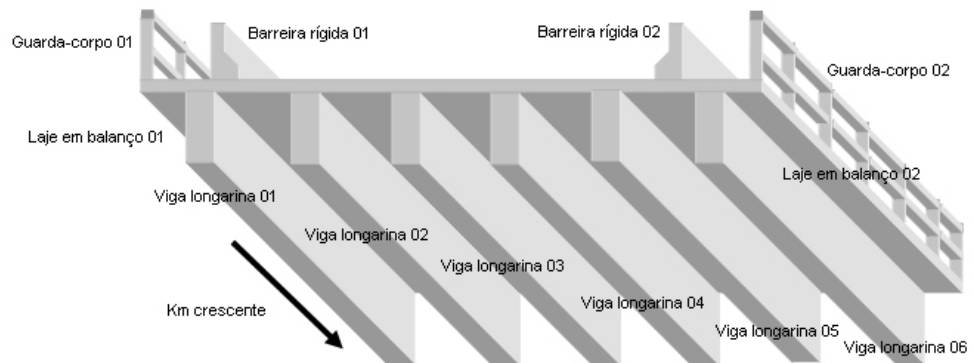
Os pilares e apoios devem ser numerados a partir da linha de apoio de menor quilometragem, crescente da esquerda para a direita, de maneira contínua até o último pilar da obra, mesmo que haja mudança da linha de apoio.

As vigas de travamento entre pilares devem ser numeradas de cima para baixo, de maneira contínua por linha de apoio.

As vigas travessas devem ser numeradas a partir da primeira linha de apoio (incluindo os encontros), de forma contínua para a obra toda.

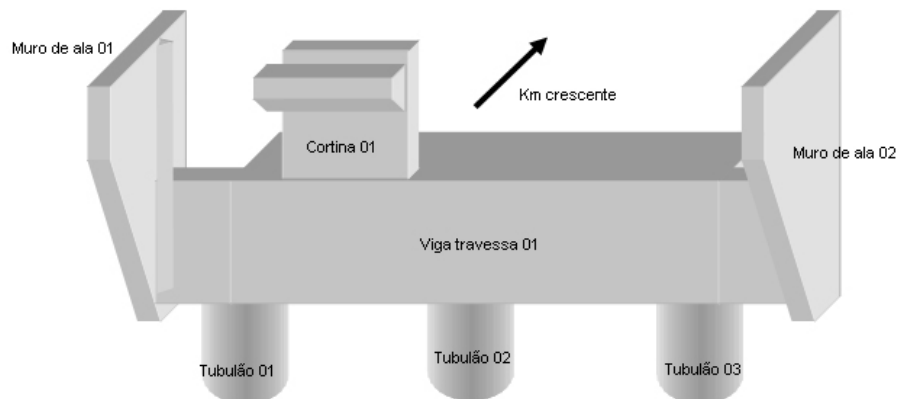
Da **Figura 25** até a **Figura 28** exemplificam a nomenclatura estabelecida na ABNT NBR 9452:2023 para obras de arte no eixo da rodovia.

Figura 25 – Nomenclatura de longarinas (perfis simples) no eixo da rodovia.



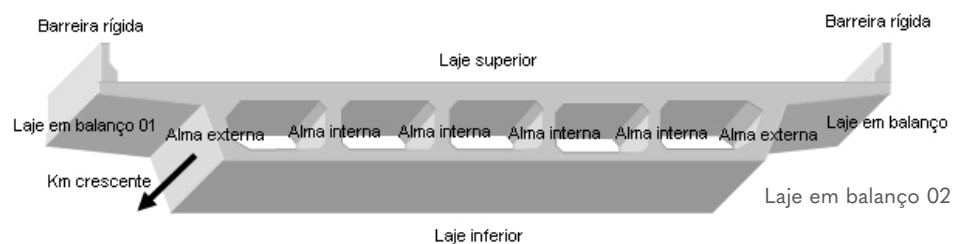
Fonte: Adaptado da ABNT NBR 9452:2023.

Figura 26 – Nomenclatura de meso e infraestruturas no eixo da rodovia.



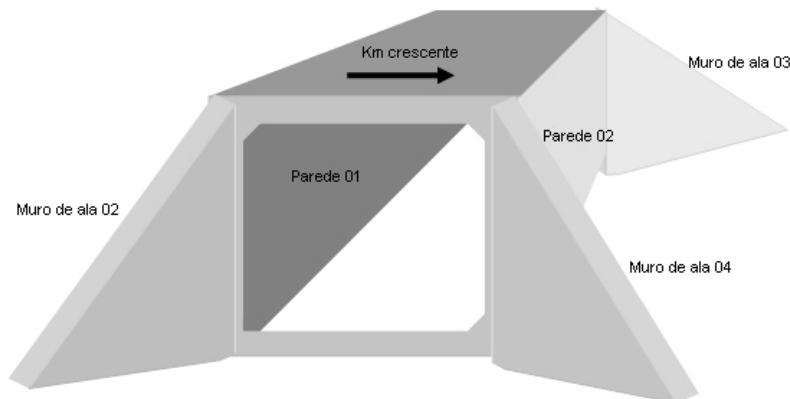
Fonte: Adaptado da ABNT NBR 9452:2023.

Figura 27 – Nomenclatura de longarinas em estrutura celular no eixo da rodovia (almas internas e externas).



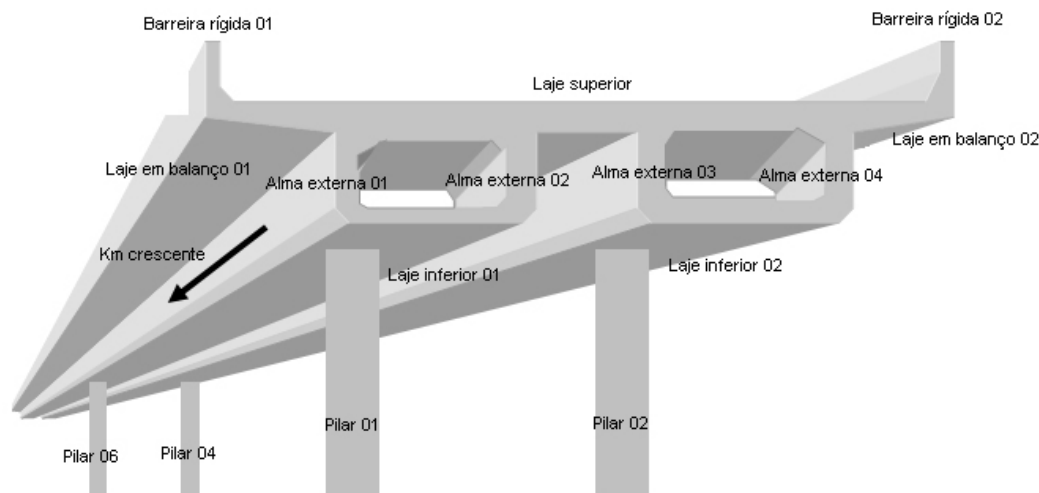
Fonte: Adaptado da ABNT NBR 9452:2023.

Figura 28 – Nomenclatura de elementos em travessia inferior (passagem transversal inferior) ao eixo da rodovia.



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 9452:2023.

Figura 29 – Nomenclatura de elementos em estrutura celular (somente almas externas) no eixo da rodovia.



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 9452:2023.

Da **Figura 30** a **Figura 34**, elaboradas por esse Instituto de Pesquisas Tecnológicas, tem-se os elementos da Superestrutura, Mesoestrutura e Encontros de uma OAE em concreto armado, com apenas um tramo, com a respectiva nomenclatura da ABNT NBR 9452:2023, considerando os critérios de posicionamento do observador e numeração dos elementos com a OAE no eixo da rodovia.

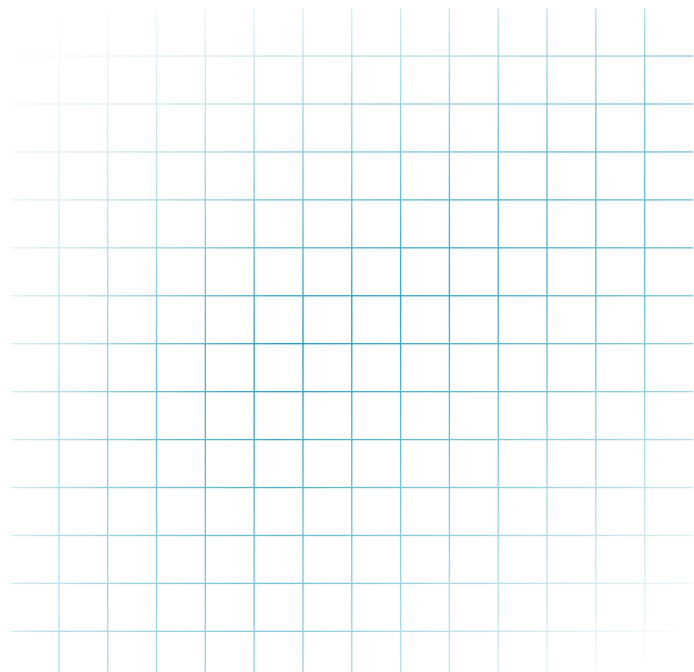
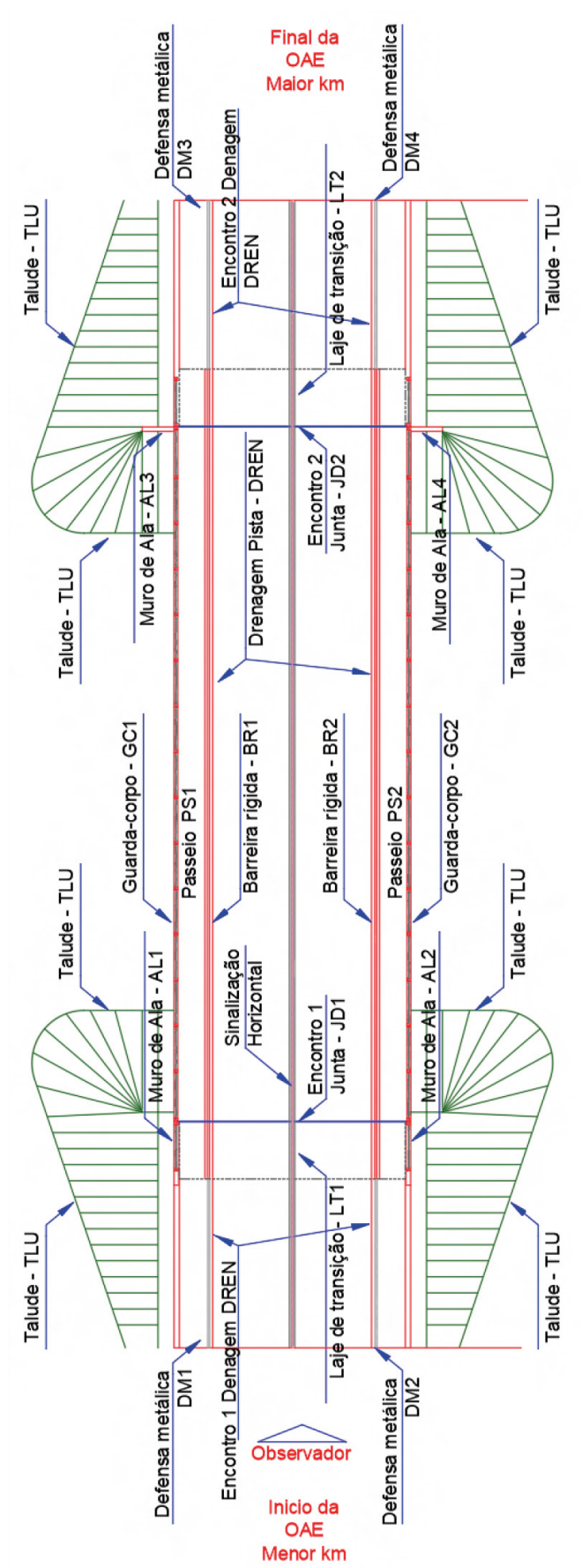
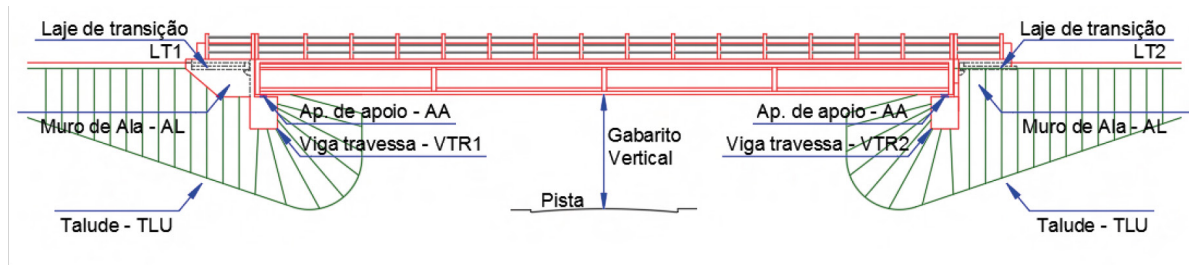


Figura 30 – Vista em planta da OAE



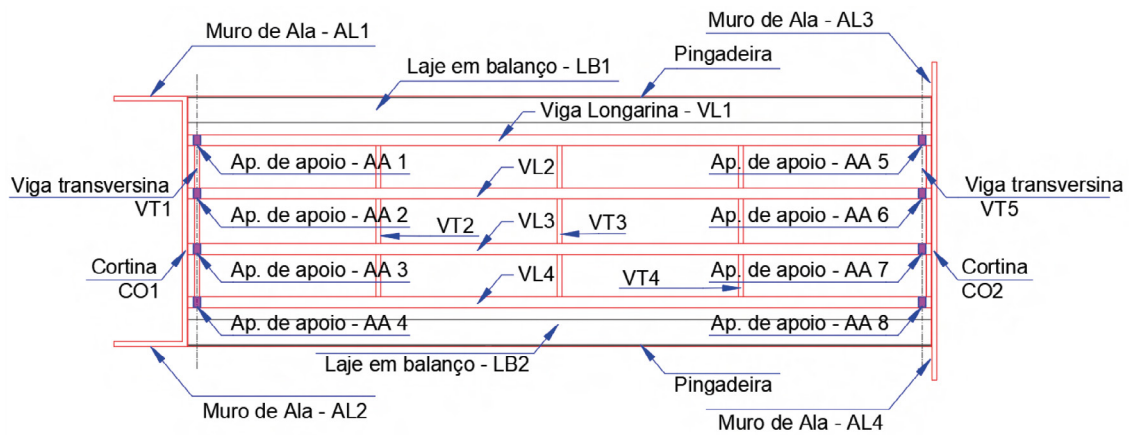
Fonte: IPT.

Figura 31 – Vista longitudinal da OAE



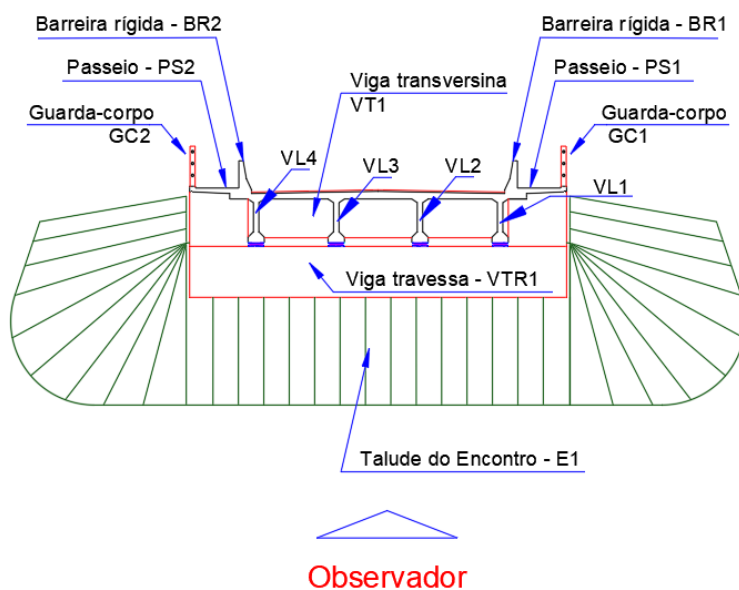
Fonte: IPT.

Figura 32 – Vista inferior da OAE



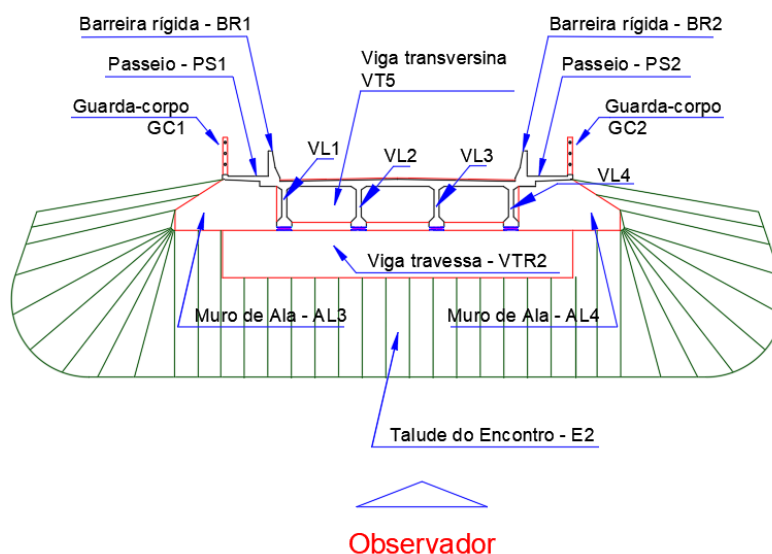
Fonte: IPT.

Figura 33 – Vista do observador, do Encontro E1 da OAE



Fonte: IPT.

Figura 34 – Vista do observador, do Encontro E2 da OAE



Fonte: IPT.

3.2.2. Obras de arte especiais transversais ao eixo da rodovia

Com relação a numeração dos elementos da OAE localizada transversalmente ao eixo da rodovia, deve obedecer aos seguintes critérios básicos: com o observador posicionado na direção da obra, de maneira que consiga visualizá-la à sua frente e que seu lado esquerdo esteja no sentido da menor quilometragem, seguindo o posicionamento indicado, na direção longitudinal da pista superior, a numeração começa partindo dos elementos próximo ao observador; por sua vez, na direção transversal da pista superior, a numeração deve ser crescente da esquerda para a direita.

No encontro, a posição mais próxima ao observador (conforme posicionamento básico indicado), deve ser denominado “encontro 01” e o encontro à frente do observador deve ser denominado “encontro 02” e para as cortinas, deve ser adotado o mesmo critério, ou seja, “cortina 01” e “cortina 02”.

No encontro 01, os muros de ala são denominados “muro de ala 01”

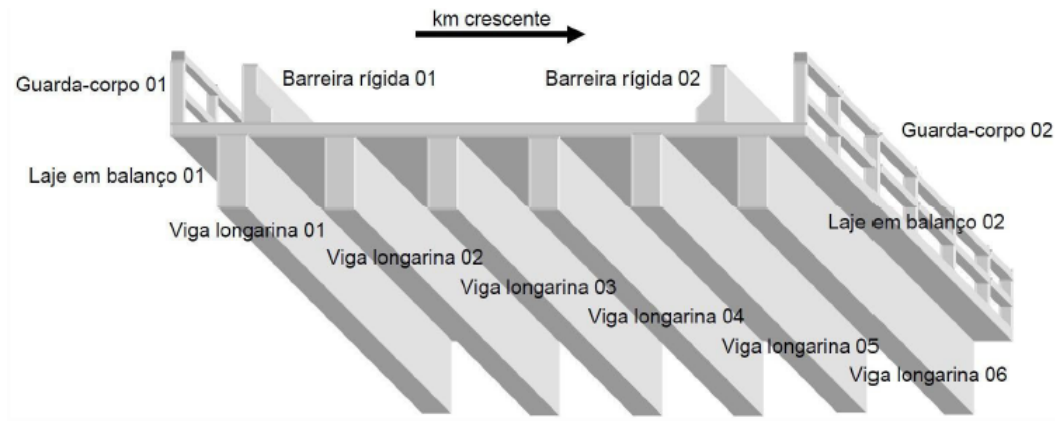
(lado esquerdo e “muro de ala 02” (lado direito), e no encontro 02, os muros de ala são denominados “muro de ala 03” (lado esquerdo e “muro de ala 04” (lado direito).

Os pilares e apoios devem ser numerados a partir da linha de apoio mais próxima ao observador (conforme posicionamento básico indicado), crescente da esquerda para a direita, de maneira contínua até o último pilar da obra, mesmo que haja mudança da linha de apoio.

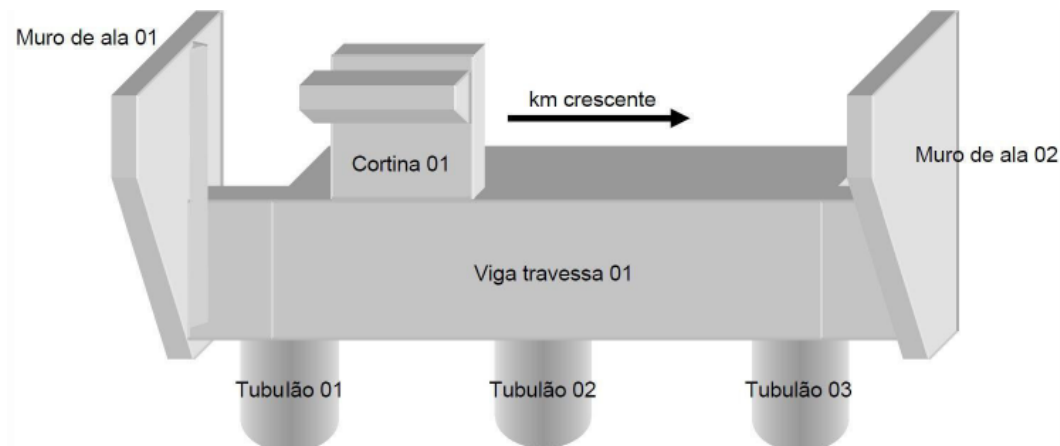
As vigas de travamento entre pilares devem ser numeradas de cima para baixo, de maneira contínua por linha de apoio.

As vigas travessas devem ser numeradas a partir da primeira linha de apoio (incluindo as dos encontros), de forma contínua para a obra toda.

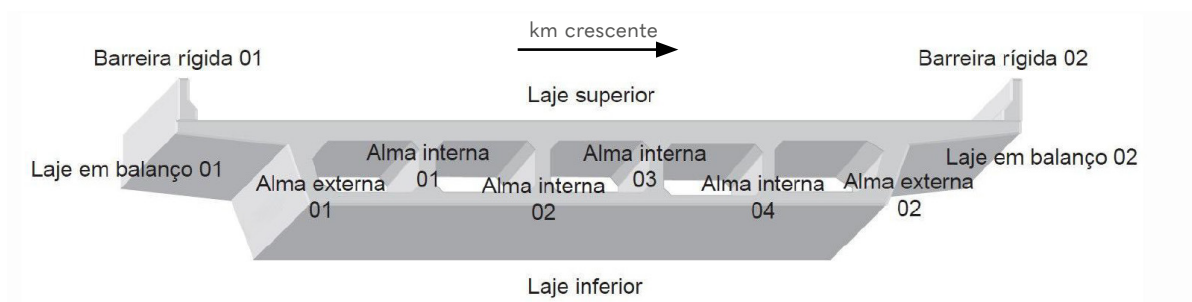
A **Figura 35** à **Figura 38** exemplificam a nomenclatura estabelecida na ABNT NBR 9452:2023 para obras de arte transversais ao eixo da rodovia.

Figura 35 – Nomenclatura de longarinas (perfis simples) transversais ao eixo da rodovia

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 9452:2023.

Figura 36 – Nomenclatura de meso e infraestruturas transversais ao eixo da rodovia

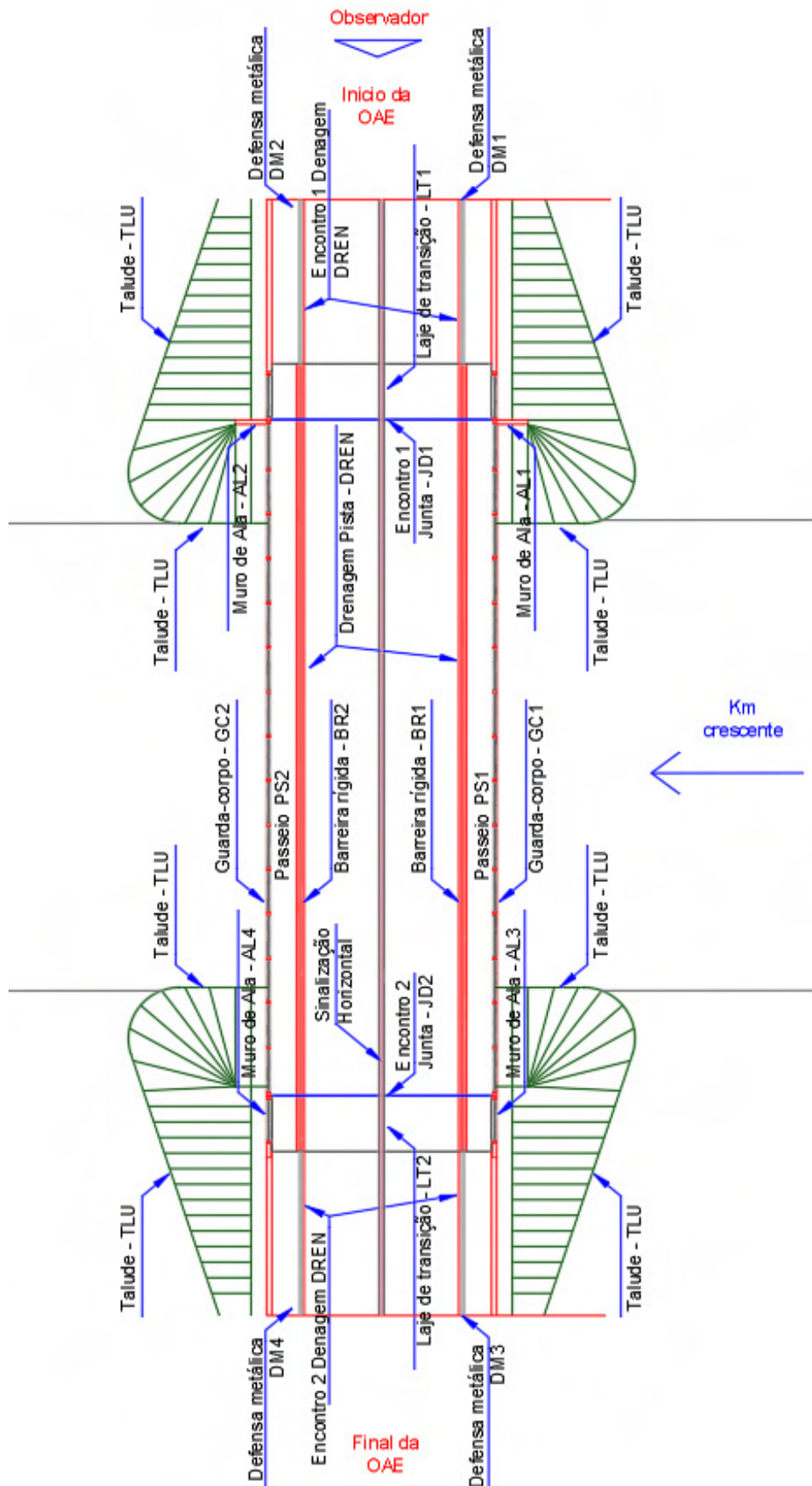
Fonte: Adaptado da ABNT NBR 9452:2023.

