



Avaliação da Recorrência de Manifestações Patológicas em Pontes de Concreto Armado

Matheus Sant'Anna Andrade¹, Camila Spagnol de Faria¹, Christian Alexandre Feitosa de Souza¹, Xavier das Neves Romão², Carol Ferreira Rezende Santos¹, Diôgo Silva de Oliveira¹/ José Carlos Lopes Ribeiro¹ / José Maria Franco de Carvalho¹

¹Universidade Federal de Viçosa / Departamento de Engenharia Civil / matheus.andrade@ufv.br / camila.spagnol@ufv.br / christian.souza@ufv.br / carolrezende@ufv.br / diogooliveira@ufv.br / jcarlos.ribeiro@ufv.br / josemaria.carvalho@ufv.br
²Universidade do Porto / Departamento de Engenharia Civil / xnr@fe.up.pt

Resumo

A existência e recorrência de manifestações patológicas em pontes de concreto armado são um indicativo do seu estado de conservação e do seu comportamento estrutural. Conforme as pontes envelhecem, a presença de manifestações patológicas tende a aumentar, enquanto a condição da estrutura tende a piorar. Este trabalho tem o objetivo de analisar um conjunto de relatórios de inspeção rotineira e quantificar a ocorrência de danos e sua recorrência dentre os elementos de uma ponte. As pontes objeto desse estudo estão presentes no Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Foram avaliadas 100 pontes abrangendo pelo menos um estado de cada região do Brasil. A partir dos dados coletados, foi caracterizar a ocorrência desses danos em pontes brasileiras sendo possível correlacioná-los com a nota técnica da estrutura e de cada elemento individualmente. Como aspecto especial, 73% das pontes analisadas apresentam frequência elevada de carga pesada. Além disso, problemas funcionais frequentes incluem a não identificação dos aparelhos de apoio e a ausência de acostamento. Como insuficiências estruturais, foram identificadas a deterioração acentuada dos materiais incluindo a existência de armadura exposta e deteriorada. A presença de manchas de umidade e de carbonatação são os danos mais comuns em todos os elementos analisados. Enquanto quase a totalidade das pontes apresentam juntas de dilatação danificada ou inexistente. Dentre os danos que podem comprometer a capacidade de carga a presença de fissuras, deslocamento de concreto e armadura exposta e corroída se destacaram.

Palavras-chave

Pontes; Concreto Armado; Manifestações Patológicas; Mapeamento; Nota técnica.

Introdução

Em geral, pontes são tidas como estruturas confiáveis e com longa durabilidade devido às grandes dimensões e robustez dos elementos que as compõem (VITÓRIO, 2006). No entanto, como qualquer outra estrutura, pontes possuem uma vida útil de serviço e, com o passar dos anos, tais estruturas naturalmente estão sujeitas à deterioração provocada pela exposição à diversas condições ambientais e às solicitações excepcionais que possam ter ocorrido durante o seu período de funcionamento.

As patologias encontradas em pontes e viadutos têm natureza variada, sendo que, uma possível explicação para o seu desenvolvimento é a ocorrência de falhas e incorreções em uma das etapas de construção (LOURENÇO et al., 2009). Segundo HELENE (1988), grande parte das manifestações patológicas tem origem nas fases de planejamento e projeto, sendo, em geral, mais graves do que as que tem origem nas falhas dos materiais ou na má execução.

A avaliação do estado de condição de pontes é regulamentada, no Brasil, pela NBR 9452 (ABNT, 2023) e pela DNIT 010 (IPR, 2024). A escala de notas da NBR 9452 varia de 0 (estado emergencial) a 5 (condição

excelente), enquanto a escala de notas da DNIT 010 varia de 1 (condição crítica) a 5 (condição excelente). Na Tabela 1, é apresentado o detalhamento da escala de notas proposta pelo DNIT.

Tabela 1. Escala de nota técnica e detalhamento de danos e insuficiências estruturais de acordo com a norma DNIT 010 (IPR, 2024) .

