

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
ENGENHARIA CIVIL



ADRIANA SOUSA DOS SANTOS

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS: ESTUDO
DE CASO DE UM VIADUTO RODOVIÁRIO EM SÃO LUÍS-MA.**

SÃO LUÍS- MA

2026

ADRIANA SOUSA DOS SANTOS

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS: ESTUDO DE CASO
DE UM VIADUTO RODOVIÁRIO EM SÃO LUÍS-MA.**

Trabalho de conclusão do curso de graduação em
Engenharia Civil na Universidade Federal do Maranhão.
Orientador: Prof. Mikhail Luczynski

SÃO LUÍS- MA

2026

ADRIANA SOUSA DOS SANTOS

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS: ESTUDO DE CASO
DE UM VIADUTO RODOVIÁRIO EM SÃO LUÍS-MA.**

Aprovado em 20/01/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. M. Mikhail Luczynski
Universidade Federal do Maranhão – UFMA
Orientador

Prof. (a) Dr. (a) Solange da Silva Boni
Universidade Federal do Maranhão – UFMA
Avaliador(a)

Prof. Dr. Wener Miranda Teixeira dos Santos
Universidade Federal do Maranhão – UFMA
Avaliador

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Sousa dos Santos, Adriana.

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS:
ESTUDO DE CASO DE UM VIADUTO RODOVIÁRIO EM SÃO LUÍS-MA /
Adriana Sousa dos Santos. - 2026.

54 f.

Orientador(a): Mikhail Luczynski.

Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do
Maranhão, São Luís, 2026.

1. Manifestações Patológicas. 2. Viaduto.
3. Corrosão. I. Luczynski, Mikail. II. Título.

Dedico este trabalho, aos meus pais, que com amor, dedicação e exemplo de perseverança sempre me inspiraram, e aos meus amigos e familiares mais próximos, pelo apoio constante, incentivo e presença em todas as etapas da minha trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança para superar os desafios ao longo desta jornada acadêmica. Aos meus pais, pelo amor incondicional, apoio constante e por sempre acreditarem em mim. Aos meus familiares e amigos, pela compreensão, incentivo e presença nos momentos mais difíceis.

Aos professores e orientadores, pelos ensinamentos, dedicação e contribuições fundamentais para a realização deste trabalho. Por fim, a todos que, de forma direta ou indireta, colaboraram para a concretização deste estudo, minha sincera gratidão.

RESUMO

A deterioração das Obras de Arte Especiais representa um tema de grande relevância para a engenharia civil, em razão da elevada quantidade dessas estruturas existentes no território brasileiro e do avançado estado de degradação observado em muitas delas, decorrente da ação do tempo, da exposição a ambientes agressivos, de sobrecargas e da insuficiência de programas de manutenção corretiva e preventiva, conforme estabelecido na ABNT NBR 9452:2023.

Um dos episódios recentes que evidencia falhas nos processos de inspeção e manutenção por parte dos órgãos competentes foi o desabamento do vão central da Ponte Juscelino Kubitschek de Oliveira (JK), sobre o rio Tocantins, localizada na rodovia BR-226, entre os municípios de Aguiarnópolis (TO) e Estreito (MA). Esse evento demonstra de forma clara as consequências da evolução de manifestações patológicas não diagnosticadas ou tratadas adequadamente, reforçando a necessidade de inspeções técnicas periódicas, monitoramento contínuo e intervenções preventivas. Nesse contexto, o estudo das patologias em Obras de Arte Especiais torna-se fundamental para a compreensão dos mecanismos de deterioração, a garantia da durabilidade e do desempenho estrutural e, sobretudo, a preservação da segurança dos usuários.

Este trabalho teve como objetivo identificar e analisar as principais manifestações patológicas presentes na mesoestrutura e superestrutura do Viaduto da Cohama, localizado no município de São Luís – MA, com ênfase nos processos de deterioração dos elementos de concreto armado e das estruturas metálicas. A metodologia adotada consistiu em inspeção visual *in loco*, registro fotográfico e avaliação técnica com base nas recomendações das normas brasileiras, especialmente a ABNT NBR 9452:2023 e a ABNT NBR 6118:2023. Os resultados evidenciaram a ocorrência de corrosão generalizada em vigas longarinas, sistemas de travamento e bases de apoio metálicas, além de fissuras, deslocamento do concreto, manchas de infiltração e exposição de armaduras na laje do tabuleiro e em pilares, indicando deficiência de drenagem, falhas de impermeabilização e ausência de manutenção preventiva. Conclui-se que as patologias observadas comprometem a durabilidade e o desempenho estrutural da obra, sendo necessária a realização de inspeção especial e a adoção de medidas de recuperação e proteção para garantir a segurança e a vida útil da estrutura.

Palavras-chave: manifestações patológicas; viaduto; corrosão; concreto armado; inspeção estrutural.

ABSTRACT

The deterioration of Special Engineering Structures is a highly relevant topic for civil engineering, due to the large number of these structures in Brazil and the advanced state of degradation observed in many of them, resulting from the effects of time, exposure to aggressive environments, overloading, and insufficient corrective and preventive maintenance programs, as established in ABNT NBR 9452:2023.

One recent episode that highlights failures in inspection and maintenance processes by the competent authorities was the collapse of the central span of the Juscelino Kubitschek de Oliveira (JK) Bridge, over the Tocantins River, located on highway BR-226, between the municipalities of Aguiarnópolis (TO) and Estreito (MA). This event clearly demonstrates the consequences of the evolution of pathological manifestations that are not diagnosed or adequately treated, reinforcing the need for periodic technical inspections, continuous monitoring, and preventive interventions. In this context, the study of pathologies in Special Engineering Structures becomes fundamental for understanding deterioration mechanisms, ensuring durability and structural performance, and, above all, preserving user safety.

This study aimed to identify and analyze the main pathological manifestations present in the substructure and superstructure of the Cohama Viaduct, located in the municipality of São Luís – MA, with emphasis on the deterioration processes of reinforced concrete elements and metallic structures. The methodology adopted consisted of on-site visual inspection, photographic documentation, and technical evaluation based on the recommendations of Brazilian standards, especially ABNT NBR 9452:2023 and ABNT NBR 6118:2023. The results showed the occurrence of generalized corrosion in longitudinal beams, bracing systems, and metallic support bases, in addition to cracks, concrete spalling, infiltration stains, and exposure of reinforcement in the deck slab and in pillars, indicating drainage deficiencies, waterproofing failures, and lack of preventive maintenance. It is concluded that the observed pathologies compromise the durability and structural performance of the work, making it necessary to carry out a special inspection and adopt recovery and protection measures to guarantee the safety and service life of the structure.

Keywords: pathological manifestations; viaduct; corrosion; reinforced concrete; structural inspection

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perda de aderência entre concreto e armaduras.....	23
Figura 2 – Processo de corrosão com desagregação da camada de cobrimento.....	25
Figura 3 - Carbonatação condicionada pela fissuração.....	26
Figura 4 – Imagem aérea do Viaduto sentido Cohama - Bequimão.....	31
Figura 5- Presença de solo de aterro entre juntas das placas pré-moldadas.....	32
Figura 6 – Trincas e fissuras nos elementos da cabeceira do viaduto.....	33
Figuras 7 – Perda de seção ocasionada pela corrosão das armaduras.....	34
Figuras 8 – Armadura exposta com corrosão.....	34
Figuras 9- Presença de vegetação no Pórtico 01.....	35
Figura 10 – Fissuras e trincas na viga de travamento.....	36
Figura 11 – Fissuras e trincas na viga de travamento.....	36
Figura 12 – Fissuras e trincas nos pilares.....	37
Figura 13 – Processo de corrosão avançado no pilar 1 do pórtico 2.....	37
Figura 14- Perda de seção das armaduras transversais e longitudinais.....	38
Figura 15 – Fissuras verticais e horizontais no pilar.....	38
Figura 16– Armadura exposta na base do pilar.....	39
Figura 17 - Visão geral do Pórtico 11.....	40
Figura 18– Pilar com armaduras expostas.....	40
Figura 19– Armaduras expostas na base do Pilar.....	41
Figura 20 – Corrosão na base de apoio da viga longarina.....	42
Figura 21- Presença de infiltração e obstrução de drenos.....	43
Figura 22 – laje do tabuleiro fissurada.....	43
Figura 23– laje de tabuleiro fissura e com armadura exposta.....	44
Figura 24- deslocamento de concreto e armadura exposta na laje do tabuleiro.....	44
Figura 25– Longarinas metálicas com corrosão.....	45
Figura 26 – Falha na junta de dilatação vista pela parte inferior da laje do tabuleiro.....	46
Figura 27- Manifestações patológicas na laje do tabuleiro.....	47
Figura 28 – Vista superior da pista próximo à junta de dilatação.....	47
Figura 29– Deslocamento de concreto da barreira de proteção.....	48
Figura 30 - Fissuração nas barreiras de proteção da pista de rolamento do viaduto.....	49
Figura 31 - Manifestações patológicas presentes na mesoestrutura.....	50
Figura 33 - Manifestações patológicas presentes na superestrutura.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes de agressividade ambiental	16
Quadro 2 - Relação entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	17
Quadro 3 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal $\Delta c = 10\text{mm}$ Fonte: (Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6118, 2023)	17
Quadro 4 - Síntese das manifestações patológicas mais recorrentes em OAE	18
Quadro 5 – Limites de abertura de fissuras em função da classe de agressividade ambiental	23
Quadro 6 - Síntese dos principais métodos utilizados para tratamento de manifestações patológicas em OAE	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

