

Avaliação de manifestações patológicas em pontes de concreto armado na cidade de Juiz de Fora-MG

Luana Caroline Trindade de Oliveira^{[1]*}, Rovadavia Aline de Jesus Ribas^[2], Geraldo Donizetti de Paula^[3]

^[1] loliveira203@gmail.com. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8051-2519>

^[2] roviadavia@ufop.edu.br. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0364-1455>

^[3] geraldo.paula@ufop.edu.br. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4213-7473>

* autor correspondente

Resumo

Pontes e viadutos são construções relevantes que podem produzir grande impacto na melhoria do fluxo de deslocamentos em áreas urbanas, sendo consideradas construções especiais. No entanto, como qualquer outra estrutura exposta a intempéries e agentes agressivos, elas estão suscetíveis ao surgimento de manifestações patológicas, sendo comum observar uma alta incidência dessas manifestações em viadutos e pontes estruturados em concreto armado, frequentemente associadas ao tráfego intenso de veículos e à inexistência de manutenção e de conservação da estrutura. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é detectar, por meio de análise visual, as principais manifestações patológicas presentes em pontes de concreto armado localizadas na cidade de Juiz de Fora-MG. É realizado um estudo de caso, analisando-se três pontes localizadas no perímetro urbano sobre o Rio Paraibuna, que são: Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta, Ponte Pedro Marques e Ponte Élon Duarte (Raposa). As manifestações patológicas são identificadas, quantificadas e suas origens são investigadas, bem como avalia-se seu impacto no funcionamento e na segurança estrutural, e, com base nessa análise, propõem-se ações de recuperação para essas estruturas. As manifestações patológicas mais recorrentes são as fissuras, lixiviação, desagregação do concreto e corrosão da armadura, tendo como causa principal a inexistência de manutenção corretiva. Para todas são apresentadas formas de recuperação da estrutura visando seu reparo e durabilidade. Observa-se com esta pesquisa que a prevenção, por meio de inspeção e manutenção, é essencial para evitar danos estruturais, reduzir custos com reparos e garantir a durabilidade das construções especiais e o fluxo contínuo no deslocamento urbano.

Palavras-chave: concreto armado; estruturas em concreto armado; manifestações patológicas; pontes.

Evaluation of pathological manifestations in reinforced concrete bridges in the city of Juiz de Fora-MG

Abstract

Bridges and viaducts are relevant structures that can produce a significant impact on improving traffic flow in urban areas, being considered special constructions. However, like any other structure exposed to weather conditions and aggressive agents, they are susceptible to the occurrence of pathological manifestations, with a high incidence commonly observed in reinforced concrete bridges and viaducts, often associated with heavy vehicle traffic and the lack of maintenance and preservation of the structure. In this context, the objective of this work is to detect, through visual analysis, the main pathological manifestations present in reinforced concrete bridges located in the city of Juiz de Fora, Minas Gerais. A case study is carried out, analyzing three bridges located within the urban perimeter over the Paraibuna River, namely: Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta Bridge, Pedro Marques Bridge, and Élon Duarte (Raposa) Bridge. The pathological manifestations are identified, quantified, and their origins are investigated, as well as their impact on structural performance and safety is evaluated. Based on this analysis, recovery actions are proposed for these structures. The most recurrent pathological manifestations are cracks, leaching, concrete disintegration, and reinforcement corrosion,

with the main cause being the absence of corrective maintenance. For all of them, recovery methods are presented aiming at the repair and durability of the structure. It is observed through this research that prevention, through inspection and maintenance, is essential to avoid structural damage, reduce repair costs, and ensure the durability of special constructions and the continuous flow of urban mobility.

Keywords: bridges; pathological manifestations; reinforced concrete; reinforced concrete structures.

1 Introdução

Na engenharia de construções, enquanto patologia é a ciência que reúne um conjunto de teorias para explicar os mecanismos e as causas de problemas em construções, manifestação patológica refere-se à evidência visível de um processo de degradação. Assim, o termo patologia possui um escopo mais abrangente, pois se dedica ao estudo e à compreensão de todos os fatores relacionados a deterioração de uma edificação, sendo esses fatores, as manifestações patológicas (França *et al.*, 2011).

Pontes e viadutos desempenham um papel fundamental no deslocamento de pessoas e no transporte de cargas, contribuindo para a melhoria do tráfego em áreas urbanas. Devido à sua relevância técnica, econômica e social, essas estruturas são classificadas como obras de arte especiais (Rosa, 2021). No entanto, por estarem expostas a condições climáticas adversas e agentes agressivos, estão sujeitas a processos de deterioração, sendo comum a ocorrência de manifestações patológicas em pontes e viadutos de concreto armado, muitas vezes decorrentes também do tráfego intenso e da falta de manutenção adequada. Diante disso, a implementação de um plano de manutenção preventiva e corretiva é essencial para garantir sua conservação e funcionalidade ao longo do tempo (Lopes; Souza, 2025).

Como possuem estruturas que exigem elevado custo de reparação e um alto fluxo de pedestres e veículos, é de extrema relevância o estudo e análise de medidas de manutenção preventiva em pontes e viadutos. Quando em caráter de manutenção corretiva, danos em nível avançado podem causar transtornos e custos incalculáveis. Ocorre que as manifestações patológicas e falhas estruturais podem levar estruturas ao colapso quando elas atingem seu estado limite último de resistência ou de utilização, afetando a mobilidade urbana e também gerando riscos aos usuários (Barbosa *et al.*, 2019).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo é realizar uma avaliação de manifestações patológicas em pontes de concreto armado situadas na cidade de Juiz de Fora-MG.

Após esta primeira seção do artigo, apresenta-se, na Seção 2, o referencial teórico relacionado às estruturas de concreto armado e às suas principais manifestações patológicas, abordando-se os temas fissuras, lixiviação e eflorescência, desagregação do concreto e corrosão da armadura, bem como as formas de recuperação dessas manifestações. Na Seção 3, têm-se os materiais e métodos do trabalho, sendo descritos os procedimentos adotados para a realização do estudo de caso, incluindo a seleção das três pontes analisadas, a inspeção visual, os registros fotográficos e a caracterização das estruturas. A Seção 4 trata dos resultados e da análise, apresentando as manifestações patológicas identificadas em três pontes – quais sejam, a Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta, a Pedro Marques e a Élson Duarte – e discutindo suas possíveis causas, relações e os respectivos métodos de recuperação estrutural. Por fim, na Seção 5 reúnem-se as principais conclusões obtidas a partir da pesquisa, destacando-se a importância da inspeção e da manutenção preventiva e corretiva das pontes de concreto armado, além de se apresentar uma proposta de continuidade do estudo.

