



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS DE PALMAS-TO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**FELIPE FRITSCH**

INSPEÇÃO EM PONTES DE CONCRETO ARMADO NA CIDADE DE  
PALMAS-TO SEGUNDO AS METODOLOGIAS DNIT 010/2004 E  
GDE/UNB

Palmas/TO  
2025

**FELIPE FRITSCH**

**INSPEÇÃO EM PONTES DE CONCRETO ARMADO NA  
CIDADE DE PALMAS-TO SEGUNDO AS METODOLOGIAS  
DNIT 010/2004 E GDE/UNB**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Tocantins (UFT) – Campus Universitário de Palmas - TO, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Alves Amorim

Palmas/TO  
2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

- F919i Fritsch, Felipe.  
Inspeção em Pontes de Concreto Armado na cidade de Palmas-TO segundo as metodologias DNIT 010/2004 e GDE/UNB.. / Felipe Fritsch. – Palmas, TO, 2025.  
273 f.
- Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2025.  
Orientador: Rafael Alves Amorim
1. Obras de Arte Especiais. 2. Inspeção em Estruturas de Concreto Armado. 3. Patologia das Estruturas. 4. Pontes em Concreto Armado. I. Título
- CDD 624**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

# FOLHA DE APROVAÇÃO

FELIPE FRITSCH

## INSPEÇÃO EM PONTES DE CONCRETO ARMADO NA CIDADE DE PALMAS-TO SEGUNDO AS METODOLOGIAS DNIT 010/2004 E GDE/UNB

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 02/07/2025

Banca Examinadora



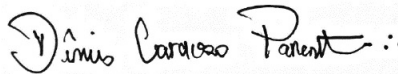
---

Prof. Dr. Rafael Alves Amorim, UFT



Prof. Dr. Roldão Pimentel de Araújo Júnior  
Matrícula 1783498  
Eng. Civil/UFT

Prof. Dr. Roldão Pimentel de Araújo Júnior, UFT



---

Prof. Dr. Dênis Parente Cardoso, UFT

Palmas-TO, 2025

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, à minha mãe e aos coadjuvantes desta trajetória.

*“Gigantes são os mestres nos ombros dos quais me elevei”  
- Isaac Newton*

## RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo avaliar o estado de conservação de dez pontes de concreto armado localizadas ao longo do Córrego Brejo Comprido, inserido na região sul do município de Palmas-TO. As estruturas foram inspecionadas em ambos os sentidos de tráfego, totalizando dez passagens distintas, com características geométricas e construtivas similares. A metodologia adotada consistiu na aplicação de duas abordagens distintas de avaliação: o método GDE/UnB, que utiliza critérios quantitativos para atribuição de graus de deterioração com base em parâmetros objetivos e sistematizados; e o método DNIT 010/2004-PRO, de caráter qualitativo, baseado na atribuição de notas representativas do estado de conservação dos elementos estruturais. As inspeções foram visuais e abrangeram os principais componentes das pontes: infraestrutura, mesoestrutura, superestrutura e tabuleiro, com o registro fotográfico e classificação das manifestações patológicas observadas. Os resultados indicaram que a maioria das estruturas apresenta manifestações recorrentes, tais como fissuras longitudinais e transversais, eflorescências, deslocamento de concreto e exposição de armaduras. As notas obtidas pelo método DNIT indicaram estados predominantemente regulares. Similarmente, os valores atribuídos pelo método GDE evidenciaram, predominantemente, níveis médios de deterioração. A comparação entre os métodos evidenciou divergências significativas de aplicação, especialmente em casos em que o julgamento visual qualitativo não refletiu, com precisão, a severidade das patologias registradas quantitativamente. Além disso, foi identificada a necessidade de maior uniformidade nas interpretações das classificações adotadas e a importância de complementar as inspeções visuais com ensaios específicos, sobretudo em casos de indícios de comprometimento estrutural. Constatou-se, ainda, a carência de um sistema estruturado de gestão de pontes no município, o que reforça a urgência da implementação de políticas públicas voltadas ao monitoramento e à conservação periódica dessas obras. Por fim, o trabalho destaca o potencial da combinação entre metodologias distintas como estratégia para aprimorar o diagnóstico técnico das OAEs, fornecendo subsídios confiáveis à tomada de decisão por parte dos gestores públicos. A adoção sistemática de inspeções técnicas, embasadas em critérios objetivos e padronizados, constitui etapa essencial para garantir a segurança estrutural, a longevidade das pontes e a eficiência da malha viária urbana.

**Palavras-chave:** Inspeção de pontes; DNIT 010/2004; GDE/UNB; Manifestações patológicas; Durabilidade estrutural; Obras de Arte Especiais.

## ABSTRACT

This undergraduate thesis aimed to assess the conservation condition of ten reinforced concrete bridges located along the Brejo Comprido Stream, in the southern region of Palmas, Tocantins. The structures were inspected in both traffic directions, totaling ten distinct crossings with similar geometric and structural characteristics. The adopted methodology consisted of applying two distinct assessment approaches: the GDE/UnB method, which uses quantitative criteria to assign deterioration levels based on objective and systematized parameters; and the DNIT 010/2004-PRO method, of a qualitative nature, based on assigning scores that represent the conservation state of structural elements. The inspections were visual and covered the main components of the bridges: substructure, mesostructure, superstructure, and deck, with photographic documentation and classification of the observed pathological manifestations. The results indicated that most structures exhibited recurring issues such as longitudinal and transverse cracks, efflorescence, concrete spalling, and exposed reinforcement. The scores obtained using the DNIT method indicated predominantly fair conditions. Similarly, the values from the GDE method predominantly showed moderate levels of deterioration. The comparison between the two methods revealed significant discrepancies in their application, particularly in cases where the qualitative visual judgment did not accurately reflect the severity of the quantitatively recorded pathologies. Additionally, the study identified the need for greater consistency in the interpretation of adopted classification criteria and emphasized the importance of complementing visual inspections with specific tests, especially in cases indicating potential structural compromise. A lack of a structured bridge management system in the municipality was also identified, reinforcing the urgency of implementing public policies focused on the periodic monitoring and maintenance of these structures. Finally, the study highlights the potential of combining distinct methodologies as a strategy to enhance the technical diagnosis of bridge structures, providing reliable input for decision-making by public managers. The systematic adoption of technical inspections based on objective and standardized criteria is essential to ensure structural safety, bridge durability, and the efficiency of the urban road network.

**Keywords:** Bridge inspection; DNIT 010/2004; GDE/UNB; Pathological manifestations; Structural durability; Special Engineering Structures.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 1  | Localização das OAE's  | 33 |
| Figura 2  | Importância da inspeção visual mostrada em termos de informações obtidas e dos custos totais de inspeção | 35 |
| Figura 3  | Vida útil das estruturas   | 45 |
| Figura 4  | Fases do desempenho de uma estrutura durante sua vida útil   | 46 |
| Figura 5  | Gráfico representativo da lei dos cinco de Sitter (1986)   | 47 |
| Figura 6  | Alterações na resistência do Concreto Devido à Elevação da Temperatura                                   | 53 |
| Figura 7  | Agentes químicos de degradação do concreto   | 55 |
| Figura 8  | Reação Álcali-Agregado em blocos de coroamento em edifícios de Recife                                    | 57 |
| Figura 9  | RAA em ponte sobre o Rio Tocantins   | 57 |
| Figura 10 | Modelo de vida útil proposto por Tuutti  | 59 |
| Figura 11 | Fluxograma de metodologia para o cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura (GDE)                      | 66 |
| Figura 12 | Vista superior das Pontes da Avenida NS-02   | 69 |
| Figura 13 | Vigas de travamento primárias e secundárias  | 69 |
| Figura 14 | Desgaste superficial   | 70 |
| Figura 15 | Desnível do tabuleiro  | 70 |
| Figura 16 | Desgaste superficial   | 71 |
| Figura 17 | Trincas no guarda-corpo  | 71 |
| Figura 18 | Insuficiência de comprimento   | 71 |
| Figura 19 | Falta de transição na Barreira Rígida  | 72 |
| Figura 20 | Exposição de armadura  | 72 |
| Figura 21 | Avaria no Guarda-Corpo Oeste   | 72 |
| Figura 22 | Queda acentuada ao final do acesso   | 73 |
| Figura 23 | Avárias no gabião  | 73 |
| Figura 24 | Eflorescências na laje próximas ao buzinode  | 74 |
| Figura 25 | Eflorescência em vãos diversos da laje   | 74 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 26 | Eflorescência com ponto de percolação da água                                | 75 |
| Figura 27 | Compostos carreados da laje  | 75 |
| Figura 28 | Eflorescência no primeiro vão da Laje  | 75 |
| Figura 29 | Falha de concretagem na Cortina Sul  | 75 |
| Figura 30 | Falha de concretagem em vão central de transversina                          | 77 |
| Figura 31 | Falha de concretagem em Longarina e Transversina com exposição de armadura   | 77 |
| Figura 32 | Manchas nas transversinas  | 77 |
| Figura 33 | Sinais de eflorescência na Longarina e exposição da armadura na transversina | 77 |
| Figura 34 | Manchas na Longarina   | 78 |
| Figura 35 | Fissuras no P3   | 78 |
| Figura 36 | Fissuras no P2   | 78 |
| Figura 37 | Fissuras horizontais em Pilar  | 79 |
| Figura 38 | Abertura da fissura  | 79 |
| Figura 39 | Fissuras em base de pilar  | 79 |
| Figura 40 | Abertura da fissura  | 79 |
| Figura 41 | Umidade na base do P4  | 80 |
| Figura 42 | Deslocamento na base do P2   | 80 |
| Figura 43 | Manchas de umidade no P2   | 80 |
| Figura 44 | Avaria no topo do P4   | 80 |
| Figura 45 | Deslocamento na base do P1   | 81 |
| Figura 46 | Umidade no Bloco 04  | 82 |
| Figura 47 | Umidade no Bloco 02  | 82 |
| Figura 48 | Manchas de umidade em viga de travamento ao norte                            | 82 |
| Figura 49 | Umidade na Viga de travamento ao sul   | 82 |
| Figura 50 | Exposição de armadura em viga de travamento ao Oeste                         | 83 |
| Figura 51 | Falha de concretagem em viga de travamento ao Oeste                          | 83 |
| Figura 52 | Exposição de armadura em viga de travamento ao Oeste                         | 83 |
| Figura 53 | Exposição e corrosão de armadura na viga de travamento ao Norte              | 84 |
| Figura 54 | Exposição de armadura em viga de travamento secundária ao Norte              | 84 |
| Figura 55 | Corrosão e rompimento de armadura de viga de travamento secundária ao Norte  | 84 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 56 | Exposição de armadura viga de travamento secundária ao Sul                  | 85 |
| Figura 57 | Formação de Limo na viga de travamento secundária ao Sul                    | 85 |
| Figura 58 | Umidade e início de deslocamento na viga de travamento secundária ao Sul    | 85 |
| Figura 59 | Fissura e falha de concretagem na viga de travamento secundária mais ao Sul | 85 |
| Figura 60 | Insuficiência de comprimento no Guarda-corpo                                | 89 |
| Figura 61 | Trinca na região da junta   | 89 |
| Figura 62 | Desnível do tabuleiro   | 89 |
| Figura 63 | Eflorescências na laje  | 90 |
| Figura 64 | Eflorescências na laje  | 90 |
| Figura 65 | Eflorescências na laje  | 90 |
| Figura 66 | Eflorescências na laje  | 90 |
| Figura 67 | Exposição da armadura   | 91 |
| Figura 68 | Eflorescência e exposição da armadura                                       | 91 |
| Figura 69 | Manchas de eflorescência  | 91 |
| Figura 70 | Falha de concretagem  | 92 |
| Figura 71 | Mancha de umidade e exposição da armadura                                   | 92 |
| Figura 72 | Manchas de umidade  | 92 |
| Figura 73 | Manchas de eflorescência  | 93 |
| Figura 74 | Manchas de oxidação   | 93 |
| Figura 75 | Trinca acompanhando o cobrimento  | 94 |
| Figura 76 | Exposição de armadura   | 94 |
| Figura 77 | Exposição e corrosão de armadura  | 94 |
| Figura 78 | Armadura rompida  | 95 |
| Figura 79 | Armadura exposta  | 95 |
| Figura 80 | Desplacamento de cobrimento   | 95 |
| Figura 81 | Corrosão de armadura  | 95 |
| Figura 82 | Falha de concretagem  | 96 |
| Figura 83 | Formação de limo  | 96 |
| Figura 84 | Umidade e formação de limo  | 96 |
| Figura 85 | Fissuras horizontais marcadas em branco                                     | 97 |
| Figura 86 | Desplacamento e exposição de armadura no P1                                 | 97 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Figura 87  | Desplacamento no topo do P2                                   | 97  |
| Figura 88  | Exposição de armadura no topo do P4                           | 97  |
| Figura 89  | Exposição de Armadura   | 98  |
| Figura 90  | Umidade no bloco e abertura de fenda com a viga de travamento | 98  |
| Figura 91  | Exposição e corrosão de armadura                              | 98  |
| Figura 92  | Manchas de umidade  | 98  |
| Figura 93  | Aterro cedendo próximo a Bloco de coroamento                  | 99  |
| Figura 94  | Aterro cedendo próximo a Bloco de coroamento                  | 99  |
| Figura 95  | Aterro cedendo próximo a Bloco de coroamento                  | 99  |
| Figura 96  | Vista aérea das Pontes da Avenida Teotônio Segurado           | 103 |
| Figura 97  | Crescimento de vegetação                                      | 104 |
| Figura 98  | Degradação do calçamento                                      | 104 |
| Figura 99  | Empoçamento de água   | 104 |
| Figura 100 | Desplacamento   | 105 |
| Figura 101 | Manchas de umidade  | 105 |
| Figura 102 | Manchas de umidade  | 105 |
| Figura 103 | Fissura no guarda-corpo                                       | 105 |
| Figura 104 | Fissura no guarda-corpo                                       | 106 |
| Figura 105 | Fissura no guarda-corpo                                       | 106 |
| Figura 106 | Exposição de pontas de armadura                               | 107 |
| Figura 107 | Acúmulo de água no pavimento                                  | 107 |
| Figura 108 | Trincas no pavimento  | 107 |
| Figura 109 | Irregularidades no pavimento                                  | 107 |
| Figura 110 | Irregularidades no pavimento                                  | 108 |
| Figura 111 | Eflorescência na laje   | 108 |
| Figura 112 | Formação de limo  | 108 |
| Figura 113 | Eflorescência na laje   | 109 |
| Figura 114 | Manchas de eflorescência                                      | 109 |
| Figura 115 | Eflorescência e ausência de buzinote                          | 109 |
| Figura 116 | Ausência de buzinote  | 109 |
| Figura 117 | Manchas de eflorescência                                      | 110 |
| Figura 118 | Manchas na Longarina 01                                       | 110 |
| Figura 119 | Exposição de armadura e manchas na Longarina 01               | 111 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Figura 120 | Exposição de armadura na Longarina 02                | 111 |
| Figura 121 | Umidade na Longarina 04                              | 111 |
| Figura 122 | Indício de deslocamento no P1                        | 112 |
| Figura 123 | Desplacamento no P2                                  | 112 |
| Figura 124 | Desplacamento no P4                                  | 113 |
| Figura 125 | Corrosão e rompimento de estribo no P4               | 113 |
| Figura 126 | Desplacamento e corrosão no P5                       | 113 |
| Figura 127 | Desplacamento no P6                                  | 113 |
| Figura 128 | Corrosão e rompimento de estribo no P6               | 114 |
| Figura 129 | Desplacamento no P7                                  | 114 |
| Figura 130 | Rompimento de concreto no topo do P7                 | 114 |
| Figura 131 | Desplacamento no P8                                  | 114 |
| Figura 132 | Desplacamento no P9                                  | 115 |
| Figura 133 | Desplacamento no P9                                  | 115 |
| Figura 134 | Erosão em torno do Bloco 04                          | 116 |
| Figura 135 | Erosão em torno do Bloco 04                          | 116 |
| Figura 136 | Erosão em torno do Bloco 04                          | 116 |
| Figura 137 | Erosão em torno do Bloco 04                          | 116 |
| Figura 138 | Entorno do Bloco 04                                  | 117 |
| Figura 139 | Quebra do Material de Base                           | 120 |
| Figura 140 | Manchas escuras                                      | 120 |
| Figura 141 | Trinca vertical                                      | 121 |
| Figura 142 | Desplacamento  | 121 |
| Figura 143 | Rachadura no Topo do Elemento                        | 121 |
| Figura 144 | Quebra do topo do elemento com exposição de armadura | 121 |
| Figura 145 | Trinca e desnível na pista                           | 122 |
| Figura 146 | Trinca e desnível na pista                           | 122 |
| Figura 147 | Desgaste superficial                                 | 122 |
| Figura 148 | Desplacamento e início de corrosão na Cortina Norte  | 123 |
| Figura 149 | Desplacamento e umidade na Cortina Norte             | 123 |
| Figura 150 | Umidade na Cortina Norte                             | 124 |
| Figura 151 | Umidade na Cortina Sul                               | 124 |
| Figura 152 | Eflorescência na Cortina Sul                         | 124 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Figura 153 | Manchas de umidade   | 125 |
| Figura 154 | Exposição de armaduras                                       | 125 |
| Figura 155 | Eflorescência na laje  | 125 |
| Figura 156 | Eflorescência e deslocamento na laje                         | 125 |
| Figura 157 | Deslocamento e exposição de armadura                         | 126 |
| Figura 158 | Eflorescência na laje  | 126 |
| Figura 159 | Exposição de armaduras                                       | 126 |
| Figura 160 | Umidade na Longarina 01                                      | 127 |
| Figura 161 | Umidade na Longarina 01                                      | 127 |
| Figura 162 | Manchas de umidade na Longarina 02                           | 127 |
| Figura 163 | Deslocamento e exposição de armadura na base do P1           | 128 |
| Figura 164 | Deslocamento e exposição de armadura na base do P1           | 128 |
| Figura 165 | Deslocamento e exposição de armadura na base do P2           | 128 |
| Figura 166 | Deslocamento e exposição de armadura na base do P3           | 128 |
| Figura 167 | Deslocamento e exposição de armadura na base do P3           | 116 |
| Figura 168 | Deslocamento e exposição de armadura no terço inferior do P4 | 129 |
| Figura 169 | Deslocamento e exposição de armadura no terço inferior do P4 | 129 |
| Figura 170 | Deslocamento e exposição de armadura no terço inferior do P5 | 129 |
| Figura 171 | Fissuras ao longo do perímetro da base do P5                 | 130 |
| Figura 172 | Pequena falha de concretagem no P6                           | 130 |
| Figura 173 | Deslocamento e exposição de armadura na base do P7           | 130 |
| Figura 174 | Deslocamento e exposição de armadura na base do P7           | 130 |
| Figura 175 | Deslocamento e exposição de armadura na base do P8           | 131 |
| Figura 176 | Deslocamento na base do P9                                   | 131 |
| Figura 177 | Deslocamento e exposição de armadura na base do P9           | 131 |
| Figura 178 | Deslocamento e exposição de armadura na base do P9           | 131 |
| Figura 179 | Erosão por ação da água drenada                              | 132 |
| Figura 180 | Erosão por ação da água drenada                              | 132 |
| Figura 181 | Erosão por ação da água drenada                              | 132 |
| Figura 182 | Fuga do solo junto à cortina norte                           | 120 |
| Figura 183 | Fuga do material de aterro junto à cortina sul               | 133 |
| Figura 184 | Fuga do material de aterro junto à cortina sul               | 133 |
| Figura 185 | Erosão próxima à margem sul                                  | 134 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Figura 186 | Erosão próxima à margem sul  | 134 |
| Figura 187 | Erosão próxima à margem sul  | 134 |
| Figura 188 | Pontes da Avenida Juscelino Kubitschek                                   | 138 |
| Figura 189 | Trincas na cabeceira Oeste   | 139 |
| Figura 190 | Trincas no pavimento localizadas acima dos pilares Oeste                 | 139 |
| Figura 191 | Trincas no pavimento   | 139 |
| Figura 192 | Trincas no pavimento localizadas acima dos pilares Oeste                 | 140 |
| Figura 193 | Trinca na cabeceira Leste  | 140 |
| Figura 194 | Manchas de umidade no calçamento   | 141 |
| Figura 195 | Corrosão superficial no guarda-corpo                                     | 141 |
| Figura 196 | Rompimento de placa do calçamento  | 141 |
| Figura 197 | Exposição de armadura do calçamento                                      | 141 |
| Figura 198 | Umidade ao longo do balanço Norte  | 142 |
| Figura 199 | Eflorescência, limo e corrosão de armadura em ponto de buzinode rompido  | 142 |
| Figura 200 | Manchas de eflorescência no balanço Norte                                | 130 |
| Figura 201 | Eflorescência e corrosão de armadura em ponto de buzinode rompido        | 143 |
| Figura 202 | Eflorescência e corrosão de armadura                                     | 143 |
| Figura 203 | Eflorescência, limo e corrosão de armadura em ponto de buzinode rompido  | 143 |
| Figura 204 | Eflorescência no balanço sul   | 144 |
| Figura 205 | Eflorescência no vão interno da laje                                     | 144 |
| Figura 206 | Eflorescência no vão interno da laje                                     | 144 |
| Figura 207 | Desplacamento no vão interno da laje                                     | 145 |
| Figura 208 | Desplacamento e exposição de armadura em vão interno da laje             | 145 |
| Figura 209 | Desplacamento no vão interno da laje                                     | 145 |
| Figura 210 | Eflorescência e manchas de umidade na extremidade Norte da cortina Oeste | 146 |
| Figura 211 | Fuga do material de aterro abaixo da cortina Leste                       | 146 |
| Figura 212 | Trinca horizontal e eflorescência na cortina Oeste                       | 147 |
| Figura 213 | Trinca horizontal e eflorescência na cortina Oeste                       | 147 |
| Figura 214 | Mancha no topo do pilar 04   | 148 |
| Figura 215 | Cobrimento insuficiente no topo do pilar 03                              | 148 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Figura 216 | Umidade no lado externo da Longarina 02                 | 149 |
| Figura 217 | Mancha no lado interno da longarina 02                  | 149 |
| Figura 218 | Desplacamento com exposição de armadura na longarina 02 | 149 |
| Figura 219 | Pequenas manchas na Longarina 01                        | 149 |
| Figura 220 | Manchas na transversina 04                              | 150 |
| Figura 221 | Impossibilidade de inspecionar infraestrutura           | 151 |
| Figura 222 | Impossibilidade de inspecionar infraestrutura           | 151 |
| Figura 223 | Impossibilidade de inspecionar infraestrutura           | 151 |
| Figura 224 | Manchas de umidade no calçamento                        | 155 |
| Figura 225 | Exposição da armadura no calçamento                     | 155 |
| Figura 226 | Corrosão superficial no guarda-corpo                    | 155 |
| Figura 227 | Ausência de placas e acúmulo de água                    | 155 |
| Figura 228 | Trincas na cabeceira Leste                              | 156 |
| Figura 229 | Trincas na cabeceira Leste                              | 156 |
| Figura 230 | Trincas na cabeceira Leste                              | 157 |
| Figura 231 | Trincas na cabeceira Oeste                              | 157 |
| Figura 232 | Trincas na cabeceira Leste                              | 157 |
| Figura 233 | Desgaste por abrasão                                    | 158 |
| Figura 234 | Deformação plástica no pavimento                        | 158 |
| Figura 235 | Trinca contínua no pavimento                            | 159 |
| Figura 236 | Trinca contínua no pavimento                            | 159 |
| Figura 237 | Elevação do nível da água                               | 160 |
| Figura 238 | Elevação do nível da água                               | 160 |
| Figura 239 | Elevação do nível da água                               | 160 |
| Figura 240 | Umidade e corrosão de armadura na laje                  | 161 |
| Figura 241 | Umidade e corrosão de armadura na laje                  | 161 |
| Figura 242 | Eflorescência na Laje                                   | 162 |
| Figura 243 | Eflorescência na Laje                                   | 162 |
| Figura 244 | Manchas de eflorescência na Laje                        | 162 |
| Figura 245 | Manchas de eflorescência na Laje                        | 162 |
| Figura 246 | Falha de concretagem na Laje                            | 163 |
| Figura 247 | Pequena escamação na laje                               | 163 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Figura 248 | Umidade e corrosão de armadura na extremidade Norte da Cortina Leste         | 164 |
| Figura 249 | Umidade e corrosão de armadura na extremidade Sul da Cortina Leste           | 164 |
| Figura 250 | Umidade na extremidade Norte da Cortina Oeste                                | 164 |
| Figura 251 | Umidade, Corrosão e falha de concretagem na extremidade Sul da Cortina Oeste | 164 |
| Figura 252 | Umidade, Corrosão e falha de concretagem na extremidade Sul da Cortina Oeste | 165 |
| Figura 253 | Umidade e exposição de armadura na Cortina Oeste                             | 165 |
| Figura 254 | Corrosão e formação de limo na Longarina 02                                  | 166 |
| Figura 255 | Corrosão e formação de limo na Longarina 02                                  | 166 |
| Figura 256 | Desplacamento e exposição de armadura em transversina                        | 167 |
| Figura 257 | Desplacamento em transversina  | 167 |
| Figura 258 | Desplacamento e exposição de armadura em transversina                        | 167 |
| Figura 259 | Desplacamento em transversina  | 167 |
| Figura 260 | Formação de limo no Pilar 04   | 168 |
| Figura 261 | Disposição de vigas e pilares (Centro)                                       | 171 |
| Figura 262 | Disposição de vigas e pilares (Norte)  | 172 |
| Figura 263 | Disposição de vigas e pilares (Norte)  | 172 |
| Figura 264 | Disposição de vigas e pilares (Centro)                                       | 172 |
| Figura 265 | Cortina lateral (Leste)  | 173 |
| Figura 266 | Cortina lateral (Oeste)  | 173 |
| Figura 267 | Disposição dos elementos estruturais (Sul)                                   | 173 |
| Figura 268 | Trinca na cabeceira Sul (pista Oeste)  | 174 |
| Figura 269 | Trinca no centro do tabuleiro (pista Oeste)                                  | 174 |
| Figura 270 | Trinca na cabeceira Norte (pista Oeste)                                      | 175 |
| Figura 271 | Trinca na cabeceira Norte (pista Leste)                                      | 175 |
| Figura 272 | Trinca no centro do tabuleiro (pista Leste)                                  | 175 |
| Figura 273 | Trinca na cabeceira Sul (pista Leste)  | 175 |
| Figura 274 | Trincas em ponto intermediário do tabuleiro (pista Leste)                    | 176 |
| Figura 274 | Eflorescência entre viga 05 e laje (Vão Norte)                               | 176 |
| Figura 275 | Eflorescência entre viga 04 e laje (Vão Sul)                                 | 176 |
| Figura 276 | Rompimento da tela do muro de gabião   | 177 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Figura 277 | Deformação excessiva na tela metálica                        | 177 |
| Figura 278 | Rompimento da tela do muro de gabião na parte superior       | 178 |
| Figura 279 | Umidade generalizada na cortina lateral                      | 178 |
| Figura 280 | Mancha na longarina 05 (Vão Norte)                           | 179 |
| Figura 281 | Mancha na longarina 01 (Vão Norte)                           | 179 |
| Figura 282 | Mancha na Longarina 05 (Vão Sul)                             | 180 |
| Figura 283 | Sinal de eflorescência na longarina 09 (Vão Norte)           | 180 |
| Figura 284 | Sinais de umidade e eflorescência na base da transversina 05 | 180 |
| Figura 285 | Umidade excessiva na viga travessa 01                        | 181 |
| Figura 286 | Umidade excessiva na viga travessa 01                        | 181 |
| Figura 287 | Mancha característica de eflorescência na viga travessa 01   | 182 |
| Figura 288 | Mancha característica de eflorescência na viga travessa 01   | 182 |
| Figura 289 | Manchas de umidade ao longo da viga                          | 183 |
| Figura 290 | Manchas de umidade ao longo da viga                          | 183 |
| Figura 291 | Mancha de umidade na extremidade Leste                       | 184 |
| Figura 192 | Eflorescência na extremidade Leste                           | 184 |
| Figura 293 | Formação de estalactite                                      | 184 |
| Figura 294 | Respingos de eflorescência                                   | 184 |
| Figura 295 | Manchas de umidade e eflorescência                           | 185 |
| Figura 296 | Manchas de umidade e eflorescência                           | 185 |
| Figura 297 | Formação de estalactite                                      | 185 |
| Figura 298 | Corrosão e aspecto saponáceo                                 | 185 |
| Figura 299 | Corrosão e aspecto saponáceo                                 | 186 |
| Figura 300 | Manchas de umidade ao longo da Viga travessa 03              | 187 |
| Figura 301 | Manchas de umidade na Viga travessa 03                       | 187 |
| Figura 302 | Manchas de umidade na Viga travessa 03                       | 188 |
| Figura 303 | Manchas de chama e esfumaçamento                             | 188 |
| Figura 304 | Manchas de umidade na Viga travessa 03                       | 188 |
| Figura 305 | Manchas de umidade e eflorescência na Viga travessa 03       | 189 |
| Figura 306 | Manchas de eflorescência na Viga travessa 03                 | 189 |
| Figura 307 | Manchas de eflorescência na Viga travessa 03                 | 189 |
| Figura 308 | Local de fogueira junto ao Pilar 02                          | 190 |
| Figura 309 | Umidade na base do Pilar 07                                  | 190 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Figura 310 | Umidade na base do Pilar 07  | 191 |
| Figura 311 | Umidade na base do Pilar 07  | 191 |
| Figura 312 | Umidade na base do Pilar 09  | 191 |
| Figura 313 | Umidade na base do Pilar 09  | 191 |
| Figura 314 | Umidade na base do Pilar 04  | 192 |
| Figura 315 | Umidade e eflorescência na viga de travamento 01                   | 183 |
| Figura 316 | Umidade e eflorescência na viga de travamento 01                   | 183 |
| Figura 317 | Umidade e eflorescência no Bloco 02                                | 194 |
| Figura 318 | Umidade e eflorescência no Bloco 02 02                             | 194 |
| Figura 319 | Umidade e eflorescência no Bloco 03 02                             | 194 |
| Figura 320 | Umidade e eflorescência na viga de travamento 03                   | 195 |
| Figura 321 | Umidade e eflorescência no Bloco 07                                | 195 |
| Figura 322 | Umidade e eflorescência na viga de travamento 03                   | 196 |
| Figura 323 | Umidade no Bloco 04  | 196 |
| Figura 324 | Disposição de vigas e pilares                                      | 200 |
| Figura 325 | Longarina 01 e balanço sul   | 200 |
| Figura 326 | Obstrução parcial do coletor de águas pluviais                     | 201 |
| Figura 327 | Obstrução parcial do coletor de águas pluviais                     | 201 |
| Figura 328 | Acúmulo de sedimentos no passeio                                   | 202 |
| Figura 329 | Umidade nos elementos do passeio                                   | 202 |
| Figura 330 | Trinca na cabeceira Leste  | 202 |
| Figura 331 | Acúmulo de água no pavimento                                       | 203 |
| Figura 332 | Corrosão e eflorescência no balanço Sul                            | 204 |
| Figura 333 | Formação de estalactite no balanço Sul                             | 205 |
| Figura 334 | Formação de estalactite no balanço Sul                             | 205 |
| Figura 335 | Umidade e corrosão no balanço Sul                                  | 205 |
| Figura 336 | Eflorescência no balanço Sul                                       | 205 |
| Figura 337 | Eflorescência no balanço Sul                                       | 206 |
| Figura 338 | Eflorescência no balanço Sul                                       | 206 |
| Figura 339 | Produtos lixiviados da pasta de cimento                            | 206 |
| Figura 340 | Produtos lixiviados da pasta de cimento                            | 206 |
| Figura 341 | Eflorescência com pequena formação de estalactite no balanço Norte | 207 |
| Figura 342 | Eflorescência transversal próxima à cabeceira Leste                | 207 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Figura 343 | Eflorescência transversal próxima à cabeceira Leste               | 207 |
| Figura 344 | Eflorescência, corrosão e deslocamento próximos à cabeceira Oeste | 208 |
| Figura 345 | Exposição de armadura na cortina Leste                            | 209 |
| Figura 346 | Sinais de eflorescência e umidade na cortina Leste                | 209 |
| Figura 347 | Sinais de eflorescência e umidade na cortina Oeste                | 209 |
| Figura 348 | Sinais de eflorescência e umidade na cortina Oeste                | 209 |
| Figura 349 | Trinca na cortina Oeste   | 210 |
| Figura 350 | Insuficiência de cobrimento na longarina 01                       | 210 |
| Figura 351 | Insuficiência de cobrimento na longarina 01                       | 210 |
| Figura 352 | Insuficiência de cobrimento na longarina 02                       | 211 |
| Figura 353 | Insuficiência de cobrimento na longarina 02                       | 211 |
| Figura 354 | Deslocamento na viga de contraventamento Oeste                    | 211 |
| Figura 355 | Deslocamento na viga de contraventamento Oeste                    | 211 |
| Figura 356 | Indícios de umidade no pilar 01                                   | 212 |
| Figura 357 | Indícios de umidade no pilar 03                                   | 212 |
| Figura 358 | Indícios de umidade no pilar 03                                   | 212 |
| Figura 359 | Indícios de umidade no pilar 04                                   | 212 |
| Figura 360 | Ausência de transição metálica na Barreira rígida em 2022         | 216 |
| Figura 361 | Implantação de transição metálica na barreira rígida              | 216 |
| Figura 362 | Implantação de transição metálica na barreira rígida              | 216 |
| Figura 363 | Disposição dos elementos construtivos                             | 217 |
| Figura 364 | Vegetação sob a OAE   | 218 |
| Figura 365 | Vegetação entorno da OAE  | 218 |
| Figura 366 | Fissura na Cabeceira Sul  | 219 |
| Figura 367 | Trinca na Cabeceira Norte   | 219 |
| Figura 368 | Fissuras uniformes no vão intermediário                           | 220 |
| Figura 369 | Camada sobreposta de revestimento na Cabeceira Sul                | 220 |
| Figura 370 | Fissura irregular próxima à Cabeceira Norte                       | 220 |
| Figura 371 | Corrosão superficial nas barras metálicas                         | 221 |
| Figura 372 | Leve degradação superficial                                       | 221 |
| Figura 373 | Eflorescência próxima à cabeceira Norte                           | 222 |
| Figura 374 | Eflorescência próxima à cabeceira Sul                             | 222 |
| Figura 375 | Eflorescência próxima à cabeceira Norte                           | 223 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Figura 376 | Eflorescência próxima à cabeceira Norte                          | 223 |
| Figura 377 | Falha de concretagem e exposição de armadura na Longarina 01     | 224 |
| Figura 378 | Falha de concretagem e exposição de armadura na Longarina 01     | 224 |
| Figura 379 | Falha de concretagem e exposição de armadura na Longarina 03     | 224 |
| Figura 380 | Falha de concretagem e exposição de armadura na Longarina 02     | 224 |
| Figura 381 | Umidade na viga travessa 01                                      | 225 |
| Figura 382 | Umidade na viga travessa 01                                      | 225 |
| Figura 383 | Vício de concretagem em pilar                                    | 226 |
| Figura 384 | Vício de concretagem em pilar                                    | 226 |
| Figura 385 | Trinca na cabeceira Sul  | 229 |
| Figura 386 | Trinca na cabeceira Norte  | 229 |
| Figura 387 | Trincas na cabeceira Sul   | 229 |
| Figura 388 | Trinca e leve degrau na cabeceira Norte                          | 230 |
| Figura 389 | Leve degradação superficial                                      | 230 |
| Figura 390 | Seccionamento de barras metálicas                                | 230 |
| Figura 391 | Densidade de vegetação próxima à cortina Norte                   | 231 |
| Figura 392 | Limo e indícios de corrosão de armadura na cortina Norte         | 231 |
| Figura 393 | Falhas de concretagem com exposição de armadura na cortina Norte | 232 |
| Figura 394 | Falhas de concretagem com exposição de armadura na Cortina Norte | 232 |
| Figura 395 | Eflorescência na cortina Sul                                     | 232 |
| Figura 396 | Falha de concretagem na cortina Sul                              | 233 |
| Figura 397 | Percolação de água através de falhas na cortina Sul              | 233 |
| Figura 398 | Eflorescência na cortina Sul                                     | 233 |
| Figura 399 | Carreamento de solo abaixo da cortina Sul                        | 234 |
| Figura 400 | Percolação de água através de falhas na cortina Sul              | 234 |
| Figura 401 | Falha de concretagem e exposição de armadura na cortina Sul      | 234 |
| Figura 402 | Falha de concretagem e exposição de armadura na cortina Sul      | 234 |
| Figura 403 | Percolação de água através de falhas na cortina Sul              | 235 |
| Figura 404 | Sinais de eflorescência na extremidade Norte                     | 235 |
| Figura 405 | Eflorescência na extremidade Sul                                 | 236 |
| Figura 406 | Manchas de eflorescência na extremidade Sul                      | 236 |
| Figura 407 | Manchas de eflorescência na extremidade Sul                      | 236 |
| Figura 408 | Eflorescência com formação de estalactite na extremidade Sul     | 237 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Figura 409 | Sinais de eflorescência na extremidade Sul                    | 237 |
| Figura 410 | Falhas de concretagem com exposição de armadura               | 238 |
| Figura 411 | Falhas de concretagem com exposição de armadura               | 238 |
| Figura 412 | Falhas de concretagem com exposição de armadura               | 238 |
| Figura 413 | Falhas de concretagem com exposição de armadura               | 238 |
| Figura 414 | Falhas de concretagem na transversina 05                      | 239 |
| Figura 415 | Escoamento superficial sobre a transversina                   | 239 |
| Figura 416 | Escoamento superficial sobre a transversina                   | 239 |
| Figura 417 | Escoamento superficial sobre a transversina                   | 240 |
| Figura 418 | Manchas de umidade na travessa 01                             | 240 |
| Figura 419 | Manchas de umidade na travessa 03                             | 240 |
| Figura 420 | Buzinote acima da travessa 01                                 | 241 |
| Figura 421 | Manchas de umidade na travessa 02                             | 241 |
| Figura 422 | Umidade proveniente de drenagem em pilar da extremidade Norte | 242 |
| Figura 423 | Umidade em pilar da extremidade Norte                         | 242 |
| Figura 424 | Umidade em pilar da extremidade Norte                         | 242 |
| Figura 425 | Umidade em pilar da extremidade Sul                           | 242 |
| Figura 426 | Grau de Deterioração e Nota Técnica por OAE                   | 247 |
| Figura 427 | Distribuição percentual dos resultados                        | 248 |
| Figura 428 | Grau de Deterioração e Nota Técnica Ponderada por OAE         | 249 |
| Figura 429 | Grau de Deterioração médio por grupamento estrutural          | 251 |
| Figura 430 | Incidência das Manifestações por Grupamento Estrutural        | 253 |
| Figura 431 | Total de ocorrências por Manifestação Patológica              | 254 |