Figura 37 – Nomenclatura de longarinas em estrutura celular transversais ao eixo da rodovia (almas internas e externas).

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 9452:2023.



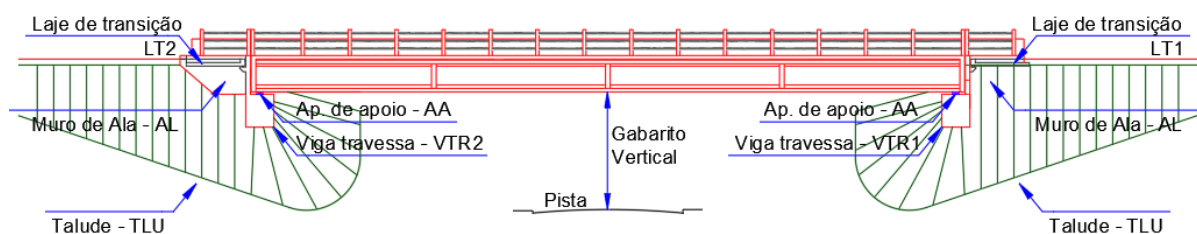
Figura 39 – Vista em planta da OAE.



Fonte: IPT.

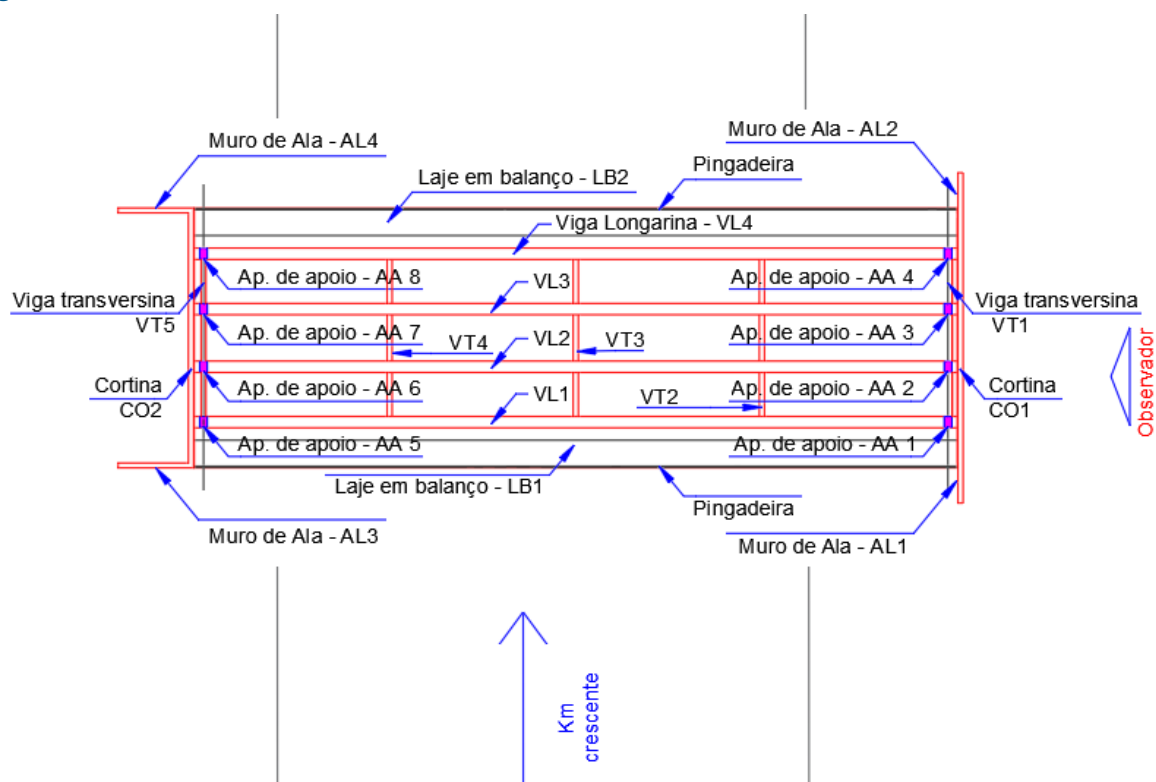


Figura 40 – Vista longitudinal da OAE.

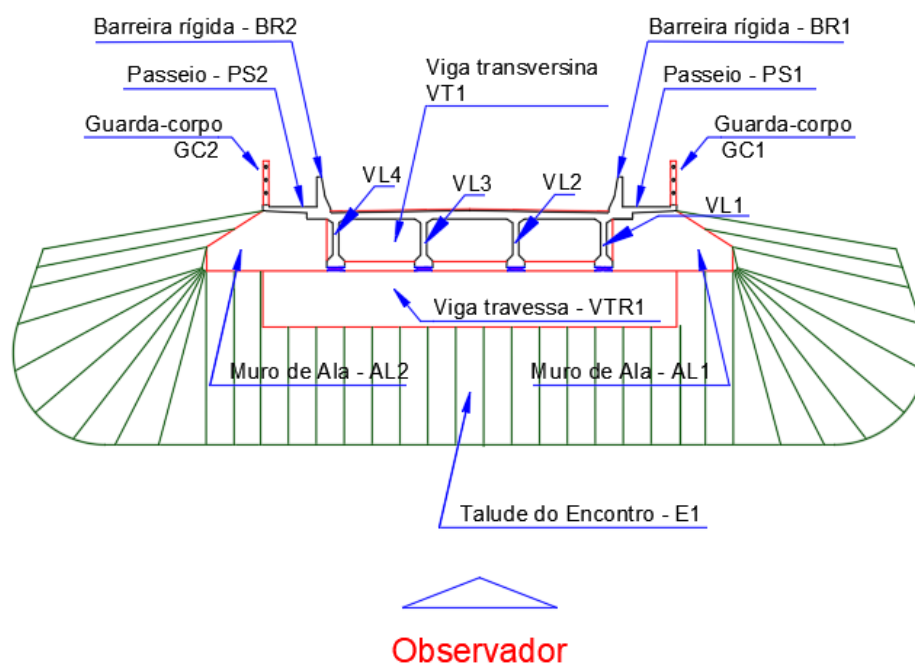


Fonte: IPT.

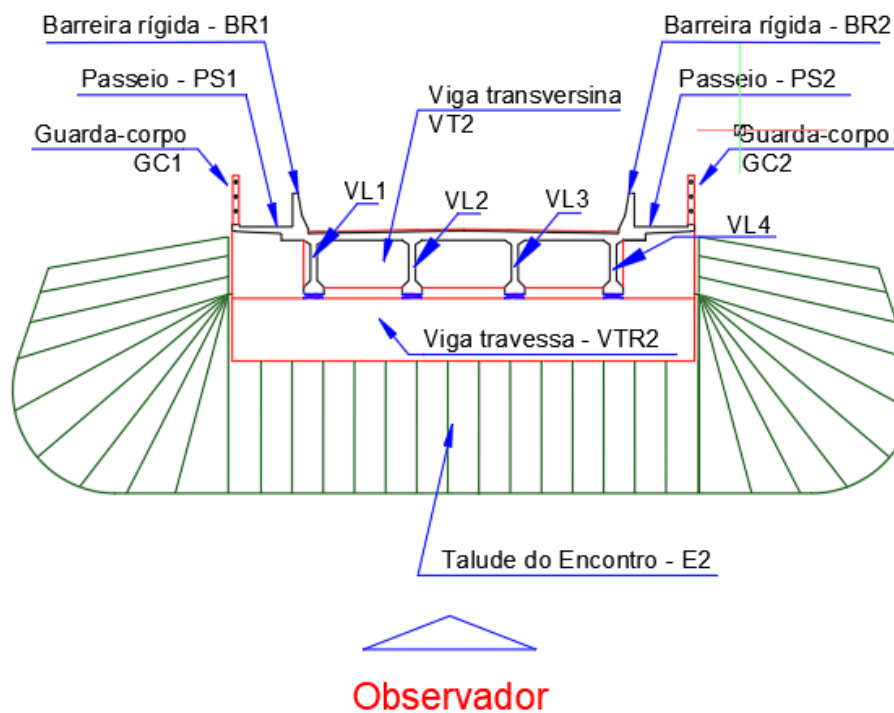
Figura 41 – Vista inferior da OAE.



Fonte: IPT.

Figura 42 – Vista do observador, do Encontro E1 da OAE.

Fonte: IPT.

Figura 43 – Vista do observador, do Encontro E2 da OAE.

Fonte: IPT.

4

Normas, regulamentos e documentações técnicas de referência para inspeções de OAEs

Conhecer as normas, regulamentos e demais documentos técnicos relativos à inspeção das obras de arte é o primeiro passo para desenvolver um trabalho de qualidade, com total segurança, padronização e norteammento de informações. Neste capítulo descrevem-se as orientações gerais preconizadas pela norma brasileira de inspeções e, de forma sucinta, algumas recomendações internacionais que se aplicam às inspeções dessas obras.

4.1. Inspeções segundo a ABNT NBR 9452:2023

Dentre os quatro tipos de inspeções recomendadas pela norma técnica vigente, a Cadastral é a primeira a ser realizada na obra, efetuada imediatamente após sua conclusão, instalação ou quando se integra a um sistema viário existente. Também é realizada quando houver alterações na configuração da OAE, tais como seu alargamento, acréscimo de comprimento, reforços ou mudança no sistema estrutural. Nela são

realizados levantamentos de toda a documentação, histórico, projetos, memoriais descritivos e de cálculo, informações atualizadas, dimensões, detalhes construtivos, registros de inspeções e monitoramentos anteriores, quando houver, e quaisquer manifestações patológicas existentes.

Na inspeção cadastral o registro fotográfico de caracterização da OAE deve ser constituído pelo menos por uma vista geral, pelas vistas superior, lateral e inferior de todos os tramos que compõem o tabuleiro, de todos os elementos da meso e da infraestrutura, quando aparentes, e os detalhes julgados necessários, incluindo anomalias que comprometam as condições estruturais, funcionais e de durabilidade. O **Anexo A** da ABNT NBR 9452:2023, apresenta um modelo de ficha de inspeção cadastral.

A inspeção Rotineira, foco do presente documento, é a inspeção programada que tem como função acompanhar o estado geral de conservação da OAE e detectar

eventuais manifestações patológicas existentes ou que venham a surgir, dando subsídios – em tempo hábil – ao planejamento dos trabalhos de inspeções especiais. A inspeção consiste do exame visual dos elementos e componentes da estrutura, com ou sem a utilização de equipamentos e/ou recursos especiais para análise ou acesso, podendo ser realizadas à distância, seja a partir do terreno, do nível d'água ou sobre o tabuleiro. A periodicidade dessa inspeção não pode ser superior a um ano em relação à inspeção anterior. Nessa inspeção deve ser verificada a evolução de anomalias já observadas em inspeções anteriores, bem como novas ocorrências. O **Anexo B** da ABNT NBR 9452:2023 apresenta um roteiro básico de inspeção rotineira.

No caso específico de pontes ferroviárias, com notas de classificação 4 ou 5, inserida em malha ferroviária operacional e concessionada, que possuem um sistema de gestão e manutenção, permite-se que a periodicidade seja estendida para até 2 anos.

A inspeção Especial tem como objetivo a identificação e o mapeamento gráfico e quantitativo de todas as manifestações patológicas presentes nos elementos da estrutura, no intuito de formular o diagnóstico e os procedimentos recomendados para restituir os requisitos de segurança estrutural, funcional e de durabilidade da OAE. Nesta inspeção são necessários recursos especiais para acesso a todos os componentes da estrutura, lateralmente, internamente e sob a obra. O roteiro para inspeção especial é apresentado no **Anexo D** da ABNT NBR 9452:2023.

Nas inspeções especiais podem ser necessárias análises estruturais,

ensaios dos elementos constituintes, provas de carga, entre outros, de maneira a fornecer dados para eventuais projetos de recuperação e reforços, caso necessários. São realizadas com base nos resultados obtidos nas inspeções rotineiras e, em alguns casos particulares, na inspeção cadastral, quando forem objeto de intervenções de curto prazo. Devem ser realizadas por profissional qualificado, conforme diretrizes da ABNT NBR 16230:2013, que trata da qualificação necessária para inspeção de estruturas de concreto.

A periodicidade máxima é de 5 anos, porém, eventualmente pode ser postergada para até 8 anos, quando for possível a inspeção de todos os elementos da OAE nas inspeções rotineiras e essa apresentar notas de classificação 4 ou 5, discutidas mais a frente. No caso dessas obras apresentarem notas de classificação baixas, como 1 e 2 sob os parâmetros estruturais e de durabilidade ou quando forem previstas adequações de grande porte, como alargamentos, prolongamentos, reforços e elevação da classe portante, a inspeção especial é antecipada (ABNT NBR 9452:2023).

A inspeção Extraordinária é uma inspeção não programada, gerada por necessidade de avaliar com mais critério um elemento ou parte da OAE, podendo ou não ser gerada por inspeção anterior, pela ocorrência de impacto de veículo, trem ou embarcação na obra e pela ocorrência de incêndios e eventos naturais, tais como inundação, vendaval, sismos e outros.

As inspeções especiais e extraordinárias necessitam um planejamento minucioso, pois usualmente requerem dispositivos de segurança, controle de tráfego e o uso de

equipamentos especiais, como caminhões com plataformas articuladas e com cestos, escadas telescópicas, andaimes tubulares, treliças móveis; guindastes, barcos ou flutuantes. No caso de estruturas com seções celulares, conforme mostrado no Capítulo 3, a utilização de equipamentos de proteção individual adequados para ambientes confinados é requerida, além da adoção de sistema de ventilação forçada, entre outros, a depender das características da obra.

Cabe considerar que os resultados obtidos e os registros fotográficos das inspeções especiais são apresentados em desenhos com o mapeamento das anomalias e em ficha de inspeção. Esses documentos também contemplam as descrições da estrutura, ensaios, equipamentos, dispositivos, entre outros, e a discussão das evidências coletadas em campo, com apresentação do diagnóstico e do prognóstico, necessários para o planejamento das

manutenções ou de projetos e obras de recuperação e reforço.

Além de apresentar a definição de quatro tipos de inspeção, a norma ABNT NBR 9452:2023 contempla uma “padronização” quanto à identificação e a avaliação dos elementos constituintes das OAEs, fornecendo parâmetros destinados à classificação quanto ao estado de conservação, sendo relacionados aos aspectos estruturais, funcionais e de durabilidade. Para cada um desses aspectos tem-se a atribuição de notas de classificação, sendo elas: emergencial (0), crítica (1), ruim (2), regular (3), boa (4) e excelente (5), de forma a priorizar as ações de manutenção, permitindo uma visão qualitativa e quantitativa do estado geral de conservação, o que reflete o quão grave podem ser os problemas detectados. O **Quadro 1** apresenta a caracterização da condição da OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade previstos na norma.

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

Classificação nota	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura se encontra em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários	A OAE se encontra em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados
4	Boa	A estrutura apresenta danos de baixa gravidade, localizados em pequenas áreas, sem comprometer a segurança estrutural	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário	A OAE apresenta pequenos e poucas anomalias, que não comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental

Continua

Continuação

Classificação nota	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
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	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações	"A OAE apresenta anomalias de moderada gravidade, que comprometem sua vida útil, em região de moderada agressividade ambiental" A OAE apresenta de moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental"
2	Ruim	Há danos comprometendo a segurança e a estabilidade estrutural. A OAE está em risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso parcial ou total. A OAE necessita de ações corretivas significativas	A OAE possui funcionalidade reduzida, com riscos para segurança do usuário	"A OAE apresenta anomalias de moderada a alta gravidade, que comprometem sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental" A OAE apresenta muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental"
1	Crítica	Há danos gerando grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural localizado. A OAE necessita de intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição parcial, escoramento provisório, instrumentação, associadas ou não	A OAE apresenta condições funcionais limitadas de utilização em regiões localizadas	A OAE se encontra em elevado grau de deterioração em regiões localizadas, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional, requerendo intervenção imediata, podendo ser necessárias restrição de carga e de interdição parcial ao tráfego
0	Emergencial	Há elementos estruturais principais colapsados, evoluindo para instabilidade estrutural. É necessária a interdição total, até que haja avaliação e reclassificação por consultor especializado ou intervenção	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização. A OAE deve ser interdita	A OAE se encontra em elevado grau de deterioração, gerando risco iminente, requerendo interdição total

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 9452:2023.

Essas notas de classificação são atribuídas individualmente à cada elemento constituinte da obra, levando-se em consideração os mencionados aspectos estruturais, funcionais e de durabilidade quando aplicável à cada elemento e/ou condição verificada na inspeção. A norma ABNT NBR 9452:2023 apresenta os elementos a serem avaliados, tais como: aparelhos de apoio, juntas, encontros, sistema de drenagem, pista, dispositivos de segurança, passeios e guarda corpo, entre outros, e também as condições observadas nas inspeções, por

exemplo: estado de fissuração e as condições das armaduras, do concreto e das flechas.

Após avaliadas as condições de cada elemento, são definidas e atribuídas notas de classificação geral da OAE, de 0 a 5, para cada elemento e parâmetro analisado, obtendo-se assim a nota final de sua classificação. A norma também apresenta um critério de classificação dos elementos estruturais constituintes da OAE quanto a sua relevância no sistema estrutural, conforme pode ser visto no **Quadro 2**.

Quadro 2 – Caracterização dos elementos estruturais segundo a relevância no sistema estrutural.

Elemento			Sistema estrutural					
			Laje	Duas vigas	Grelha	Caixão	Treliça	Estrutura aporticada
Superestrutura	Viga	Longarina	P	P	P	-	-	P
	Viga	Transversina	S	S	S	S	-	S
	Laje	Superior	P	S	S	S	-	S
	Laje	Inferior	-	-	S	S	-	P
		Banzo inferior	-	-	-	-	P	-
		Banzo superior	-	-	-	-	P	-
	Treliça	Diagonais	-	-	-	-	P/S	-
		Montantes	-	-	-	-	P/S	-
		Contraventamento	-	-	-	-	S	-
Mesoestrutura	Longarina		-	-	-	-	-	-
	Transversina		-	-	-	-	-	-
	Ligações		-	-	-	-	P	-
	Travessas		P	P	P	P	P	P
	Pilares		P	P	P	P	P	P
	Aparelhos de apoio		P	P	P	P	P	P
Encontros	Cortina		S	S	S	S	S	S
	Laje de transição		S	S	S	S	S	S
	Muros de ala		S	S	S	S	S	S
Infraestrutura	Blocos		P	P	P	P	P	P
	Sapatas		P	P	P	P	P	P
	Estacas, tubulões		P	P	P	P	P	P

Continua

Continuação

Elemento		Sistema estrutural					
		Laje	Duas vigas	Grelha	Caixão	Treliça	Estrutura aporticada
Complementares	Barreira rígida	C	C	C	C	C	C
	Guarda-corpos	C	C	C	C	C	C
	Contratrilho	C	C	C	C	C	C
Via permanente	Trilho/Dormente	P	P	P	P	P	P
	Lastro	P	P	P	P	P	P
	Fixações	P	P	P	P	P	P

Legenda:

- P: elemento Principal cujo dano pode ocasionar o colapso parcial ou total da obra;
- S: elemento Secundário cujo dano pode ocasionar ruptura localizada;
- C: elemento Complementar cujo dano não causa nenhum comprometimento estrutural, apenas funcional na OAE.

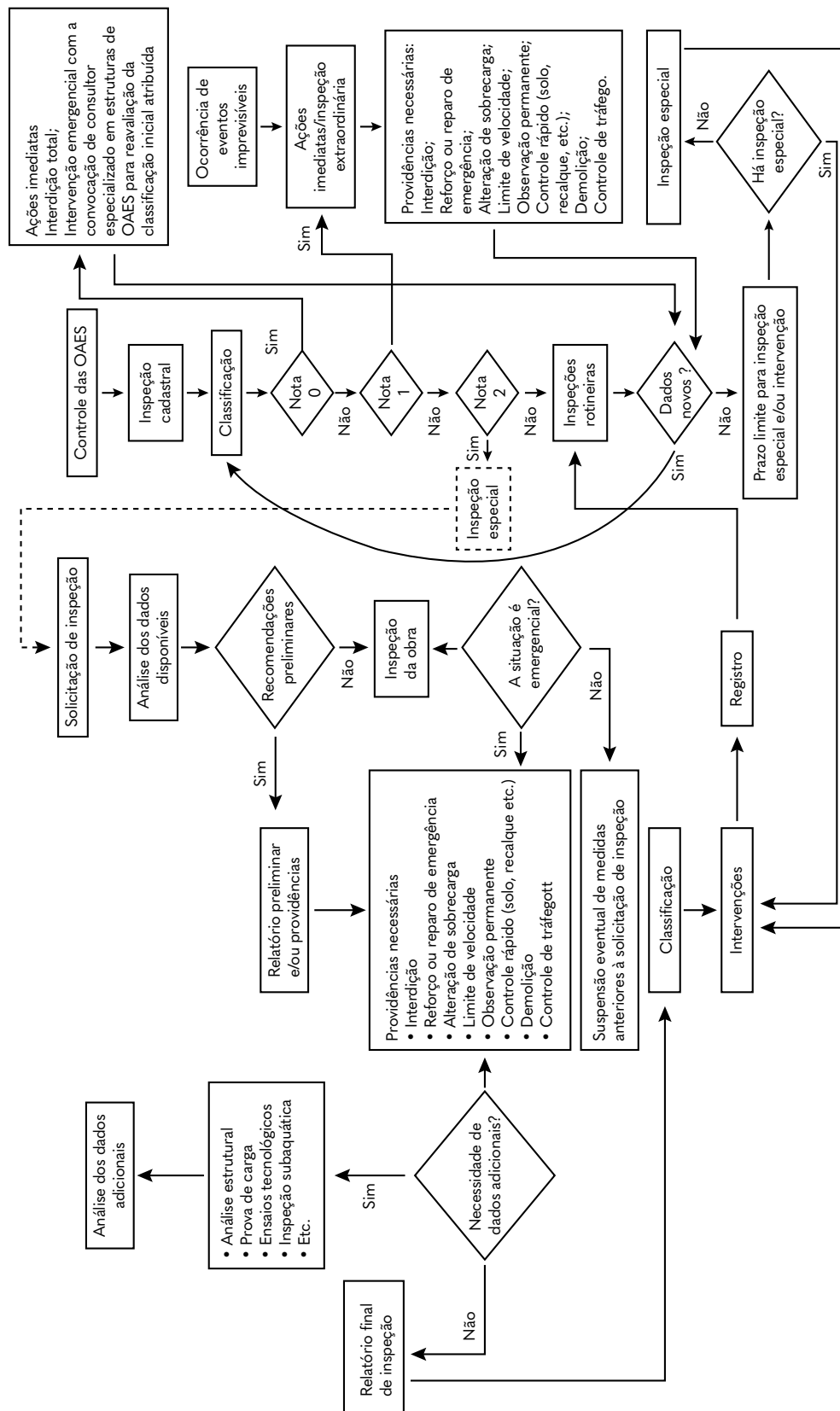
Fonte: Adaptado da NBR 9452:2023.

A ABNT NBR 9452:2023 apresenta no seu Anexo C, um fluxograma de gerenciamento de uma OAE, principalmente para o caso de obras com notas de classificação entre 0 a 2, orientando o profissional nas tomadas de decisões quanto ao planejamento e execução das análises e ações à serem realizadas (**Figura 44**).



Freepik

Figura 44 – Fluxograma de gerenciamento de uma OAE.



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 9452:2023.

4.2. Regulamentações, manuais e normas internacionais

O meio técnico internacional possui uma série de regulamentações voltadas às inspeções e às manutenções de Obras de Arte Especiais. Particularmente nos Estados Unidos, a Associação Norte-Americana de Especialistas Rodoviários e de Transporte (AASHTO) apresenta especificações, protocolos de ensaios e diretrizes que são usadas no

projeto e construção de rodovias nos Estados Unidos. Outra documentação técnica norte americana, utilizada no controle do estado de conservação das OAEs, é a publicada pelo NYSDOT (2017) que aponta os critérios de classificação do estado de conservação (CS) de elementos estruturais das OAEs, apresentando níveis das situações observadas nas obras, com as respectivas informações gerais das condições em que as OAEs se encontram, como pode ser observado no **Quadro 3**.

Quadro 3 – Caracterização dos elementos estruturais segundo a relevância no sistema estrutural.

Classificação do estado	Condição	Informações gerais das condições
CS-1	Bom	Elemento não possui deterioração ou a deterioração é insignificante indicando que não há necessidade de reparos, estando em boas condições. Elementos que já foram reparados e restauraram a capacidade total prevista originalmente.
CS-2	Razoável	Elemento que possui pequenas deficiências que apresentam progressão no processo de deterioração, sendo necessária a realização de manutenção. Elementos que receberam reparos, mas não os suficientes para restaurar as condições previstas originalmente.
CS-3	Ruim	Elemento que sofreu deterioração avançada, mas sem a necessidade de reforço estrutural. Elemento pode necessitar de manutenção ou ação corretiva.
CS-4	Severa	Elemento necessita de reforço estrutural, ou de reforço estrutural já existente ainda não garante a capacidade portante. O elemento não apresenta eficiência compatível com os requisitos do projeto.
CS-5	Sem informação	Elemento não pôde ser avaliado devido à falta de acesso.

Fonte: Adaptado do NYSDOT (2017).

Outro aspecto relevante do manual NYSDOT é que o mesmo contempla recomendações e critérios de avaliação das OAEs constituídas por elementos metálicos, de madeira e de alvenaria (tijolos e pedras), bem como elementos da infraestrutura.

No que tange à infraestrutura das OAEs, o manual NYSDOT chama a atenção para os problemas relacionados à integridade dos elementos,

destacando as patologias associadas às condições de exposição e à corrosão das armaduras de concreto, além de destacar a atenção para a ocorrência de processos erosivos que podem descalçar estruturas de contenção nos encontros ou, até mesmo, reduzir o comprimento embutido em solo de elementos de fundação. Do ponto de vista hidrológico, chama-se a atenção para a verificação da presença de resíduos

sólidos transportados pelas águas e que, normalmente, deixam vestígios nas estruturas e podem, em grande volume, interferir na hidrodinâmica dos cursos de água.