Nota técnica	Condição	Danos no elemento
5	Excelente	Não há danos ou insuficiência estrutural
4	Boa	Há alguns danos que não geram insuficiência estrutural
3	Regular	Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da estrutura
2	Ruim	Há danos gerando significativa insuficiência estrutural, porém não há risco tangível de colapso estrutural
1	Crítica	Há danos gerando grave insuficiência estrutural e risco tangível de colapso estrutural

De acordo com o relatório da American Road & Transportation Builders Association (BLACK, 2022), existem aproximadamente 620 mil pontes em funcionamento nos Estados Unidos, das quais mais de 43 mil pontes podem ser classificadas como em estado “ruim” de conservação. Além disso, outro dado destacado pelo relatório é o fato de que 36% das pontes existentes necessitam de algum tipo de reparo ou substituição. No Brasil, o número de pontes sob jurisdição do DNIT é muito menor, são 6833 pontes cadastradas no SGO (Sistema de Gerenciamento de Obras de arte especiais). De acordo com a escala de notas técnicas adotada pelo DNIT, 45% das pontes possuem nota técnica igual a 3 ou inferior, o que indica a necessidade de realização de reparos e/ou reabilitações. (DNIT, 2022)

Este estudo tem como objetivo avaliar um conjunto de relatórios de inspeção disponíveis no SGO, de forma a avaliar a recorrência de manifestações patológicas em pontes de concreto armado. Por meio desta avaliação espera-se entender o panorama do sistema de gerenciamento e manutenção de pontes no Brasil, evidenciando lacunas e visando otimizar o processo de identificação e reparos das manifestações patológicas existentes.

Metodologia

Uma característica específica das estruturas brasileiras é a adoção majoritária do sistema estrutural de vigas de concreto armado. Dentre as 6833 estruturas cadastradas no SGO, 3556 são pontes construídas em vigas de concreto armado, o que representa 52% de todas as pontes sob jurisdição do DNIT. Tais pontes estão distribuídas de acordo com a condição estrutural conforme o exposto na Tabela 1:

Tabela 2. Distribuição das pontes por nota técnica.

Nota técnica	Número de pontes	Distribuição (%)
5	108	3,0
4	447	13,4
3	1337	37,6
2	1613	45,4
1	21	0,6
Total	3556	100%

Para o mapeamento de manifestações patológicas, foi utilizado um segundo banco de dados contando com informações de 100 pontes localizadas em sete estados, cobrindo todas as regiões do país. Nestas pontes, foi realizado o levantamento das manifestações patológicas existentes, bem como sua dimensão, que foram posteriormente relacionados com a nota técnica da ponte e dos elementos em que foram identificadas. Todas as pontes avaliadas seguem o esquema estrutural de pontes em viga de concreto armado, majoritariamente com duas longarinas.

Os relatórios de inspeção disponíveis no SGO apresentam apenas a nota técnica dos elementos nos quais foram identificados alguma manifestação patológica. Dessa forma, aos elementos que não apresentavam nota técnica especificada e constavam na lista de elementos da estrutura, foi atribuída nota 5.

De acordo com o ano da última inspeção, verificou-se que 60 pontes foram inspecionadas pela última vez no ano de 2020, enquanto 40 pontes foram inspecionadas em 2021, o que significa que todas as pontes avaliadas estão atrasadas em relação ao período recomendado para inspeções rotineiras. A norma DNIT 010 (IPR,2024) recomenda que o período entre inspeções rotineiras deve ser de 2 anos, enquanto a NBR 9452 ABNT (2023) recomenda que esse período não seja superior a um ano. De qualquer forma, isso demonstra a precariedade do sistema de manutenção de pontes em vigência no Brasil.

Resultados

Dentre as pontes avaliadas, a distribuição por nota técnica é apresentada na Figura 1, em que são apresentadas as notas dos três elementos principais da estrutura (longarinas, lajes e pilares) e as notas finais das pontes. É possível observar que quase 70% das pontes avaliadas possuem nota técnica igual a 4, 22% possuem nota técnica igual a 3, 6% possuem nota 2 e 5% possuem nota 1. Em geral, o comportamento dos elementos é similar aos das pontes, apenas se alterando, pois, os pilares apresentam um menor número de notas 4, resultando em um aumento nas demais categorias. O grande número de pilares com nota 5, é resultado da falta de informações nos relatórios sobre a condição desses elementos, aliado à premissa da pesquisa de que, se o elemento existe na ponte e não foi detalhada nenhuma manifestação patológica, sua nota técnica seria 5.