## LISTA DE TABELAS

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Tabela 1  | Pontes que foram inspecionadas neste estudo                         | 32  |
| Tabela 2  | Manifestações patológicas de maior incidência em OAE                | 49  |
| Tabela 3  | Tabela de fissuração  | 50  |
| Tabela 4  | Ações recomendadas de acordo com o GDE da estrutura                 | 67  |
| Tabela 5  | Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida NS-02              | 86  |
| Tabela 6  | Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida NS-02             | 87  |
| Tabela 7  | Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida NS-02              | 100 |
| Tabela 8  | Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida NS-02             | 101 |
| Tabela 9  | Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida Teotônio Segurado  | 117 |
| Tabela 10 | Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida Teotônio Segurado | 119 |
| Tabela 11 | Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida Teotônio Segurado  | 135 |
| Tabela 12 | Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida Teotônio Segurado | 136 |
| Tabela 13 | Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida JK                 | 152 |
| Tabela 14 | Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida JK                | 153 |
| Tabela 15 | Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida JK                 | 168 |
| Tabela 16 | Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida JK                | 169 |
| Tabela 17 | Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida NS-01              | 197 |
| Tabela 18 | Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida NS-01             | 198 |
| Tabela 19 | Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida LO-05              | 213 |
| Tabela 20 | Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida LO-05             | 214 |
| Tabela 21 | Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida NS-15              | 226 |
| Tabela 22 | Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida NS-15             | 227 |
| Tabela 23 | Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida NS-15              | 243 |
| Tabela 24 | Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida NS-15             | 244 |
| Tabela 25 | Resultados de pesquisa por OAE                                      | 246 |
| Tabela 26 | Graus de Deterioração por grupamento estrutural                     | 250 |
| Tabela 27 | Incidência de Manifestações por Grupamento Estrutural               | 252 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGETO – Agência Tocantinense de Transportes e Obras  
BIRM – Bridge Inspector’s Reference Manual  
CEB-FIB – Comité Euro-International du Béton / Fédération Internationale du Béton  
CNT – Confederação Nacional do Transporte  
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes  
Fi – Fator de Intensidade  
Fp – Fator de Ponderação  
Fr – Fator de Relevância  
GD – Grau de Deterioração  
GDE – Grau de Deterioração da Estrutura  
GDe – Grau de Deterioração do elemento  
GDf – Grau de Deterioração da família  
GDE/UNB – Metodologia do Grau de Deterioração Estrutural desenvolvida na Universidade de Brasília  
JK – Avenida Juscelino Kubitschek  
LO-05 – Avenida Leste-Oeste 05  
NE – Não Especificado  
NT – Nota Técnica  
NS-01, NS-02, NS-15 – Avenidas Norte-Sul numeradas segundo o plano viário de Palmas - TO  
OAE – Obra de Arte Especial  
SGO – Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais  
UFT – Universidade Federal do Tocantins  
UNB – Universidade de Brasília

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | 27 |
| 1.1. PROBLEMA E PESQUISA .....                                    | 28 |
| 1.1.1. <b>Delimitação de Escopo</b> .....                         | 29 |
| 1.1.2. <b>Justificativa</b> .....                                 | 29 |
| 1.2. OBJETIVOS .....  | 30 |
| 1.2.1. <b>Objetivo Geral</b> .....                                | 30 |
| 1.2.2. <b>Objetivos específicos</b> .....                         | 30 |
| 1.3. METODOLOGIA .....  | 31 |
| 1.3.1. <b>Das Pontes</b> .....                                    | 31 |
| 1.3.2. <b>Da inspeção</b> .....                                   | 33 |
| 1.3.3. <b>Dos equipamentos</b> .....                              | 36 |
| <b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....                             | 38 |
| 2.1. CONCEITO .....   | 38 |
| 2.2. CLASSIFICAÇÕES .....   | 38 |
| 2.2.1. <b>Sistema construtivo</b> .....                           | 39 |
| 2.3. ELEMENTOS ESTRUTURAIS CONSTITUINTES .....                    | 40 |
| 2.3.1. <b>Superestrutura</b> .....                                | 41 |
| 2.3.2. <b>Mesoestrutura</b> .....                                 | 41 |
| 2.3.3. <b>Infraestrutura</b> .....                                | 42 |
| 2.4. DESEMPENHO, DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS .....    | 42 |
| 2.5. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO ..... | 47 |
| 2.5.1. <b>Causas físicas de deterioração</b> .....                | 49 |
| 2.5.1.1. Ocorridas na fase plástica .....                         | 50 |
| 2.5.1.2. Ocorridas no concreto endurecido .....                   | 51 |
| 2.5.1.3. Ocorridas na fase de utilização .....                    | 52 |
| 2.5.1.4. Causadas pelo tráfego de cargas móveis .....             | 52 |
| 2.5.2. <b>Causas químicas de deterioração</b> .....               | 53 |
| 2.5.2.1. Ataque por sulfatos .....                                | 55 |
| 2.5.2.2. Reação álcali-agregados .....                            | 56 |
| 2.5.2.3. Lixiviação e Eflorescência .....                         | 57 |
| 2.5.2.4. Corrosão das armaduras .....                             | 58 |

|               |   |            |
|---------------|---|------------|
| 2.5.2.5.      | Carbonatação .....                                | 59         |
| 2.5.2.6.      | Corrosão por ataque de íons cloreto .....         | 60         |
| 2.6.          | GESTÃO E INSPEÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS..... | 61         |
| <b>2.6.1.</b> | <b>Metodologias de inspeção.....</b>              | <b>64</b>  |
| <b>3.</b>     | <b>RESULTADOS E ANÁLISE .....</b>                 | <b>68</b>  |
| 3.1.          | CONSIDERAÇÕES GERAIS.....                         | 68         |
| 3.2.          | PONTES DA AVENIDA NS-02.....                      | 68         |
| <b>3.2.1.</b> | <b>Sentido Sul-Norte.....</b>                     | <b>70</b>  |
| 3.2.1.1.      | Metodologia GDE .....                             | 86         |
| 3.2.1.2.      | Metodologia DNIT .....                            | 87         |
| <b>3.2.2.</b> | <b>Sentido Norte-Sul.....</b>                     | <b>88</b>  |
| 3.2.2.1.      | Metodologia GDE .....                             | 100        |
| 3.2.2.2.      | Metodologia DNIT .....                            | 101        |
| 3.3.          | PONTES DA AVENIDA TEOTÔNIO SEGURADO .....         | 102        |
| <b>3.3.1.</b> | <b>Sentido Sul-Norte.....</b>                     | <b>103</b> |
| 3.3.1.1.      | Metodologia GDE .....                             | 117        |
| 3.3.1.2.      | Metodologia DNIT .....                            | 119        |
| <b>3.3.2.</b> | <b>Sentido Norte-Sul.....</b>                     | <b>120</b> |
| 3.3.2.1.      | Metodologia GDE .....                             | 135        |
| 3.3.2.2.      | Metodologia DNIT .....                            | 136        |
| 3.4.          | PONTES DA AVENIDA JUSCELINO KUBITSCHKE.....       | 137        |
| <b>3.4.1.</b> | <b>Sentido Leste-Oeste .....</b>                  | <b>138</b> |
| 3.4.1.1.      | Metodologia GDE .....                             | 152        |
| 3.4.1.2.      | Metodologia DNIT .....                            | 153        |
| <b>3.4.2.</b> | <b>Sentido Oeste-Leste .....</b>                  | <b>154</b> |
| 3.4.2.1.      | Metodologia GDE .....                             | 168        |
| 3.4.2.2.      | Metodologia DNIT .....                            | 169        |
| 3.5.          | PONTE DA AVENIDA NS-01 .....                      | 171        |
| <b>3.5.1.</b> | <b>Metodologia GDE .....</b>                      | <b>197</b> |
| <b>3.5.2.</b> | <b>Metodologia DNIT.....</b>                      | <b>198</b> |
| 3.6.          | PONTE DA AVENIDA LO-05.....                       | 200        |
| <b>3.6.1.</b> | <b>Metodologia GDE .....</b>                      | <b>213</b> |
| <b>3.6.2.</b> | <b>Metodologia DNIT .....</b>                     | <b>214</b> |

|  |            |
|--|------------|
| 3.7. PONTES DA AVENIDA NS-15.....                                | 215        |
| <b>3.7.1. Sentido Sul-Norte.....</b>                             | <b>218</b> |
| 3.7.1.1. Metodologia GDE .....                                   | 226        |
| 3.7.1.2. Metodologia DNIT .....                                  | 227        |
| <b>3.7.2. Sentido Norte-Sul.....</b>                             | <b>228</b> |
| 3.7.2.1. Metodologia GDE .....                                   | 243        |
| 3.7.2.2. Metodologia DNIT .....                                  | 244        |
| 3.8. DA ANÁLISE.....   | 245        |
| <b>3.8.1. Das manifestações.....</b>                             | <b>252</b> |
| <b>3.8.2. Dos métodos .....</b>                                  | <b>255</b> |
| 3.8.2.1. Método GDE .....  | 255        |
| 3.8.2.2. Método DNIT .....                                       | 257        |
| 3.8.2.3. Síntese comparativa das metodologias utilizadas.....    | 258        |
| <b>3.8.3. Das limitações de pesquisa .....</b>                   | <b>260</b> |
| <b>4 CONCLUSÃO.....</b>  | <b>262</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>263</b> |
| <b>ANEXO A - FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA DNIT 010/2024 .....</b> | <b>268</b> |
| <b>ANEXO B - FATORES DE INTENSIDADE .....</b>                    | <b>270</b> |
| <b>ANEXO C - FATORES DE PONDERAÇÃO .....</b>                     | <b>272</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, quando as primeiras comunidades foram agrupadas, houve a necessidade de ultrapassar obstáculos naturais e prosseguir com o trajeto. A maior demanda por travessia de rios e vales, que antes era feita com troncos de árvores, levou ao surgimento das primeiras pontes, e mais tarde viadutos, ainda com pequenos vãos e feitas de madeira e pedra (Correia; Fernandes, 2017).

Com o advento da revolução industrial e a utilização do aço em maior escala, foram surgindo no início do século passado as primeiras pontes em concreto armado, com estruturas em arco triarticulado alcançando até 30 metros de vão. Sendo símbolo das mais significativas formas de expressão da capacidade criadora da Engenharia, desde tempos remotos até os atuais, quando as grandes estruturas desafiam a lei da gravidade (Vitorio, 2013).

Atualmente, a durabilidade dessas estruturas de concreto armado tem motivado muitas pesquisas, considerando os altos custos dos reparos em muitas situações e os prejuízos causados pela interdição necessária aos serviços de recuperação (Medeiros, 2015). Além do mais, várias décadas se passaram durante as quais o único pensamento foi o de construir obras, geralmente de concreto, pois este foi eleito, numa concepção errônea, como material perene. Com o passar do tempo, estas estruturas passaram a apresentar problemas. Hoje, é sabido que o envelhecimento das obras de infraestrutura, em especial das pontes e viadutos, é um problema mundial e merece atenção especial pelo fato de estar diretamente relacionado à mobilidade e à segurança da população (Vitório, 2015).

O concreto armado é hoje o sistema construtivo mais presente em Pontes do sistema rodoviário brasileiro, tendo a maioria delas, segundo Mendes et al. (2010), idade superior a 30 anos com escassas informações sobre seus materiais empregados e suas características mecânicas. Logo, executadas antes da entrada em vigor da NBR 15575-2:2013, que exige vida útil mínima para estruturas em concreto armado

Para se atingir as exigências de durabilidade estabelecidas pela norma para estruturas deste tipo, é necessária a sua preservação e manutenção. Para isso, o monitoramento, segundo Ferreira (2018), é um dos caminhos para obter bons resultados no planejamento das manutenções e alcance da vida útil dessas estruturas.

Deste modo, o presente trabalho busca fazer uma contribuição no campo das Obras de Artes Especiais (OAE) na cidade de Palmas - TO, quanto ao seu real estado de conservação.

## 1.1. PROBLEMA E PESQUISA

A carência de uma cultura de manutenção, especialmente a preventiva, faz com que órgãos das três esferas do poder público priorizem a execução de novas construções e negligenciem a conservação daquelas que já existem, fazendo com que o investimento e o conhecimento aprofundado sobre o estado geral dessas Obras no Brasil sejam deficientes (Mitre,2005).

Ainda segundo Mitre (2005), os estudos sobre gerenciamento de pontes não são devidamente integrados e não existem dados consistentes sobre a quantificação de pontes em condições precárias de conservação e segurança, sequer existem informações sobre a real quantidade de pontes em operação no país. Ao sintetizar os dados de vistoria de 742 OAE's federais, Landman (2001) concluiu que a maioria dos problemas estruturais decorriam de problemas de durabilidades não sanados anteriormente. Consequência que decorre diretamente destes problemas é o aumento no número de colapsos estruturais nos últimos tempos.

