

Alcides Sardinha Filho

**INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE PATOLOGIAS EM PONTE COM PROTENSÃO
EXTRADORSO SOB A ÓTICA DA NBR 9452/2019 – Estudo de caso da Ponte dos
Imigrantes Nordestinos “Padre Cicero José de Sousa”**

Palmas - TO

2020

Alcides Sardinha Filho

**INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE PATOLOGIAS EM PONTE COM PROTENSÃO
EXTRADORSO SOB A ÓTICA DA NBR 9452/2019 – Estudo de caso da Ponte dos
Imigrantes Nordestinos “Padre Cicero José de Sousa”**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. MSc. Daniel Iglesias de Carvalho.

Palmas - TO

2020

Alcides Sardinha Filho

INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE PATOLOGIAS EM PONTE COM PROTENSÃO
EXTRADORSO SOB A ÓTICA DA NBR 9452/2019 – Estudo de caso da Ponte dos
Imigrantes Nordestinos “Padre Cicero José de Sousa”

Trabalho de Conclusão de Curso
(TCC) II elaborado e apresentado
como requisito parcial para obtenção
do título de bacharel em Engenharia
Civil pelo Centro Universitário
Luterano de Palmas
(CEULP/ULBRA).

Aprovado em: _____/_____/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Daniel Iglesias de Carvalho
Orientador
Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA)

Prof. MSc. Denis Cardoso Parente
Avaliador
Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA)

Prof. Dr. Roldão Pimentel de Araújo Junior
Avaliador
Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA)

Dedico este trabalho de pesquisa a minha mãe Rosângela dos Santos, sua grande força foi a mola propulsora que permitiu o meu avanço, mesmo durante os momentos mais difíceis.

Agradeço do fundo do meu coração.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Ao Professor Mestre Daniel Iglesias de Carvalho, pela atenção, amizade e orientação do trabalho.

A todos os professores e funcionários do CEULP/ULBRA, em especial a Professora Kenia Parente Lopes Mendonça, pelo coleguismo e dedicada atenção.

Ao meu irmão Wanderson dos Santos Sardinha, que sempre está me auxiliando no meu desenvolvimento profissional.

A minha irmã Erika dos Santos Sardinha, pelo seu constante apoio.

A minha amada mãe Rosangela dos Santos, que sempre me ajuda e está do meu lado.

Por todo apoio que me deram durando esta longa jornada, aos amigos Eduardo Alcides Sardinha Dias Junior, Elismar Cardoso Sirqueira, Saulo Sardinha Milhomem e Cristovão Alencar Teixeira.

“A mente que se abre a uma nova
ideia jamais voltará ao seu tamanho
original.”

Albert Einstein.

RESUMO

FILHO, Alcides Sardinha. **Inspeção e avaliação de patologias em ponte com protensão extradorso sob a ótica da NBR 9452/2019 - Estudo de caso da Ponte dos Imigrantes Nordestinos “Padre Cicero José de Sousa”**. 2020. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2020.

A história das construções das pontes está estreitamente vinculada a evolução das civilizações, pois, através destas, obstáculos naturais e fronteiras políticas existentes são superadas, beneficiando desta forma toda a comunidade envolvida. E neste trabalho discutimos as condições e classificação das patologias encontradas através de inspeção visual da Obra de Arte Especial, que é a Ponte sobre o Rio Tocantins, denominada de Ponte dos Imigrantes Nordestinos “Padre Cicero José de Sousa”. Tendo em vista a utilização da metodologia aplicada na NBR 9452/2019, que correlaciona nota de avaliação aos elementos estruturais, funcionais e de durabilidade. Diante disso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, a fim de obter conhecimento científico acerca de patologias em pontes com protensão no extradorso. Por conseguinte, o resultado das avaliações e classificações foi positivo, visto que a ponte recebeu nota 4, o que a classifica como uma obra sem patologias que causem problemas importantes, e suas condições estrutural, funcional e de durabilidade, julgada como boa. No entanto constatou-se a necessidade de execução de serviços de manutenção preventiva na mesma, sem a necessidade de intervenções emergenciais. Logo, fica claro que o entendimento do estado atual das Obras de Arte Especiais é indispensável para a conservação da estrutura, de forma a assegurar o bem-estar e a segurança dos seus usuários.

Palavras-chave: Pontes Extradorso, Inspeção Especial, Metodologia NBR 9452/2019.

ABSTRACT

FILHO, Alcides Sardinha. **Inspection and evaluation of pathologies in bridge with extrados prosthesis under the perspective of NBR 9452/2019 - Case study of the Northeast Immigrant Bridge “Padre Cicero José de Sousa”**. 2020. 92 f. Course Conclusion Paper (Graduation) - Civil Engineering Course, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas / TO, 2020.

The history of the construction of bridges is closely linked to the evolution of civilizations, because through these natural obstacles and existing political boundaries are overcome, thus benefiting the entire community involved. And in this work we discuss the conditions and classification of the pathologies found through visual inspection of the Work of Special Art, which is the Bridge over the Tocantins River, called Ponte dos Imigrantes Nordestinos “Padre Cicero José de Sousa”. In view of the use of the methodology applied in NBR 9452/2019, which correlates the evaluation note to the structural, functional and durability elements. Therefore, a bibliographic research was carried out in order to obtain scientific knowledge about pathologies in bridges with prestressing in the extrados. Consequently, the result of the evaluations and classifications was positive, since the bridge received a score of 4, which classifies it as a work without pathologies that cause major problems, and its structural, functional and durability conditions, considered as good. However, there was a need to perform preventive maintenance services in it, without the need for emergency interventions. Therefore, it is clear that an understanding of the current state of Special Works of Art is essential for the conservation of the structure, in order to ensure the well-being and safety of its users.

Keywords: Extrados Bridges, Special Inspection, NBR 9452/2019 Methodology.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: PONTE ODAWARA BLUEWAY, JAPÃO	15
FIGURA 2: DIFERENTES DESEMPENHOS DE UMA ESTRUTURA.	19
FIGURA 3: ELEMENTOS COMPONENTES DE UMA PONTE.	22
FIGURA 4: SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA PONTE TIPO VIGA T	23
FIGURA 5: SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA PONTE TIPO SEÇÃO-CAIXÃO	23
FIGURA 6: ESQUEMA PADRÃO EM CORTE DE UMA BARREIRA	24
FIGURA 7: APARELHOS DE APOIO NO TOPO DOS PILARES DE UMA OAE	26
FIGURA 8: REPRESENTAÇÃO DE UM ENCONTRO	26
FIGURA 9: PONTE GANTER, SUÍÇA	28
FIGURA 10: SISTEMAS DE CABOS PROTENDIDOS.	29
FIGURA 11: SISTEMA DE PROTENSÃO NÃO ADERENTE	32
FIGURA 12: PONTE ARBOIS.	34
FIGURA 13: PRIMEIRA PONTE CONSTRUÍDA POR MEIO DE BALANÇOS SUCESSIVOS	35
FIGURA 14: CONSTRUÇÃO POR BALANÇOS SUCESSIVOS (PONTE EM VIGA),	35
FIGURA 15: EXECUÇÃO DE BALANÇO SUCESSIVO COM ADUELAS PRÉ-MOLDADAS	37
FIGURA 16: PONTE PROJETADA POR LÖSCHER, ALEMANHA	38
FIGURA 17: PONTE ESTAIADA DE CONCRETO ARMADO SOBRE O CANAL DONZÈRE.	39
FIGURA 18: PONTE DA NORMANDIA, FRANÇA.	40
FIGURA 19: PONTE ODAWARA BLUEWAY, JAPÃO.	42
FIGURA 20: PONTE KISO RIVER, JAPÃO.	43
FIGURA 21: TERCEIRA PONTE SOBRE O RIO ACRE, BRASIL.	45
FIGURA 22: PONTE DA INTEGRAÇÃO BRASIL – PERU, BRASIL.	46
FIGURA 23: MANCHAS EM PONTE SEM PINGADEIRA.	50
FIGURA 24: PROCESSO DE LIXIVIAÇÃO	51
FIGURA 25: EFEITO DA LIXIVIAÇÃO NO CONCRETO.	52
FIGURA 26: REPRESENTAÇÃO DA REAÇÃO DE CARBONATAÇÃO DO	53
FIGURA 27: CORROSÃO DA ARMADURA APARENTE EM VIGA DE PONTE.	55
FIGURA 28: TIPOS DE CORROSÃO E FATORES QUE AS PROVOCAM	56
FIGURA 29: RECALQUE DIFERENCIAL NAS ESTRUTURAS	57
FIGURA 30: VAZIOS DE CONCRETAGEM.	60
FIGURA 31: LOCALIZAÇÃO DA PONTE DOS IMIGRANTES NORDESTINOS	67
FIGURA 32: VISTA LATERAL PONTE DOS IMIGRANTES NORDESTINOS	68
FIGURA 33: FLUXOGRAMA DE PESQUISA,	70
FIGURA 34: DRONE DJI PHANTOM 4	71

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 35: VIGAMENTO VÃO LATERAL SENTIDO LAJEADO/MIRACEMA	73
FIGURA 36: FLANGE DOS TUBOS ANTI-VANDALISMO DOS ESTAIS	73
FIGURA 37: ENCONTRO VIGA LONGARINA E TRANSVERSA	74
FIGURA 38: VISTA FRONTAL E SUPERIOR DO PILONE	74
FIGURA 39: VISTA ISOMÉTRICA DA PONTE	75
FIGURA 40: APARELHO DE APOIO.....	75
FIGURA 41: VISTA ISOMÉTRICA DO BLOCO DE PROTEÇÃO DOS PILARES	76
FIGURA 42: ESTACAS DO VÃO CENTRAL DA PONTE	76
FIGURA 43: BARREIRA RÍGIDA	77
FIGURA 44: GUARDA-CORPOS	78
FIGURA 45: ACÚMULO DE ÁGUA NO PASSEIO.....	78
FIGURA 46: DISPOSITIVOS DE DRENAGEM OBSTRUÍDOS.....	79
FIGURA 47: CAIXA DE PASSAGEM DE FIAÇÃO	79
FIGURA 48: REPARO NO PRIMEIRO VÃO DA PONTE SENTIDO MIRACEMA/LAJEADO.....	80
FIGURA 49: REPARO NO VÃO CENTRAL DA PONTE E JUNTA DE DILATAÇÃO	80

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO RELATIVOS A FISSURAÇÃO A SEREM VERIFICADOS PARA CADA TIPO DE PROTENSÃO	31
TABELA 2: ALGUMAS PONTES COM PROTENSÃO NO EXTRADORSO CONSTRUÍDAS ATÉ 2001 .	42

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: GRÁFICO COM AS PRINCIPAIS ORIGENS DE PATOLOGIAS NO BRASIL. FONTE: SILVA E JONOV (2011).....	48
QUADRO 2: CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL (CAA). FONTE: NBR 6118/2014.....	54
QUADRO 3: CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL (CAA) E ESPESSURA DO COMPRIMENTO NOMINAL FONTE: NBR 6118/2014.....	55
QUADRO 4: LIMITE DE ABERTURA DE FISSURA EM FUNÇÃO DAS CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL	58
QUADRO 5: MODELO DE FICHA DE CLASSIFICAÇÃO DA OAE (FONTE: ABNT, 2019)	62
QUADRO 6: CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS SEGUNDO A RELEVÂNCIA NO SISTEMA ESTRUTURAL	63
QUADRO 7: CLASSIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DA OAE SEGUNDO PARÂMETROS ESTRUTURAL, FUNCIONAL E DE DURABILIDADE	64

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira De Normas Técnicas
Ca(OH) ₂	Hidróxido De Cálcio
CaCO ₃	Carbonato De Cálcio
CO ₂	Gás Carbônico
DNER	Departamento Nacional De Estradas De Rodagem
DNIT	Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes
fck	Resistência Característica Do Concreto
Kg	Quilogramas
NBR	Norma Brasileira Registrada
OAE	Obra de Arte Especial
pH	Potencial Hidrogeniônico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	16
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	17
1.3	JUSTIFICATIVA	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	CONCEITOS	18
2.1.1	<i>Vida Útil</i>	18
2.1.2	<i>Durabilidade</i>	18
2.1.3	<i>Deterioração</i>	19
2.1.4	<i>Desempenho</i>	19
2.1.5	<i>Manutenção</i>	20
2.2	OBRAS DE ARTE ESPECIAIS (OAE)	21
2.2.1	<i>Superestrutura</i>	23
a)	Barreiras, Guarda-Corpo e Guarda-Rodas	24
2.2.2	<i>Mesoestrutura</i>	25
a)	Aparelhos de Apoio	25
b)	Encontros	26
2.2.3	<i>Infraestrutura</i>	27
2.3	TIPOS DE PONTES	27
2.3.1	<i>Generalidades</i>	27
2.3.2	<i>Pontes de Concreto Protendido</i>	30
a.	Protensão Interna Aderente	32
b.	Protensão Interna Não Aderente	32
c.	Protensão Externa	33
d.	Construção de Pontes de Concreto pelo Método dos Balanços Sucessivos	34
2.3.3	<i>Pontes Estaiadas</i>	38
2.3.4	<i>Pontes com Protensão no Extradorso</i>	40
1.	Ponte Odawara Blueway	42
2.	Pontes Kiso River e Ibi River	43
3.	Ponte sobre o Rio Acre	44
4.	Ponte da Integração Brasil - Peru	45
2.4	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	46
2.4.1	<i>Etapas da Construção Civil e Origens das Patologias</i>	47

2.4.2	<i>Tipos de Patologias e suas ocorrências</i>	49
a)	Infiltrações e Danos por Umidade	50
b)	Lixiviação	51
c)	Carbonatação	52
d)	Corrosão das Armaduras	53
e)	Recalques Diferenciais de Fundação	57
f)	Fissuração	58
g)	Vazios de Concretagem	59
h)	Problemas de Juntas de Dilatação	60
i)	Taludes	61
j)	Drenagem	61
2.5	INSPEÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS - NBR 9452/2019	62
2.5.1	<i>Inspeção Cadastral</i>	65
2.5.2	<i>Inspeção Rotineira</i>	65
2.5.3	<i>Inspeção Especial</i>	66
2.5.4	<i>Inspeção Extraordinária</i>	66
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	67
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO	67
3.2	OBJETO DE ESTUDO	67
3.3	MÉTODO DE PESQUISA	69
3.4	INSPEÇÕES	71
3.5	ANALISE DE DADOS	72
3.6	CRITÉRIOS DE DEFINIÇÃO DE NOTAS DE CLASSIFICAÇÃO	72
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
4.1	SUPERESTRUTURA	73
4.2	MESOESTRUTURA	74
4.3	INFRAESTRUTURA	76
4.4	ELEMENTOS COMPLEMENTARES	77
4.5	NOTAS	81
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	82
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
	APÊNDICE	86

1 INTRODUÇÃO

Segundo MATHIVAT(1988) as pontes com protensão extradorsal é uma novidade quanto em conceituação de estrutura, sendo uma alternativa intermediária entre a ponte de concreto com protensão.

Apesar de se assemelhar com a morfologia estrutural de uma moderna ponte estaiada, as alturas superiores no tabuleiro e torres menores possibilitam agregar a aplicação de tirantes aos benefícios do concreto protendido.

Em 1994 ocorreu a utilização pioneira deste modelo estrutural, com a construção da ponte Odawara Blueway no Japão (Figura 1). De lá para cá, diversas pontes tem sido edificadas com a mesma técnica, onde vale frisar a Kiso River no Japão, que tem o vão principal de 275 m, e as pontes sobre o Rio Acre e a integração Brasil-Peru, que foram as pioneiras construídas no Brasil com protensão extradorsal.



Figura 1: Ponte Odawara Blueway, Japão 1994
(Fonte: https://www.wikiwand.com/en/Extradosed_bridge)

Um aspecto estético bastante interessante é proporcionado pela limitada altura da torre em relação ao vão, principalmente em lugares onde não se deseja que a ponte não entre em conflito com a paisagem ao seu redor. Além de que em locais onde há navegação são necessários grandes vãos livres e locais próximos a aeroportos essa solução se mostrar ideal.

Desta desenvolvimento deu-se a evolução tecnológica e a aquisição de um entendimento mais aperfeiçoados acerca das estruturas e tudo aquilo que as rodeiam. Tal compreensão incluiu, em meio a tantos, o aprendizado e investigação de erros acometidos nas construções e suas consequências degenerantes nas estruturas.

A aprendizagem e investigação destes erros se dá o nome de patologias. Os erros em si, são intitulados manifestações patológicas. Estas são, em sua maioria, proveniente de falhas em projeto, má execução, desmazelo na gestão, má utilização pelo usuário, uso de materiais de má qualidade, ausência de manutenção, entre outros.

1.1 Problema de Pesquisa

As obras de arte de engenharia concebidas para uma longa vida útil, em função das necessidades atuais de tráfego acabam sendo submetidas a situações diversas como: sobrecargas não previstas, ações das intempéries, necessidade de alargamento de pistas e, sobretudo a falta de manutenção.

Através da revisão bibliográfica sobre o assunto, estudos de caso e a busca do conhecimento junto a especialistas da área, este trabalho de pesquisa se propõe a responder o seguinte problema de pesquisa: atualmente qual será o estado de conservação da Ponte dos Imigrantes Nordestinos “Padre Cicero José de Sousa”? Localizada na TO – 445, entre os municípios de Miracema do Tocantins - TO e Lajeado - TO.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o estado de conservação em Obras de Arte Especiais, sob a ótica da nova norma de inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto, NBR 9452 (ABNT, 2019), através da realização de um estudo de caso em uma ponte localizada entre os municípios de Miracema do Tocantins – TO e Lajeado-TO.

1.2.2 Objetivos Específicos

A fim de contribuir no alcance do objetivo principal, objetivos secundários foram definidos.

- Realizar inspeções visuais de acordo com metodologia da NBR 9452/2019
- Relatar e quantificar as patologias encontradas na vistoria
- Determinar a condição da estrutura através dos critérios da NBR 9452/2019

1.3 Justificativa

Encarregada de possibilitar e contribuir com o tráfego de veículos em nossas rodovias, as obras viárias tem grande participação na economia de um país. No entanto é comum que ocorram patologias nas obras de arte especiais, e podem haver alguns contra tempos, como interrupção do tráfego, o que gera grande prejuízo aos que dependem desta obra, sem contar no valor empregado para a recuperação das mesmas ou até o reparo da estrutura. .

Embora exista uma evolução na construção de pontes com protensão no extradorso, até agora se encontram poucos trabalhos disponíveis e, assim mesmo, estes são incompletos e com dados não difundidos. Conseqüentemente, compete aos estudos científicos preencher essa lacuna. É de suma importância demonstrar os benefícios e as dificuldades desta técnica, no objetivo de orientar os engenheiros de pontes nas tomadas de decisões que norteiam o projeto desse tipo de obra de arte. Pois alguns fatores contribuem para ao aparecimento das manifestações patológicas, como falta de manutenção, ausência de inspeção profissional, baixa qualidade na execução de projeto, entre outros. Devem então ser aplicadas os conceitos adequados, em toda etapa construtiva, para que sejam minimizadas ou até mesmo extintas as ocorrências patológicas.

Então, é de tamanha importância este estudo, onde os resultados encontrados neste trabalho, terão benfeitorias primordiais para a melhor aprendizagem científica acerca das manifestações patológicas, diagnósticos e seus critérios de classificação de acordo com a NBR 9452.