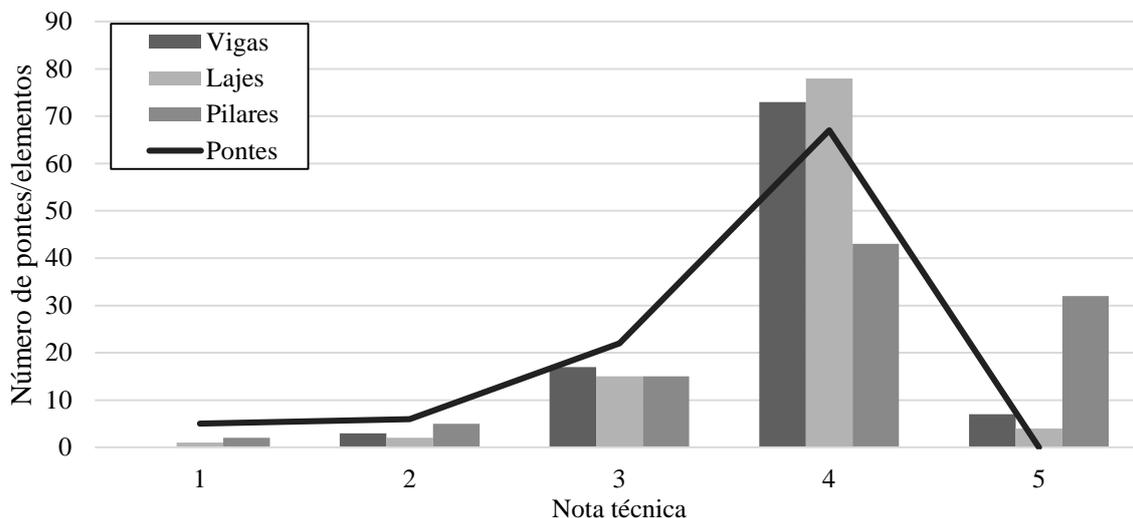


Figura 1. Distribuição das pontes e elementos por nota técnica

É interessante destacar também que o conjunto de pontes analisados apresenta uma proporção maior de pontes nota 4 do que o conjunto real. Dessa forma, é possível que haja uma subestimativa das manifestações patológicas identificadas no trabalho em relação à população das pontes nacionais.

Aspectos Especiais

Os aspectos especiais de uma ponte dizem respeito às situações de implantação da estrutura que podem impactar no seu comportamento, durabilidade e funcionalidade. A implantação da estrutura se relaciona com o acesso do inspetor durante a avaliação, pontos considerados importantes dizem respeito ao desnível entre o greide e o terreno, a profundidade da lâmina de água e a variação do nível de água em períodos de cheia. Tais informações ajudam a determinar a melhor época para inspeção e as condições ou equipamentos necessários para inspecionar os elementos. Ainda, outro aspecto especial é referente à frequência de cargas pesadas sobre a ponte, que interfere no seu comportamento e também no planejamento de atividades de inspeção que eventualmente possam requerer a interrupção do tráfego. Por fim, tem-se as condições que dizem respeito à durabilidade da estrutura, como meio ambiente agressivo, e ao seu comportamento estrutural, como o nível de vibração elevado.

Dentre as pontes analisadas, observou-se que 77% tem algum aspecto especial, sendo que a frequência elevada de carga pesada se destaca como o principal aspecto, atingindo 73% das pontes. Isso está diretamente

relacionado com o aumento das cargas que trafegam pelas rodovias brasileiras, que aumentaram significativamente nas últimas décadas em termos de variedade, quantidade e capacidade de carga (JUNGES; PINTO; MIGUEL, 2017; MENDES; MOREIRA; PIMENTA, 2012).