CAA – CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL

CREA – CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA

DER – DEPARTAMENTO DE ESTRADA DE RODAGEM

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE
TRANSPORTES

NBR – NORMAS BRASILEIRAS

OAE – OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

RAA - REAÇÃO ÁLCALI - AGREGADO

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Considerações iniciais.....	13
1.2 Justificativa.....	13
1.3 Objetivos.....	14
1.3.1 Objetivo geral.....	14
1.3.2 Objetivos específicos.....	14
2.REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 Conceito e classificação das Obras de Artes Especiais.....	15
2.2 Conceito de patologia e manifestações patológicas.....	15
2.3 Vida útil, vida útil de projeto e desempenho.....	15
2.4 Durabilidade e Classe de agressividade ambiental.....	16
2.5 Manifestações patológicas predominantes em Obras de Arte Especiais.....	18
2.6 Mecanismos químicos de deterioração das estruturas de concreto.....	19
2.7 Processos físicos de deterioração das estruturas de concreto.....	21
2.7.1 Fissuração.....	21
2.7.2 Desagregação do concreto.....	24
2.7.3 Carbonatação do concreto.....	25
2.7.4 Perda de aderência.....	25
2.7.5 Desgaste do concreto.....	26
2.8 Inspeções.....	26
2.8.1 Inspeção cadastral.....	26
2.8.2 Inspeção rotineira.....	27
2.8.3 Inspeção especial.....	27
2.8.4 Inspeção extraordinária.....	27
3. METODOLOGIA.....	28
4. ESTUDO DE CASO.....	28
4.1 Caracterização do Objeto de estudo.....	28
4.2 Manifestações patológicas.....	30
4.2.1 Cabeceiras - Manifestações patológicas.....	30
4.2.2 Mesoestrutura- Manifestações patológicas em pórticos e pilares.....	33
4.2.3 Pórtico 02 - Região da mesoestrutura.....	36
4.2.4 - Superestrutura.....	41
4.3 Análise gráfica dos resultados.....	47
4.4 Propostas de solução e intervenção.....	50
5. CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	52

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

As obras de arte especiais (OAE), como pontes, viadutos, túneis e passarelas são estruturas de grande importância para a mobilidade urbana de uma cidade, uma vez que melhoram a fluidez no tráfego de veículos e de pessoas, além de possibilitar a redução de congestionamentos, especialmente em horários de pico. Geralmente tais estruturas são construídas em área de transição entre diferentes vias da cidade, facilitando o deslocamento urbano e o desenvolvimento econômico da região.

O acelerado processo de urbanização e industrialização ocorrido em São Luís nas últimas décadas intensificou a busca por novas alternativas para desenvolver a mobilidade urbana e a estrutura viária da cidade. Na capital maranhense, esse processo intensificou-se a partir da década de 1990, quando a industrialização e o fortalecimento do setor portuário impulsionaram a necessidade de novas vias e estruturas que garantem o escoamento eficiente de cargas e o deslocamento da população (ALCÂNTARA JÚNIOR; SELBACH, 2014).

Diante desse cenário, o elevado da Cohama foi inaugurado em 11 de dezembro de 1998, representando uma resposta às demandas por fluidez no trânsito e integração entre áreas urbanas estratégicas na região. Essa estrutura foi fundamental para descongestionar a região, que anteriormente era composta por uma rotatória. No entanto, com o passar dos anos, a ausência de manutenção periódica está comprometendo significativamente a durabilidade, a vida útil e o desempenho da estrutura.

De acordo com o Manual Técnico de Recuperação de Estruturas de Obras de Arte Especiais do DER-PR, a falta de manutenção adequada pode acarretar o surgimento de manifestações patológicas, diminuir a vida útil da estrutura e aumentar o risco de acidentes graves (São Paulo, 2021). Dessa forma, é crucial que políticas de conservação preventiva sejam implementadas, assegurando inspeções periódicas e intervenções corretivas em tempo hábil para preservar a estrutura e a funcionalidade da obra de arte especial.

1.2 Justificativa

A realização deste trabalho se justifica pela necessidade de garantir a integridade e o desempenho das Obras de Arte Especiais, principalmente as que fazem parte do sistema viário municipal, estadual e federal do país, como viadutos, pontes e elevados, estruturas essenciais para o desenvolvimento e modernização do sistema de transporte rodoviário do

País. Uma vez que, essas OAE's exercem um papel estratégico na mobilidade urbana e no crescimento econômico do país, cuja gestão e manutenção são atribuídas aos órgãos competentes.

Segundo a Academia Nacional de Engenharia, grande parte das pontes brasileiras foram construídas até a década de 1970, e desde então houve diversas alterações nas normas técnicas e especificações de projetos que regem esse tipo de estrutura. Entre essas mudanças, destaca-se a exigência de um maior cobrimento das armaduras com o objetivo de garantir maior proteção contra agentes agressivos.

Diante do exposto, é imprescindível a realização de inspeções periódicas e manutenções pelos órgãos responsáveis, a fim de identificar e corrigir possíveis agravantes que possam desencadear degradações na estrutura, possibilitando a durabilidade, funcionalidade e longevidade das Obras de Arte Especiais.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo principal analisar os tipos mais recorrentes de manifestações patológicas que afetam viadutos construídos em concreto armado, identificando as possíveis causas e propondo soluções para a reabilitação dos elementos estruturais comprometidos.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Investigar os tipos e as possíveis causas das manifestações patológicas presentes na estrutura;
- b) Propor soluções viáveis para o tratamento e/ou recuperação das estruturas afetadas por manifestações patológicas

2.REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceito e classificação das Obras de Artes Especiais

Segundo a ABNT NBR 9452:2023, a Obra de Arte Especial (OAE) é definida como a “estrutura classificada como ponte, pontilhão, viaduto, passagem superior, passagem inferior ou passarela” (ABNT, 2023).

2.2 Conceito de patologia e manifestações patológicas

De acordo com o CREA-SP (2025), no âmbito da Engenharia, a patologia estrutural corresponde ao estudo das anomalias que se manifestam nas estruturas, não se restringindo à constatação de danos, mas abrangendo a investigação de suas causas, consequências e das medidas corretivas adequadas.

Em obras de arte especiais, destacam-se como manifestações patológicas recorrentes a corrosão das armaduras, decorrente de processos de carbonatação ou da ação de cloretos, a ocorrência de fissuras de natureza térmica, estrutural ou associadas a recalques, bem como fenômenos de lixiviação, desagregação superficial do concreto e destacamento do cobrimento das armaduras.

2.3 Vida útil, vida útil de projeto e desempenho

“A vida útil é o tempo estimado no qual uma estrutura atende satisfatoriamente às funções para as quais foi projetada, mantendo níveis adequados de segurança, estabilidade, conforto e funcionalidade.” (CREA, 2025, p.9)

Segundo a norma ABNT NBR 6118:2023, a vida útil de projeto corresponde ao período em que a estrutura de concreto permanece com suas características sem a necessidade de intervenções significativas, adotando apenas as medidas necessárias referente ao uso e manutenção periódica informada pelo projetista. No entanto, determinados elementos estruturais podem apresentar vida útil de projeto distinta daquela considerada para a estrutura como um todo, uma vez que cada elemento está sujeito a diferentes níveis de solicitação e condições de serviço.

Segundo Sousa e Ripper (2017), o desempenho pode ser compreendido como o comportamento de cada elemento ao longo da sua vida útil. Nesse sentido, o desempenho das estruturas está associado às condições estabelecidas durante as etapas de projeto, execução e

manutenção, ou seja, quando essas fases são adequadamente desenvolvidas, a estrutura tende a apresentar desempenho satisfatório; por outro lado, falhas em qualquer uma dessas etapas pode comprometer seu comportamento, resultado em desempenho inferior ao esperado. Os autores também ressaltam que, ao atingir um estado limite avançado de deterioração, a estrutura não apresenta possibilidade de reversão de sua condição.

2.4 Durabilidade e Classe de agressividade ambiental

Conforme Carvalho (2014), a durabilidade das estruturas de concreto é diretamente impactada pela agressividade ambiental, que engloba ações químicas e físicas contínuas. Segundo a NBR 6118, tais agentes atuam de forma independente das cargas mecânicas, variações térmicas, volumétricas e retração hidráulica. Diante disso a NBR 6118:2023 apresenta um quadro com as classes de agressividade ambiental para cada tipo de ambiente conforme apresentado no Quadro 01.

Quadro 1 – Classes de agressividade ambiental

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

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas, elementos em contato com solo contaminado ou água subterrânea contaminada.

Fonte: (Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6118, 2023)

Ademais, para que a estrutura apresente durabilidade satisfatória, é fundamental que seus parâmetros sejam analisados à luz dos requisitos técnicos estabelecidos pelas normas atualmente vigentes, em especial a ABNT NBR 6118:2023, adotada neste trabalho como referência para avaliação. A qualidade do concreto e a espessura do cobrimento nominal

devem, portanto, ser comparadas com os valores recomendados para a classe de agressividade do meio, levando-se em consideração, entretanto, a época de construção da obra e as prescrições normativas em vigor àquele período, a fim de evitar interpretações que desconsiderem o contexto histórico do projeto e da execução.

Quadro 2 - Relação entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. ^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. ^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: (Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6118, 2023)

Quadro 3 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal $\Delta c = 10\text{mm}$

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 ^b /pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55
^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado. ^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm. ^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV. ^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.					

Fonte: (Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6118, 2023)

2.5 Manifestações patológicas predominantes em Obras de Arte Especiais

A identificação precoce de anomalias em Obras de Arte Especiais é fundamental para garantir a segurança estrutural e a funcionalidade do sistema viário. Estas estruturas, devido à sua exposição direta a agentes ambientais agressivos e cargas dinâmicas constantes, estão sujeitas a diversos mecanismos de degradação. Com base no manual de inspeção do DER/PR (2021), o Quadro 4 apresenta uma síntese das manifestações patológicas mais recorrentes nestas estruturas, detalhando suas causas e as respectivas consequências para o desempenho do elemento.