Pois aborda as principais patologias existentes em pontes de protensão no extradorso – caso da Ponte dos Imigrantes Nordestinos “Padre Cicero José de Sousa”, assim como os meios de investigação e técnicas para realização de diagnósticos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceitos

2.1.1 Vida Útil

A vida útil é usualmente definida como o período de tempo durante o qual as estruturas de concreto mantêm condições satisfatórias de uso, atendendo as finalidades esperadas em projeto.

Existe uma proximidade entre os conceitos de vida útil e durabilidade que, às vezes, leva à utilização equivocada dos termos. Pode-se considerar que a vida útil é a quantificação da durabilidade que se supõe ser apenas uma qualidade da estrutura. A vida útil pode também ser entendida como o período de tempo durante o qual a estrutura é capaz de desempenhar bem as funções para as quais foi projetada (DA SILVA, 2001).

A vida útil da construção como um todo depende igualmente do comportamento dos elementos estruturais de concreto armado e dos demais componentes incorporados à estrutura, porém, sem função estrutural (BRANDÃO, 1999).

2.1.2 Durabilidade

ISAIA (2001) ensina que, no sentido estrito do termo, a durabilidade dos materiais está ligada à sua capacidade de se conservar em determinado estado, com a mesma qualidade ao longo de um dado tempo. De outra forma, é a resistência de um material ou elemento da construção à deterioração ou degradação. Este conceito, diz o autor, está intimamente conectado com o de desempenho que é o comportamento de um produto em serviço (em utilização), sob condições de real funcionamento ou uso, com pleno atendimento às exigências do usuário.

De forma semelhante, para NEVILLE (2001), a durabilidade significa que uma dada estrutura de concreto terá desempenho contínuo satisfatório, para as finalidades para as quais foi projetada, isto é, que manterá sua resistência e condições normais de serviço durante a vida útil especificada ou esperada. ISAIA (2001) afirma que esta definição implica no conhecimento dos processos de deterioração aos quais, um dado concreto, estará exposto nas condições ambientais reais da estrutura, durante o seu tempo de duração.

2.1.3 Deterioração

De acordo com Souza e Ripper (1998), ao longo do tempo o concreto tem suas propriedades químicas e físicas alteradas, causados por agentes externos em seus componentes. É chamado de deterioração, as consequências dessas alterações que diminuem em uma edificação o seu desempenho.

Podem-se distinguir outros tipos de deterioração, como, por exemplo, os desencadeados por processos biológicos ou, ainda, eletroquímicos, como é o caso da corrosão de armaduras embutidas nos concretos.

2.1.4 Desempenho

Os tempos modernos ditaram a certeza de que o concreto, é instável ao longo do tempo como material de construção, alterando suas propriedades físicas e químicas em função das características de seus componentes e das respostas destes às condicionantes do meio ambiente

Segundo Souza e Ripper (1998), entende-se por desempenho o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e a sua medida relativa espelhará, sempre, o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção.

Por outro lado, o fato de uma estrutura em determinado momento apresentar-se com desempenho insatisfatório não significa que ela esteja necessariamente condenada. A avaliação desta situação é, talvez, o objetivo maior da Patologia das Estruturas, posto que esta é a ocasião que requer imediata intervenção técnica, de forma que ainda seja possível reabilitar a estrutura.

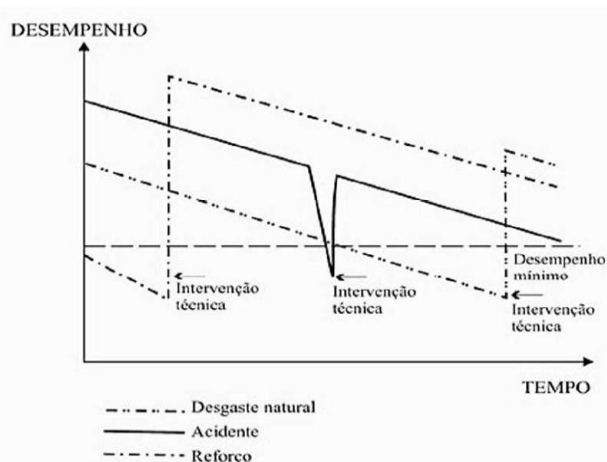


Figura 2: Diferentes desempenhos de uma estrutura (Fonte: Souza e Ripper, 1998).

Na Figura 2 são representadas, genericamente, três diferentes histórias de desempenhos estruturais, ao longo das respectivas vidas úteis, em função da ocorrência de fenômenos patológicos diversos.

No primeiro caso, representado pela curva traço-duplo ponto, está ilustrado o fenômeno natural de desgaste da estrutura. Quando há a intervenção, a estrutura se recupera, voltando a seguir a linha de desempenho acima do mínimo exigido para sua utilização.

No segundo caso, representado por uma linha cheia, trata-se de uma estrutura sujeita, a dada altura, a um problema súbito, como um acidente, por exemplo, que necessita então de imediata intervenção corretiva para que volte a comportar-se satisfatoriamente.

No terceiro caso, representado pela linha traço-monoponto, tem-se uma estrutura com erros originais, de projeto ou de execução, ou ainda uma estrutura que tenha necessitado alterar seus propósitos funcionais, situações em que se caracteriza a necessidade de reforço.

2.1.5 Manutenção

Para Souza e Ripper (1998), entende-se por manutenção de uma estrutura o conjunto de atividades necessárias à garantia do seu desempenho satisfatório ao longo do tempo, ou seja, o conjunto de rotinas que tenham por finalidade o prolongamento da vida útil da obra, a um custo compensador.

Um bom programa de manutenção implica definição de metodologias adequadas de operação, controle e execução da obra, e na análise custo-benefício desta manutenção.

Aconselha-se notar que, dentre a caracterizada revolução modernista da construção civil, uma novidade, em termos de responsabilidades, é a presença do usuário como elemento participante da última etapa, que é a de utilização, contribuindo assim para a garantia de desempenho, ou para a durabilidade da construção.

Em termos de manutenção fica clara a co-responsabilização, pois proprietário, investidor e usuário deverão sempre estar dispostos a suportar o custo com o sistema de manutenção concebido pelos projetistas, que deverá ter sido respeitado e viabilizado pelo construtor. A base deste sistema, aliás, será o conjunto de inspeções rotineiras, em que o usuário será figura preponderante.

2.2 Obras de Arte Especiais (OAE)

Obras de arte especiais são estruturas que têm a finalidade de transpor obstáculos, tais como avenidas, vales, rios, entre outros. Quando construídas sobre cursos d'água, são denominadas pontes; sobre avenidas ou vales secos, viadutos.

Essas construções estão submetidas às ações externas provenientes de cargas móveis de veículos, forças devido ao vento, ação das águas de rios que incidem nas mesoestruturas e infraestruturas, variações de temperatura, retração e fluência no caso do concreto.

Além disso, estão construídas em ambientes sujeitos a diversos tipos de classes de agressividade, conforme é apresentado na ABNT NBR 6118:2014, desde as mais fracas até locais com agressividade muito forte.

Segundo Pfeil (1979), a maioria das pontes, do ponto de vista funcional, são divididas em três partes principais, sendo elas superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura.

Vitório (2002) define cada um desses componentes como:

- A superestrutura consiste nos elementos estruturais da porção superior da ponte, cuja função é receber e resistir aos esforços do tráfego e, na sequência transmiti-los para a mesoestrutura. Visto isso, a superestrutura engloba o tabuleiro e as lajes e vigas da ponte.
- Mesoestrutura trata-se do conjunto de elementos estruturais situados na porção média estrutural da ponte. Tais elementos possuem a função de transmitir os esforços da superestrutura para a infraestrutura. A mesoestrutura é formada por pilares, aparelhos de apoio, travessas e encontros e, na maioria dos casos, ela está sujeita a consideráveis esforços externos por conta da ação da água e do
- Infraestrutura corresponde a porção inferior da ponte, isto é, à fundação, representada pelos elementos responsáveis por distribuírem as cargas provenientes da mesoestrutura e da superestrutura para o terreno. Visto isso, a infraestrutura é constituída por blocos, sapatas, estacas, tubulões, etc.

Na (Figura 3) está ilustrada a disposição destas estruturas em uma OAE.

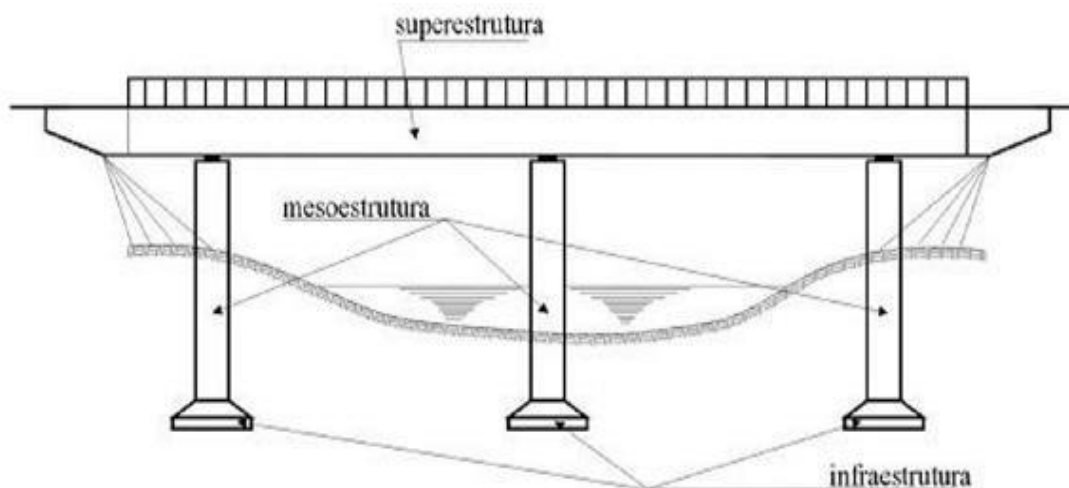


Figura 3: Elementos componentes de uma ponte
(Fonte: Vitório, 2002)

Segundo Pfeil (1979), são cinco os principais tipos de sistemas construtivos de pontes, sendo as pontes estaiadas, em arco, em viga, pontes treliçadas e suspensas. As pontes construídas inteiramente em concreto armado são do tipo viga ou arco.

Neste estudo, o objeto principal foram pontes estaiadas com protensão no extradorso, que é um dos estilos mais modernos de construção e esta presente em muitas obras viárias brasileiras.

De acordo com Pfeil (1983), denominam-se pontes estaiadas aquelas em que os cabos são angulados simétricos e são conectados da plataforma direto a torre da ponte, portanto existem forças horizontais e verticais. A força vertical tem que ser superior a horizontal para assegurar a estabilidade da ponte.

A quantidade de cabos necessária é menor, comparando com a citada anteriormente, pois as torres de suporte são mais curtas. Além disso, os cabos não percorrem a plataforma da ponte integralmente.

Esse modelo é mais pesado pela necessidade de compensação de forças. Por outro lado, a estabilidade de pontes estaiadas é maior, graças a sua rigidez que reduz o balanço da plataforma.

2.2.1 Superestrutura

A superestrutura segundo (Vitorio, 2002), vence o vão necessário a ser transposto pela ponte e recebe diretamente as cargas provenientes do tráfego dos veículos, transmitindo-as à mesoestrutura. É normalmente denominada de tabuleiro ou estrado, sendo composta de vigamento longitudinal (vigas principais ou longarinas), de vigamento transversal (transversinas) e das lajes superior, e inferior (no caso de estrado celular).

Conforme (Quadros, 2013), a superestrutura de uma ponte pode ter sua seção de duas formas: seção aberta e a celular. A seção aberta, mais conhecida como T ou I é composta por longarinas, transversinas e lajes, que agem em conjunto formando uma grelha. A seção celular conhecida por caixão é composta por uma única peça grande que possui uma distribuição uniforme de cargas em toda sua seção.

Estas diferentes seções transversais estão representadas nas Figuras 4 e 5.

Vigas T

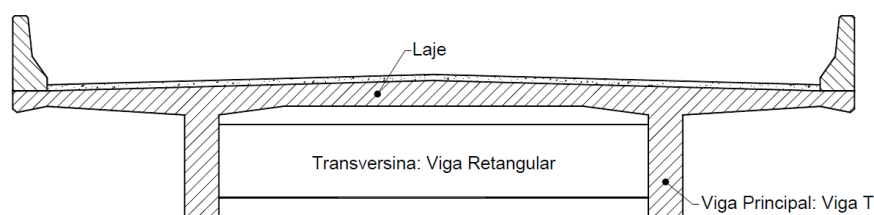


Figura 4: Seção transversal de uma ponte tipo Viga T
(Fonte: Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, DNIT, 2004)

Quando uma viga de concreto armado é moldada monoliticamente com a laje (de forma que laje e viga possam ser consideradas um único elemento), uma largura específica da laje pode ser considerada como parte da viga, formando assim as abas da seção T.

Quando a viga for solicitada por momentos positivos, a porção superior da viga é submetida a compressão. Dessa forma, o acréscimo na seção de concreto nessa região tem sua eficácia otimizada. A seção T é, então, considerada mais eficiente que a seção retangular, pois reduz a quantidade de concreto na zona tracionada da viga, onde este é ineficiente.

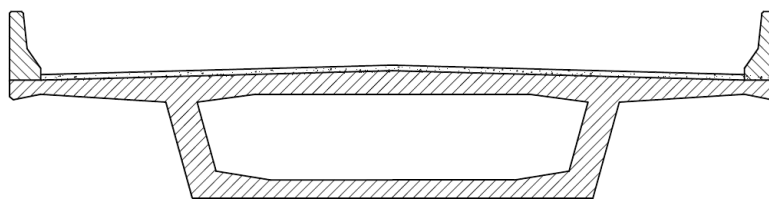


Figura 5: Seção transversal de uma ponte tipo Seção-Caixão
(Fonte: Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, DNIT, 2004)

2.2.2 Mesoestrutura

Conforme (Pfeil, 1979), a mesoestrutura das pontes é constituída dos pilares, cuja função consiste em transmitir as cargas da superestrutura (estrado) para a infraestrutura (fundações).

Constituída pelos pilares, é o elemento que recebe os esforços da superestrutura e os transmite à infraestrutura, em conjunto com os esforços recebidos diretamente de outras forças solicitantes da ponte, tais como pressões do vento e da água em movimento.

a) Aparelhos de Apoio

Segundo (Vitorio, 2002), a transmissão das cargas do tabuleiro para os pilares ou encontros se dá através de elementos de transição denominados aparelhos de apoio. Eles podem permitir alguns movimentos na estrutura e impedir outros, conforme o tipo de obra.

Os aparelhos de apoio podem ser classificados em fixos, móveis e elastoméricos.

Os aparelhos fixos permitem movimentos de rotação e impedem os de translação, transmitindo esforços verticais e horizontais. São utilizados na forma de articulações de concreto, também conhecidos como articulações Freyssinet.

Os aparelhos móveis permitem movimento de rotação e translação horizontal, transmitindo apenas esforços verticais. São constituídos por pêndulos de concreto ou rolos metálicos.

Os apoios elastoméricos são aparelhos elásticos de borracha fretada (Neoprene) que permitem pequenos movimentos horizontais e rotações. São constituídos de camadas de Neoprene coladas a chapas metálicas de pequena espessura.

Devido às propriedades de elasticidade, à elevada resistência e à grande durabilidade, os aparelhos de apoio de Neoprene têm-se firmado cada vez mais como a melhor solução para os projetos de pontes rodoviárias.



Figura 7: Aparelhos de apoio no topo dos pilares de uma OAE
(Fonte: Quadros, 2013)

b) Encontros

De acordo com (Pfeil, 1979), os encontros, considerados por alguns engenheiros como constituintes da mesoestrutura, e por outros como fazendo parte da infraestrutura, são elementos de características extremamente variáveis, cuja função principal é receber o empuxo dos aterros de acesso e evitar sua transmissão aos demais elementos da ponte.

Para (Debs e Takeya, 2003), encontros, apesar de imprescindíveis em algumas pontes, podem ser dispensados em viadutos e em pontes cujos aterros de acesso não apresentam perigo de erosão pelo curso d'água. Nesses casos, o estrado apresenta extremos em balanço e, geralmente, os pilares extremos ficam sujeitos a empuxo dos aterros de acesso.

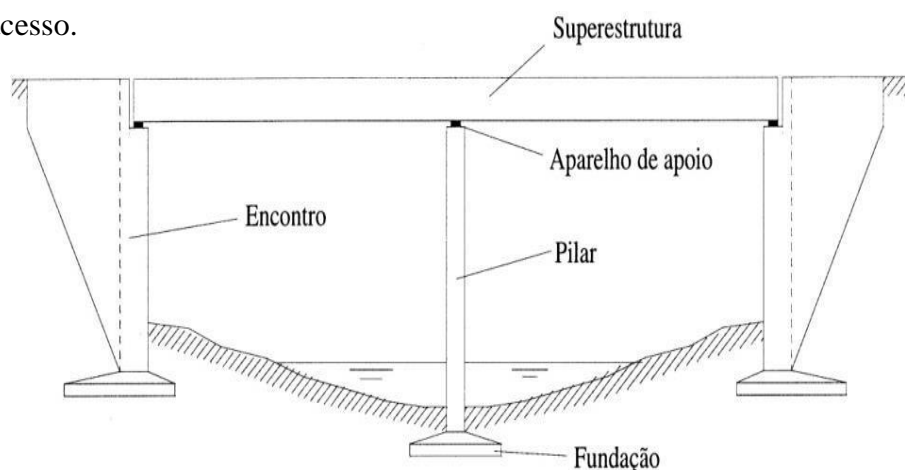


Figura 8: Representação de um Encontro
(Fonte: Debs e Takeya, 2003)

2.2.3 Infraestrutura

A Infraestrutura, ou fundação, tem a finalidade de receber as cargas da estrutura, transmitindo-as para o solo. Pode ser direta (sapatas) ou profunda (estacas ou tubulões).

A infraestrutura ou fundação de uma ponte pode ser do tipo superficial ou profunda.

Segundo Pfeil (1983), a escolha do tipo de fundação depende de diversos fatores que precisam ser analisados na fase do projeto, sendo, porém, de fundamental importância o conhecimento do tipo de solo do local onde será executada a obra.

2.3 TIPOS DE PONTES

2.3.1 Generalidades

As pontes estaiadas e de concreto protendido, tem sido bastante difundidas no meio técnico nos últimos anos. Devido ao domínio da tecnologia aplicada nesses modelos, a criação de novas configurações tem sido permitidas, onde encontramos pontes com qualidades estéticas cada vez melhores, graças a liberdade na elaboração e desenvolvimento de seus projetos.

Isso pode ser visto em uma tipologia estrutural nova: as pontes com protensão extradorsal.

Pioneira em termos de evolução, a ponte Ganter é uma ponte rodoviária de concreto armado que é a ponte mais longa da Suíça. Foi projetado pelo renomado engenheiro civil suíço Christian Menn e concluído em 1980. A forma da ponte consiste em uma curva em S bem acima do rio Ganter, a uma altitude de cerca de 1.450 m acima do nível do mar. Duas torres principais e cinco pilares menores suportam um total de oito vãos.

O seu desenho único, combinando elementos de ponte estaiada e ponte de viga em caixão protendido, com paredes triangulares de betão acima da estrada que contém os esteios protendidos, foi galardoado com vários prémios.



Figura 9: Ponte Ganter, Suíça, 1980.
(Fonte: Google Imagens)

O sistema clássico de protensão do concreto é permitido pela utilização dos painéis de concreto. No entanto, algumas desvantagens são vistas nesse tipo de ponte, como o alto custo de montagem dos painéis e os cabos que não podem ser substituídos. Logo um número pequeno de pontes foi construída da mesma forma.

A influência da fadiga no projeto é desigual entre o sistema de cabos pós-tensionados convencionais e os estais.