2 Desenvolvimento

O referencial teórico deste trabalho inclui assuntos pertinentes para abordar conceitos necessários sobre concreto armado e suas manifestações patológicas mais recorrentes.

2.1 Concreto armado

De acordo com a norma NBR 6118 (ABNT, 2023), as estruturas de concreto armado devem ser planejadas e construídas de forma que sua segurança, estabilidade e funcionalidade sejam mantidas sob as condições ambientais previstas durante o projeto, garantindo que permaneçam em serviço durante todo o período correspondente à sua vida útil quando utilizadas também conforme o projetado.

A norma exige que o projeto considere uma vida útil de pelo menos 50 anos, podendo ser maior (75 anos, 100 anos ou mais) dependendo da obra, que deve ser compatibilizada com as condições ambientais.

As pontes e viadutos funcionam como importantes elementos urbanos, definindo os principais fluxos de tráfego, facilitando cruzamentos de grandes avenidas, encurtando distâncias e superando obstáculos geográficos (Bastos; Miranda, 2017).

Para Mendes (2025), ao longo do tempo, o concreto utilizado tende a sofrer alterações em suas propriedades físicas e químicas devido à interação de seus componentes com o ambiente em que a estrutura está inserida. Isso faz com que o material se torne instável com o passar do tempo e não desempenhe sua função conforme previsto em projeto, sendo necessário o estudo e análise dessas alterações na estrutura.

Souza e Ripper (2009) e Mendes (2025) afirmam que o aparecimento de um problema patológico em uma estrutura geralmente indica, em última análise, a presença de uma ou mais falhas na execução de alguma etapa da construção, bem como deficiências no sistema de controle de qualidade das atividades envolvidas.

2.1.1 Fissuras

A norma NBR 6118 (ABNT, 2023) define que a ocorrência de fissuras em elementos estruturais é inevitável, dada a ampla variabilidade e sua baixa resistência à tração, e, mesmo sob as ações de serviço, valores críticos de tensão de tração são frequentemente alcançados. Com o objetivo de preservar a integridade das armaduras, evitar a corrosão e garantir a satisfação dos usuários em termos de estética, é importante controlar a abertura dessas fissuras.

O Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná (DER/PR, 2020) apresenta a diferença de fissuras para outros termos por meio da classificação pela sua espessura, sendo microfissuras as aberturas com espessura inferior a 0,05 mm, fissuras as aberturas inferiores a 0,5 mm e trincas as aberturas entre 0,5 mm e 1,0 mm. Utiliza-se o termo rachadura para trincas de dimensões superiores a 1,0 mm, entretanto, no meio técnico esse termo não é usual.

A presença de fissuras é um fenômeno frequente em pontes de concreto armado. Isso acontece devido a uma distribuição desigual de tensões na estrutura, mas também pode resultar da deterioração ou desintegração do próprio concreto. O surgimento de fissuras pode desencadear eventos significativos de instabilidade estrutural, cujas consequências são imprevisíveis e de grande impacto (Lourenço *et al.*, 2009).

2.1.2 Lixiviação e eflorescência

A norma NBR 6118 (ABNT, 2023) define a lixiviação como o mecanismo que dissolve e transporta os compostos hidratados da pasta de cimento devido à ação de águas puras, carbonáticas agressivas, ácidas e outras (Figura 1). Para prevenir sua ocorrência, recomenda-se limitar as fissuras, minimizando-se a infiltração de água e protegendo-se as superfícies expostas com produtos específicos.

A eflorescência é notada pela presença de manchas esbranquiçadas sobre a superfície do concreto e são causadas pela presença da cal livre em qualquer produto que leva cimento em sua composição. A eflorescência é consequência do processo de lixiviação (Matildes, 2022).

Segundo Helene (2004), a ação de águas puras, carbônicas agressivas e ácidas, que dissolvem e transportam os compostos hidratados da pasta de cimento, produz a lixiviação. Os sintomas básicos incluem uma superfície arenosa ou com agregados expostos, sem a pasta superficial, além de eflorescências de carbonato, alta retenção de fuligem e risco de desenvolvimento de fungos e bactérias. Como consequência, há também uma redução do pH do extrato aquoso dos poros superficiais do concreto do componente estrutural, aumentando o risco de despassivação da armadura.

Figura 1 – Incidência de lixiviação e eflorescência



Fonte: Moraes, Fonte e Cunha (2024)

Os pilares de pontes são elementos estruturais que estão diretamente em contato com a água. Em períodos chuvosos, o volume da água tende a aumentar e, conseqüentemente, aumenta também a área de contato da água com os pilares. A presença de fissuras e/ou o aumento desse contato pode levar ao surgimento de lixiviação. Essa manifestação patológica, que causa efeitos na estrutura como o surgimento de depósitos ou manchas brancas conhecidas como eflorescência, também pode produzir enfraquecimento e perda da resistência do concreto, afetando sua durabilidade e desempenho (Helene, 2004).

2.1.3 Desagregação do concreto

Quanto à definição geral de corrosão, ela pode ser dada como a deterioração de um material por meio de reações químicas ou eletroquímicas não intencionais, que se iniciam na superfície de um sólido, constituindo-se um processo genérico, capaz de ocorrer em qualquer tipo de material (Souza; Ripper, 2009).

Ao contrário da corrosão do aço nas armaduras, que é principalmente um processo eletroquímico, a corrosão do concreto é exclusivamente química. Ela surge da interação da pasta de cimento com certos elementos químicos, resultando em casos nos quais o ligante é dissolvido ou compostos expansivos são formados. Esses fatores tendem a deteriorar o concreto, levando à sua desagregação e ao lascamento (Souza; Ripper, 2009).

A desagregação do concreto é um fenômeno comum em estruturas, sendo geralmente provocada por uma variedade de causas e muitas vezes ocorrendo em conjunto com a formação de fissuras. Refere-se à separação física de camadas ou porções de concreto, resultando na perda do seu caráter monolítico e, frequentemente, na diminuição da aderência entre os agregados e da função de ligação do cimento. Isso leva à perda da capacidade da peça em resistir às cargas solicitantes, seja de forma localizada ou generalizada (Souza; Ripper, 2009).