No Brasil, segundo pesquisa feita pela Confederação Nacional dos Transportes (CNT) em 2024, há 1.720.909 quilômetros de extensão de rodovias, pavimentadas ou não. Quanto ao número de OAE, Timerman (2015, apud Chaves, 2023) estimou em cerca de 137.000, das quais 6.612 estariam sob responsabilidade do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), e dentre estas, ao menos 3.351 estariam classificadas em situações que vão desde “condições precárias” até “mau estado de conservação”.

No Tocantins, segundo informações obtidas no ano de 2024 em visita à Agência de Transportes, Obras e Infraestrutura do Tocantins (AGETO), não existe um sistema de gerenciamento próprio para OAE a nível de estado, como o operado pelo DNIT, tampouco existe no poder público municipal de Palmas. Consoante informações da própria Secretaria Municipal da Infraestrutura de Palmas-TO, não são feitas inspeções em caráter continuado ou armazenados registros da construção das OAE, como ano de inauguração e materiais empregados. Diante de tais lacunas, questiona-se: quais as condições atuais das Pontes de Concreto Armado no Plano Diretor da Cidade de Palmas, suas principais manifestações patológicas e possíveis causas?

### **1.1.1. Delimitação de Escopo**

Este trabalho teve como foco a realização de inspeção do tipo rotineira, em conformidade com o item 4.2 da NBR 9452:2019.

Pela falta de recursos e prazo que permitam a realização de análise mais detalhada, o presente trabalho foi baseado em inspeções visuais, circunstância que direcionou maior foco da pesquisa para a superestrutura e mesoestrutura das obras de artes, haja vista que grande parte da infraestrutura se encontra encoberta pelo solo. Quanto às Obras inspecionadas, esse trabalho se atém àquelas que transpassam o Córrego Brejo Comprido, que corta o Plano Diretor da cidade de Palmas-TO de Leste a Oeste.

### **1.1.2. Justificativa**

Dadas as dimensões continentais do país, o real investimento no setor de transportes é crucial ao seu progresso. Segundo dados da pesquisa CNT de rodovias (2024), o modo rodoviário é responsável por movimentar cerca de 65% das cargas e 95% dos passageiros, fato que, aliado à vasta rede hidrográfica nacional, ressalta a importância das OAE's ao desenvolvimento econômico e social.

Embora sejam projetadas, conforme a NBR 6118:2023, em domínios que garantem a ruptura dúctil do elemento como forma de aviso prévio, é necessária a manutenção de inspeções rotineiras como forma de garantir a segurança das OAE's e impedir que estas apresentem ruína brusca por perda de seção de aço ou propagação excessiva de fissuras.

Além disso, o fato de que apenas as manifestações patológicas de natureza funcional são, em geral, perceptíveis ao usuário comum – uma vez que se concentram na parte superior do tabuleiro – reforça a importância das inspeções rotineiras para revelar o real estado das pontes, revelando manifestações que comprometem a integridade estrutural e a durabilidade da obra.

Ademais, a execução de inspeções em caráter continuado, especialmente a rotineira, a ser feita anualmente (conforme recomendação da NBR 9452:2019) é elemento chave para a atualização de um sistema de gerenciamento capaz de armazenar dados das OAE's, tal qual o SGO do DNIT (1994), possibilitando o planejamento adequado e tempestivo de ações preventivas.

Logo, a relevância do estudo proposto se justifica pela necessidade de manter atualizado o conhecimento quanto ao estado de conservação das pontes, bem como pela importância de contribuir na manutenção da informação tempestiva e de impedir que problemas atuais possam evoluir para níveis de maior escala, nos termos da lei de progressão de custos de Sitter (1984), apud Helene (1993).

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar as condições atuais de dez Pontes de Concreto Armado no Plano Diretor da Cidade de Palmas e contribuir com a manutenção destas OAE's.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar as principais manifestações patológicas existentes nas OAE delimitadas no escopo e suas possíveis causas.
- Classificar, segundo a norma DNIT 010/2004 e a metodologia GDE/UNB, o estado de conservação destas OAE, com base na gravidade e incidências das manifestações encontradas.
- Comparar as metodologias usadas com base nos resultados obtidos nesta pesquisa.

### 1.3. METODOLOGIA

Esta pesquisa é de natureza descritivo-explicativa e de abordagem quali-quantitativa. Esse diálogo entre essas duas formas de abordagens se verifica pela necessidade de uma etapa de análise qualitativa dos dados levantados (fotos, fenômenos), que precisaram ser descritos e classificados para que os métodos de análise numérica (contagem/cálculos e percentuais) pudessem ser a eles aplicados. Atrelado à análise quantitativa dos achados ou à quantificação deles, considera-se ainda a análise interpretativa da situação/estado de preservação/conservação das OAE's, relacionado a danos ambientais e riscos aos seus usuários.

Assim, conforme argumenta Mussi *et ali* (2019), a depender do objeto e dos objetivos da pesquisa, é perfeitamente possível o encontro dessas duas formas de abordagens: qualitativa e quantitativa. Para esses autores, embora sejam abordagem de natureza diferentes, elas não são antagônicas, “a pesquisa quantitativa supõe um universo de objetos de investigação que são comparáveis entre si, ao tempo que utiliza de indicadores numéricos sobre determinado fenômeno investigável. Enquanto a pesquisa qualitativa trabalha com um universo de sentidos, significados” e corresponde a um fazer científico voltados aos “fenômenos que não devem ser tratados pela racionalização de variáveis” (Mussi *et al.*, 2019, p. 427).

A análise dos resultados foi norteada pelas metodologias DNIT 010/2024 e GDE/UNB as quais estão caracterizadas na subseção 2.6.1 da fundamentação teórica.

#### 1.3.1. Das Pontes

Foram selecionadas para este trabalho as pontes que cruzam o Córrego Brejo Comprido ao longo de todo o seu percurso dentro dos limites do Plano Diretor da Capital. Conforme informações fornecidas pela Secretaria de Infraestrutura de Palmas-TO, foram identificadas seis travessias distintas, quatro delas compostas por duas pontes paralelas (uma para cada sentido de tráfego), totalizando dez estruturas de concreto armado, consideradas de forma

individualizada quanto à inspeção e análise. As dez OAE's estão detalhadas na tabela 4 e ilustradas no quadro 1(fotos) abaixo<sup>1</sup>.

Tabela 1 – Pontes que foram inspecionadas neste estudo

| OAE | Avenida              | Sentido | Coordenada            | Dimensões tabuleiro (CxL) | Ano  |
|-----|----------------------|---------|-----------------------|---------------------------|------|
| 01  | Teotônio Segurado    | N-S     | 10°12'07"S 48°20'01"W | 55x19,6m                  | 1993 |
| 02  | Teotônio Segurado    | S-N     | 10°12'07"S 48°19'59"W | 55x19,6m                  | 1993 |
| 03  | NS-2                 | N-S     | 10°12'10"S 48°19'48"W | 29,35x14m                 | NE   |
| 04  | NS-2                 | S-N     | 10°12'10"S 48°19'48"W | 29,35x14m                 | NE   |
| 05  | NS-1                 | N-S/S-N | 10°12'00"S 48°20'12"W | 61,3x23,6m                | 2013 |
| 06  | Juscelino Kubitschek | L-O     | 10°11'04"S 48°20'58"W | 34x13,4m                  | 1993 |
| 07  | Juscelino Kubitschek | O-L     | 10°11'05"S 48°20'58"W | 34x13,4m                  | 1993 |
| 08  | NS-15                | N-S     | 10°10'49"S 48°21'16"W | 66x15m                    | 2017 |
| 09  | NS-15                | S-N     | 10°10'48"S 48°21'17"W | 66x15m                    | 2017 |
| 10  | LO-5                 | L-O/O-L | 10°11'52"S 48°20'30"W | 40x12,35m                 | 2000 |

Fonte: Elaboração própria (2024).

Considerando a simetria geométrica e a proximidade física entre as pontes que compõem uma mesma travessia, optou-se por tratá-las em conjunto no mesmo tópico, diferenciando-se as análises por meio de subtópicos denominados conforme o sentido do tráfego correspondente (por exemplo, "Norte-Sul", "Sul-Norte", "Leste-Oeste" ou "Oeste-Leste").

<sup>1</sup> As Informações sobre Ano e Dimensões das OAE's 3,4,8 e 9 foram obtidas pelo histórico de imagens do Google Earth. Os demais anos de construção foram retiradas de Arrais (2009), enquanto as outras dimensões de tabuleiro foram obtidas em relatório de inspeção fornecido pela Secretaria Municipal de Infraestrutura de Palmas.

Figura 1 - Localização das OAE's



Fonte: Autor (2024)

Por não dispor de um Sistema de Gerenciamento de Obras, como o SGO operado pelo DNIT, o poder público Palmense não mantém registros da construção das pontes municipais. Assim, arquivos e dados que seriam úteis a esta pesquisa não puderam ser acessados ou informados, como projeto e ano de inauguração. Quanto a estes últimos, foram obtidos em Arrais (2009) e imagens históricas do Google Earth.

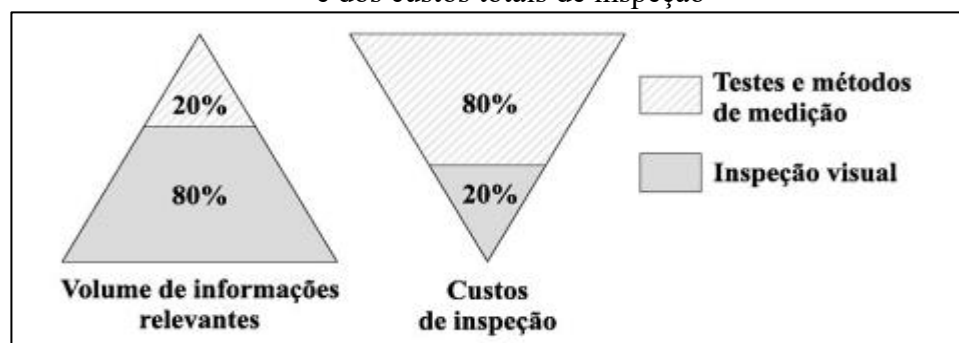
Os locais de estudo podem ser classificados, conforme a NBR 6118:2023, como pertencentes à Classe de Agressividade Ambiental II, por se tratar de áreas urbanas não expostas a ambientes marinhos ou industriais. As pontes analisadas foram executadas em concreto armado convencional, com vigas longarinas contínuas de seção retangular, e tabuleiros apoiados em pilares por meio de aparelhos de apoio do tipo neoprene. Todas essas informações foram obtidas junto ao órgão municipal. No que diz respeito às fundações, não foram encontrados dados disponíveis.

### 1.3.2. Da inspeção

A inspeção é a etapa de maior rigor e cuidado requeridos, visto provir dela os dados que nortearão o diagnóstico final e prognóstico da Obra. Neste trabalho, as inspeções realizadas

foram do tipo visual, haja vista ser o método de melhor relação custo/informação, segundo Verly (2015). Reforça esse entendimento o Boletim 17 de 2002 do CEB-FIB, apud Chaves (2023), no qual é afirmado que 80% das informações relevantes numa inspeção são obtidas com 20% do custo total, em semelhança ao princípio de Pareto. Assim, podemos inferir que apenas 20% das informações dependem de ensaios e testes mais complexos e dispendiosos, geralmente feitos quando a suspeita da existência de uma manifestação é reportada por meio de uma inspeção visual e sua confirmação prescinde do referido teste. Além do mais, para Vitório (2002), a vistoria rotineira não precisa ser realizada por especialista. Ela é essencialmente visual, não dependendo de instrumentos de precisão ou equipamentos especiais.

Figura 2 - Importância da inspeção visual mostrada em termos de informações obtidas e dos custos totais de inspeção



Fonte: CEB-FIB (2002, apud Chaves, 2023).

Conforme DNIT (2004), o sucesso de uma inspeção é garantido pelos seus preparativos, que contemplam a coleta de dados sobre as estruturas. Assim, em visita à Secretaria de Infraestrutura do Município, adquiriu-se relatório da última inspeção (2022) realizada em parte das OAE's do escopo deste trabalho, a fim de usá-lo como parâmetro na avaliação da evolução das manifestações já existentes à época. Com a mesma finalidade foram pesquisados trabalhos semelhantes a este em repositórios das instituições locais. Registros de reparos ou de manutenção não foram encontrados. Ademais, foi realizada uma pré-visita nos locais das obras para analisar a viabilidade de acesso às Pontes, objeto desta pesquisa. O estudo, então, obedeceu aos seguintes passos:

- a. Delimitação das Pontes a serem estudadas: O critério de escolha foi o acompanhamento do curso do córrego Brejo Comprido, abarcando as obras que ele cruza;
- b. Escolha da tipologia de inspeção: Como mencionado, foi do tipo rotineira, por não exigir procedimentos mais complexos e criteriosos de análise ou equipe mais

abrangente, apenas a identificação das anomalias existentes e classificação da OAE quanto ao grau de conservação;

- c. Coleta e análise de dados: Nesta etapa, foi realizada a inspeção de maneira visual e com o auxílio de alguns recursos, os elencados no item 3.3. Seguiu-se a seguinte sequência:
- Início pela parte superior da obra: entornos, aspectos gerais da via, laje de transição, pavimento, juntas, elementos de drenagem, passeios, elementos de segurança e de ordem funcional;
  - Vistoria do pavimento: observação de fissuras de retração, desgaste acentuado, afundamentos ou anomalias diversas que afetem a boa trafegabilidade;
  - Vistoria dos encontros: verificação das estruturas de contenção dos encontros, muros de ala, aterros e taludes, quanto à estabilidade e integridade estrutural;
  - Vistoria da superestrutura: averiguação da existência de quaisquer manifestações patológicas nas lajes, vigas longarinas e transversinas;
  - Vistoria da mesoestrutura: inspeção de pilares (quanto a danos e ao prumo), aparelhos de apoio fixos ou móveis, caso acessíveis, vigas travessas de apoio e vigas de travamento;
  - Vistoria da infraestrutura, no que foi possível para uma inspeção visual, como blocos de coroamento e outros elementos parcialmente aparentes ou detectáveis. Além da checagem de eventual erosão em torno de pilares de fundação;
- d. Relatório fotográfico com subsequente mapeamento das manifestações encontradas em cada elemento da Obra;
- e. Conhecidas as manifestações patológicas e os elementos nos quais incidem, partiu-se à classificação de cada uma das pontes inspecionadas, por meio das metodologias selecionadas.

Quanto à metodologia de inspeção, este trabalho adotou duas abordagens: a DNIT 010/2004 e a metodologia GDE/UNB. Para a primeira, foi utilizada a ficha de inspeção rotineira prevista na referida norma, a qual se encontra anexada a este trabalho. Não são necessárias especificações adicionais além daquelas apresentadas no item 2.6.1 desta pesquisa, por se tratar de um método padronizado e sem variações. Em relação à metodologia GDE/UNB, foram consideradas as modificações propostas por Medeiros (2015), que empregou as seguintes expressões para a obtenção do valor final do GDE:

Grau do dano:

$$D = 0,8F_iF_p \text{ para } F_i \leq 2,0$$

$$D = (12F_i - 28)F_p \text{ para } F_i \geq 3,0$$

Grau de deterioração do elemento:

$$G_{de} = D_{max} \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_{(i)} - D_{max}}{\sum_{i=1}^m D_{(i)}} \right)$$

Grau de deterioração da família de elementos:

$$G_{df} = G_{demax} \sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^m G_{de(i)} - G_{demax}}{\sum_{i=1}^m G_{de(i)}}}$$

Grau de deterioração da estrutura:

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^k F_{r(i)} G_{df(i)}}{\sum_{i=1}^k F_{r(i)}}$$

Os valores de referência para o fator de intensidade e fator de ponderação estão presente em forma de tabela anexadas ao final. Os prazos para ações de recuperação de acordo com o valor do Grau de deterioração final da estrutura estão presentes na tabela 03.

### 1.3.3. Dos equipamentos

Apesar de as inspeções programadas serem puramente visuais, alguns equipamentos pontuais se fizeram necessários para maior confiabilidade de resultados ou segurança do inspetor. Assim, para registro documental foram utilizadas pranchetas, ficha, caneta e câmera fotográfica. Para eventuais medições de elementos ou danos, o inspetor se valeu de trena, paquímetro e fissurômetro. Para melhor visualização, binóculo e lanterna foram necessários. Por fim, botinas e capacete para maior segurança.

Ensaio como o uso de fenolftaleína e nitrato de prata – utilizados para a detecção de carbonatação e ataque por cloretos, respectivamente – não foram incluídos nos planos de inspeção, apesar de seu baixo custo e facilidade de interpretação. Sua exclusão justifica-se pela necessidade de remoção do revestimento do concreto e exposição das armaduras, etapa invasiva

indispensável para determinar a profundidade atingida por tais manifestações. Dessa forma, esta pesquisa se restringiu à utilização dos equipamentos mencionados no parágrafo anterior.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. CONCEITO

As Pontes são consideradas Obras de Arte Especial (OAE) juntamente a viadutos, passarelas e túneis devido à necessidade de maior especialização e capacitação na metodologia construtiva. A NBR 9452:2019 as define como estrutura destinada à transposição de obstáculo à continuidade do leito normal de uma via, e cujo obstáculo deve ser constituído por canal aquífero, como rio, mar, lago, córrego e outros. Diferencia-se dos viadutos principalmente pelo obstáculo vencido, nestes sendo rodovia, ferrovia, vale, grotas, contorno de encosta ou em substituição de aterros.

Já a Norma DNIT 010/2004, que estabelece as condições exigíveis para a realização de inspeções em OAE no âmbito federal, delimita como “estrutura, inclusive apoios, construída sobre uma depressão ou uma obstrução, tais como água, rodovia ou ferrovia, que sustenta uma pista para passagem de veículos e outras cargas móveis, e que tem um vão livre, medido ao longo do eixo da rodovia, de mais de seis metros.” Esta norma inclui na classificação os viadutos, além de definir como pontilhão as estruturas de igual funcionalidade mas vão livre menor ou igual a seis metros.

Na literatura, várias são as definições encontradas. Segundo Marchetti (2008), define-se como Ponte toda obra destinada a permitir a transposição de obstáculos à continuidade de uma via de comunicação qualquer, podendo ser: rios, braços de mar, vales profundos etc. Para Vitorio (2002), de modo geral, todas as diversas classificações estão corretas, diferenciando-se entre si apenas pela forma como estão redigidas.

### 2.2. CLASSIFICAÇÕES

Variadas são as classificações dadas às Pontes, sendo geralmente divididas, segundo Vitorio (2002), quanto à finalidade, ao tipo de material empregado e ao sistema construtivo adotado. Quanto à primeira, se divide em: pontes ferroviárias, rodoviária, rodoferroviária,

passarela e aeroviária, dispensando maiores comentários. Quanto à segunda divisão, os tipos são: Madeira, pedra, metal, concreto armado, concreto protendido e pré-moldadas. Para o sistema construtivo, as subdivisões são:

### **2.2.1. Sistema construtivo**

O critério de classificação mais abordado na literatura se refere ao sistema estrutural, sendo as mais comuns, segundo DNIT (1996):

Em laje (maciça ou vazada) - Tem como característica principal a ausência de vigamento. Sistema adotado para pequenos vãos, na ordem de até 15m para concreto convencional com vãos isostáticos e até 36 metros para concreto protendido com mísulas nos apoios (DNIT, 1996). Para vãos maiores que 12 metros, o peso próprio torna-se excessivamente alto, sendo indicado o uso de lajes vazadas.

Em viga - Caracterizado pela presença de vigas longitudinais denominadas longarinas, em alguns casos ainda são introduzidas vigas transversais (transversinas) que auxiliam no aumento da rigidez. Tipologia mais simples de estrutura, utilizado em larga faixa de vãos, desde pontilhões até vãos maiores que 100 em concreto protendido de altura variável, embora devido aos elevados momentos negativos é geralmente empregada com vãos de até 50 metros. A Longarina pode ser de apoio simples, contínuo ou com dentes Gerber.

Estruturas Celulares - Superestrutura de pontes formada por duas lajes, uma superior e outra inferior, interligadas por vigas longitudinais, denominada estrado celular ou caixão celular (Vitorio, 2002). Tem como vantagem a elevada rigidez à torção com o reduzido peso próprio, além de questões de ordem estética. O número de células é, em geral, determinado pela largura total do tabuleiro.

Em Pórticos - Caracterizado pela ausência de articulações entre pilares e vigas, tornando a estrutura monolítica, fazendo com que esforços de momento negativo sejam transmitidos da superestrutura para a meso, o que reduz o momento positivo no vão e possibilita menor altura de viga. Solução indicada para casos em que se deve reduzir o comprimento de flambagem de pilares esbeltos com o biengastamento ou reduzir altura no vão central para passagem de embarcações, além de dispensar o uso de aparelhos de apoio, facilitando a manutenção.

Em arco - Solução muito utilizada no passado para vencer maiores vãos sem possibilidade de apoios intermediários. É a forma mais simples e pura de uma obra-de-arte

especial (DNIT, 1996). Possibilita a utilização do concreto armado convencional, pois o eixo do arco pode ser projetado em concordância com a linha de pressão resultante do peso próprio, o que aproveita a grande resistência à compressão do concreto simples.

Em treliças - Normalmente usadas para estruturas metálicas, permitindo a solicitação dos elementos com apenas forças axiais e proporcionando o uso de elementos de alma aberta, fatores que resultam na economia de material e redução de peso próprio. Possui como desvantagens o maior custo com fabricação e manutenção.

Estruturas estaiadas - Também chamadas de pontes atirantadas, tem como característica o uso de estais, cabos, que partem do pilone, espécie de torre, e se ligam ao tabuleiro, formando uma espécie de leque ou conjunto de linhas paralelas que sustentam o tabuleiro, permitindo o emprego de grandes vãos, com vantagens técnicas, econômicas e estéticas. Exige maior rotina de inspeções nos estais.

Estruturas pênséis - Assim como as pontes estaiadas, são um tipo de ponte suspensa. Mas diferente daquelas, nestas não são transferidos esforços horizontais ao tabuleiro, pois os pendurais unem verticalmente o tabuleiro ao cabo portante, o qual é em forma de parábola, transferindo os esforços à torre e esta à infraestrutura. Comumente executadas com vigamento metálico e cabos de aço, dispensando uso de concreto.

### 2.3. ELEMENTOS ESTRUTURAIS CONSTITUINTES

Encontram-se na literatura diferentes tipos de divisões para os elementos estruturais de uma OAE, todas semelhantes entre si. O Bridge Inspector's Reference Manual (BIRM), versão 2022, da Federal Highway Administration (FHWA), divisão do Departamento de Transportes dos Estados Unidos especializada em transporte rodoviário, divide em tabuleiro, superestrutura e infraestrutura. Leonhardt (1979) divide em superestrutura e infraestrutura.

A divisão usada por este trabalho será a do Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especiais do DNIT, que, assim como Pfeil (1983) e Marchetti (2008), separa os elementos em três principais grupos:

### **2.3.1. Superestrutura**

Sob o ponto de vista finalístico, é a parte útil da obra. Suporte imediato do estrado que recebe diretamente as solicitações do tráfego e transfere aos elementos adjacentes. Quando em seção transversal aberta, é constituída por longarinas, transversinas e laje, que em conjunto trabalham como grelha. Segundo Mason (1977), as vigas transversais regularizam a distribuição do carregamento na longarina, sendo esta a responsável por vencer o vão. Já o tabuleiro recebe as cargas diretamente do tráfego da viga e as transfere à grelha.

Quando em seção celular, possui apenas a viga caixão, com laje inferior, laje superior e vigas não apresentando divisão entre elas e atuando como estrutura monolítica. Oferece grande rigidez à torção. Vitorio (2002), cita ainda, entre elementos estruturais e não estruturais, os seguintes como constituintes da superestrutura: passeios de pedestres, guarda-corpos e barreiras; cortinas e alas; placa de transição; juntas de dilatação; sistema de drenagem; pista de rolamento dos veículos.

### **2.3.2. Mesoestrutura**

Constituída, segundo Vitorio (2002), pelos pilares, travessas, aparelhos de apoio e vigas de contraventamento. Tem a função de transferir os esforços da superestrutura para a infraestrutura, além de suportar eventuais solicitações, como forças do vento e da água. É ligada à superestrutura através de um aparelho de apoio, em geral neoprene, ou feito em ligação monolítica, como estruturas em pórticos.

Alguns engenheiros consideram ainda os encontros como elemento da mesoestrutura. Definido pelo DNIT (1996) como um Dispositivo Básico de Transição e Contenção, os encontros têm como função receber o empuxo do aterro de acesso à obra, garantindo a estabilidade do talude e a não transmissão desses esforços horizontais aos demais elementos da OAE.

### 2.3.3. Infraestrutura

Parte constituída pela fundação, cuja função é dissipar no solo as cargas provenientes da estrutura como um todo. Devem ser consideradas ainda, segundo o referido manual do DNIT, esforços provenientes dos aterros de acesso, dos cursos d'água e do próprio terreno atravessado pela fundação.

Assim como em edifícios, as fundações das OAE podem ser divididas em diretas, ou superficiais, e indiretas, também chamadas de profundas. As primeiras, divididas em sapatas e blocos, são utilizadas quando o solo de boa qualidade é encontrado a pequena profundidade. Quando o solo com boa capacidade de suporte se encontra a profundidade considerável, emprega-se como solução o segundo grupo, normalmente utilizando estacas ou tubulões.

## 2.4. DESEMPENHO, DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS

Dos primórdios do concreto armado até meados da década de 1980, as estruturas eram projetadas com base no bom senso e experiência do projetista, tendo como variável de controle apenas a resistência média à compressão. Com o avanço do conhecimento sobre os mecanismos de transporte de agentes agressivos em meios porosos, foi possível a evolução do estudo sobre a durabilidade das estruturas de concreto armado e protendido (Helene, 2011).