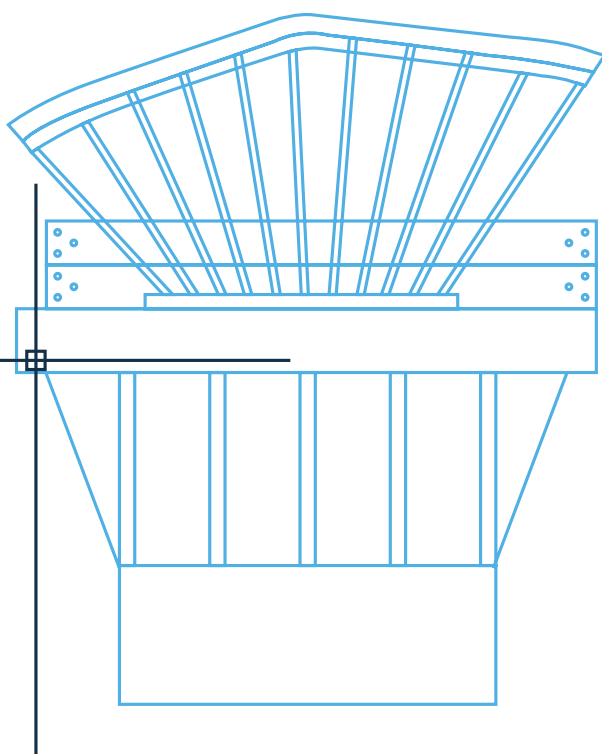
Ainda no meio técnico internacional, pode-se destacar a norma ISO 13822:2012 que se aplica para estruturas em geral, como de pontes e de indústrias, incluindo aquelas que são parte do patrimônio cultural, para os casos da avaliação de mudança de seu uso, de extensão da vida útil de projeto, de verificação da confiabilidade (por exemplo, para terremotos, aumento das ações de tráfego), de deterioração estrutural devido a ações dependentes do tempo (por exemplo, corrosão, fadiga) e de danos estruturais por ações acidentais. Chama a atenção a apresentação de uma série de anexos informativos, como exemplos de avaliação e quantificação dos resultados para prever a probabilidade de falha estrutural. Contém também a descrição de ensaios de avaliação de propriedades estáticas e dinâmicas de estruturas e de avaliação da confiabilidade e da vida útil residual das estruturas.

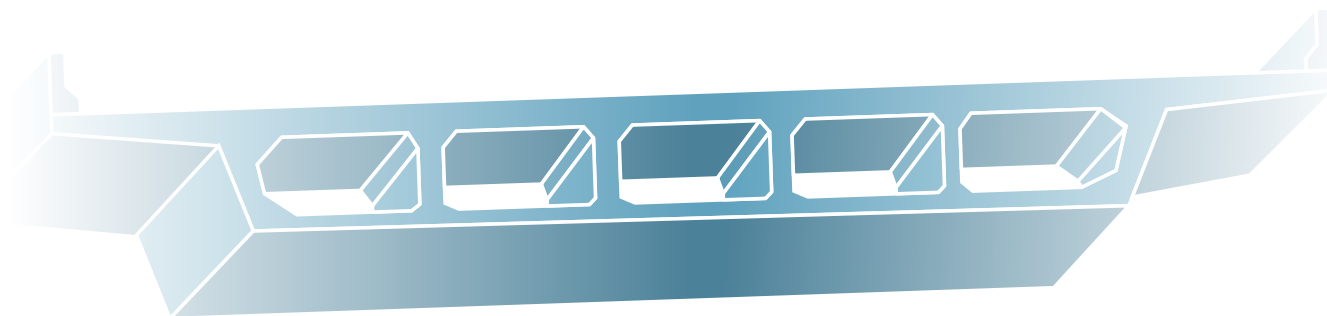
Também merece destaque o Boletim nº 22 do *Comite Euro-Internacional du Béton* (CEB-FIB), publicado em 2003, que trata do monitoramento global de estruturas de concreto, como pontes, barragens e túneis, com base nos resultados obtidos em inspeções e em ensaios não destrutivos e outros métodos aplicáveis de avaliação do estado do concreto e da armadura e de comportamento destes trabalhando solidariamente perante a ação de diferentes solicitações, como os efeitos ambientais, de cargas, do envelhecimento, de danos, etc. Esse mesmo boletim contém uma ampla revisão de defeitos e mecanismos de deterioração das estruturas de concreto, contemplando a corrosão de armadura com vergalhão de aço-carbono com e sem revestimento (galvanização e pintura epoxídica), de aço inoxidável e de fibra. Seu conteúdo também contempla a apresentação de importantes ensaios de avaliação do concreto e da armadura e de elementos metálicos, dentre outros métodos e sistemas de monitoramento que podem ser adotados nas inspeções.

4.3. Manual e norma DNIT

O DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes possui algumas publicações técnicas relacionadas à diferentes temas das obras de infraestrutura de transportes. Dentre eles, o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias – Instituto de Pesquisas Rodoviárias, de 2004.

O Manual DNIT divide a inspeção em cinco tipos: cadastral, rotineira, especial, extraordinária e intermediária. Essa última se difere das outras, já comentadas anteriormente (item 4.1), por ser recomendada para o monitoramento de uma determinada anomalia sob suspeita ou já detectada, podendo ser realizada por um





auxiliar técnico. Quanto às demais, chama a atenção o fato de que as inspeções Cadastral e Rotineira devem ser feitas por inspetores e por auxiliares técnicos, e no caso das Especiais e Extraordinárias, por inspetores, consultores e auxiliares técnicos. Para o conhecimento dos requisitos desses e demais profissionais envolvidos na inspeção de estruturas de OAEs tem-se atualmente disponível a norma ABNT NBR 16230:2013.

No Manual DNIT constam os principais procedimentos adotados para a realização das inspeções em estruturas de concreto armado e protendido e, ainda, de estruturas de aço. Contempla o planejamento das inspeções e os equipamentos mais comumente utilizados. Também consta no manual uma ampla revisão, em que se destaca a abordagem detalhada da identificação e função estrutural dos elementos das pontes e das propriedades dos materiais e mecanismos de sua deterioração, o que inclui a definição de manifestações patológicas mais comumente detectadas nas pontes rodoviárias.

A regulamentação do DNIT nº 010:2004 compila importantes

informações contidas no seu manual, podendo ser destacada a apresentação dos procedimentos nas inspeções de pontes, viadutos, pontilhões e bueiros (estruturas de drenagem) em que é definido que os resultados de inspeção cadastral e rotineira são anotados em fichas específicas, enquanto as inspeções especiais e extraordinárias são apresentadas em relatório técnico, não padronizado. Chama a atenção a apresentação, em anexo a norma, de um modelo da ficha de inspeção cadastral e da rotineira, sendo que a primeira é dirigida para ser registrada a informação relativa às características da estrutura, o que deve ser feito com base em tabelas de códigos pré-estabelecidos para a natureza da transposição, tipos de estruturas, seção tipo, materiais e sistemas construtivos. A segunda ficha, que trata da inspeção rotineira, é dirigida para o registro das condições gerais da estrutura quanto à estabilidade, ao nível de vibração do tabuleiro e a necessidade e urgência de inspeções especiais e, também, ao registro da presença e incidência de manifestações patológicas na laje, vigamento principal, mesoestrutura, infraestrutura e faixa de rolamento/acesso.

5 Planejamento das inspeções e procedimentos de campo

O planejamento é uma fase fundamental para as atividades de inspeção. Independentemente de qual seja a inspeção (cadastral, rotineira, especial ou extraordinária), o planejamento requer a análise do cenário do local para a realização da atividade, identificando o tipo de obra de arte especial, definindo os objetivos a serem atingidos e os meios, ações e estratégias para o alcance desses objetivos.

No item a seguir são elencados alguns passos preliminares que podem ser adotados no planejamento das atividades de inspeção e, no item 5.2, é apresentado um exemplo com desenhos esquemáticos da sequência de inspeção em um viaduto com um só tramo. Cabe salientar que se trata apenas de um exemplo esquemático, como sugestão de sequência de inspeção; a sequência de inspeção a ser definida pelo inspetor pode ser alterada conforme o tipo de OAE e condições observadas em campo.

5.1. Planejamento das atividades

Uma recomendação para o planejamento das atividades de campo é seguir os passos descritos abaixo.

1º Passo: Realizar um levantamento das informações e localização da OAE (obra de arte especial) com o uso de mapas geológicos, cartas geotécnicas, fotos aéreas e em sites de busca como o “Google Maps” ou “Google Earth”, que são ferramentas que possibilitam obter, além da localização dessas obras, as características do entorno no qual estão inseridas e o seu tipo, se é ponte, viaduto ou passarela. Essas informações são importantes também para definição dos recursos necessários, particularmente em inspeções especiais e extraordinárias. Por exemplo, se for uma ponte, haverá um curso d’água sob a OAE, necessitando determinados tipos de equipamentos especiais para aproximação, como embarcação

ou caminhão com sistema de lanças e cestos para inspeção da região inferior do tabuleiro ou até mesmo a prática de rapel. Dependendo do caso, drones e scanners podem ser usados com sucesso, minimizando o tempo dispendido com a inspeção e evitando a exposição de profissionais a situações de risco elevado. No caso de um viaduto, os equipamentos de inspeção podem ser posicionados na região sob a OAE, como por exemplo, a instalação de andaimes ou uso de plataformas elevatórias; contudo, é importante verificar como será o impacto no tráfego da via sob o viaduto e se é possível a interdição de faixas de rolamento para o posicionamento desses equipamentos.

2º Passo: Verificar a existência de inspeções anteriores e analisar as notas de classificação atribuídas nas inspeções. Caso seja a primeira inspeção, ir para o 3º Passo.

A existência de inspeções anteriores permite avaliar a evolução das anomalias na OAE ou o surgimento de novas, verificar se já foram realizadas atividades de manutenção e conhecer o histórico da classificação da obra conforme os aspectos estruturais, funcionais e de durabilidade. Fornecem também informações preliminares que ajudarão o inspetor a identificar anomalias e aspectos relevantes da obra já destacados anteriormente.

3º Passo: Examinar os projetos estruturais e geotécnicos, especificações dos materiais e outras informações disponíveis da OAE.

- Identificar o tipo de superestrutura, se é seção celular “caixão”, em vigas, grelhas, lajes, pênsil, estaiada, etc. No caso de seção caixão, confirmar se

existe alçapão na laje inferior para acesso ao interior da superestrutura e se existem passagens nas transversinas intermediárias e dos apoios que possibilitem o deslocamento pelo interior das células;

- verificar o número e larguras das faixas de rolamento, passeios, guarda corpo, juntas de dilatação, postes de iluminação, informações do gabarito da obra (caso haja tráfego de veículos ou embarcações sob a obra), os nomes ou código das ruas, rodovias, rios ou córregos e sua posição (quilometragem);
- identificar o material constituinte: concreto armado, concreto protendido, metálica, madeira, mista (aço-concreto) ou alvenaria. Para cada tipo de material devem ser observadas características específicas, como a identificação das tipologias de anomalias comumente observadas, os diagnósticos e prognósticos adequados, os respectivos ensaios a serem realizados, entre outros; e
- identificar o tipo de mesoestrutura e infraestrutura, e se há possibilidade de inspecioná-las visualmente. Não estando aparente, a inspeção da infraestrutura se dá de forma indireta, seja por manifestações patológicas em outros elementos, seja pela análise documental disponível (características dos solos e fundações). Em alguns casos, a inspeção subaquática pode ser fortemente recomendada.

4º Passo: Preparar planilhas para inspeção, croquis ou desenhos para

indicar a localização das anomalias e fotos. Quando se tratar de uma inspeção especial, planilhas de quantificação para cada tipo de anomalia também devem ser preparadas. Conforme mencionado no Capítulo 4 deste guia, a ABNT NBR 9452:2023 fornece modelos de fichas de inspeção cadastral, rotineira e especial, que dão subsídios para os inspetores elaborarem suas próprias fichas de inspeção, para cada tipo de obra analisada e com os respectivos elementos constituintes.

5º Passo: Avaliar as condições de acesso e limpeza junto aos encontros e sob a obra e se há possibilidade de acesso ou não devido a fatores externos, como por exemplo: vegetação alta, terreno muito íngreme, cursos d'água, etc. Para facilitar as atividades de campo, previamente o inspetor pode coletar essas informações com a entidade responsável pela OAE (concessionárias, prefeituras, empresas, etc.), por meio de fotos dos acessos e descrições, de modo a solicitar, caso necessário, a limpeza do local ou a instalação de dispositivos auxiliares que permitam o acesso com segurança.

6º Passo: Verificar a possibilidade de interdição total ou parcial da obra para a realização da inspeção, caso seja necessária. Nas inspeções especiais e extraordinárias, são utilizados equipamentos especiais que aproximam o inspetor dos locais a serem inspecionados e, muitas vezes, é necessária a interdição de faixas de rolamento ou até mesmo de toda a via, conforme já abordado no 1º Passo. Diante da necessidade de interdição do trânsito no local, é necessário o planejamento prévio pela entidade responsável pela OAE de um estudo de tráfego com rotas alternativas e sinalizações específicas, de maneira a minimizar os efeitos da restrição da via no cotidiano de mobilidade das pessoas. É importante destacar

que o órgão responsável pelo tráfego local necessitará de tempo para planejamento e estudo de rotas alternativas do tráfego.

Finalizando, citam-se exemplos de outros tipos de equipamentos utilizados nas inspeções: binóculos, escadas, andaimes, plataformas fixas, veículos aéreos não tripulados (VANT ou Drone), scanners e até alpinismo industrial, utilizando a técnica de rapel, com equipe especializada.

5.2. Exemplo de sequência de inspeção em OAE

No exemplo a seguir, considera-se uma obra de arte (ponte ou viaduto) com apenas um tramo e uma sequência de inspeção sugerida, indicada pelas setas F1 a F47 nas **Figuras 45 a 54**, lembrando que o inspetor deverá estar munido da ficha de inspeção previamente elaborada. Cabe destacar que alguns exemplos de anomalias observadas em inspeções de OAEs estão indicados no **Capítulo 7** desse Guia.

Conforme apresentado no **Capítulo 3** e segundo a ABNT NBR 9452:2023, a numeração dos elementos da OAE, no sentido longitudinal, considerando a OAE no eixo da via, inicia-se a partir da menor quilometragem ou numeração da via até o final da OAE, considerando que o inspetor está posicionado de costas para a menor quilometragem ou numeração e, na direção transversal, da esquerda para a direita da OAE.

- Considerando no exemplo a inspeção iniciada pela região superior, no Encontro 1, tem-se a sequência a seguir:
- Encontro E1 – Região superior da OAE (ver **Figura 45**)

F1 – Sinalização: verificar se há presença de placas de sinalização na

entrada da OAE, o estado de conservação das placas e pintura das faixas de sinalização horizontal;

F2 – Vista superior a partir do Encontro E1: verificar se a geometria da ponte está conforme, se existe laje de aproximação e seu estado de conservação; avaliar a presença de trincas ou abaulamentos nos casos em que houver aterros de encontro;

F3 – Vista da defesa metálica de aproximação: verificar a presença da defesa, se essa apresenta danos por impacto, as condições de sua fixação e do seu estado de conservação;

F4 – Vista da drenagem da pista sobre o Encontro E1: avaliar se existem sistemas de captação e drenagem das águas, além da presença

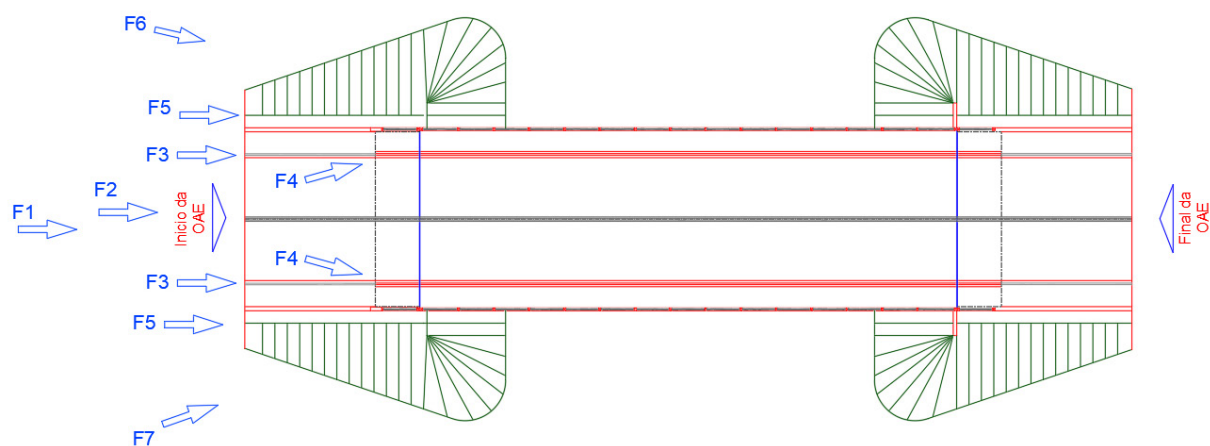
de detritos obstruindo a passagem dessas águas;

F5 – Vista da drenagem junto à crista do Talude do Encontro E1: verificar presença de sistemas de captação e drenagem das águas superficiais e seu estado de conservação; observar a presença de processos erosivos no talude e trincas indicativas de movimentos de massa;

F6 – Vista Lateral 1: avaliar se a superestrutura e mesoestrutura apresentam alterações visuais nas suas geometrias e nas condições do estado de conservação da OAE;

F7 – Vista Lateral 2: avaliar se a superestrutura e mesoestrutura apresentam alterações visuais nas suas geometrias e nas condições do estado de conservação da OAE.

Figura 45 – Sequência de inspeção da região superior do Encontro E1.



Fonte: IPT.

A próxima etapa, refere-se à inspeção da região inferior do Encontro 1, nesse caso, deve-se avaliar a possibilidade de acesso, conforme já mencionado no 5º passo deste **Capítulo 5**. Sendo possível o acesso, tem-se a seguinte sequência de inspeção:

- Encontro E1 – Região inferior da OAE (ver **Figura 46** e **Figura 47**)

F8 – Muro de Ala AL1: verificar se a estrutura do muro apresenta anomalias, como por exemplo, infiltração de águas e manchas de umidade, fissuras, trincas, armaduras expostas e corroídas. Verificar também as condições de contato com o solo, atentando-se a presença de vazios, processos erosivos, abaulamentos do terreno e evidências de recalques diferenciais.

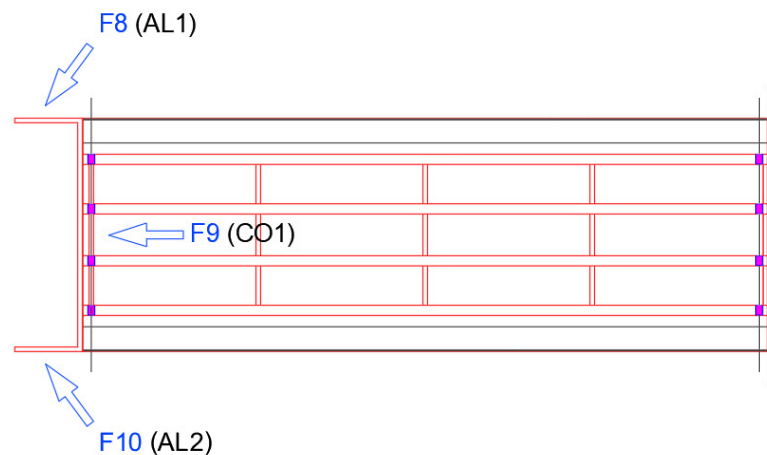
F9 – Vista da Cortina CO1: verificar a presença de anomalias na estrutura da cortina localizada junto a viga travessa VTR1, se há infiltração de água e manchas de umidade, fissuras, trincas, armaduras expostas e corroídas, destacamento de concreto, desaprumo, recalques, etc.;

F10 – Muro de Ala AL2: mesmas observações apontadas para o muro de ala AL1;

F11 – Vista do Talude do Encontro E1: verificar se o talude tem proteção

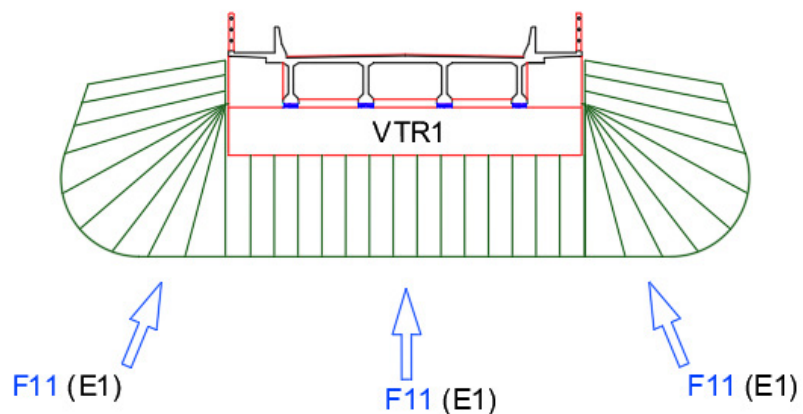
superficial (vegetação, concreto, material geossintético, entre outros), se apresenta trincas ou degraus de abatimento, processos erosivos, sua inclinação e condição de apoio. Caso existam estruturas de contenção (cortina atirantada, muros de gabião, solos reforçados, solos grampeados, etc.) a integridade e estabilidade da estrutura precisa ser avaliada e registrada na ficha de inspeção. Deve-se também avaliar a extensão do trecho do talude que fica submerso, no caso das pontes, em períodos de cheia do curso de água.

Figura 46 – Sequência de inspeção da região inferior do Encontro E1: Muros de Alas e Cortina.



Fonte: IPT.

Figura 47 – Inspeção do Talude do Encontro E1 e vista da Viga Travessa VR1.



Fonte: IPT.

Na sequência, inicia-se a inspeção da região inferior da OAE, com as vistas dos elementos da superestrutura, mesoestrutura e caso estejam aparentes, os da infraestrutura, conforme apresentado abaixo:

- Região inferior do tabuleiro da OAE (ver **Figura 48** e **Figura 49**)

F12 – Visão geral da região inferior do viaduto e possíveis anomalias existentes;

F13 – Vista inferior da Superestrutura: verificar a existência de anomalias aparentes nas longarinas, transversinas, lajes, etc.;

F14 – Vista da Mesoestrutura: verificar a existência de anomalias aparentes nos pilares, vigas travessa e de travamentos; no caso de pontes, observar se há marcas indicativas da variação do nível de água;

F15 – Vista dos Aparelhos de apoio: por se tratar de inspeção rotineira, caso seja possível inspecionar sem a necessidade de equipamentos especiais, conforme relatado no 7º passo do item 5.1, verificar a existência dos aparelhos de apoio, identificar o tipo, se estão condizentes com as informações de projeto ou de inspeções anteriores, se apresentam anomalias aparentes e se há obstrução do seu movimento;

F16 – Vista dos dispositivos de drenagem do tabuleiro: verificar a

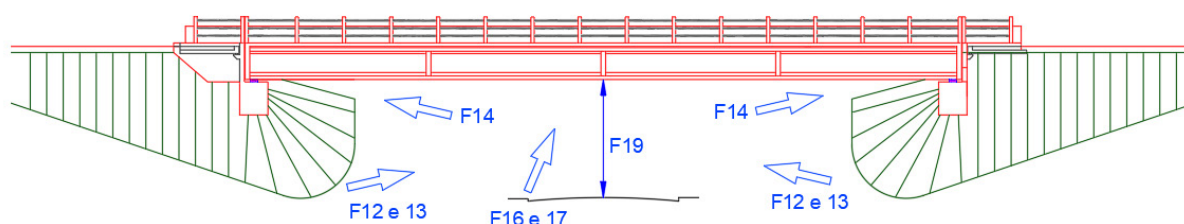
existência de dispositivos de captação de águas pluviais da pista e passeio, se os buzinotes estão despejando água nas laterais das longarinas ou diretamente nos taludes (o que pode provocar erosões), se possuem comprimentos adequados e se estão obstruídos.;

F17 – Vista das pingadeiras: verificar a existência de pingadeiras, se essas estão danificadas ou com quaisquer impedimentos à passagem de água e se há indícios de umidade na face inferior dos elementos da superestrutura;

F18 – Vista das proteções dos pilares: verificar a existência e estado de conservação dos sistemas de proteção dos pilares quanto a impactos de veículos ou embarcações (no caso de pontes). Na **Figura 48** não está indicada a vista F18, pois nesse exemplo os pilares estão inseridos nos taludes dos encontros. Nos casos em que houver pilares no leito de cursos de água, observar se há acúmulo de detritos que possam impactar na hidrodinâmica do local.

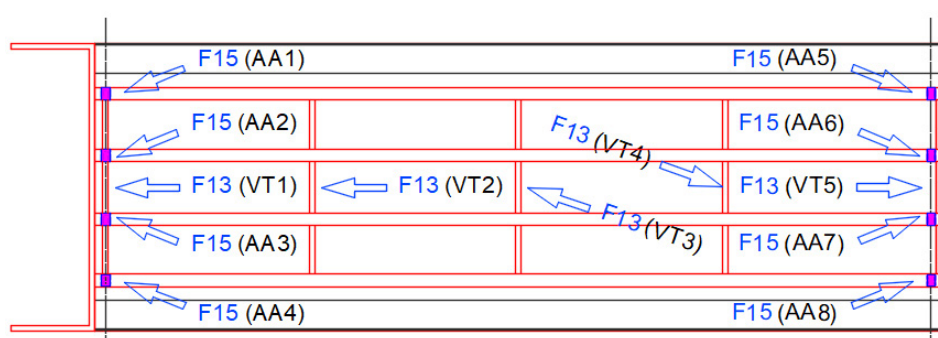
F19 – Vista do gabarito da OAE: verificar se existem placas informativas do gabarito da OAE com a passagem inferior de veículos ou embarcações, no intuito de evitar impactos com as longarinas da superestrutura, além de verificar indícios de impactos nesses elementos estruturais.

Figura 48 – Vista lateral da OAE - Inspeção da região inferior: Lajes, vigas travessas, longarinas, transversinas, dispositivos de drenagem, pingadeiras e o gabarito da OAE.



Fonte: IPT.

Figura 49 – Planta inferior da OAE – Lajes, aparelhos de apoio, transversinas, longarinas e sistemas de drenagem.



Fonte: IPT.

Nesse exemplo, caso a OAE possuísse outros tramos, o mesmo tipo de sequência de inspeção seria adotado para os tramos seguintes.