Assim, seu surgimento interfere gradativamente na estrutura. Quando ocorre a desagregação, a capacidade portante da estrutura pode ficar comprometida, interferindo no seu desempenho e vida útil, desencadeando falhas estruturais, cujo risco é aumentado por outros problemas patológicos como a corrosão da armadura, que fica sujeita à exposição (Laner, 2001).

2.1.4 Corrosão da armadura

A corrosão da armadura é um dos principais fatores de degradação das estruturas de concreto armado, pois causa a deterioração do aço, resultando na redução da seção das barras. Esse fenômeno ocorre porque o aço incorporado ao concreto armado tende a retornar ao seu estado original, semelhante à forma com que foi extraído da natureza (Nascimento; Fontes, 2021).

A corrosão pode ser acelerada por agentes agressivos presentes no ambiente. O dióxido de carbono (CO_2), comumente encontrado em ambientes urbanos, é responsável pela carbonatação do concreto, promovendo a redução do seu pH e causando despassivação do aço, o que possibilita o ataque de agentes corrosivos (Helene, 2004).

As medidas a serem tomadas, tanto quanto os critérios para avaliar a periculosidade de certos mecanismos de deterioração, devem considerar a relevância das estruturas em relação à sua resistência, durabilidade e ao ambiente agressivo em que estão inseridas. Souza e Ripper (2009) propõem uma metodologia geral para inspecionar estruturas convencionais baseadas em três etapas fundamentais: coleta de dados, análise e diagnóstico.

2.2 Formas de recuperação de estruturas de concreto armado

Existem formas de recuperação das estruturas de concreto armado após o surgimento de manifestações patológicas, descrevendo-se na sequência aquelas que podem ser mais comumente aplicadas, como as fissuras, lixiviação e eflorescência, desagregação do concreto e corrosão da armadura.

2.2.1 Fissura

O reparo de peças fissuradas depende diretamente da correta identificação da causa da fissuração, ou seja, da determinação do tipo de fissura presente (Souza; Ripper, 2009).

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2010) e o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná (DER/PR, 2020) apresentam métodos de tratamentos para as fissuras ativas e inativas. Inicialmente, é necessário fazer a limpeza da área e, para fissuras inativas, visando evitar a infiltração de água superficial, pode-se escovar a fissura e aplicar uma argamassa de cimento e areia sob pressão ou, alternativamente, ampliar a fissura em formato de “V” antes de preencher a área com a argamassa. Há no mercado formulações à base de resina epóxi, capazes de endurecer mesmo em ambientes úmidos e na presença de concreto recém-aplicado. É necessário ter atenção para que não se aplique selante além do necessário.

2.2.2 Lixiviação e eflorescência

Para remoção das manchas causadas pela eflorescência, o DER/PR (2020) recomenda que se inicie com a limpeza da peça, utilizando escova e água. Entretanto, caso as manchas persistam, recomenda-se a limpeza utilizando escova e ácido clorídrico, diluído em uma proporção 1:10, não ultrapassando a quantidade de 150 g/m² desse ácido. Após a limpeza e identificação da origem da infiltração da umidade, é necessária a aplicação de um impermeabilizante, evitando que o problema ocorra novamente.

2.2.3 Desagregação do concreto

A corrosão do concreto pode, de maneira geral, ser tratada de formas distintas, como executar a remoção de todo o concreto já deteriorado, mantendo-se apenas aquele que se encontra em bom estado, efetuar o tratamento das trincas e fissuras que possam existir na área a ser recuperada e, após, realizar a reconstituição da geometria da estrutura com concreto de boa qualidade, mantendo as características de projeto (DNIT, 2010).

Após a restauração da geometria original, deve-se aplicar revestimentos protetores na superfície do concreto recomposto, cuja função é criar uma barreira que impede a infiltração de água e íons cloreto no concreto poroso. Os principais tipos de proteção são as tintas e membranas hidrofugantes (DNIT, 2010).

2.2.4 Corrosão da armadura

Uma estrutura, que sofreu o processo de corrosão da armadura, exige cuidados especiais. O DNIT (2010) cita que, inicialmente, deve-se identificar a possível causa da corrosão e, depois, a estabilidade do elemento estrutural deve ser avaliada, especialmente após a remoção total do concreto contaminado. Essa retirada deve alcançar o concreto íntegro, garantindo-se uma distância mínima de dois centímetros desse concreto íntegro até a armadura.

Após a limpeza, é necessário avaliar a redução da seção da armadura. Caso a perda seja igual ou superior a 10%, deve-se adicionar reforço metálico, utilizando traspasses ou soldas. Se for necessário

realizar traspases, a área de concreto a ser removida deve incluir os comprimentos exigidos para essa conexão (DNIT, 2010).

A reconstrução da geometria do elemento deve ser feita com concreto de alta qualidade, podendo ser convencional ou projetado, desde que suas características sejam iguais ou superiores às do concreto original. Deve-se ainda analisar a necessidade de uma proteção adicional, como a aplicação de pintura protetora, para garantir maior durabilidade à estrutura. Conforme Silva (2021), a utilização de produtos inibidores pode prevenir que a corrosão surja novamente em locais onde esses produtos são adequadamente aplicados.

3 Materiais e métodos

Com a finalidade de identificação das manifestações patológicas em pontes de concreto armado, foi feita a seleção de três delas localizadas na cidade Juiz de Fora-MG, adotando-se apenas pontes urbanas existentes sobre o Rio Paraibuna, sendo considerado como critério de escolha das pontes, as que, aparentemente, estão em pior estado de deterioração.

Para identificação das pontes mais degradadas, foram realizadas visitas in loco e, devido à dificuldade de acesso a equipamentos, bem como aos locais de estudo para identificação e análise mais detalhada das manifestações patológicas, adotou-se a inspeção visual, de forma que toda a estrutura foi analisada visualmente. Foi realizada uma pesquisa para detectar o ano de construção de cada ponte e outros dados, considerando-se que, com o passar dos anos, a estrutura tende a apresentar maiores danos patológicos.

Os registros foram feitos de forma fotográfica, com finalidade de mostrar nas estruturas manifestações como fissuras no concreto paralelas à armadura, fragmentação e descascamento do concreto de cobertura, existência de lixiviação e desagregação do concreto, exposição de armaduras corroídas, acúmulo de produtos de corrosão nas armaduras expostas, formando crostas, visível perda de seção das armaduras, comprometimento da aderência armadura-concreto, manchas de ferrugem na superfície do concreto, denotando a migração dos produtos de corrosão e/ou outros problemas que viessem a comprometer a estrutura, futuramente.