Na mesma época, normas internacionais trouxeram o conceito de durabilidade, a exemplo da ISO 6241:1984 -Normas de desempenho na construção, que definiu durabilidade como o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção. Conceito incorporado às normas brasileiras apenas em 2003, com a então versão da NBR 6118.

Em semelhante definição, a NBR 6118:2023 conceitua durabilidade como a capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto. Deste modo, não pode ser associada a um material isoladamente, mas sim analisada através de uma visão holística perante uma determinada situação, qual seja: material + meio ambiente + solicitação.

Para Vitorio (2013), os seguintes aspectos deverão ser observados para se chegar a uma estrutura durável:

- Utilização prevista ou futura da estrutura;
- Critérios requeridos para o projeto;
- Condições ambientais previstas;
- Composição, propriedade e desempenho dos materiais e dos produtos;
- Propriedades do solo;
- Escolha do sistema estrutural;
- Forma dos elementos e as disposições construtivas
- Qualidade da execução o seu nível de controle
- Medidas específicas de proteção;
- Manutenção prevista durante o tempo de vida útil de projeto.

Com a maior evolução dos modelos matemáticos que previam o transporte de líquidos e gases em meio poroso, foi possível prever a duração dos processos de iniciação e tornar a variável tempo um critério quantitativo na avaliação da durabilidade de estruturas. Assim surgiu o conceito de vida útil, que deve ser analisado como resultante de ações em todo o processo construtivo: Concepção, planejamento e projeto; materiais e componentes; execução propriamente dita e principalmente durante a etapa de uso da estrutura (Helene, 2011).

Pode-se dizer, de forma resumida, que a vida útil é uma medida da durabilidade (PEREIRA, 2019). Para Vitorio (2013), vida útil é o período de tempo no qual a estrutura é capaz de desempenhar as funções para as quais foi projetada sem a necessidade de intervenções não previstas. Entendidas como não previstas as intervenções que estejam fora do plano de operação, uso e manutenção fornecido pelo projetista, conforme NBR 5674:1999.

Helene (1993) divide o conceito de vida útil em diferentes fases, a seguir:

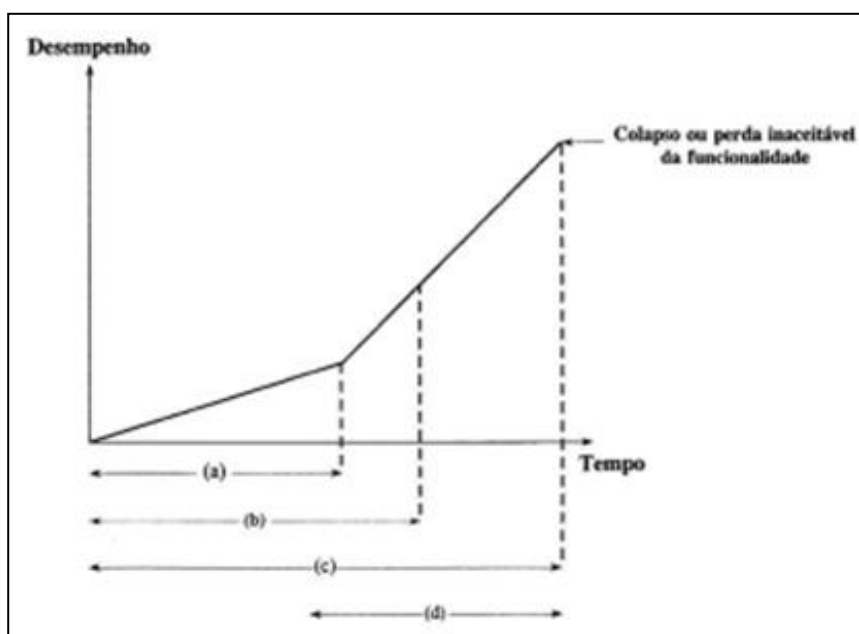
Vida útil de projeto - Período de tempo em que os agentes agressivos estão penetrando pelo cobrimento e levam à despassivação da armadura. Denominado de período de iniciação, deve ser adotado no projeto da estrutura a favor da segurança.

Vida útil de serviço ou de utilização - Varia de acordo com o tipo de estrutura, pois depende de exigências associadas ao uso. No geral, é o período que leva à fissuração do concreto, corrosão das armaduras ou até destacamento da camada de cobrimento.

Vida útil última ou total - Período de tempo que vai até a ruptura ou colapso parcial ou total da estrutura. No geral, representa o intervalo no qual há perda da aderência concreto-armadura ou considerável perda de seção de aço resistente.

Vida útil residual - Período de tempo restante contado da data de determinada vistoria até o prazo final de alguma vida útil dentre as citadas acima.

Figura 3 - Vida útil das estruturas



Fonte: Helene (1993).

A NBR 15575:2013 exige o tempo mínimo de 50 anos para vida útil de estruturas em concreto armado, inexistindo nas normativas brasileiras imposição específica para OAE.

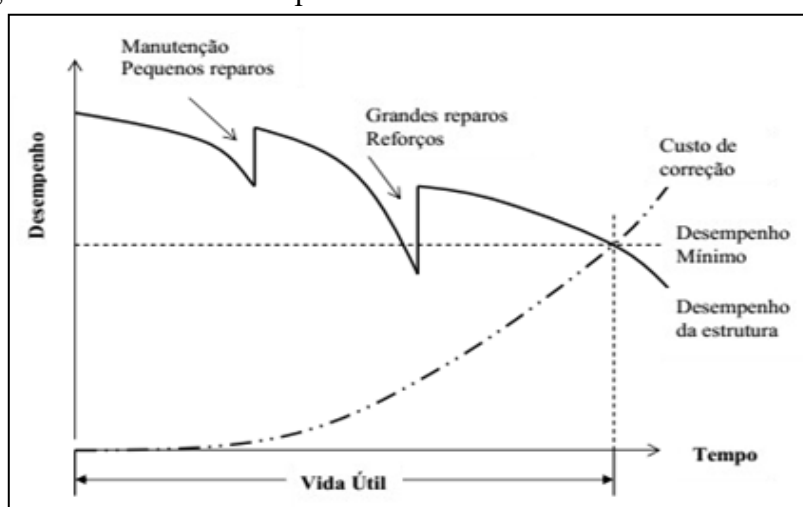
Diferente do Eurocódigo 0 – Bases para o projeto de estruturas (IPQ, 2009) e da norma inglesa BS 7543:2015 – Guia para durabilidade de edifícios e elementos de construção, que exigem tempo mínimo de 100 e 120 anos, respectivamente, para esse tipo de estrutura.

Por outro conceito, vida útil pode ser entendida também como o período de tempo durante o qual a estrutura se mantém acima do nível de desempenho, definido este como a capacidade de a estrutura manter-se em condições plenas de utilização, não apresentando danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada, devendo estar sempre acima de um valor mínimo aceitável especificado em projeto (ABNT, 2014).

Critérios e recomendações de projeto que garantem durabilidade e vida útil adequada são encontrados na NBR 6118:2023. Dentre eles, destacam-se a classe de resistência mínima, relação água/cimento máxima e espessura mínima do concreto do cobrimento para proteção das armaduras, todos em função da classe de agressividade ambiental e nível de exposição da peça. Além de outros referentes à fase construtiva, como cura, adensamento e controle tecnológico.

Da figura 2, retirada de Helene (1992), é possível observar a variação do desempenho ao longo do tempo. Nota-se que, por meio de operações de manutenção, é possível aumentar o período durante o qual a estrutura mantém um desempenho acima do mínimo especificado. Conforme expõe o DNIT em seu Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários (2010), a manutenção, preventiva ou corretiva, implicando em limpeza, proteção anticorrosiva e medidas corriqueiras de conservação, é o fator decisivo que influencia a durabilidade das pontes.

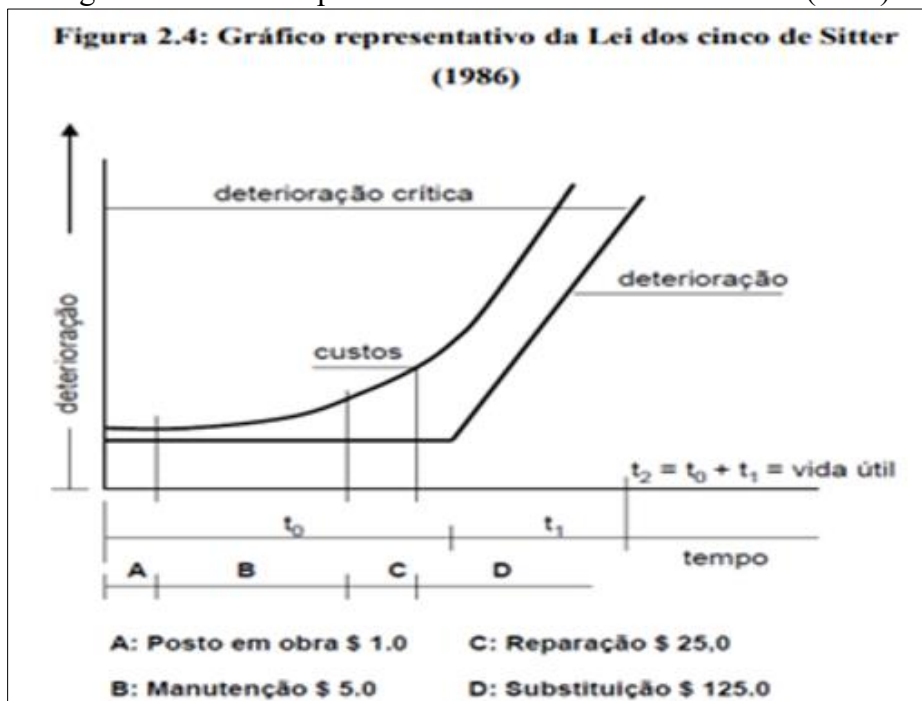
Figura 4 - Fases do desempenho de uma estrutura durante sua vida útil



Fonte: CEB (1992) e Helene (1992), adaptado por Andrade (1997).

Nota-se também, pela linha traço e ponto na figura, a evolução dos custos de correção dos danos na estrutura, que chega ao ponto de ultrapassar o desempenho da estrutura, cessando sua vida útil. Para melhor ilustrar essa correlação, Sitter (1986) elaborou o modelo conhecido como lei dos 5. Como ilustrado na figura 03, a Lei afirma que o custo de correção de uma falha, inicialmente unitário, aumenta de acordo com uma progressão geométrica de razão cinco, quintuplicando seu valor de correção a cada fase que sua solução é postergada, podendo chegar ao máximo de 125.

Figura 5 - Gráfico representativo da lei dos cinco de Sitter (1986)



Fonte: Sitter (1986, *apud* Castro, 1994).

## 2.5. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO

O termo patologia deriva do grego e em tradução literal significa “estudo das doenças”. É a ciência que estuda suas origens, mecanismos, sintomas e natureza. Inicialmente usada no campo das ciências médicas, a palavra é compreendida como o estudo do desvio daquilo que é admitido como condição normal ou esperada de algo. No campo da Engenharia, visa, de forma sistêmica, estudar os defeitos incidentes nos materiais construtivos, componentes e elementos, buscando diagnosticar as origens e compreender os mecanismos de deflagração e de evolução do processo patológico, além de suas formas de manifestação. (Bolina, Tutikian, Helene, 2019).

Mirtre (2005) cita em sua dissertação nomenclaturas encontradas no Boletim 243 do Comité Euro-international du béton (CEB) importantes no estudo da inspeção, diagnóstico e prognóstico de OAEs sob o ponto de vista da durabilidade. Concatenados com os conceitos do Manual do CONTECVET (RODRÍGUEZ, 2002), o autor explicita os termos da seguinte maneira:

- Sintomas/Manifestações patológicas: Sinais visualmente identificáveis ou detectados mediante aparelho. Sua correta observação e descrição é crucial à delimitação da causa mais provável, seu mecanismo, gravidade e evolução futura.
- Mecanismos de deterioração: Processos químicos, físicos ou mecânicos pelos quais se desenvolvem o fenômeno patológico. São resultantes da interação da estrutura e seus materiais com o meio. Sua correta identificação e compreensão é fator determinante para solucionar o processo deletério.
- Agentes causadores: Elementos ou fatores internos ou externos à estrutura que desencadeiam o mecanismo. São necessários à iniciação, propagação e agravamento do problema.
- Agentes agravantes: Como os causadores, são elementos ou fatores internos ou externos à estrutura que atuam no mecanismo de deterioração, impulsionando a velocidade e gravidade do processo deletério sem papel primordial na sua ocorrência.
- Origens dos agentes causadores e agravantes: Fase da obra na qual o agente se originou, podem ser: concepção, projeto, execução, manutenção ou uso.
- Extensão e gravidade dos problemas: Delimitação física da área deteriorada e do dano real que o processo patológico desencadeou no desempenho estrutural, funcional e de

durabilidade da obra. A gravidade prescinde de um juízo de valor sobre a relevância do processo no desempenho e segurança da OAE.

Para Pontes, um fator de impulso na degradação que vem ganhando notoriedade ao longo dos anos é o acréscimo da solicitação devido ao aumento do tráfego, da capacidade de carga e do número de eixos de veículos. Alguns autores citam ainda fatores e manifestações comuns e inerentes a estas obras, o manual da FHWA (2022) atesta como uma das anomalias mais comuns em pontes a erosão do solo junto dos pilares e dos encontros, a qual pode ter impactos negativos nas fundações desses elementos. Vitorio (2013) aponta como aspecto gerador de deterioração das estruturas a busca descontrolada pela economia, em detrimento da segurança e durabilidade.

Vitorio (2008) avaliou o grau de risco estrutural de 40 OAE's nas rodovias BR-101, BR-116, BR-343, BR-342 e BR-428, nos estados da Bahia, Pernambuco, Ceará e Piauí, objetivando a elaboração dos projetos executivos de recuperação, reforço e reabilitação. Como resultado, o autor apontou, dentre outras, as manifestações do quadrado abaixo como de maior ocorrência, divididas por grupo de elementos estruturais:

| Tipo de dano   | Quantidade de obras | %    |
|--|---------------------|------|
| <b>Superestrutura</b>  |                     |      |
| Deslocamento do concreto das lajes do tabuleiro                    | 35                  | 87,5 |
| Deslocamento do concreto das vigas principais                      | 31                  | 77,5 |
| Oxidação de armaduras das vigas principais                         | 31                  | 77,5 |
| Deslocamento do concreto das transversinas                         | 25                  | 62,5 |
| Oxidação de armaduras das lajes do tabuleiro                       | 25                  | 62,5 |
| Carbonatação   | 25                  | 62,5 |
| <b>Mesoestrutura</b>   |                     |      |
| Deformações e/ou travamento de aparelhos de apoio                  | 30                  | 75   |
| Fissuras em pilares e/ou encontros                                 | 25                  | 62,5 |
| Deslocamento do concreto de pilares e/ou encontros                 | 22                  | 55   |
| Oxidação de armaduras de pilares e/ou encontros                    | 22                  | 55   |
| <b>Infraestrutura</b>  |                     |      |
| Erosão nas fundações de encontros e pilares                        | 18                  | 45   |
| Deterioração do concreto de sapatas, blocos de estacas ou tubulões | 10                  | 25   |
| Oxidação das armaduras de sapatas, blocos de estacas e cintas      | 10                  | 25   |

A norma brasileira de estruturas de concreto armado e protendido, NBR 6118:2023, divide as formas de manifestação patológica desse material em dois grupos: relativos ao concreto e relativos à armadura. Por se ajustar mais ao tema deste trabalho, será aqui utilizada a classificação trazida pelo Manual de Recuperação de Pontes e viadutos Rodoviários do DNIT IPR-744 (2010), que divide as causas em físicas e químicas, com os tipos a seguir explicitados.

### **2.5.1. Causas físicas de deterioração**

São causas mecânicas que submetem o componente estrutural a esforços internos. Podem se desenvolver no estado fresco ou endurecido do concreto e resultam em fissuramento caso ultrapassada a resistência à tração. No Manual do IPR-DNIT (2010) encontram-se ilustrações dos principais tipos de manifestações patológicas em OAE provocadas por causas físicas, com suas respectivas morfologias e a localizações. Quanto às causas, o referido documento traz as seguintes classificações: Trincas e fissuras

Segundo Souza e Ripper (1998), a fissuração é a manifestação patológica mais característica de uma estrutura em Concreto Armado, a de maior incidência e que mais chama atenção dos leigos, proprietários e usuários. Entretanto, como preconiza a NBR 6118:2023, para a caracterização de uma fissura como deterioração é necessária a determinação da origem, intensidade e magnitude da mesma, visto que o concreto, por ser um material de baixa resistência à tração e grande variabilidade, trabalhará sempre no estado fissurado quando submetido às ações de serviço.

Tabela 3 – Tabela de fissuração

| Tipo de Fissura                     | Símbolo na figura 16 | Subdivisão           | Localização mais comum | Causa principal                                       | Causas secundárias/fatores            | Metodos corretivos   | Tempo de aparecimento                  |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------------------|--|--|
| Assentamento Plástico               | A                    | Sobre a armadura     | Seções espessas        | Exsudação excessiva                                   | Condição para secagem precoce         | Reduzir exsudação (revibração ou incorporação de ar); revibrar | 10 min à 3 horas                       |
|                                     | B                    | Em arco              | Topo de pilares        |   |                                       |  |  |
|                                     | C                    | Mudança de espessura | Lajes nervuradas       |   |                                       |  |  |
| Retração plástica                   | D                    | Diagonal             | Pisos e lajes          | Secagem precoce e armadura próxima à superfície       | Velocidade de exsudação baixa         | Iniciar a cura mais cedo                                       | 30 min à 6 horas                       |
|                                     | E                    | Aleatória            | Lajes armadas          |   |                                       |  |  |
|                                     | F                    | Sobre a armadura     | Lajes armadas          |   |                                       |  |  |
| Retração Térmica Inicial            | G                    | Restrição externa    | Paredes espessas       | Geração excessiva de calor de hidratação              | Restrição rápida                      | Reduzir calor e/ou isolar                                      | um a dois dias ou três semanas         |
|                                     | H                    | Restrição interna    | Lajes espessas         | Gradientes de temperatura excessivos                  |                                       |  |  |
| Retração por secagem em longo prazo | I                    |                      | Lajes e paredes finas  | Juntas ineficientes                                   | Retração excessiva e cura ineficiente | Reduzir quantidade de água e melhorar a cura                   | Várias semanas à meses                 |
| Mapeadas                            | J                    | Junto às formas      | Concreto aparente      | Fôrmas impermeáveis                                   | Misturas ricas e cura inadequada      | Melhorar cura e acabamentos                                    | um a sete dias, podendo ser mais tarde |
|                                     | K                    | Concreto desempenado | Lajes                  | excesso de desempenho                                 |                                       |  |  |
| Corrosão de armadura                | L                    | Natural              | Pilares e Vigas        | Cobrimento insuficiente                               | Concreto de baixa qualidade           | Eliminar as causas listadas                                    | Mais de dois anos                      |
| Reação alcali-agregado              | M                    |                      | Locais úmidos          | Agregados reativos e cimento com alto teor de álcalis |                                       | Prevenção na escolha do material                               | Mais de cinco anos                     |

Fonte: Neville (2013).

dependerá do tipo de estrutura, local de ocorrência, origem, abertura, extensão e da profundidade das mesmas, além da sua atividade (ativas ou não). Na tabela 2 encontram-se as principais tipologias, com suas respectivas causas principais e metodologias corretivas. Especificamente para OAE, o já referido Manual do IPR-DNIT divide nos seguintes tópicos:

#### 2.5.1.1. Ocorridas na fase plástica

Têm como tempo de formação as primeiras horas ou dias após a concretagem, estando o concreto ainda na fase de endurecimento, são elas:

Assentamento do concreto - Causado, segundo DNIT (2010), pela excessiva exsudação, que é a sedimentação dos agregados por diferença de densidade. Assim, surge fissuração ao longo das barras das armaduras e nas mudanças de forma das seções quando as partículas sedimentadas encontram algum tipo de obstáculo, como armaduras ou formas, sendo tanto maior quanto mais espessa for a camada de concreto. Especial atenção deve ser dada ao dano quanto à durabilidade devido ao efeito parede, ou de sombra, que forma um vazio por baixo das barras e compromete a aderência com o concreto (Souza e Ripper, 2009). Dentre os motivos

estão: armadura de elevado diâmetro/muito densa; concreto com elevada relação A/C, que causa maior evaporação; falta de estanqueidade das formas ou mau adensamento na concretagem.

Retração plástica - Também conhecida por retração por secagem, ou retração por dessecação superficial. Ocorre nas primeiras horas, normalmente antes do início da pega, e consiste na perda excessiva de água do concreto, que gera retração volumétrica e consequentemente esforços internos de tração, não absorvidos pela ínfima resistência da massa antes do endurecimento. Desencadeiam-se mais facilmente em peças de grande área de superfície e pequena espessura, como lajes, cortinas, muros de arrimos etc. Sua probabilidade de ocorrência varia com o clima, é comum em ambientes de muita insolação, baixa umidade e ventos fortes. Na NBR 6118:2023 há recomendações de como evitar este fenômeno (Bolina; Tutikian; Helene, 2019)

Retração térmica inicial - Mudanças volumétricas podem ocorrer no concreto ainda plástico devido à liberação de calor de hidratação e posterior resfriamento da massa. Tão maior será este fenômeno quanto maiores forem o volume de massa e o percentual de cimento.

#### 2.5.1.2. Ocorridas no concreto endurecido

Retração: O encurtamento normal do concreto devido à perda de umidade causará retração por dois anos, embora a maior parte seja nas primeiras 48 após a concretagem. Assim, já na fase do concreto endurecido, poderá ocorrer o fenômeno da retração com surgimento de trincas perpendiculares aos encurtamentos, caso os esforços internos resultantes não sejam controlados pela armadura. Tais fissuras apresentam uma morfologia em forma de mapa ou pele de crocodilo

Corrosão das armaduras: Fenômeno químico que provoca disgregação da cobertura de concreto, fenômenos físicos. O processo corrosivo, seja químico ou eletroquímico, produz óxido de ferro hidratado, ferrugem, cujo volume pode chegar, segundo Souza e Ripper (2009), a 10 vezes o volume do composto original, gerando uma pressão de aproximadamente 15 MPA no concreto, causando fissuras que facilitam o acesso dos agentes agressivos às barras e consequentemente aceleram o processo. Em vigas, os elementos mais suscetíveis a este fenômeno são os estribos, por terem sobre eles menor cobrimento que as demais barras de ferro.

### 2.5.1.3. Ocorridas na fase de utilização

Variações de temperatura e retração residual: Surgem quando a expansão natural da estrutura for impedida internamente pela armadura ou externamente por vinculações, quando há aparelhos de apoio desgastados ou bloqueados. Além do mais, por ser o concreto um material isolante, diferenças de temperatura entre regiões mais ou menos expostas ao calor podem ocasionar tensões diferenciais. A magnitude da retração térmica está diretamente relacionada com as dimensões da peça, taxa de armadura e distribuição destas ao longo da seção (Thomaz, 1989).

### 2.5.1.4. Causadas pelo tráfego de cargas móveis

Oriundas das cargas não previstas no projeto ou do mau dimensionamento, tornando o uso inadequado para a real capacidade resistiva da estrutura e causando trincas e fissuras nos elementos mais solicitados. Ao longo dos anos, as mudanças no volume de tráfego, capacidade de carga e número de eixos dos veículos, normas de projeto e dos materiais empregados podem levar a que estruturas mais antigas se tornem funcionalmente obsoletas e apresentem degradação em serviço. Dados do DNIT, evidenciados por Mendes (2009), mostram que do patrimônio de 5.600 de pontes rodoviárias federais, 90% foram projetadas utilizando trem-tipo de 240KN ou de 360KN; hoje a carga móvel rodoviário padrão é definida por um veículo tipo de 450 kN, conforme atual versão da NBR 7188:2013.

Além dessas, cita-se para o caso especial de OAE o impacto de veículos e choque de embarcações em elementos da superestrutura e infraestrutura, ocasionados por gabaritos verticais ou horizontais insuficientes, ou pela falta de barreiras de proteção. Outras causas, abordadas pela literatura, mas não mencionadas no Manual seguido por este trabalho, são:

Ação do fogo - A magnitude do dano causado por incêndio no concreto depende do tempo de exposição e da temperatura. Embora a massa de concreto não propague com facilidade a chama, boa parte da resistência da mesma é perdida com a exposição à temperatura elevada, conforme figura 4 retirada de Marcelli (2007). Isso se deve à diferença de expansão entre o

concreto e a armadura, fazendo com que esta perca a aderência, além da desagregação devido à expansão dos agregados.

Figura 6 – Alterações na resistência do Concreto Devido à Elevação da Temperatura

| Alterações na Resistência do Concreto Devido à Elevação de Temperatura |            |                |
|--|------------|----------------|
| Temperatura (°C)   | Tração (%) | Compressão (%) |
| 100  | 100        | 100            |
| 200  | 70         | 85             |
| 300  | 40         | 75             |
| 400  | 20         | 50             |
| 800  | 5          | 50             |

Fonte: Marcelli (2007).

Ação do gelo e degelo - Caso não recorrente para OAE's brasileiras. Depende do número de ciclos, da velocidade de resfriamento e da temperatura mínima atingida. A ação deletéria se deve à expansão da água retida nos poros do concreto a partir do congelamento, além da degradação decorrente da eventual aplicação de sais de degelo.

Erosão junto aos pilares de fundação - É, segundo o FHWA (2022), uma das anomalias mais comuns em pontes. Consiste na remoção do solo do leito dos rios e taludes, que é carregado pela correnteza, impactando negativamente a fundação e os encontros. Depende da força da corrente e do tipo de solo.