A variação da tensão nos cabos em serviço é baixa em estruturas de concreto protendido e, geralmente, a reação à fadiga não é uma razão limitante. Porém, esta oscilação é elevada em pontes estaiadas, sendo necessário o uso dispositivos de ancoragens mais modernos e de uma tensão admissível relativamente baixa.

Então a fadiga é um ponto primordial para diferenciar os sistemas de cabos protendidos, que são divididos em três grupos fundamentais (Figura 10):

- (a) Excentricidade Pequena: Deslocamento do carregamento até os suportes é efetuado, sobretudo na viga por flexão. Tal como: protensão interna e externa no concreto protendido.
- (b) Moderada excentricidade: Deslocamento do carregamento

até os suportes é efetuado com a cooperação da viga à flexão e através da tração pelos cabos. Tal como: pontes com protensão extradorsal.

- (c) Grande excentricidade: Deslocamento do carregamento até os suportes é efetuado, sobretudo à tração pelo sistema de cabo. Tal como: Modernas pontes estaiadas.

Este conceito estrutural tem como aspecto diferencial das pontes estaiadas, torres mais baixas, indicadas para regiões onde a obra não deve entrar em choque com a paisagem natural, além de possuir tabuleiros mais rígidos, permitindo menores oscilações de tensões nos cabos externos. Com a ancoragem dos cabos extradorsos em torres, permite um aumento na excentricidade, melhorando os esforços de protensão.

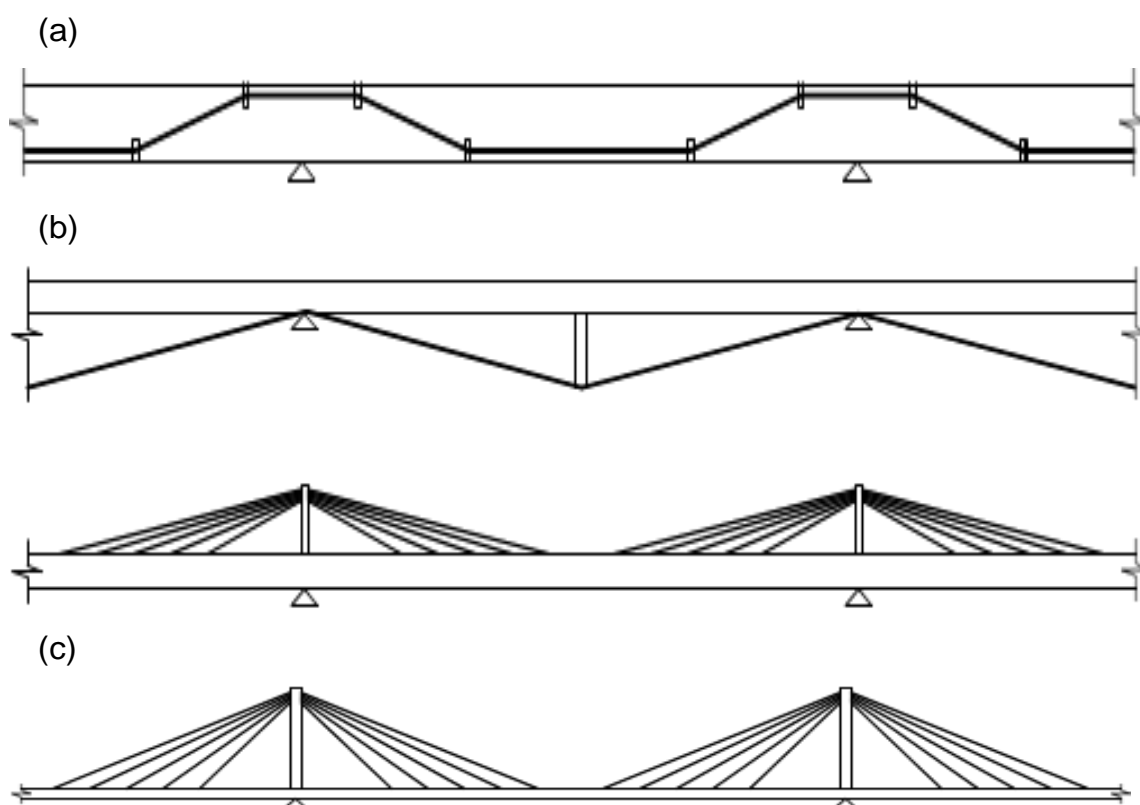


Figura 10: Sistemas de Cabos Protendidos de Pequena excentricidade(a), moderada excentricidade(b) e grande excentricidade(c).
(Fonte: Santos, 2006)

Este conceito estrutural permite construir estruturas mais extensas e esbeltas, fator que amplia, na maioria das vezes, a vibração e seus efeitos, tornando-a excessiva, sob a ação de alguns carregamentos, denominados de ordem dinâmica; aumentando as

preocupações quanto à estabilidade e segurança obrigando o engenheiro estrutural a analisar, com maior precisão, o comportamento dinâmico da ponte.

A realização de um estudo dinâmico em estruturas de grande porte é importante do ponto de vista do comportamento da estrutura. Os modelos computacionais, quando calibrados adequadamente, proporcionam uma análise muito próxima do comportamento em serviço da estrutura sob a ação de qualquer carregamento, possibilitando um melhor entendimento e dimensionamento da mesma.

De acordo com Deng e Cai (2009) diferentes tipos de veículo, velocidade e condições da superfície (pavimento) podem contribuir para diferentes comportamentos dinâmicos de uma ponte. Para uma ponte com determinada propriedade estrutural e determinada condição de pavimento, a propriedade mecânica (ou características dinâmicas) dos veículos que trafegam pela ponte afetará diretamente o desempenho dinâmico da estrutura.

2.3.2 Pontes de Concreto Protendido

O concreto protendido é o meio mais utilizado para aumentar a resistência à tração do concreto. Este método construtivo tem como objetivo melhorar o desempenho das estruturas utilizando todo o potencial do concreto à compressão, deixando os esforços de tração para a armadura.

A resistência à tração do concreto é muito menor que a resistência à compressão do concreto, ficando na ordem de apenas 10%, valor que normalmente é desprezado nos cálculos estruturais.

O uso do concreto protendido é bastante relevante em estruturas em que os esforços de flexão são elevados, já que este procedimento é utilizado para que a resistência do concreto seja maior.

Segundo (PEREIRA, 2018), o processo de protensão do concreto consiste em aplicar tensão nos cabos de aço antes da cura do concreto. A armadura sofre um pré-alongamento e produz um sistema autoequilibrado de esforços, sendo esse sistema a tração no aço e a compressão no concreto, aumentando a resistência do material sem grandes impactos de ações externas.

Há dois tipos de protensão no mercado, a protensão aderente e a protensão não-aderente. A protensão aderente compõe-se pelo uso de cabos em bainhas metálicas, podendo essas serem lisas ou onduladas, em que se faz a injeção da calda de cimento,

sendo possível ganhar o tanto de aderência que é preciso no sistema. A protensão não-aderente consiste na utilização de cabos engraxados e cobertos por bainhas de polietileno ou polipropileno, os dois de alta aderência, proporcionando proteção contra corrosão.

Tabela 1: Estados limites de serviço relativos a fissuração a serem verificados para cada tipo de protensão(NBR 6118, 2014)

Tipos de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações a ser verificada
Protensão parcial	ELS – W $w_k \leq 0,2 \text{ mm}$	Freqüente
Protensão limitada	ELS - F	Freqüente
	ELS - D	Quase permanente
Protensão completa	ELS - F	Rara
	ELS - D	Freqüente

Sendo que os estados limites de serviço são:

- Estado limite de abertura de fissuras (ELS – W): estado em que há uma grande probabilidade de iniciar-se a formação de fissuras de flexão. Este estado ocorre quando a tensão de tração máxima na seção transversa for igual à resistência à tração do concreto na flexão.
- Estado limite de formação de fissuras (ELS – F): É o estado em que há uma grande probabilidade de iniciar-se a formação de fissuras de flexão. Este estado ocorre quando a tensão de tração máxima na seção transversa for igual à resistência à tração do concreto na flexão.
- Estado limite de descompressão (ELS – D): corresponde a uma situação típica do concreto protendido, em que uma seção transversal, pré-comprimida pela ação da força de protensão, vai sendo descomprimida pela ação de outros carregamentos, até atingir o estado limite de descompressão.

a. Protensão Interna Aderente

Nesse método, antes de o concreto ser lançado, é passada uma bainha metálica corrugada, já contendo ou não os cabos. Essa bainha ajuda a realizar um bom traçado dos cabos. Quando já está tudo no lugar, o processo de pós-tração é executado normalmente: O concreto é lançado, e após a cura os cabos são tensionados.

Depois disso, a bainha é preenchida com graute (tipo de concreto indicado para preenchimento de vazios) para impedir que as cordoalhas se movimentem e para promover a aderência entre o concreto e os cabos. Esse processo precisa ser realizado cuidadosamente, pois podem ocorrer problemas como formação de bolsa de ar, entupimento causados por detritos, ou falhas na vedação das emendas e ancoragens da bainha.

b. Protensão Interna Não Aderente

O método não aderente é parecido com o aderente, porém, ao invés de utilizar uma bainha metálica, as cordoalhas são envolvidas por dutos plásticos de polietileno preenchidos com graxa. Essa graxa é responsável por impedir a aderência entre o concreto e os cabos, permitindo que eles sofram deformações de maneira independente um do outro. Como o aço e o concreto não têm aderência, toda a ancoragem é feita nas extremidades das peças, e por isso é necessário um cuidado especial no dimensionamento dos esforços que serão aplicados nessas regiões de ancoragem.

Esse método possui uma carga de ruptura menor que a aderente, porém, como não é necessário preencher o duto como no caso anterior, esse método se torna mais simples e mais barato, sendo muito utilizado em casos que não são necessárias cargas tão grandes como as aplicadas na protensão aderente.

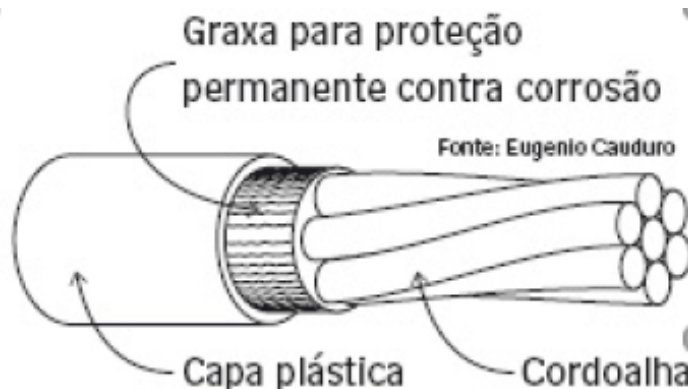


Figura 11: Sistema de Protensão não aderente
(Fonte: Eugenio Cauduro)

c. Protensão Externa

A ideia de introduzir esforços prévios no concreto não é recente. Em histórico apresentado por Leonhardt (1983) são relatadas tentativas de pré-tensionar o concreto ainda em 1886. Desde então foram várias tentativas, acompanhadas de registros de patentes, que não foram bem sucedidas essencialmente por causa de fenômenos ainda não bem entendidos, tais como a fluência e a relaxação. Esses dois fenômenos foram pesquisados por Eugène Freyssinet, que patenteou, em 1928, um sistema de protensão com tensões no aço superiores a 400 MPa. Durante a Segunda Grande Guerra houve alguns avanços, mas somente após o ano de 1949 o desenvolvimento do concreto protendido mostrou desenvolvimento considerável, principalmente por sua aplicação em pontes e em grandes estruturas.

Atualmente grande parte das variáveis que influem no desempenho das estruturas protendidas, como as propriedades reológicas do concreto endurecido, a relaxação dos aços de protensão, as perdas por encunhamento etc., estão em um patamar de conhecimento elevado, possibilitando a previsão das flechas ao longo do tempo com relativa exatidão. Essa previsão de resposta da estrutura ao longo do tempo é determinante para a correta execução de pontes em balanços sucessivos com aduelas moldadas no local, onde uma previsão incorreta pode ter consequências de difícil correção, como no caso dos balanços não se encontrarem ao final da construção.

Cánovas (1988) aponta algumas vantagens da tecnologia de protensão externa para reforços de estruturas já em uso. Uma delas é o fato de não necessitar que a estrutura seja descarregada para que seja realizado o reforço. Com a protensão, é possível fazer a transposição dos esforços do elemento estrutural para os cabos de protensão.

De acordo com Souza e Ripper (1998), essa técnica é na realidade uma pós-tensão quando aplicada como instrumento de reforço e que requer meios próprios de dimensionamento. Outras técnicas de reforço, como a colagem de chapas metálicas, o encamisamento e a fixação de perfis estruturais, exigem que o elemento reforçado seja descarregado, pelo menos em parte.

De acordo com Cánovas (1988), em técnicas como as citadas anteriormente, o novo material garante a estabilidade da estrutura, mas não são eficazes a não ser que haja novas deformações do conjunto, uma vez que deformações exageradas podem inviabilizar a utilização do elemento estrutural. Ou seja, é necessário que haja

deformações para que os materiais de reforço sejam solicitados e passem a contribuir para o correto funcionamento da estrutura.



Figura 12: Ponte Arbois - França, 1985.
(Fonte: <https://structurae.net>)

d. Construção de Pontes de Concreto pelo Método dos Balanços Sucessivos

O balanço sucessivo é uma técnica inventada no Brasil e aplicada quando é preciso vencer vãos de 60 a 240 m em locais com restrições para a implantação de escoramentos. O processo tem aplicação quando a altura da ponte em relação ao terreno é muito grande ou quando é preciso transpor vias de tráfego intenso em perímetros urbanos. Outro uso importante é na execução de tabuleiros em pontes estaiadas.

Também conhecido como balanço progressivo e avanço sucessivo, o método foi criado nos anos 1930 pelo engenheiro Emilio Baumgart para o projeto da ponte sobre o Rio do Peixe, em Santa Catarina. Desde então, graças a avanços tecnológicos como o desenvolvimento de concretos de alto desempenho e de ferramentas computacionais para

avaliação do comportamento das estruturas, as pontes construídas por essa metodologia tornaram-se mais seguras, com maior capacidade de suporte de carga admissível e com menor peso próprio.

Construída em 1930, com um vão central de 68m. Esta ponte (Figura 13) foi destruída pela enchente que ocorreu na região em 1983.

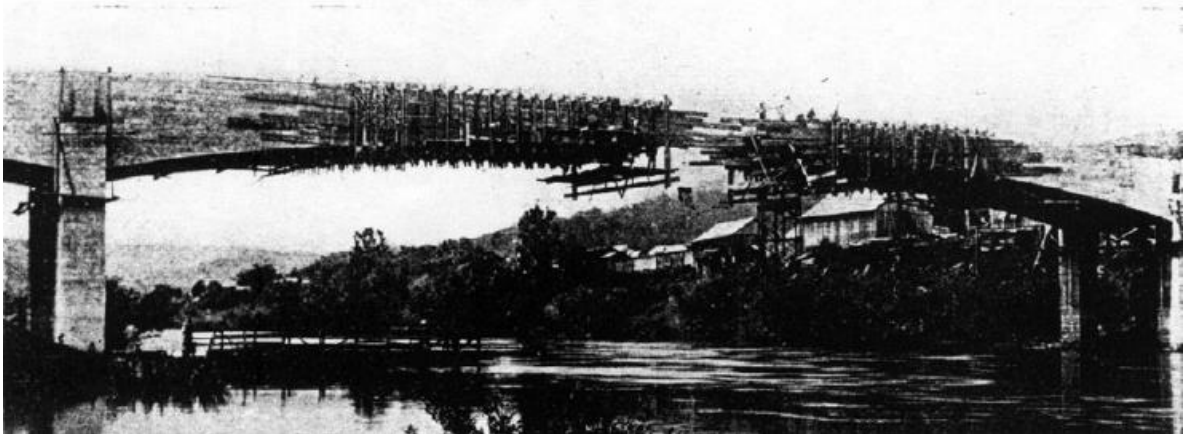


Figura 13: Primeira ponte construída por meio de balanços sucessivos sobre o rio Peixe, SC
(Fonte: www.sh.com.br)

O Balanço Sucessivo é um método de concretagem em *in loco* para a execução de pontes e viadutos em concreto armado ou mais comumente concreto protendido.

Este sistema é utilizado quando existem obstáculos que inviabilizem de alguma maneira a execução de escoramentos apoiados. Estes obstáculos podem ser rios, lagos, desfiladeiros ou rodovias. Existe ainda a necessidade de se construir vãos de grandes comprimentos que seriam inviáveis em construções pré-moldadas inteiras.

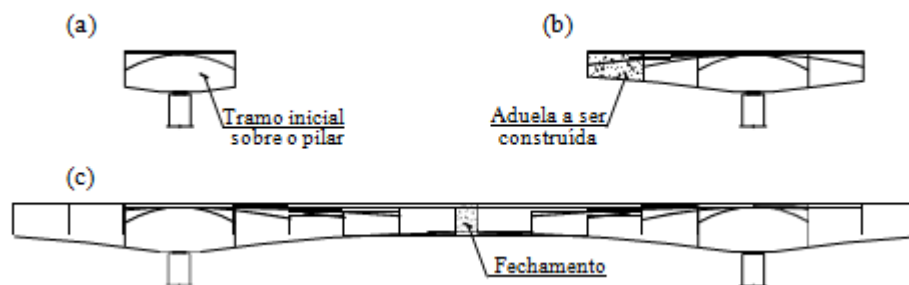


Figura 14: Construção por balanços sucessivos (ponte em viga),
(a) tramo inicial, (b) fase intermediária e (c) fechamento do vão.

O processo consiste na construção da obra em balanços que avançam sobre o obstáculo. Este método tem grande vantagem sobre outras formas de construção em áreas urbanas, onde escoramentos temporários podem interromper o tráfego, em

desfiladeiros profundos e cursos de água onde a utilização não só seria cara, como também perigosa.

Geralmente, a execução ocorre de forma simétrica em relação ao próprio apoio até metade dos vãos adjacentes a ele, logo depois o vão é fechado, não havendo assim a necessidade de se utilizar articulações centrais; esse procedimento é, então, repetido para os vãos vizinhos. Ocorrem, assim, poucos momentos de equilíbrio podendo-se projetar os dispositivos de engastamento no apoio, sempre exigidos no processo, de uma maneira mais econômica (Dnit, 1996).

Quando os balanços são desiguais, ou se pretende partir de um apoio para os seguintes em execução contínua, é usual a utilização de apoios provisórios intermediários ou estais ajustáveis ao desenvolvimento do vão, suportados por torres provisórias e ancorados no apoio anterior (Dnit, 1996).

Os seguimentos de aduela podem ser concretados no local ou podem ser pré-moldadas. No método executivo feito no local, a concretagem é executada através de formas deslocáveis em balanço, suportadas pelos trechos já concluídos (Dnit, 1996).

No caso das aduelas pré-moldadas, estas são moldadas contra a face frontal da aduela imediatamente anterior, de modo a obter-se o maior ajustamento possível nas superfícies a serem ligadas futuramente (Dnit, 1996).

As aduelas podem ser concretadas no local (solução mais usual) ou serem pré-moldadas. No primeiro caso, a concretagem é executada em fôrmas metálicas deslocáveis em balanço e suportadas pelos trechos já concluídos. Terminada a cura, as aduelas são protendidas.

No caso dos segmentos pré-moldados, a ligação entre as peças se dá por cabos de protensão com o auxílio de cola polimerizável à base de resina epóxi. Nesse sistema é possível reduzir o prazo final da obra, uma vez que a fabricação das aduelas ocorre simultânea à execução da infraestrutura e da mesoestrutura.