Após a identificação das pontes cujas estruturas encontram-se mais afetadas, foram selecionadas as seguintes:

- a) Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta;
- b) Ponte Pedro Marques;
- c) Ponte Élon Duarte.

Para cumprir o objetivo proposto, seguiu-se com a inspeção visual e os registros fotográficos, para análise da estrutura de forma mais completa, desde a superestrutura (pilares, vigas, tabuleiro, ligações etc.) até os guarda-corpos. A idade das pontes é variada, sendo a mais antiga inaugurada em 1923, o que permitiu analisar a influência do tempo na manifestação patológica. Na Figura 2 apresenta-se a localização das três pontes selecionadas.

Figura 2 – Localização das pontes vista através de satélite



Fonte: Google Earth (2025)

No Quadro 1 apresentam-se as características gerais dessas pontes, sendo todas as informações obtidas in loco. Para conferência do comprimento e da largura, utilizou-se trena de fibra de vidro, que permite maior precisão nas medições.

Quadro 1 – Dados das pontes pesquisadas

Ponte	Sistema estrutural da superestrutura	Largura (m)	Comprimento (m)	Ano de inauguração
Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta	Ponte em viga	13,00	50,90	1939
Ponte Pedro Marques	Ponte em viga	31,40	64,00	1934
Ponte Élon Duarte	Ponte em viga	13,00	50,90	1950

Fonte: Oliveira (2025)

3.1 Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta

Localizada na Avenida Rui Barbosa, bairro Santa Terezinha, a Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta foi inaugurada em 26 de maio de 1939 e se encontra perpendicular à Avenida Brasil. Possui três pistas com tráfego em mão única (Figura 3a e Figura 3b).

Figura 3 – Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta: (a) vista lateral; (b) vista frontal



(a)



(b)

Fonte: Oliveira (2025)

3.2 Ponte Pedro Marques

Conhecida também como Ponte do Manoel Honório, localiza-se na Av. Barão do Rio Branco, bairro Mariano Procópio e se encontra perpendicular à Avenida Brasil. Foi inaugurada em 18 de junho de 1934. Em 1982 foi duplicada e, atualmente, possui sete pistas com tráfego em mão dupla (Figura 4a e Figura 3b).

Figura 4 – Ponte Pedro Marques: (a) vista lateral; (b) vista frontal



(a)



(b)

Fonte: Oliveira (2025)

3.3 Ponte Élson Duarte

Localizada na Rua Marechal Setembrino de Carvalho, no bairro Ladeira, a Ponte Élson Duarte também se encontra perpendicular à Avenida Brasil. Foi inaugurada em novembro de 1911 em madeira e reconstruída em concreto armado. Sem informação de data de inauguração, sendo o registro mais antigo da década de 1950, inicialmente chamada de Ponte do Ladeira, ela foi renomeada em 16 de dezembro de 2015, como Ponte Élson Duarte, sendo também chamada de Ponte Raposa. Possui duas pistas com tráfego em mão única (Figura 5a e Figura 5b).

Figura 5 – Ponte Élson Duarte: (a) vista lateral; (b) vista frontal



(a)

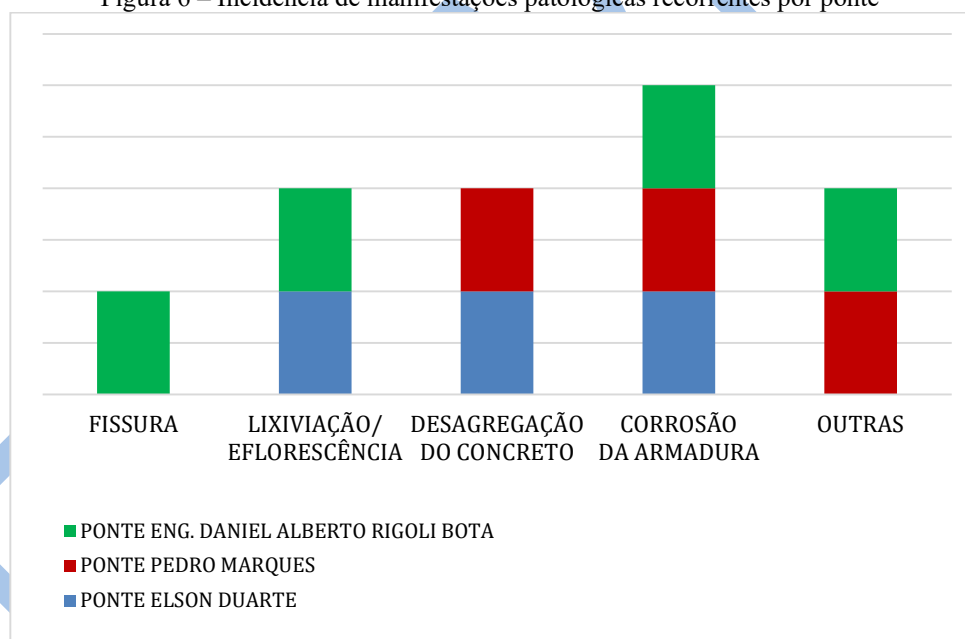
(b)

Fonte: Oliveira (2025)

4 Resultados e análise

São identificadas manifestações patológicas recorrentes nas pontes analisadas. No gráfico da Figura 6, é apresentada a incidência dessas manifestações por ponte, que são fissuras, lixiviação e eflorescência, desagregação do concreto, corrosão da armadura e outras (presença de umidade e ausência de cobrimento do concreto na armadura). Na sequência, são apresentados registros das manifestações patológicas de cada uma das pontes.

Figura 6 – Incidência de manifestações patológicas recorrentes por ponte



Fonte: Oliveira (2025)

A corrosão da armadura se destacou entre as manifestações patológicas identificadas. Bozio e Fisch (2023) mencionam esse problema como a manifestação patológica mais incidente, juntamente com a desagregação do concreto, enquanto Ribeiro *et al.* (2022) trazem a lixiviação como problema recorrente. As fissuras são as manifestações patológicas menos mencionadas em estudos em obras de artes especiais.

4.1 Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta

Na Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta identifica-se a incidência de deslocamento do concreto e corrosão em suas vigas principais (Figura 7a, Figura 7b, Figura 7c e Figura 7d), fissura no guarda-corpo (Figura 7e) e lixiviação com umidade nas vigas principais (Figura 7f).