Quadro 4 - Síntese das manifestações patológicas mais recorrentes em OAE

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	DESCRIÇÃO	CAUSAS	CONSEQUÊNCIAS
Nicho de concretagem	Falha na concretagem que separa os componentes do material, gerando vazios internos ou superficiais.	Lançamento em alturas elevadas, vibração excessiva, dosagem incorreta ou agregados graúdos incompatíveis.	Redução da seção resistente da peça e exposição das armaduras, facilitando o início de processos corrosivos.
Manchas	Alteração cromática da superfície por contaminação de microrganismos (fungos e mofo).	Exposição contínua à umidade, falta de drenagem eficiente e incidência de luz solar em áreas externas.	Degradação estética da estrutura e indicação de porosidade excessiva, podendo facilitar a retenção de água.
Eflorescência	Depósitos esbranquiçados de sais (carbonato de cálcio) na superfície do concreto.	Lixiviação de sais internos por infiltração de água e reação com o CO ₂ do ambiente durante a evaporação.	Perda de constituintes da matriz de cimento e exposição da estrutura a processos de decomposição química.
Esfoliação	Desprendimento de lascas da superfície do concreto em camadas finas.	Processos químicos, biológicos, choques mecânicos ou reações expansivas internas.	Perda de aderência entre os agregados e redução da capacidade aglomerante da pasta de cimento.
Desagregação	Fragmentação do concreto com destacamento progressivo dos agregados.	Ataques químicos severos, fatores ambientais extremos ou agravamento de esfoliação prévia.	Perda total da capacidade aglomerante, levando à exposição direta das armaduras e redução da seção.
Cobrimento ineficiente	Espessura da camada de proteção de concreto inferior ao exigido pela NBR 6118:2023.	Erros de execução, falta de espaçadores adequados ou falhas no posicionamento das fôrmas.	Deixa as armaduras vulneráveis à penetração de agentes agressivos, acelerando o início da corrosão.

Fonte: Adaptado de DER/PR (2021)

Continuação do Quadro 4:

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	DESCRIÇÃO	CAUSAS	CONSEQUÊNCIAS
Corrosão	Oxidação do aço evidenciadas por manchas avermelhadas na superfície.	Exposição à umidade e oxigênio, potencializada por falhas de concretagem ou porosidade excessiva.	Redução da seção útil da armadura, perda de aderência aço-concreto e diminuição da resistência estrutural
Fissuras	Aberturas lineares na superfície do concreto que rompem a integridade da peça	Cura mal executada, recalque diferencial, expansão de materiais ou sobrecargas.	Geram desconforto visual e servem como via de acesso para água, Co ₂ e fungos acelerando a degradação
Infiltração	Penetração de água no interior do elemento estrutural por porosidade ou aberturas	Falhas no sistema de drenagem, exposição direta à chuva, capilaridade do solo ou presença de fissuras	Incita diversos processos patológicos e oxidação das armaduras, evidenciando a necessidade de drenagem
Carbonatação	Reação química entre o CO ₂ atmosférico e os componentes alcalinos do concreto.	Penetração do gás carbônico pelos poros do concreto em ambientes urbanos e industriais.	Redução do pH do concreto, provocando a despassivação da armadura e permitindo o início da corrosão.
Presença de cloretos	Contaminação da matriz de concreto por íons cloretos.	Ambientes litorâneos (névoa salina) ou uso de aditivos aceleradores de cura inadequados.	Corrosão severa por pites (localizada), manchas por retenção de umidade e fissuração próxima às barras.

Fonte: Adaptado de DER/PR (2021)

2.6 Mecanismos químicos de deterioração das estruturas de concreto

Segundo Bolina, Tutikian e Helene (2019), os mecanismos químicos de deterioração das estruturas de concreto decorrem principalmente de reações químicas dos compostos hidratados da pasta de cimento Portland e os agentes agressivos presentes no meio ambiente, como aqueles típicos de regiões litorâneas ou industriais. Esse processo também pode ocorrer através dos elementos constituintes da produção do concreto, como agregados contaminados ou uso inadequado de aditivos, favorecendo o surgimento de reações químicas indesejadas que comprometem o desempenho da estrutura.

Esse fenômeno é prejudicial para a composição e estrutura química do concreto, uma vez que pode modificar as propriedades mecânicas e físicas da estrutura. Muitas vezes, esses agentes químicos agressivos percolam os poros do concreto em direção às armaduras iniciando o processo de corrosão destas que consequentemente desencadeia o processo de fissuração da superfície do concreto devido à expansão das armaduras.

Em outras situações, a deterioração ocorre diretamente na superfície do concreto, como na carbonatação, que é um processo em que o dióxido de carbono reage com os

compostos hidratados que preservam a passivação das armaduras, favorecendo o início da corrosão do aço. (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

Segundo a NBR 6118:2023 existem dois tipos de despassivação que afetam a armadura da estrutura de concreto: a despassivação por carbonatação e a despassivação por ação de cloretos. A norma estabelece que a corrosão por cloretos ocorre quando há ruptura da camada de passivação do aço em razão do elevado teor de íons cloreto que alcança as armaduras.

Recomenda ainda, que a prevenção deve priorizar a redução da entrada desses agentes agressivos no concreto, o que pode ser obtido por meio de cobrimentos adequados, controle da fissuração e utilização de concreto com baixa porosidade. Recomenda ainda o emprego de cimentos com adições de escória ou materiais pozolânicos, que contribuem para melhorar a durabilidade da estrutura (Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6118, 2023).

Enquanto a despassivação das armaduras por ação da carbonatação ocorre quando ocorre a penetração do dióxido de carbono presente na estrutura no interior do concreto, promovendo a redução do PH e a perda da camada passivadora do aço. Como medidas preventivas, recomenda-se a adoção de estratégias que dificultem o ingresso de agentes agressivos, destacando-se a garantia de cobrimento adequado das armaduras, o controle da fissuração e a utilização de concretos de baixa porosidade, de modo a reduzir a permeabilidade e aumentar a durabilidade da estrutura conforme estabelece a ABNT NBR 6118:2023.

A NBR 6118:2023 também lista os mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto, destacando a lixiviação, expansão por sulfato e reação álcali-agregado.

De acordo com a NBR 6118:2023, a lixiviação ocorre quando compostos hidratados da pasta de cimento são dissolvidos e transportados pela ação de águas puras, ácidas ou com gás carbônico agressivo, sendo recomendada a limitação da fissuração e a proteção das superfícies expostas para reduzir a infiltração.

O processo de expansão por sulfato é provocado pela ação de águas ou solos que contenham sulfatos e ocorre em razão de reações químicas deletérias entre esses agentes e a pasta de cimento hidratado, resultando em processos expansivos que podem comprometer a durabilidade do concreto. (Souza e Ripper, 1998).

A reação álcali-agregado (RAA) constitui um mecanismo de deterioração interna do concreto que não é decorrente da ação direta dos agentes agressivos externos, mas da interação entre os álcalis presentes no cimento (Na_2O e K_2O), os íons hidroxila da solução dos

poros e minerais reativos dos agregados, como formas de sílica amorfa e alguns carbonatos de natureza dolomítica. (RIBEIRO, 2014).

Normalmente esse tipo de reação ocorre com mais frequência em ambientes úmidos, como barragens, pilares de pontes e estruturas marítimas, sendo necessária umidade relativa superior a 80% para que tal processo se desenvolva de forma significativa. O quadro patológico resultante desse processo são redução da resistência mecânica e do modo de deformação, além, do aparecimento de fissuras do tipo mapeadas, ou seja, distribuídas de forma irregular na superfície do concreto (RIBEIRO, 2014).

2.7 Processos físicos de deterioração das estruturas de concreto

Segundo Souza e Ripper (1998), a deterioração do concreto pode ocorrer em função de diversos processos físicos, destacando-se, entre eles, a fissuração, a desagregação do concreto, carbonatação, perda de aderência do concreto e desgaste do concreto, os quais comprometem o desempenho e a durabilidade das estruturas ao longo do tempo.

2.7.1 Fissuração

Segundo Fusco (2012), em razão da baixa resistência do concreto à tração, é comum o surgimento de fissuras nas zonas tracionadas das peças estruturais. Entretanto, a presença dessas fissuras pode significar riscos mais significativos de agressão às armaduras do que aqueles decorrentes apenas da porosidade do concreto e da espessura da camada de cobrimento.

Segundo a ABNT NBR 6118:2023, o controle da abertura de fissuras é crucial para evitar o processo de corrosão das armaduras. Em estruturas protendidas, embora o aparecimento de fissuras seja menos provável, seus efeitos podem ser mais severos devido ao risco de corrosão sob tensão das armaduras ativas. De modo geral, quando a abertura de fissuras permanece dentro dos limites normativos e a estrutura é adequadamente projetada e executada, não há comprometimento significativo na durabilidade nem na segurança estrutural. A fissuração também pode ser causada por retrações térmicas e plásticas ou por reações químicas nas idades iniciais do concreto, devendo ser minimizada utilizando cuidados relacionados ao uso correto do traço e da cura.

Segundo Souza e Ripper (1998), o surgimento de fissuras são decorrentes de diversas causas: deficiências de projeto, contração plástica do concreto, assentamento do concreto ou perda de aderência das barras da armadura, movimentação de formas e

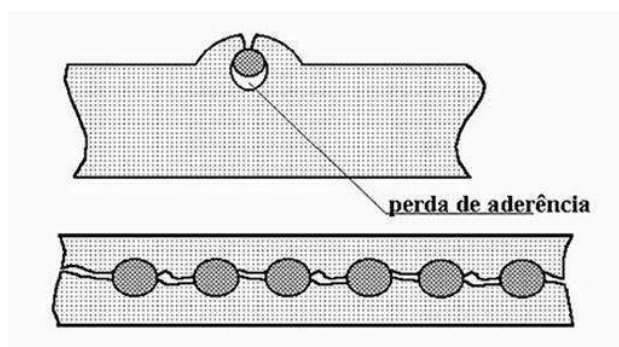
escoramentos, retração do concreto, erros de execução, reações expansivas, corrosão das armaduras, recalques diferenciais, variação de temperatura e ações aplicadas.

O processo de fissuração por contração plástica do concreto ocorre antes do processo de pega do concreto decorrente da evaporação rápida da água que foi usada em excesso, geralmente esse tipo de fissuras são superficiais e tendem a ser paralelas entre si formando um ângulo de 45° nos cantos (Souza e Ripper, 1998).

Segundo, Souza e Ripper (1998), a fissuração por assentamento plástico do concreto ocorre quando o movimento natural da massa, provocado pela ação da gravidade, é parcialmente impedido pela presença de formas ou das barras de armadura, sendo sua intensidade tanto maior quanto a espessura da camada de concreto. Essas fissuras tendem a se desenvolver ao longo das armaduras, podendo gerar o denominado “efeito sombra” ou “efeito de parede”, caracterizado pela formação de vazios sob as barras, o que reduz significativamente a aderência entre o aço e o concreto, conforme indicado na figura 01.