Após realizada a inspeção da região inferior da OAE, o inspetor retorna ao Encontro 1 e inicia a inspeção da metade superior do tabuleiro, iniciando pelo lado esquerdo (passo 1), além de inspecionar toda a superfície do pavimento, conforme as etapas a seguir:

- Região superior do tabuleiro da OAE (ver **Figura 50**)

F20 – Sinalização horizontal: verificar o estado de conservação das faixas de sinalização da pista;

F21 – Sinalização vertical: caso exista sinalização vertical instalada sobre a OAE, verificar seu estado de conservação, pintura, fixação, etc. No exemplo da **Figura 50** não constam sinalizações verticais instaladas sobre a OAE;

F22 – Iluminação: verificar o seu funcionamento e o estado de conservação e fixação dos postes de iluminação. No exemplo da **Figura 50** não constam postes de iluminação instalados sobre a OAE;

F23 – Vista da junta de dilatação, caso exista – JD1 no Encontro E1: verificar o estado de conservação do material de vedação e das bordas de fixação da junta; presença de danos e infiltração de água; se existem detritos impedindo a livre movimentação da junta, seu alinhamento e eventuais desníveis; se os berços de concreto apresentam cavidades e a existência de possíveis trincas ou danos nos lábios poliméricos;

F24 – Vista do passeio PS1: verificar as condições dos passeios, a existência de buracos ou de interferências que dificultem ou impossibilitem a passagem dos transeuntes;

F25 – Vista do guarda-corpo GC1: verificar o estado de conservação e se a altura mínima atende as normas técnicas vigentes;

F26 – Barreira rígida BR1: verificar o estado de conservação e a presença de anomalias;

F27 – Pavimento: verificar o tipo de pavimento (asfáltico ou de concreto), seu estado de conservação, presença de fissuras e trincas, buracos, ondulações, etc.;

F28 – Vista de juntas de dilatação intermediárias: caso existam juntas de dilatação intermediárias, seguir as mesmas verificações indicadas anteriormente na junta JD1. No exemplo da **Figura 50** não constam juntas de dilatação intermediárias na superestrutura da OAE;

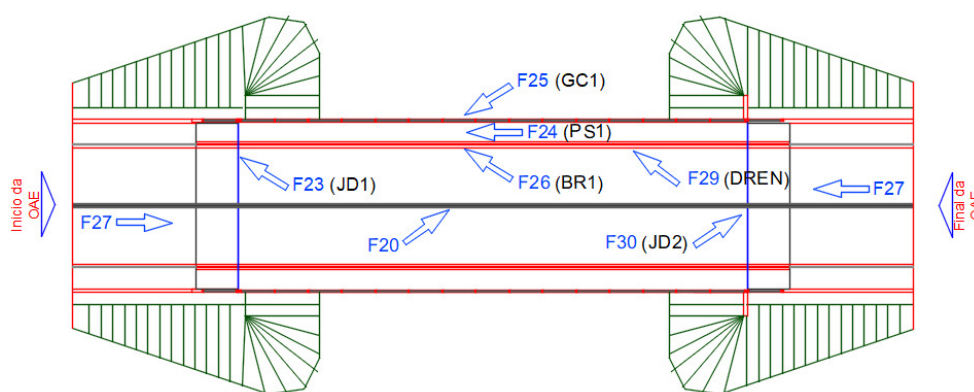
F29 – Vista da drenagem da pista: verificar se a declividade do pavimento permite o escoamento rápido das águas pluviais da pista, o estado de conservação das sarjetas, sua declividade, presença de detritos que

obstruam o escoamento e eventual obstrução dos bueiros;

F30 – Vista da junta de dilatação – JD2 no Encontro E2: seguir as mesmas verificações indicadas na junta JD1;

F31 – Vista de redes de infraestrutura e sinalização de utilidade pública: verificar se as instalações apresentam algum dano e as suas condições de fixação nas partes da OAE. No exemplo da **Figura 50** a OAE não possui utilidades públicas instaladas na sua superestrutura;

Figura 50 – Planta superior da OAE – Inspeção dos elementos do lado esquerdo, além do pavimento, juntas e sinalizações.



Fonte: IPT.

Na sequência é realizada a inspeção da região superior do Encontro E2, com os mesmos critérios apresentados no Encontro E1.

- Encontro 2 – Região superior da OAE (ver **Figura 51**)

F32 – Sinalização: verificar a presença e estado de conservação;

F33 – Vista superior a partir do Encontro E2;

F34 – Vista da defesa metálica de aproximação;

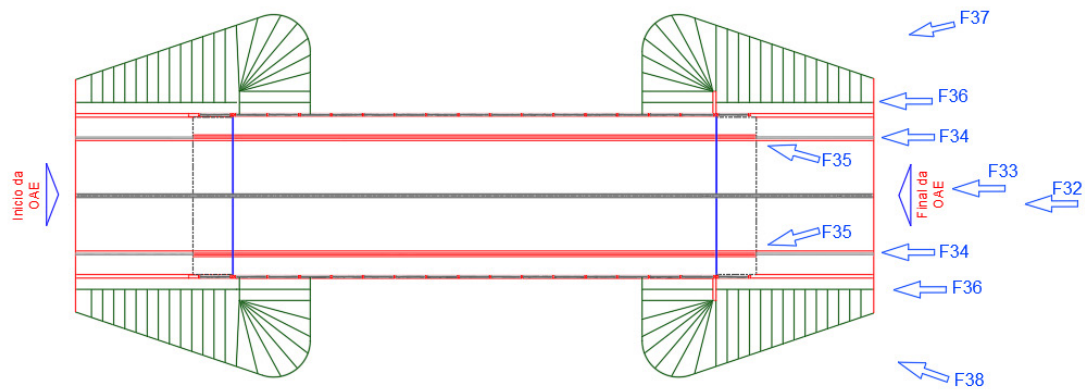
F35 – Vista da drenagem da pista sobre o Encontro E2;

F36 – Vista da drenagem do Talude do Encontro E2;

F37 – Vista Lateral 1;

F38 – Vista Lateral 2;

Figura 51 – Sequência de inspeção da região superior do Encontro E2.



Fonte: IPT.

O inspetor então, desce pelo Encontro E2 para inspecionar a região inferior, seguindo as orientações já descritas para o Encontro 1.

- Encontro 2 – Região inferior da OAE (ver **Figura 52** e **Figura 53**)

F39 – Muro de Ala AL3;

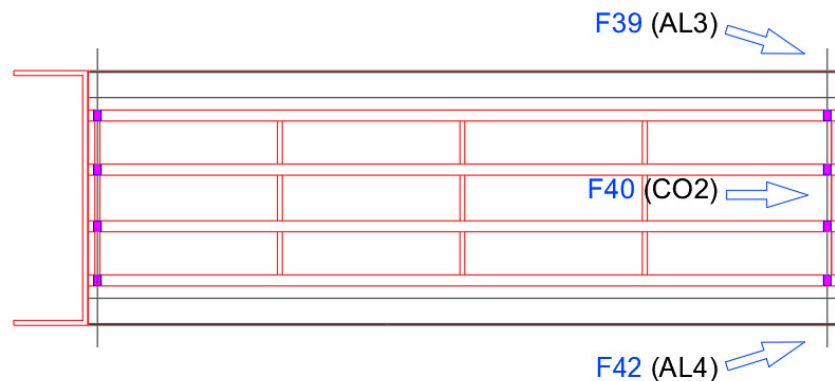
F40 – Vista da Cortina CO2;

F41 – Vista do Talude do Encontro E2;

F42 – Muro de Ala AL4;

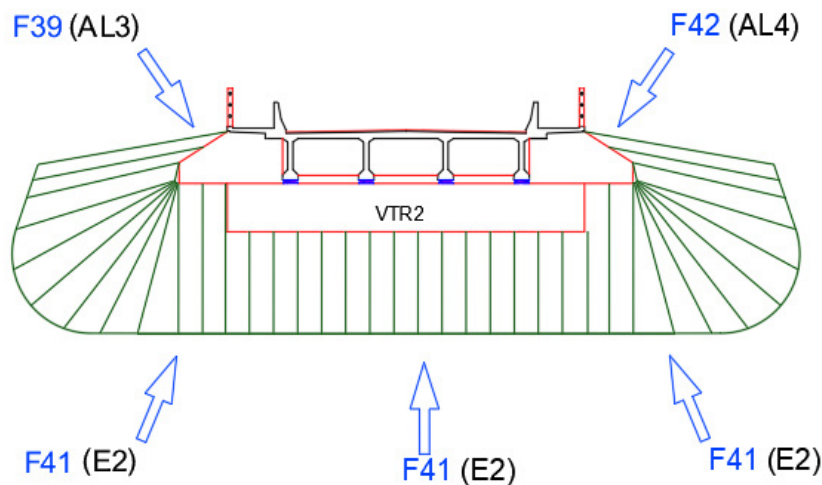
F43 – Vista das proteções dos pilares. Na **Figura 52** não está indicada a vista F43 pois nesse exemplo os pilares estão inseridos nos taludes de encontro;

Figura 52 – Sequência de inspeção da região inferior do Encontro E2: Muros de Alas e Cortina.



Fonte: IPT.

Figura 53 – Inspeção do Talude do Encontro E2, Muros de Alas e Viga Travessa VTR2.



Fonte: IPT.

Após realizada a inspeção da região inferior do Encontro 2, o inspetor retorna a região superior da OAE para inspeção da outra metade do tabuleiro, ou seja, lado direito, retornando até o Encontro E1 e finalizando a inspeção.

- Região superior do tabuleiro da OAE (ver **Figura 54**)

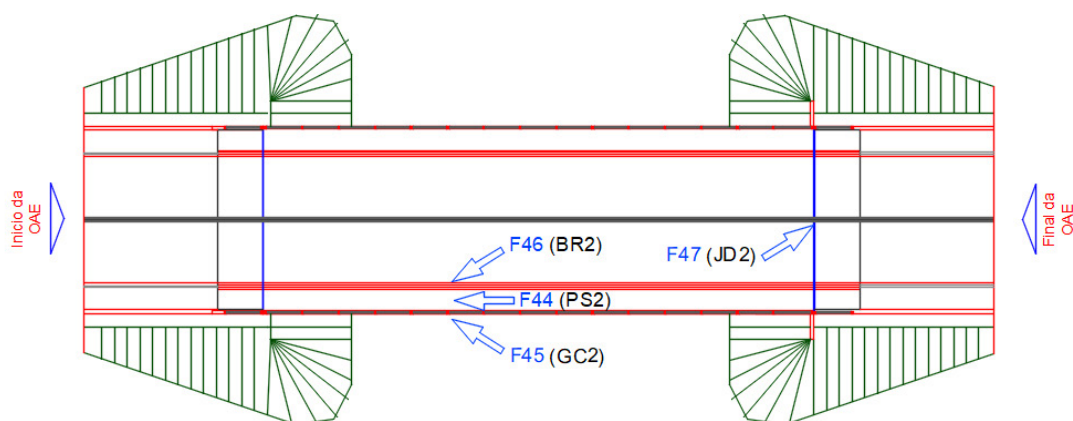
F44 – Vista do passeio PS2;

F45 – Vista do guarda corpo GD2;

F46 – Vista da barreira rígida BR2;

F47 – Vista da junta de dilatação do Encontro E2;

Figura 54 – Planta superior da OAE – Inspeção dos elementos do lado direito, além do pavimento, juntas e sinalizações.



Fonte: IPT.

Caso a OAE possua mais de um tramo, a mesma sequência de inspeção e de numeração pode ser atribuída aos elementos inspecionados.

No caso de pontes, para os pilares localizados no leito das águas, deve-se buscar o agendamento da inspeção para o período de menor nível d'água do leito, com o intuito de melhor visualizar os elementos da infraestrutura. Como já mencionado, nesses casos é importante verificar se há acúmulo de material transportado pelas águas junto aos pilares, alterando a hidrodinâmica dos rios e córregos, e se há patologias indicativas da ocorrência de recalques diferenciais entre os apoios. Observar também o estado geral de conservação dos elementos que ficam ora expostos e ora submersos, assim como as condições das ligações entre os diferentes elementos (por exemplo, contato entre estacas e bloco de fundação). Se necessário, uma embarcação pode ser usada para aproximar os inspetores dos elementos

de infraestrutura e, a depender do porte, idade e condições gerais da obra, uma inspeção subaquática deve ser prevista.

5.3. Acessibilidade

Normalmente as inspeções especiais e extraordinárias realizadas nas OAEs que não permitem acesso pela região inferior do tabuleiro (existência de rios, vales, grandes avenidas, estradas, etc.), como já mencionado no item anterior, são realizadas com apoio de caminhões posicionados sobre as obras de arte, providos de "guindastes" articulados e com cestos que permitem a aproximação do profissional ao local inspecionado (**Figura 55** e **Figura 56**), ou por instalação provisória de passarelas nessas regiões (**Figura 57**). Com o avanço da tecnologia, atualmente o uso de drones e scanners despenda como uma alternativa possível, a depender das condições locais e características da obra a ser vistoriada (**Figura 58** e **Figura 59**).

Figura 55 – Inspeção realizada em ponte com auxílio de caminhão com braço articulado – Necessidade de interdição de 2 faixas de rolamento para posicionamento do caminhão.



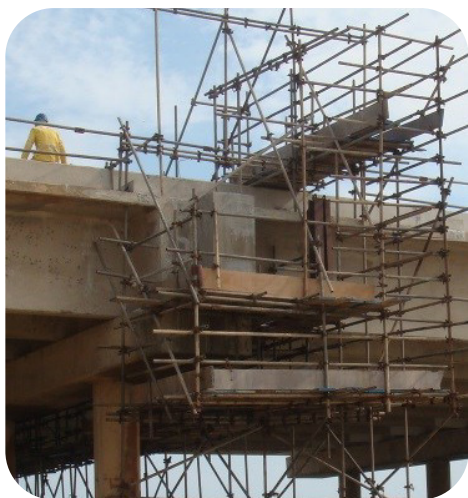
Fonte: IPT.

Figura 56 – Outra imagem de caminhão utilizado para inspeção, com interdição de duas faixas de rolamento.



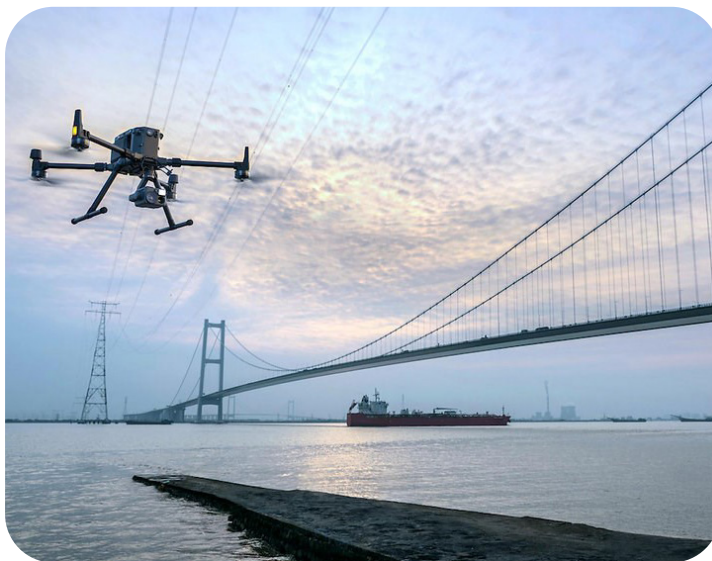
Fonte: IPT.

Figura 57 – Sistema de plataforma provisório para realização de atividades de inspeção e manutenção.



Fonte: IPT.

Figura 58 – Uso de drones na inspeção de pontes.



Fonte: GOOGLE, 2024i.

Figura 59 – Uso de scanner para levantamentos de dados geométricos de OAE's.



Fonte: GOOGLE, 2024j.

As inspeções rotineiras, conforme a ABNT NBR 9452: 2023, são realizadas visualmente, com ou sem a utilização de equipamentos especiais para análise ou acesso aos locais inspecionados, podendo ser realizados à distância, a partir do terreno, do nível d'água ou sobre o tabuleiro.

Quando não utilizados recursos especiais de aproximação, muitas vezes, essas inspeções à distância não permitem a visualização em detalhes

de partes importantes da obra de arte especial, como os aparelhos de apoio e as juntas de dilatação que são elementos fundamentais para o bom funcionamento dessas obras. No **Capítulo 7** estão mostrados exemplos desses elementos e as anomalias mais comumente observadas.

Além disso, na maioria das obras existentes no Brasil, os trabalhos de inspeções são prejudicados pelas dificuldades de acesso às regiões a serem inspecionadas, seja pela utilização de caminhões com guindastes biarticulados e cestos, seja por meio da construção de plataformas especiais. Os caminhões ocupam, às vezes, mais de uma faixa de rolamento, interrompendo o tráfego local. Os projetos estruturais deveriam já contemplar dispositivos auxiliares instalados nos elementos construtivos, como plataformas permanentes para inspeção e manutenção, principalmente em pontes que não permitem a interrupção do tráfego de veículos para realização das inspeções.

Como exemplo, a Ponte Pênsil em São Vicente – SP (**Figuras 60 a 62**) possui uma plataforma instalada sob

a superestrutura, que permite trabalhos de inspeção e manutenção ao longo de toda sua extensão. A movimentação desta plataforma é realizada por meio de trilhos longitudinais fixados na região inferior do tabuleiro. Este exemplo de sistema com plataforma de manutenção sob as obras de arte é muito eficaz, pois além de possibilitar as inspeções, permite a realização de trabalhos de manutenções periódicas.

Figura 60 – Ponte Pênsil localizada na cidade de São Vicente – SP.



Fonte: IPT.

Figura 61 – Outra vista da ponte. A seta indica a plataforma móvel para inspeção e manutenção, instalada sob a ponte.



Fonte: IPT.

Figura 62– Detalhe da plataforma móvel para Inspeção e manutenção dos elementos do tabuleiro da Ponte Pênsil.



Fonte: IPT.

As **Figuras 63 a Figura 66** mostram outros exemplos de pontes no Japão, com plataformas metálicas fixadas nas regiões de juntas de dilatação. Nota-se a presença destas plataformas de inspeção e manutenção em todas as juntas deste sistema viário, o que representa a preocupação deste país na manutenção de suas OAEs.

Figura 63 – Plataformas fixas para inspeção e manutenção de sistema viário no Japão. As setas indicam os locais onde estão instaladas as plataformas.



Fonte: IPT.

Figura 64 – Detalhe da plataforma instalada na região de junta, indicada na seta 1 da Figura 63 – Note-se que as plataformas estão instaladas em ambos os lados.



Fonte: IPT.

Figura 65 – Detalhe da plataforma instalada na região de junta, indicada na seta 2 da Figura 63.



Fonte: IPT.

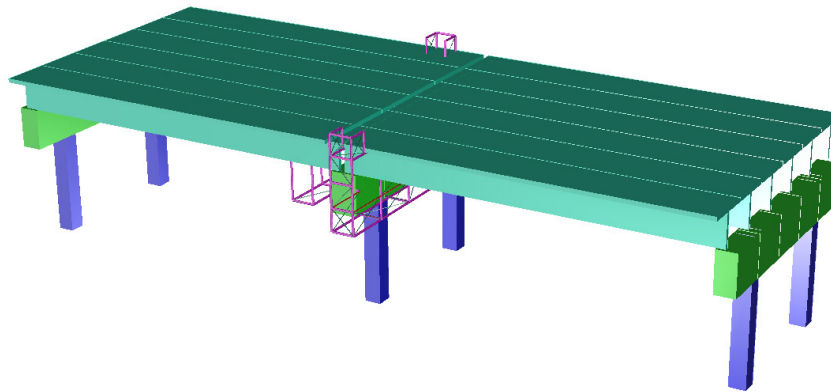
Figura 66 – Detalhe da plataforma instalada na região de encontro das superestruturas, indicada na seta 3 da Figura 63.



Fonte: IPT.

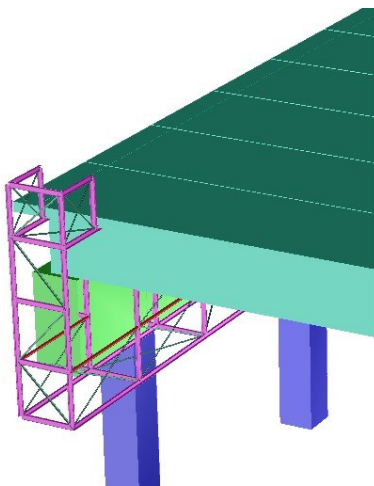
Analisando ainda as questões relacionadas à falta de acessibilidade nas regiões das juntas de dilatação e dos aparelhos de apoio, a alternativa de permitir os trabalhos de inspeção e manutenção, seria a construção de plataformas nesses locais, por exemplo, constituídas de estruturas metálicas, fixadas nas vigas longitudinais da superestrutura, conforme ilustrado nas **Figuras 67 a Figura 69**.

Figura 67 – Desenho esquemático das plataformas instaladas em ambos os lados da junta, com seus respectivos acessos.



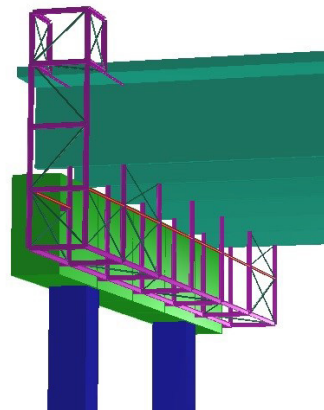
Fonte: IPT.

Figura 68 – Detalhe da Figura 67 – Desenho esquemático da estrutura metálica da plataforma.



Fonte: IPT.

Figura 69 – Outro detalhe da Figura 67 - Desenho da vista inferior da ponte mostrando a plataforma fixada nas longarinas.



Fonte: IPT.

Figura 70 – Plataforma metálica instalada sob o viaduto VA 19 da Rodovia dos Imigrantes em Cubatão – SP, utilizada para os trabalhos de inspeção.

Um exemplo de plataforma fixa existente no Brasil, para inspeção, manutenção e monitoramento da estrutura está localizada sob o viaduto VA 19 da Rodovia dos Imigrantes em Cubatão – SP (**Figura 70**).



Fonte: IPT.

5.4. Segurança do trabalho

Como em toda atividade relacionada à construção civil, a inspeção de OAEs também precisa se adequar às normas técnicas vigentes relacionadas à segurança do trabalho da equipe de inspeção.

Abreviadas como “NRs”, as Normas Regulamentadoras são responsáveis por estabelecer as regras sobre os processos obrigatórios relacionados à medicina e à segurança do trabalho. As NRs são parte da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) e traduzem as exigências mínimas que precisam ser respeitadas por todas as organizações públicas e privadas do país e, no caso específico de inspeções de OAEs, algumas merecem destaque.

A NR 6 trata da exigência de utilização pelos trabalhadores, durante o expediente, de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) para a sua proteção contra os riscos identificados à saúde e à integridade física em situações em que a adoção de medidas de controle coletivo não sejam praticáveis ou sejam limitadas. A norma trata também da certificação de aprovação (CA) dos EPIs para a garantia de sua qualidade e, consequentemente, garantia da proteção ao trabalhador. Adicionalmente aos EPIs, têm-se os Equipamentos de Proteção Coletiva (EPCs) que também são definidos conforme os riscos ambientais, em destaque as condições do ambiente de trabalho e os equipamentos e máquinas utilizadas nas atividades desenvolvidas pelos trabalhadores.

A documentação para o registro dos riscos ambientais e das medidas de seu controle, com adoção de EPIs e de EPCs, e, ainda, àque-la relativa à saúde e aos treinamentos específicos exigidos para a

execução de atividades são tratadas na NR 4, Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho, e na NR 9, Avaliação e Controle das Exposições Ocupacionais a Agentes Físicos, químicos e Biológicos. Cabe destacar que nas atividades de inspeção em OAEs, como por exemplo em obras com seções celulares “caixão”, onde há a necessidade do inspetor acessar o interior desses locais, pode existir a presença de dejetos de animais, insetos e gases tóxicos, com riscos de vida ou de danos futuros à saúde dos profissionais envolvidos.

Na avaliação dos riscos ambientais, destaca-se a NR 32, que tem como foco as situações que geram riscos químicos, biológicos e de radiação, a NR 35, que trata da saúde e da segurança dos trabalhadores em altura, e a NR 33, que trata também da saúde e da segurança dos trabalhadores, com um diferencial a mais, pois é específica para espaços confinados (caso das OAEs com seções celulares “caixão”). Em complemento a essa última, tem-se a NR 16, que trata das recomendações para a prevenção de acidentes em operações e atividades penosas, insalubres ou perigosas.

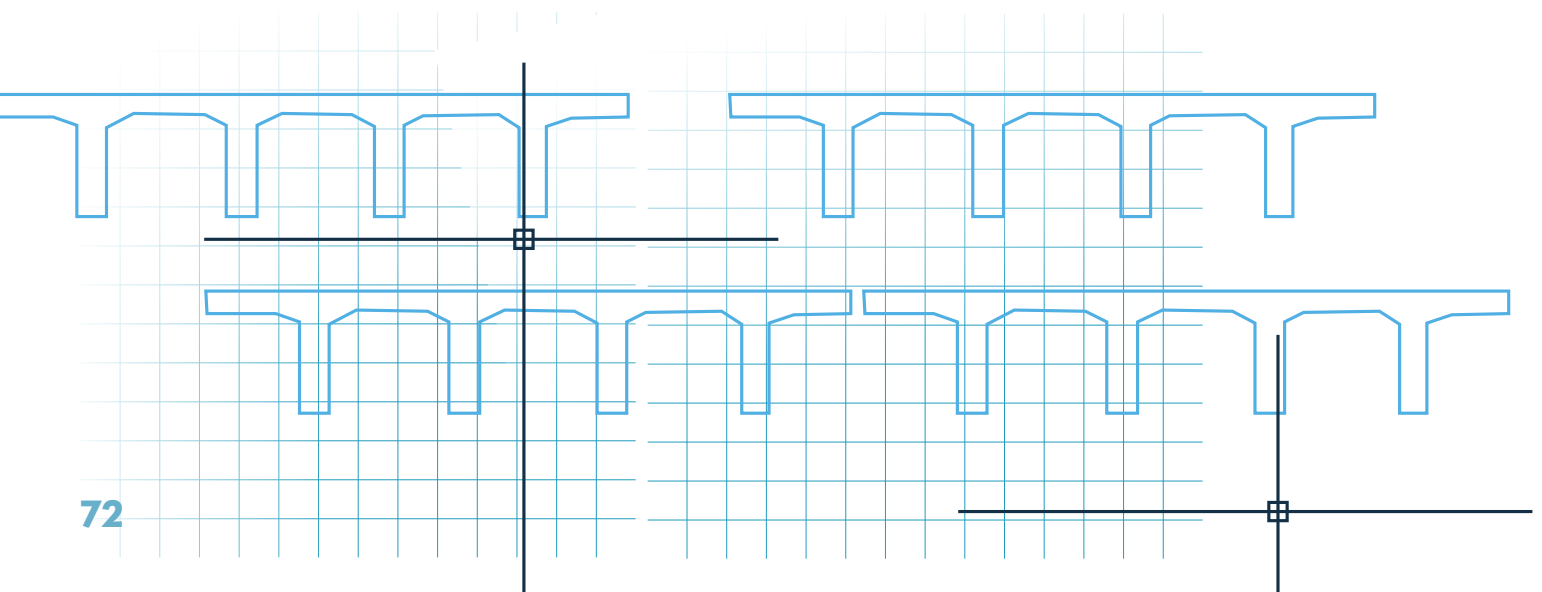
Sinalização e segurança compõem o tema da NR 26. Ela pode parecer simples e não gerar grandes efeitos, no entanto, essa norma regulamentadora pode ser vital para assegurar a vida dos trabalhadores, porque aborda a sinalização de segurança nos ambientes que possam causar alguns riscos e, também, estabelece uma comunicação por meio de cores para transmitir tais informações.

As práticas definidas nessas normatizações referenciadas são essenciais para a proteção e segurança dos profissionais, devendo ser aplicadas durante todos os momentos das operações de campo. Para tanto, deve-se

verificar diariamente as condições ambientais e locais para que práticas adequadas sejam tomadas, as quais devem visar também a segurança e a proteção do público e veículos circulantes e do meio ambiente.

Como exemplos de práticas a serem considerados antes e durante as inspeções, destacam-se:

- Adotar sistema de sinalização e de restrição de acesso aos locais de trabalho, estando todos os profissionais com os EPIs, como prevê a normalização, o que inclui uniforme ou colete de alta visibilidade;
 - Identificar as áreas inseguras e de possível refúgio em caso de emergência, que devem ser informadas a todos e estar devidamente sinalizadas. Além disso, deve-se ter o conhecimento dos locais que constam como pontos de eletricidade, água, esgoto, redes de gás, etc. Isso pode evitar a exposição a risco e ser útil no caso de emergências;
 - Identificar áreas de circulação das pessoas na pista de rolagem, o que deve ser restrito ao período estritamente necessário. Deve-se indicar a direção a ser adotada para circulação, que é aquela em que esteja de frente para os
- veículos que se aproximam. A circulação deve ser baseada especialmente no olhar, pois os sons emitidos pelos veículos que se aproximam podem ser abafados pelo ruído de equipamentos e pelo próprio tráfego local;
 - Planejar e providenciar o fechamento de vias e adotar procedimentos adequados de gerenciamento de tráfego, se necessário;
 - Certificar-se que todas as ferramentas e equipamentos estão disponíveis e em boas condições de funcionamento. Cuidados devem ser tomados também para o correto armazenamento das ferramentas e a disposição de equipamentos na pista de rolagem;
 - Todas as inspeções devem ser realizadas em áreas bem ventiladas e iluminadas. Se necessário, deve-se providenciar previamente exaustores e iluminação artificial, sendo as pessoas treinadas para este tipo de exposição (espaço confinado), como prevê a normalização; e
 - Verificar possível alteração do estado emocional dos profissionais que possa prejudicar a realização segura das atividades, como estado de sonolência ou de agitação.