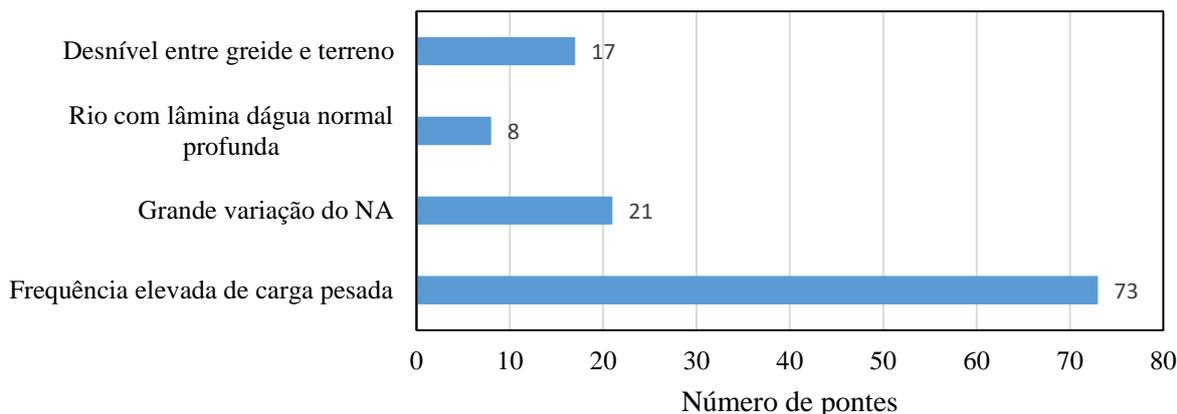


Figura 2. Recorrência de aspectos especiais dentre as pontes avaliadas.

Deficiências Funcionais

Deficiências funcionais estão diretamente relacionadas com a funcionalidade da estrutura, mas que não afetam a sua estabilidade estrutural. Dentre as pontes avaliadas, 90% apresentaram ao menos uma deficiência funcional constatada. Na Figura 3, estão apresentadas as principais deficiências funcionais observadas. A inexistência de acostamento se destaca como a mais recorrente, sendo observada especialmente em pontes construídas em décadas passadas e que não passaram por um processo de adequação ao longo dos anos. Outras características ligadas à época de construção da estrutura são o guarda-corpo obsoleto, a largura inferior a 7,2 metros e o trem-tipo anterior.

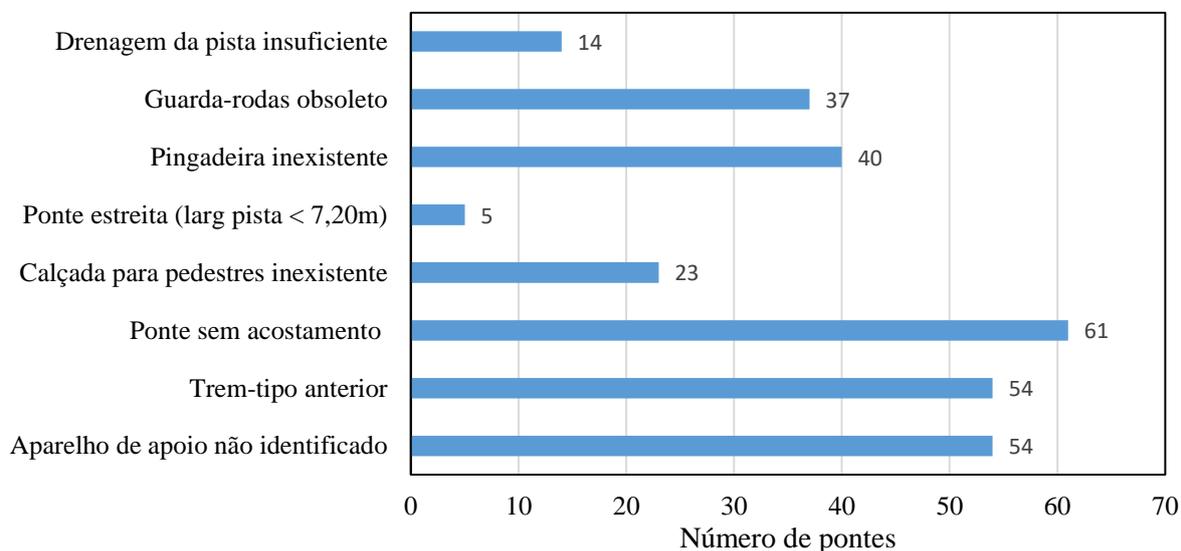


Figura 3. Recorrência de deficiências funcionais dentre as pontes avaliadas.