Em casos de grande concentração de armaduras, a interação entre fissuras pode levar a situações mais críticas, como a perda local ou total de aderência. Do ponto de vista da durabilidade, esse tipo de fissuração é particularmente prejudicial, pois facilita o acesso direto de agentes agressivos às armaduras, intensificando os processos de corrosão. (Souza e Ripper, 1998).

Figura 1 – Perda de aderência entre concreto e armaduras



Fonte: Souza e Ripper (1998)

Os limites de abertura das fissuras são definidos em função da classe de agressividade ambiental conforme indicado no quadro 5, sendo mais restritivos para armaduras ativas, a fim de assegurar proteção adequada contra a corrosão, conforme estabelecido na ABNT NBR 6118:2023.

Quadro 5 – Limites de abertura de fissuras em função da classe de agressividade ambiental

Tipo de concreto estrutural	Tipo de protensão	Classe de agressividade ambiental (CAA)	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	–	CAA I a CAA IV	Não há	–
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	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação frequente
	Pós-tração	CAA I e CAA II		
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração	CAA I e CAA II	Verificar as duas condições abaixo ELS-F	Combinação frequente
	Pós-tração	CAA I a CAA IV	ELS-D ^a	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração	CAA I a CAA IV	Verificar as duas condições abaixo ELS-F	Combinação rara
	Pós-tração	CAA I a CAA IV	ELS-D ^a	Combinação frequente
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. No caso de pré-tração em estruturas de concreto pré-fabricado, devem ser atendidos os requisitos da ABNT NBR 9062. NOTA 1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2. NOTA 2 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.				
^a A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 50$ mm (ver Figura 3.1).				

Fonte: (Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6118, 2023)

As reações expansivas, como as reações álcalis-agregado podem provocar a formação de produtos expansivos no interior da massa de concreto. Normalmente esse tipo de reação se desenvolve anos após a concretagem resultando na fissuração desordenada na superfície. Esse processo compromete progressivamente a durabilidade do material e pode ter seu processo de degradação acelerado em virtude das seguintes condições de exposição, como presença de umidade, elevadas temperaturas, valores elevados da relação água-cimento e condições ambientais (Souza e Ripper, 1998).

A corrosão das armaduras, também é um processo que favorece o surgimento de fissuras que possui natureza eletroquímica e se inicia com a despassivação do aço, em razão da redução da alcalinidade do concreto ou da presença de agentes agressivos, como cloretos e dióxido de carbono. Dessa forma, após a perda da película protetora ocorre a formação do

processo de corrosão, nas quais ocorre a oxidação do ferro e a consequente geração de produtos expansivos que comprometem a seção resistente das barras e ocasiona a perda de aderência entre aço e concreto, fissuração e desagregação do cobrimento (Souza e Ripper, 1998).

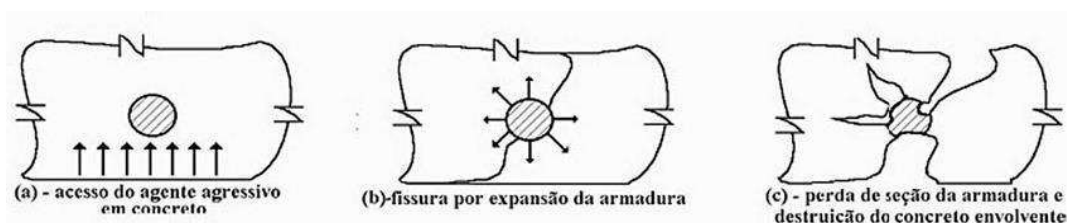
2.7.2 Desagregação do concreto

A desagregação do concreto pode ser entendida como a perda do monolitismo do material, decorrente da separação física de suas partes, com comprometimento da coesão entre os agregados e da capacidade de ligação do cimento, esse fenômeno pode ocorrer de forma localizada ou global fazendo com que o elemento solicitado perca a capacidade de resistência solicitada. (Souza e Ripper, 1998).

Existem diversos fatores que podem ocasionar a desagregação do concreto, entre eles destacam-se: fissuração do concreto, movimento das fôrmas, corrosão do concreto, calcinação do concreto e ataques biológicos (Souza e Ripper, 1998).

O deslocamento do concreto ocasionado pela corrosão das armaduras é resultado da penetração de agentes agressivos através dos poros e fissuras, que promovem a despassivação do aço e o início das reações eletroquímicas conforme observado na figura 02. A formação de óxidos e hidróxidos de ferro, com volume muito superior ao do aço original, gera elevadas tensões internas no cobrimento, provocando fissuração longitudinal ao longo das barras. Com a progressão do processo corrosivo, essas fissuras evoluem para a perda de aderência entre o aço e o concreto e começa a ocorrer a desagregação da camada de cobrimento, o que acelera ainda mais a corrosão da armadura (Souza e Ripper, 1998).

Figura 2 – Processo de corrosão com desagregação da camada de cobrimento



Fonte: Souza e Ripper (1998)

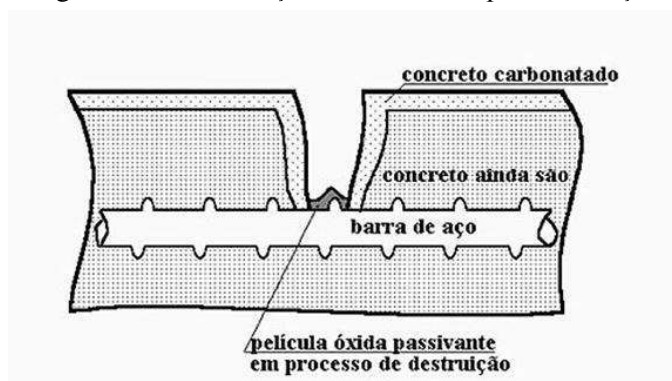
2.7.3 Carbonatação do concreto

A carbonatação ocorre quando o CO_2 do ar reage com o cimento, reduzindo o pH do concreto para menos de 9. Inicialmente, o processo pode aumentar a resistência do material se ficar restrito à superfície. Contudo, se a frente de carbonatação atingir a armadura, ela pode destruir a película protetora do aço. Isso desencadeia a corrosão da estrutura (Souza e Ripper, 1998).

Dessa forma, entende-se que fissuras com aberturas mais elevadas constituem caminhos para a entrada do dióxido de carbono no interior do concreto, acelerando o avanço da frente de carbonatação ao longo dessas discontinuidades e facilitando sua aproximação das armaduras, o que favorece o início dos processos corrosivos conforme indicado na figura 03.

Ademais, a redução da alcalinidade promovida pela carbonatação aumenta a suscetibilidade das armaduras à ação de agentes agressivos, especialmente os íons cloreto, de modo que menores teores desses contaminantes passam a ser suficientes para romper a camada passivante e desencadear a corrosão, quando comparados a concretos não carbonatados (Souza e Ripper, 1998).

Figura 3 - Carbonatação condicionada pela fissuração



Fonte: Souza e Ripper (1998)

2.7.4 Perda de aderência

Segundo Souza e Ripper (1998), a perda de aderência geralmente ocorre na interface de duas concretagens de idades diferentes ou entre as barras de aço e o concreto. A perda de aderência entre concretos de diferentes idades está associada principalmente, a deficiências na preparação da junta de concretagem, como a presença de impurezas na superfície de contato, longos intervalos de lançamento entre concretagens sem o devido tratamento do concreto endurecido, ocorrências de fissuras etc.

De modo semelhante, a redução da aderência entre o concreto e as armaduras pode decorrer de diversos fatores, como: a corrosão do aço, assentamento plástico, variações volumétricas de volume das barras de aço provocadas por ações térmicas, aplicação de produtos inibidores de corrosão (Souza e Ripper, 1998).

2.7.5 Desgaste do concreto

A ação abrasiva pode ser devida à atuação de diversos agentes, sendo os mais comuns o ar e a água, que carregam partículas que provocam a abrasão, bem como o tráfego de veículos que passam sobre as pistas de rolamento. Outro tipo de desgaste que pode ocorrer em estruturas de concreto é a cavitação, que consiste na formação de pequenas cavidades, pela ação de águas correntes, resultantes de vazios que se formam e desaparecem quando a água está se movimentando em velocidade elevada (Souza e Ripper, 1998).

Segundo Neville (1982) apud Souza e Ripper (1998), a superfície do concreto submetido à cavitação apresenta-se irregular, riscada e repleta de cavidades, diferindo daquela desgastada pela erosão causada por partículas sólidas transportadas pela água.

2.8 Inspeções

A NBR ABNT 9452:2023 estabelece quatro tipos de inspeções que devem ser realizadas em Obras de Arte Especiais: cadastral, rotineira, especial e extraordinária, cada uma com finalidades específicas relacionadas à avaliação das condições estruturais das OAE. Essa norma também determina que todas as inspeções deverão ser realizadas por equipe técnica de engenharia civil ou de áreas correlatas, sob a supervisão do administrador da OAE.

2.8.1 Inspeção cadastral

De acordo com a NBR 9452:2023, a inspeção cadastral corresponde à primeira avaliação realizada em uma Obra de Arte Especial, devendo ser executada após a conclusão de sua implantação ou quando a estrutura passa a integrar um sistema viário, bem como sempre que forem realizadas alterações na sua configuração ou modificações no sistema estrutural. Essa inspeção tem como finalidade registrar e descrever a obra, deve conter informações como localização e classificação da OAE, desenhos esquemáticos da planta do tabuleiro e de outros elementos estruturais, além de registros fotográficos da caracterização da estrutura e eventuais anomalias que possam afetar as condições estruturais, funcionais e de durabilidade da estrutura.

2.8.2 Inspeção rotineira

Conforme a NBR 9452:2023, a inspeção rotineira corresponde ao procedimento de verificação periódica das Obras de Arte Especiais, devendo ser realizada, em condições normais, com intervalo máximo de um ano em relação à inspeção anterior. Essa atividade baseia-se, principalmente, na observação visual dos tramos do tabuleiro e dos elementos aparentes da mesoestrutura e da infraestrutura, tendo como finalidade acompanhar o comportamento da estrutura ao longo do tempo, identificar o surgimento de novas anomalias e avaliar a progressão daquelas já registradas em inspeções anteriores.