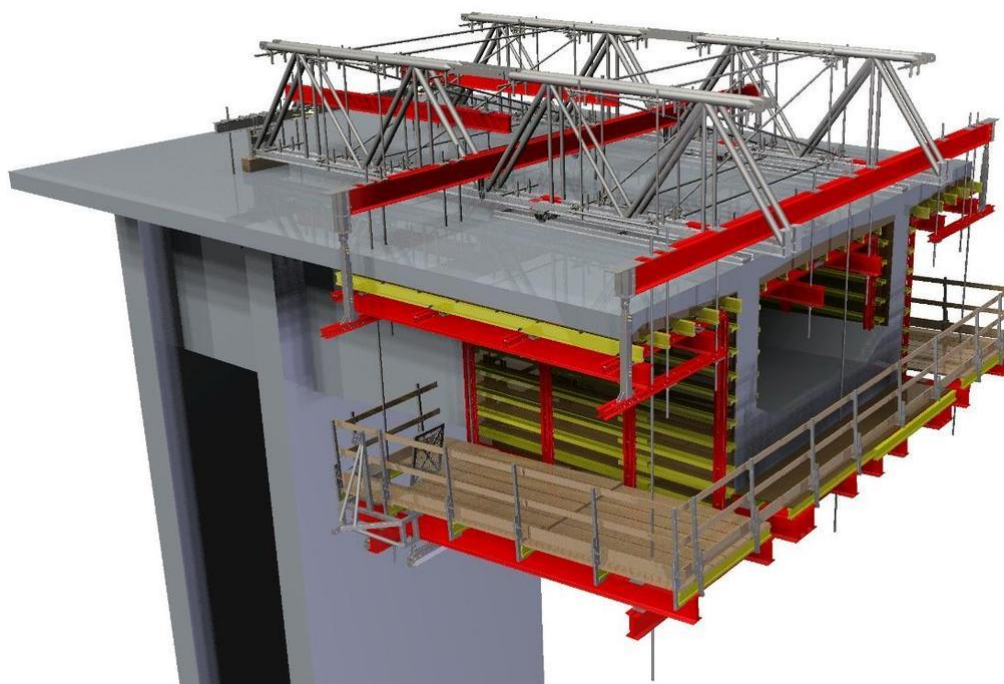


Figura 15: Execução de balanço sucessivo com aduelas pré-moldadas
(Fonte: SH Formas, 2015)

Parte ou todos os cabos definitivos podem ser passados em seguida e protendidos em aberturas deixadas nas aduelas, fora das juntas, permitindo maior capacidade e autonomia das operações de montagem de protensão definitiva. Essa, no que lhe concerne, e também a operação de injeção dos cabos, podem assim, ser efetuadas no interior do caixão, com maior conforto, segurança e controle. É possível, também, executar os vãos continuamente, sem obedecer à simetria sem relação aos diversos apoios, através de solução em estais provisórios (Dnit, 1996).

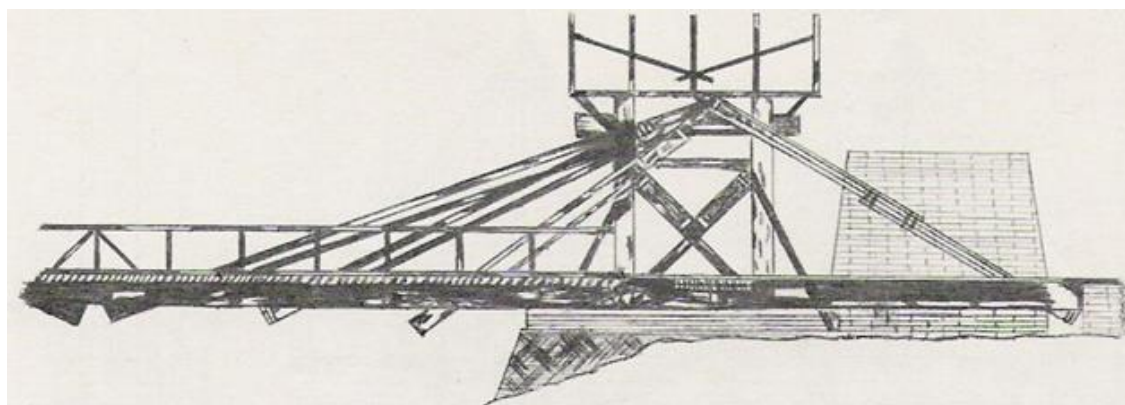
Estruturalmente, a diferença entre os processos em aduelas pré-moldadas e aduelas concretadas no local reside essencialmente na grande dificuldade de, no primeiro caso, prover as juntas de armadura passiva, destinada a manter a homogeneidade da seção transversal no controle da fissuração da peça; daí resulta a necessidade de serem projetadas seções com protensão completa, aumentando o consumo de materiais (Dnit, 1996).

O número e o comprimento das treliças são determinados em função da geometria e peso da aduela a ser concretada. Os vigamentos transversais e os pendurais são também dimensionados em função da aduela (Dnit, 1996).

2.3.3 Pontes Estaiadas

O princípio estrutural das pontes estaiadas vem de longa data. As estruturas suportadas por correntes, cabos ou cordas tem se mostrado uma solução interessante desde as antigas civilizações até a atualidade.

Inúmeros estudos e tentativas foram feitos ao longo da história, mas as primeiras tentativas de se construir uma ponte estaiada propriamente dita foram em meados de 1784, com o projeto do carpinteiro alemão C. T. Lescher, o qual projetou uma ponte com estrutura estaiada inteiramente em madeira, conforme mostra a figura a seguir (MATHIVAT, 1980).



**Figura 16: Ponte projetada por Löscher, Alemanha em 1784
(Fonte: POLDONY; SCALZI, 1976).**

Com o avanço das ligas metálicas, essas soluções começaram a se tornar mais viáveis e capazes de suportar maiores esforços e, como consequência, maiores vãos.

Com isso, o século XVIII foi marcado pelo surgimento das pontes estaiadas modernas, construídas nos Estados Unidos e na Inglaterra.

Apesar de diversas estruturas apresentarem um comportamento estrutural dentro do esperado, ocorreram alguns acidentes que foram decisivos para que essa técnica fosse abandonada durante anos.

O aperfeiçoamento das pontes estaiadas ocorreu ao mesmo tempo que as pontes pênséis, uma vez que elas tinham o mesmo problema: como garantir um conjunto rígido e estável o bastante para evitar deslocamentos excessivos causados pela passagem dos ventos ou pela atuação de uma carga útil.

A ponte de Donzère-Mondragon (Figura 17), que atravessa o canal de

Donzère na França, é considerada uma das primeiras pontes estaiadas modernas. Esta ponte é uma estrutura mista de concreto e aço, e teve sua construção concluída em 1952, vencendo uma vão de 81 m.



Figura 17: Ponte estaiada de concreto armado sobre o canal Donzère na França.
(Fonte: Nicolas Janberg, www.structurae.net)

Com o avanço dos métodos de cálculo e verificação das estruturas, juntamente com a experiência já obtida com os erros do passado, as pontes estaiadas se disseminaram nos anos seguintes, principalmente pela Europa e América do Norte.

A ponte da Normandia na França foi construída de 1989 a 1995. Esta ponte, que atravessa o rio Sena, possui um comprimento total de 2.141 m, tendo o vão principal 856 m. O tabuleiro misto de concreto protendido e estrutura metálica tem uma largura variando de 21,2 a 21,3 m e uma espessura de 3,0 m. Pelo tempo de execução, nota-se as dificuldades encontradas na época, uma vez que o vão central da estrutura era muito elevado para as técnicas existentes no período de sua construção.



Figura 18: Ponte da Normandia – França, 1994.
(Fonte: www.voyagetips.com)

Atualmente, o recorde de vão é da ponte Tatara (vão de 890m, 1999) no Japão que possui estrutura similar à da Normandia.

2.3.4 Pontes com Protensão no Extradorso

De acordo com Mathivat (1988) o conceito de protensão extradorso surgiu com a intenção de substituir os cabos internos ao tabuleiro, mas externos às vigas dispostos dentro das vigas caixão, por cabos externos, elevando-os e passando por desviadores dispostos em mastros baixos. Virlogeux (1999) cita que o conceito de Mathivat consistia no projeto de torres baixas, rigidamente ligadas à superestrutura, vigas-caixão de profundidade constante ao longo dos 100m de vão; os cabos passam em desviadores nestas torres, agindo mais como cabos de protensão comum externa do que estais, uma vez que, a variação de tensão é bem menor se comparado com os estais.

Este conceito estrutural tem como aspecto diferencial das pontes estaiadas, torres mais baixas, indicadas para regiões onde a obra não deve entrar em choque com a paisagem natural, além de possuir tabuleiros mais rígidos, permitindo menores oscilações de tensões nos cabos externos. Com a ancoragem dos cabos extradorso em torres, permite um aumento na excentricidade, melhorando os esforços de protensão.

A utilização de tabuleiros mais rígidos e com menores alturas de torre com relação às pontes estaiadas diminui a eficiência global do sistema, entretanto, isto é justificado, devido às seguintes razões:

- A menor inclinação dos cabos, na ponte extradorso, aumenta a quantidade de aço, porém, utiliza-se uma tensão admissível maior;
- Torres mais baixas têm menores custos e são mais fáceis de construir;
- O custo das ancoragens, que são as mesmas utilizadas na protensão externa, é mais baixo em relação às ancoragens dos estais.

De acordo com Mathivat (1988) o conceito de protensão extradorso surgiu com a intenção de substituir os cabos internos ao tabuleiro, mas externos às vigas dispostos dentro das vigas caixão, por cabos externos, elevando-os e passando por desviadores dispostos em mastros baixos.

Virlogeux (1999) cita que o conceito de Mathivat consistia no projeto de torres baixas, rigidamente ligadas à superestrutura, vigas-caixão de profundidade constante ao longo dos 100m de vão; os cabos passam em desviadores nestas torres, agindo mais como cabos de protensão comum externa do que estais, uma vez que, a variação de tensão é bem menor se comparado com os estais.

Tabela 2: Algumas pontes com protensão no extradorso construídas até 2001 e as duas pontes brasileiras.

Ponte	Material estrutural	Vãos	Comp. Total (m)	Vão máximo (m)	Altura da torre (m)	H/L	Altura do tabuleiro (m)	h/L	Ano
Odawara Blueway	Concreto	3	270	122	10,7	1/11	3,5 ~ 2,2	1/35 ~ 1/55	1994
Yashiro (ponte sul)	Concreto	4	340	105	12	1/9	2,5	1/42	1996
Yashiro (ponte norte)	Concreto	3	200	90	10	1/9	2,5	1/36	1996
Tsukuhara	Concreto	3	323	180	16	1/11	5,5 ~ 3,0	1/33 ~ 1/60	1998
Second Mandaue	Concreto	3	410	185	18,2	1/10	4,9 ~ 3,1	1/38 ~ 1/60	1999
Matakina	Concreto	2	200	109,3	26,4	1/4	6,0 ~ 3,5	1/18 ~ 1/31	2000
Ibi River	Mista Conc./Aço	5	1145	275	30	1/9	7,0 ~ 4,0	1/39 ~ 1/69	2001
Kiso River	Mista Conc./Aço	6	1397	271,5	30	1/9	7,0 ~ 4,0	1/39 ~ 1/68	2001
Japan Palau Friendship	Mista Conc./Aço	3	413	247	27	1/9	7,0 ~ 3,5	1/35 ~ 1/71	2001
Shikari	Concreto	5	610	140	10	1/14	6,0 ~ 3,0	1/23 ~ 1/47	2001
Miyakoda	Concreto	2	268	133	20	1/7	6,5 ~ 4,0	1/20 ~ 1/33	2001
Hozu	Concreto	6	368	100	10	1/10	2,8	1/36	2001
3ª ponte de Rio Branco	Concreto	3	198	90	9	1/8	2,5 ~ 2,0	1/36 ~ 1/45	2006
Integração Brasil Peru	Concreto	3	240	110	15	1/7	3,35 ~ 2,35	1/33 ~ 1/47	2006
H – Altura da torre		h – Altura do tabuleiro			L – Vão máximo				

A seguir serão descritas algumas pontes da (Tabela 2).

1. *Ponte Odawara Blueway*



Figura 19: Ponte Odawara Blueway – Japão, 1994.
(Fonte: Google Imagens)

A Ponte Odawara Blueway é considerada a primeira verdadeira ponte extradorsal construída, por ter sido a primeira em que os cabos extradorsais se encontram fora de paredes de betão, podendo assim ser substituídos. Segundo Mathivat, este era o seu conceito de ponte extradorsal que tinha quando projectou o Viaduto de Arrêt-Darré.

A ponte é constituída por um tabuleiro em caixão bicelular, estando este encastrado nos pilares através de uma ligação monolítica. Possui três vãos com comprimentos de 73.3 m, 122.3 m e 73.3 m, respectivamente, que são auxiliados por cabos extradorsais dispostos segundo um arranjo em semi-leque.

A ponte foi construída em consola por avanços sucessivos, tendo o tabuleiro sido betonado “in-situ”. Foram utilizados cabos de pré-esforço provisório durante a fase de consola, tendo sido substituídos mais tarde por cabos de pré-esforço definitivos tanto interiores como exteriores.

2. Pontes Kiso River e Ibi River



Figura 20: Ponte Kiso River – Japão, 2001.
(Fonte: <https://structurae.net>)

As pontes “gémeas” Ibi Gawa e Kiso Gawa, são, respectivamente, a primeira e a segunda pontes extradorsais com tabuleiro mais longo, com comprimentos de 1400 m e 1150 m, apresentando vãos principais de 271.5 m e 275 m. Tratam-se igualmente das

primeiras pontes extradorsais híbridas, sendo o seu tabuleiro em betão na zona perto dos pilares, onde os cabos são ancorados e em aço num comprimento central de 100 m em cada tramo. Com esta combinação de materiais as pontes Ibi Gawa e Kiso Gawa podem ser consideradas como uma versão mais avançada das correntes pontes extradorsais, sendo-lhes assim possível vencer vãos de quase 300 m. Esta combinação de ponte extradorsal com um tabuleiro híbrido betãoaço resultou numa boa solução do ponto de vista económico e estético, sendo esta solução considerada uma das mais promissoras no século XXI.

Estas pontes apresentam as torres de betão integradas no tabuleiro, estando este simplesmente apoiado em aparelhos de apoio sobre os pilares. A superestrutura é constituída por aduelas pré-fabricadas de viga-caixão em betão, com 5 m de comprimento, 33 m de largura e até 7 m de altura e por um segmento central em aço com cerca de 100 m de comprimento que foi içado de uma só vez e que pesa cerca de 2000 toneladas. As aduelas pré-fabricadas pesam até 400 toneladas tendo sido elevadas com recurso a uma grua de 600 toneladas colocada numa barçaça.

A secção do tabuleiro é uma viga-caixão com três células e os cabos extradorsais são ancorados na zona central da secção. De modo a reforçar as lajes e as almas transversalmente e de forma conferir a rigidez necessária ao tabuleiro, existem travessas ao longo da superestrutura.

3. Ponte sobre o Rio Acre

A primeira ponte com protensão extradorsal construída no Brasil, foi a terceira ponte sobre o Rio Acre. Tem uma largura total do tabuleiro de 17,4m, dois vãos com 54m cada e um vão central com 90m. Esta ponte tem dois planos de cabos, torres com 12m de altura, sendo os cabos posicionados entre 6 e 9m acima do tabuleiro.



Figura 21: Terceira ponte sobre o Rio Acre – Brasil, 2006.
(Fonte: Google Imagens)

Os tirantes são compostos por 16 cordoalhas em aço, que ganharam três camadas para prevenção á ação corrosiva: revestimento de alta densidade de polietileno, película de cera de petróleo e galvanização dos fios a quente.

Seu tabuleiro varia entre 2,5 m de altura (região do apoio intermediário) e 2,0 m (região central do vão) e é composto por duas vigas longitudinais. Nos cabos no extradorso o espaçamento é de 3,9 m e transversinas foram instaladas com o mesmo espaçamento.

4. Ponte da Integração Brasil - Peru

A Ponte de Integração Brasil-Peru (conhecida no Brasil como *Ponte Iñapari-Assis*) é uma ponte estaiada sobre o rio Acre localizada na fronteira entre o Brasil e o Peru, a ponte tem 240 metros e faz parte da rodovia interoceânica peruana- brasileira. É a segunda mais longa do gênero no Peru, depois da Ponte Bellavista. Possui quatro faixas (duas em cada sentido) e passarelas de pedestres. Foi inaugurado em 2006 e exigiu um investimento de mais de US \$ 10 milhões.

Ainda que sua conclusão tenha sido realizada depois da terceira ponte sobre o Rio Acre, a ponte dos Imigrantes teve sua inauguração estabelecida antes, o que á torna a primeira ponte extradorsal do Brasil.



Figura 22: Ponte da Integração Brasil – Peru/Brasil, 2006.
(Fonte: Google Imagens)

Esta ponte é composta por dois vãos de 65m e um vão central de 110m, e 16,8m de largura total. Possui torre de 15m de altura, tem duplo plano de cabos e 17 cordoalhas de 15,2mm em aço compõem os tirantes.

Seu tabuleiro é formado por uma viga celular em concreto, com altura que varia de 2,35m no meio do vão principal e 3,35m próximo aos apoios intermediários.

2.4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

O termo "patologia" é derivado do grego (pathos - doença, e logia - ciência, estudo) e significa "estudo da doença". Na construção civil pode-se atribuir patologia aos estudos dos danos ocorridos em edificações

Geralmente as manifestações patológicas em estruturas de concreto aparecem de forma bem característica. Sendo assim, pode ser simples para um profissional, com experiência na área, identificar as causas e as possíveis consequências daquela manifestação, de acordo com Vitório (2008)

As enfermidades podem ser congênicas (nascem com a estrutura) ou adquiridas ao longo de sua vida, devido à ação direta de inúmeros agentes externos (incluindo usuários) ou fenômenos físicos (choques, terremotos, incêndios, enchentes, explosões, recalques, variações de temperatura, etc.).

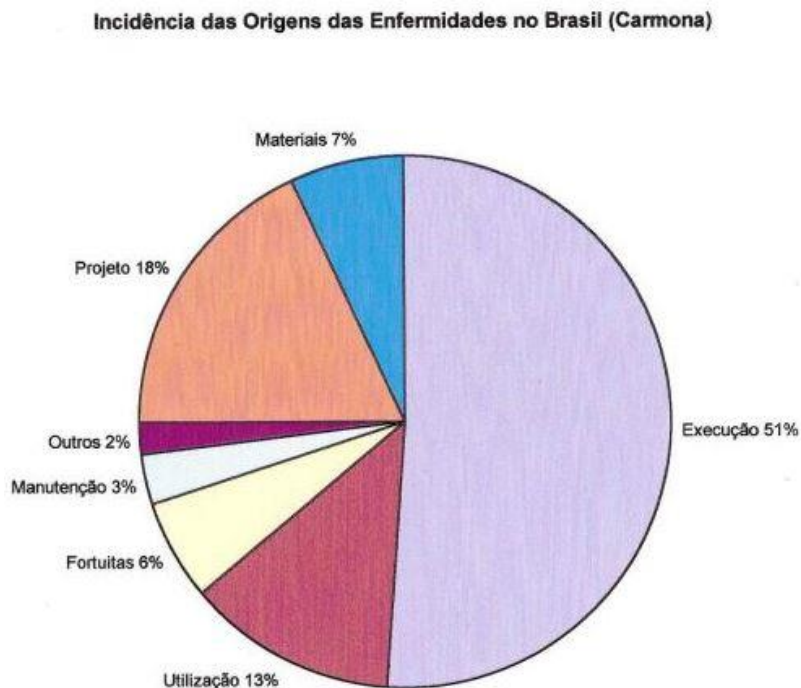
Para que uma enfermidade seja perfeita e completamente entendida (diagnosticada), é necessário que se conheça suas formas de manifestação (sintomas), os processos de surgimento (mecanismos), os agentes desencadeadores desses processos (causas) e em que etapa da vida da estrutura foi criada a predisposição a esses agentes (origens).