Ainda, é importante destacar que mais de 50% das pontes avaliadas possuem aparelho de apoio não identificado, conforme o exemplo apresentado na Figura 4. Tal deficiência funcional pode estar relacionada à danos nos aparelhos de apoio, como esmagamento ou rasgamento dos elementos, impedindo a sua identificação, ou ainda à ausência deste elemento.



Figura 4. Exemplo de ponte com aparelho de apoio não identificado.

Insuficiências Estruturais

De acordo com a escala de notas do DNIT, pontes com nota 3 ou abaixo apresentam algum tipo de insuficiência estrutural. Dessa forma, 33% das pontes apresentam algum tipo de insuficiência, sendo a mais comum a deterioração acentuada dos materiais, presente em 24% das pontes, conforme mostrado na Figura 5. Apesar de ser a insuficiência mais comum, a deterioração dos materiais não se configura com a mais grave. Insuficiências consideradas graves são aquelas que podem levar ao colapso da estrutura, como a perda de apoio, a existência de armadura principal exposta e corroída, presença de trinca ou fissuras de grande abertura ou o quadro fissuratório intenso.

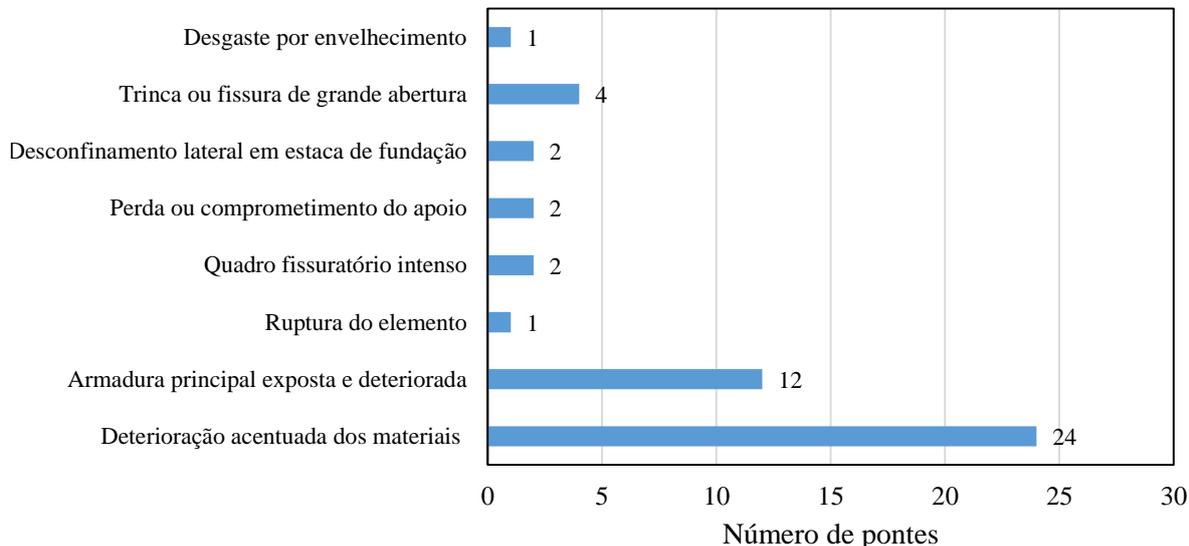


Figura 5. Recorrência de insuficiências estruturais dentre as pontes avaliadas.

Mapeamento de manifestações patológicas

Na Figura 6, são apresentadas as dez principais manifestações patológicas identificadas entre a 100 pontes avaliadas. É possível observar que entre as principais encontram-se mancha de umidade e infiltração no concreto que são decorrentes da exposição das estruturas às intempéries, sendo observadas em 98% e 61% das pontes respectivamente. A presença de umidade propicia o surgimento de ação biológica nas estruturas e também acelera o processo de carbonatação, resultando na lixiviação e manchas de carbonatação, que foram identificadas em 84% das pontes avaliadas.