2.8.3 Inspeção especial

De acordo com a NBR 9452:2023, a inspeção especial é um tipo de avaliação mais minuciosa das Obras de Arte Especiais, cuja finalidade é realizar um diagnóstico estrutural identificando e mapeando todas as anomalias existentes na estrutura a fim de definir medidas corretivas e preventivas necessárias para garantir a segurança, funcionalidade e a durabilidade da estrutura. Essa inspeção possui periodicidade recomendada de cinco anos, podendo ser estendida para até oito anos, desde que a estrutura apresente desempenho satisfatório em todos os parâmetros avaliados e desde que haja pleno acesso aos seus elementos durante as inspeções rotineiras.

A norma também estabelece que a inspeção pode ser antecipada sempre que houver condições críticas já avaliadas em inspeções anteriores que exijam intervenção em curto prazo ou quando estiverem previstas intervenções significativas, como reforços estruturais, ampliações ou elevação da capacidade portante.

2.8.4 Inspeção extraordinária

Segundo a ABNT NBR 9452:2023, a inspeção extraordinária é aquela realizada de forma não programada, mediante a ocorrência, de forma associada ou isolada, das seguintes situações:

- ocorrência de sinistro por incêndio;
- ocorrência de impacto de veículo, trem ou embarcação;
- ocorrência de eventos da natureza, como inundação, vendaval, sismo, entre outros;
- necessidade de avaliação de um elemento ou de parte da OAE que pode ser recomendada em inspeção anterior.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, adotou-se o método de estudo de caso aplicado a um viaduto rodoviário na cidade de São Luís -MA, no qual foi realizada uma inspeção visual técnica com o objetivo de identificar e caracterizar as principais manifestações patológicas presentes na superestrutura e mesoestrutura da Obra de Arte Especial. Vale ressaltar que a infraestrutura não foi avaliada nesse trabalho devido à inviabilidade de realizar a inspeção visual nessa região.

A pesquisa apresenta abordagem predominantemente qualitativa, fundamentada na interpretação das patologias observadas, na análise de suas prováveis causas e na comparação com referências normativas e bibliografias especializadas sobre o assunto. De forma complementar, empregou-se uma abordagem quantitativa, por meio da contagem das ocorrências e da elaboração de gráficos estatísticos, visando facilitar a visualização da frequência e da predominância das manifestações patológicas mais recorrentes da região da mesoestrutura e superestrutura.

Ademais, foram utilizados como instrumentos de coleta de dados: dispositivo móvel com câmera, paquímetro e nível a laser, empregados respectivamente, no registro fotográfico, na aferição da espessura de alguns elementos e na conferência de algumas distâncias entre elementos. O método de análise baseou-se na classificação das anomalias segundo a literatura técnica e normas técnicas da ABNT, possibilitando também a proposição de soluções e medidas necessárias para recuperação dos elementos deteriorados.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 Caracterização do Objeto de estudo

O estudo de caso foi realizado no Elevado Alexandre Costa, popularmente conhecido como Viaduto ou Elevado da Cohama, localizado na avenida Daniel de La Touche na cidade de São Luís - MA.

A superestrutura do viaduto é composta por sete longarinas metálicas, constituídas por perfis soldados do tipo CVS, com altura aproximada de 1,00 m. Essas longarinas apresentam travamento transversal por meio de cantoneiras duplas do tipo L na região interior, além de sistemas de contraventamento em formato de X ao longo de sua altura, conectados aos enrijecedores de alma, com ligações predominantemente parafusadas.

Integra ainda a superestrutura, o tabuleiro em laje de concreto armado, constituído por placas pré-moldadas e por barreiras pré-moldados que delimitam a pista de rolamento.

Conforme estabelecido pela ABNT NBR 9452:2023, a superestrutura compreende o conjunto de elementos estruturais responsáveis por receber as ações permanentes e variáveis, transmitindo-as à mesoestrutura ou diretamente à infraestrutura.

A mesoestrutura do viaduto é formada por onze pórticos estruturalmente semelhantes, distribuídos ao longo da sua extensão. Segundo a ABNT NBR 9452, a mesoestrutura é definida como o conjunto de elementos responsáveis por receber as cargas provenientes da superestrutura e transferi-las à infraestrutura. Nesse contexto, cada pórtico é constituído por dois pilares de altura variável, com seção transversal do tipo I, interligados por vigas de travamento de geometria trapezoidal.

O viaduto possui duas cabeceiras, localizadas nas extremidades da Obra de Arte Especial, os quais atuam como elementos de transição entre o aterro e a estrutura, exercendo funções estruturais geotécnicas, como o suporte da superestrutura e o arrimo do solo, conforme definido pela ABNT NBR 9452:2023.

Com o objetivo de garantir maior clareza, organização e identificação das manifestações patológicas, os pórticos do viaduto foram previamente identificados e numerados. O pórtico situado imediatamente após o primeiro encontro da estrutura, no sentido Cohama - Bequimão, na Avenida Daniel de La Touche, foi denominado P1, sendo os demais pórticos identificados de forma sequencial ao longo do viaduto, conforme apresentado na figura 04. Ademais, cada pórtico é constituído por dois pilares que sustentam a superestrutura do viaduto.

Com o propósito de assegurar clareza na apresentação e adequada interpretação dos resultados, optou-se por destacar as principais manifestações patológicas identificadas no viaduto, com enfoque naquelas observadas na mesoestrutura, superestrutura e nos encontros, por serem os elementos que concentram maior relevância técnica e maior incidência de danos visíveis.

Ressalta-se que a infraestrutura não foi objeto de análise, em decorrência de limitações de acesso durante a inspeção. Ademais, a descrição individualizada das manifestações patológicas em cada pórtico, viga, pilar não foi desenvolvida no corpo do trabalho, uma vez que tal abordagem resultaria em um conteúdo excessivamente extenso e repetitivo. Diante disso, optou-se por apresentá-las de forma sintética e representativa.

Figura 4 – Imagem aérea do Viaduto sentido Cohama - Bequimão



Fonte: Autor (2025)

4.2 Manifestações patológicas

Segundo Helene (1992), as manifestações patológicas constituem sintomas de problemas existentes nas estruturas de concreto, os quais podem ser identificados e classificados a partir de observações visuais minuciosas. Tais manifestações podem ser denominadas danos, defeitos ou lesões.

Durante a vistoria realizada no dia 16 de dezembro de 2025 e 16 de janeiro de 2026, foram observadas diversas manifestações patológicas na estrutura do viaduto, evidenciadas por meio de inspeção visual e registro fotográfico. Entre as principais ocorrências identificadas destacam-se fissuras, trincas e rachaduras, além de processos de corrosão em elementos metálicos, lixiviação, exposição de armaduras, deslocamento do concreto e outros sinais de degradação, os quais indicam a necessidade de acompanhamento técnico e de intervenções adequadas para a preservação da durabilidade e da segurança estrutural da Obra de Arte Especial.

4.2.1 Cabeceiras - Manifestações patológicas

As extremidades dos viadutos são compostas por placas pré-moldadas de terra armada, as quais são responsáveis pela contenção do aterro, pela estabilidade dos encontros e a transição entre o solo e a estrutura da Obra de Arte Especial.

Durante a vistoria, foi possível identificar a presença de carreamento de solo entre as

placas pré-moldadas de terra armada localizada no encontro que fica na extremidade da região da Cohama, evidenciada pelo carreamento de finos do material de aterro através das juntas entre as placas conforme evidenciado na figura 05.

As prováveis causas para esse tipo de dano é o desgaste do material geotêxtil que impede o fluxo do solo de aterro entre as juntas das placas pré-moldadas, o carreamento do solo também pode ser ocasionado devido a recalque do solo devido a falhas no sistema de drenagem.

Figura 5- Presença de solo de aterro entre juntas das placas pré-moldadas



Fonte: Autor (2025)

Também foram identificadas fissuras e trincas nos elementos estruturais, conforme evidenciado na Figura 6, observou-se a abertura de fissuras verticais e inclinadas, predominantemente na direção das armaduras, as quais podem estar associadas ao processo de corrosão do aço. De acordo com Helene (1992), a corrosão das armaduras provoca aumento de volume dos produtos de oxidação, gerando tensões internas no concreto que resultam no surgimento de fissuras, geralmente orientadas paralelamente às barras, podendo evoluir para trincas e deslocamento do cobrimento.

Figura 6 – Trincas e fissuras nos elementos da cabeceira do viaduto



a) Fissuras e trincas

b) Fissuração nas placas de terra armada

Fonte: Autor (2025)

Além disso, constatou-se o deslocamento de concreto, conforme ilustrado na figura 7, caracterizando uma manifestação patológica decorrente do processo de corrosão das armaduras, o qual resultou na perda de seção das armaduras longitudinais e transversais em alguns pontos. As medições realizadas com o auxílio de um paquímetro digital, indicam perda de seção significativa, uma vez que, em alguns pontos, a bitola residual do aço apresentou valores inferiores a 5 mm, evidenciando o avançado estado de deterioração em uma das extremidades da região do encontro do viaduto.

Figuras 7 – Perda de seção ocasionada pela corrosão das armaduras



a) Leitura com paquímetro digital

b) Aferição da bitola residual da seção

Fonte: Autor (2025)

Na outra extremidade do viaduto, na cabeceira que compreende a região do Bequimão sentido shopping da Ilha também foram encontrados alguns danos nas placas pré-moldadas de terra armada, entre elas destacam-se fissuras, trincas, manifestação de corrosão, além da exposição de armaduras e deslocamento do concreto conforme pode ser evidenciado na figura 8.

Figuras 8 – Armadura exposta com corrosão



Fonte: Autor (2025)

4.2.2 Mesoestrutura- Manifestações patológicas em pórticos e pilares

De modo geral, a mesoestrutura do viaduto apresenta diversas manifestações patológicas que indicam processos avançados de deterioração dos elementos estruturais, destacando-se a presença de fissuras, trincas, deslocamento do concreto, corrosão das armaduras longitudinais e transversais, com perda de seção em alguns pontos e cisalhamento em outros, além do acúmulo de sujeira, lodo e desenvolvimento de vegetação.

Tais patologias estão associadas, principalmente, à ação da umidade, à deficiência no sistema de drenagem, à falta de manutenção preventiva, favorecendo a infiltração, o que ocasiona a entrada de agentes agressivos que afetam a durabilidade e o desempenho das

estruturas de concreto.