Souza e Ripper (1998), afirmam que, o conjunto de fatores gera o que é chamado de deterioração estrutural. Objetivamente, as causas da deterioração podem ser as mais diversas, desde o envelhecimento "natural" da estrutura até os acidentes, e até mesmo a irresponsabilidade de alguns profissionais que optam pela utilização de materiais fora das especificações, na maioria das vezes por alegadas razões econômicas. A soma de tantos fatores pode levar a que se considere estar-se a viver uma época de grandes preocupações, pois embora se possa argumentar com a tese de que tais problemas tenham nascido com o próprio ato de construir, é certo que nas primeiras construções tais questões não se revestiam de caráter sistemático, ficando restritas a alguns poucos problemas ocasionais.

2.4.1 Etapas da Construção Civil e Origens das Patologias

De acordo com Souza e Ripper (1998), categorizam-se as etapas físicas envolvidas no processo de construção em três, que são concepção (projeto), execução e utilização (manutenção). Já em níveis conceituais, devemos incluir também indicadores como desempenho, durabilidade, conformidade e reabilitação.

Segundo a NBR 15575 (2013), as obras têm que ter uma vida útil de no mínimo 50 anos, muitas vezes as edificações apresentam problemas muito antes deste prazo devido a muitos fatores como se pode observar no (Quadro 1) que mostra as principais origens de incidências de patologia no Brasil.



Quadro 1: Gráfico com as principais origens de patologias no Brasil.
(Fonte: Silva e Jonov, 2011)

Em seu estudo, Helene (1992) destaca quais são estas principais etapas nas quais as manifestações patológicas têm origem em um processo construtivo. Esta informação pode ser vista no (Quadro 1).

Em várias situações recuperar uma estrutura com patologias é mais difícil do que construir uma nova. Isto ocorre devido ao fato de que muitas vezes a edificação já pode estar em uso, o que vai dificultar os trabalhos de recuperação (SACHS, 2015).

É muito importante saber de onde surgiu a patologia para assim saber quais medidas de recuperação seguir, pois uma patologia pode causar muitas outras. Como é o caso da corrosão da armadura, quando o aço começa o seu processo de corrosão ele vai expandir causando fissuras e possíveis deslocamentos de concreto, o que ocasiona tensões de tração no cobrimento do concreto (CARMONA *apud* SACHS 2015).

Muitas das doenças estruturais não se manifestam claramente ou são encobertas por outras, podendo passar despercebidas. Portanto, quanto mais criteriosa e aprofundada for a fase avaliativa, maiores serão os índices de acerto e eficiência da solução indicada (VISOTTO *apud* SACHS, 2015 p. 42).

Souza e Ripper (1998), dizem que a Patologia das Estruturas não é apenas um novo campo no aspecto da identificação e conhecimento das anomalias, mas também no que se refere à concepção e ao projeto das estruturas, e, mais amplamente, à própria

formação do engenheiro civil. O que ocorre é que todo o aprendizado da engenharia de estruturas tem sido feito, em nível de projeto e execução, pela abordagem das estruturas a serem construídas.

Assim, a necessidade de reabilitar e manter estruturas existentes, ditada por razões tão diversas quanto as de fundo econômico, social, patrimonial ou histórico, está criando uma nova escola no que respeita à concepção e ao projeto estrutural, em que a avaliação do que já existe, em termos de capacidade de desempenho futuro (segurança, servicibilidade e vida útil), tornou-se um dado fundamental.

2.4.2 Tipos de Patologias e suas ocorrências

As edificações estão sujeitas a perda de desempenho durante sua vida útil de projeto (VUP), tal processo pode avançar de forma natural ou ser acelerado por diversas razões externas de origem em qualquer uma das etapas do processo construtivo, dentre as mais variadas formas de manifestações patológicas (CREMONINI, 1988).

Para haver entendimento de fenômenos patológicos que ocorrem em uma edificação, normalmente se busca a origem do problema exposto, uma relação de causa e efeito que possa ter gerado tal manifestação. Os problemas patológicos normalmente têm origem em algum erro ou falha cometida em ao menos uma das fases do projeto, as fases onde podem acontecer as causas que têm como efeito possíveis defeitos futuros, são: planejamento, projeto, fabricação das matérias primas, execução e uso, porém, das etapas previamente listadas, algumas são mais contundentes quando se aborda o surgimento de patologias, podendo ressaltar as fases de execução, controle de materiais e uso (HELENE, 2003).

A edificação pode ser imune contra alguns agentes agressivos de baixa intensidade, mas não imune a agentes agressivos de alta intensidade, tais agentes estão diretamente relacionados com as condições climáticas e variáveis sazonais da região onde a edificação se encontra podendo ser altos ou baixos. Como exemplo, se podem citar fissuras decorrentes de expansão térmica das armaduras, comumente vistas em nossa região, onde as variações de temperatura durante o ano podem variar entre 30° e 35° C (DAL MOLIN, 1988).

a) Infiltrações e Danos por Umidade

A umidade nas construções representa um dos problemas mais difíceis de serem corrigidos na engenharia civil. Essa dificuldade está relacionada à complexidade dos fenômenos envolvidos e à falta de estudos e pesquisas. A frequência de incidência e as causas de problemas patológicos nos sistemas prediais hidráulico-sanitários têm sido ainda pouco pesquisadas, tal fator ocorre por demandar recursos onerosos, longos períodos de observação, ensaios in situ e de laboratório, simulações e testes destrutivos em escala real em edificações existentes dentre outros, para que os dados resultantes sejam considerados consistentes (GNIPPER; MIKALDO JR, 2007).

As manchas de umidade podem ter diversas origens, tais como infiltrações nos telhados, vazamentos na rede pluvial; vazamentos em lajes de cobertura e terraços, etc. Por outro lado, o bolor é o aparecimento de fungos resultante do aumento da umidade. Os fungos podem surgir em qualquer tipo de material, sejam eles cerâmicos, vidro argamassa dentre outros. São micro vegetais e se alimentam de materiais orgânicos

A chuva é o agente mais comum para gerar umidade, tendo como fatores importantes a direção e a velocidade do vento, a intensidade da precipitação, a umidade do ar e fatores da própria construção. De acordo com Righi (2008), “é a umidade que passa de uma área para outra através de pequenas trincas nas divisórias que as separam”. Esta água de percolação, geralmente é ocasionada pela água da chuva e pode ser intensificada com o vento.



**Figura 23: Manchas em ponte sem pingadeira
(Fonte: Google Imagens)**

Na (Figura 23) observam-se manchas em uma ponte, causadas pela ausência de pingadeira, que faz com que a água escoe pela superfície do concreto deixando manchas de sujeira.

b) Lixiviação

Segundo Lapa (2008), a lixiviação é “provocada quando águas puras com poucos ou nenhum íon de cálcio entram em contato com a pasta de cimento Portland; elas podem hidrolisar ou dissolver os produtos contendo cálcio.” Quando o produto lixiviado entra em contato com o CO₂ (gás carbônico) do ar, resulta em crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície, como observado na (Figura 24).



Figura 24: Processo de Lixiviação
(Fonte: DNIT, 2004)

Em princípio, essa manifestação patológica sozinha não causa maiores problemas para a peça de concreto, sendo que a maior preocupação é com a estética da estrutura. Quando a infiltração da água dissolve e transporta os cristais de hidróxidos de cálcio, são formados depósitos de sais que surgem como manchas brancas na superfície de concreto.

Porém, quando o fenômeno atinge estágios avançados, acaba criando problemas mais sérios para a peça. A remoção de elevadas quantidades de sólidos da estrutura abre caminhos para a entrada de substâncias nocivas às armaduras e ao próprio concreto. A penetração de CO₂, por exemplo, tem o potencial de causar a corrosão das armaduras de concreto armado ou protendido.

A lixiviação é um dos processos mais comuns em obras de concreto exposto ao ambiente, como é o caso das OAEs.



Figura 25: Efeito da lixiviação no concreto (Fonte: Sartorti, 2008).

c) Carbonatação

A carbonatação é um fenômeno físico-químico, que reduz consideravelmente o pH, possibilitando a despassivação do aço (FIGUEIREDO, 2005). A zona definida como passivação é onde o metal se recobre de uma fina camada de óxidos e hidróxidos que vão funcionar como uma barreira protetora. A elevada alcalinidade da solução dos poros do concreto são fatores determinantes a formação e manutenção da camada passivante do aço no interior do concreto. Com a atuação de agentes externos agressivos, a passivação pode ser alterada, favorecendo a corrosão.

De acordo com Souza e Ripper (1998), A carbonatação, como já se referiu anteriormente, resulta diretamente da ação dissolvente do anidrido carbônico (CO_2), presente no ar atmosférico, sobre o cimento hidratado, com a formação do carbonato de cálcio e a conseqüente redução do pH do concreto até valores inferiores a 9. Quanto maior for a concentração de CO_2 presente, menor será o pH, ou, por outro lado, mais espessa será a camada de concreto carbonatada.

Na Figura 29 e na Equação 1 está ilustrado esse processo:

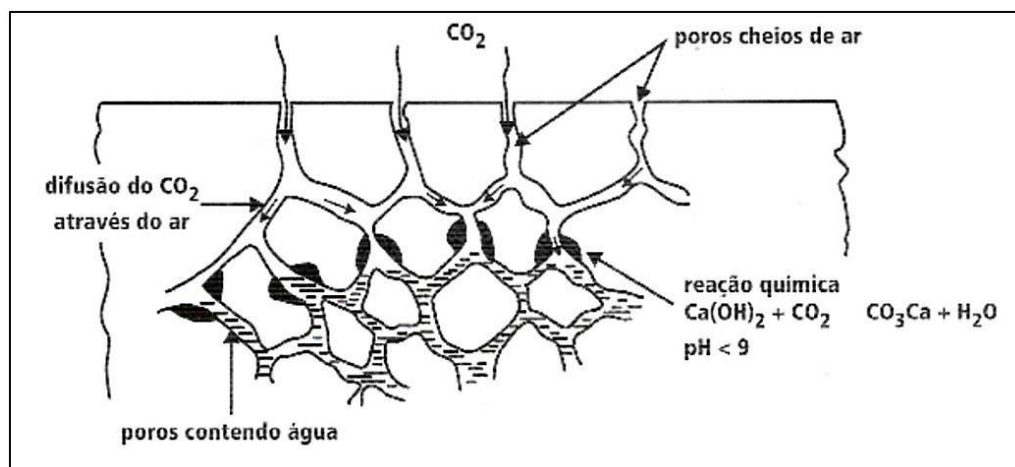


Figura 26: Representação da reação de Carbonatação do Hidróxido de Cálcio
(Fonte: Amorim, 2010)

d) Corrosão das Armaduras

Como afirma Jambor e Fófano (2008), corrosão se trata de um fenômeno de degradação das armaduras do concreto expostas em meio corrosivo, ou seja, corresponde à deterioração do aço que acontece por uma associação de etapas químicas e eletroquímicas quando este é exposto a agentes agressivos; ocorrem geralmente na presença de água ou ambientes úmidos.

Nas estruturas de concreto armado, as armaduras estão protegidas pela alcalinidade do cimento (PH 12 e 13). Essa alcalinidade proporciona uma película superficial sobre a armadura, chamada de película apassivadora, isolando o contato direto com os agentes agressivos. “Esta película é formada como resultado do impedimento da dissolução do ferro pela elevada alcalinidade da solução aquosa que existe no concreto”. (SOUZA E RIPPER, 1998; SARTORI, 2008; COSTA 2009). Os dois agentes responsáveis pela perda dessa película são a carbonatação e a entrada de cloreto do ambiente, que depois da despassivação, atacam o aço desencadeando a corrosão da armadura.

A agressividade ambiental é uma das principais responsáveis pela perda da qualidade do concreto e conseqüentemente, o aparecimento de problemas patológicos como a corrosão. A mesma está relacionada às ações químicas e físicas que atuam sobre a estrutura de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, entre outras. (CARVALHO E FIGUEIREDO,

2014).

Segundo Sartorti (2009), a corrosão diminui a área de aço, podendo levar a estrutura a ruína, já que os agentes que a potencializam são: a porosidade do concreto, os ambientes agressivos, deficiência do cobrimento, alta capilaridade; a melhor maneira de combater a corrosão é controlar a permeabilidade do concreto respeitando o fator água/cimento proposto pela norma NBR 6118:2014 e no que diz respeito aos cobrimentos adequados levando em consideração a agressividade ambiental, como apresentado nos quadros 2 e 3.

“Entre os fatores dos quais depende a durabilidade das estruturas de concreto armado e protendido, são fundamentais a qualidade e a espessura do concreto de cobrimento das armaduras”. (CARVALHO E FIGUEIREDO, 2014). O cobrimento se trata da menor distância livre entre a face da peça e a camada da barra de aço mais próxima dessa face, e tem como finalidade proteger as barras tanto da corrosão como da ação do fogo.

O (Quadro 2) a seguir mostra a classificação adotada para projetos de estrutura de concreto armado de acordo com o a Tabela 6.1 da ABNT NBR 6118/2014, já o (Quadro 3) relaciona o valor do cobrimento com a agressividade ambiental definidos no (Quadro 2).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

Quadro 2: Classe de Agressividade Ambiental (CAA).
(Fonte: NBR 6118/2014)

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50

Quadro 3: Classe de Agressividade Ambiental (CAA) e Espessura do Comprimento Nominal (Fonte: NBR 6118/2014)

Através dos quadros observa-se que quanto maior a agressividade ambiental do local maior a necessidade de um cobrimento nominal mais espesso. A espessura desta capa de concreto é importante para garantir a proteção das armaduras frente aos agentes agressivos.

Há como consequência da corrosão das armaduras a presença de manchas causadas pelo produto da corrosão, fissuração, destacamento do concreto de cobrimento e até rompimento do estribo e perda da aderência da armadura principal (Figura 27).



Figura 27: Corrosão da armadura aparente em viga de ponte. (Fonte: DNIT, 2004)

A figura acima corresponde a uma estrutura com estado de corrosão da armadura bem avançado, onde já houve o destacamento do concreto de cobrimento.

As corrosões podem se apresentar em tipos diferentes (Figura 31), em função da

superfície corroída, podemos assim dividir os tipos de corrosão em três grupos.

A corrosão generalizada é a mais fácil de ser detectada, é visível e por isso, é a menos perigosa das corrosões. Seus efeitos podem ser previstos e levados em conta no momento da especificação das espessuras das barras de aço. Em virtude disso os técnicos envolvidos no controle da corrosão tenta direcionar todos os processos corrosivos para o uniforme, onde é mais fácil o processo de controle e previsão.

A corrosão localizada, como o próprio nome já diz, ocorre quando o desgaste da superfície metálica exposta a um meio corrosivo é bem acentuado em um determinado local em relação à superfície do metal. Em virtude desse ataque ser localizado, surgem nomes específicos para os diversos modos como ocorre. Portanto podem se dividir nos seguintes tipos: Alveolar, Pites e Galvânica.

A corrosão fraturante, caracteriza-se por não ocorrer perda de massa ou espessura de um metal. Em geral este tipo de corrosão esta associado a um processo de tensão ou vibração. A característica deste tipo de corrosão é o aparecimento de fissuras na superfície do metal. Este tipo de corrosão é o mais grave, pois pode causar o rompimento do metal de maneira inesperada.

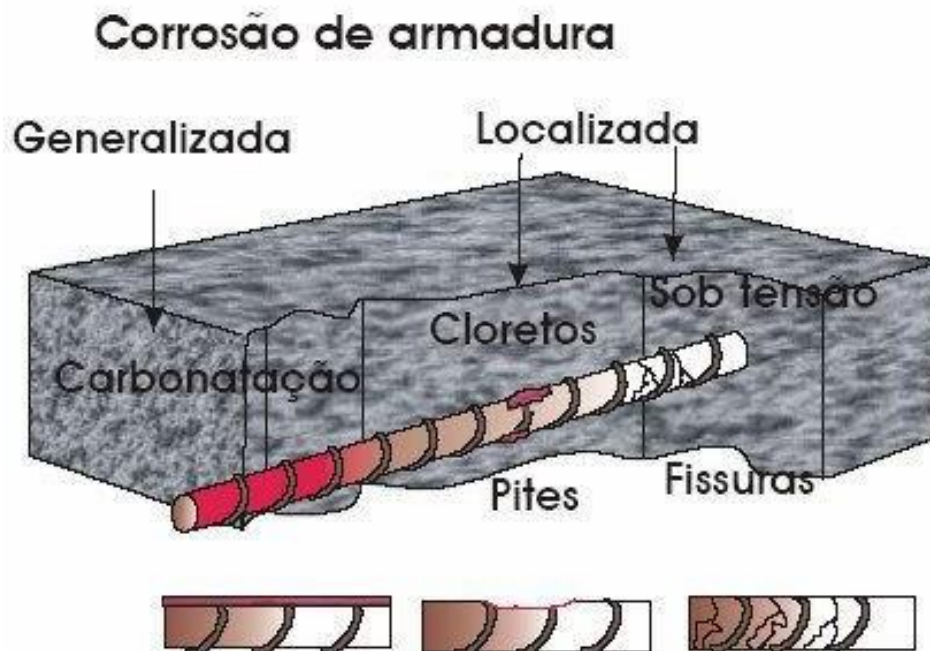


Figura 28: Tipos de corrosão e fatores que as provocam
(Fonte: Cascudo, 1997)

e) *Recalques Diferenciais de Fundação*

Conforme (Souza e Ripper, 1998), os recalques diferenciais podem ser gerados por incorreções várias na interação soloestrutura, que podem ocorrer tanto nas fases de projeto e de execução, como na de utilização.

O quadro de fissuramento gerado pela falha de um ou mais apoios de uma determinada estrutura é função de diversos fatores, sendo os principais a própria magnitude do recalque e a capacidade ou não da estrutura conseguir assimilá-lo. De uma maneira geral, não é só a estrutura a ressentir-se deste efeito, mas também, no caso de edifícios, por exemplo, as alvenarias e os caixilhos. Deve-se referir que a prevenção contra este tipo de patologia passará, antes de mais nada, pelo adequado conhecimento do solo e das tensões e deformações a que estará submetido. Como já se disse, a recuperação ou o reforço de estruturas danificadas por recalque de fundação é um trabalho extremamente custoso e caro.

Segundo (Thomaz, 1989), os recalques em fundações podem ser causados por adensamento de camadas profundas, fundações assentadas sobre corte e aterro, interferência do bulbo de tensões de um edifício maior em um menor, falta de homogeneidade do solo, rebaixamento do lençol freático, diferentes sistemas de fundações em um mesmo edifício, entre outros.