Freepik

6

Fatores externos intervenientes na segurança de OAEs

Este capítulo apresenta os fatores externos que influenciam na segurança das Obras de Arte Especiais, relativos aos aspectos geológicos e geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos e meio ambiente em que essas estruturas estão inseridas, no intuito de fornecer informações relevantes a serem consideradas durante o planejamento, execução das atividades de inspeção e análises dos seus resultados, contribuindo com os diagnósticos e prognósticos a serem realizados nas OAEs.

6.1. Aspectos geológicos-geotécnicos

No Brasil, há diversos registros de desabamentos em OAEs, com especial atenção para as pontes. Vítório (2007) apresentou um estudo sobre pontes rodoviárias, concluindo que 39% dos colapsos tem como causa alguma ruptura estrutural, 33% ocorrem por ruptura dos acessos (aterros de encontro) e os demais 28% decorrem de alguma avaria grave em um dos elementos que constituem a ponte. Nesse estudo constam algumas imagens de casos de ruptura, como os mostrados nas **Figuras 71, 72 e 73**, os quais exigiram a reconstrução dos aterros e das lajes de transição.

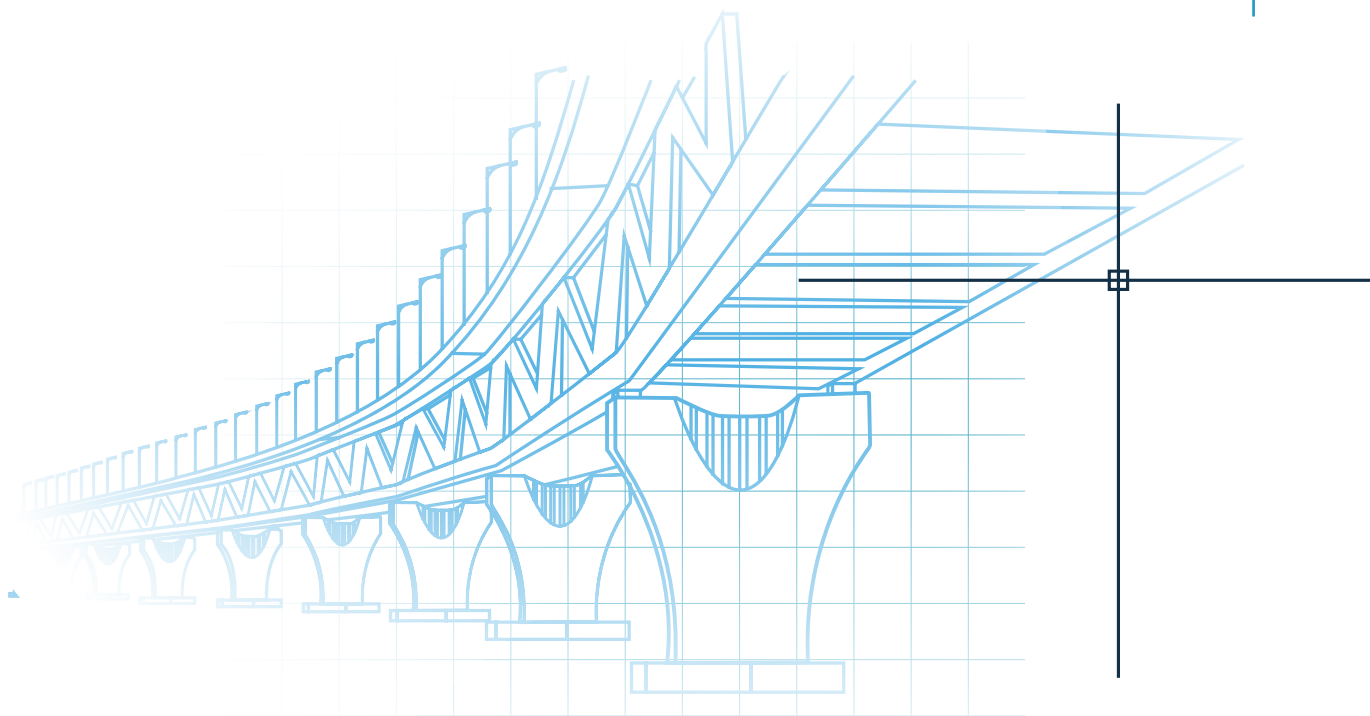


Figura 71 – Ruptura do aterro de acesso em ponte no ano de 1990, com consequente desabamento da laje de transição. Notar a presença de material retido junto aos pilares.

Figura 72 – Destruição do aterro de acesso durante cheia no ano 2000.



Fonte: Vitorio (2007).



Fonte: Vitorio (2007).

Figura 73 – Outro caso de destruição do aterro de acesso durante cheia no ano 2000.



Fonte: Vitorio (2007).

Diversos outros casos podem ser encontrados em reportagens jornalísticas, como os ilustrados nas Figuras **74** a **79** evidenciando que o problema é recorrente e persiste até os dias atuais, podendo-se até inferir que com o avanço da idade das obras e os programas de manutenção precários ou até mesmo inexistentes, a situação pode vir a se agravar nos próximos anos. Por isso, na gestão das obras de arte, em particular das pontes, faz-se necessária uma atenção especial às características geológico-geotécnicas locais e também regionais.

Figura 74 – Desabamento de cabeceira de ponte em Brusque, Santa Catarina, em abril/2021.



Fonte: GOOGLE, 2024k.

Figura 75 – Outro desabamento, também em Brusque, Santa Catarina, em jun/2021.



Fonte: GOOGLE, 2024l.

Figura 76 – Desabamento parcial de ponte no norte da Bahia no ano de 2019.



Fonte: GOOGLE, 2024m.

Figura 77 – Desabamento de ponte em estrada rural em Minas Gerais.



Fonte: GOOGLE, 2024n.

Figura 78 – Ruptura de apoios em ponte no Mato Grosso do Sul em 2018.



Fonte: GOOGLE, 2024o.

Figura 79 – Ruptura de encontro de ponte em Sergipe em 2019.



Fonte: GOOGLE, 2024p.

O plano de investigação geotécnica consiste no planeamento e execução de ensaios de campo e laboratório, com o objetivo de identificar as camadas de solo e substrato rochoso, permitindo definir o modelo de comportamento do terreno de fundação e os valores dos parâmetros geotécnicos.

A investigação geotécnica do subsolo é considerada com uma das etapas mais importantes para a elaboração de um projeto geotécnico de fundações. Para tanto são realizados ensaios de campo e de laboratório, visando identificar a extensão, a espessura das camadas de cada tipo de solo que formam o subsolo, as suas características geomecânicas, suas propriedades físicas e o nível do lençol freático. Dentre os ensaios de campo de uso corrente no Brasil destaca-se a sondagem de simples reconhecimento à percussão, comumente chamada de sondagem SPT, que permite identificar a estratigrafia do terreno, a posição do nível de água e avaliar a resistência a partir do índice de resistência à penetração (N_{SPT}). Em laboratório, podem ser realizados os ensaios básicos de caracterização do material e também ensaios de compactação, em especial para avaliar as condições dos aterros de encontro.

Os ensaios de campo permitem obter as características do subsolo nas condições *in situ*, ou seja, existe uma preservação das condições naturais em que uma amostra de solo se encontra no maciço. Por outro lado, ensaios de laboratório permitem um maior rigor durante a determinação de parâmetros e propriedades, a partir de amostras coletadas em campo.

Durante uma inspeção rotineira, em virtude da restrição de tempo e de recursos, pode-se recorrer às sondagens a trado para se identificar

tátil-visualmente a camada mais superficial do terreno, verificando-se, por exemplo, a posição do nível de água e a presença de solos moles e compressíveis. Pode-se também utilizar ensaios de verificação do grau de compactação dos aterros de encontro, por meio do Frasco de Areia ou da Cravação de Cilindros, a fim de identificar a origem de abaulamentos ou trincas entre a OAE e seus acessos. Esses ensaios se justificam nos casos onde não há documentos de projeto e registros de investigações geológico-geotécnicas do local e, também, quando são observadas manifestações patológicas cujas causas exijam uma investigação mais aprofundada.

Dentre as manifestações patológicas associadas aos aspectos geológico-geotécnicos podem ser citadas:

- A presença de solos moles e de elevada compressibilidade na região dos encontros ou junto aos elementos de fundação, gerando recalques (em alguns casos diferenciais, entre os apoios) e abaulamentos da pista;
- A ocorrência de movimentos de massa junto aos taludes das margens, que podem gerar esforços horizontais não previstos no projeto dos apoios e encontros;
- A existência de aterros não controlados adequadamente junto aos encontros, gerando degraus na ligação com a estrutura da obra de arte;
- Processos erosivos, associados a hidrodinâmica dos rios, com consequentes instabilizações dos maciços de solo junto aos encontros e desconfinamento dos elementos de fundação. A erosão pode também desconfinar blocos e elementos de fundação, expondo-os à

agressividade do meio ambiente e alterando, por exemplo, o comprimento de flambagem de fundações profundas; e

- Movimentações de maciços rochosos, seja pela presença de zonas de falhas, rochas cársticas, entre outros fatores geológicos.

6.2. Aspectos hidráulicos e hidrológicos

Problemas relacionados às cheias em área urbana são mundialmente significativos, uma vez que muitas cidades desenvolveram suas malhas urbanas ao longo dos leitos dos rios, o que, naturalmente, coloca em risco a população periodicamente, na medida em que as drenagens transbordam em consequência de chuvas intensas e concentradas.

A urbanização das bacias hidrográficas aumenta a magnitude dos impactos, à medida que impermeabiliza o solo e aumenta a capacidade de produção de escoamento superficial, o qual passa a ocorrer de forma mais intensa, mesmo em eventos pluviométricos de baixa magnitude e de maior frequência de ocorrência.

O crescimento das cidades leva à ocupação de várzeas as quais se tornam potenciais áreas ao desenvolvimento de processos de inundação/enchente, trazendo por consequência prejuízos humanos e de bens materiais. Conhecer as áreas inundáveis

pode, portanto, evitar problemas futuros de uso e ocupação do solo em áreas de risco a enchentes, aqui incluídas a segurança e a estabilidade de pontes e viadutos.

No entanto, a modelagem hidráulica depende quase sempre de um levantamento topográfico de qualidade da área de estudo, e inúmeras seções transversais que devem ser determinadas em trabalhos de campo por processos topo-batimétricos dispendiosos, demorados e quase sempre envolvendo locais de difícil acesso.

São necessários dados pluviométricos da região para se estimar as vazões de pico nas respectivas bacias de interesse, lembrando que dados hidrológicos são variáveis aleatórias, pois apresentam variações sazonais que podem vir a ser irregulares, possibilitando a ocorrência de extremos. Assim, sempre se associam as variáveis hidrológicas a uma probabilidade de ocorrência.

Com os dados da região e usando-se modelos hidrológicos pode-se então avaliar vazões e níveis de cheia, com seus respectivos impactos diretos ou indiretos nas obras de arte. Em paralelo, uma análise hidráulica dos cursos d'água precisa ser desenvolvida com as respectivas características de suas seções transversais, para eventuais adequações e proteções das calhas hidráulicas.

Nesse contexto, pode-se transformar a construção e a gestão dos espaços urbanos por meio de um planejamento que considere o aumento de resiliência dos assentamentos humanos e as necessidades diferenciadas das áreas rurais, periurbanas e urbanas, aqui incluída a mobilidade e as suas obras de arte, que precisam atender aos critérios mínimos de segurança, funcionalidade e durabilidade.

6.3. Meio ambiente

A vida útil das estruturas está diretamente relacionada com as ações impostas e interação com o meio ambiente, sendo que, quanto mais propícias forem as condições ambientais ao estabelecimento e a evolução de processos de deterioração, mais agressivo este é considerado. No caso das condições atmosférica nas estruturas de concreto, a norma ABNT NBR 6118:2023 e, também a ABNT NBR 12655:2015, divide a agressividade ambiental em classes, sendo para cada uma delas definido o consumo de aglomerante, a relação água/cimento e a espessura de cobrimento da armadura.

A classe I contempla ambientes de natureza rural e submersa, e é considerada a de menor agressividade (fraca). A classe II representa uma moderada agressividade, com pequeno risco de deterioração da estrutura, e enquadra especificamente estruturas edificadas em ambientes urbanos. A classe III, por sua vez, engloba áreas industriais e a região marinha, representando grande risco de deterioração, com agressividade forte, enquanto que a classe IV, agressiva muito forte, contempla regiões industriais com especificidades de agressão química, bem como áreas onde há respingos de maré, uma das condições mais prejudiciais à integridade do concreto.

É possível perceber, a partir da classificação dos ambientes agressivos, que a presença de água está diretamente relacionada ao risco de degradação, visto seu papel como agente na deterioração do concreto.

Classes também são adotadas para categorizar a corrosividade do ambiente de exposição dos elementos metálicos, o que é feito com base em dados atmosféricos (tempo de superfície úmida, teor de cloretos e taxa de sulfatação) e/ou em medidas de taxas de corrosão de metais-padrão, conforme descreve a norma ABNT NBR 14643:2001 e, também, a norma DIN EN ISO 9223:2012.

Destaca-se a importância da análise das condições de exposição à água, com ou sem contaminantes, pois este agente é fundamental na grande maioria dos processos de deterioração dos materiais expostos à atmosfera, enterrados no solo ou imersos na mesma (água do mar ou de rio). Dentre os agentes contaminantes da água, cita-se o cloreto que é tema constante na literatura devido desencadear e ou acelerar a corrosão das estruturas atmosféricas tanto metálicas como de concreto armado ou protendido. No caso do Brasil, que possui uma grande faixa costeira (ambiente marinho), ocupada por tipos diversos de estruturas atmosféricas, esse tipo corrosão é preocupante.

Outro agente químico dissolvido na água que desencadeia fenômenos de degradação ao concreto é o sulfato. Os sulfatos se encontram tanto na parte sólida do subsolo como dissolvidos nas águas do subsolo. O ataque por sulfatos pode ser oriundo de fontes externas ou até de fontes internas (na forma de gesso presente nos agregados ou proveniente dos compostos do cimento, nesse caso o ataque envolve processos de cura térmica, com temperaturas acima de 65°C – conhecido como ataque por formação de etringita tardia).

A reação que mais gera danos por efeitos expansivos ao concreto é a formação de etringita tardia, devido ao acréscimo de cristais de etringita

¹ A vida útil (*service life*) pode ser definida como o período de tempo, após a instalação de um produto ou material, no qual todas suas propriedades essenciais atendem ou excedem os requisitos mínimos de desempenho. No caso das estruturas de concreto, a vida útil aplica-se como um todo ou às suas partes. Dessa forma, determinadas partes da estrutura podem possuir vidas úteis diferentes.

e da dilatação resultante da absorção de água por parte da etringita pouco cristalina. A gravidade do ataque depende do teor de sulfatos no solo e na água em contato com o concreto, assim como das características do próprio concreto.

As **Figuras 80 a 82** ilustram alguns exemplos de casos de campo onde foi detectada a ação da etringita tardia (ataque interno do concreto).

Os casos em questão (blocos de fundação e elementos da estrutura de pontes e viadutos) representam condições adequadas ao surgimento da etringita tardia, pois se caracterizam como elevados volumes de concreto, o que favorece a elevação da temperatura do elemento durante a hidratação inicial do cimento e estão constantemente sujeitos à presença de umidade na sua fase de operação.

Figura 80 – Vista geral da The Bellevue Bridge, Reino Unido, em 2013.



Fonte: B. Godart e Divet, 2013.

Figura 81 – Detalhe de pilar degradado pela ação de etringita tardia na The Bellevue Bridge, Reino Unido, em 2013.



Fonte: B. Godart e Divet, 2013.

Figura 82 – (a) Inspeção de pilar deteriorado por ação de etringita tardia em estrutura de viaduto e (b) detalhe da configuração e dimensão das fissuras.



Fonte: Thomas et al, 2008.

Vários casos de estruturas atacadas pelos sulfatos são mencionados no meio técnico, como por exemplo, a ocorrência de fissuração intensa (com necessidade de demolição de toda estrutura) nos pilares de ponte sobre o Rio Elba, na Alemanha, devido a presença de manancial com água sulfatada na região dos pilares.

Além do ambiente de exposição, deve-se ressaltar que a vida útil das estruturas é dependente das condições de uso e da efetividade das manutenções periódicas e, ainda, de outras variáveis, nem sempre previsíveis, como a erosão do solo no entorno na OAE, já mencionada no item relacionado aos aspectos geológico-geotécnicos. Desse modo, é importante que a análise do meio ambiente seja contemplada na inspeção da OAE e, ainda, quando do diagnóstico das manifestações patológicas e falhas detectadas durante esta inspeção.

Outro aspecto ambiental que pode ocorrer no entorno e até mesmo nas fundações e encontros das OAEs é o

fenômeno da erosão, justamente por ter como característica a ocupação de áreas naturais com a ocorrência de sucessivas fases de desmatamento, que culminaram na supressão de quase toda a vegetação original ao longo de todo o século XX, a qual atuava como mecanismo natural de prevenção da ocorrência de processos erosivos.

Dentre os processos erosivos mais comuns causados pela ocupação desordenada do solo estão as denominadas erosões laminares e as erosões lineares. As erosões laminares ocorrem pelo escoamento difuso das águas das chuvas, resultando na remoção progressiva dos horizontes superficiais do solo; já as erosões lineares ocorrem pela concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em incisões na superfície do terreno na forma de sulcos, ravinas e boçorocas, e no solapamento de margens de canal (IPT, 1986).

Os sulcos (**Figura 83**) são pouco profundos e podem ser facilmente corrigidos através de manejo do solo,

já as ravinas (**Figura 84**) são feições de maior porte, profundidade variável, de forma alongada e não atingem o nível da água subterrânea, onde atuam mecanismos de desprendimento de material dos taludes laterais e transporte de partículas do solo.

As boçorocas (ou voçorocas), ilustradas pela **Figura 85**, têm dimensões superiores às ravinas e são

geralmente ramificadas. No mecanismo de desenvolvimento desta feição atuam tanto a ação da água de escoamento superficial quanto a dos fluxos d'água subsuperficiais, por meio do fenômeno de *pipping*, erosão interna que provoca o carreamento de partículas do interior do solo, formando "tubos" vazios, que geram colapsos e escorregamentos laterais do terreno, alargando a feição erosiva.

Figura 83 – Sulco junto ao muro de ala de uma ponte no interior do Estado de São Paulo.



Fonte: IPT.

Figura 84 – Processo de ravinamento em encontro de ponte.



Fonte: GOOGLE, 2024q.

Figura 85 – Boçoroca de evolução acelerada destrói ponte.



Fonte: GOOGLE, 2024r.

Estas últimas ocorrem principalmente em cabeceiras de drenagens, onde há uma convergência e concentração natural dos fluxos superficiais e subterrâneos de água, favorecendo a formação e o avanço das boçorocas.

No caso da erosão dos solos, é necessário que se conheçam as características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e climáticas da área em estudo. A declividade das vertentes e as características intrínsecas dos solos são fatores importantes na compreensão dos processos erosivos.

Mas é o clima, mais especialmente a sucessão de eventos pluviais, bem como sua intensidade e duração, que ocasionam os impactos que

favorecem a erosão; é a continuidade das chuvas e a concentração do escoamento superficial, o qual leva o fluxo a ocorrer em linhas preferenciais persistentes, que dá origem a sulcos e outras feições lineares de maior porte.

O poder de desagregação e arraste das partículas depende fundamentalmente da ação combinada da intensidade da chuva com as características morfológicas do solo, tais como: textura, estrutura, porosidade, e com a velocidade de escoamento superficial das águas, que se relaciona principalmente ao comprimento, declividade e forma da encosta.

O escoamento superficial (*runoff*) das águas de chuva pode formar apenas pequenos filetes, ou progredir sob a forma de escoamento laminar difuso e concentrado, ainda sem canais permanentes (erosão por escoamento laminar difuso e concentrado). A concentração de linhas de fluxo d'água na superfície do terreno pode, num estágio seguinte, levar à formação de sulcos e ravinas, por meio de canais que permanecem ou não de uma estação chuvosa a outra.

Em síntese, a evolução das áreas afetadas por erosões apresenta, normalmente, um primeiro estágio de erosão laminar que vai intensificando com a chuva, levando à formação de sulcos rasos e profundos. Não havendo medidas de controle, os sulcos evoluem rapidamente formando as ravinas de portes variados. Se as condições dos terrenos forem favoráveis, as ravinas podem evoluir até atingir o nível d'água subterrâneo, passando a se desenvolver a boçoroca (ou voçoroca), que evolui de modo acelerado e complexo em função da ação combinada das águas superficiais e subsuperficiais.

Além da chuva, outras condicionantes naturais também permitem

prever as áreas onde há maior suscetibilidade ao desenvolvimento de processos erosivos. O conceito de erodibilidade sintetiza boa parte destas condicionantes naturais, uma vez que representa a suscetibilidade natural do solo à erosão, associado às condições do substrato rochoso que o originou e das condições geomorfológicas (relevo) locais.

De maneira geral, solos arenosos, embora apresentem alta permeabilidade, são mais susceptíveis à erosão, sendo considerados solos de alta erodibilidade, pois as partículas de areia são facilmente desagregadas pela chuva. Já solos argilosos, quando apresentam boa permeabilidade, resistem mais à erosão, sendo considerados de baixa erodibilidade.

Deve-se reconhecer, também, a importância das atividades humanas como fator de deflagração dos processos erosivos. Em decorrência do desmatamento e das formas de uso e ocupação, o solo passa de uma condição natural, protegida pela vegetação, para uma condição desprotegida, exposto à erosão e à degradação. Ao desmatamento, sucedem-se efeitos ao longo do tempo, que alteram a dinâmica dos processos de superfície e subsuperfície.

O efeito mais imediato é o incremento do escoamento superficial, cuja intensidade leva à concentração, produzindo a erosão linear, na forma de sulcos e ravinas. A interceptação do lençol freático, na base das vertentes, pode promover, em seguida, a ação combinada desse escoamento com o da água subterrânea, desencadeando as boçorocas.

6.4. Incêndios

O incêndio é um fator externo interveniente na segurança das OAEs, pois os materiais constituintes do concreto armado (concreto

e aço) reduzem suas resistências e módulos de elasticidade quando submetidos às altas temperaturas, comprometendo a capacidade resistente estrutural dos elementos constituintes das OAEs.

Segundo Muniz (2023), os principais gatilhos para a ocorrência dos incêndios estão relacionados as habitações de caráter provisório instaladas na região inferior dos tabuleiros das pontes e viadutos, por parte da população em situação de rua, a ocorrência de acidentes com caminhões combustíveis, as recentes mudanças climáticas globais, com a

propagação de incêndios atingindo essas OAEs e também a utilização dessas obras para sustentação de dutovias para gás, o que num caso de acidente, poderá ocasionar um incêndio na OAE. Cabe destacar que alguns municípios utilizam a região localizada sob as OAEs para armazenamento de produtos inflamáveis, pneus, depósito de vegetação seca, estacionamento de veículos, entre outros. As **Figuras 86 a 89** mostram alguns exemplos mostrados na mídia de ocorrências de incêndios em pontes e viadutos localizados na cidade de São Paulo.

Figura 86 – Incêndio atinge ponte do Jaguaré na zona Oeste de São Paulo.



Fonte: GOOGLE, 2024s.

Figura 87 – Vista da região inferior da ponte do Jaguaré, mostrada na Figura 86, após o incêndio.



Fonte: GOOGLE, 2024t.

Figura 88 – Incêndio na região inferior do Viaduto Condessa de São Joaquim em São Paulo. Segundo informações da mídia, o incêndio teria começado em pertencentes de moradores em situação de rua.



Fonte: GOOGLE, 2024u

Figura 89 – Incêndio em viaduto na avenida dos Bandeirantes em São Paulo, ocasionado por colisão entre um caminhão tanque e uma carreta bi trem.



Fonte: GOOGLE, 2024v

As **Figuras 90 e 91** mostram presença de depósito de material inflamável e acúmulo de vegetação sob um viaduto, o que pode colocar em risco a segurança estrutural quanto a um eventual incêndio

Figura 90 – Presença de depósito de material inflamável, localizado sob viaduto.



Fonte: IPT.

Figura 91 – Armazenamento de vegetação seca sob o viaduto.



Fonte: IPT.



7

Exemplos de anomalias em pontes e viadutos em concreto

Neste capítulo estão apresentados alguns exemplos de anomalias comumente observadas nas OAEs em concreto armado e protendido. São mostrados elementos pertencentes das OAEs, suas funcionalidades e as anomalias associadas à esses elementos. Também são apresentadas neste capítulo as anomalias relacionadas ao material concreto.

7.1. Aparelhos de apoio

Aparelhos de apoio são elementos de transição — dispositivos instalados entre a superestrutura e a mesoestrutura ou, em alguns casos, diretamente entre a superestrutura e a infraestrutura — com intuito de transmitir os carregamentos, permitir os deslocamentos nos sentidos

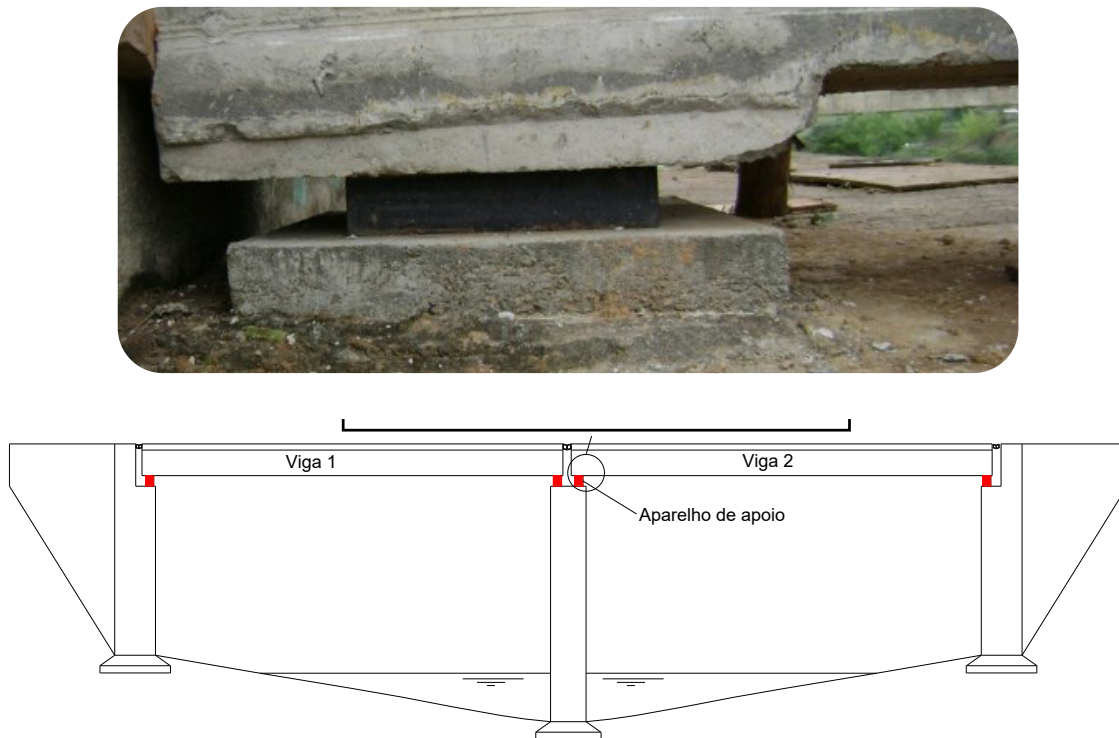
longitudinais e transversais e as rotações oriundas das deflexões nos tabuleiros - DNIT (DNIT, 2004).