Durante a vistoria técnica realizada no viaduto, constatou-se a presença significativa de vegetação, além do acúmulo de sujeira e lodo na viga de travamento e pilares do Pórtico 01, conforme observado na figura 9. Tais condições evidenciam possíveis falhas no sistema de drenagem e manutenção da estrutura, contribuindo para a retenção de umidade nas superfícies dos elementos estruturais. Adicionalmente, foram observadas fissuras e trincas nesses elementos, conforme apresentado nas figuras 09 a 11. Contudo, a camada de lodo aderida à superfície dificultou a identificação completa da extensão e da distribuição dessas manifestações patológicas.

Figuras 9- Presença de vegetação no Pórtico 01



Fonte: Autor (2025)

Figura 10 – Fissuras e trincas na viga de travamento



Fonte: Autor (2025)

Figura 11 – Fissuras e trincas na viga de travamento



Fonte: Autor (2025)

As fissuras observadas nas Figura 12 indicam a presença de tensões de tração na direção horizontal do pilar, as quais podem estar associadas ao processo de corrosão das armaduras, uma vez que os produtos de corrosão provocam aumento do volume das barras de aço oxidadas, gerando pressões internas que fissuram o concreto no sentido das armaduras longitudinais, fazendo com que as aberturas se desenvolvam ao longo das armaduras oxidadas. (THOMAZ,2003).

As trincas e fissuras apresentam diferentes características e graus de relevância, os quais variam em função do tipo estrutural, da posição em que se manifestam, dos mecanismos que lhes dão origem e da largura de abertura. Além disso, podem ser classificadas como ativas, quando sofrem variações de comprimento e abertura ao longo do tempo ou sob a ação de cargas móveis, ou como inativas, quando não há evolução significativa dessas dimensões (DNIT, 2010).

Figura 12 – Fissuras e trincas nos pilares



a) Deslocamento de concreto e corrosão b) Armadura exposta devido a corrosão

Fonte: Autor (2025)

4.2.3 Pórtico 02 - Região da mesoestrutura

Um dos pilares do Pórtico 02 apresenta estado avançado de corrosão das armaduras longitudinais e transversais na região da base, com exposição das armaduras e perda significativa de seção, observando-se em alguns pontos, armaduras cisalhadas e totalmente deterioradas em decorrência do processo corrosivo conforme figuras 13 a 15.

Figura 13 – Processo de corrosão avançado no pilar 1 do pórtico 2.



Fonte: Autor (2025)

Figura 14- Perda de seção das armaduras transversais e longitudinais



a) Ausência de armaduras devido a corrosão

b) Armadura seccionada

Fonte: Autor (2025)

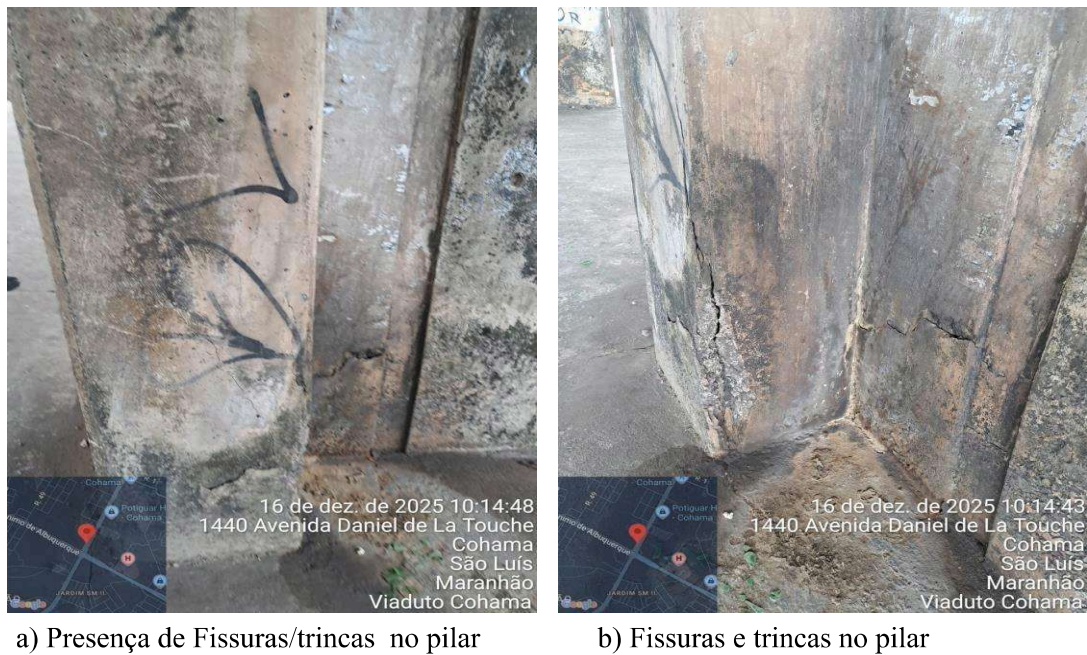
Conforme a ABNT NBR 9452:2023, quadros de corrosão que resultem no comprometimento da capacidade resistente ou da segurança estrutural são classificados como situação crítica ou emergencial, exigindo-se a adoção de medidas de intervenção, a fim de evitar riscos e preservar a estabilidade da estrutura, até que seja realizada uma inspeção especial definindo os procedimentos definitivos de recuperação.

Muitas vezes, o processo de corrosão é decorrente de uma manifestação patológica primária, como a carbonatação, que ocorre quando o dióxido de carbono presente na atmosfera reage com o hidróxido de cálcio da pasta de cimento, reduzindo progressivamente a alcalinidade do concreto. Esse processo provoca a diminuição do pH, que passa de valores em torno de 13 para aproximadamente 9, nível considerado insuficiente para manter a passivação das armaduras, favorecendo assim o início da corrosão.(DNIT, 2010).

A frente de carbonatação avança com o tempo em direção às armaduras, sendo um fenômeno de difícil identificação visual em inspeções rotineiras, o que torna necessário o uso de ensaios específicos, como a aplicação de solução de fenolftaleína em superfícies recém-fraturadas, que permite distinguir as regiões carbonatadas das não carbonatadas pela variação de coloração (DNIT, 2010).

Ademais, verificou-se que a outra face desse mesmo pilar também apresenta trincas próximo a região da base do pilar conforme observado na figura 15.

Figura 15 – Fissuras verticais e horizontais no pilar



Fonte: Autor (2025)

Além disso, no segundo pilar desse mesmo pórtico também foi identificada fissuras e trincas, além de processo de corrosão da armadura em alguns pontos com deslocamento do concreto e exposição de armaduras conforme observada na figura 16.

Figura 16– Armadura exposta na base do pilar



Fonte: Autor (2025)

O pórtico 11 apresenta deslocamento de concreto, trincas e fissuras, bem como

estado avançado de corrosão na região próximo à base em ambos os pilares, conforme observado na figura 17 a 19.

Figura 17 - Visão geral do Pórtico 11



Fonte: Autor (2025)

Figura 18— Pilar com armaduras expostas



Fonte: Autor (2025)

Figura 19– Armaduras expostas na base do Pilar



Fonte: Autor (2025)

As chapas base que ficam abaixo das vigas longarinas também apresentam um estado de corrosão acentuado conforme Figura 20.

Figura 20 – Corrosão na base de apoio da viga longarina



Fonte: Autor (2025)

4.2.4 - Superestrutura

De modo geral, a superestrutura do viaduto apresenta como principais manifestações patológicas a corrosão das peças metálicas, abrangendo as vigas longarinas, as bases de apoio das vigas e os sistemas de travamento transversais e longitudinais, o que evidencia a atuação contínua de umidade e de agentes agressivos associados à ausência de manutenção ao longo do tempo.

Foi possível verificar em alguns pontos a presença de fissuras no concreto, acompanhada de deslocamento do cobrimento e exposição de armadura em alguns trechos da laje tabuleiro, o que favorece a intensificação dos processos corrosivos, tendo em vista que a abertura de fissuras possibilita a entrada de agentes agressivos que contribuem para a corrosão da armadura. Ademais, a presença de manchas de infiltração em diferentes pontos da estrutura indica falhas nos sistemas de impermeabilização e drenagem conforme Figura 21.

Figura 21- Presença de infiltração e obstrução de drenos



a) Drenos obstruídos com manchas

b) Manchas de água devido a falha nas juntas

Fonte: Autor (2025)

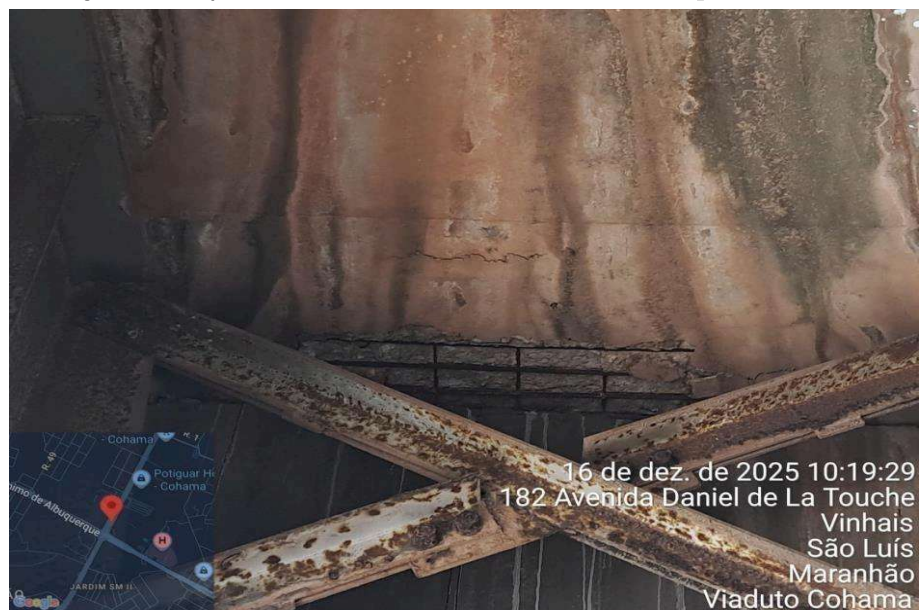
Figura 22 – laje do tabuleiro fissurada



Fonte: Autor (2025)

As fissuras observadas na face inferior da laje tabuleiro, conforme Figuras 23 e 24, são típicas de processos de corrosão devido à infiltração de água. Ademais, a presença de manchas de percolação e lixiviação indica deficiência de impermeabilização do tabuleiro que favorece a intensificação do quadro de corrosão e a perda de aderência entre o concreto e o aço.