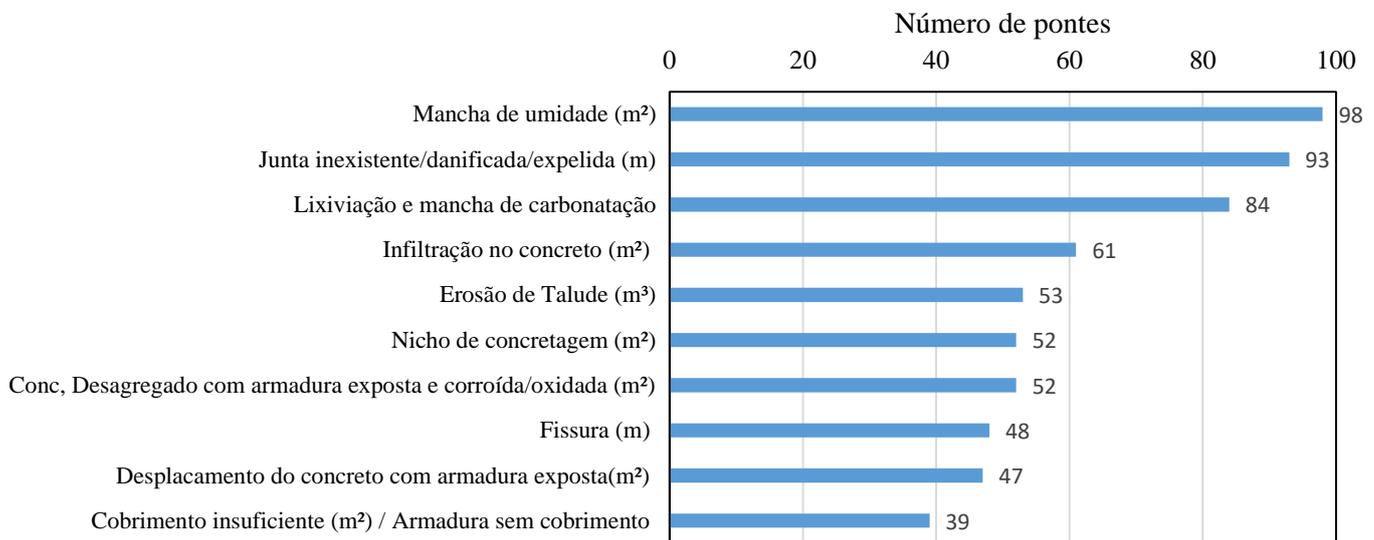


Figura 6. Recorrência de manifestações patológicas dentre as pontes avaliadas.

O avanço da frente de carbonatação, por sua vez, deixa as armaduras susceptíveis a serem atingidas pelo processo de corrosão. Ao mesmo tempo, a ausência de cobertura ou cobertura insuficiente também colaboram para a redução da proteção sobre as armaduras, o que foi verificado em 39% das pontes analisadas. Em 47% das pontes foram identificadas área de concreto deslocado com armadura exposta e em 52% das foram identificados pontos com concreto desagregado e armadura exposta e corroída.

A ausência de juntas de dilatação ou a existência de juntas danificadas atinge 93% das pontes avaliadas se mostrando como um problema sistêmico no conjunto de pontes brasileiras, conforme ilustrado na Figura 7. A ausência de juntas de dilatação provoca a fissuração no encontro da laje do tabuleiro com a laje de transição para a rodovia, que pode servir de entrada para outros agentes agressivos e umidade e resultar no surgimento ou agravamento de outras patologias no aterro de acesso e elementos da mesoestrutura e infraestrutura. Cerca de 53% das pontes apresentaram problemas de erosão dos taludes de acesso, enquanto 3% apresentaram desnível entre o acesso e a estrutura. Ainda, o desnível na ligação entre a rodovia e a estrutura aumenta o impacto das cargas móveis nos veículos sobre a ponte, podendo levar a um comprometimento da segurança estrutural.