Figura 7 – Manifestações patológicas na Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta: (a), (b), (c) e (d) deslocamento de concreto e corrosão da armadura nas vigas principais; (e) fissura no guarda-corpo; (f) umidade e lixiviação nas vigas principais



Fonte: Oliveira (2025)

4.2 Ponte Pedro Marques

Na Ponte Pedro Marques, são identificadas manifestações patológicas nas vigas de apoio e na base inferior da superestrutura. Detectam-se problemas como a desagregação do concreto do cobrimento da armadura em laje de acesso (Figura 8a), corrosão da armação da viga de principal (Figura 8b), corrosão da armadura na base inferior do tabuleiro (Figura 8c e Figura 8d) e exposição da armadura em viga lateral da superestrutura da ponte devido à ausência de cobrimento (Figura 8e).

Figura 8 – Manifestações patológicas na Ponte Pedro Marques: (a) desagregação do concreto e exposição da armadura em laje; (b) exposição e corrosão da armadura em viga; (c) e (d) corrosão da armadura na base inferior do tabuleiro; (e) exposição da armadura em viga lateral pela ausência de cobrimento



Fonte: Oliveira (2025)

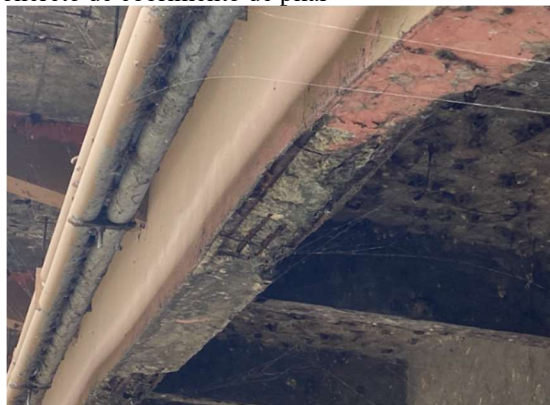
4.3 Ponte Élson Duarte

Na Ponte Élson Duarte, são detectadas manifestações patológicas nas vigas (aparelho de apoio ou mesoestrutura), na base inferior da superestrutura (tabuleiro), nos pilares e guarda-corpo. Identificam-se manifestações patológicas como exposição da armadura na viga principal (Figura 9a, Figura 9b, Figura 9c, Figura 9d), corrosão da armadura na viga principal da superestrutura (Figura 9e, Figura 9f e Figura 9g); corrosão da armadura na base inferior do tabuleiro (Figura 9h). Nota-se também nos pilares que alguns pontos do concreto estão na cor branca, indicando a ocorrência de lixiviação e eflorescência (Figura 9i). Detecta-se ainda a desagregação do concreto de cobrimento do pilar (Figura 9j).

Figura 9 – Manifestações patológicas na Ponte Élson Duarte: (a), (b), (c), (d), (e), (f) e (g) exposição da armadura na viga principal; (h) corrosão da armadura na base inferior do tabuleiro; (i) lixiviação e eflorescência em pilar; (j) desagregação do concreto de cobrimento de pilar



(a)



(b)



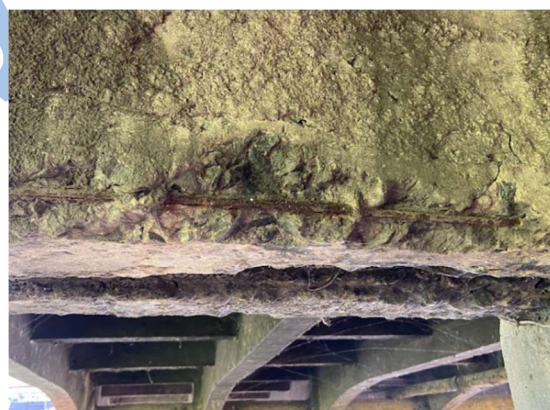
(c)



(d)



(e)



(f)



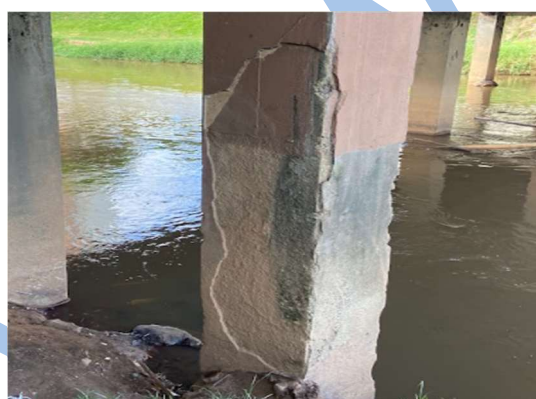
(g)



(h)



(i)



(j)

Fonte: Oliveira (2025)

4.4 Análise da inspeção

Após a inspeção realizada em cada ponte e identificadas as manifestações patológicas, é possível determinar suas possíveis causas e avaliar que ligação elas podem ter entre si.

Na Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta identifica-se um alto índice de umidade nas vigas de apoio, cujo surgimento pode ter sido causado pela infiltração da água que cai sobre o piso do tabuleiro e, através das fissuras, se adentra na estrutura causando anomalias (Berti; Silva Júnior; Akasaki, 2019). As fissuras podem ser originadas de pequenas deformações, visto que a movimentação das formas ou assentamento plástico pode causar tensões de tração, que são suficientes para provocar o seu surgimento (Souza; Ripper, 2009).

Barin (2008) afirma que umidade pode ser causada também por capilaridade, que ocorre quando a estrutura se encontra em contato direto com o solo. O concreto por ser um material poroso, transporta através de seus capilares a água, levando a umidade a outros pontos do local. Marotta *et al.* (2024) afirmam que a capilaridade é consequência da porosidade, que pode ser causada tanto por falha na execução como por excesso de água no concreto e falta de vibração. A água utilizada no processo de hidratação do concreto, quando está em excesso, gera vazios na estrutura formando poros capilares. Outro causador da porosidade é a falta de vibração adequada do concreto no seu lançamento, que resulta em um mal adensamento, deixando vazios, ou poros, entre os agregados.

Além da umidade, foram encontradas, também na Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta, fissuras no guarda-corpo (Figura 7e), paralelas à armadura, sendo um sinal de que o aço naquela região pode estar sofrendo oxidação. Portanto, possivelmente ocorrerá o deslocamento do concreto naquela área, tendo em vista que a armadura corroída tende a se expandir. Caso não seja tratado, o aço em processo de corrosão pode causar transtornos maiores e elevar o custo de recuperação da região atingida.