Figura 23– laje de tabuleiro fissura e com armadura exposta



Fonte: Autor (2025)

Figura 24- deslocamento de concreto e armadura exposta na laje do tabuleiro



Fonte: Autor (2025)

Também, constatou-se como uma das principais manifestações patológicas, a presença de corrosão nas vigas longarinas metálicas do viaduto, que pode estar relacionada à ação prolongada de umidade, intensificada por falhas no sistema de drenagem, falhas nas juntas de dilatação e pela inexistência de manutenção preventiva. Em diversos trechos, é possível notar a corrosão em estado intermediário com perda de seção útil nas extremidades das mesas inferiores das longarinas conforme observado na Figura 25.

Figura 25– Longarinas metálicas com corrosão



Fonte: Autor (2025)

As juntas de dilatação atuam como conexões flexíveis capazes de acomodar variações dimensionais decorrentes da expansão e contração térmica, da retração do concreto, ações sísmicas e das cargas móveis, absorvendo tais deslocamentos sem gerar tensões excessivas. Dessa forma, possibilitam que a estrutura se deforma de maneira compatível com as ações atuantes, prevenindo danos, preservando a durabilidade e garantindo a segurança estrutural da ponte (FOSTER INTERNACIONAL, 2023).

Embora as juntas de dilatação constituam elementos essenciais para a estabilidade funcional e para o adequado desempenho das Obras de Arte Especiais, verificou-se que, em determinados pontos do Viaduto da Cohama, tais dispositivos encontravam-se inexistentes ou em avançado estado de deterioração, o que favoreceu a ocorrência de infiltrações e contribuiu para a aceleração dos processos de degradação dos elementos estruturais adjacentes, conforme observado na figura 26 e 27.

Figura 26 – Falha na junta de dilatação vista pela parte inferior da laje do tabuleiro



Fonte: Autor (2025)

Conforme pode ser observado na Figura 27, a ausência da junta de dilatação nesse trecho do viaduto propiciou o surgimento de diversas manifestações patológicas, uma vez que a infiltração de água aconteceu de forma descontrolada naquela região. Essa percolação favoreceu processos de lixiviação, evidenciados pelo carregamento de sais e hidróxidos do

concreto, além de intensificar a corrosão dos elementos metálicos e das armaduras das estruturas de concreto.

Ademais a presença constante de umidade favoreceu a porosidade do concreto e aparecimento de fissuras. Diante disso, é imprescindível realizar as manutenções necessárias nos elementos afetados e principalmente na junta de dilatação a fim de evitar o agravamento do quadro patológico.

Figura 27- Manifestações patológicas na laje do tabuleiro

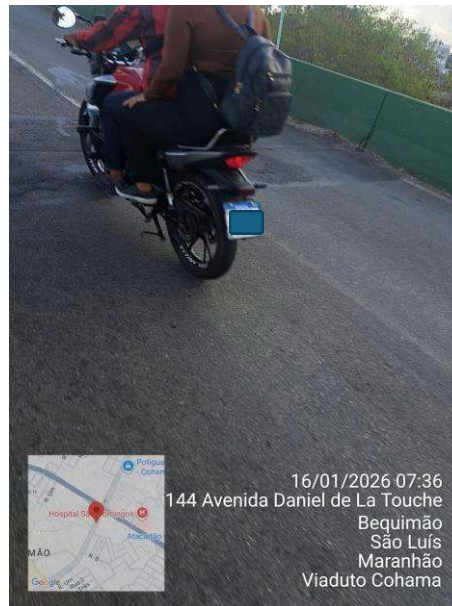


Fonte: Autor (2025)

Adicionalmente, foi realizada a inspeção da superfície da pista de rolamento, onde se observou a presença de um recapeamento localizado do concreto nas proximidades da junta de dilatação conforme observado na figura 24, o que indica que essa região apresentava previamente algum nível de degradação. Contudo, em razão do tráfego intenso de veículos e a ausência de passarela, não foi possível obter registros fotográficos mais nítidos e detalhados desse trecho.

Diante disso, é imprescindível que sejam realizadas manutenções periódicas e sistemáticas nesse elemento, tendo em vista que falhas nas juntas de dilatação tendem a ocasionar graves problemas de infiltração de água nos elementos estruturais localizados abaixo da pista de rolamento. Essas infiltrações favorecem a lixiviação do concreto, o surgimento de eflorescências e, principalmente, a corrosão das armaduras, comprometendo a durabilidade e a vida útil da estrutura (HELENE, 1992; DNIT, 2010).

Figura 28 – Vista superior da pista próximo à junta de dilatação



Fonte: Autor (2026)

Observou-se, ainda, que as barreiras laterais da pista de rolamento apresentavam manifestações patológicas caracterizadas por deslocamento do concreto, fissuração e indícios de corrosão das armaduras, conforme ilustrado nas figuras 29 e 30.

Figura 29– Deslocamento de concreto da barreira de proteção



Fonte: Autor (2026)

Figura 30 - Fissuração nas barreiras de proteção da pista de rolamento do viaduto



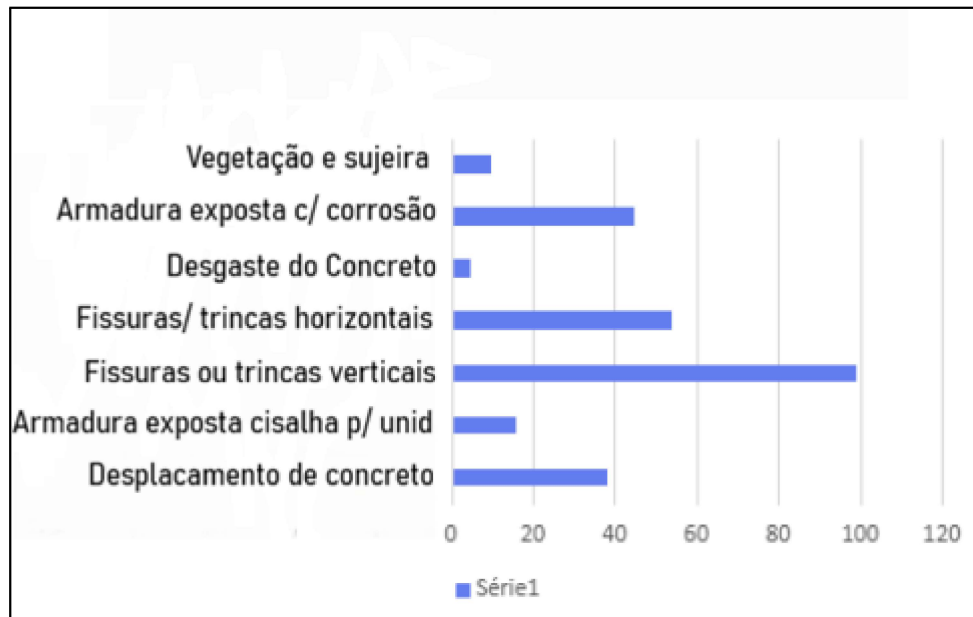
Fonte: Autor (2025)

4.3 Análise gráfica dos resultados

Os resultados obtidos a partir da inspeção visual e do levantamento quantitativo das manifestações patológicas, apresentados nos gráficos, evidenciam que a mesoestrutura, os encontros e a superestrutura do viaduto apresentam elevado grau de deterioração, com predominância de danos associados à ação da umidade, infiltração, processos corrosivos e fissuração do concreto (DNIT, 2010).

Na mesoestrutura, conforme demonstrado na Figura 31, observa-se maior incidência de fissuras e trincas tanto verticais quanto horizontais, além de deslocamento do concreto na região da base do concreto, em algumas vigas e exposição das armaduras com sinais de corrosão, indicando o comprometimento do cobrimento e possível avanço de mecanismos de carbonatação e penetração de agentes agressivos que aceleram o processo de deterioração dos elementos estruturais. Ademais, a presença de vegetação e acúmulo de sujeira reforça a hipótese de deficiência no sistema de drenagem e ausência de manutenção, favorecendo a retenção de umidade e a progressão das patologias.

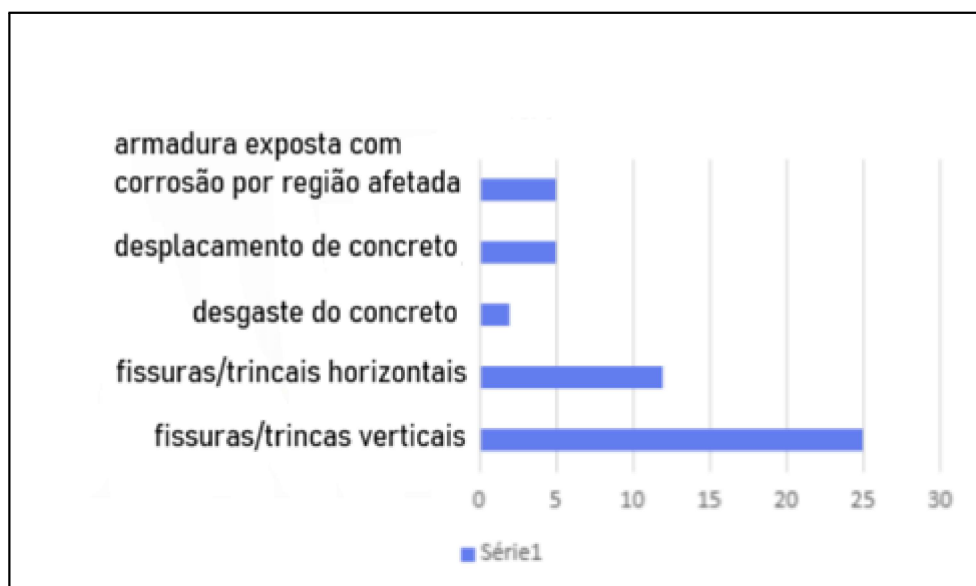
Figura 31 - Manifestações patológicas presentes na mesoestrutura



Fonte: Autor (2025)

Nos encontros, conforme observado na Figura 32, os resultados apontam predominância de fissuração vertical e horizontal, associadas a deslocamentos diferenciais, variações térmicas e concentrações de tensões, além de deslocamento do concreto na base e exposição de armaduras com corrosão localizada.