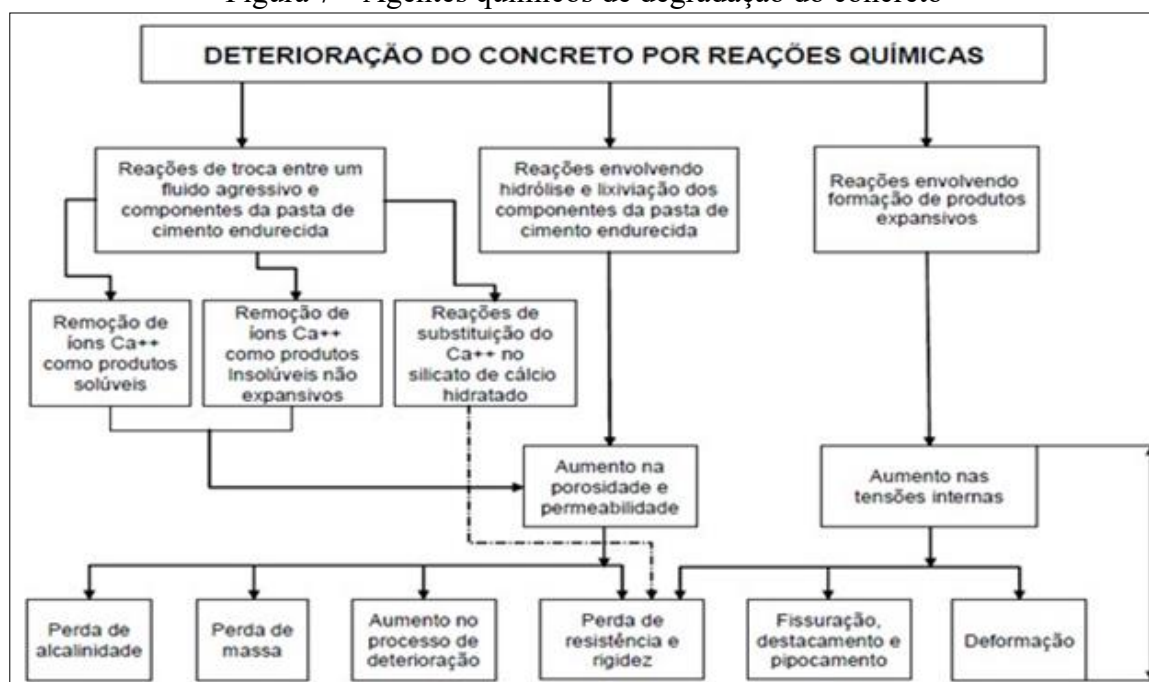
### 2.5.2. Causas químicas de deterioração

Conforme Mehta e Monteiro (2014), a distinção entre causas físicas e químicas de deterioração é meramente arbitrária, haja vista as duas na prática geralmente estarem sobrepostas, podendo até se reforçarem mutuamente. Além do mais, ataques químicos no concreto manifestam-se através de efeitos físicos nocivos, como aumento da porosidade e permeabilidade, diminuição da resistência, fissuração e lascamento. Como exemplo, os autores citam a lixiviação dos componentes da pasta de cimento, que torna o material mais poroso, deixando-o mais suscetível à abrasão.

Entretanto, de uma forma mais restritiva, qualifica-se, segundo Bolina, Tutikian e Helene (2019), como mecanismos químicos de deterioração aqueles que promovem alteração química dos compostos hidratados da pasta de cimento, originários da interação com agentes

agressivos oriundos do meio ambiente ou do processo produtivo do próprio material. De acordo com o IPR-DNIT (2010), praticamente todas as causas químicas são oriundas de falhas humanas, seja na fase de concepção e projeto, execução ou uso da estrutura.

Figura 7 – Agentes químicos de degradação do concreto



Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

### 2.5.2.1. Ataque por sulfatos

Ocorre quando íons sulfato entram em contato com a pasta de cimento Portland e reagem com os compostos que contêm alumina, convertendo-os às formas altamente sulfatas, quais sejam, a etringita, quando em contato com o C3A, ou a gipsita, quando em contato com o hidróxido de cálcio. Resulta em expansão e conseqüente desagregação do concreto, deixando-o em condição friável, quebradiço, com fissuras que surgem nas arestas e vão em direção ao centro da peça em ângulos de 45°, além de causar diminuição no módulo de elasticidade e perda de massa.

Os principais sulfatos, como os de cálcio, potássio, amônio e magnésio, são encontrados no solo, nas águas marinhas, subterrâneas e nas contaminadas por dejetos industriais. Além do mais, a origem pode estar no próprio processo de produção, como em agregados contaminados, água de amassamento ou próprio cimento, formando a chamada etringita tardia, cuja intensidade depende do teor de C3A no cimento utilizado e no consumo de cimento da composição. Normalmente acontece quando um agregado contaminado por gipsita ou cimento com alto teor de sulfato são usados na composição e a cura é feita em temperaturas elevadas (Bolina, Tutikian e Helene, 2019)

Embora seja pouco comum no estado do Tocantins, com exceção de alguns microclimas industriais ou de estações de tratamento de esgoto, o ataque por sulfato é de grande relevância para obras em contato constante com a água, como objeto de estudo deste trabalho. Como exemplo, Mehta e Monteiro (2014) citam o caso de uma Ponte em Magdeburg, Alemanha, em que a expansão do concreto sulfatado suspendeu em 8 centímetros os pilares da OAE, tornando necessária a demolição.

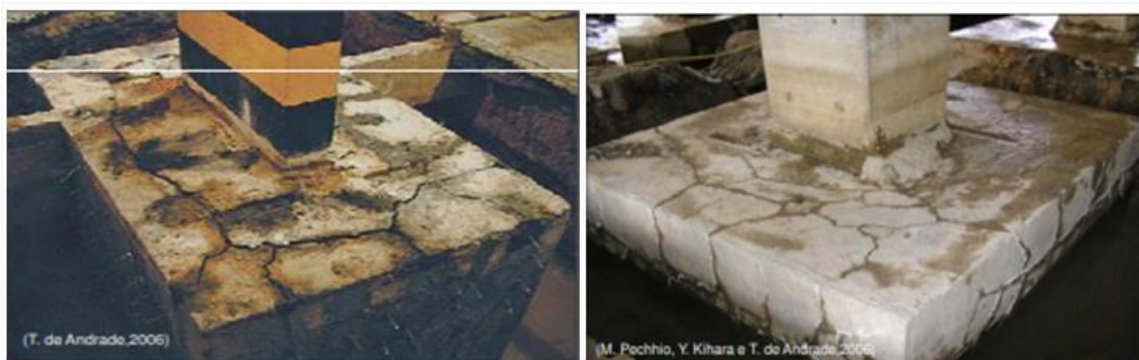
A NBR 12655:2015 estipula condições mínimas do concreto, de acordo com o grau de agressividade ambiental, para mitigar este fenômeno. Mas, de modo geral, pode ser evitado com baixa relação A/C e utilização de cimentos adequados, como os resistentes a sulfatos, pozolânicos ou de altoforno.

### 2.5.2.2. Reação álcali-agregados

Além dos ataques por sulfato, outro fato causador de expansão no concreto são as reações químicas em presença de água entre os hidróxidos alcalinos da pasta de cimento e os minerais reativos eventualmente presentes nos agregados. A expansão se deve à formação, em torno do agregado, de um gel higroscópico que em meio úmido se hidrata e aumenta de volume, causando e exsudação de fluido viscoso e fissuras em forma de mapa, ou mosaico, em peças pouco armadas; ou fissuras geométricas, quando a armadura direciona a tensão da expansão.

O grau de deterioração e a velocidade na qual se chega a ele estão intimamente relacionados com a natureza e quantidade do agregado reativo, o teor de álcalis no cimento, a temperatura e a umidade. Quanto aos álcalis, cimentos com teores de  $Na_2O$  iguais ou menores que 0,6% são considerados de baixa alcalinidade, e, portanto, insuficientes para desencadear a reação, exceto para dosagens com teores muito altos de cimento. Quanto aos agregados, a depender das condições, todos os silicatos ou minerais de sílica são tidos como reativos, embora grande parte em grau pouco significativo; os principais são: cristobalita, opala, trimidita, calcedônia e quartzo.

Figura 8 – Reação Álcali-agregado em blocos de coroamento em edifícios de Recife-PE



Fonte: Pechhio, Kihara e Andrade (2006).

Em Recife-PE, no ano de 2004, especial atenção foi dada à reação álcali-agregado depois que este fenômeno foi inicialmente cogitado como uma das possíveis causas do colapso

do edifício Areia Branca, construído em 1978. Uma série de vistorias em fundações de prédios da grande Recife foi feita no ano seguinte após recomendação da Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE), constatando assim novos casos de deterioração, como o ilustrado na figura 6. No Tocantins, de grande repercussão foi o caso de Ponte sobre o Rio Tocantins, no município de Porto Nacional, construída em 1979 e parcialmente interdita desde 2011, depois que em 2019 uma série de manifestações patológicas, dentre elas a RAA, levou o governo do estado a restringir o tráfego da OAE a apenas motocicletas e pedestres.



Sempre que a utilização de cimento com alto teor de álcalis e a constante exposição à umidade forem inevitáveis, a adição de pozolana à mistura em quantidade adequada se apresenta como solução cogitável, visto que inibe ou evita a reação. Outro recurso para dirimir a RAA é a sílica ativa. Para reações já desencadeadas, solução adequada seria a impermeabilização, dado que o fato de o agregado reativo e sílica já integrarem o concreto endurecido torna a umidade o único fator mutável da reação.

#### 2.5.2.3. Lixiviação e Eflorescência

Também conhecida como deterioração por ataque de água pura, a lixiviação é um dos tipos de corrosão do concreto, junto às corrosões por expansão esplanadas acima e à corrosão por reação iônica. Tem a hidrólise como mecanismo e consiste na dissolução e carreamento do hidróxido de cálcio integrante da massa de cimento hidratado submetido ao ataque de águas com pouca impureza, com posterior formação de estalactites e estalagmites ao reagir com o

dióxido de carbono na superfície oposta à de entrada da água, dando origem à manifestação chamada de eflorescência.

É o processo de corrosão que ocorre com maior frequência no concreto, sua intensidade depende diretamente da porosidade do concreto, da velocidade, quantidade e tempo de permanência da água (Souza e Ripper, 2009). Diminui o PH e densidade da massa, tornando-a mais vulnerável a outros tipos de manifestação, pois facilita a entrada de agentes deletérios. Em OAE's, é comum naquelas que apresentam ruptura em elementos de vedação das juntas ou outro tipo de deficiência na drenagem.

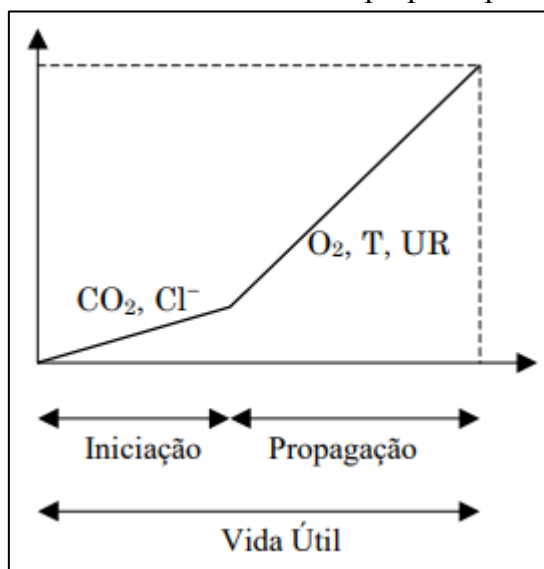
#### 2.5.2.4. Corrosão das armaduras

Conceituada como a interação destrutiva de um metal com o meio ambiente, culminando na sua dissolução em íons metálicos por meio de reações químicas ou eletroquímicas. Forma como produto da reação os óxidos e hidróxidos de ferro, de volume significativamente maior que o original, causando assim desagregação do revestimento e fissuras ao longo do revestimento da barra. Além de perda de seção de aço efetiva e perda de aderência entre aço e concreto, inabilitando a transferência de tensões entre os materiais. Pode levar, por estes motivos, o elemento estrutural ao colapso.

No concreto armado, o revestimento de concreto exerce proteção física e química às barras de aço. Fisicamente, exerce função de barreira contra agentes agressivos do meio, como sulfatos, cloretos e dióxido de carbono. Quimicamente, atua como camada passivadora devido à elevada alcalinidade dos poros do concreto, com PH em entre 12,6 a 14, segundo Souza e Ripper (2009), resultante dos hidróxidos produzidos na hidratação. Para que os dois mecanismos de proteção sejam efetivos, são necessárias espessura de revestimento e classe de resistência adequadas, conforme recomendações da NBR 6118:2023.

Do ponto de vista da corrosão das armaduras, a vida útil do concreto armado pode ser dividida, segundo Tuutti (1982), em duas fases, quais sejam: Primeira, de iniciação, quando os agentes deletérios penetram no concreto de revestimento e avançam em direção às armaduras por meio dos poros. A segunda, de propagação, tem início com a despassivação do aço devido à redução do PH, é o momento no qual a corrosão se estabelece na barra. Ainda segundo o autor, os fatores capazes de quebrar a barreira alcalina de proteção e desencadear o processo corrosivo são a carbonatação e presença de íons cloreto acima de níveis aceitáveis.

Figura 10 - Modelo de vida útil proposto por Tuutti



Fonte: Tuutti (1982).

#### 2.5.2.5. Carbonatação

Mecanismo físico-químico de corrosão que se resume na reação do dióxido de carbono presente na atmosfera com os hidróxidos de cálcio do cimento Portland Hidratado, resultando na formação de carbonato de cálcio e redução do PH a valores abaixo de 9. Para o concreto simples, a carbonatação seria benéfica, visto que aumenta sua resistência química e mecânica. Para o armado, o ataque consiste na quebra da película passivadora das armaduras, tornando o aço vulnerável à ação de intempéries e fazendo com que seja corroído de forma generalizada. Os fatores influentes neste processo são:

Concentração de Dióxido de Carbono - Quanto maior, mais rápido será o avanço da frente de carbonatação no cobrimento da peça. Um exemplo de grande exposição a  $\text{CO}_2$  é o revestimento de túneis para veículos.

Umidade relativa do ambiente - Segundo Helene (2008), apud Vasconcelos (2018), O processo de carbonatação ocorre com maior rapidez em concretos de baixa qualidade e em ambientes cuja umidade relativa varia entre 50 e 70%. Não acontece em concretos secos ou saturados, no primeiro caso falta o eletrólito e no segundo o oxigênio.

Relação água/cimento - Fator relacionado com a quantidade de poros no concreto e a interconectividade entre eles, determinando sua permeabilidade.

Tempo de cura - Outro fator relacionado à porosidade e permeabilidade do concreto, pois quanto maior o tempo de cura maior será o grau de hidratação da pasta.

A carbonatação é um processo de difícil visualização em inspeções meramente visuais, fazendo-se necessário, para a sua constatação, o uso de um ensaio simples, qualitativo e não destrutivo. A verificação consiste na aspersão de fenolftaleína, indicador colorimétrico, diluído em água e álcool etílico. Quando em contato com esta substância, concretos com PH abaixo de 8,2 permanecem na coloração original, indicando carbonatação. Para concretos não afetados por este mecanismo, a coloração é rosa ou vermelho-carmim.

#### 2.5.2.6. Corrosão por ataque de íons cloreto

Corrosão eletroquímica e localizada, mais demorada e severa que a corrosão por carbonatação. Seu mecanismo de deterioração é o processo de oxirredução, funcionando como uma pilha de Daniell. Seus componentes são: eletrólito, diferença de potencial (DDP), oxigênio e agente agressivo. Por conta da umidade, o próprio concreto funciona como eletrólito; a diferença de potencial também é inerente ao material, devido à heterogeneidade do mesmo; o oxigênio advém da atmosfera e o agente agressivo é o próprio íon cloreto, responsável por quebrar a barreira alcalina, embora não tenha participação direta na reação.

Mecanismo de grande potencial danoso, visto que, diferente da carbonatação, é capaz de despassivar a armadura em condições normais de alcalinidade. Outro fator que torna a corrosão eletroquímica de maior risco é o fato de os íons cloreto não serem consumidos na reação. As fontes são diversas, tanto externas, como zonas de respingo/variação de maré, maresia, limpeza com ácido muriático, saís de degelo etc; quanto internas, incorporados ao concreto por meio de aditivos aceleradores de pega, água e agregados contaminados. O teor de íons cloreto no interior da massa é limitado pela NBR 12655:2015 em 0,05% para concreto protendido, 0,15% para concreto armado exposto a fonte externa e 0,40% para os não expostos.

No concreto, o cloreto se apresenta sob três formas: quimicamente combinado com o aluminato tricálcico e formando o sal de Fridel, não deletério ao concreto e até mesmo contribuindo na resistência a sulfatos; fisicamente adsorvidos à parede dos poros; livre, forma responsável por desencadear a reação. Semelhante à fenolftaleína, para indicação da presença

de íons cloreto livres usa-se o nitrato de prata. Quando a solução é aspergida na superfície do concreto, na região não atacada por cloretos há a formação do óxido de prata, de coloração marrom.

## 2.6. GESTÃO E INSPEÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Para Bertolini (2010), os cuidados com execução e manutenção de estruturas ganharam notoriedade a partir da década de 1980, quando o surgimento de números elevados de casos de deterioração avançada em estruturas de concreto armado e protendido trouxe à tona os riscos à segurança e os elevados custos de tal situação. No entanto, para o Manual da Federal Highway Administration (FHWA), versão 2022, esse sobreaviso foi dado anos antes para as OAE's, em 1967, quando o colapso da ponte Silver, nos Estados Unidos, resultou na morte de 46 transeuntes.

Segundo Almeida (2013), a gestão das OAE é tão antiga quanto a própria existência dessas estruturas. O autor as define como ferramentas que permitem organizar toda a multiplicidade da informação, facilitando o processo em geral e apoiando o gestor nas suas tomadas de decisão. Tem como principal objetivo a garantia de um determinado nível de segurança e funcionalidade ao longo de sua vida útil pelo menor custo possível. Malgrado o longo prazo desde sua entrada em utilização, o constante aperfeiçoamento dos sistemas de gestão de OAE é justificado pelas suas exigências e benefícios de utilização, valor patrimonial e capital nelas investido.

O sistema de gestão torna possível o conhecimento da necessidade de cada componente das OAE's de cada trecho da malha viária, com previsão de novos reparos e inspeções e estimativa dos recursos imprescindíveis à realização dessas atividades. Em palavras semelhantes, Ryall (2010) define tais sistemas como o meio pelo qual um estoque de OAEs é cuidado desde a sua concepção até o fim da sua vida útil.

Os sistemas de gestão de OAE, inicialmente concebidos com base no conhecimento adquirido em outros sistemas, em especial os de pavimentação, evoluíram à medida que as exigências dos gestores foram aumentando e os recursos computacionais foram sendo disponibilizadas, haja vista o grande volume de dados manipulados Verly (2015). Um dos pioneiros foi o sistema Portis, atualmente designado por ASHTOWare, criado em 1991 pela agência americana Federal Highway Administration (FHWA). Na mesma linha seguiu o SGO,

criado em 1994 a partir de um banco de dados do então DNER e operado pelo atual DNIT. Segundo Almeida (2013), estes sistemas, normalmente constituídos por bases de dados e programas de processamento, são estruturados em três partes principais:

Aquisição de dados - Obtenção de informações diversificadas quanto a cada obra componente da malha. São recolhidos dois tipos de dados: os primeiros considerados invariáveis, como localização, ano de construção, materiais empregados etc. Os segundos, mutáveis ao longo do tempo, são os relativos ao estado de conservação da obra. Os dados são adquiridos por meio de inspeções; seja a cadastral, a fim de obter as informações do primeiro tipo; ou periódicas, visando a coleta de referências do segundo tipo. Cada sistema possui seu respectivo manual a fim de padronizar o método e dirimir subjetivismo na classificação, tornando o método menos dependente possível da sensatez e experiência do inspetor. Requisitos quanto à qualificação e certificação de pessoal nas inspeções de estruturas de concreto são obtidas na NBR 16230:2013.

Classificação das obras - Etapa na qual ocorre o processamento das informações, procedendo com a avaliação do estado das obras e escolha das possíveis intervenções. Nesta fase é realizada a apreciação do estado de deterioração de cada OAE com base nos dados colhidos nas inspeções (etapa anterior), tais como idade da obra, tráfego atuante e fatores inerentes ao modelo de degradação. Assim, são calculados, de acordo com a metodologia adotada pelo respectivo SGO, índices para posterior pontuação da obra.

Apresentação de resultados - Por último, parte-se à etapa de saída de resultados, oriundos da análise das informações (segunda etapa) recolhidos nas inspeções (primeira etapa). Dentre as informações externadas, estão as estatísticas com resultados da inspeção, a previsão da evolução do estado de conservação das diversas obras, a ordenação das obras cuja necessidade de intervenção é mais urgente e a previsão das verbas a gastar num futuro próximo. A partir das informações fornecidas pelo SGO o gestor fará análise crítica a fim de tomar a decisão que mais assegura os níveis de segurança e serviço pretendidos. As decisões possíveis são: Não intervenção, adiamento, manutenção essencial ou preventiva, reparação superficial ou profunda, beneficiação, substituição parcial ou integral e interdição do tráfego.

Assim, a boa gestão de um conjunto de obras está apoiada num plano atualizado e bem definido de vistorias, haja vista a não realização desses procedimentos impossibilitar a tempestiva e precisa atuação do órgão gestor, levando a estrutura a níveis críticos de durabilidade. No Brasil, os procedimentos de inspeção e avaliação das estruturas aqui tratadas estão taxados pela NBR 9452:2019 e pela norma DNIT 010/2004 – PRO, ambas semelhantes

entre si, com classificações, definições e prazos congêneres. De acordo com a segunda norma, as classificações são:

**Cadastral** - Feita preferencialmente logo após a entrega da obra, assim que esta for integrada a um sistema de monitoramento e acompanhamento. Além disto, deve proceder-se com a inspeção cadastral, mesmo depois de sua entrada em operação, quando feitas mudanças na configuração original da OAE, como reforço para mudança de classe, bloqueio de articulações, mudança no sistema estrutural, alargamento etc. As fichas de inspeção cadastral fornecidas ao final e incluídas no SGO com todos os resultados obtidos servirão de base para os outros tipos de inspeção, a serem feitos ao longo da vida útil. A norma elenca todos os documentos da obra necessários para realização da inspeção, como relatórios de fiscalização, memoriais, termo de recebimento, elementos topográficos etc. Além do mais, traz também os informes construtivos a serem buscados, como desenhos de projeto, caracterização de materiais e resultados de ensaios.

**Rotineira** - Aqui é buscado o acompanhamento periódico da OAE a partir de inspeção visual, acompanhada ou não de ensaios ou equipamentos auxiliares à análise e/ou acesso, para registro dos defeitos visualizados no exterior da estrutura, como desalinhamento e deformações. Ferramenta utilizada também para verificação da evolução das manifestações constatadas em inspeções anteriores, bem como a efetividade das medidas anteriormente tomadas. O intervalo de tempo entre a realização de duas inspeções rotineiras consecutivas é de dois anos, para o DNIT, e de um ano, para a NBR 9542:2019. Caso não realizadas ou não encontradas as fichas da inspeção acima descrita, esta se transforma naquela. Além do mais, caso detectados defeitos críticos ou graves, deve ser solicitada, ao final do procedimento, a realização de uma inspeção do tipo especial.

**Extraordinária** - Inspeção não contida no plano de manutenção, solicitada após a ocorrência de dano estrutural excepcional, a exemplo de impacto de veículo, trem ou embarcação; eventos da natureza, como inundação, vendaval, sismo etc; o qual deverá ser detalhadamente descrito em relatório. Deverão ser feitos testes que propiciem ao inspetor avaliar se será necessário limitação nas cargas de tráfego ou até mesmo interdição do fluxo, além das providências a serem tomadas para que a estrutura retorne à normalidade, caso seja constatada manifestação decorrente do caso fortuito.

**Especial** - Caracterizada por ser inspeção visual pormenorizada e realizada em intervalos de até 5 anos; para a NBR 9452:2019, podem ser prorrogadas por até 8. Não permite o DNIT tal adiamento. Sob o comando de um inspetor sênior, aqui deverão ser inspecionadas partes de difícil acesso que não foram checadas em inspeções rotineiras, como componentes

internos de seções celulares ou subaquáticos. Pode ser necessária a utilização de equipamentos especiais para o acesso e/ou visualização desses componentes, como lunetas, andaimes ou veículos especiais dotados de lança e gôndolas. O DNIT recomenda a execução de inspeção especial em três situações, são elas: Defeitos graves revelados em inspeções anteriores; pontes vultosas, em intervalos de 5 anos ou substituindo as rotineiras; ocasiões especiais, como antes e durante a passagem de carga não prevista.

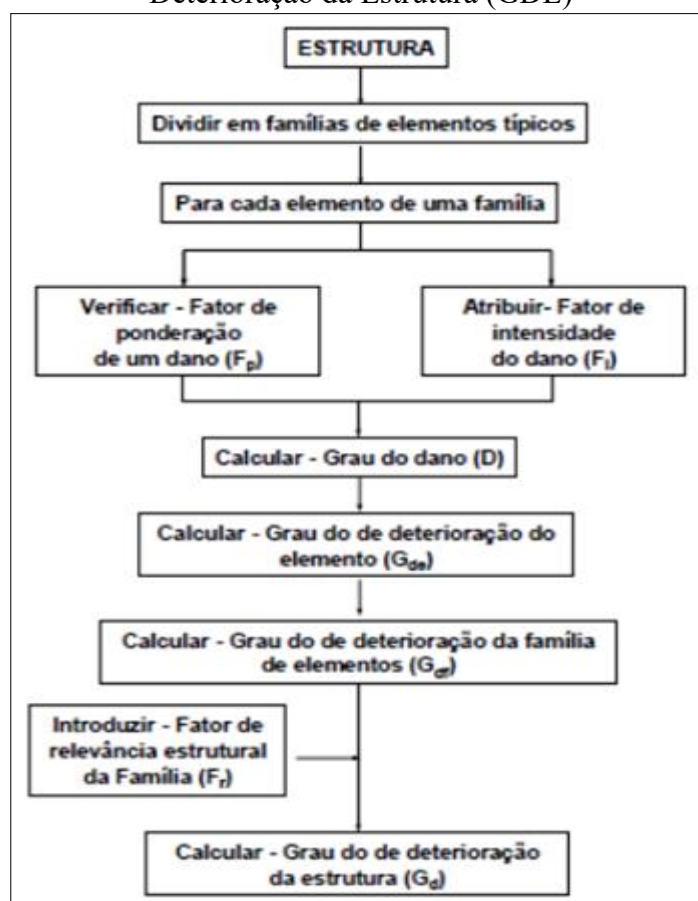
Intermediária - Tipo previsto apenas pelo DNIT. Recomendado para monitorar o desenvolvimento de uma anomalia já constatada anteriormente, como erosão junto a pilares, recalques, flechas etc.