A **Figura 92** mostra um desenho esquemático do posicionamento do aparelho de apoio sob a superestrutura de ponte.

Em relação ao material, os tipos de aparelhos de apoio podem ser de placas de chumbo, rolete metálico, *freysinet*, elastômero fixo, elastômero com teflon deslizante, *pot bearing*, metálicos especiais e pêndulos.

As **Figuras 93 a 100** mostram alguns tipos de aparelhos de apoio existentes nas estruturas de pontes, considerando os diferentes materiais e as movimentações permitidas.

Figura 92 – Vista longitudinal de ponte com 2 tramos isostáticos - Detalhe da região do aparelho de apoio.



Fonte: IPT.

Figura 93 – Aparelho de apoio fixo - Impede movimentos de translação nos sentidos longitudinal e transversal, porém permite rotações.



Fonte: IPT.

Figura 94 – Aparelho de apoio móvel - Permite movimento de translação no sentido longitudinal da ponte



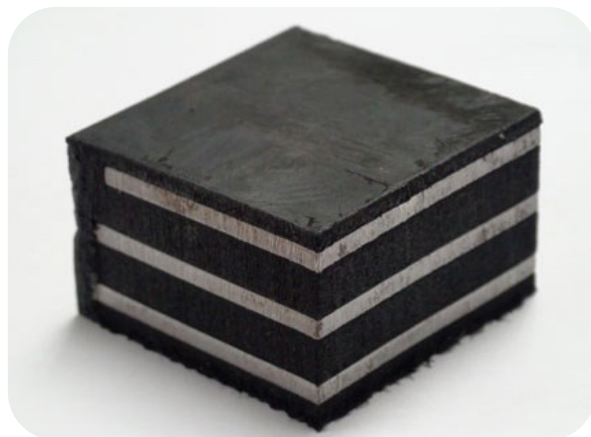
Fonte: IPT.

Figura 95 – Aparelho de apoio de elastômero fixo - Permite movimentos de rotação e translação em ambas as direções, por meio das deformações do elastômero entre as chapas metálicas.



Fonte: IPT.

Figura 96 – Imagem dos materiais constituintes de um aparelho de apoio de elastômero seccionado - Chapas de aço fretadas separadas por elastômero.



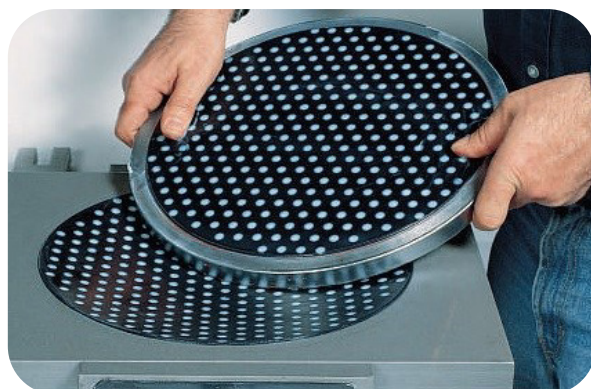
Fonte: IPT.

Figura 97 – Aparelho de apoio deslizante - Vista do sistema desmontado - Permite rotação e translação em ambas as direções.



Fonte: GOOGLE, 2024w

Figura 98 – Outra imagem do aparelho de apoio deslizante - Vista das partes côncava e convexa dos materiais deslizantes.



Fonte: GOOGLE, 2024x

Figura 99 – Vista do aparelho de apoio deslizante montado, com guia lateral impedindo à movimentação de translação perpendicular a guia e permitindo translação na outra direção.



Fonte: GOOGLE, 2024y

Figura 100 – Imagem de aparelho de apoio deslizante instalado sob a viga metálica de ponte



Fonte: IPT.

As anomalias mais comuns observadas em aparelhos de apoio de elastômero são: danos na superfície do elastômero, detritos no entorno dos aparelhos impedindo seu funcionamento adequado, escorregamento do aparelho de apoio em relação às superfícies de contato, aparelhos de apoio deslocados da posição de projeto, rotações exageradas provocando concentração de carga em parte do aparelho. As **Figuras 101 a 106** mostram alguns tipos de anomalias ocasionadas em aparelhos de apoio.

Figura 101 – Aparelho de apoio de elastômero impedido de se movimentar, devido a presença de concreto no seu entorno.



Fonte: IPT.

Figura 102 – Presença de detritos e concreto no entorno do aparelho de apoio de elastômero, impedindo o seu funcionamento adequado.



Fonte: IPT.

Figura 103 – Aparelho de apoio com elastômero danificado.



Fonte: IPT.

Figura 104 – Aparelho de apoio deslocado da posição de projeto, ocasionando concentração de carga somente de um lado.



Fonte: IPT.

Figura 105 – Falta de aderência entre a viga longitudinal e o aparelho de apoio, provocando o deslizamento entre as interfaces dos materiais.



Fonte: IPT.

Figura 106 – Rotações exageradas da viga longitudinal, provocando excentricidade no aparelho de apoio, com excesso de concentração de carga somente de um lado do aparelho.



Fonte: IPT.

A **Figura 107** e a **Figura 108** mostram exemplos de aparelhos de apoio de placas de chumbo danificados.

Figura 107 – Aparelho de apoio de placa de chumbo deteriorado.



Fonte: IPT.

Figura 108 – Aparelho de apoio de placa de chumbo seccionado.

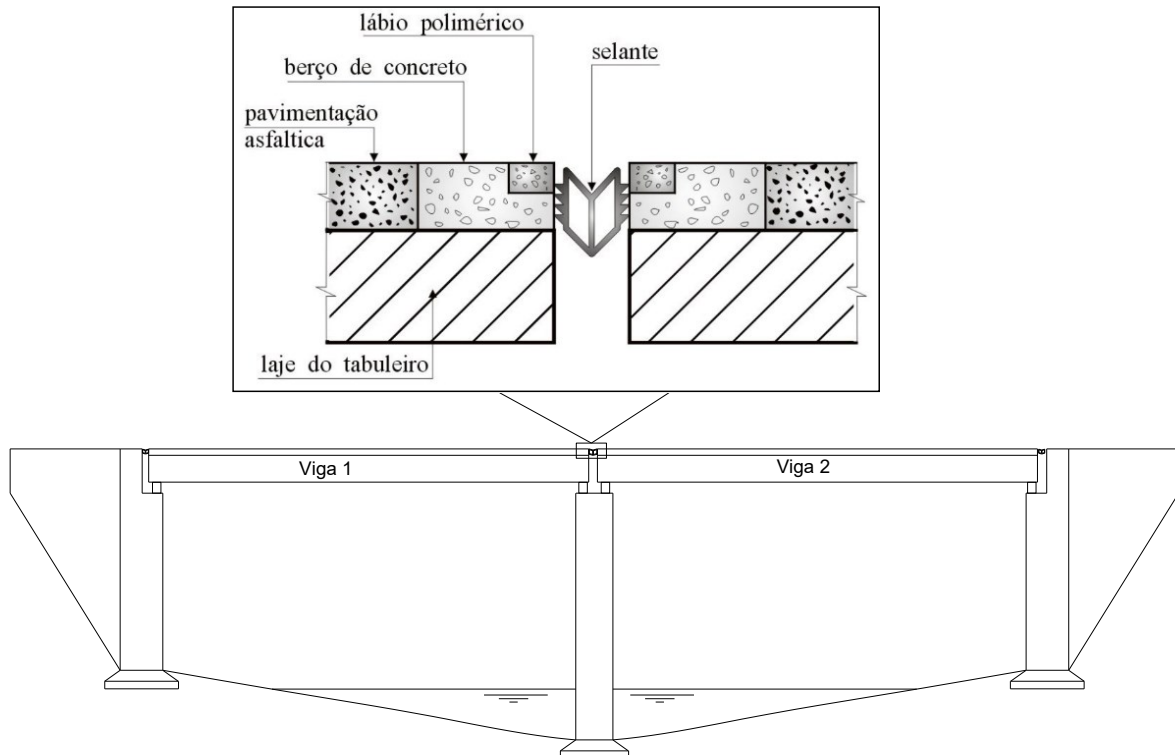


Fonte: IPT.

7.2. Juntas de dilatação

Juntas de dilatação são separações (fendas) entre partes da estrutura, as quais permitem a movimentação estrutural sem a transmissão de esforços entre os elementos separados – **Figura 109**.

Figura 109 – Falta de aderência entre a viga longitudinal e o aparelho de apoio, provocando o deslizamento entre as interfaces dos materiais.



Fonte: Adaptado de VITÓRIO, 2002.

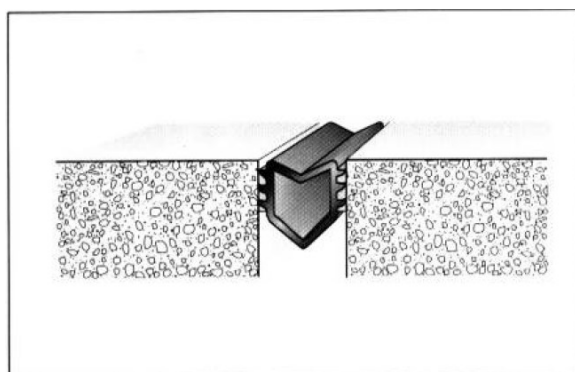
De acordo com Vitório (2002) as OEAs, por estarem sujeitas a variações de temperatura, de retração e fluência do concreto, normalmente possuem juntas de dilatação localizadas nos tabuleiros, que permitem movimentações de dilatação e de contração dos elementos estruturais sem transmissão dos esforços entre diferentes partes da superestrutura.

As tipologias e os materiais instalados nas fendas das juntas de dilatação (vãos entre as partes separadas da estrutura) estão diretamente

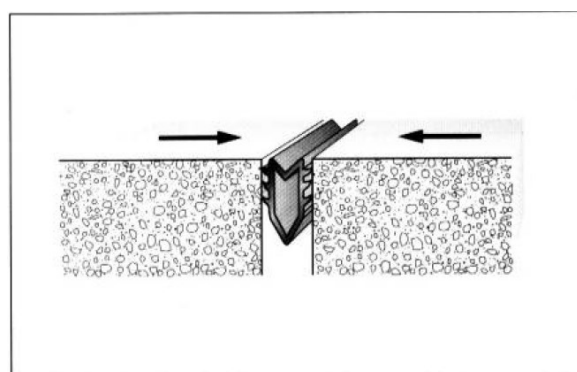
associados à amplitude das movimentações dos tabuleiros. Estes materiais possuem função de vedação, que impedem a penetração de água ou material sólido entre as fendas de dilatação, ao mesmo tempo em que proporcionam a livre movimentação da superestrutura, além de promoverem suavidade de rolamento dos veículos, por propiciar uma continuidade dos tabuleiros.

A **Figura 110** mostra um exemplo de junta de dilatação e as movimentações que o material de vedação deve permitir.

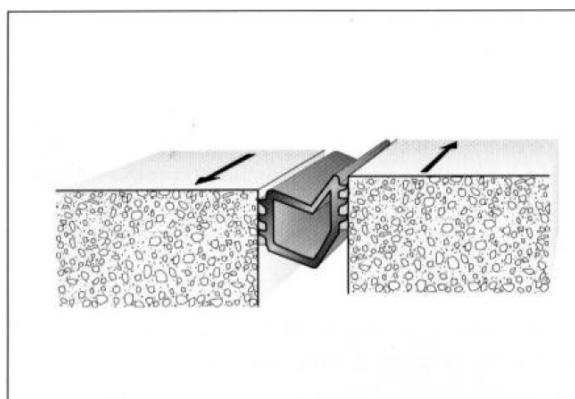
Figura 110 – Movimentações em que o material de vedação da junta está subme-
tido.



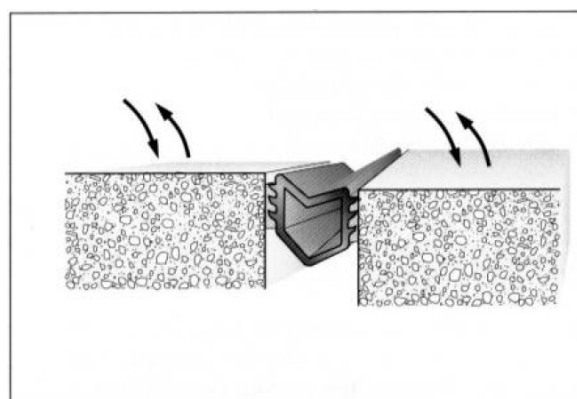
Ponto neutro



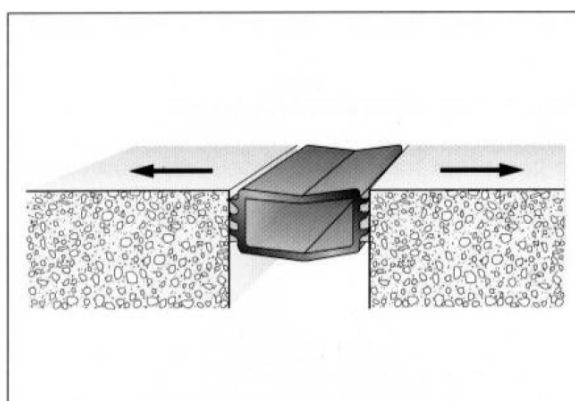
Compressão



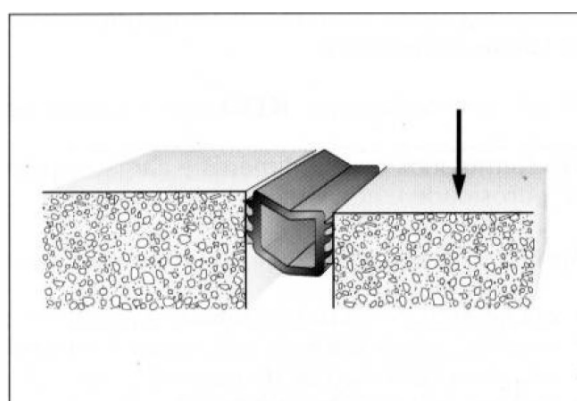
Cisalhamento



Rotação



Tração



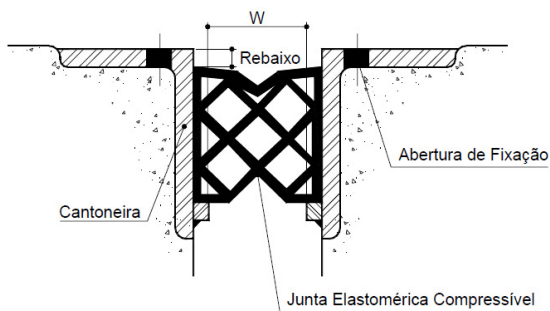
Recalque diferencial

Fonte: VITÓRIO, 2015

Os materiais das juntas podem ser de: perfil extrudado de elastômero e cantoneira, perfil extrudado de elastômero e lábio polimérico, juntas asfálticas, monobloco, modular, dentada ou pente e selantes.

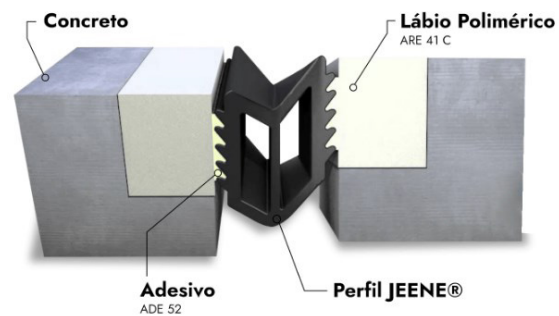
As **Figura 111** e **Figura 112** mostram o esquema de fixação de juntas de dilatação de material elastomérico.

Figura 111 – Junta de dilatação com material elastomérico fixado em cantoneiras metálicas.



Fonte: DNIT, 2004.

Figura 112 – Junta de dilatação com material elastomérico fixado em lábios poliméricos.



Fonte: GOOGLE, 2024z

As **Figuras 113 a 115** apresentam outros tipos de juntas de dilatação.

Figura 113 – Junta de dilatação utilizando material asfáltico.



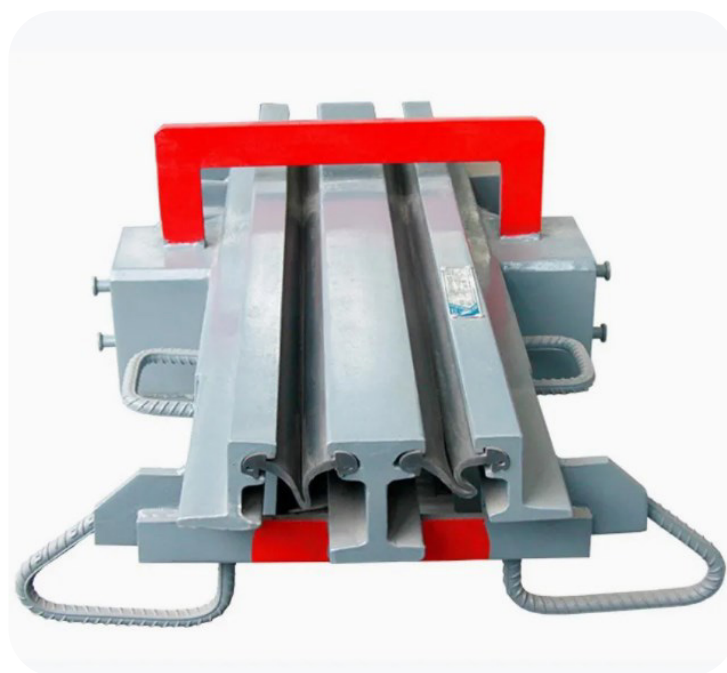
Fonte: IPT.

Figura 114 – Junta de dilatação monobloco.



Fonte: GOOGLE, 2024aa

Figura 115 – Junta de dilatação modular.



Fonte: GOOGLE, 2024bb

As anomalias mais comuns observadas nas juntas de dilatação são: material de elastômero da junta degradado permitindo a infiltração de água, presença de vegetação na fenda de dilatação, lábios poliméricos descolados, danos no berço de concreto de fixação do material de vedação das juntas e fenda de dilatação com detritos, impedindo a livre movimentação do tabuleiro.

Em razão da infiltração de água pelas juntas, pela ausência ou danos no material de vedação (selante), é comum a ocorrência da lixiviação de compostos cimentícios e agregados finos dos elementos estruturais, como pode ser observado, como exemplo, nas faces das vigas travessas, longarinas e lajes, o que leva a desagregação do concreto, redução do pH e manchamento de coloração esbranquiçada devido a eflorescência. Além disso, na presença da água e com a redução do pH, um processo corrosivo é desencadeado na armadura local, que resulta na

fissuração e no deslocamento do concreto com exposição da armadura corroída. O item 7.4 apresenta, em maiores detalhes, as anomalias comumente encontradas em elementos de concreto.

Infiltração da água e, consequente umidificação do concreto, também é condição adequada para a proliferação de musgos e fungos. No caso dos fungos, estes podem causar uma leve desagregação do concreto, além de poder alterar a coloração superficial para tons mais escuros. A presença de vegetação também pode levar a umidificação do concreto por maiores períodos do que na região sem sua presença, além de poder gerar tensões que causam a delaminação e, posteriormente, deslocamento localizado do concreto, devido a sua disagregação, com ou sem exposição de trecho de armadura corroída, conforme mostrado no item 7.4.

Essa exposição da armadura e a umidificação do concreto local

também pode ocorrer em áreas com danos no berço. Esses danos, normalmente, ocorrem devido à disgregação do concreto, anomalias resultantes tanto de esforços internos como externos. Os internos são devido à corrosão da armadura e os externos, usuais em juntas de dilatação com restrição de movimentação em decorrência da falta de manutenção periódica, pela presença de detritos no interior da junta.

As **Figuras 116 a 123** mostram exemplos práticos de anomalias observadas nas pontes e viadutos.

Figura 116 – Presença de vegetação na abertura da junta de dilatação, proveniente da degradação ou da ineficiência do material de vedação da junta. Manchas de escoamento de coloração escura, indicando infiltração de água na junta com carreamento de partículas.



Fonte: IPT.

Figura 117 – Infiltração de água através da junta de dilatação - Material da junta danificado, sem função de vedação. Manchas de umidade (coloração mais escura do concreto) e de eflorescências (coloração esbranquiçada).



Fonte: IPT.

Figura 118 – Descolamento entre o material elastomérico da junta e o lábio polimérico.



Fonte: IPT.

Figura 119 – Berço de concreto da região da junta danificado e preenchimento asfáltico provisório do local danificado.



Fonte: IPT.

Figura 120 – Barreira rígida (guarda rodas) instalada sobre a junta de dilatação.



Fonte: IPT.

Figura 121 – Ausência da continuidade da junta de dilatação da pista de rolamento para a região do passeio da ponte, ocasionando trincas devido às movimentações da estrutura.



Fonte: IPT.

Figura 122 – Junta de dilatação coberta com asfalto.



Fonte: IPT.

Figura 123 – Junta de dilatação dentada com desnivelamento, provocando risco elevado de acidentes de trânsito.



Fonte: IPT.

7.3. Sistemas de drenagem

A água é fundamental para a produção do concreto, porém ela também pode ser um agente de sua deterioração, pois suas moléculas são pequenas e conseguem penetrar em cavidades e poros extremamente finos, intrínsecos ao material. Por ser um solvente muito eficaz, a água consegue dissolver e decompor o concreto, sendo também agente fundamental

para provocar a corrosão da armadura de estruturas de concreto.

Outro problema é a água pluvial que carrega o material particulado depositado na superfície dos elementos das estruturas, sendo este conduzido pela rede de drenagem. No caso de falhas na drenagem, água pluvial contaminada com o material particulado pode promover o desgaste superficial do concreto

por erosão, em que é removida a pasta de cimento e, ainda, promover o mencionado manchamento superficial do concreto. O acúmulo de água pluvial nas superfícies de rolamento também pode ocasionar acidentes de trânsito.

Segundo Vitorio (2002) é importante que as obras de arte possuam sistemas adequados de escoamento da água das superfícies, como a drenagem natural, com inclinações nos sentidos transversais e longitudinais

do tabuleiro, utilização de drenos próximos aos guarda-rodas das pistas de rolamento e drenos nas regiões dos passeios. De acordo com Ripper (1998) também é importante que sejam previstas pingadeiras nas laterais dessas estruturas, para que a água não se acumule na face inferior das vigas e lajes de extremidade.

As **Figuras 124 a 129** mostram algumas fotos de obras de arte especiais com sistemas de drenagem deficientes.

Figura 124 – Acúmulo de água na região dos passeios.



Fonte: IPT.

Figura 125 – Acúmulo de água na região próxima aos guarda rodas laterais e ausência de tubulação de drenagem (buzinotes).



Fonte: IPT.

Figura 126 – Acúmulo de água sobre o tabuleiro devido à ausência de sistema de drenagem e escoamento adequado.



Fonte: GOOGLE, 2024dd

Figura 127 – Acúmulo de água no interior de caixão de ponte.



Fonte: IPT.

Figura 128 – Ausência de tubulação de drenagem de águas pluviais do tabuleiro. Observa-se mancha escura resultante do escoamento de água pluvial contaminada com material particulado, que se deposita nas superfícies expostas do concreto.



Fonte: IPT.

Figura 129 – Sistema de drenagem ineficaz, permitindo o escoamento das águas pela lateral da viga.



Fonte: IPT.

Pingadeira é um acabamento externo, geralmente de concreto moldado na própria superestrutura, pertencente ao sistema de drenagem, que tem por finalidade evitar o escoamento de infiltração para as lajes da OAE. Sua ausência pode acarretar danos à estrutura, desde manchas de umidade que causam variação estética, até problemas mais graves como a corrosão da armadura superficial da laje, como visto nas **Figuras 130 e 131**.

Figura 130 – Vista geral da parte inferior do tabuleiro, onde se pode observar ausência de pingadeiras.



Fonte: IPT.

Figura 131 – Armaduras expostas (seta) na parte inferior do tabuleiro, decorrente de percolação de água devido a ausência de pingadeiras.



Fonte: IPT.

7.4. Concreto armado ou protendido

Como já abordado, a atividade de inspeção de estruturas de concreto faz uso de diferentes técnicas, sendo a principal delas o exame visual detalhado dos elementos da estrutura. Esse exame contempla a verificação da presença de anomalias no concreto armado ou protendido, a fim de conhecer a natureza e a extensão do problema patológico e, quando necessário, definir as técnicas de ensaios e de medições apropriadas para o correto diagnóstico do estado de conservação da estrutura.

As anomalias típicas no concreto e na armadura são as seguintes:

- **Concreto segregado:** concentração heterogênea dos componentes do concreto moldado in campo, pré-moldado ou projetado (MAUBERTEC, 1998). Normalmente, caracteriza-se pela formação de áreas
- **Concreto desagregado:** perda da camada de pasta cimento e, assim, exposição de agregados pela ação externa da água (MAUBERTEC, 1998). É decorrente do fluxo de água que promove a lixiviação da pasta de cimento, bem como

de vazios com aparecimento de agregados graúdos. É decorrente de falhas na etapa de execução da obra, como a adoção do espaço reduzido entre barras da armadura, de concreto de baixa trabalhabilidade e, ainda, devido à deficiência na vibração e/ou falta de estabilidade e da estanqueidade do sistema de fôrmas promovendo a perda da pasta de cimento em áreas localizadas da peça. Nos locais com essa anomalia, o concreto apresenta maior porosidade, o que acelera a penetração de agentes agressivos e de água, fundamental para o processo corrosivo da armadura;

pelo ataque de chuva ácida ou ataque químico por agente externo, originário de atmosfera agressiva e ou de lençol freático contaminado. Nos locais com essa anomalia, o concreto também apresenta maior porosidade, acelerando a penetração de agentes agressivos e da água;

- **Concreto disgregado:** lascamento/desplacamento ou esfoliação do concreto em decorrência de esforços, internos ou externos, superiores a sua resistência. Os esforços internos são consequência da corrosão da armadura ou da reação entre as espécies alcalinas do cimento e os agregados com fração quartzosa potencialmente reativa e, os esforços externos, consequência do impacto ou do esmagamento de elemento (MAUBERTEC, 1998). Assim como as demais anomalias, o inspetor deve descrever sua localização e dimensão (área e profundidade) e, ainda, se há exposição ou não da armadura e seu estado (com ou sem sinais de corrosão);
- **Concreto com mancha de eflorescência:** depósitos cristalinos de cor esbranquiçada que surgem na superfície do concreto. É decorrente da infiltração de soluções aquosas que carregam o hidróxido de cálcio $[Ca(OH)_2]$ e outras substâncias alcalinas que, ao entrar em contato com o gás carbônico atmosférico (CO_2), formam carbonato de cálcio ($CaCO_3$), gerando um depósito de sais insolúveis que altera a aparência do concreto e pode causar sua desagregação;
- **Concreto com mancha de umidade:** umidificação do concreto que assume uma cor mais

escura. É decorrente da infiltração de soluções aquosas, escorrimiento de solução ou de água pluvial, usualmente contaminada com material particulado que se deposita nas superfícies expostas dos elementos da estrutura;

- **Concreto com mancha de corrosão:** depósito ou escorrimiento de produtos de corrosão solúveis, que são lixiviados para a superfície do concreto, e que assume coloração em tons vermelho ou marrom avermelhado ou alaranjado. Esse tipo de mancha pode mapear trechos de barras no sentido vertical como horizontal da armadura, o que pode ocorrer na presença de fissuras paralelas as barras, que também são decorrentes de sua corrosão;
- **Armadura exposta com corrosão,** manchas e deposição de produtos de corrosão na superfície do aço com coloração em tons vermelho ou marrom avermelhado ou alaranjado. Essa corrosão é preocupante quando da visualização de uma perda significativa da seção de barras.