Figura 32 - Manifestações patológicas presentes nos encontros



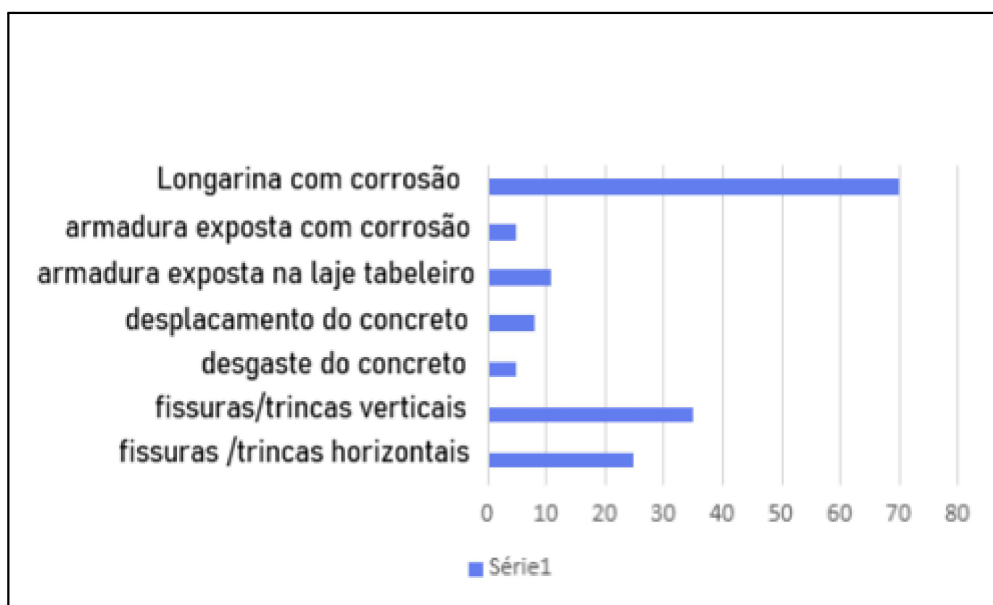
Fonte: Autor (2025)

Na superestrutura, conforme evidenciado na Figura 33, destaca-se a elevada ocorrência de corrosão nas vigas longarinas e seus elementos constituintes, como: base de

apoio, travamentos transversais e travamentos longitudinais, configurando a patologia mais significativa desse conjunto estrutural, seguidas por fissuras, trincas e pontos de deslocamento do concreto, com exposição de armaduras na laje do tabuleiro.

A predominância de corrosão nos elementos metálicos evidencia a ação contínua de umidade e agentes atmosféricos agressivos, possivelmente associada à deficiência de pintura de proteção e manutenção preventiva. Ademais, as fissuras e infiltrações observadas na laje contribuem para a percolação de água, intensificando os processos corrosivos e acelerando a degradação das estruturas de concreto e metálicas.

Figura 33 - Manifestações patológicas presentes na superestrutura



Fonte: Autor (2025)

De forma geral, os resultados analisados através da inspeção visual in loco demonstram que as manifestações patológicas identificadas não são pontuais, mas distribuídas em diferentes sistemas estruturais do viaduto, caracterizando um quadro de deterioração progressiva, típico de estruturas expostas a ambientes agressivos e com histórico de manutenção insuficiente. Conforme os critérios da ABNT NBR 9452:2023, a presença de corrosão com perda de cobertura, deslocamento do concreto e fissuração generalizada pode enquadrar determinados elementos em condição crítica, justificando a necessidade de inspeções especiais, ensaios complementares e elaboração de um plano de recuperação estrutural, visando restabelecer a durabilidade, o desempenho e a segurança da OAE.

4.4 Propostas de solução e intervenção

Para o tratamento das diversas manifestações patológicas em Obras de Arte Especiais, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2021) propõe uma série de soluções em função do tipo de dano identificado na estrutura. Entretanto, é fundamental ressaltar que, antes da aplicação de qualquer técnica de reparo, deve-se proceder à identificação e à eliminação das causas das anomalias, uma vez que a simples correção dos sintomas não garante a durabilidade da intervenção, conforme evidenciado no Quadro 6.

Nesse sentido, Helene (1992) destaca que a eficiência dos reparos está diretamente condicionada ao correto diagnóstico dos mecanismos de deterioração, sendo indispensável compreender a origem das manifestações patológicas para que as medidas adotadas sejam compatíveis com o processo de degradação atuante. De forma semelhante, Souza e Ripper (1998) afirmam que intervenções realizadas sem a eliminação das causas tendem a apresentar reincidência dos danos, comprometendo o desempenho e a vida útil da estrutura.

Quadro 6 - Síntese dos principais métodos utilizados para tratamento de manifestações patológicas em OAE

Patologia/situação	Tratamento	Procedimentos principais	Materiais/ técnicas
Concreto deteriorado	Remoção superficial ou profunda	Retirada do concreto até atingir material são e superfície áspera	Ponteiro, rompedor, jato de areia, jato de água de alta pressão (hidrodemolição)
Perda de seção de concreto	Substituição de concreto	Reconstituição com concreto de propriedades compatíveis ao original	Concreto estrutural, argamassa, grout
Armadura corroída	Remoção da corrosão	Limpeza completa das barras e verificação da perda de seção	Escova de aço, lixamento, jato de areia
Manchas superficiais	Remoção de manchas	Limpeza após eliminação da causa	Escova, lixa, jato de água/ar, solução levemente ácida

Continuação do Quadro 6:

Vazios, cavidades, ninhos de concretagem	Tratamento de vazios e desagregações	Preenchimento após limpeza	Grout, argamassa cimentícia, epóxica, polimérica, concreto projetado
Fissuras inativas	Selagem rígida	Limpeza, abertura em “V” e preenchimento	Argamassa de cimento e areia, resina epóxica
Fissuras ativas pequenas	Injeção	Injeção sob pressão controlada	Resina epóxica
Fissuras ativas grandes / fraturas	Selagem flexível	Abertura de cavidade e preenchimento com material deformável	Mastiques, termoplásticos, elastômeros (PU, silicone, acrílico)
Corrosão por carbonatação e cloretos	Controle e proteção	Remoção do concreto contaminado, limpeza da armadura e recomposição do cobrimento	Argamassa rica em cimento, grout, argamassa epóxica, concreto projetado
Perda de seção da armadura > 10%	Reforço	Colocação de armadura suplementar ancorada	Aço adicional + recomposição com argamassa/grout

FONTE: Adaptado de DNIT(2010)

5. CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir das inspeções realizadas e da análise das manifestações patológicas identificadas na mesoestrutura, nos encontros e na superestrutura do viaduto, conclui-se que a estrutura apresenta um quadro significativo de deterioração, caracterizado principalmente por processos de corrosão em elementos metálicos e em armaduras de concreto, fissuras e trincas de diferentes orientações, deslocamento do cobrimento, exposição de armaduras e presença de infiltrações e umidade. Tais patologias estão associadas, sobretudo, à ação contínua de

Os resultados indicam que a corrosão constitui o mecanismo de degradação mais relevante, afetando tanto os elementos de aço da superestrutura quanto as armaduras dos componentes de concreto, com potencial comprometimento da durabilidade e, em situações mais avançadas, da segurança estrutural. A fissuração e o deslocamento do concreto, observados principalmente em pilares, vigas de travamento e laje do tabuleiro, favorecem a penetração da água e a intensificação dos processos corrosivos, configurando um ciclo de deterioração progressiva.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de investigações complementares, tais como ensaios de profundidade de carbonatação, potencial de corrosão, extração de testemunhos para a avaliação da resistência do concreto, de modo a quantificar o grau de comprometimento dos materiais e elementos estruturais. Sugere-se ainda, o desenvolvimento de estudos voltados à modelagem da vida útil residual da estrutura e elaboração de planos de manutenção conforme ABNT NBR 9452:2023 com o intuito de garantir o desempenho, a durabilidade e a segurança da OAE.

REFERÊNCIAS

ACADEMIA NACIONAL DE ENGENHARIA. Posicionamento sobre a necessidade da manutenção das Obras de Arte Especiais nas rodovias brasileiras. Disponível em: https://anebrasil.org.br/posicionamento_pdf/Posicionamento-da-Academia-Nacional-de-Engenharia-manuten%C3%A7%C3%A3o-das-Obras-de-Arte-Especiais-nas-rodovias-brasileiras.pdf. Acesso em: 15 nov. 2025.

ALCÂNTARA JR., José O.; SELBACH, Jeferson Francisco (org.). Mobilidade urbana em São Luís. São Luís: EDUFMA, 2009. 116 p. il.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2023 — Projeto de Estruturas de Concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452:2023 – Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.

BOLINA, Fabricio Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo. Patologia de estruturas. 1. ed. Cubatão, SP: Oficina de Textos, 2019. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 21 nov 2025.

CARVALHO, R. C. FIGUEIREDO FILHO, J. R. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DE SÃO PAULO (CREA-SP). Manual de inspeção de pontes e viadutos. São Paulo: CREA-SP, 2025.

Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise/ Organização Daniel Vêras Ribeiro - 1. ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO PARANÁ - DER/PR. Manual técnico de recuperação de estruturas de obras de arte especiais. 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. Manual de manutenção de obras de arte especiais - OAEs. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), 2016.

DNIT. Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2010. (Publicação IPR 744).

FOSTER INTERNATIONAL. Why bridge expansion joints are crucial for infrastructure. [S.l.], 2023. Disponível em: <https://www.fosterintl.com/blog/bridge-expansion-joint/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

PANTOJA, João da Costa; BUZAR, Márcio Augusto Roma; PORTO, Naiara Guimarães de Oliveira (org.). Projeto, execução e reabilitação de obras de arte especiais. Brasília, DF: LaSUS FAU: Editora Universidade de Brasília, 2024. Disponível em: <https://livros.unb.br/index.php/portal/catalog/book/578>.

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

FUSCO, Péricles Brasiliense. Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados. 2. ed. São Paulo: Pini, 2012.

Helene, Paulo Roberto do Lago. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.