### **2.6.1. Metodologias de inspeção**

A inspeção não é o objetivo finalista da gestão de obras, mas o meio pelo qual são buscadas as informações necessárias a uma boa gerência. Assim, cada metodologia de inspeção segue uma sequência lógica e encadeada de etapas pautadas em critérios objetivos e padronizados para descrever com realismo e precisão o estado de uma OAE. No Brasil, os dois métodos mais notórios e abordados pela literatura são os apresentados a seguir.

GDE/UNB - Metodologia desenvolvida por Castro (1994) e baseada na metodologia de avaliação de OAE's proposta por Klein et al. (1991). Consiste na determinação numérica do Grau de Deterioração de estruturas de concreto, feita a partir do estado de deterioração de cada componente combinado com o seu respectivo fator de relevância estrutural. Desde a publicação original, diversos estudos foram desenvolvidos com base nela para otimizá-la ou adequá-la a uma situação específica, sem alterar a essência do método, a exemplo de Lopes (1998), Boldo (2002) e Fonseca (2007). Uma das adequações foi proposta por Euqueres (2011), que sugere a utilização em pontes, com a inserção de novos elementos (aparelhos de apoio, guarda-rodas, pista de rolagem, cortinas etc.), além de alterações em fatores de relevância e de ponderação.

Figura 11 - Fluxograma de metodologia para o cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura (GDE)



Fonte: Castro (1994).

Segundo o autor original, o método GDE/UNB segue o fluxograma acima. Como visto, essa metodologia leva em conta parâmetros de análise para elementos isolados, para a família

desses elementos e por fim para a estrutura como um todo. Conceitua-se como Fator de Ponderação o provável grau de comprometimento estrutural ou de desempenho causado pela manifestação patológica detectada sobre um elemento específico, variando de 0 a 5. O fator de intensidade do dano classifica a gravidade e evolução de uma manifestação, varia de 0 a 4. Já o grau do dano é calculado em um elemento a partir do fator de ponderação e do fator de intensidade, sendo, então, uma função de duas variáveis.

Ao final de todo o cálculo, é obtido o grau de deterioração global da estrutura, variando de baixo a crítico, o qual é usado para se estimar as ações a serem tomadas, conforme tabela abaixo.

Tabela 4 – Ações recomendadas de acordo com o GDE da estrutura.

| Nível de deterioração | Gd       | Ações a serem adotadas  |
|-----------------------|----------|---|
| Baixo                 | 0 – 15   | Estado estável. Manutenção preventiva.  |
| Médio                 | 15 – 50  | Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 2 anos).                     |
| Alto                  | 50 – 80  | Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 1 ano).   |
| Sofrível              | 80 - 100 | Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses). |
| Crítico               | > 100    | Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.   |

Fonte: Fonseca (2007)

DNIT 010/2004 - As instruções para atribuição de notas com a metodologia proposta pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes está presente em forma de Anexo em sua norma 010/2004, recomendações detalhadas são encontradas no Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (IPR-709/2004). No anexo em questão, são atribuídas notas de 1 a 5 para cada elemento da OAE, representando assim o grau do dano no elemento e a insuficiência estrutural causada. Semelhante a este é o método adotado pela NBR 9452:2019, onde são disponibilizadas também tabelas com caracterização dos elementos estruturais segundo a

relevância no sistema estrutura, além de notas de classificação segundo parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade.

É sabido que a metodologia utilizada para a classificação do estado da obra influi diretamente nos resultados. A metodologia do DNIT tem se mostrado em diversos trabalhos, a exemplo de Medeiros (2015), como mais subjetiva e dependente da experiência do inspetor, visto não utilizar de valores que quantificam o dano, mas sim a atribuição de notas de acordo com a identificação do dano presente. Além do mais, enquanto essa metodologia utiliza de um check-list concatenado, a GDE/UNB dispõe de flexibilidade na escolha dos elementos que compõem a família e seus respectivos fatores de intensidade. Nessa linha, vários são os trabalhos que utilizam dos dois procedimentos a fim de proceder a uma maior interpretação dos resultados qualitativos e quantitativos.

### 3. RESULTADOS E ANÁLISE

#### 3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os resultados estão organizados cronologicamente nos tópicos a seguir, com as manifestações descritas conforme a ordem de inspeção recomendada pelo Manual do DNIT — da superestrutura à infraestrutura. Para facilitar a compreensão, os elementos estruturais foram numerados de acordo com o Anexo G da NBR 9452/2019. Em determinados pontos, a referida norma foi utilizada como complemento ao método do DNIT, especialmente para suprir lacunas ou esclarecer procedimentos, uma vez que ambas seguem a mesma metodologia de cálculo, sendo que a NBR apresenta maior nível de detalhamento técnico

Primeiro serão relatadas as manifestações e depois a aplicação das metodologias. A metodologia GDE, com cálculo feito por meio de planilha eletrônica, será exposta mediante tabela com os valores do Grau de Deterioração de cada elemento, de cada família e da estrutura como um todo. Não serão aqui expostas as tabelas com os danos de cada elemento devido ao grande escopo do trabalho, a fim de não comprometer o entendimento da leitura com excessivo número de tabelas. Com igual finalidade não serão anexadas as fichas de inspeção da metodologia DNIT, e sim quadros com informações suficientes para compreender o resultado da aplicação do método para cada uma das Obras.

Outro ponto a ser destacado refere-se aos elementos não inspecionados: os de sinalização, por não existirem em OAE's neste perímetro urbano; os elementos de fundação que se encontram enterrados e os aparelhos de apoio, cuja inspeção não foi possível.

#### 3.2. PONTES DA AVENIDA NS-02

Embora tenha sido construída uma OAE para cada sentido de tráfego da avenida, ambas compartilham o mesmo acesso e a mesma estrutura de contenção. Além disso, possuem duas vigas de travamento que as interligam — conforme ilustrado na Figura 14 — as quais serão denominadas aqui como vigas de travamento secundárias, por estarem conectadas às vigas de

travamento primárias, mais robustas, estas diretamente ligadas aos blocos de coroamento. Assim, tais elementos serão abordados no tópico da primeira ponte inspecionada na Avenida NS-02 e os comentários e observações referente a eles se repetirão para o segundo.

Figura 12 – Vista superior das Pontes da Avenida NS-02



Fonte: Almeida (2021)

Figura 13 – Vigas de travamento primárias e secundárias



Fonte: Aatoria própria (2025)

### 3.2.1. Sentido Sul-Norte

Durante a inspeção do tabuleiro, foram identificados desgaste superficial na pista de rolamento – provocado pela abrasão decorrente do contato com os pneumáticos – e desnível do pavimento na transição entre o terrapleno e o tabuleiro, resultando na formação de um degrau na região da cabeceira da ponte. Essa condição acentua os impactos das cargas acidentais e representa um risco à estabilidade dos veículos. Quanto às juntas, não foi possível realizar uma inspeção mais detalhada devido à presença constante de tráfego na via; ainda assim, foram observadas trincas, conforme ilustrado a seguir.

Figura 14 - Desgaste superficial



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 15 - Desnível do tabuleiro



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 16 - Desgaste superficial



Fonte: Autoria própria (2025).

Quanto aos dispositivos de segurança, foi identificado dano por impacto na extremidade inicial da barreira rígida Leste, além da ausência de transição adequada que possa atenuar eventuais colisões de veículos, o que contraria a finalidade do elemento. No Guarda-corpo de concreto armado, foram identificadas trincas acima dos valores permitidos na NBR 6118/2023 e regiões com cobertura insuficiente. Ademais, o referido dispositivo de segurança para pedestre apresenta comprimento insuficiente, sendo instalado apenas a partir de um trecho onde o talude já se mostra bastante íngreme, o que afeta a segurança daqueles que ali transitam.

Figura 17 - Trincas no Guarda-Corpo



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 18 - Insuficiência de comprimento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 19 - Falta de transição na Barreira Rígida



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 20 - Exposição de armadura



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 21 - Avaria no Guarda-Corpo Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

O acesso à parte inferior da ponte se encontra parcialmente obstruído por vegetação e com acentuada queda livre ao final dos degraus de acesso, o que representa um risco à segurança. Além do mais, nesse mesmo ponto são encontradas avarias na tela metálica da estrutura de gabião, com rompimento parcial e indícios iniciais de deslizamento do material pedregulhoso.

Figura 22 - Queda acentuada ao final do acesso



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 23 - Avarias no gabião



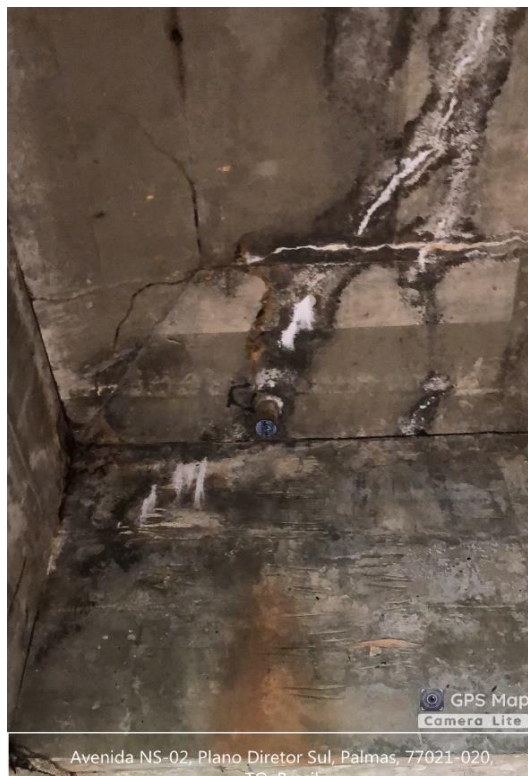
Fonte: Autorial própria (2025).

A inspeção foi realizada após um dia de chuva, o que possibilitou a observação de diversos pontos de umidade em vários elementos da OAE, com destaque para a laje. Nela, foram identificadas extensas áreas de eflorescência em todos os seus vãos, conforme ilustrado nas imagens 25, 26, 27 e 29. Em um dos pontos, a eflorescência atingiu um estágio avançado, com a formação de estalactites e gotejamento de compostos da pasta de cimento hidratado, transportados pela água que percolou através da laje.

Esse fenômeno é causado pela infiltração de água da chuva na laje, resultante de falhas na drenagem ou das trincas no tabuleiro. Provoca a hidrólise e a migração de sais solúveis presentes na pasta de cimento para a superfície do concreto. O ponto de gotejamento mencionado acima, localizado sobre uma das vigas de travamento secundária, é ilustrado na

Figura 28. Nas cortinas, tanto Sul quanto Norte, identificaram-se pequenas falhas de concretagem, conforme figura 30.

Figura 24 - Eflorescências na laje próximas ao buzinode



Avenida NS-02, Plano Diretor Sul, Palmas, 77021-020,  
TO, Brasil

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 25 - Eflorescência em vãos diversos da laje



Avenida NS-02, Plano Diretor Sul, Palmas, 77021-020,  
TO, Brasil

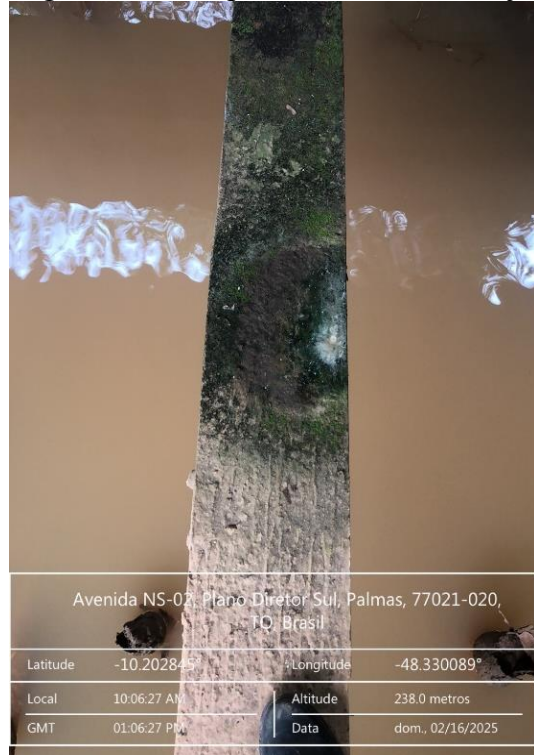
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 26 - Eflorescência com ponto de percolação da água



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 27 - Compostos carregados da laje



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 28 - Eflorescência no primeiro vão da Laje



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 29 - Falha de concretagem na Cortina Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Na viga longarina 02 foram encontradas manchas decorrentes do escoamento indevido da água, causado pela insuficiência de comprimento dos buzinotes, o que ao longo do tempo pode resultar no desgaste superficial da peça. Ainda neste elemento, pequenas falhas de concretagem e sinais de eflorescência são vistos.

Em relação às vigas transversinas, três delas apresentam cobertura insuficiente em determinados trechos de sua extensão, sendo possível a visualização dos estribos. São elas: 01, 02 e 06. O não atendimento à Tabela 7.2 da NBR 6118:2023 — Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o revestimento nominal — pode favorecer a corrosão das armaduras, ao permitir a penetração de umidade, oxigênio e agentes agressivos na peça. Pequenas falhas de concretagem foram observadas nos balanços das transversinas 03, 04 e 05.

Figura 30 - Falha de concretagem em vão central de transversina



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 31 - Falha de concretagem em Longarina e Transversina com exposição de armadura



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 32 – Manchas nas transversinas



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 33 - Sinais de eflorescência na Longarina e exposição da armadura na transversina



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 34 - Manchas na Longarina



Fonte: Aatoria própria (2025).

Com exceção do pilar 04, os demais apresentam pequenas fissuras horizontais espaçadas ao longo de sua altura. Como não houve acompanhamento periódico por parte deste inspetor, não foi possível determinar com segurança se as fissuras estão ativas ou passivas. No entanto, conforme evidenciado nas imagens 36, 37 e 38, verificou-se que, em inspeções anteriores, as fissuras foram marcadas com giz de cera ao longo de seu comprimento. Atualmente, observa-se que a extremidade das fissuras ultrapassa a marcação previamente realizada, o que sugere que se trata de fissuras ativas, embora ainda dentro dos limites máximos de abertura permitidos pela NBR 6118-2023.

Figura 35 – Fissuras no P3



Fonte: Aatoria própria (2025).

Figura 36 – Fissuras no P2



Fonte: Aatoria própria (2025).

Figura 37 – Fissuras horizontais em Pilar



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 38 – Abertura da fissura



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 39 – Fissuras em base de pilar



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 40 - Abertura da fissura



Fonte: Autoria própria (2025).

Adicionalmente, foram identificadas grandes manchas de umidade nas bases dos pilares, além de deslocamento em alguns deles. Considerando a presença de deslocamento em uma região com umidade excessiva, levanta-se a hipótese de corrosão das armaduras. A água atua como eletrólito no processo de corrosão eletroquímica, promovendo a oxidação dos compostos do aço e a formação de óxidos férricos. Esse processo aumenta o volume da armadura, gerando tensões internas que induzem fissuração e deslocamento do concreto adjacente.

No Pilar 04, ainda é possível observar avarias no topo, mas, dadas as limitações desta inspeção, não foi possível determinar se são sinais de esmagamento ou mera desagregação.

Figura 41 – Umidade na base do P4



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 42 -Deslocamento na base do P2



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 43 – Manchas de umidade no P2



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 44 – Avaria no topo do P4



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 45 – Desplacimento na base do P1



Fonte: Autoria própria (2025).

Os blocos de coroamento 02 e 04 apresentam elevado grau de umidade, decorrente do contato constante com o solo úmido ao seu redor. Observa-se, nessas regiões, a coloração esverdeada típica do limo — crescimento de microrganismos como algas, musgos ou fungos, favorecido por superfícies úmidas, sombreadas e com pouca ventilação. Ressalta-se que não foram identificadas trincas nesses elementos, o que pode estar associado ao maior cobrimento de concreto exigido pela Tabela 7.2 da NBR 6118:2023 para elementos em contato direto com o solo, cujo valor mínimo é de 45 mm. Esse cobrimento mais espesso contribui para a proteção das armaduras contra a umidade e agentes agressivos, aumentando a durabilidade da estrutura. É notório também o maior grau de umidade nos elementos mais ao Leste, devido ao fluxo de água do córrego vindo daquela direção.

Figura 46 - Umidade no Bloco 04



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 47 - Umidade no Bloco 02



Fonte: Autoria própria (2025).

As vigas de travamento entre os blocos também apresentam manchas de umidade, com exceção da localizada entre os blocos 01 e 03. Esta, por sua vez, apresenta cobertura insuficiente na face inferior, com exposição significativa da armadura longitudinal, além de uma pequena falha de concretagem em outro ponto de sua extensão.

Figura 48 - Manchas de umidade em viga de travamento ao norte



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 49 - Umidade na Viga de travamento ao sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 50 - Exposição de armadura em viga de travamento ao Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 51 - Falha de concretagem em viga de travamento ao Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 52 - Exposição de armadura em viga de travamento ao Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

Por fim, condição crítica foi identificada nas duas vigas de travamento secundárias, que cruzam no sentido Leste-Oeste as duas pontes da Avenida NS-02. Observa-se intenso deslocamento do cobrimento de concreto, com corrosão das armaduras, chegando ao estágio de rompimento de estribos. Há também extensa formação de limo, atribuída à maior exposição às intempéries na porção não protegida por laje. Ainda mais, foram observados pontos com pequena falha de concretagem e cobrimento insuficiente.

Figura 53 - Exposição e corrosão de armadura na viga de travamento ao Norte



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 54 - Exposição de armadura em viga de travamento secundária ao Norte



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 55 - Corrosão e rompimento de armadura de viga de travamento secundária ao Norte



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 56 - Exposição de armadura viga de travamento secundária ao Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 57 - Formação de Limo na viga de travamento secundária ao Sul



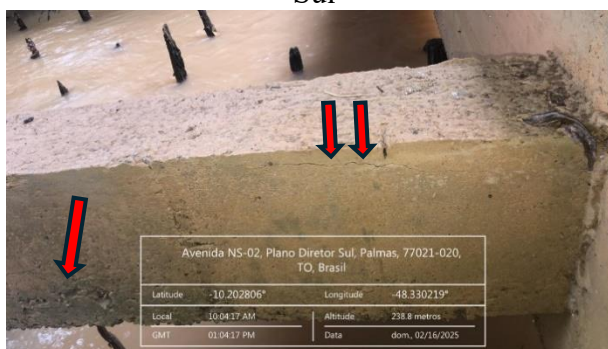
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 58 – Umidade e início de deslocamento na viga de travamento secundária ao Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 59 - Fissura e falha de concretagem na viga de travamento secundária mais ao Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

## 3.2.1.1. Metodologia GDE

| Tabela 05 – Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida NS-02 |            |                   |         |       |    |                  |
|--|------------|-------------------|---------|-------|----|------------------|
| ELEMENTO   | GDe        | GD <sub>max</sub> | ΣGDe    | GDF   | Fr | xFre             |
| Guarda corpo - Leste   | 7,2        | 7,2               | 14,1818 | 8,796 | 1  | 8,7955233        |
| Defensa - Leste  | 6,98181818 |                   |         |       |    |                  |
| Pista rolamento (e acesso)   | 8          | 8                 | 8       | 8     | 2  | 16               |
| Cabeceira/Cortina Sul  | 1,6        | 1,6               | 3,2     | 1,96  | 3  | 5,8787754        |
| Cabeceira/Cortina Norte  | 1,6        |                   |         |       |    |                  |
| Laje   | 40         | 40                | 40      | 40    | 4  | 160              |
| Transversina 2   | 4,8        | 4,8               | 20,2    | 6,372 | 4  | 25,488868        |
| Transversina 3   | 4,8        |                   |         |       |    |                  |
| Transversina 4   | 1,6        |                   |         |       |    |                  |
| Transversina 5   | 1,6        |                   |         |       |    |                  |
| Transversina 6   | 1,6        |                   |         |       |    |                  |
| Transversina 7   | 4,8        |                   |         |       |    |                  |
| Longarina 2  | 7,2        |                   |         |       |    |                  |
| Pilar 1  | 4          | 8,16              | 23,84   | 10,51 | 5  | 52,53098         |
| Pilar 2  | 8,16       |                   |         |       |    |                  |
| Pilar 3  | 4          |                   |         |       |    |                  |
| Pilar 4  | 7,68       |                   |         |       |    |                  |
| Bloco 2  | 24         | 60                | 84      | 68,03 | 4  | 272,13442        |
| Bloco 4  | 60         |                   |         |       |    |                  |
| Viga de travamento 1   | 61,8181818 | 61,8181818        | 196,918 | 80,27 | 5  | 401,35091        |
| Viga de travamento 2   | 60         |                   |         |       |    |                  |
| Viga de contraentamento Bloco 1                                    | 36         |                   |         |       |    |                  |
| Viga de contraentamento Bloco 2                                    | 6,4        |                   |         |       |    |                  |
| Viga de contraentamento Bloco 3                                    | 7,2        |                   |         |       |    |                  |
| Viga de contraentamento Bloco 4                                    | 25,5       |                   |         |       |    |                  |
| Viga Contraentamento transversal 1                                 | 61,8181818 | 61,8181818        | 121,818 | 75,52 | 4  | 302,09172        |
| Viga Contraentamento transversal 2                                 | 60         |                   |         |       |    |                  |
| <b>Grau de deterioração da estrutura</b>                           |            |                   |         |       | =  | <b>34,601924</b> |

Fonte: Autoria própria (2025).

O Grau de Deterioração obtido para a estrutura é classificado como médio, segundo a tabela 03, extraída de Fonseca (2007), e o prazo máximo de intervenção determinado por aquele autor é de 2 anos, devendo as próximas inspeções já terem seu prazo e natureza definidos.

A análise da tabela indica que a maior parte dos danos apresenta baixa ou média intensidade, como os observados nas vigas transversinas. No entanto, manifestações relevantes em elementos estruturais de maior importância contribuíram para a elevação do valor final de dano da estrutura — destacando-se a eflorescência em grandes áreas da laje e os diversos comprometimentos nas vigas de travamento. No que se refere às fissuras, especialmente as encontradas nos pilares, ressalta-se a dificuldade na definição precisa do grau de dano, uma vez que essa avaliação exige o conhecimento da causa da fissuração (para aplicação do fator de ponderação) e da classe do concreto (para comparação com os limites máximos de abertura estabelecidos).

Vale pontuar que algumas falhas notórias não entram no cálculo da metodologia em questão por serem de ordem funcional, como a insuficiência de comprimento do guarda-corpo e o acentuado desnível na transição terraplano-tabuleiro, embora afetem a qualidade de serviço da obra.

### 3.2.1.2. Metodologia DNIT

Tabela 06 – Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida NS-02

| <b>DNIT 010/2004</b> |                          |   |
|----------------------|--------------------------|---|
| Lajes                |                          | - Grande incidência de eflorescência e infiltração, podendo ter causado alguma insuficiência estrutural dada o carreamento de compostos da pasta de cimento |
| NT                   | 3<br>(Boa aparentemente) |   |
| Vigamento principal  |                          | - Algumas eflorescências e pequenas falhas de concretagem que geram danos, mas não atingem a integridade da estrutura                                       |
| NT                   | 4<br>(Boa)               |   |
| Mesoestrutura        |                          |   |

|                            |                          |   |
|----------------------------|--------------------------|---|
| NT                         | 4<br>(Boa)               | -Fissuras dentro dos limites permitidos na norma, pequenas falhas de concretagem e umidade na base que danificam os pilares, mas não expõem sinais de comprometimento da estabilidade da Obra.  |
| Infraestrutura             |                          | -Alta exposição das armaduras das vigas de travamento, nitidamente causando certa insuficiência estrutural.   |
| NT                         | 3<br>(Boa aparentemente) |   |
| Pista/Acesso               |                          | -Grande desnível pista-tabuleiro, o que acentua o impacto dos veículos que passam pelo tabuleiro e compromete a qualidade do serviço. Além de pequenos deslocamentos e fissuras no guarda-corpo, causando danos sem comprometer a estrutura |
| NT                         | 4<br>(Boa)               |   |
| <b>Nota técnica da OAE</b> |                          | <b>3</b>  |

Fonte: Autoria própria (2025).

A nota técnica final da Ponte a classifica como aparentemente boa, caracterizando-a como uma obra potencialmente problemática, devendo a evolução dos problemas serem acompanhados por meio de inspeções rotineiras para que seja evitado o agravamento dos danos já instalados. Nestes casos, o DNIT permite que a recuperação seja postergada, desde que haja observação sistemática da Obra.

### 3.2.2. Sentido Norte-Sul

As irregularidades identificadas nesta OAE são semelhantes às observadas na estrutura abordada no tópico anterior, apresentando, porém, variações em sua intensidade — algumas mais acentuadas, outras mais brandas — devido às características semelhantes entre ambas. No tabuleiro, destacam-se três anomalias recorrentes: desnível na laje de transição da ponte, presença de trincas na região das juntas de dilatação e insuficiência no comprimento dos elementos de proteção.

Figura 60 - Insuficiência de comprimento no Guarda-Corpo



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 61 - Trinca na região da junta



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 62 - Desnível do tabuleiro



Fonte: Autoria própria (2025).