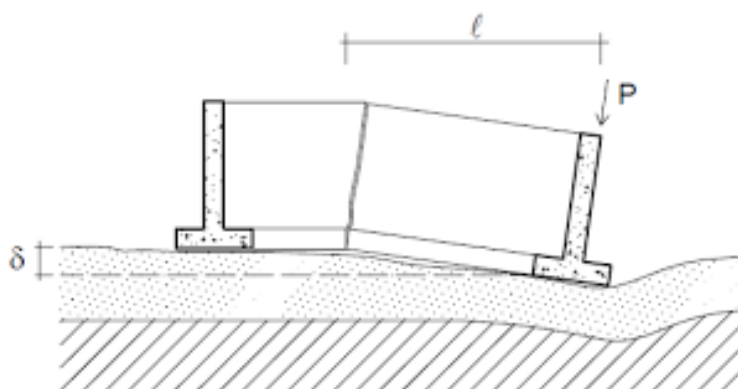


Figura 29: Recalque diferencial nas estruturas
(Fonte: FABRICIO e ROSSIGNOLO, 2002)

Recalque diferencial por falta de homogeneidade do solo pode acontecer entre elementos verticais como pilares, tubulões e estacas, solicitando às alvenarias com tensões incompatíveis com sua capacidade de absorver tais deformações.

f) Fissuração

A fissura é o tipo mais comum de patologia e interfere diretamente na estética, na durabilidade e característica estrutural da obra. Para Curcio (2008), fissuras são pequenas aberturas na superfície da estrutura e que passam a ser uma manifestação patológica quando apresentam abertura superior àquela definida na NBR 6118/2014, ou quando não são originárias do funcionamento normal da estrutura, tornando-se caminhos para entrada de agentes agressivos que possam corroer a armadura; podem surgir antes ou depois do endurecimento do concreto, como também podem ser provocadas por diversos fatores. Neste trabalho citaremos as mais comuns.

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	

NOTAS

1 ELS-W, estado-limite de abertura das fissuras- estado em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais aos máximos especificados

w_k – Abertura característica de fissuras na superfície do concreto

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens

3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.

Quadro 4: Limite de abertura de fissura em função das classes de agressividade ambiental (Fonte: NBR 6118:2014)

Ao observar o (Quadro 4) pode-se perceber que quanto maior a agressividade ambiental do local onde a obra está inserida, menor será o valor tolerável da fissura, pois se a fissura for maior que o limite especificado pode trazer consequências como a facilitação da entrada de agentes agressivos que traz consigo a carbonatação, ataque de cloretos, sulfatos e entre outros.

De acordo com Souza e Ripper (1998), a fissura como deficiência estrutural dependerá sempre da sua origem, intensidade e magnitude do quadro de fissuração existente, já que o concreto fissura por natureza devido à baixa resistência do concreto à tração, é por isso que é de suma importância determinar a causa correta para se

estabelecer os trabalhos de recuperação ou reforço como a situação exige; uma análise equivocada pode levar à aplicação de um método de recuperação ou de reforço inadequado; e se as causas não forem eliminadas, não adianta sanar o problema, pois ele ressurgirá.

Segundo Vitório (2002), as fissuras podem ser classificadas como passivas ou ativas. A primeira ocorre quando a fissura chega ao seu ponto máximo e se estabiliza devido ao término das causas que as originaram como é o caso de fissuras de retração hidráulica ou que são provocadas por um recalque diferencial de fundação que esteja estabilizado. A segunda é produzida por ação de intensidade variável, que provoca deformações também variáveis no concreto, como é o caso das fissuras de origem térmica e provocadas por flexão de ações dinâmicas.

g) Vazios de Concretagem

Os vazios de concretagem são defeitos encontrados nas estruturas que se manifestam por espaços não preenchidos no concreto e está relacionado aos erros no processo de lançamento e adensamento do concreto (SOUZA E RIPPER, 1998).

As operações de lançamento e adensamento do concreto são independentes e executadas quase simultaneamente. São muito importantes para garantir uma estrutura resistente, impermeável e durável. Para que a operação de lançamento seja bem-feita é necessário depositar o concreto o mais próximo possível de sua destinação final e executar um lançamento adequado, evitando assim a segregação e permitindo seu total adensamento; pois um lançamento malfeito pode ocasionar o deslocamento das armaduras. Lançar uma nova quantidade de concreto sobre uma superfície que já completou o processo de endurecimento ocasiona a segregação dos diversos componentes.

O lançamento de plano inclinado pode levar ao acúmulo de água exsudada, o que ocasionará a separação entre os agregados e pasta de cimento, fazendo com que haja vazios na estrutura (NEVILLE E BROOKS, 2014; SOUZA E RIPPER, 1998).

O processo de adensamento por vibração consiste em eliminar bolhas de ar, espaços vazios e excesso de água e forçar as partículas a terem uma configuração de maior proximidade. Um mau adensamento, devido ao adensamento não uniforme e inadequadas vibrações ou excesso de vibrações, podem provocar vazios de concretagem (NEVILLE E BROOKS, 2014).

Para o DNIT (2004), vazios de concretagem são causados por defeitos na hora da concretagem e são espaços vazios dentro da massa de concreto, devido a segregação do agregado graúdo, que se separa do agregado miúdo e da pasta de cimento.



Figura 30: Vazios de Concretagem
(Fonte: DNIT, 2004)

A (Figura 30) mostra vazios no pé de um pilar devido ao lançamento do concreto a uma altura maior que a máxima. O concreto deve ser lançado o mais próximo de sua destinação final para evitar a segregação do mesmo.

h) Problemas de Juntas de Dilatação

(Souza e Ripper, 1998) afirmam que ausência ou a má utilização de juntas de dilatação nas estruturas (querem peças de concreto armado, quer nas de alvenaria estrutural) é um dos fatores que invariavelmente lhes trazem problemas, em particular como resultado do comportamento rcológico do concreto.

A falta de detalhamento adequado para a vedação das juntas de dilatação em pontes, por exemplo, permite a passagem de água pelo topo do estrado, atacando as armaduras e danificando os aparelhos de apoio. No caso específico de obras de concreto protendido, a água pode, eventualmente, penetrar por cabos com falhas na injeção, causando a corrosão e a ruptura dos cabos.

Segundo (Pfeil, 1983) Quando houver juntas transversais de dilatação, nos

tabuleiros das pontes em arco serão elas verticais e situadas em lugares consentâneos com a forma e o comprimento da estrutura. Nos tímpanos das abóbadas, quando não constituírem elemento de estrutura celular, haverá juntas de dilatação verticais, localizadas próximas aos encontros e pilares e em seções intermediárias afastadas, no máximo, de 10 m

i) Taludes

O talude nada mais é do que um terreno inclinado que serve como base de sustentação ao solo. Ele pode ser encontrado de origem natural (criado pela natureza) ou artificial (feito pelo homem).

Os taludes naturais, mais conhecidos como morros são oriundos da própria natureza, muitos formados há milhões de anos, encontrados, principalmente em montanhas e encostas. Já os taludes artificiais são os declives de aterros construídos pelo homem, para evitar deslizamentos de terras, por exemplo, em caso de obras em lugares onde sua estabilidade não é eficiente.

De acordo com o Glossário de Termos Técnicos Rodoviários (DNER, 1997), no caso da construção civil, o talude mais utilizado é o artificial. Esta contenção é escolhida pelo fato de dar melhorias ao solo a partir da execução de tirantes, chumbadores, concreto projetado e drenagem, permitindo que o talude construído resista à pressão gerada pela terra.

Para garantir a estabilidade do talude é preciso um projeto de construção civil bem elaborado e o uso de materiais de qualidade. Para proteger um talude, várias técnicas são utilizadas, dependendo do tipo de obra projetada. Ele pode ser feito de revestimento com pedra, concreto, muro de arrimo, berma talude, ancoragem, entre outras medidas.

j) Drenagem

Segundo (DNIT, 2006) sua função primordial, a drenagem deve eliminar a água que, sob qualquer forma, atinge a OAE, captando-a e conduzindo-a para locais em que menos afete a segurança e durabilidade da via.

Segundo Laner (2001), as falhas em instalações de drenagem, são fatores que também influenciam na degradação do concreto e das armações. Por esse motivo, elas devem ser evitadas para que, de fato, não se deixe água acumular em pontos críticos como, por exemplo, encontros de apoio de vigas, nos caixões, nos encontros com

tabuleiros, na pista de rolamento, nos aparelhos de apoio, entre outros.

2.5 INSPEÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS - NBR 9452/2019

Para a avaliação do estado de conservação da ponte ou viaduto, a cada parâmetro analisado são atribuídas notas de classificação de 1 (crítica) a 5 (excelente). Esse mecanismo permite uma visão qualitativa e quantitativa do estado de conservação, refletindo maior ou menor gravidade dos problemas detectados. Esta norma fornece três tipos de inspeção: Cadastral, rotineira, especial e extraordinária.

Em sua evolução, a NBR 9452 (ABNT, 2019) expõe definições dos componentes, particularidades das inspeções, roteiro básico, ficha de inspeção para cada uma de suas inspeções, fluxograma de coordenação de OAE e os parâmetros de classificação das OAEs. Tais parâmetros julgam os critérios de avaliação das OAEs e os divide entre critérios estruturais, funcionais e de durabilidade e podem ser observados no (Quadro 5).

Parâmetro	Superestrutura	Mesoestrutura	Infraestrutura	Elementos Complementares		Pista	Nota Final
				Estrutura	Encontro		
Estrutural							
Funcional		NA	NA				
Durabilidade							

Quadro 5: Modelo de ficha de classificação da OAE
(Fonte: ABNT, 2019)

A nota final deve ser a menor nota atribuída ao parâmetro analisado, conforme (Quadro 5).

A classificação final deve ser apresentada conforme o modelo apresentado na (Quadro 5), por componente estrutural e com uma classificação para cada um dos parâmetros considerados estrutural, funcional e de durabilidade, com base nos dados do (Quadro 7).

Elemento			Sistema estrutural				
			Duas vigas	Grelha	Caixão	Laje	Galeria
Superestrutura	Viga	Longarina	P	P	—	—	—
		Transversina	S	S	S	S	S
	Laje		S	S	P	P	P
Mesoestrutura		Travessas	P	P	P	P	—
		Pilares	P	P	P	P	—
		Aparelho de apoio	P	P	P	P	—
Encontros		Cortina	S	S	S	S	—
		Laje de transição	S	S	S	S	S
		Muros de ala	S	S	S	S	S
Infraestrutura		Blocos	P	P	P	P	P
		Sapatas	P	P	P	P	P
		Estacas, tubulões	P	P	P	P	P
Complementares		Barreira rígida	C	C	C	C	C
		Guarda-corpo	C	C	C	C	C

Quadro 6: Caracterização dos elementos estruturais segundo a relevância no sistema estrutural (Fonte: ABNT, 2019)

Segundo a NBR 9452 (ABNT, 2019), as consequências de dano em cada tipo de elemento da OAE está descrita a seguir, sendo elemento principal (P), cujo dano pode ocasionar o colapso parcial ou total da obra, elemento secundário (S), cujo dano pode ocasionar ruptura localizada e elemento complementar (C), cujo dano não causa nenhum comprometimento estrutural, apenas funcional na OAE.

O (Quadro 6) tem como objetivo balizar a identificação dos tipos de elementos nas estruturas convencionais.

Por fim, a classificação da OAE consiste da atribuição de avaliação de sua condição, que pode ser excelente, boa, regular, ruim ou crítica, associando notas aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade, e deve seguir o estabelecido no (Quadro 7), que correlaciona essas notas com a condição da OAE e caracteriza os problemas detectados, segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.	OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

Quadro 7: Classificação da condição da OAE segundo parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade
(Fonte: ABNT, 2019)

Existem três principais tipos de inspeção, comumente caracterizadas pela norma estudada, sejam elas a inspeção cadastral, rotineira, especial e ainda a inspeção extraordinária.

2.5.1 Inspeção Cadastral

Segundo a (NBR 9452, ABNT 2019), e a primeira inspeção realizada na obra e deve ser efetuada imediatamente após sua conclusão, instalação ou assim que se integra a um sistema de monitoramento e acompanhamento viário. Deve também ser realizada quando houver alterações na configuração da obra, como alargamento, acréscimo de comprimento, reforço, mudança no sistema estrutural.

De acordo com a (NBR 9452, ABNT 2019), o registro fotográfico de caracterização da estrutura deve ser constituído pelo menos por uma vista geral, pelas vistas superior, lateral e inferior do tabuleiro, dos elementos da mesoestrutura e da infraestrutura, quando aparentes, e os detalhes julgados necessários. As fotos devem permitir a visualização da situação, aspecto geral e esquema estrutural. Deve conter também o registro das anomalias detectadas que comprometam as condições estruturais, funcionais e de durabilidade da obra. As fotos da obra devem ser datadas.

2.5.2 Inspeção Rotineira

É a Inspeção de acompanhamento periódico, visual, com ou sem a utilização de equipamentos e/ou recursos especiais para análise ou acesso, realizado em prazo não superior a um ano. Na inspeção rotineira deve ser verificada a evolução de anomalias já observadas em inspeções anteriores, bem como novas ocorrências, reparos e/ou recuperações efetuadas no período.

Ainda segundo a NBR 9452 (ABNT, 2019), a inspeção rotineira deve conter: introdução contendo informações básicas, como rodovia e trecho inspecionado no caso de um lote de OAEs; a classificação da OAE, comentários quanto a eventuais alterações do estado geral da OAE detectadas em relação à inspeção anterior; ficha de inspeção rotineira contendo registro de anomalias, registro fotográfico e demais informações consideradas importantes para a inspeção.

Ainda, a NBR 9452 (ABNT, 2019) define que a inspeção rotineira pode ser realizada sem auxílio de instrumentos de precisão ou equipamentos especiais.

2.5.3 Inspeção Especial

Segundo a NBR 9452 (ABNT, 2019), a inspeção especial deve ter uma periodicidade de cinco anos, podendo ser postergada para até oito anos, desde que as obras tenham classificação de intervenção de longo prazo e obras com total acesso a seus elementos constituintes na inspeção rotineira.

A inspeção especial deve ser pormenorizada e contemplar mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis da OAE, com o intuito de formular o diagnóstico e prognóstico da estrutura. Pode ser necessária a utilização de equipamentos especiais para acesso a todos os componentes da estrutura, lateralmente e sob a obra e, se for o caso, internamente, no caso de estruturas celulares.

2.5.4 Inspeção Extraordinária

Segundo a NBR 9452 (2019), esta inspeção deve ser apresentada em relatório específico, com descrição da obra e identificação das anomalias, incluindo documentação fotográfica e terapia recomendada. Também pode ser necessária a utilização de equipamentos especiais para acesso ao elemento ou parte da estrutura.

Esta inspeção é gerada por uma das demandas não programadas a seguir, associadas ou não:

- Necessidade de avaliar com mais critério um elemento ou parte da OAE, podendo ou não ser gerada por inspeção anterior;
- Ocorrência de impacto de veículo, trem ou embarcação na obra;
- Ocorrência de eventos da natureza, como inundação, vendaval, sismo e outros.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Caracterização do Estudo

De acordo com a escolha do tema e o objeto de estudo, levando em consideração o ponto de vista dos procedimentos técnicos, foram realizadas pesquisas bibliográficas que tiveram como objetivo efetuar análises das principais manifestações patológicas e seus tratamentos corretivos em pontes de concreto, utilizando uma linha de pesquisa descritiva- exploratória.

Justifica-se a vertente exploratória com o objetivo de conhecer as problemáticas citadas e o intuito de verificar quais são os fatores que causam esses problemas e seus tratamentos corretivos e descritivos, tendo em vista a descrição dos fenômenos patológicos encontrados baseados nas pesquisas bibliográficas realizadas através de artigos científicos, trabalhos acadêmicos e livros na área de estudo.

3.2 Objeto de Estudo

O objeto de estudo deste trabalho está localizado há 65 km de distância de Palmas. A ponte rodoviária de concreto armado tem protensão no extradorso sendo denominada de Ponte dos Imigrantes Nordestinos “Padre Cicero José de Sousa”, localizada na rodovia TO - 445 fazendo a união com a rodovia TO – 010, situada sobre o Rio Tocantins, trecho entre os municípios de Miracema do Tocantins e Lajeado (Figura 31).

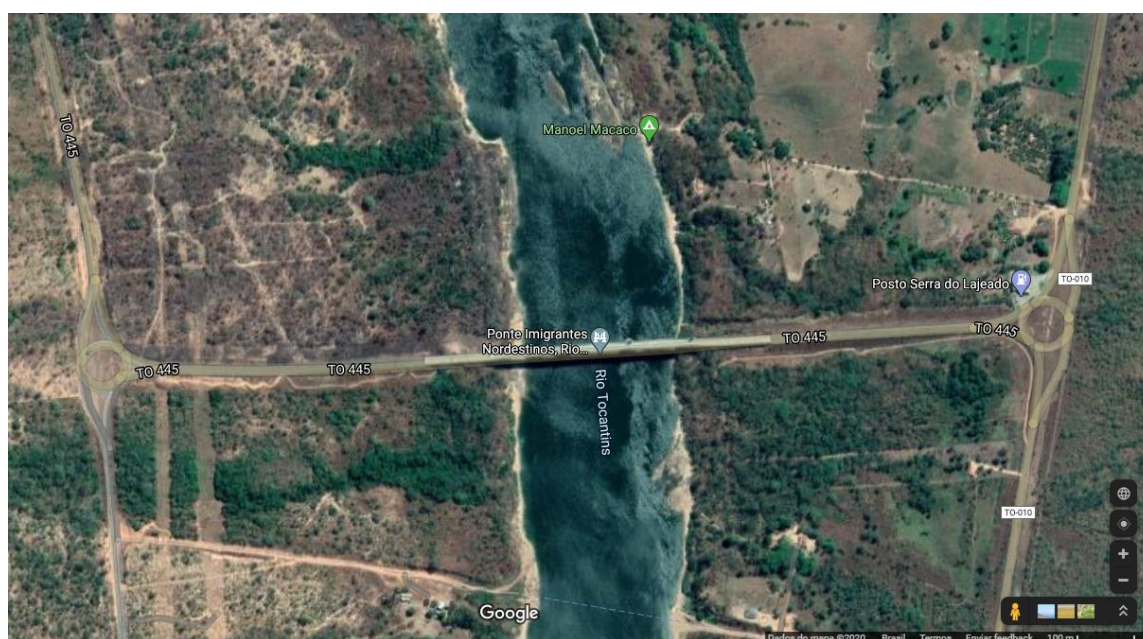


Figura 31: Localização da Ponte dos Imigrantes Nordestinos
(Fonte: Disponível em <https://www.google.com/maps>)

A estrutura liga a capital Palmas ao norte do estado e foi inaugurada em 2011. Tem por coordenadas geográficas: N= 8923988,22m e E= 789604,77m, Zona 22L, com extensão total de 609,12 m incluindo os viadutos de acesso. Todas as informações aqui apresentadas sobre a OAE estão condizentes com o projeto original da estrutura fornecido pela AGETO.

A OAE é classificada como ponte rodoviária, ortogonal reta, de concreto armado, protensão no extradorso, permanente e método construtivo em balanços sucessivos.

Ela é composta por três vãos centrais de 110m, dois vãos laterais de equilíbrio com 65m cada vencendo toda a região molhada do curso d'água e dois viadutos de acesso medindo 37m cada, atingindo com isso o total de 609,12m, como mostra a (Figura 32).

Possui oito pilones de 12m de altura, 2m de comprimento e 85cm de espessura. Cada pilone tem ancorado vinte estais totalizando 160 estais variando de 19m à 55m de comprimento.



Figura 32: Vista Lateral Ponte dos Imigrantes Nordestinos
(Fonte: Autor, 2020)

O retângulo previsto para navegação possui dimensões de 100m na horizontal e altura 15m livres. Sendo que estas dimensões se basearam em informações de cotas de

máxima enchente – M.E.O.= 122,00. Quando em regime normal das águas foram observadas cotas de N.A.=117,640. Portanto, em condições normais, o gabarito terá dimensões verticais da ordem de 20m, aproximadamente.