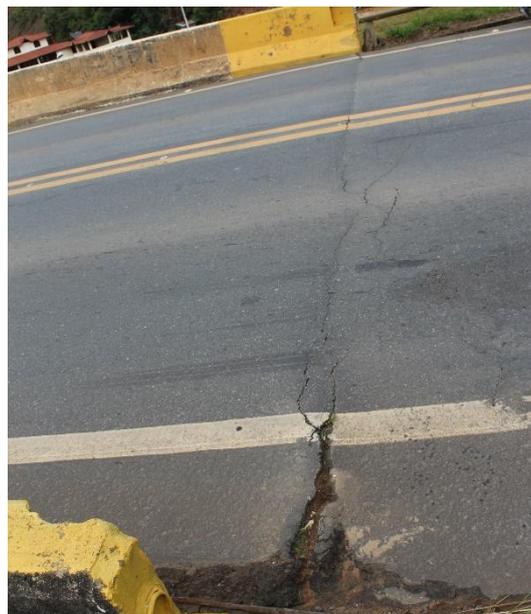


Figura 7. Fissuração devido à ausência de junta de dilatação.

Para os guarda-corpos, 14 pontes apresentaram a destruição de elementos, enquanto em 35 pontes foram identificados deslocamento/desagregação do concreto com exposição de armadura. Com relação ao pavimento, 51% das pontes apresentaram deterioração do pavimento e 10% apresentaram buracos na pista.

Na Tabela 3, é apresentado um resumo da identificação de manifestações patológicas em vigas de pontes de concreto armado, em que é apresentada a recorrência desse dano – em número de pontes atingidas – e a dimensão média desse dano. Mais uma vez, os processos de degradação devido à presença de umidade são dominantes. No entanto, apesar de a presença de umidade ser um agente impactante no desenvolvimento dos processos de carbonatação e corrosão, esta não gera impacto direto sobre a capacidade resistente das estruturas e também não é indicativa do comportamento da estrutura.

Tabela 3. Recorrência de manifestações patológicas entre as vigas das pontes analisadas.

Manifestação patológica	Número de pontes	Dimensão média
Mancha de umidade (m ²)	63	3,69
Lixiviação e mancha de carbonatação	36	2,23
Nicho de concretagem (m ²)	24	0,29
Conc. Desagregado com armadura exposta e corroída/oxidada (m ²)	24	1,88
Infiltração no concreto (m ²)	22	3,26
Deslocamento do concreto com armadura exposta(m ²)	16	0,47
Cobrimento insuficiente (m ²) / Armadura sem cobrimento	10	0,37
Fissura (m)	8	1,6

Entre as vigas, é possível destacar a presença de nicho de concretagem como uma das principais manifestações patológicas, indicando a influência de erros durante o processo construtivo neste elemento. Outro problema que pode ser originado nas fases de projeto e execução é o cobrimento insuficiente das armaduras. Ambas manifestações patológicas apresentam área de incidência médias baixas indicando que, em geral, se tratam de problemas localizados em uma única região.

A existência de fissuras não se mostrou como um problema recorrente nas longarinas sendo identificado em apenas 8% das pontes avaliadas, enquanto para as pontes de maneira geral o processo de fissuração foi identificado em 48% dos casos. Tal resultado pode ser considerado surpreendente visto que a fissuração de longarinas é uma das principais manifestações patológicas nestes elementos. Neste ponto, sugere-se que novos estudos dessa natureza sejam realizados em um conjunto abrangente de estruturas, de modo a verificar os resultados obtidos neste trabalho.

Na Tabela 4, é apresentada a recorrência de manifestações patológicas de acordo com a nota técnica das pontes. De maneira geral, quanto menor a nota técnica, maior a recorrência das manifestações patológicas entre as pontes de uma determinada nota técnica, em especial as patologias que representam insuficiências estruturais nos elementos principais, como o deslocamento de concreto, cobrimento insuficiente e a presença de fissuras. Por outro lado, algumas manifestações patológicas não são significativamente afetadas pela nota técnica como o caso dos danos nas juntas de dilatação, manchas de umidade, nicho de concretagem e danos ao pavimento.

Tabela 4. Recorrência de manifestações patológicas de acordo com a nota técnica.