7.5. Fissuras e trincas

As fissuras podem ser classificadas de duas formas: estáveis - ou passivas - e em movimentação - ou ativas. As fissuras passivas, quando chegam à sua máxima amplitude, estabilizam-se devido ao cessamento das causas que as geraram, como é o caso das fissuras de retração hidráulica ou das provocadas por um recalque diferencial de fundação que esteja estabilizado. As fissuras ativas são produzidas por ações de magnitude variáveis, que provocam deformações também variáveis no concreto. É o caso das fissuras de origem térmica e das de flexão, provocadas por ações dinâmicas (VITÓRIO, 2002).

Têm-se ainda as fissuras de corrosão da armadura, que usualmente acompanham o seu posicionamento e tendem a deslocar localmente o concreto de cobrimento conforme aumento da tensão interna promovida pelos produtos da corrosão que ocupam um volume maior do que o metal não corroído. Desse modo, a fissura de corrosão é considerada uma fissura ativa.

Cabe destacar que a presença de fissuras no concreto pode induzir o desenvolvimento de um processo de corrosão ou outro que leva a deterioração da estrutura no decorrer do tempo. Normalmente, somente as fissuras de abertura maior que 0,3 mm, independentemente de sua causa, são consideradas preocupantes e merecem a determinação de sua causa. No caso da corrosão, a fissura facilita o ingresso de agentes agressivos, como exemplo de cloretos, na forma de solução salina. Esse ingresso resulta na obtenção, mais rapidamente, de um teor crítico de cloreto para a quebra localizada da camada passiva da armadura, desencadeando um processo de corrosão localizado. Cita-se que as fissuras de abertura menor que 0,05 mm, denominadas de microfissuras, são normalmente desconsideradas

na inspeção, especialmente por não ser facilmente visualizada (sem uso de instrumento).

As reações expansivas ocasionadas por ataque químico, como as formações de etringita tardia e as geradas pela reação álcali promovem degradação do concreto na forma de fissuras ativas, nas quais o limite de degradação pode variar ao ponto de haver a condenação de elementos estruturais em determinados casos. Há relatos da existência de reações combinadas em um mesmo elemento estrutural, com a presença de deterioração por formação de etringita tardia com reação álcali agregado.

A reação álcali-agregado (RAA) é um tipo de ataque químico que ocorre no concreto quando da interação dos álcalis disponíveis na matriz cimentícia com determinados componentes reativos presentes em alguns agregados. A ocorrência de RAA “está condicionada à presença simultânea de três fatores: agregado potencialmente reativo, umidade e álcalis” (QUITETE, 2019).

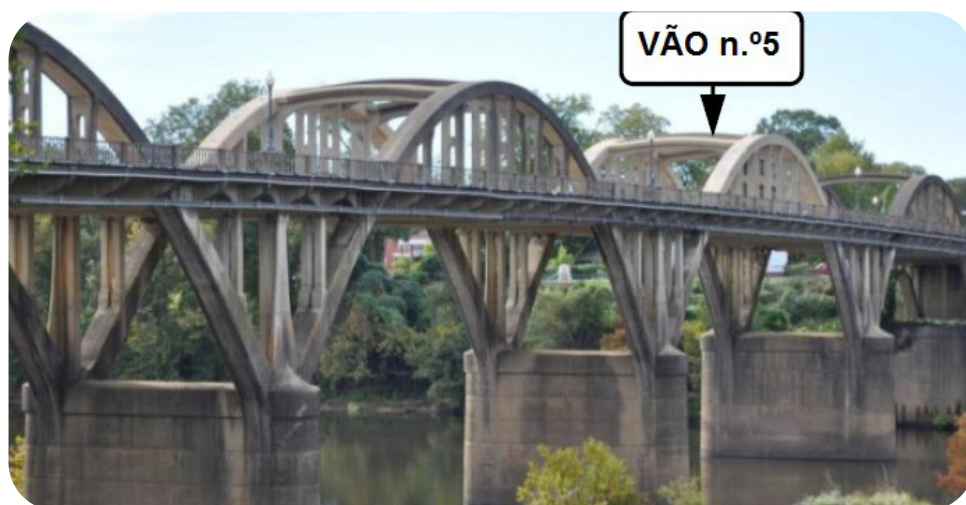
As **Figuras 132 a 134** ilustram alguns exemplos de casos de campo da ocorrência de RAA.

Figura 132 – Mapeamento de fissuras na ponte de Elgester em Trondheim, Noruega.



Fonte: MYKLEBUST, 2018.

Figura 133 – Vista geral da The Bibb Graves Bridge, em Wetumpka, Alabama.



Fonte: SCHINDLER *et al*, 2018.

Figura 134 – Detalhamento de fissuração ocorrida devido à reação álcali-silica no vão 5 da The Bibb Graves Bridge.

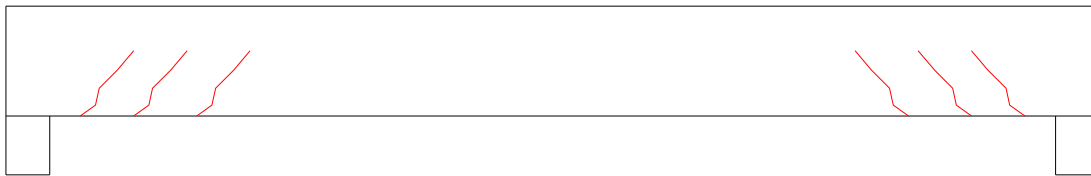


Fonte: SCHINDLER *et al*, 2018.

Com relação as fissuras e trincas relacionadas ao comportamento estrutural, segundo Leonhardt (1979) essas anomalias podem ser:

- a) Cisalhamento - são fissuras inclinadas que surgem devido às tensões principais de tração originadas pelos esforços cortantes e se desenvolvem obliquamente em relação ao eixo da barra – **Figura 135**.

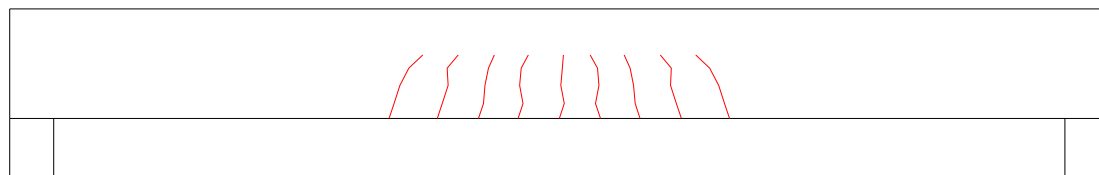
Figura 135 – Fissuras de cisalhamento.



Fonte: IPT.

- b) Flexão - são fissuras que começam no bordo tracionado de uma peça fletida e terminam na linha neutra – **Figura 136**.

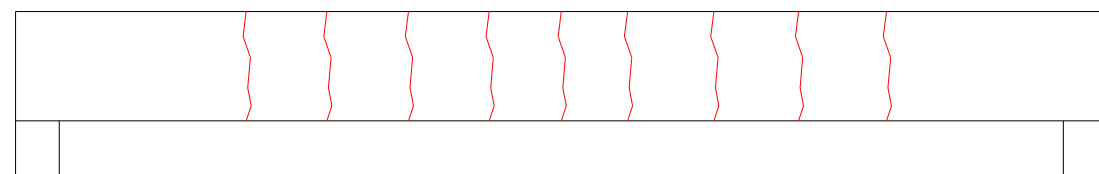
Figura 136 – Exemplo de fissuras de flexão.



Fonte: IPT.

- c) Tração - são fissuras que atravessam toda a seção transversal da peça. Ocorrem nos casos de tração centrada ou tração com pequena excentricidade – **Figura 137**.

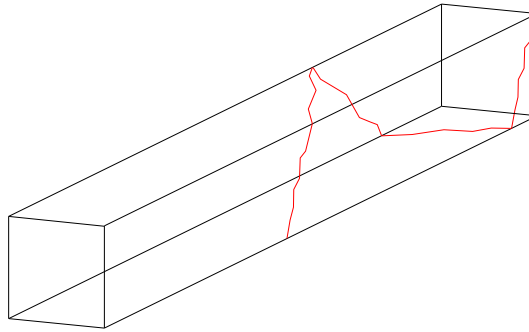
Figura 137 – Exemplo de fissuras por tração.



Fonte: IPT.

- d) Torção - são fissuras inclinadas que surgem devido às tensões principais de tração originadas pelos esforços de torção e se desenvolvem obliquamente em relação ao eixo do elemento – **Figura 138**.

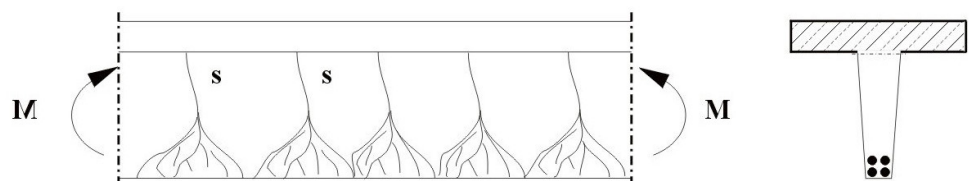
Figura 138 – Fissuras de torção.



Fonte: IPT.

- e) microfissuras e fissuras na estrutura interna - fissuras muito finas e curtas, parcialmente na argamassa e parcialmente entre os agregados e a argamassa, na maioria visíveis apenas ao microscópio. Estas fissuras podem se formar devido a tensões intrínsecas ou devido a mudanças no fluxo das tensões internas, mas não são detectadas em inspeções visuais de campo.
- f) fissuras de convergência - dependendo da densidade de armadura, no caso de zonas de bordo fortemente armadas, tais como banzos de vigas fletidas ou peças espessas solicitadas à tração, apenas algumas fissuras (fissura de convergência) avançam em direção à linha neutra ou para o interior da peça, enquanto as demais fissuras ficam limitadas à região com armadura – **Figura 139**.

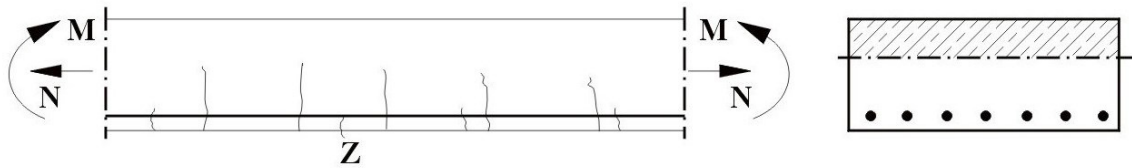
Figura 139 – Fissuras de convergência.



Fonte: LEONHARDT, 1979

- g) fissuras intermediárias e fissuras de aderência - são as fissuras intermediárias finas, localizadas entre as fissuras que atravessam a zona armada e que, na maioria dos casos, atingem apenas a camada mais externa da armadura. Elas podem originar-se de fissuras superficiais iniciais ou de pequenas fissuras de aderência internas – **Figura 140**.

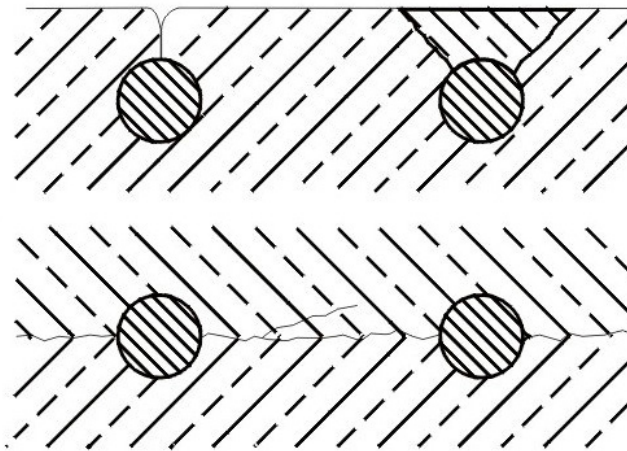
Figura 140 – Fissuras intermediárias.



Fonte: LEONHARDT, 1979

- h) fissuras longitudinais ao longo das barras de armação - são causadas pela pega do concreto fresco ou pelo aumento de volume da barra da armadura devido à corrosão. Este tipo de fissura também ocorre devido à ação de uma tração transversal no caso de tensões de aderência elevadas (fissuras de fendilhamento) e podem avançar até a superfície da peça (no caso do espaçamento entre barras ser pequeno), mas podem também se desenvolver paralelamente à superfície, rompendo o cobrimento de concreto. As fissuras longitudinais surgem comumente ao longo dos cabos de protensão grossos, com bainhas, quando o cobrimento de concreto é muito pequeno e as tensões de compressão longitudinais são muito elevadas – **Figura 141**.

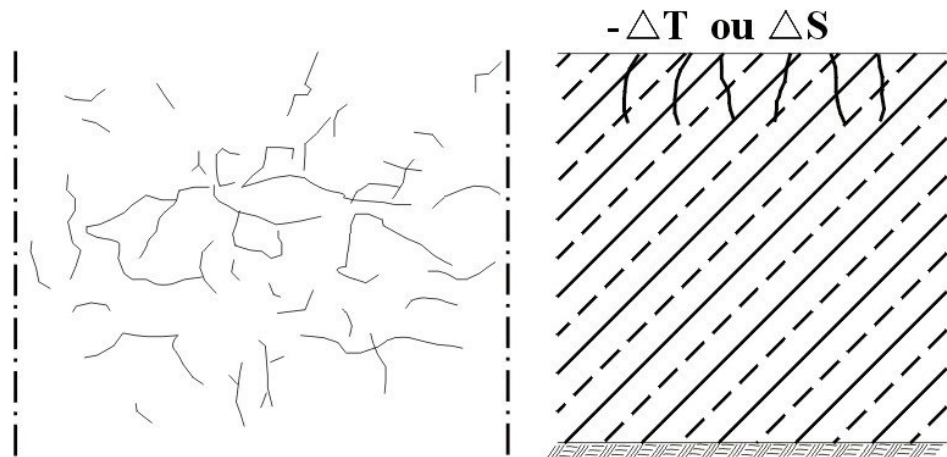
Figura 141 – Fissuras ao longo das barras de armação.



Fonte: LEONHARDT, 1979

- i) fissuras superficiais ou fissuras em rede - são fissuras que se originam de tensões intrínsecas, provocadas por retração, carbonatação e/ou variação de temperatura, quando estes efeitos produzem tração na camada superficial. Tais fissuras podem aparecer em qualquer direção (fissuras em rede), ou também em uma direção aproximadamente paralela, quando uma das direções das tensões de tração for predominante. As fissuras se fecham com o desaparecimento das diferenças de temperatura e de retração e, também, muitas vezes pela entrada de umidade – **Figura 142**.

Figura 142 – Fissuras superficiais



Fonte: LEONHARDT, 1979

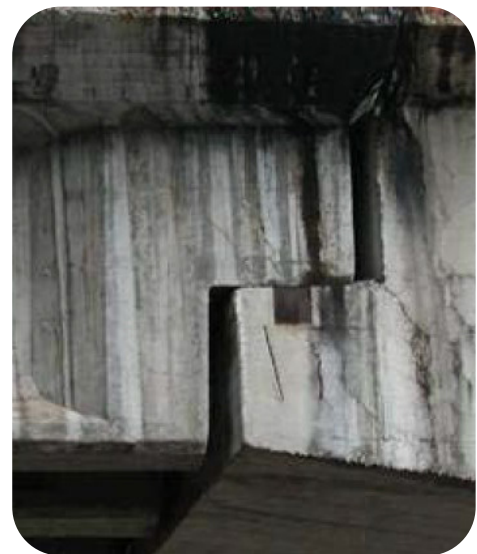
7.5.1. Exemplos de fissuração em OAEs

a) Articulações Gerber em vigas

São ocasionadas pelo mau dimensionamento das armaduras horizontais e de suspensão. A infiltração de água através das fissuras provoca a corrosão das armaduras, o que pode levar o dente Gerber à ruptura.

A **Figura 143** mostra um exemplo de fissuras nos cantos da articulação Gerber.

Figura 143 – Fissuras inclinadas nos cantos da ligação Gerber.



Fonte: IPT.

b) Cantos inferiores extremos das vigas

Nas vigas de pontes, o canto inferior extremo tende a se romper devido ao aparecimento de fissuras inclinadas a 45° , tangentes à armadura dobrada (**Figuras 144 e 145**) ou à placa de ancoragem, no caso de vigas protendidas. A causa desse problema é a falta de armadura no canto da viga, região submetida a altas tensões de compressão (VITÓRIO, 2002).

Figura 144 – Fissuras no canto da viga, na região sobre o aparelho de apoio.



Fonte: IPT.

Figura 145 – Ruptura da região do canto da viga sobre aparelho de apoio deteriorado.



Fonte: IPT.

c) Fissuras de flexão em vigas e lajes

As fissuras de flexão ocorrem geralmente na face inferior dos elementos, se estendendo para as laterais e sobem pela alma, no caso das vigas, podendo ser causadas por armaduras insuficientes, variações de temperatura provocando grandes deformações e, conseqüentemente, maiores solicitações de momentos fletores, cargas móveis superiores às de projeto, acréscimo de cargas permanentes sobre a ponte, como é o caso da pavimentação.

As **Figuras 146 e 147** mostram uma ponte esconsa, construída por laje apoiada nos quatro lados (no sentido longitudinal sobre os encontros e no sentido transversal sobre as vigas laterais de ambos os lados).

Figura 146 – Vista lateral da ponte esconsa.



Fonte: IPT.

Figura 147 – Vista inferior da ponte.



Fonte: IPT.

As **Figuras 148 a 150** mostram fissuras de flexão no centro da laje devido aos momentos fletores e nos cantos devido aos momentos volventes.

Figura 148 – Fissuras de flexão no vão central da laje.



Fonte: IPT.

Figura 149 – Detalhe da Figura 148.



Fonte: IPT.

Figura 150 – Fissuras devido aos momentos volventes nos cantos da laje.



Fonte: IPT.

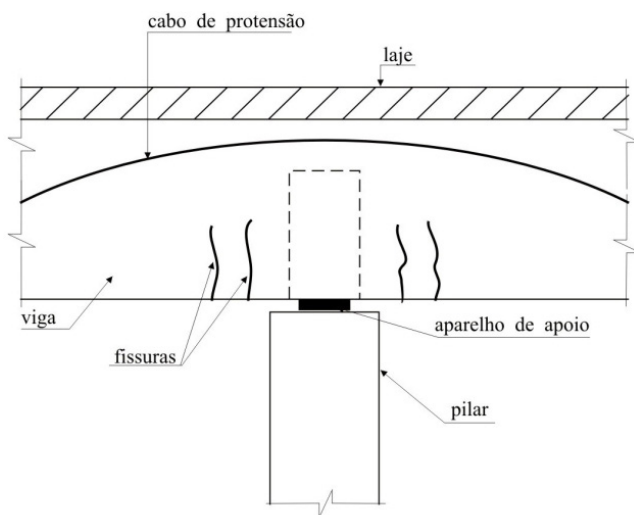
Figura 151 – Fissuras de cisalhamento.

- d) Fissuras devido aos esforços cortantes

A **Figura 151** mostra um exemplo de fissuras de cisalhamento na região de apoio da viga.



Fonte: IPT.

Figura 152 – Fissuras devido à protensão excessiva da viga.

- e) Fissuras verticais no bordo inferior junto aos apoios intermediários de vigas contínuas protendidas

Fissuras devido a protensão excessiva (**Figura 152**) e por uma avaliação incorreta do hiperestático de protensão.

Fonte: VITÓRIO, 2002.

Figura 153 – Fissuras provocadas por protensão na região das ancoragens.

- f) Protensão - fissuras provocadas devido aos esforços de protensão nas regiões próximas às ancoragens – **Figura 153**.



Fonte: IPT.

8

Inspeção da infraestrutura

Os elementos que constituem a infraestrutura e os encontros das obras de arte (elementos de fundação e estruturas de contenção dos encontros), são considerados elementos principais para a segurança da obra, independentemente dos materiais e tecnologia construtiva empregada. No entanto, o Brasil ainda carece de normas e procedimentos que orientem a inspeção periódica desses elementos.

Levantamentos de dados de colapsos total ou parcial de pontes rodoviárias apontam, por exemplo, que a ruptura dos encontros de acesso é a causa principal de mais de 30% dos colapsos das obras (Vitório, 2007). Esse mesmo autor destaca alguns fatores de risco que afetam diretamente o desempenho da meso e infraestrutura, a saber:

- estudos hidrológicos e hidráulicos insuficientes;
- estudos geotécnicos insuficientes;
- fundações executadas em profundidades que as deixaram vulneráveis aos efeitos da erosão do leito do rio, podendo vir a aumentar o comprimento de flambagem a níveis críticos;
- mudanças ocorridas no comportamento do curso d'água tais como: regime, tipo e perfil do canal;
- locação inadequada, deixando de considerar em alguns casos a esconsidade ou a curvatura da obra em relação ao rio;
- estrangulamento da seção de vazão, tanto pela distribuição como pela forma e dimensões inadequadas dos pilares

na calha do rio, aumentando a velocidade da correnteza e gerando fossas de erosão junto às fundações;

- deficiências na transição rodovia-ponte, principalmente nos casos das obras com extremidades em balanço, inclusive com inadequação das dimensões das cortinas e alas, além da ausência de lajes de transição. Em muitos casos, os chamados aterros de encontro são afetados por recalques ou movimentos de massa; e
- baixa qualidade da execução dos pilares e fundações, geralmente em meios agressivos, com a utilização de concreto poroso, segregado e com cobrimento insuficiente das armaduras.

Esses fatores de risco apontam os principais aspectos a serem considerados em uma inspeção e podem orientar os profissionais em suas verificações de campo e análises documentais. A grande dificuldade que se faz presente, a depender do esquema estrutural adotado no projeto e das condições locais, é a de que grande parte dos elementos de fundação e de contenção se encontra totalmente ou parcialmente enterrada, sendo de difícil avaliação por meio de simples inspeção visual. Dado que muitas obras de infraestrutura do país são antigas, para as quais não há arquivo organizado dos desenhos de projeto *‘as built’*, por vezes não se consegue definir qual o tipo de elemento de fundação utilizado.

Neste cenário, como diretrizes gerais para inspeção da infra e

alguns elementos da mesoestrutura, recomenda-se:

Passo 1 - Fazer um levantamento de dados do local onde a ponte ou viaduto se inserem por meio de mapas geológicos, cartas geotécnicas, fotos aéreas, entre outros. Uma visão macro da área pode apontar a existência de drenagens naturais, cicatrizes de escorregamentos pretéritos, presença de rochas carbonáticas suscetíveis ao fenômeno de carste (**Figura 154**), entre outras ocorrências de origem geológico-geotécnica ou hidrológica.

Passo 2 - Analisar os desenhos de projeto, ensaios de investigação geológico-geotécnica, especificações dos materiais e demais documentos disponíveis, aqui inclusos os registros de inspeções prévias. Atentar para as orientações do projeto no que tange às hipóteses adotadas e orientações a serem seguidas na fase construtiva, bem como ao período do ano no qual foram feitas as investigações, em especial nas regiões onde os períodos de cheia e vazante são caracterizados por grande variação do nível de água.

Passo 3 – Visitar a região onde a ponte ou viaduto se situa, atentando-se para a presença de árvores inclinadas nas margens de corpos d’água, blocos de rocha em taludes, trincas no solo ou em edificações próximas e afundamentos no pavimento, em especial na região dos encontros. Buscar informações com moradores e usuários sobre a ocorrência de enchentes, afundamentos de pavimento, erosão em margens de rio e, também, tentar conhecer a prática local de execução de fundações.

Como acima mencionado, o carreamento de partículas sólidas em cursos d'água, na região dos encontros da ponte, representa um fator de risco elevado para a manutenção da estabilidade global da estrutura (**Figura 155**), podendo também afetar o desempenho de elementos de fundação, em particular nos casos de fundação direta. Com frequência, redes de infraestrutura próximas às obras de arte, tais como galerias de águas e tubulações de esgoto, apresentam vazamentos que dão origem aos processos erosivos.

Passo 4 – Inspeccionar as partes visíveis dos elementos de fundação e encontros, atentando-se para a verticalidade e excentricidade de pilares e estacas, a condição da ligação estaca-bloco (**Figura 156**), a presença de trincas ou fissuras em blocos de fundação (**Figura 157**), a condição da ligação estaca-bloco, a existência de vazios ou cavidades próximas aos blocos, muros de ala ou de contenção, a existência de vegetação em meio às estruturas

de contenção, além da presença de armaduras expostas e corroídas em elementos de concreto, pontos de corrosão em elementos metálicos e de sinais de apodrecimento em elementos de madeira. Muitas vezes, para se inspecionarem os elementos aparentes de infraestrutura serão necessários equipamentos especiais, como caminhão com cesto ou montagem de plataformas, como mostram, respectivamente, as **Figuras 158 e 159**. O uso de drones tem auxiliado bastante na inspeção da área e da própria obra de arte; inspeções subaquáticas podem ser também necessárias em casos de suspeitas de patologias em elementos submersos.

Passo 5 – Na identificação de sinais patológicos ou ausência de informações sobre elementos relevantes à segurança global da estrutura, programar a realização de ensaios – preferencialmente não destrutivos – para aprofundamento das investigações e melhor avaliação do estado em que a obra se encontra.

Figura 154 – Vista geral do vale profundo no qual se insere a ponte em arco (cidade de Constantine, Argélia). Atentar para a característica do maciço rochoso exposto.



Fonte: IPT.

Figura 155 – Situação crítica de encontro de ponte no município de Presidente Bernardes, SP. Observar a ocorrência de carreamento de partículas sólidas do terreno.



Fonte: IPT.

Figura 156 – Problemas na ligação entre as estacas de fundação e o bloco (Milititsky et al., 2008).



Fonte: MILITITSKY et al., 2008.

Figura 157 – Patologias no concreto na região de contato com o bloco de fundação (Bastos e Miranda, 2017).



Fonte: BASTOS E MIRANDA, 2017.

Figura 158 – Inspeção especial da infraestrutura de uma ponte no município de Iporanga, SP, usando cestos.



Fonte: IPT.

Figura 159 – Montagem de plataforma flutuante para inspeção especial de elementos de fundação no Complexo do Cebolão, em São Paulo, SP.



Fonte: IPT.