A largura do tabuleiro contém duas pistas de 3,50m cada, dois acostamentos com 2,50m cada e dispositivos de segurança tais como duas barreiras de concreto armado, tipo New Jersey, com 0,40m cada e, ainda, dois passeios para pedestres com 1,60m cada. Resultando em uma largura total de tabuleiro de 16m.

A estrutura possui dez apoios com dois pilares em cada apoio, sendo os pilares do viaduto de acesso de seção circular de 1,50m de diâmetro e variando de 4 à 7m de altura. Os oito pilares da ponte tem seção octogonal com quatro lados opostos medindo 4m cada um e as outras 4 faces também opostas medindo 63cm cada. A altura dos pilares da ponte varia em 15 e 16m de altura.

Os viadutos de acesso possuem vinte longarinas de seção I com comprimento de 37m e altura de 2m cada. A ponte possui ainda quatro travessas com 13,80m de comprimento, 2m de altura e 2,5m de largura. A ponte ainda possui duas juntas de dilatação Profip de 48cm de largura e 44 aparelhos de apoio metálicos.

A fundação está aterrada, mais o projeto original e laudos geotécnicos indicam que, foram executadas por estacas escavadas, sendo que a profundidade nos viadutos de acesso varia entre 5,5m e 12m em solo e de 6m a 8m em rocha. Já que na parte molhada a profundidades em solo varia de 2,5m a 29m mais 10m em solo impenetrável ou rocha.

3.3 Método de Pesquisa

De acordo com a problemática encontrada, o método escolhido para a pesquisa é o estudo de caso, visto que o foco do estudo é verificar quais são as manifestações patológicas encontradas por meio de inspeção visual detalhada, sem o uso de equipamentos de acesso especiais do tipo Esclerometria de Reflexão, Ultrassonografia entre outras, a fim de contribuir para as soluções dos problemas e propor melhorias.

O método utilizado para identificar as manifestações patológicas na ponte foi fundamentado na norma de inspeção NBR 9452/2019, que tem por finalidade interpretar e avaliar ocorrências danosas detectadas em vistorias, podendo ser visual e instrumental. Neste caso foi apenas visual, porém fundamentado em registro fotográfico.

Na (Figura 33) abaixo está representado o fluxograma de etapas desta pesquisa.

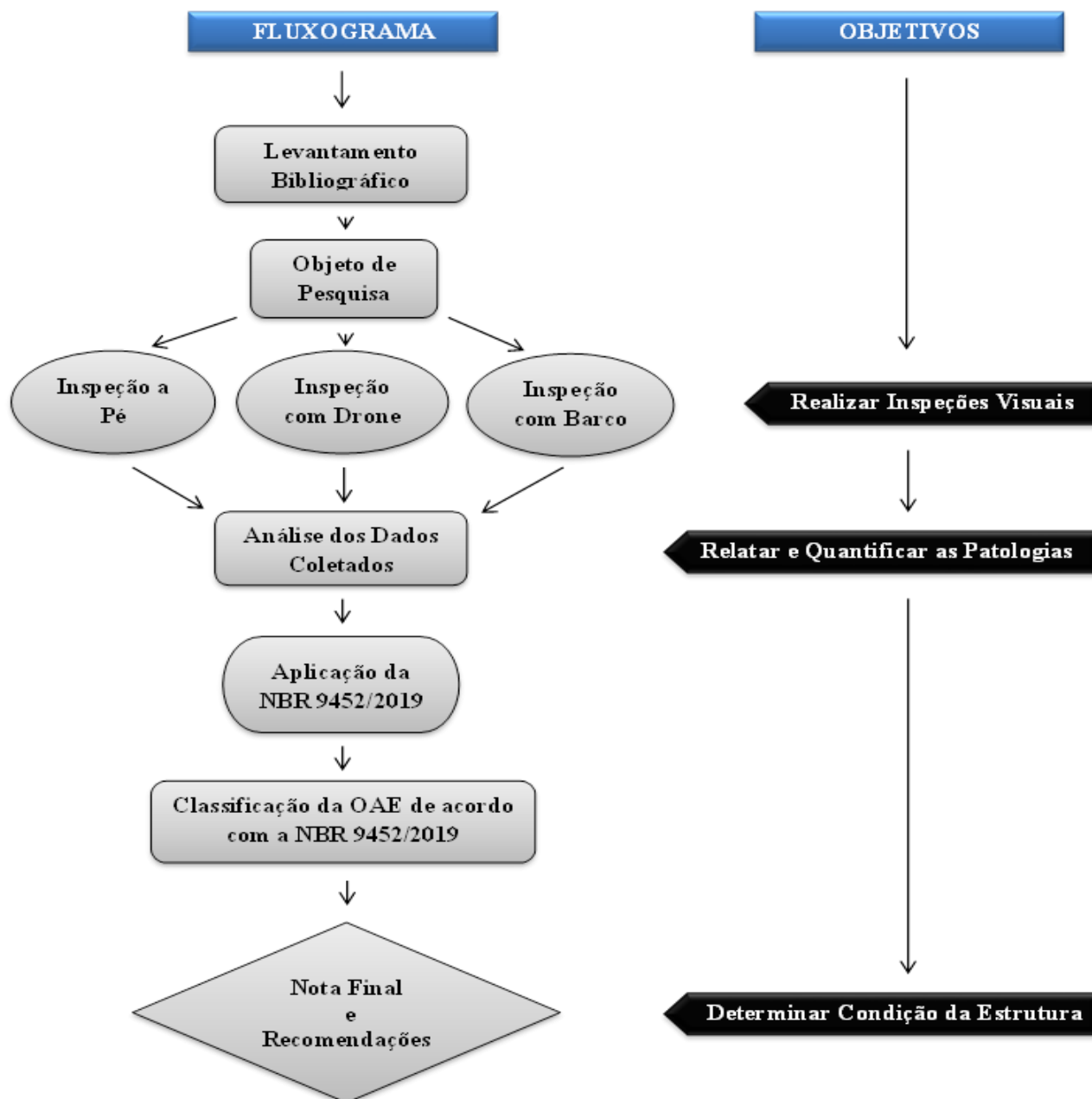


Figura 33: Fluxograma de Pesquisa
(Fonte: Autor, 2020)

Após pesquisas sobre as patologias e danos mais frequentes em OAE's de concreto armado, a ponte vistoriada foi minuciosamente estudada e identificado seus elementos através do projeto original, fornecido pela AGETO.

Posteriormente foram realizadas vistorias a pé, com veículo aéreo não tripulado (Drone Dji Phantom 4), e pelo leito do rio utilizando uma embarcação (Canoa de Alumínio Motor de Popa 15 Hp). Esses três momentos se fizeram necessários devido à extensão da estrutura avaliada, visando uma maior qualidade nas informações coletadas quanto aos danos encontrados.

3.4 Inspeções

Durante as inspeções, foram utilizados os seguintes objetos, como: Escalímetro, caneta, trena, máquina fotográfica, planilhas, prancheta, croquis da estrutura, escada extensiva, drone e barco. Ressaltando a importância de utilização de EPI's (capacete, botas, luvas, colete salva-vidas, etc) adequados por parte do pesquisador, durante todas as inspeções.

A metodologia do diagnóstico das patologias e classificação da estrutura foi dividida em três inspeções.

A primeira, inspeção visual a pé foi inspecionada a parte da superestrutura como, passeio de pedestres, guarda-corpos, barreira física, pilones e estais até a altura perceptível ao visual, drenagem, sinalização horizontal e vertical, iluminação, pavimento asfáltico. Na mesoestrutura foram vistoriados aparelhos de apoio, travessa, pilares, longarinas, encontro e aterro.

A segunda, vistoria com veículo aéreo não tripulado (Drone Dji Phantom 4), foi utilizado um profissional competente, o senhor Sebastião Borba Santos Junior para o manuseio do instrumento. Durante o processo foi vistoriado a parte superior dos pilones e estais, as ancoragens dos estais na parte externa ao dorso da ponte e a parte superior dos pilares sobre o leito do rio.



Figura 34: Drone Dji Phantom 4
(Fonte: Autor, 2020)

E a terceira, inspeção com barco foram inspecionadas as partes da estrutura como pilares, blocos de fundação, ou estacas que foram possíveis ao alcance visual e que estavam fora da água. Foi utilizada nessa etapa uma câmera digital de longo alcance para registro de possíveis danos encontrados na parte inferior do tabuleiro.

Os dados coletados em campo foram quantificados e analisados de acordo com os métodos estabelecidos pela NBR 9452/2019. A nota final da estrutura foi estipulada conforme análise das tabelas fornecidas na referida norma e preenchidas pelo pesquisador.

3.5 Análise de Dados

Após a coleta de dados em campo, os mesmos foram quantificados e analisados de acordo com o preenchimento de ficha de inspeção especial constante na NBR 9452/2019 (Anexo - D), a qual deve cadastrar as anomalias existentes, sugerindo terapias e classificando a OAE, segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade, para que se possa chegar a uma nota final de classificação da OAE.

3.6 Critérios de Definição de Notas de Classificação

De acordo com a NBR 9452/2019, a classificação da OAE consiste de atribuição de avaliação de sua condição, que pode ser excelente, boa, regular, ruim ou crítica, associando notas aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

As notas de avaliação devem variar de 1 a 5, refletindo a maior ou a menor gravidade dos problemas detectados respectivamente.

Esta classificação deve seguir o estabelecido no (Quadro 7), que correlaciona essas notas com a condição da OAE e caracteriza os problemas detectados, segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Superestrutura

Conforme apresentado na parte de Superestrutura Anexo “D”, foi possível observar que as lajes e vigas longarinas apresentaram manchas superficiais de fuligem atmosférica, fissuras, bolor, principalmente na parte inferior próximo às pingadeiras das extremidades, e em alguns pontos de empossamento.



Figura 35: Vigamento Vão Lateral sentido Lajeado/Miracema
(Fonte: Autor, 2020)

Já os estais apresentaram corrosão em suas porcas e parafusos antivandalismo, bem como em alguns a ausência de um ou dois parafusos do flange do tubo antivandalismo (Figura 36). Em um dos flanges houve a presença de uma caixa de maribondos.



Figura 36: Flange dos Tubos Anti-Vandalismo dos Estais
(Fonte: Autor, 2020)

4.2 Mesoestrutura

Já na parte de Mesoestrutura apresentada no Anexo “D”, foi possível observar que as vigas transversas apresentaram pontos acúmulo de água na parte superior (Figura 37).



Figura 37: Encontro Viga Longarina e Transversa
(Fonte: Autor, 2020)

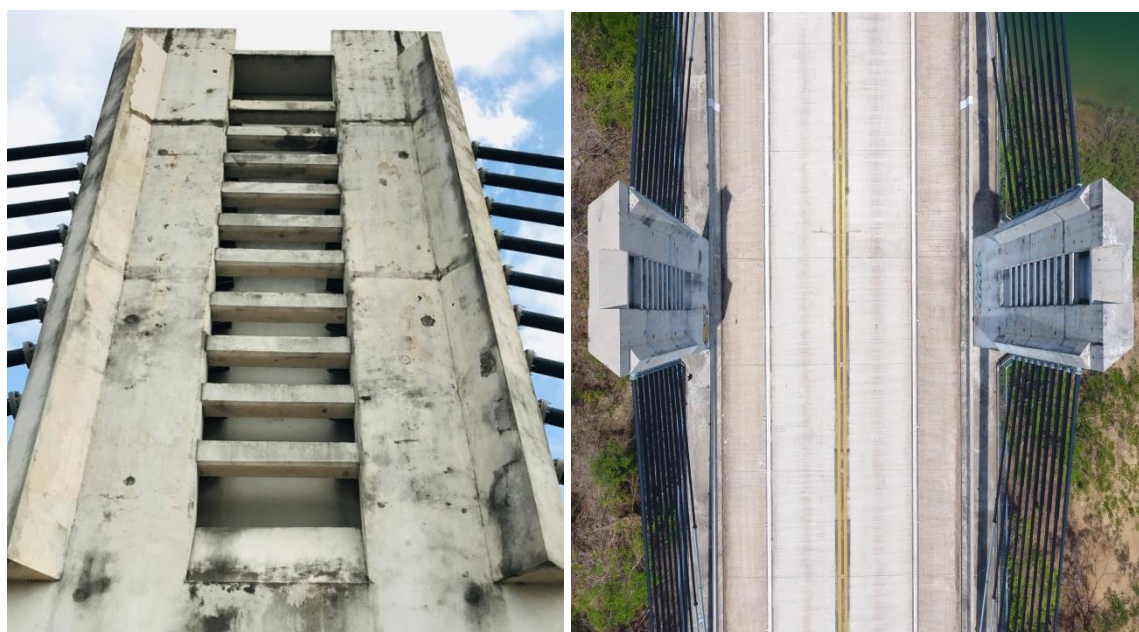


Figura 38: Vista Frontal e Superior do Pilone
(Fonte: Autor, 2020)

Já os Pilones analisados apresentaram fissuras mapeadas nas faces, desgaste superficial, deslocamento de concreto, e a presença de gramíneas na base, sendo que em quatro desses pilones apresentam manchas escuras de bolor. Não foram encontrados sinais de corrosão ou armadura exposta (Figura 38).



Figura 39: Vista Isométrica da Ponte
(Fonte: Autor, 2020)

Os aparelhos de apoio inspecionados (Figura 40) apresentam pequeno desalinhamento, alguns restos de detrito de concreto, pequeno deslocamento nas paredes dos encontros e desgaste superficial do concreto. Possuem em sua totalidade contato correto, ancoragens adequadas e movimentação liberada, não apresentando evidências de esmagamento, como fissura, deformação ou fratura dos seus componentes.



Figura 40: Aparelho de Apoio
(Fonte: Autor, 2020)

4.3 Infraestrutura

Na parte da infraestrutura apresentada no Anexo D, foi observado uma pequena quantidade de manchas de bolor e pequeno desgaste superficial nos blocos de ancoragem das estacas, proteção dos pilares e início de corrosão nos tubulões de aço que revestem as estacas.



Figura 41: Vista Isométrica do Bloco de Proteção dos Pilares
(Fonte: Autor, 2020)

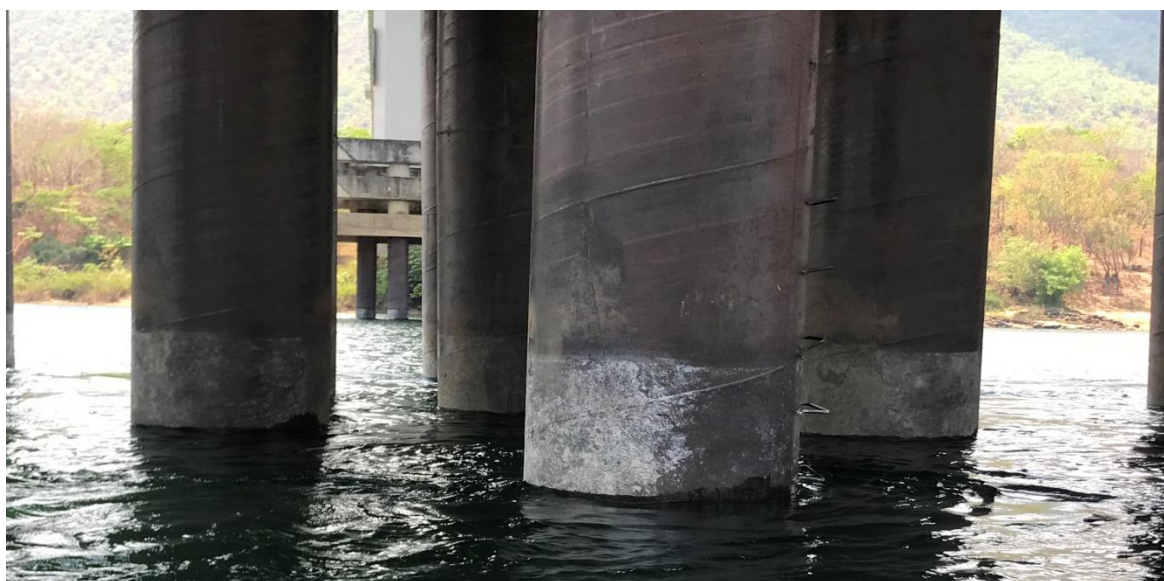


Figura 42: Estacas do Vão Central da Ponte
(Fonte: Autor, 2020)

4.4 Elementos Complementares

De acordo com os elementos complementares apresentados no Anexo “D”, foi possível observar que as barreiras rígidas apresentaram manchas de bolor, fissuras, presença de gramíneas, presença de microvegetais e armadura exposta localizada (Figura 43).



Figura 43: Barreira Rígida
(Fonte: Autor, 2020)

Já os guarda-corpos analisados apresentaram manchas de ferrugem, conforme é possível observar na (Figura 44).



Figura 44: Guarda-Corpos
(Fonte: Autor, 2020)

A passarela de pedestre analisados apresentaram pontos de acúmulo de água, presença de gramíneas e de microvegetais, conforme é possível observar na (Figura 45).



Figura 45: Acúmulo de Água no Passeio
(Fonte: Autor, 2020)

Os elementos de drenagem pluvial (pingadeira e dreno) estavam obstruídos por solo e gramíneas, fatores que ocasionaram o acúmulo de água (Figura 46).



Figura 46: Dispositivos de Drenagem Obstruídos
(Fonte: Autor, 2020)

As fiações da iluminação estavam expostas, ou seja, sem tampa de proteção, fatores que ocasionaram a degradação e vandalismo (Figura 47). Alguns postes apresentaram ferrugem. Foi possível observar que a iluminação é inexistente.



Figura 47: Caixa de Passagem de Fiação
(Fonte: Autor, 2020)

Conforme a (Figura 48), o pavimento possuía fissuras, segregação, presença de gramíneas, desagregação e deslocamento. Já as juntas de dilatação possuíam presença de gramíneas e fissuras.



Figura 48: Reparo no Primeiro Vão da Ponte Sentido Miracema/Lajeado
(Fonte: Autor, 2020)



Figura 49: Reparo no Vão Central da Ponte e Junta de Dilatação
(Fonte: Autor, 2020)

4.5 Notas

Nesta avaliação a nota ponderada das lajes receberam nota 4, pois apesar da variação dos tipos de patologias encontradas, observou-se que todas se encontram no mesmo parâmetro de avaliação.

As vigas longarinas também foram classificadas com nota 4, pois as patologias encontradas demonstraram o mesmo parâmetro de avaliação, já as vigas transversas obtiveram nota 3, pois as Vigas 1 e 6 apresentam acúmulos de água em sua parte superior, causando assim infiltrações.

Os pilones receberam nota 4, e talude do encontro nota 3, já que apresentam pequenos sulcos.

Já barreira rígida 1 recebeu nota 5 e a barreira rígida 2 nota 3, pois apresenta armadura exposta, localizada.

Os aparelhos de apoio tiveram nota 4, pois apresentaram pequenos desalinhamentos.

A drenagem recebeu nota 4 e as juntas de dilatação nota 4. Já para os elementos como iluminação, passeio de acesso, guarda corpo, talude e estais do mastro, não foi possível atribuir notas conforme os parâmetros da norma.