Na laje também foram observadas extensas manchas de eflorescência, acompanhadas por pequenas formações de estalactites. Esse fenômeno ocorre quando a água penetra na estrutura e dissolve o hidróxido de cálcio presente no concreto. Ao migrar para a face inferior da laje e entrar em contato com o ar, esse composto reage com o dióxido de carbono atmosférico, formando carbonato de cálcio, que se cristaliza e se deposita na superfície em forma de pequenos pingentes. O carreamento de compostos do concreto diminui a durabilidade da peça ao torná-la mais porosa, e, conseqüentemente, mais suscetível a ataques de agentes agressivo.

No entanto, diferentemente da ponte analisada anteriormente, não foi constatada percolação de água durante o período chuvoso.

Figura 63 - Eflorescências na laje



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 64 - Eflorescências na laje



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 65 - Eflorescências na laje



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 66 - Eflorescências na laje



Fonte: Autoria própria (2025).

Nas cortinas, tanto Sul quanto Norte, foram identificadas manchas brancas de eflorescência ao longo de toda a extensão longitudinal dos elementos. Possivelmente ocasionada pela umidade do solo arrimado. Além disso, foram observados pontos com exposição da armadura transversal, decorrente cobrimento de concreto insuficiente.

Figura 67 - Exposição da armadura



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 68 - Eflorescência e exposição da armadura



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 69 - Manchas de eflorescência



Fonte: Autoria própria (2025).

Em todas as vigas transversinas foram identificadas manchas de umidade. Nas vigas 01 e 02, verificam-se trechos com cobertura de concreto abaixo do mínimo estabelecido pela ABNT NBR 6118-2023, resultando na exposição da armadura transversal. Além disso, a viga 02 apresenta uma pequena falha de concretagem, evidenciando deficiência na execução do elemento estrutural. Fatores que também possuem o potencial de afetar a durabilidade da estrutura.

Figura 70- Falha de concretagem



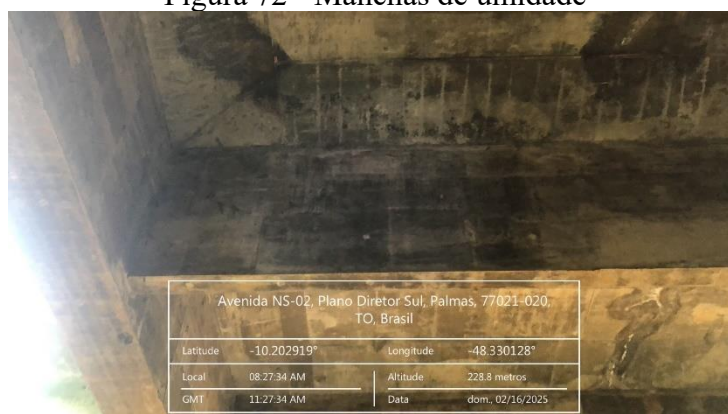
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 71 - Mancha de umidade e exposição da armadura



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 72 - Manchas de umidade

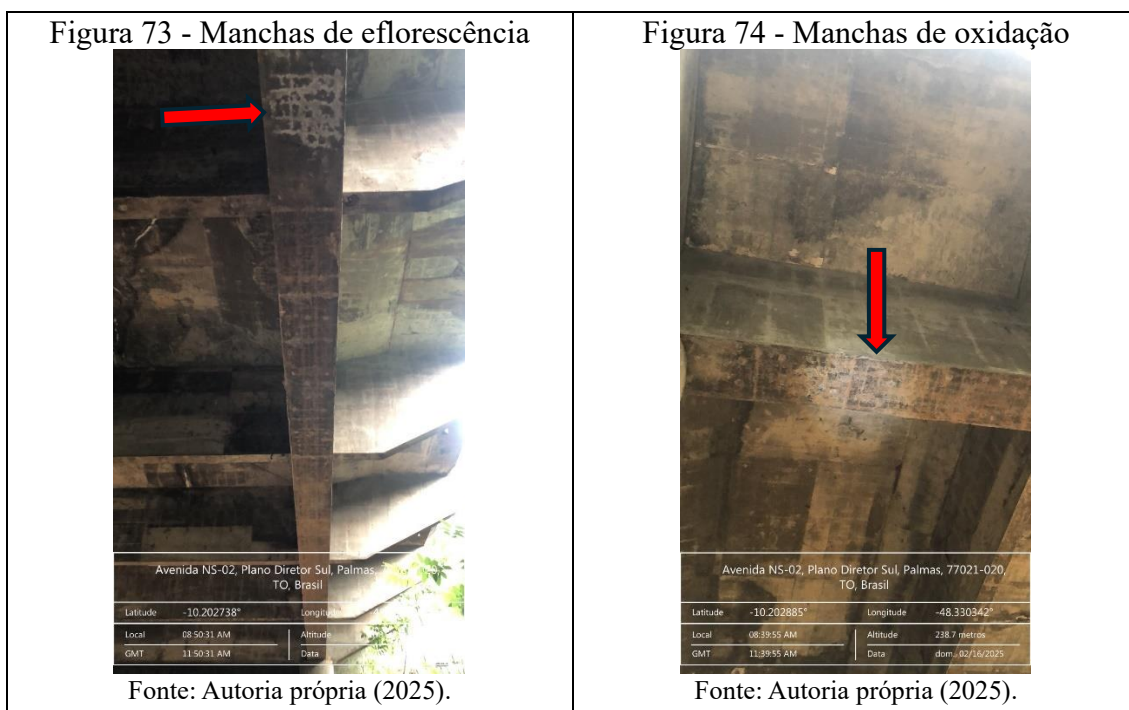


Fonte: Autoria própria (2025).

Nas longarinas, a manifestação mais significativa observada foi a presença de manchas de oxidação dispostas em padrões paralelos, tanto no sentido longitudinal quanto transversal, formando um aspecto quadriculado. Além disso, em igual aparência quadriculada foram encontradas manchas de eflorescência.

A fim de oferecer maior rigidez e resistência à flexão, é provável que as vigas tenham sido concretadas simultaneamente à laje, formando um engastamento entre os elementos e resultando em vigas com seção transversal do tipo “T”. Dessa forma, é possível supor que a

mesma fonte de umidade que afetou a laje também tenha provocado, nas longarinas, as manifestações patológicas mencionadas no parágrafo anterior



Especial atenção deve ser dada às vigas de contraventamento dos blocos de coroamento, visto serem os elementos mais deteriorados da estrutura. Nelas são encontradas grandes extensões de deslocamento do cobrimento, com alta exposição da armadura e corrosão da mesma. Na viga de travamento mais ao Norte ocorreu o rompimento de estribos, onde o concreto se apresenta desagregado.

Na viga mais ao Leste, há falha de concretagem em extensão significativa, chegando ao ponto de expor armaduras. Em outros pontos desta viga, há trincas com aberturas excessivas ao longo do comprimento longitudinal acompanhando as armaduras, evidenciando o iminente deslocamento naquelas peças.

Formações de limo foram identificadas na porção central da viga situada mais a oeste. Esse fenômeno é resultante da proliferação de algas, fungos e bactérias, favorecida pela presença constante de umidade — proveniente do gotejamento concentrado de um buzinote localizado imediatamente acima — aliada à ausência de exposição solar direta

Figura 75 - Trinca acompanhando o cobrimento



Fonte: A autoria própria (2025).

Figura 76 – Exposição de armadura



Fonte: A autoria própria (2025).

Figura 77 – Exposição e corrosão de armadura



Fonte: A autoria própria (2025).

Figura 78 – Armadura rompida



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 79 – Armadura exposta



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 80 – Deslocamento de cobrimento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 81 – Corrosão de armadura



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 82 – Falha de concretagem



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 83 – Formação de limo



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 84 – Umidade e formação de limo



Fonte: Autoria própria (2025).

Para as vigas de travamento secundárias, o relato é o mesmo feito no tópico anterior, visto serem elementos comuns às Pontes dos dois sentidos da via.

Nos pilares, as manifestações patológicas observadas são semelhantes às da OAE analisada anteriormente. Com exceção do Pilar 03, onde não foram identificadas anomalias, os demais apresentam deslocamentos e fissuras em proporções comparáveis às da estrutura anterior. Destaca-se o deslocamento localizado no topo do Pilar 04, imediatamente acima da viga travessa. Devido às limitações do método de inspeção visual, não foi possível determinar se os deslocamentos observados no topo do pilar estão associados a ações de carregamento.

Figura 85 - Fissuras horizontais marcadas em branco



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 86 - Deslocamento e exposição de armadura no P1



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 87 - Deslocamento no topo do P2



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 88 - Exposição de armadura no topo do P4



Fonte: Autoria própria (2025).

Os blocos de coroamento apresentam manchas de umidade, em razão do contato constante com o solo úmido, evidenciando possível falha de impermeabilização. Nos blocos

02, 03 e 04, observa-se insuficiência de cobrimento, resultando na exposição das extremidades superiores das armaduras longitudinais, que já apresentam sinais iniciais de corrosão.

Figura 89 - Exposição de Armadura



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 90 - Umidade no bloco e abertura de fenda com a viga de travamento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 91 - Exposição e corrosão de armadura



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 92 - Manchas de umidade



Fonte: Autoria própria (2025).

Por último, há ponto na parte Norte em que a estrutura de contenção do tipo Gabião passou a ceder. Esse processo pode estar relacionado à perda de confinamento do solo de apoio, à saturação do terreno adjacente ou à ausência de drenagem eficaz. Pode comprometer a estabilidade global da contenção, com reflexos negativos na integridade do talude.

Figura 93 - Aterro cedendo próximo a Bloco de coroamento



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 94 - Aterro cedendo próximo a Bloco de coroamento



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 95 - Aterro cedendo próximo a Bloco de coroamento



Fonte: Autorial própria (2025).

## 3.2.2.1. Metodologia GDE

Tabela 07 – Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida NS-02

| ELEMENTO                           | Gde     | Gdemax   | $\Sigma$ Gde | Gdf   | Fr | xFre       |
|------------------------------------|---------|----------|--------------|-------|----|------------|
| Laje                               | 16      | 16       | 16           | 16    | 4  | 64         |
| Transversina 2                     | 4,8     | 7,542857 | 13,3429      | 9,035 | 4  | 45,1736152 |
| Transversina 3                     | 7,54286 |          |              |       |    |            |
| Longarina 1                        | 10,2857 | 10,28571 | 20,5714      | 12,6  | 5  | 62,9868791 |
| Longarina 2                        | 10,2857 |          |              |       |    |            |
| Pilar 1                            | 27,4286 | 27,42857 | 78,8571      | 35,26 | 5  | 176,279201 |
| Pilar 2                            | 27,4286 |          |              |       |    |            |
| Pilar 4                            | 24      |          |              |       |    |            |
| Bloco 1                            | 24      | 56,74419 | 121,108      | 70,22 | 4  | 280,888403 |
| Bloco 2                            | 12,3636 |          |              |       |    |            |
| Bloco 3                            | 56,7442 |          |              |       |    |            |
| Bloco 4                            | 28      |          |              |       |    |            |
| Viga de contraventamento Bloco 1   | 84      | 84       | 211,857      | 106,4 | 5  | 531,84446  |
| Viga de contraventamento Bloco 2   | 37,7143 |          |              |       |    |            |
| Viga de contraventamento Bloco 3   | 55      |          |              |       |    |            |
| Viga de contraventamento Bloco 4   | 35,1429 |          |              |       |    |            |
| Cabeceira/Cortina Sul              | 6,72    | 6,72     | 13,44        | 8,23  | 3  | 24,6908566 |
| Cabeceira/Cortina Norte            | 6,72    |          |              |       |    |            |
| Viga contraventamento secundária 1 | 62,7586 | 62,75862 | 122,759      | 76,57 | 4  | 306,299521 |
| Viga contraventamento secundária 2 | 60      |          |              |       |    |            |
| Grau de deterioração da estrutura  |         |          |              |       | =  | 43,8871452 |

Fonte: Autoria própria (2025).

O Grau de Deterioração obtido para a estrutura é classificado como médio, segundo a tabela 03, extraída de Fonseca (2007). Porém já se encontra perto do limite para ser considerado como alto grau de deterioração. O prazo máximo de intervenção determinado por aquele autor é de 2 anos, devendo as próximas inspeções já terem seu prazo e natureza definidos.

Observa-se que, embora o número de elementos deteriorados seja inferior ao da ponte no sentido oposto, uma vez que não foram identificados danos no tabuleiro que possam ser quantificados por esta metodologia, esta OAE apresenta um grau de degradação mais significativo. Isso se deve, principalmente, aos danos nas vigas de travamento, que tiveram um impacto decisivo no cálculo final da degradação. Visto que vigas de travamento são elementos de alta relevância estrutural, em contraste com os componentes do tabuleiro, que, em sua maioria, possuem função complementar.

Vale pontuar que algumas falhas notórias não entram no cálculo da metodologia em questão por serem de ordem funcional, como a insuficiência de comprimento do guarda-corpo e o acentuado desnível na transição terraplano-tabuleiro, embora afetem a qualidade de serviço da obra.

### 3.2.2.2. Metodologia DNIT

Tabela 08 – Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida NS-02

| DNIT 010/2004       |                          |  |
|---------------------|--------------------------|--|
| Lajes               |                          | - Grande incidência de eflorescência e infiltração, podendo ter causado alguma insuficiência estrutural dada o carregamento de compostos da pasta de cimento                                   |
| NT                  | 3<br>(Boa aparentemente) |  |
| Vigamento principal |                          | - Algumas eflorescências e pequenas falhas de concretagem que geram danos, mas não atingem a integridade da estrutura  |
| NT                  | 4<br>(Boa)               |  |
| Mesoestrutura       |                          | -Fissuras dentro dos limites permitidos na norma, pequenas falhas de concretagem e umidade na base que danificam os pilares, mas não expõem sinais de comprometimento da estabilidade da Obra. |
| NT                  | 4<br>(Boa)               |  |
| Infraestrutura      |                          | -Alta exposição das armaduras das vigas de travamento, nitidamente causando certa insuficiência estrutural.<br><br>-Estrutura de gabião começando a ceder                                      |
| NT                  | 3<br>(Boa aparentemente) |  |
| Pista/Acesso        |                          |  |

|                            |            |   |
|----------------------------|------------|---|
| NT                         | 4<br>(Boa) | -Grande desnível pista-tabuleiro, o que acentua o impacto dos veículos que passam pelo tabuleiro e compromete a qualidade do serviço. Além de pequenos deslocamentos e fissuras no guarda-corpo, causando danos sem comprometer a estrutura |
| <b>Nota técnica da OAE</b> |            | <b>3</b>  |

Fonte: A autoria própria (2025).

A nota técnica final da Ponte a classifica como aparentemente boa, caracterizando-a como uma obra potencialmente problemática, devendo a evolução dos problemas serem acompanhados por meio de inspeções rotineiras para que seja evitado o agravamento dos danos já instalados. Nestes casos, o DNIT permite que a recuperação seja postergada, desde que haja observação sistemática da Obra.

As observações e notas são as mesmas da Ponte no sentido oposto, visto que as manifestações e elementos de incidência são os mesmos. Apenas alterando o grau, o que não chegou a influir nesta classificação por ser predominantemente qualitativa.

### 3.3. PONTES DA AVENIDA TEOTÔNIO SEGURADO

Por estarem localizadas em uma avenida com quatro faixas de tráfego por sentido, as pontes deste tópico apresentam maior largura de tabuleiro, o que resulta em um número mais elevado de elementos estruturais: 09 pilares, 04 vigas longarinas e 07 transversinas. Apesar do número ímpar de pilares, distribuídos em três fileiras, nenhum deles se encontra submerso, sendo seis posicionados ao sul e três ao norte. Outra peculiaridade dessas OAE's é a presença, na região do canteiro central entre os dois sentidos da via, da vazão proveniente da drenagem urbana, que se soma à do Córrego Brejo Comprido.

Figura 96 - Vista aérea das Pontes da Avenida Teotônio Segurado



Fonte: Almeida (2021).

### 3.3.1. Sentido Sul-Norte

O passeio lateral apresenta elevado grau de deterioração, com intensa desagregação das placas de concreto do calçamento. A inspeção, realizada após dia de chuva, evidenciou deficiência no sistema de drenagem da região, sendo observados diversos pontos de empoçamento ao longo de toda a extensão, além do crescimento de vegetação rasteira.

Figura 97 - Crescimento de vegetação



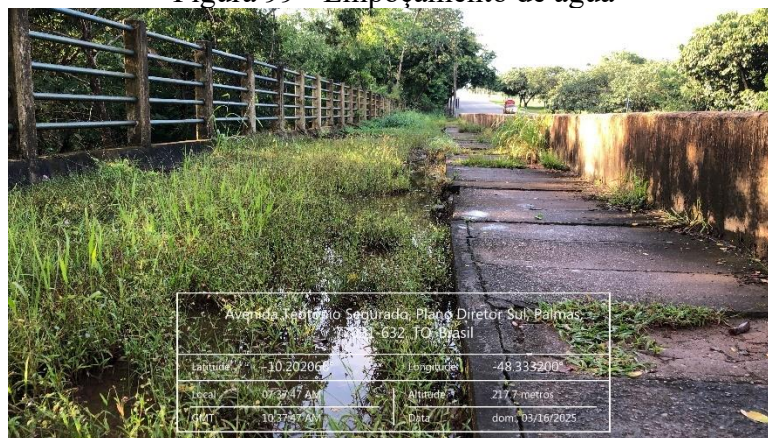
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 98 - Degradação do calçamento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 99 - Empoçamento de água



Fonte: Autoria própria (2025).

O guarda-corpo apresenta manifestações patológicas ao longo sua extensão, incluindo manchas extensas de umidade, fissuras localizadas e deslocamentos pontuais do cobrimento de concreto. Esses danos indicam possível deficiência de impermeabilização e exposição prolongada às intempéries, favorecendo processos de deterioração superficial e, potencialmente, o início de corrosão nas armaduras internas, haja vista a exposição de armadura devido ao deslocamento.

Figura 100 - Deslocamento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 101 - Manchas de umidade



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 102 - Manchas de umidade



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 103 – Fissura no guarda-corpo



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 104 - Fissura no guarda-corpo



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 105 - Fissura no guarda-corpo



Fonte: Autoria própria (2025).

A porção inicial da barreira rígida representa risco à segurança viária, devido à ausência de transição adequada que atenuar impactos, além da presença de armaduras expostas com extremidades salientes. O pavimento adjacente apresenta irregularidades leves e desgaste superficial, bem como acúmulo de água em alguns pontos, condição que pode favorecer a ocorrência de aquaplanagem.

O pavimento apresenta trincas nas regiões das cabeceiras, podendo indicar movimentação diferencial entre o aterro e o tabuleiro, o que teria gerado tensões de tração no revestimento asfáltico, resultando em sua fissuração.

Figura 106 - Exposição de pontas de armadura



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 107 - Acúmulo de água no pavimento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 108 - Trincas no pavimento



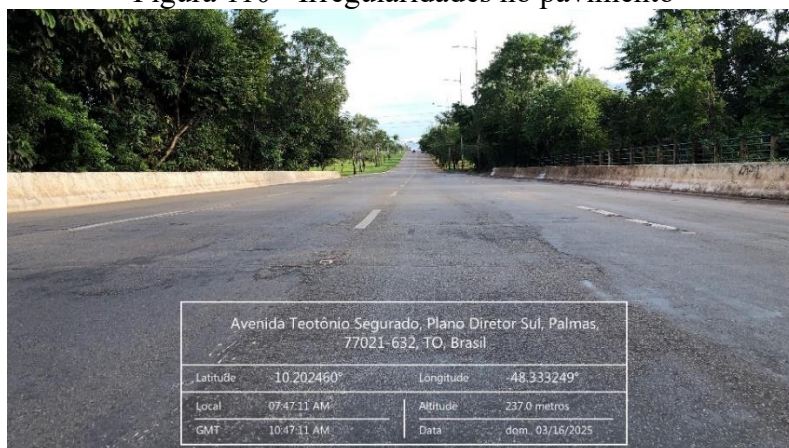
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 109 - Irregularidades no pavimento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 110 - Irregularidades no pavimento



Fonte: Autoria própria (2025).

Na laje, observam-se pontos de umidade e formações de eflorescência, com maior incidência na porção Leste, imediatamente abaixo do passeio da ponte. Os buzinotes apresentam rompimento da porção externa e manchas de oxidação ao redor das saídas. As cortinas Norte e Sul exibem manifestações similares, porém com menor intensidade.

Os fatos narrados acima denunciam a má drenagem como fator causador de grande deterioração significativa na OAE. Seja por obstrução/rompimento dos dispositivos de escoamento ou por seu mau posicionamento, a água pluvial tem percolado livremente e em contato direto com a massa de concreto. Essa condição tem contribuído para o surgimento dos danos verificados no balanço da laje, conforme ilustrado abaixo.

Figura 111 - Eflorescência na laje



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 112 - Formação de limo



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 113 - Eflorescência na laje



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 114 - Manchas de eflorescência



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 115 - Eflorescência e ausência de buzinode



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 116 - Ausência de buzinode



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 117 - Manchas de eflorescência



Fonte: Autoria própria (2025).

As vigas encontram-se, em geral, em bom estado de conservação. A longarina 01 apresenta pontos com cobertura deficiente e manchas na face externa; a longarina 02 possui o mesmo problema de cobertura, além de pequena falha de concretagem; e a longarina 04 apresenta sinais de umidade na porção Leste, já evidenciados na Figura 111. Quanto às transversinas, foram observados: cobertura deficiente na viga 01, mancha de umidade na viga 05 e eflorescência na viga 07.

Figura 118 - Manchas na Longarina 01



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 119 - Exposição de armadura e manchas na Longarina 01



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 120 - Exposição de armadura na Longarina 02



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 121 - Umidade na Longarina 04



Fonte: Autoria própria (2025).

Os pilares representam a família de elementos com maior grau de deterioração nesta OAE. Com exceção do Pilar 03, todos os demais apresentam algum nível de deslocamento em suas bases e/ou topos, sendo frequente a exposição significativa de armaduras transversais e longitudinais. Em alguns casos, observa-se inclusive o rompimento de estribos e perda de seção transversal do elemento, comprometendo sua integridade estrutural.

O acentuado deslocamento do concreto é decorrente da reação de oxirredução nas armaduras, que gera produtos de corrosão volumosos. Essa expansão exerce pressão sobre o cobrimento, provocando tensões de tração que excedem a resistência do concreto e resultam em seu rompimento. O deslocamento expõe a armadura e acelera ainda mais o processo.

A causa da oxidação observada não é evidente. Uma hipótese plausível é a maior porosidade do concreto na base dos pilares, possivelmente decorrente de falhas de execução, como adensamento inadequado. Essa condição teria facilitado a absorção de umidade do solo por capilaridade, promovendo o rompimento da película passivadora da armadura e, conseqüentemente, iniciando o processo corrosivo descrito anteriormente. Uma segunda hipótese, embora muito menos provável, seria o contato com compostos agressivos como a ureia, possivelmente proveniente da urina de desabrigados ou de animais.

Figura 122 - Indício de deslocamento no P1



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 123 - Deslocamento no P2



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 124 - Deslocamento no P4



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 125 - Corrosão e rompimento de estribo no P4



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 126 – Deslocamento e corrosão no P5



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 127 - Deslocamento no P6



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 128 - Corrosão e rompimento de estribo no P6



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 129 - Desplacamento no P7



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 130 – Rompimento de concreto no topo do P7



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 131 - Desplacamento no P8



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 132 - Deslocamento no P9



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 133 - Deslocamento no P9



Fonte: Autoria própria (2025).

Em relação aos blocos de coroamento e suas respectivas vigas de travamento, apenas um de cada foi visualizado durante a inspeção: o Bloco 04 e a viga que o conecta ao Bloco 05. O Bloco 04 requer atenção especial, pois se encontra significativamente exposto em razão da perda de solo ao seu redor causada por processo erosivo, tal fenômeno pode resultar na perda de apoio dos elementos de fundação e conseqüente redução da capacidade de carga. Quanto à viga mencionada, não foram identificadas manifestações patológicas.

Figura 134 - Erosão em torno do Bloco 04



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 135 - Erosão em torno do Bloco 04



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 136 - Erosão em torno do Bloco 04



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 137 - Erosão em torno do Bloco 04



Fonte: Autoria própria (2025).

Como parâmetro para avaliar a evolução do fenômeno erosivo, utiliza-se a Figura 137, extraída de Almeida (2021), na qual se observa que, à época, não havia indícios de início do

processo. Dessa forma, infere-se que a erosão teve início recentemente e vem apresentando evolução acelerada.

Figura 138 - Entorno do Bloco 04



Fonte: Almeida (2021).

### 3.3.1.1. Metodologia GDE

Tabela 09 – Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida Teotônio Segurado

| ELEMENTO                   | Gde       | Gdemax    | $\Sigma Gde$ | Gdf       | Fr | xFre     |
|----------------------------|-----------|-----------|--------------|-----------|----|----------|
| Guarda corpo – Leste       | 73,608247 |           |              |           |    |          |
| Defensa – Oeste            | 0         | 73,608247 | 78,408247    | 75,827859 | 1  | 75,82786 |
| Defensa – Leste            | 4,8       |           |              |           |    |          |
| Pista rolamento (e acesso) | 8         | 8         | 8            | 8         | 2  | 16       |
| Aterro/talude Norte        | 6,72      | 30        | 36,72        | 32,629831 | 3  | 97,88949 |
| Aterro/talude Sul          | 30        |           |              |           |    |          |
| Laje                       | 33,6      | 33,6      | 33,6         | 33,6      | 4  | 134,4    |
| Transversina 1             | 4,8       | 4,8       | 12,8         | 6,1188234 | 4  | 24,47529 |

|                                   |     |    |       |           |   |          |
|-----------------------------------|-----|----|-------|-----------|---|----------|
| Transversina 5                    | 4,8 |    |       |           |   |          |
| Transversina 7                    | 3,2 |    |       |           |   |          |
| Longarina 1                       | 28  | 28 | 58    | 34,489379 | 5 | 172,4469 |
| Longarina 2                       | 6   |    |       |           |   |          |
| Longarina 4                       | 24  |    |       |           |   |          |
| Pilar 1                           | 24  | 84 | 449,8 | 113,11187 | 5 | 565,5593 |
| Pilar 2                           | 4,8 |    |       |           |   |          |
| Pilar 4                           | 84  |    |       |           |   |          |
| Pilar 5                           | 84  |    |       |           |   |          |
| Pilar 6                           | 84  |    |       |           |   |          |
| Pilar 7                           | 30  |    |       |           |   |          |
| Pilar 8                           | 55  |    |       |           |   |          |
| Pilar 9                           | 84  |    |       |           |   |          |
| Grau de deterioração da estrutura |     |    |       |           |   |          |

Fonte: Autoria própria (2025).