A corrosão é a manifestação patológica mais recorrente, tendo sido detectada nas três pontes, notando-se a ausência de manutenção preventiva na estrutura. Identificou-se corrosão na armação do

tabuleiro, nas vigas de apoio e nos guarda-corpos. Ela pode ser decorrente da carbonatação do concreto, pois, por se tratar de um ambiente urbano, é inevitável a presença de gases como dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera. Esse gás junto com a água (H_2O) gera um ácido que, quando em contato com o hidróxido de cálcio presente no concreto, reage diminuindo o seu pH e favorecendo a corrosão da armadura. Esse processo faz com que ocorra o deslocamento do concreto que reveste a armadura, deixando-a exposta e ainda mais em contato com agentes deteriorantes.

No entanto, a corrosão pode ser causada por diversos fatores. Helene (2004) defende que essa manifestação patológica também tende a acontecer em estruturas que possuem o cobrimento insuficiente da armadura. O uso de materiais inadequados na fase de execução e a ausência de impermeabilização também favorecem o surgimento de corrosão. As pontes Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta e Pedro Marques apresentaram cobrimento da armadura de espessura insuficiente na base da superestrutura, o que pode ter sido um ponto favorável para a ocorrência da corrosão.

A falta de cobrimento pode ser causada por fatores como falha na etapa de projeto ou na etapa de execução. Durante a etapa de projeto, pode ser provocada quando se dimensiona a estrutura não respeitando o cobrimento exigido em norma. Na fase de execução a utilização de espaçadores é necessária para que, durante a montagem das formas, o cobrimento seja respeitado. Entretanto, quando não utilizados, a armação entra em contato direto com a forma ou fica bem próxima, ou seja, sem cobrimento ou com cobrimento insuficiente e, após a retirada dessas formas, a armação fica exposta em contato com agentes deteriorantes (Helene, 2004). Na Ponte Pedro Marques, é visível um trecho da lateral do piso da superestrutura onde o cobrimento é insuficiente e isso fez com que o concreto se desagregasse deixando a armadura exposta.

A desagregação do concreto é perceptível nas pontes Pedro Marques e Élon Duarte conforme as Figuras 8a e 9j. Essa manifestação patológica pode ter surgido da interação da pasta de cimento com certos elementos químicos, resultando que o ligante do cimento fosse dissolvido, perdendo sua função. Grande parte das ocorrências se dá em conjunto com a formação de fissuras, sendo elas o fator de acesso para os elementos deteriorantes.

Outra manifestação patológica detectada é a lixiviação, causadora da eflorescência. A lixiviação foi identificada nas pontes Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta e Élon Duarte, destacando-se que, nessa última, foi identificada também a eflorescência. Sendo a lixiviação causada pela infiltração de água através de fissuras, formando eflorescências, ela torna-se visível em forma de manchas brancas na área deteriorada, conforme pode ser visto nas Figuras 7e e 9i.

4.5 Métodos de recuperação estrutural

Observa-se, assim, nas pontes de modo geral, a ocorrência de manifestações patológicas como fissuras, lixiviação e eflorescência, desagregação do concreto e corrosão da armadura, e outras anomalias como ausência ou insuficiência de cobrimento da armadura, deslocamento do concreto e também incidência de umidade, que pode influenciar no desenvolvimento de outros problemas.

No entanto, métodos de recuperação da estrutura devem ser avaliados e executados adequadamente, propondo-se alguns deles, na sequência.

4.5.1 Fissura

Conforme identificado na Figura 6, a Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta apresenta fissuras em sua estrutura, paralelas ao guarda-corpo, apontando que elas podem ser consequência de oxidação da armadura. Então, é necessário fazer a retirada do cobrimento do concreto da região fissurada para verificar a situação da armação e, caso ela esteja oxidada, deve-se fazer sua limpeza com escova de aço, aplicar produto inibidor de corrosão com pincel na área acometida e recompor o cobrimento com concreto de qualidade recomendada. Apesar de se tratar de uma fissura com maior extensão, ela não representa risco estrutural iminente.

Em fissuras de pequena profundidade ou que afetam somente a superfície de cobrimento das armaduras, Silva (2021) recomenda a aplicação de argamassa polimérica. Como forma de prevenir problemas futuros, podem ser aplicados em ambos os casos produtos impermeabilizantes na área reparada.

4.5.2 Lixiviação e eflorescência

Identifica-se em duas pontes a ocorrência de lixiviação e eflorescência. A Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta apresentou eflorescência na viga principal (Figura 7e), enquanto a Ponte Élon Duarte (Figura 9i) apresentou eflorescência em seus pilares.

Para esses casos, é necessário identificar o fator preponderante causador do problema. Para correção e remoção das manchas causadas pela eflorescência recomenda-se fazer a limpeza, utilizando escova de aço e água, e, após, impermeabilizar a área, evitando a entrada de água, tendo em vista que a lixiviação é causada pela infiltração da água na estrutura.

Durante a manutenção, caso seja identificada alguma fissura que possa servir de acesso para infiltração de água, é imprescindível que seja feito seu preenchimento para se evitar problemas futuros.

4.5.3 Desagregação do concreto

A desagregação do concreto foi identificada em duas pontes, sendo que a Ponte Pedro Marques (Figura 8a) apresentou essa manifestação patológica na parte inferior do acesso ao tabuleiro, e a Ponte Élon Duarte em um de seus pilares (Figura 9j).

Para recuperação, inicialmente é necessário avaliar se na área não existe nenhuma trinca ou fissura e, caso tenha, é preciso recompô-la. Para a Ponte Pedro Marques é ideal que, no momento da manutenção, seja avaliado que nenhuma armadura tenha iniciado o processo de corrosão. Caso elas estejam intactas, recomenda-se uma limpeza na área desagregada e, após, pode ser feita a recomposição da geometria do elemento estrutural utilizando concreto. Na Ponte Élon Duarte, não há exposição de armadura, recomendando-se, portanto, apenas a recomposição da geometria do pilar.

Em ambos os casos devem ser utilizadas formas, sendo de extrema importância a colocação de espaçadores, respeitando-se o cobrimento adequado da armadura e evitando-se, com isso, o surgimento de outras manifestações patológicas. É recomendado o uso de impermeabilizantes nas áreas recompostas.