A nota final para a Superestrutura foi 4 (quatro), para a Mesoestrutura 4 (quatro), para Infraestrutura 4 (quatro) e Elementos Complementares 4 (quatro), com isso afirma-se que a condição da ponte é considerada boa com nota 4 (quatro).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Conforme apresentado nesta pesquisa e no apêndice, é possível concluir que por meio da inspeção especial pode-se observar os elementos, bem como classificá-los conforme sua importância nos termos de segurança estrutural, e atingir o objetivo proposto neste estudo, ou seja, apontar as anomalias aparentes passíveis de avaliação visual.

Conforme análise do cenário atual e com base nas considerações já apresentadas, a inspeção realizada visou garantir a funcionalidade, durabilidade e segurança da estrutura em estudo. Porém, como se trata de uma inspeção visual, recomenda-se à realização de uma inspeção mais detalhada da estrutura, para que se chegue a um diagnóstico final mais preciso.

A nova inspeção deve contar com uma análise detalhada de toda a estrutura e seu entorno, bem como a realização do mapeamento de anomalias e a inspeção subaquática dos elementos submersos. É necessário a anexação de relatórios complementares que apresentem os estudos hidráulico-hidrológicos, estudos geotécnicos, ensaios tecnológicos, instrumentações específicas para monitoramento da estrutura, provas de carga estáticas e/ou dinâmicas, análises estruturais com memória de cálculo, e demais estudos de interesse.

A nova inspeção deverá ter como objetivo principal o diagnóstico final da estrutura, composto por análise de cada anomalia, identificação de provável origem (como falhas de execução, desgastes decorrentes do uso, entre outros), e análise crítica da estrutura. O diagnóstico deve ser acompanhado de terapia e metodologia de recuperação de todas as anomalias, bem como indicação da necessidade de reforma e/ou reforço.

Para trabalhos futuros recomenda-se a realização de ensaios dos parafusos que apresentam corrosão, e assim fazer uma análise mais a fundo sobre o real estado dos mesmos e que sejam feitos estudos a respeito da recuperação do tabuleiro e barreiras rígidas da ponte, como também estudos para avaliar os desalinhamentos dos aparelhos de apoios, podendo assim chegar a possíveis diagnósticos e recuperação dos mesmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, Anderson A. **Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes**. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2010.
- ARIVABENE, Antonio C. **Patologias em Estruturas de Concreto Armado Estudo de Caso**. MBA Gerenciamento de Obras, Tecnologia e Qualidade da Construção. Vitória, ES, 2015
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: **Edificações habitacionais — Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674: **Manutenção de edificações - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452: **Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2019.
- CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: Pini, 1988.
- CASCUDO, Oswaldo. **O controle da corrosão de armaduras de concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. São Paulo: Pini, 1997.
- CREMONINI, Ruy Alberto. **Incidência de manifestações patológicas em unidades escolares da região de Porto Alegre: Recomendações para projeto, execução e manutenção**. Porto Alegre, 1988. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/>> Acesso em: 01 maio de 2015.
- DAL MOLIN, Denise C. Coitinho. **Fissuras em estruturas de concreto armado: Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1988. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/>>. Acesso em: 01 maio de 2015.
- DEBS, Mounir K. E., TAKEYA, Toshiaki. **Introdução às Pontes de Concreto**. São Carlos, 2007.
- DNER. **Glossário de Termos Técnicos Rodoviários**. Rio de Janeiro, 1997.
- DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de drenagem de Rodovias**- 2. ed. - Rio de Janeiro, 2006.
- DENG, L.; CAI, C.S. **Identification of parameters of vehicles moving on bridges, Engineering Structures, Elsevier**, 2009, p. 2472-2485.

FIGUEIREDO, E. P. **Mecanismo de Transporte de Fluidos no Concreto**. In: ISAIA, G. C. **Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1987.

GNIPPER, Sérgio F.; MIKALDO JR. Jorge. **Patologias frequentes em sistemas prediais hidráulicosanitários e de gás combustível decorrentes de falhas no processo de produção do projeto**. Curitiba, 2007. Disponível em: <www.cesec.ufpr.br/workshop2007/Artigo-29.pdf>. Acesso em: 08 de abril de 2015.

GRECA, Juliana M., SOUZA, Rebeca C., SMYKALUK, Susan. **Inspeção, Mapeamento e Análise de Manifestações Patológicas em Obras de Arte Especiais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011

HELENE, Paulo R. L. **Corrosão em Armaduras para Concreto Armado**. São Paulo: Pini, 1986.

HELENE, Paulo R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção das estruturas de concreto**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1992.

HELENE, Paulo R. L. **Vida Útil das Estruturas de Concreto**. Porto Alegre, 1997.

HELENE, Paulo R. Do Lago. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo, Red Rehabilitar, 2003.

LANER, F. J. **Manifestações Patológicas nos Viadutos, Pontes e Passarelas do Município de Porto Alegre**. Porto Alegre, 2001.

LAPA, J. S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LEONHARDT, Fritz. **Construções de Concreto, v. 6: Princípios Básicos da Construção de Pontes de Concreto**. Rio de Janeiro: Interciência, 1979.

MASON, Jayme. **Pontes em Concreto Armado e Protendido: Princípios do Projeto e Cálculo**. Rio de Janeiro: LTC, 1977.

MATHIVAT, J. **Recent developments in prestressed concrete bridges**. FIP notes, 1988/2, p. 15-21. *Federation Internationale de la Précontrainte*, London, 1988.

OLIVEIRA, Alexandre M.. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial das fundações**. Belo Horizonte, 2012.

PFEIL, Walter. **Pontes: Curso Básico**. Rio de Janeiro, 1983.

PFEIL, Walter. **Pontes em concreto armado**. Rio de Janeiro: LTC: 1979.

PEREIRA, Caio. **Concreto Protendido: O que é, como é feito, vantagens e desvantagens**.

Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/concreto-protendido/>. Acesso em: 31 de outubro de 2020.

PIANCASTELLI, Élvio. **Patologias do concreto**, 2014. Disponível em:< https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/patologias-do-concreto_6160_10_0/>. Acesso em: 16 de nov. 2016.

QUADROS, Helena S. **Projeto Estrutural de Ponte: Comparativo de Soluções com Vigas Seções T Pré-Moldada e Caixão Moldada *In Loco***. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013

SARTORTI, Artur L. **Identificação de Patologias em Pontes de Vias Urbanas e Rurais no Município de Campinas-SP**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

SILVA, Felipe T., PIMENTEL, Roberto L., BARBOSA Normando P. **Análise de patologias em estruturas de edificações da cidade de João Pessoa**. Paraíba, 2006

SOUZA, Marcos F. **Patologias Ocasionadas pela Umidade nas Edificações**. Monografia apresentada à Escola de Engenharia da UFMG, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Construção Civil. Belo Horizonte, 2008.

SOUZA, Vicente C. M., RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Editora Pini, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. 194p.

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

VIRLOGEUX, M. **Recent evolution of cable-stayed bridges**. *Engineering Structures*, Oxford, 1999.

VIRLOGEUX, M. **Bridges with multiple cable-stayed spans**. *Structural Engineering International*, 2001.

APÊNDICE

FICHA DE INSPEÇÃO ESPECIAL	
Inspeção especial (ano): 2020	OAE Código: 622
Jurisdição (DNIT, Concessão ou outro): AGETO - Agência Tocantinense de Transportes e Obras	
Data da Inspeção: 29/02/2020 (à pé) 12/10/2020 (de barco) 25/10/2020 (com drone)	
Início: 07:30 Hs	Termino: 12:30 Hs
Parte I - Síntese do relatório de patologia	
1 - Localização	
Rodovia ou município: Rodovia	Sentido: Lajeado/Miracema do Tocantins
Obra: Ponte dos Imigrantes Nordestinos	Localização (Km ou endereço): TO - 010, km 50
2 - Descrição da obra	
Quantidade de vãos: 7	Comprimento total: 609,12m
Pilares: 16	Vigas: 26
Largura total: 16 m	Juntas de dilatação: 2
Tipologia transversal da superestrutura: Aduela	Tipologia longitudinal da superestrutura: Caixaão
Tipo: Protensão no Extradorso	Estais: 160
Classe: TT45	
3 - Ensaio Realizados	
Não realizados	
4 - Classificação da OAE	
Estrutural: 4	Funcional: 4
Durabilidade: 4	
5 - Vistoria	
Data da Vistoria: 29/02/2020 (à pé) 12/10/2020 (de barco) 25/10/2020 (com drone)	
Recursos de aproximação empregados:	
Câmera Digital Sony, Drone Dji Phantom 4 e Barco de Alumínio Motor de Popa 15 Hp	

6 - Descrição das anomalias			
SUPERESTRUTURA			
	ELEMENTO	DESCRIÇÃO	NOTA
	LVA1	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	LVA2	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	LVA3	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	LVA4	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	LVA5	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	LVA6	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	LVA7	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	LVA8	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	LVA9	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	LVA10	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	LVA11	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	LVA12	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	LVA13	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	LVA14	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	LVA15	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	LVA16	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
L A J E S	LBVA1	Fissuras dentro do previsto pela NBR 6118	4
		Manchas superficiais de fuligem atmosférica	
		Empossamento localizado que não provoca fenomeno de aquaplanagem Bolor na parte inferior, próximo às pingadeiras das extremidades	
	LBVA2	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
		Empossamento localizado que não provoca fenomeno de aquaplanagem Fissuras dentro do previsto pela NBR 6118	
		Bolor na parte inferior, próximo às pingadeiras das extremidades	
	LBVA3	Manchas superficiais de fuligem atmosférica Fissuras dentro do previsto pela NBR 6118	4
	LBVA4	Manchas superficiais de fuligem atmosférica Fissuras dentro do previsto pela NBR 6118	4
LBVA5	Manchas superficiais de fuligem atmosférica Fissuras dentro do previsto pela NBR 6118	4	
LBVA6	Manchas superficiais de fuligem atmosférica Fissuras dentro do previsto pela NBR 6118	4	
LBVA7	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4	
	Fissuras dentro do previsto pela NBR 6118		
	Empossamento localizado que não provoca fenomeno de aquaplanagem Bolor na parte inferior, próximo às pingadeiras das extremidades		
LBVA8	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4	
	Fissuras dentro do previsto pela NBR 6118		
	Empossamento localizado que não provoca fenomeno de aquaplanagem Bolor na parte inferior, próximo às pingadeiras das extremidades		
E S T A I S D O M A S T R O 1	CE1	Porcas e parafusos do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE2	Porcas e parafusos do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE3	Porcas e parafusos do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE4	Porca e parafuso do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE5	Condições Normais	5
	CE6	Porca do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE7	Parafusos do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE8	Parafuso do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE9	Parafusos do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE10	Condições Normais	5
	CE11	Porca do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE12	Porca e parafusos do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE13	Condições Normais	5
	CE14	Parafuso do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE15	Porca do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE16	Porca e parafuso do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE17	Parafusos do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE18	Parafuso do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE19	Condições Normais	5
	CE20	Condições Normais	5

E S T A B I L I D A D E S S I M E N T E S	CE1	Porca e parafuso do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE2	Parafuso do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE3	Parafusos do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE4	Parafusos do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE5	Porcas e parafuso do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE6	Parafuso do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE7	Porca e parafusos do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE8	Condições Normais	5
	CE9	Condições Normais	5
	CE10	Condições Normais	5
	CE11	Ausência de um parafuso da flange do tubo anti-vandalismo	4
	CE12	Condições Normais	5
	CE13	Condições Normais	5
	CE14	Porca e parafuso do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE15	Condições Normais	5
	CE16	Condições Normais	5
	CE17	Condições Normais	5
	CE18	Condições Normais	5
	CE19	Condições Normais	5
	CE20	Condições Normais	5
E S T A B I L I D A D E S S I M E N T E S	CE1	Condições Normais	5
	CE2	Condições Normais	5
	CE3	Condições Normais	5
	CE4	Parafuso do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE5	Condições Normais	5
	CE6	Condições Normais	5
	CE7	Condições Normais	5
	CE8	Condições Normais	5
	CE9	Condições Normais	5
	CE10	Condições Normais	5
	CE11	Condições Normais	5
	CE12	Porca e parafuso do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE13	Parafusos do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE14	Condições Normais	5
	CE15	Condições Normais	5
	CE16	Condições Normais	5
	CE17	Condições Normais	5
	CE18	Condições Normais	5
	CE19	Presença de caixa de marimbondo na flange	4
	CE20	Condições Normais	5
E S T A B I L I D A D E S S I M E N T E S	CE1	Parafusos do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE2	Condições Normais	5
	CE3	Condições Normais	5
	CE4	Condições Normais	5
	CE5	Condições Normais	5
	CE6	Condições Normais	5
	CE7	Condições Normais	5
	CE8	Condições Normais	5
	CE9	Condições Normais	5
	CE10	Condições Normais	5
	CE11	Condições Normais	5
	CE12	Condições Normais	5
	CE13	Condições Normais	5
	CE14	Condições Normais	5
	CE15	Condições Normais	5
	CE16	Condições Normais	5
	CE17	Condições Normais	5
	CE18	Condições Normais	5
	CE19	Porcas do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE20	Condições Normais	5

E S T A B I L I D A D E S S I M E N T E S	CE1	Condições Normais	5
	CE2	Condições Normais	5
	CE3	Condições Normais	5
	CE4	Condições Normais	5
	CE5	Condições Normais	5
	CE6	Porca do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE7	Parafusos do tudo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE8	Condições Normais	5
	CE9	Condições Normais	5
	CE10	Porca do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE11	Parafuso do tudo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE12	Condições Normais	5
	CE13	Condições Normais	5
	CE14	Condições Normais	5
	CE15	Condições Normais	5
	CE16	Condições Normais	5
	CE17	Condições Normais	5
	CE18	Porca e parafuso do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE19	Condições Normais	5
	CE20	Condições Normais	5
E S T A B I L I D A D E S S I M E N T E S	CE1	Condições Normais	5
	CE2	Condições Normais	5
	CE3	Condições Normais	5
	CE4	Condições Normais	5
	CE5	Condições Normais	5
	CE6	Condições Normais	5
	CE7	Condições Normais	5
	CE8	Condições Normais	5
	CE9	Condições Normais	5
	CE10	Condições Normais	5
	CE11	Condições Normais	5
	CE12	Condições Normais	5
	CE13	Parafuso do tudo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE14	Parafuso do tudo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE15	Condições Normais	5
	CE16	Condições Normais	5
	CE17	Parafusos do tudo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE18	Parafusos do tudo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE19	Condições Normais	5
	CE20	Condições Normais	5
E S T A B I L I D A D E S S I M E N T E S	CE1	Condições Normais	5
	CE2	Condições Normais	5
	CE3	Condições Normais	5
	CE4	Porca do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE5	Condições Normais	5
	CE6	Porca do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE7	Condições Normais	5
	CE8	Condições Normais	5
	CE9	Condições Normais	5
	CE10	Condições Normais	5
	CE11	Condições Normais	5
	CE12	Condições Normais	5
	CE13	Condições Normais	5
	CE14	Ausência de um parafuso da flange do tubo anti-vandalismo	4
	CE15	Porca e parafuso do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE16	Condições Normais	5
	CE17	Condições Normais	5
	CE18	Condições Normais	5
	CE19	Condições Normais	5
	CE20	Condições Normais	5

E S T A B I L I D A D E Z E S	CE1	Condições Normais	5
	CE2	Porcas do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE3	Condições Normais	5
	CE4	Condições Normais	5
	CE5	Porca do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE6	Parafuso do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE7	Parafusos do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE8	Parafuso do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE9	Parafuso do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE10	Condições Normais	5
	CE11	Parafuso do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE12	Porca e parafusos do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE13	Porcas do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE14	Parafusos do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE15	Parafuso do tubo anti-vandalismo apresenta corrosão	4
	CE16	Condições Normais	5
	CE17	Condições Normais	5
	CE18	Condições Normais	5
	CE19	Porca e parafusos do tubo anti-vandalismo apresentam corrosão	4
	CE20	Condições Normais	5
V I G A L O N G A R I N A	VL1	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
		Bolor na parte inferior, próximo às pingadeiras das extremidades	4
	VL2	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	VL3	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	VL4	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	VL5	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
		Bolor na parte inferior, próximo às pingadeiras das extremidades	4
	VL6	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	VL7	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	VL8	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	VL9	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	VL10	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	VL11	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	VL12	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	VL13	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	VL14	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	VL15	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
	VL16	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
		Bolor na parte inferior, próximo às pingadeiras das extremidades	4
	VL17	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4
VL18	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4	
VL19	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4	
VL20	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4	
	Bolor na parte inferior, próximo às pingadeiras das extremidades	4	
VIGA TRANSVERSINA	Não Avaliada	N/A	
MESOESTRUTURA			NOTA FINAL
VIGA TRANSVERSA	VTRVA1	Acúmulo de água na parte superior	3
	VTRVA2	Não Avaliada	N/A
	VTRVA3	Não Avaliada	N/A
	VTRVA4	Não Avaliada	N/A
	VTRVA5	Não Avaliada	N/A
	VTRVA6	Acúmulo de água na parte superior	3
APARELHOS DE APOIO	Pequenos desalinhamentos	4	

P I L O N E S	MA1	Deslocamento de concreto, localizado, com 11cm de tamanho	4
		Manchas de bolor nas faces	
		Desgaste superficial na base do pilone	
		Fissuras mapeadas nas faces do pilone	
		Manchas de bolor nas faces	
		Fissura vertical no centro da peça	
		Desgaste superficial na parte superior do pilone	
		Fissura vertical na junção da barreira rígida com o pilone	
	MA2	Fissura horizontal na base	4
		Fissuras mapeadas nas faces do pilone	
		Desgaste superficial	
		Deslocamento de concreto, localizado, com 11cm de tamanho	
	MA3	Manchas de bolor nas faces	4
		Presença de gramíneas na base	
	MA4	Manchas de bolor nas faces	4
		Fissuras mapeadas nas faces do pilone	
MA5	Manchas de bolor nas faces	4	
	Fissuras mapeadas nas faces do pilone		
MA6	Manchas de bolor nas faces	4	
	Fissuras mapeadas nas faces do pilone		
MA7	Manchas de bolor nas faces	4	
	Fissuras mapeadas nas faces do pilone		
MA8	Manchas de bolor nas faces	4	
	Fissuras mapeadas nas faces do pilone		
INFRAESTRUTURA			NOTA FINAL
BLOCOS DE ANCORAGEM		Manchas de bolor e desgaste superficial	4
ESTACAS		Manchas brancas no revestimento metálico	4
ENCONTRO			NOTA FINAL
TALUDE DO ENCONTRO	ENC1	Pequenos Sulcos	3
	ENC2	Pequenos Sulcos	3
ELEMENTOS COMPLEMENTARES			NOTA FINAL
TALUDE	Não inspecionado		N/A
BARREIRA RIGIDA	BR1	Manchas de bolos	5
		Fissuras	
		Presença de gramíneas	
		Presença de microvegetais	
	BR2	Manchas de bolos	3
		Fissuras	
		Presença de gramíneas	
		Presença de microvegetais	
GUARDA-CORPO	GC1 e GC2	Armadura exposta, localizada	4
		Manchas de ferrugem	
PASSEIO DE ACESSO	PS1 e PS2	Acúmulo de água	4
		Presença de gramíneas	
		Obstrução de drenos	
DRENAGEM		Obstrução de pingadeira	4
		Acúmulo de água	
		Presença de gramíneas	
		Obstrução de drenos	
ILUMINAÇÃO		Ausência de iluminação	3
		Caixas de inspeção sem tampa de proteção	
		Postes apresentando ferrugem	
PAVIMENTO		Fissuras	4
		Segregação	
		Presença de gramíneas	
		Desagregação	
		Deslocamento	
JUNTAS DE DILATAÇÃO		Presença de gramíneas	4
		Fissuras	