As **Figuras 160 a 164** ilustram algumas patologias típicas encontradas nos elementos de infraestrutura de obras de arte.

Figura 160 – Estacas de concreto deterioradas em ambiente agressivo.



Fonte: GOOGLE, 2024ee

Figura 161 – Armaduras expostas e redução da seção transversal da estaca.



Fonte: GOOGLE, 2024ff

Figura 162 – Desconfinamento de trecho superior das estacas de fundação de uma ponte, expondo problemas de concretagem da fase de execução da obra.



Fonte: GOOGLE, 2024gg

Figura 163 – Outro caso de exposição dos elementos de fundação por carreamento de solo pelas águas, erodindo a margem.



Fonte: GOOGLE, 2024hh

Figura 164 – Processos erosivos provocando o carreamento do solo sob o bloco de fundação.



Fonte: GOOGLE, 2024ii

8.1. Inspeção Subaquática

Os elementos da infraestrutura das OAEs, em especial os utilizados como fundações das obras, podem sofrer agressões do meio físico ao passar do tempo e, por isso, devem passar por manutenções em prazos estabelecidos. No Brasil ainda não há uma cultura de

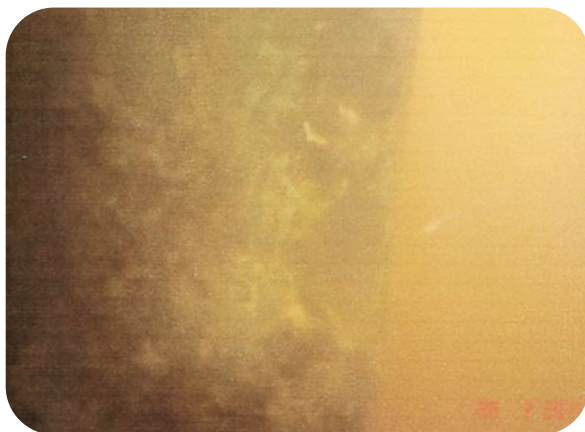
investir na inspeção e manutenção periódica das estruturas de pontes, particularmente dos elementos de sua infraestrutura e, por isso, os prejuízos acabam sendo evidentes; não há preservação do capital investido e, além dos custos da reconstrução de obras degradadas, há prejuízos com tragédias como a das quedas de pontes deterioradas.

Muitas vezes a inspeção da infraestrutura de obras de arte requer o emprego de profissionais especializados em mergulho para realização das chamadas inspeções subaquáticas. Estas inspeções exigem profissionais bem treinados em mergulho e com conhecimentos de engenharia, de forma a permitir o registro da geometria e das condições em que os elementos submersos se encontram, mesmo em situações de baixa visibilidade, o que é muito comum em cursos d'água no Brasil.

As inspeções subaquáticas exigem o uso de cilindros de ar comprimido, umbilicais, roupas especiais de

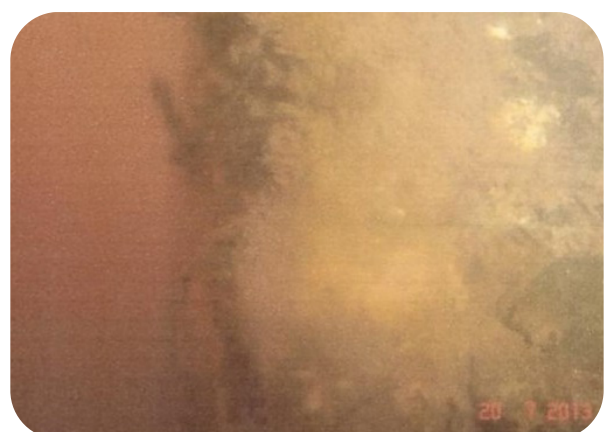
mergulho, cilindros de emergência, rádios comunicadores, máquinas e filmadoras subaquáticas, além de trenas, paquímetros e demais equipamentos de medida necessários. Nos casos onde há visibilidade suficiente para garantir a nitidez de fotos e vídeos, os registros permitem a identificação da integridade ou da presença de manifestações patológicas nos elementos submersos, como mostram as **Figuras 165 a 169**. Nos casos onde o registro fotográfico não é possível, por meio do tato e de medidas indiretas, podem-se fazer desenhos esquemáticos da situação encontrada, como mostra a **Figura 170**.

Figura 165 – Vista de um elemento de concreto submerso e íntegro.



Fonte: IPT.

Figura 166 – Vista de um elemento danificado de concreto, com parte da armadura exposta.



Fonte: IPT.

Figura 167 – Vista de barras de aço sem cobertura de concreto.



Fonte: IPT.

Figura 168 – Vista de barra de aço deformada e sem cobertura de concreto.



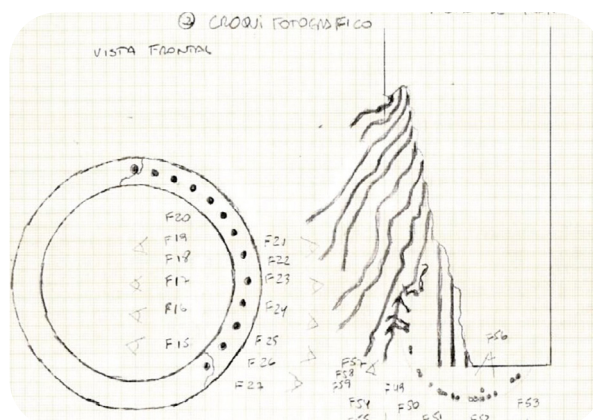
Fonte: IPT.

Figura 169 – Vista de barras de aço íntegras e parcialmente expostas em estrutura de concreto.



Fonte: IPT.

Figura 170 – Croqui esquemático elaborado por um mergulhador, mostrando uma camisa de concreto parcialmente rompida.



Fonte: IPT.

8.1.1. Roteiro para inspeção subaquática

Inspeção subaquática é uma inspeção detalhada dos elementos submersos de uma OAE, com o intuito de detectar e identificar as anomalias eventualmente existentes (Figura 171).

Segundo a norma ABNT NBR 9452:2023, as inspeções subaquáticas devem ser consideradas como parte integrante das inspeções especiais, quando realizadas em intervalos regulares, ou extraordinárias, quando realizadas em situações excepcionais decorrentes de alterações ambientais ou acidentes. Embora o foco do presente guia sejam as inspeções rotineiras, destacam-se aqui algumas orientações básicas dada a especificidade e importância dos trabalhos de inspeção subaquática para a detecção de anomalias da infraestrutura das OAEs.

As anomalias detectadas na inspeção subaquática devem ser registradas por recursos de mídia, além de toda documentação descrita no Anexo D da norma ABNT NBR 9452:2023.

Figura 171 – Mergulhador durante uma inspeção subaquática.



Fonte: FHWA-NHI-10-027.

Na execução da inspeção subaquática devem ser observadas as recomendações das normas regulamentadoras de segurança pertinentes ao assunto, assim como, cumprir as Especificações Técnicas e Normas do Ministério da Marinha, em especial NORMA15/DPC 2º revisão, Ministério do Trabalho, CONFEA, CREA e outros que regulamentam o trabalho subaquático, sob condições hiperbáricas.

A norma ABNT NBR 9452:2023 orienta que a inspeção subaquática

pode ser substituída por métodos de avaliação teórico-experimentais dos elementos submersos, principalmente quando houver algum impedimento ao acesso subaquático ou quando a visualização da inspeção não for satisfatória.

Optando-se pela inspeção, após a definição do plano de trabalho, os elementos devem ser limpos, se necessário, com o auxílio de espátulas ou jatos de água visando a remoção de incrustações (**Figura 172**).

Figura 172 – Espátula utilizada para limpeza da superfície inspecionada.



Fonte: IPT.

Como toda a limpeza subaquática é difícil e demorada, deve-se limitá-la à área do elemento estrutural a ser inspecionado (ABNT NBR 9452:2023).

No caso de estruturas com mais de 10 apoios submersos, pode-se, a critério do responsável pela manutenção da OAE, realizar inspeção por amostragem, de acordo com as anomalias detectadas. Dessa forma, findo o prazo de 10 anos, todos os

apoios submersos terão sido inspecionados ou avaliados por métodos teóricos-experimentais.

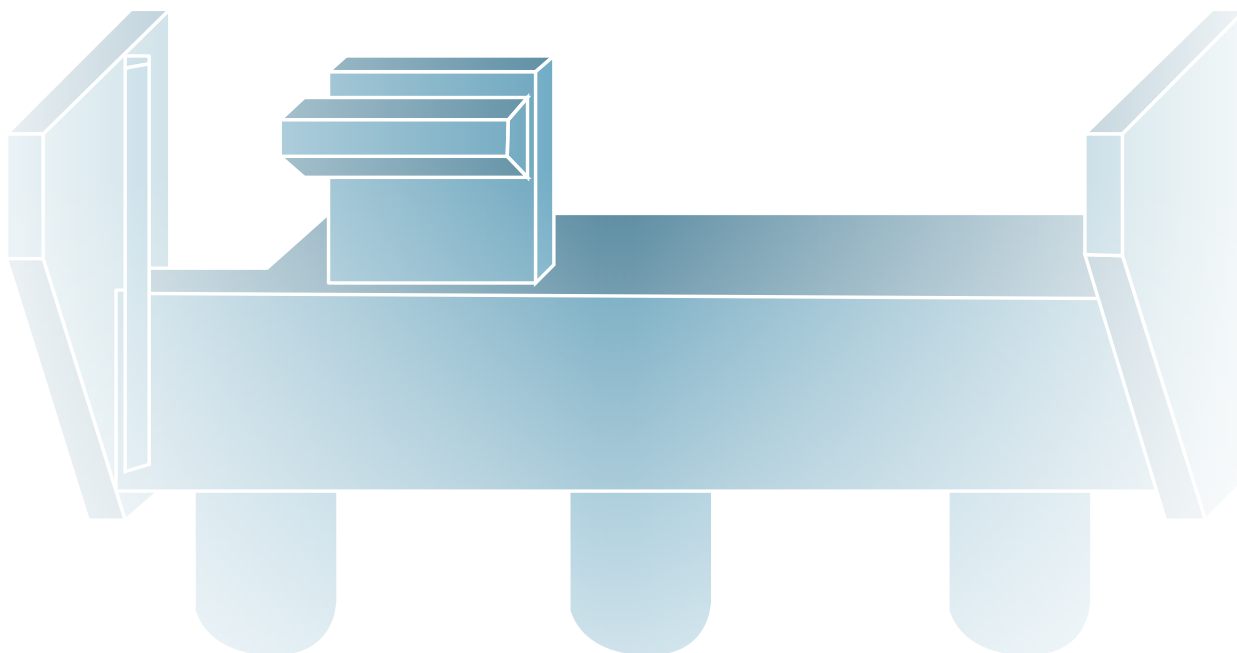
A norma ABNT NBR 9452:2023 orienta ainda que nas inspeções subaquáticas é de grande importância que exista comunicação vocal bidirecional e visual que possibilite: a descrição, pelo mergulhador, em tempo real da anomalia que está sendo observada, permitindo que o pessoal de apoio faça anotações e gravação;

ao mergulhador, solicitar esclarecimentos ao pessoal de apoio; ao pessoal de apoio, acompanhando desenhos e esquemas, verificar a validade das observações e o acerto na localização das anomalias; e ao pessoal de apoio, solicitar informações mais detalhadas.

Figura 173 – Levantamento de informações de uma estaca durante a inspeção subaquática.



Fonte: IPT.



9 Considerações finais

Dentre os tipos de inspeções existentes, as rotineiras permitem um acompanhamento periódico das condições de conservação das obras de arte especiais, permitindo detectar, em tempo hábil, as anomalias que venham a surgir ou que já estão em desenvolvimento, direcionando-as para trabalhos de inspeções especiais ou extraordinárias, conforme o caso, as quais indicarão os tratamentos necessários a serem realizados nas atividades de manutenção preventiva e corretiva. Esse procedimento contribui para reduzir custos de recuperação ou reforço estrutural e, principalmente, garantir a segurança das obras.

Para possibilitar a realização de trabalhos de inspeções criteriosos, é necessário que haja condições visuais dos locais a serem inspecionados, principalmente em regiões de grande importância funcional e estrutural, muitas vezes localizadas em terrenos de difícil acesso, que não permitem a visualização e constatação de eventuais anomalias. Atualmente os recursos tecnológicos, tais como drone e scanners de

grande precisão, têm auxiliado nas tarefas de campo.

O planejamento é uma fase fundamental para as atividades de inspeção. Independentemente de qual seja a inspeção (cadastral, rotineira, especial ou extraordinária), o planejamento requer a análise do cenário do local para a realização da atividade, identificando o tipo de obra de arte especial, a sequência da inspeção e definindo os objetivos a serem atingidos e os meios, ações e estratégias para o alcance desses objetivos.

Quando não realizadas as inspeções, as anomalias existentes nas OAEs podem se desenvolver e provocar danos estruturais e funcionais, colocando em risco a segurança estrutural, as pessoas e os veículos que transitam sobre elas. Portanto, a ausência de planos de inspeção rotineiras, agravada pela falta de manutenção preventiva, pode acarretar em colapsos e, por conseguinte, na necessidade de investigação pericial, além de todo um prejuízo econômico e social decorrente da proporção do fato.



Freepik



Referências **bibliográficas**

ABNT NBR 9452: **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas: procedimento.** Rio de Janeiro, 2023. 71 p.

ABNT NBR 16230: **Inspeção de estruturas de concreto: qualificação e certificação de pessoal, requisitos.** Rio de Janeiro, 2013, 19 p.

ABNT NBR ISO/IEC 17020: **Avaliação de conformidade: requisitos para o funcionamento de diferentes tipos de organismos que executam inspeção.** Rio de Janeiro, 2017.

ABNT NBR 14643:2001: **Corrosão atmosférica: classificação da corrosividade de atmosferas.** Rio de Janeiro, 2001. 11 p.

ARAUJO, C. J. R. V.; FONSECA, R.; CAMPOS, G. C. Inspeções para identificação de anomalias em obras de arte especiais. In: SANTOS, Anderson Novaes (Org.). **Engenharia e a Perícia Judicial – Volume 1.** São Paulo: Ed. Dialética, 2025. P. 147 - 172.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido: procedimento.** Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: < http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT010_2004_PRO.pdf> Acesso em: 30 set. 2021.

GODART, B; DIVET, L. **Lessons learned from structures damaged by delayed ettringite formation and the French prevention strategy.** In: International Conference Forensic Engineering- Proceedings, 5th., France, 2013.

GOOGLE. **Ponte rodoviária.** Disponível em <<https://estradas.com.br/caminhoes-tem-novos-horarios-de-trafego-na-ponte-rio-niteroi/>>. Acesso em: 11/09/2024a. (Figura 2).

GOOGLE. **Ponte ferroviária sobre vigas.** Disponível em <<https://trilhosdooeste.blogspot.com/2012/02/o-complexo-ferroviario-de-sao-joao-del.html> />. Acesso em: 11/09/2024b. (Figura 4).

GOOGLE. **Ponte canal para condução de embarcações.** Disponível em <<https://casavogue.globo.com/Arquitetura/noticia/2012/03/canal-navegavel-cruza-por-cima-rio-alemao.html> />. Acesso em: 11/09/2024c. (Figura 6).

GOOGLE. **Ponte com tabuleiro posicionado sobre arco.** Disponível em <<https://www.nit.pt/fora-de-casa/na-cidade/porto-bridge-climb-o-arco-da-ponte-da-arrabida-duplicou/>>. Acesso em: 11/09/2024d. (Figura 19).

GOOGLE. **Ponte com o tabuleiro posicionado na seção intermediária do arco.** Disponível em <<http://www.achetudonaserra.com.br/ponte-ernesto-dornelles/de/veranopolis/>>. Acesso em: 11/09/2024e. (Figura 20).

GOOGLE. **Ponte com tabuleiro posicionado sob o arco.** Disponível em <<https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Cartao-postal-Ponte-dos-Arcos-de-Uniao-da-Vitoria-e-revitalizada-pelo-DERPR/>>. Acesso em: 11/09/2024f. (Figura 21).

GOOGLE. **Vista noturna da Ponte Pênsil em São Vicente.** Disponível em <https://www.tripadvisor.com.br/LocationPhotoDirectLink-g2180277-d2372691-i117391905-Suspension_Bridge-Sao_Vicente_State_of_Sao_Paulo.htmlSao_Vicente_State_of_Sao_Paulo.html />. Acesso em: 11/09/2024g. (Figura 23).

GOOGLE. **Ponte Estaiada localizada na cidade de São Paulo – SP.** Disponível em <<https://www.mundolusiada.com.br/acontece/uniao-europeia-leva-projecoes-a-ponte-estaiada-em-sao-paulo-no-dia-da-europa/>>. Acesso em: 11/09/2024h. (Figura 24).

GOOGLE. **Uso de drones na inspeção de pontes.** Disponível em <<https://www.dronevisual.com/post/inspe%C3%A7%C3%A3o-em-pontes-com-utiliza%C3%A7%C3%A3o-de-drones.>>. Acesso em: 15/10/2024i. (Figura 58).

GOOGLE. **Uso de scanner para levantamentos de dados geométricos de OAE's.** Disponível em <https://adenilsongiovani.com.br/blog/laser-scanner-o-que-e-e-quais-suas-aplicacoes/>. Acesso em: 15/10/2024j. (Figura 59).

GOOGLE. **Desabamento de cabeceira de ponte em Brusque, Santa Catarina, em abril/2021.** Disponível em <<https://www.nsctotal.com.br/noticias/cabeceira-de-ponte-desaba-e-deixa-carros-presos-em-brusque>>. Acesso em: 15/10/2024k. (Figura 74).

GOOGLE. **Outro desabamento, também em Brusque, Santa Catarina, em jun/2021.** Disponível em <<https://omunicipioblumenau.com.br/video-ponte-desaba-no-bairro-guarani-em-brusque/>>. Acesso em: 15/10/2024l. (Figura 75).

GOOGLE. **Desabamento parcial de ponte no norte da Bahia no ano de 2019.** Disponível em <<https://www.calilanoticias.com/2019/04/balanco-chuva-causa-queda-de-pontes-desabamentos-parcial-de-imoveis-e-suspensao-de-aulas>>. Acesso em: 15/10/2024m. (Figura 76).

GOOGLE. **Desabamento de ponte em estrada rural em Minas Gerais.** Disponível em <<https://www.nova107fm.com.br/noticias/queda-de-pontes-deixa-moradores-ilhados-no-bairro-rural-serra-dos-borges-em-santa-rita-do-sapuai/>>. Acesso em: 15/10/2024n. (Figura 77).

GOOGLE. **Ruptura de apoios em ponte no Mato Grosso do Sul em 2018.** Disponível em <<http://www.ms.gov.br/reinaldo-azambuja-determina-urgencia-na-recuperacao-da-ponte-que-caiu-em-jardim/>>. Acesso em: 15/10/2024o. (Figura 78).

GOOGLE. **Ruptura de encontro de ponte em Sergipe em 2019.** Disponível em <https://www.f5news.com.br/cotidiano/com-fortes-chuvas-cabeceira-de-ponte-cede-em-riachuelo_56929/>. Acesso em: 15/10/2024p. (Figura 79).

GOOGLE. **Processo de ravinamento em encontro de ponte.** Disponível em <<https://www.noticiasdahora.com.br/cidades/outras-noticias/erosao-provoca-deslizamento-na-cabeceira-da-ponte-do-igarape-piraja-na-regiao-de-tarauaca.html>>. Acesso em: 15/10/2024q. (Figura 84).

GOOGLE. **Boçoroca de evolução acelerada destrói ponte.** Disponível em <<https://www.campograndenews.com.br/cidades/interior/sem-ponte-e-com-vocoroca-que-engole-vacas-cidade-decreta-emergencia>>. Acesso em: 15/10/2024r. (Figura 85).

GOOGLE. **Incêndio atinge ponte do Jaguaré na zona Oeste de São Paulo.** Disponível em <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2019/06/21/incendio-atinge-ponte-do-jaguare-na-zona-oeste-de-sao-paulo.ghtml>>. Acesso em: 15/10/2024s. (Figura 86).

GOOGLE. **Vista da região inferior da ponte do Jaguaré, mostrada na Figura 86, após o incêndio.** Disponível em <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2019/06/21/incendio-atinge-ponte-do-jaguare-na-zona-oeste-de-sao-paulo.ghml>>. Acesso em: 15/10/2024t. (Figura 87).

GOOGLE. **Incêndio na região inferior do Viaduto Condessa de São Joaquim em São Paulo;** segundo informações da mídia, o incêndio teria começado em pertences de moradores em situação de rua. Disponível em <<https://oglobo.globo.com/brasil/noticia/2024/09/19/fogo-sob-viaduto-assusta-motoristas-na-avenida-23-de-maio-em-sp.ghml>>. Acesso em: 15/10/2024u. (Figura 88).

GOOGLE. **Incêndio em viaduto na avenida dos Bandeirantes em São Paulo, ocasionado por colisão entre um caminhão tanque e uma carreta bi trem.** Disponível em <<https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2016/02/acidente-entre-caminhoes-causa-fogo-e-fecha-avenida-bandeirantes-em-sp.html>>. Acesso em: 15/10/2024v. (Figura 89).

GOOGLE. **Aparelho de apoio deslizante - Vista do sistema desmontado;** permite rotação e translação em ambas as direções. Disponível em <<https://www.addbeton.com/documentation/EQUIPEMENTS%20D%27OUVRAGES/MAURER/APPAREILS%20D%27APPUIS/Brochure%20National%20Approval%20for%20MSM%20Spherical%20Bearings.pdf>>. Acesso em: 10/10/2024w. (Figura 97).

GOOGLE. **Outra imagem do aparelho de apoio deslizante;** vista das partes côncava e convexa dos materiais deslizantes. Disponível em <<https://www.indiamart.com/proddetail/msm-spherical-bearings-10606625791.html?mTd=1>>. Acesso em: 10/10/2024x. (Figura 98).

GOOGLE. **Vista do aparelho de apoio deslizante montado, com guia lateral impedindo à movimentação de translação perpendicular a guia e permitindo translação na outra direção.** Disponível em <<https://www.archiexpo.com/pt/prod/maurer-se/product-126637-1502965.html>>. Acesso em: 14/10/2024y. (Figura 99).

GOOGLE. **Junta de dilatação com material elastomérico fixado em lábios poliméricos.** Disponível em <<https://jeene.com.br>>. Acesso em: 14/10/2024z. (Figura 112).

GOOGLE. **Junta de dilatação monobloco.** Disponível em <<https://preprod.tradeindia.com/products/rubber-expansion-joints-970304.html>>. Acesso em: 14/10/2024aa. (Figura 114).

GOOGLE. **Junta de dilatação modular.** Disponível em <https://tbcasting.en.made-in-china.com/product/SaBRZNVCIJkl/China-Customized-High-Quality-Bridge-Expansion-Device.html?pv_id=1ia620t2i32d&faw_id=1ia621dmn3fe>. Acesso em: 14/10/2024bb. (Figura 115).

GOOGLE. **Junta de dilatação dentada com desnivelamento, provocando risco elevado de acidentes.** Disponível em <<https://www.diariodoaco.com.br/noticia/0030701-ponte-desnivelada-causa-preocupacoes>>. Acesso em: 14/10/2024cc. (Figura 123).

GOOGLE. **Acúmulo de água sobre o tabuleiro devido à ausência de sistema de drenagem e escoamento adequado.** Disponível em <<https://portalaquivale.com.br/ponte-estaiada-fica-alagada-apos-chuvas-em-sao-jose/>>. Acesso em: 14/10/2024dd. (Figura 126).

GOOGLE. **Armaduras expostas e redução da seção transversal da estaca.** Disponível em <<https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2019/12/27/ipt-finaliza-relatorio-complementar-sobre-obras-emergenciais-da-ponte-dos-barreiros.ghml>>. Acesso em: 15/10/2024ee. (Figura 160).

GOOGLE. **Estacas de concreto deterioradas em ambiente agressivo.** Disponível em <<https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2019/12/27/ipt-finaliza-relatorio-complementar-sobre-obras-emergenciais-da-ponte-dos-barreiros.ghml>>. Acesso em: 15/10/2024ff. (Figura 161).

GOOGLE. **Desconfinamento de trecho superior das estacas de fundação de uma ponte, expondo problemas de concretagem da fase de execução da obra.** Disponível em <http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Reforco_Fundacoes_de_Pontes_Viadutos_Rodoviaros.pdf>. Acesso em: 15/10/2024gg. (Figura 162).

GOOGLE. **Outro caso de exposição dos elementos de fundação por carreamento de solo pelas águas, erodindo a margem.** Disponível em <http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Reforco_Fundacoes_de_Pontes_Viadutos_Rodoviaros.pdf>. Acesso em: 15/10/2024hh. (Figura 163).

GOOGLE. **Processos erosivos provocando o carreamento do solo sob o bloco de fundação.** Disponível em <http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Reforco_Fundacoes_de_Pontes_Viadutos_Rodoviaros.pdf>. Acesso em: 15/10/2024ii. (Figura 164).

ISO 9223: **Corrosion of metals and alloys; corrosivity of atmospheres – classification, determination and estimation**. Genebra, 2012.

ISO 13822: **Boletim nº 22 do Comitê Euro-Internacional du Béton** (CEB-FIB), publicado em 2003.

LEONHARDT, F. **Construções de concreto**. Rio de Janeiro: Interciência Ltda., 1979. v.4 e v.6.

MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

MAUBERTEC. **Inspeção do concreto, glossário técnico, conceituação, visão sistemática e relação, causas e efeitos básicos das anomalias**. São Paulo: Maubertec Engenharia e Projetos. p. 85-137, 1998 (Relatório Técnico MANUME 10.doc).

MUNIZ, P. G. **Ação e prevenção de incêndio em pontes e viadutos**. 2023. 134 p. Dissertação (Mestrado profissional) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, 2023, 134p.

NEW YORK STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION - NYSDOT. **Bridge inspection manual**. New York, 2017.

PEARSON-KIRK, D, LEVER, M.S.; NEALE, S.J.H.B.S. Reducing the risk of potential failures of highway structures. In: NEALE, B.S. (ed.). **FORENSIC engineering: from failure to understanding**. London: Thomas Telford. London. UK., 2008. p. 453-462.

PINHO, F. O.; BELLEI, I. H. **Pontes e viadutos em vigas mistas**, Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2007.

QUITETE, E. **Reação álcali-agregado: histórico e normalização**. In: WORKSHOP RAA: REAÇÕES EXPANSIVAS NO CONCRETO, 2019, São Paulo.

RIPPER, T.; SOUZA, V. C. M. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

SARTORI, A. L. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de campinas-SP**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura. Campinas, SP, 2008.

SCHINDLER, A.; JOHNSON, D.; WARNOCK, R.; BARNES, R. **Effectiveness of silane to mitigate alkali-silica reaction in a historical bridge**. Matec Web of Conferences, v. 199, p. 03009, 2018.

VALERIANO, R. **Pontes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

VITÓRIO, J. A. P. **Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão**. Recife, CREA-PE, 2002.

VITÓRIO, J.A.P. **Acidentes estruturais em pontes rodoviárias: causas, diagnósticos e soluções**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pontes e Estruturas, 2007. p. 1-20.

VITÓRIO, J.A.P. **Pontes e viadutos rodoviários: conceituação, conservação, segurança e reforço estrutural**. Pernambuco: Universidade de Pernambuco, 2015.



Freepik