4.5.4 Corrosão da armadura

Conforme apresentado na Figura 6, as três pontes apresentaram corrosão da armadura e, apesar de surgirem em elementos estruturais distintos, essa patologia se mostra recorrente. Verificou-se corrosão nas vigas principais, entretanto, não se observou perda da área de aço causada por essa manifestação patológica, não sendo necessários reforços estruturais.

Para recuperação, recomenda-se realizar a retirada do concreto nas áreas afetadas deixando um espaço de 2 cm entre a barra de aço e o concreto existente para que seja feita uma limpeza completa da armadura. Após, pode-se utilizar escova de aço ou jato abrasivo com a finalidade de tirar toda a corrosão da armadura. Finalizando a limpeza, aplica-se produto inibidor de corrosão para evitar que o processo se inicie novamente, e, então, procede-se a recomposição da geometria das áreas afetadas utilizando concreto. Para proteção e recuperação da armadura corroída, Silva (2021) indica a aplicação revestimento mineral nas barras de aço, que funciona também como ponto de aderência entre o concreto e a armadura.

Ressalta-se que, no caso de utilização de formas, deve-se manter o espaçamento necessário para cobrimento da armadura, pois, a sua exposição, mesmo após a manutenção, promoverá o processo de corrosão novamente.

É recomendado que o trânsito seja desviado da ponte durante as operações de manutenção, evitando que a vibração causada pelos veículos interfira na qualidade do serviço. A vibração pode causar deslocamento da forma e, durante o processo de cura, gerar fissuras no concreto e outros problemas.

4.5.5 Outras manifestações patológicas

Foram identificadas também outras manifestações patológicas como o deslocamento do concreto e a exposição da armadura.

A umidade, que não constitui uma manifestação patológica, mas, seu excesso pode ser a causa de alguns problemas, foi identificada na Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta sendo recomendada

a aplicação de impermeabilizante na estrutura para evitar danos. É ideal também avaliar a presença de fissuras que podem causar infiltração de água.

Na Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta também foi detectado o deslocamento de concreto, podendo ser causado pela oxidação da armadura. Portanto, realizando-se a recuperação da armadura, o problema de deslocamento será resolvido.

Identificou-se na Ponte Pedro Marques a exposição da armadura, que pode ser corrigida com uma limpeza na área e a recomposição da geometria, mantendo-se o cobrimento necessário para proteção do aço.

É perceptível a importância de se realizar inspeções rotineiras e manutenções periódicas nas estruturas, pois a ausência de manutenção gera um aumento de custo para a recuperação e, em casos extremos, pode levar à perda do elemento estrutural e ao comprometimento da segurança dos usuários dos locais.

5 Considerações finais

O objetivo proposto neste trabalho foi identificar e avaliar as principais manifestações patológicas existentes em pontes de concreto armado na cidade de Juiz de Fora-MG. Também foram propostas ações para a recuperação dessas pontes. Foram vistoriadas três pontes, que apresentaram manifestações patológicas semelhantes, sendo que a corrosão foi um problema evidente em todas elas, o que mostra a influência do ambiente urbano e a inexistência na manutenção preventiva e corretiva nessas pontes.

A Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta apresentou manifestações patológicas em suas vigas principais, em pilares e no tabuleiro, sendo identificadas fissuras na estrutura e a corrosão que se estende em grande parte da base inferior do tabuleiro. Assim como a Ponte Engenheiro Daniel Alberto Rigoli Botta, as pontes Pedro Marques e Elson Duarte apresentaram também corrosão na armadura em grande parte da base inferior do tabuleiro.

Foram sugeridas formas de recuperação das estruturas, sendo, entretanto, de extrema importância que essa recuperação seja devidamente planejada e realizada por profissionais capacitados, utilizando produtos adequados. Além disso, também uma nova análise deve ser feita antes da recuperação estrutural, pois, devido à ausência de manutenção preventiva e corretiva, as manifestações patológicas tendem a evoluir. A não correção dos problemas identificados podem produzir outros danos que tendem a impactar na vida útil da estrutura.

Apesar da alta incidência de manifestações patológicas identificadas nas pontes inspecionadas, é possível considerar que, avaliando-se de forma visual, as suas estruturas se encontram relativamente conservadas, posto que, na época em que elas foram executadas, a norma brasileira vigente não contemplava o estudo de durabilidade e vida útil, o que poderia gerar execuções mais precárias.

Por fim, conclui-se que a forma mais eficaz de evitar problemas patológicos em estruturas é a adoção de medidas preventivas. Essa prevenção não se restringe apenas a um projeto bem elaborado ou a uma execução dentro dos padrões de qualidade, mas também à implementação de um plano eficiente de inspeção e manutenção da estrutura. Esses programas desempenham um papel fundamental em qualquer estrutura, pois permite a identificação precoce de processos de degradação, contribuindo para a redução dos custos com reparos. Dessa maneira, é possível evitar o surgimento de manifestações patológicas estruturais graves, que podem comprometer o desempenho e vida útil da construção.

Considerando o constante avanço da tecnologia, propõe-se como continuidade do estudo a inspeção das pontes utilizando tecnologia BIM e equipamentos próprios como martelo de inspeção (som cavo em pontos de falha do concreto), ultrassom (fissuras internas, falhas no concreto), esclerômetro (uniformidade e resistência superficial do concreto), câmera termográfica (descolamento, falhas do concreto, umidade e infiltrações), solução de fenolftaleína (profundidade da carbonatação), pacômetro (localização e avaliação das armaduras), extensômetros (deslocamentos), entre outros, obtendo-se resultados mais precisos e detalhados sobre o estado dos danos das estruturas das pontes.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES e a Universidade Federal de Ouro Preto.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Nota

Este artigo é derivado de dissertação do curso de Mestrado em Engenharia de Construções da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/20592>.

Contribuições ao artigo

OLIVEIRA, L. C. T.: concepção da pesquisa; análise e interpretação dos dados. **RIBAS, R. A. J.:** análise e interpretação dos dados; revisão final com participação crítica e intelectual no manuscrito. **PAULA, G. D.:** revisão final com participação crítica e intelectual no manuscrito. Todos os autores participaram da escrita, discussão, leitura e aprovação da versão final do artigo.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

BARBOSA, G. A. R. S. N.; BASTOS, C. R. S.; SILVA, R. A. F.; BARRETO, M. F. F. M.; MARAN, A. P. Estudo de manifestações patológicas em pontes e viadutos de concreto armado na cidade de Cuiabá-MT. In: MARTINS, B. C. (org.). **Arquitetura e urbanismo:** planejando e edificando espaços 3. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. v. 3, cap. 30, p. 380-392. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/post/estudo-de-manifestacoes-patologicas-em-pontes-e-viadutos-de-concreto-armado-na-cidade-de-cuiaba-mt>. Acesso em: 26 ago. 2026.