Manifestação patológica	Nota técnica			
	1	2	3	4
Mancha de umidade	100%	100%	100%	97%
Lixiviação e mancha de carbonatação	100%	100%	100%	76%
Nicho de concretagem	60%	67%	41%	54%
Conc. Desagregado com armadura exposta e corroída/oxidada	80%	100%	91%	33%
Infiltração no concreto	100%	100%	73%	51%
Deslocamento do concreto com armadura exposta	100%	67%	82%	30%
Cobrimento insuficiente / Armadura sem cobrimento	80%	83%	55%	27%
Fissura	80%	67%	68%	39%
Junta de dilatação inexistente ou expelida	100%	83%	91%	94%
Pavimento danificado	60%	33%	50%	52%

Esse comportamento já era esperado, pois são as manifestações patológicas nos elementos principais que controlam a nota técnica na estrutura, especialmente aquelas que se correlacionam com a deterioração dos elementos e perda de capacidade. Em contrapartida, danos nas juntas de dilatação e pavimento não são considerados para a nota técnica da estrutura. Ainda, as manifestações patológicas que são derivadas das condições ambientais e exposição à intempéries também não são afetadas pela redução da nota técnica, visto que todas as estruturas são atingidas de maneira semelhante.

Conclusões

Este trabalho avaliou a recorrência de manifestações patológicas em 100 pontes cadastradas no Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais do DNIT. A partir das análises desenvolvidas, algumas conclusões podem ser retiradas:

- Cerca de 77% das pontes apresentam algum aspecto especial que deve ser levado em consideração durante as inspeções, sendo o mais recorrente a frequência elevada de cargas pesadas, identificada em 73% das pontes.
- Dentre as pontes avaliadas, 90% possuem alguma deficiência funcional, sendo que a maioria das deficiências estão relacionadas características construtivas de pontes antigas. Destaca-se ainda que em 54% das pontes não foi possível identificar o aparelho de apoio.
- Cerca de 33% das pontes apresentam alguma insuficiência estrutural, ou seja, apresentam nota técnica igual ou inferior a 3. O desgaste avançado dos materiais foi identificado como o principal mecanismo de deterioração, seguido pela exposição e corrosão das armaduras.
- A patologia mais recorrente em pontes de concreto armado são as manchas de umidade, presente em 98% das pontes analisadas.
- A ausência de juntas de dilatação ou existência de juntas expelidas atinge 93% das pontes avaliadas, se mostrando como um problema sistêmico no conjunto de pontes rodoviárias brasileiras.
- A recorrência de manifestações patológicas que comprometem a capacidade e o comportamento da estrutura aumenta conforme a nota técnica diminui.

Dessa forma, é apresentado um panorama parcial da condição das pontes brasileiras que pode ser tomado como referência para identificação de padrões de danos e estabelecimento de estratégias de manutenção corretiva e preventiva, visando o melhor planejamento de atividades e a manutenção de um programa contínuo de reparos que traga mais qualidade ao sistema de gestão de infraestruturas no país.

Financiamento

Este estudo foi financiado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) por meio do Projeto 291 - TED 703/2020 desenvolvido em parceria com a Universidade Federal de Viçosa. O autor Xavier Romão agradece ainda o Financiamento Base - UIDB/04708/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04708/2020>) do CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções, financiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Referências

ABNT. **NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas - Procedimento**. Brazil: [s.n.].

HELENE, P. R. L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo Editora Pini Ltda., , 1988.

IPR. **Inspeções em pontes e viadutos-Procedimento**. Brasil, nov. 2024.

JUNGES, P.; PINTO, R. C. A.; MIGUEL, L. F. F. B-WIM systems application on reinforced concrete bridge structural assessment and highway traffic characterization. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 10, n. 6, p. 1338–1365, nov. 2017.

LOURENÇO, L. C. et al. **Parâmetros de Avaliação de Patologias em Obras-de-Arte Especiais**. Rio de Janeiro, 2009.

MENDES, P. T. C.; MOREIRA, M. L. T.; PIMENTA, P. M. Reinforced concrete bridges: effects due to corrosion and concrete young modulus variation. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 5, n. 3, p. 388–419, jun. 2012.

VITÓRIO, J. A. P. **Vistorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto**. Anais do 48º Congresso Brasileiro do Concreto. **Anais...**set. 2006.