BARIN, D. S. **Carbonatação e absorção capilar em concretos de cimento Portland branco com altos teores de adição de escória de alto forno e ativador químico.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7702>. Acesso em: 20 jan. 2025.

BASTOS, H. C. N.; MIRANDA, M. Z. Principais patologias em estruturas de concreto de pontes e viadutos: manuseio e manutenção das obras de arte especiais. **Revista Construindo**, Belo Horizonte, v. 9, n. 3, p. 93-101, 2017. Disponível em: <https://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/5026>. Acesso em: 15 dez. 2025.

BERTI, J. V. M.; SILVA JÚNIOR, G. P.; AKASAKI, J. L. Estudo da origem, sintomas e incidências de manifestações patológicas do concreto. **ANAP Brasil – Revista Científica**, v. 12, n. 26, p. 33-47, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17271/19843240122620192228>.

BOZIO, F. A.; FISCH, F. Manifestações patológicas em pontes de concreto armado no Rio Itajaí-Mirim (Brusque/SC). **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 19, n. 2, p. 37-48, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5216/reec.v19i2.68614>.

DER/PR – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO PARANÁ. **Manual técnico de recuperação de estruturas de obras de arte especiais.** Curitiba: Strata Engenharia, 2020. vol. 1. Disponível em: https://www.der.pr.gov.br/sites/der/arquivos_restritos/files/documento/2021-12/Manual_Tecnico_de_Recuperacao_de_Estruturas_de_Obras_de_Arte_Especiais.pdf. Acesso em: 20 jan. 2025.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários**. Rio de Janeiro: DNIT, 2010. 159 p. (Publicação IPR, 744). Disponível em: https://www.der.pr.gov.br/sites/der/arquivos_restritos/files/documento/2021-12/Manual_Tecnico_de_Recuperacao_de_Estruturas_de_Obras_de_Arte_Especiais.pdf. Acesso em: 17 nov. 2024.

FRANÇA, A. A. V.; MARCONDES, C. G. N.; ROCHA, F. C.; MEDEIROS, M. H. F.; HELENE, P. R. L. Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. **Téchne**, v. 19, n. 174, p. 72-77, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342064783_Patologia_das_Construcoes_-_Uma_especialidade_da_Engenharia_Civil. Acesso em: 17 set. 2024.

GOOGLE EARTH. **Vista aérea da cidade de Juiz de Fora, MG**. Coordenadas: 24°45'44"S; 43°20'37"W. Mountain View: Google Earth, 2025. Disponível em: <https://earth.google.com/>. Acesso em: 20 jan. 2025.

HELENE, P. A nova NB 1/2003 (NBR 6118) e a vida útil das estruturas de concreto. In: SEMINÁRIO DE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES DO LEME/UFRGS, 2., 2004, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: UFRGS, 2004.

LANER, F. **Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas do município de Porto Alegre**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/2475>. Acesso em: 26 ago. 2024.

LOPES, W. J. R.; SOUZA, J. L. F. Panorama das manifestações patológicas em edificações em Manaus-AM: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Delos**, [S. l.], v. 18, n. 75, e7772, 2025. DOI: <https://doi.org/10.55905/rdelosv18.n75-015>.

LOURENÇO, L. C.; ALVES, V. R.; JORDY, J. C.; MENDES, L. C.; LOURENÇO, M. V. C. Parâmetros de Avaliação de Patologias em Obras-de-Arte Especiais. **Revista de Engenharia Civil**, n. 34, p. 5-14, 2009. Disponível em: http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n34/Pag_5-14.pdf. Acesso em: 25 jul. 2024.

MAROTTA, L. I. M.; PESSONI, J. P. D.; SANTOS, G. S.; SCARANO, D.; MELO, R. A.; CLEMENTE, G. A. B. F.; LIMA, G. M.; OLIVEIRA, C. R. Umidade em estruturas de concreto armado. **Revista Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 21, n. 6, e5098, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n6-208>.

MATILDES, C. M. Concreto armado e suas patologias. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, v. 10, n. 225, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.35265/2236-6717-225-12187>.

MENDES, L. C. Aspectos patológicos na superestrutura, pilares e fundações de pontes. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, [S. l.], v. 23, n. 9, e11478, 2025. DOI: <https://doi.org/10.55905/oelv23n9-090>.

MORAIS, D. S.; FONTE, R. S.; CUNHA, L. N. Análise das manifestações patológicas em viadutos de concreto: estudo de caso realizado em viadutos localizados em Teresina – PI. **Revista Fit**, v. 29, n. 141, 2024. DOI: <https://doi.org/10.69849/revistaft/pa10202412051157>.

NASCIMENTO, E. R. S.; FONTES, M. D. S. Patologias nas estruturas de concreto armado. **Revista Fatec de Tecnologia e Ciências**, v. 6, n. 1, 2021. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/611672368/Artigo-Patologias-nas-Estruturas-de-Concreto-Armado>. Acesso em: 17 set. 2024.

OLIVEIRA, L. C. T. **Avaliação de manifestações patológicas em pontes de concreto armado na cidade de Juiz de Fora – MG**. 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Construções) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2025. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/20592>. Acesso em: 17 nov. 2025.

RIBEIRO, T. R. P.; CIPRIANO, A. H. S.; SOUSA, G. M.; SILVA, L. A. D. Análise das manifestações patológicas em pontes de concreto armado: estudo de caso na BR 230. **Revista Gestão e Conhecimento**, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 1368-1382, 2022. DOI: <https://doi.org/10.55908/RGCV16N3-020>.

ROSA, A. C. C. **Manifestações patológicas em viadutos de concreto armado**: estudo de caso de 4 viadutos na cidade de Belo Horizonte. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1843/48461>. Acesso em: 17 nov. 2025.

SILVA, G. M. **Recuperação de estruturas em concreto armado acometidas por corrosão ocasionada pela ação de fertilizante e ambiente marinho**: estudo de caso em um porto brasileiro. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Construções) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/14336>. Acesso em: 17 nov. 2025.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 2009.