O Grau de Deterioração obtido para a estrutura é classificado como médio, segundo a tabela 03, extraída de Fonseca (2007). Porém já se encontra perto do limite para ser considerado como alto grau de deterioração. O prazo máximo de intervenção determinado por aquele autor é de 2 anos, devendo as próximas inspeções já terem seu prazo e natureza definidos.

Cabe destacar que, embora esta ponte apresente menor variedade de manifestações patológicas em comparação às estruturas avaliadas anteriormente, seu grau de deterioração é mais elevado. Isso se explica pela metodologia do Grau de Deterioração Estrutural (GDE), que utiliza médias ponderadas, atribuindo maior peso aos elementos com maior relevância estrutural. No caso em questão, a presença de corrosão e o elevado grau de deslocamento na base da maioria dos pilares foram determinantes para a elevação do índice final, uma vez que essa família de elementos possui fator de relevância estrutural máximo, assim como a patologia de corrosão das armaduras recebe o maior fator de ponderação dentro do método

Outro ponto a observar é a limitação do método quanto a Processos erosivos, não possuindo na sua tabela de danos o processo erosivo ao redor de Blocos de coroamento, conforme se observa do Anexo C. Assim, ponto relevante da OAE deixou de ser considerado no cálculo do grau de deterioração.

## 3.3.1.2. Metodologia DNIT

Tabela 10 – Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida Teotônio Segurado

| DNIT 010/2004              |                          |  |
|----------------------------|--------------------------|--|
|                            | Lajes                    | -Eflorescência na Laje, mas sem formação de estalactite ou outro sinal de avanço da manifestação.  |
| NT                         | 4<br>(Boa)               |  |
|                            | Vigamento principal      | -Pequenos pontos de cobrimento insuficiente e umidade excessiva por má drenagem, sem gerar comprometimento.  |
| NT                         | 4<br>(Boa)               |  |
|                            | Mesoestrutura            | -Grande incidência de armadura exposta, sem grande perda de seção na armadura principal.<br>-Cobrimento deficiente em vários Pontos.   |
| NT                         | 3<br>(Boa aparentemente) |  |
|                            | Infraestrutura           | -Erosão Junto a Bloco de coroamento causando danos, mas sem sinal evidente de comprometimento.   |
| NT                         | 3<br>(Boa aparentemente) |  |
|                            | Pista/Acesso             | -Irregularidades e pequeno desnível no pavimento que acentuam cargas acidentais sem causar grandes impactos.<br>-Trincas na região da junta de dilatação, sem possibilidade de análise mais acurada. |
| NT                         | 4<br>(Boa)               |  |
| <b>Nota técnica da OAE</b> |                          | <b>3</b>   |

Fonte: Autoria própria (2025).

A nota técnica final da Ponte a classifica como aparentemente boa, caracterizando-a como uma obra potencialmente problemática, devendo a evolução dos problemas serem acompanhados por meio de inspeções rotineiras para que seja evitado o agravamento dos danos já instalados. Nestes casos, o DNIT permite que a recuperação seja postergada, desde que haja observação sistemática da Obra.

Aqui, a limitação a ser observada é a não consideração dos elementos de segurança e calçamento do passeio, que estão com grau considerável de comprometimento, conforme Figuras 96 a 104. Isso se deve ao fato de serem fatores de ordem predominantemente funcional, o que não é o foco da metodologia em questão, embora comprometa a segurança daqueles que ali transitam.

### 3.3.2. Sentido Norte-Sul

No tabuleiro da estrutura, a maior concentração de manifestações patológicas encontra-se no guarda-corpo, o qual apresenta sinais de exposição ao tempo sem a devida manutenção, tais como: manchas escurecidas ao longo de toda sua extensão, quebra do material de base, trincas verticais, pequenos deslocamentos, rachaduras e exposição de armaduras com extremidades salientes. Tensões nas barras metálicas causadas por queda de troncos de árvore e falta de impermeabilização são os maiores causadores desses achados.

Figura 139 – Quebra do Material de Base



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 140 – Manchas escuras



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 141 – Trinca vertical



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 142 - Deslocamento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 143 – Rachadura no Topo do Elemento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 144 – Quebra do topo do elemento com exposição de armadura



Fonte: Autoria própria (2025).

Na Pista de rolamento são vistas trincas na região de transição entre tabuleiro e terrapleno, além de pequeno degrau na mesma região, sinais indicativos de assentamento

diferencial entre aterro da cabeceira e tabuleiro da estrutural, que pode ser causado por falta de laje, de transição, má compactação do aterro, erosão/percolação de solo por infiltração de água, ou até mesmo movimentação térmica.

Em pontos diversos da pista de rolamento há desgaste superficial. Isso se deve à abrasão de pneumáticos, principalmente na faixa de rodas, que provoca perda progressiva do material do pavimento, tornando expostos os agregados graúdos.

Figura 145 – Trinca e desnível na pista



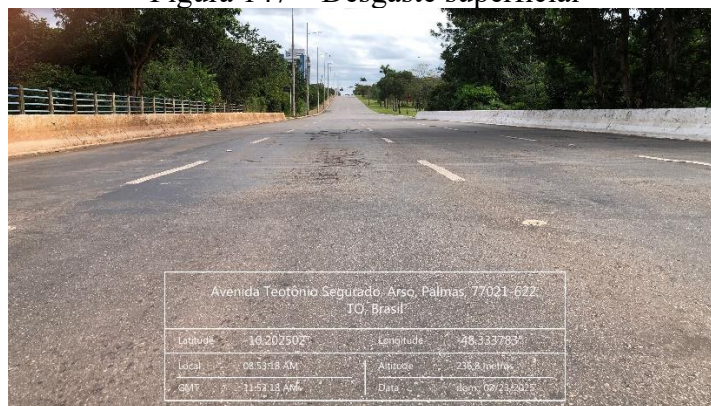
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 146 - Trinca e desnível na pista



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 147 – Desgaste superficial



Fonte: Autoria própria (2025).

Nas cortinas, tanto Norte quanto Sul, há manchas por umidade. A Cortina Norte apresenta também deslocamento em pequenas porções e corrosão em estágio inicial. Já na cortina Sul, destaca-se uma extensa mancha de eflorescência, indicativa de percolação de água e transporte de sais solúveis através da massa de concreto.

A presença de umidade em elementos em contato direto com o solo, como as cortinas de contenção, pode ser atribuída a diversos fatores, entre eles: ascensão capilar, ausência ou deficiência de drenos no talude — que impedem o alívio de pressões hidrostáticas —, bem como fissuras ou falhas de concretagem que funcionam como caminhos preferenciais para a percolação da água. Considerando as evidências observadas no tabuleiro, esta última hipótese se apresenta como a mais plausível.

Figura 148 – Deslocamento e início de corrosão na Cortina Norte



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 149 - Deslocamento e umidade na Cortina Norte



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 150 - Umidade na Cortina Norte



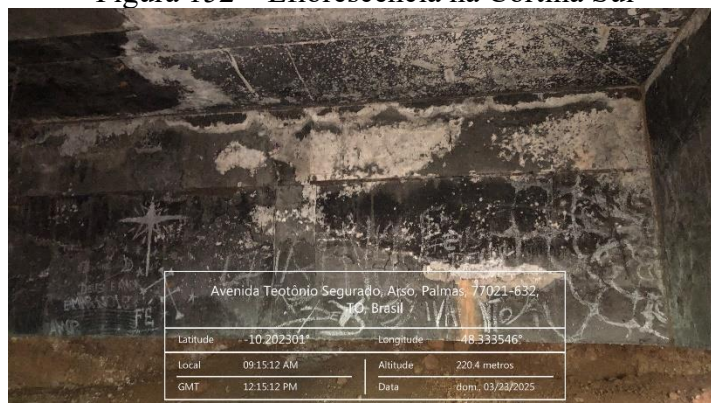
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 151 - Umidade na Cortina Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 152 – Eflorescência na Cortina Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

A laje apresenta manchas de eflorescência distribuídas em diferentes vãos da peça, embora não tenham sido identificadas formações significativas de estalactites, o que indica baixo carregamento de sais da massa de concreto. Observam-se também alguns pontos de exposição de armadura, com destaque para a ocorrência evidenciada na Figura 156, na qual é visto deslocamento significativo.

Figura 153 - Manchas de umidade



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 154 - Exposição de armaduras



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 155 - Eflorescência na laje



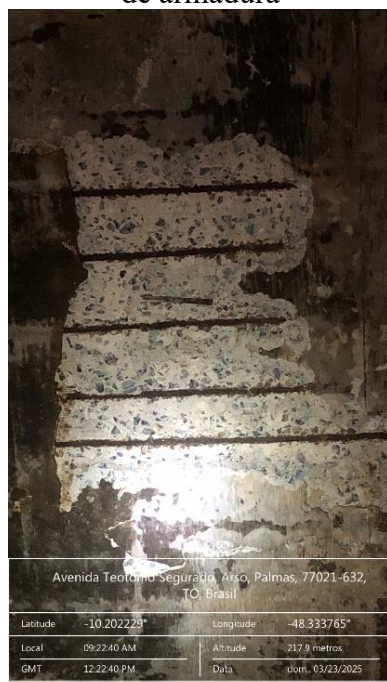
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 156 - Eflorescência e deslocamento na laje



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 157 - Deslocamento e exposição de armadura



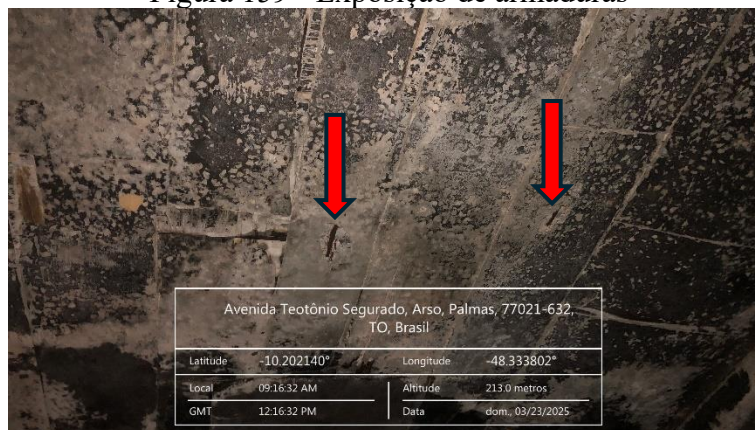
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 158 - Eflorescência na laje



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 159 - Exposição de armaduras



Fonte: Autoria própria (2025).

As vigas encontram-se, em geral, em bom estado de conservação. Nas longarinas localizadas nas extremidades (nº 01 e 04), foi identificada presença de umidade nas superfícies externas, por serem as mais expostas. Contudo, não foram observadas manifestações patológicas de maior gravidade. Quanto às transversinas, não foram observadas anomalias.

Figura 160 - Umidade na Longarina 01



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 161 - Umidade na Longarina 01



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 162 – Manchas de umidade na Longarina 02

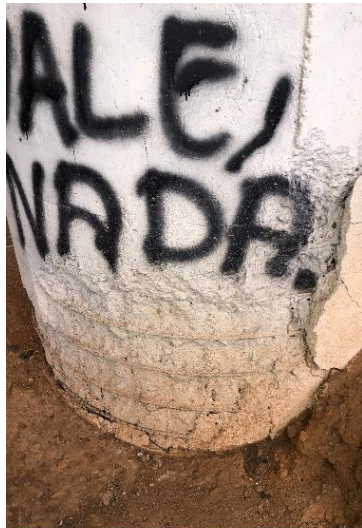


Fonte: Autoria própria (2025).

Os Pilares desta Ponte, assim como os da OAE no sentido oposto, merecem especial atenção. Todos os nove apresentam algum grau de deslocamento, a maior parte com excessiva exposição de armaduras. Leve corrosão de armaduras e pequena falha de concretagem são outras manifestações instauradas nessa família de elementos, conforme imagens abaixo. Ressalta-se que em alguns foi feita pintura após o deslocamento do cobrimento, o que dificultou a identificação de manchas de corrosão. Além do mais, o pilar central, número 05, apresenta fissuras verticais na base em torno de todo seu perímetro. Os comentários e

especulações sobre os pilares da OAE anterior se repetem aqui, dada a idêntica tipologia das manifestações encontradas.

Figura 163 – Deslocamento e exposição de armadura na base do P1



|  |              |           |                 |
|--|--------------|-----------|-----------------|
| Avenida NS-01, Arso, Palmas, 77001-970, TO, Brasil |              |           |                 |
| Latitude   | -10.202002°  | Longitude | -48.333659°     |
| Local  | 08:28:36 AM  | Altitude  | 237,6 metros    |
| GMT  | -11:28:36 AM | Data      | dom, 03/23/2025 |

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 164 – Deslocamento e exposição de armadura na base do P1



|   |              |           |                 |
|---|--------------|-----------|-----------------|
| Avenida Teotônio Segurado, Plano Diretor Sul, Palmas, 77021-632, TO, Brasil |              |           |                 |
| Latitude  | -10.202002°  | Longitude | -48.333226°     |
| Local   | 08:29:55 AM  | Altitude  | 225,0 metros    |
| GMT   | -11:29:55 AM | Data      | dom, 03/23/2025 |

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 165 - Deslocamento e exposição de armadura na base do P2



|  |              |           |                 |
|--|--------------|-----------|-----------------|
| Avenida Teotônio Segurado, Arso, Palmas, 77021-632, TO, Brasil |              |           |                 |
| Latitude   | -10.201714°  | Longitude | -48.331756°     |
| Local  | 08:32:31 AM  | Altitude  | 224,8 metros    |
| GMT  | -11:32:31 AM | Data      | dom, 03/23/2025 |

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 166 - Deslocamento e exposição de armadura na base do P3



|  |              |           |                 |
|--|--------------|-----------|-----------------|
| Avenida Teotônio Segurado, Arso, Palmas, 77021-632, TO, Brasil |              |           |                 |
| Latitude   | -10.201168°  | Longitude | -48.333172°     |
| Local  | 08:34:41 AM  | Altitude  | 228,8 metros    |
| GMT  | -11:34:41 AM | Data      | dom, 03/23/2025 |

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 167 - Deslocamento e exposição de armadura na base do P3



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 168 - Deslocamento e exposição de armadura no terço inferior do P4



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 169 - Deslocamento e exposição de armadura no terço inferior do P4



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 170 - Deslocamento e exposição de armadura no terço inferior do P5



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 171 – Fissuras ao longo do perímetro da base do P5



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 172 – Pequena falha de concretagem no P6



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 173 – Deslocamento e exposição de armadura na base do P7



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 174 - Deslocamento e exposição de armadura na base do P7



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 175 - Deslocamento e exposição de armadura na base do P8



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 176 - Deslocamento na base do P9



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 177 - Deslocamento e exposição de armadura na base do P9



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 178 - Deslocamento e exposição de armadura na base do P9



Fonte: Autoria própria (2025).

Cumprе destacar que apenas parte dos elementos de fundação se encontra visível, de forma parcial, como alguns blocos de coroamento e uma viga de travamento. Não há observações relevantes a serem feitas quanto a eles.

Na OAE em questão, tal qual a do sentido oposto, apresenta erosão do talude. Em determinados trechos, a erosão decorre do impacto e carreamento da água proveniente da drenagem do tabuleiro, que é lançada diretamente sob a estrutura por meio dos buzinetes, especialmente entre as longarinas 02 e 03. Observou-se, ainda, fuga de solo do aterro junto às cortinas de contenção, além de pontos de erosão nas margens do Córrego.

Figura 179 – Erosão por ação da água drenada



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 180 - Erosão por ação da água drenada



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 181 - Erosão por ação da água drenada



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 182 – Fuga do solo junto à cortina norte



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 183 – Fuga do material de aterro  
junto à cortina sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 184 - Fuga do material de aterro  
junto à cortina sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 185 – Erosão próxima à margem sul



Fonte: Aatoria própria (2025).

Figura 186 - Erosão próxima à margem sul



Fonte: Aatoria própria (2025).

Figura 187 - Erosão próxima à margem sul



Fonte: Aatoria própria (2025).

## 3.3.2.1. Metodologia GDE

Tabela 11 – Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida Teotônio Segurado

| ELEMENTO                                 | Gde       | Gdemax    | $\Sigma$ Gde | Gdf       | Fr | xFre            |
|--|-----------|-----------|--------------|-----------|----|-----------------|
| Guarda corpo – Leste                     | 91,153846 | 91,153846 | 99,153846    | 94,759792 | 1  | 94,75979        |
| Pista rolamento (e acesso)               | 8         | 8         | 8            | 8         | 2  | 16              |
| Cortina Norte                            | 12,363636 | 33,6      | 45,963636    | 37,850178 | 3  | 113,5505        |
| Cortina Sul                              | 33,6      |           |              |           |    |                 |
| Laje                                     | 36        | 36        | 36           | 36        | 4  | 144             |
| Longarina 1                              | 24        | 24        | 28,8         | 25,922963 | 5  | 129,6148        |
| Longarina 4                              | 4,8       |           |              |           |    |                 |
| Pilar 1                                  | 84        | 84        | 561,51765    | 114,26487 | 5  | 571,3244        |
| Pilar 2                                  | 55        |           |              |           |    |                 |
| Pilar 3                                  | 84        |           |              |           |    |                 |
| Pilar 4                                  | 30        |           |              |           |    |                 |
| Pilar 5                                  | 67,058824 |           |              |           |    |                 |
| Pilar 6                                  | 6,4       |           |              |           |    |                 |
| Pilar 7                                  | 84        |           |              |           |    |                 |
| Pilar 8                                  | 67,058824 |           |              |           |    |                 |
| Pilar 9                                  | 84        |           |              |           |    |                 |
| <b>Grau de deterioração da estrutura</b> |           |           |              |           | =  | <b>53,46247</b> |

Fonte: Autoria própria (2025).

O Grau de Deterioração obtido para a estrutura é classificado como alto, segundo a tabela 03, extraída de Fonseca (2007). O prazo máximo de intervenção determinado por aquele autor é de 1 ano, devendo as próximas inspeções especializadas já terem seu prazo e natureza definidos.

Vale observar que, embora não tenham sido encontradas manifestações em muitos elementos, como a maioria das vigas, esta OAE apresenta grau de deterioração já avançado. Isso se deve ao fato da metodologia GDE utilizar médias ponderadas em suas formulações, dando maior valor àqueles elementos estruturalmente mais relevantes. No caso em questão, o

alto grau de deslocamento na base da maioria dos pilares foi fator decisivo para elevação do valor final, isso pode ser observado na última coluna da tabela acima, onde mostra que o grau de deterioração da família de pilares multiplicado por seu fator de relevância apresenta valor muito superior às demais famílias de elementos.

Como ilustração, podemos tomar o guarda corpo de exemplo, que possui grau de deterioração muito acima do grau de deterioração da laje, mas que, ao considerar o fator de relevância estrutural, notamos pela última coluna da tabela que aquele influi muito menos que este no cálculo do GDE final. No caso dos pilares da ponte analisada, os dois números são altos: Fator de relevância e grau de deterioração.

Outro ponto a se destacar é sobre as Cortinas. A Sul, mesmo apresentando menos manifestações, possui GDE muito superior que a Norte. Isso se deve ao fator de intensidade, o método aqui utilizado emprega formulações diferentes para determinados fatores de intensidade: a partir do 03, que é o caso da manifestação da cortina sul, a fórmula utilizada tende a apresentar resultado muito superior.

Outro ponto a observar é a limitação do método quanto a processos erosivos, não possuindo na sua tabela de danos a fuga de material de aterro junto às cortinas, conforme se observa do Anexo C. Assim, ponto relevante da OAE deixou de ser considerado no cálculo do grau de deterioração.

### 3.3.2.2. Metodologia DNIT

Tabela 12 – Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida Teotônio Segurado

| DNIT 010/2004       |            |  |
|---------------------|------------|--|
| Lajes               |            | - Eflorescência, mas sem formação de estalactite ou outro sinal de avanço da manifestação.<br>-Deslocamento com significativa exposição de armadura. |
| NT                  | 4<br>(Boa) |  |
| Vigamento principal |            | -Manchas de umidade, sem gerar comprometimento.  |
| NT                  | 4<br>(Boa) |  |
| Mesoestrutura       |            |  |

|                            |                          |  |
|----------------------------|--------------------------|--|
| NT                         | 3<br>(Boa aparentemente) | -Grande incidência de armadura exposta e deslocamento na base de pilares, sem grande perda de seção na armadura principal, mas com rompimento de estribos. |
| Infraestrutura             |                          | Início de fuga do material de aterro junto às Cortinas Norte e Sul.  |
| NT                         | 4<br>(Boa)               |  |
| Pista/Acesso               |                          | -Irregularidades e pequeno desnível no pavimento que acentuam cargas acidentais sem causar grandes impactos.<br>-Abertura de fendas nas cabeceiras.        |
| NT                         | 4<br>(Boa)               |  |
| <b>Nota técnica da OAE</b> |                          | <b>3</b>   |

Fonte: Autoria própria (2025).

A nota técnica final da Ponte a classifica como aparentemente boa, caracterizando-a como uma obra potencialmente problemática, devendo a evolução dos problemas serem acompanhados por meio de inspeções rotineiras para que seja evitado o agravamento dos danos já instalados. Nestes casos, o DNIT permite que a recuperação seja postergada, desde que haja observação sistemática da Obra.

É possível notar que das cinco notas técnicas atribuídas pelo método, apenas a dos pilares é nível 03. O que reforça o entendimento do tópico anterior de que os pilares são fator relevante no resultado de inspeção desta ponte. Mais ainda, dada a gravidade em que se apresentam, cogitou-se a sua classificação em nota 02. Entretanto, pelas limitações de uma inspeção visual e menos acurada, não foi possível constatar se o atual estado em que se encontra causa significativa insuficiência estrutural. Assim, a nota atribuída foi a imediatamente superior.

### 3.4. PONTES DA AVENIDA JUSCELINO KUBITSCHK

As pontes abordadas neste tópico, assim como as anteriores, estão dispostas paralelamente entre si, com divisão dos sentidos de tráfego. Cada uma possui três faixas de rolamento e um único passeio para pedestres localizado no lado externo. A superestrutura é

composta por cinco vigas transversinas apoiadas sobre duas longarinas, além de duas cortinas localizadas nas extremidades Oeste e Leste, destinadas à contenção do talude de aterro.

A mesoestrutura é formada por quatro pilares de seção circular, sendo dois em cada margem do córrego. Nenhum elemento da infraestrutura encontra-se visível para inspeção no momento.

Figura 188: Pontes da Avenida Juscelino Kubitschek



Fonte: Soares (2021).

#### 3.4.1. Sentido Leste-Oeste

As manifestações patológicas observadas no tabuleiro concentram-se, principalmente, no calçamento do passeio e na pista de rolamento. Esta última apresenta trincas e fissuras retilíneas no sentido transversal, localizadas tanto nas regiões de juntas quanto na transição entre o tabuleiro e o terraplino. Algumas dessas aberturas permitem a infiltração de água pluvial, o que tem provocado manifestações na face inferior da laje, como eflorescências e manchas de umidade, as quais serão detalhadas mais adiante.

Figura 189 - Trincas na cabeceira Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 190 - Trincas no pavimento localizadas acima dos pilares Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 191 - Trincas no pavimento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 192 - Trincas no pavimento localizadas acima dos pilares Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 193 - Trinca na cabeceira Leste



Fonte: Autoria própria (2025).

O calçamento do passeio, formado por placas de concreto, possui manchas escuras ao longo de sua extensão, além de armadura exposta em vários pontos. Há a exposição de agregado graúdo devido à abrasão superficial, que ocasiona a remoção progressiva do material mais fino pelo atrito. Em ponto específico, o rompimento de uma das placas levou ao surgimento de buraco no passeio. O Guarda-Corpo, feito de barras metálicas, apresenta corrosão superficial em grandes extensões de sua área, devido à exposição a intempéries.

Figura 194 - Manchas de umidade no calçamento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 195 - Corrosão superficial no guarda-corpo



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 196 - Rompimento de placa do calçamento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 197 - Exposição de armadura do calçamento



Fonte: Autoria própria (2025).

As manifestações predominantes na laje estão associadas à exposição prolongada à umidade. A área mais afetada é o balanço norte, localizado imediatamente abaixo do passeio, onde há deficiência no sistema de drenagem, conforme evidenciado nas imagens XX a XX.

Nessa região, observa-se a ineficiência dos buzinos, o que tem permitido o contato constante e direto da água com a superfície da laje em concreto armado. Como consequência, verificam-se a formação de limo — formação de musgos e fungos sobre o concreto —, a ocorrência de eflorescências devido ao carreamento de sais solúveis da pasta de cimento hidratado, além de evidências de corrosão nas armaduras.

Figura 198 - Umidade ao longo do balanço Norte



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 199 - Eflorescência, limo e corrosão de armadura em ponto de buzino rompido



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 200 - Manchas de eflorescência no balanço Norte



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 201 - Eflorescência e corrosão de armadura em ponto de buzinode rompido



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 202 - Eflorescência e corrosão de armadura



Fonte: Autoria própria (2025).

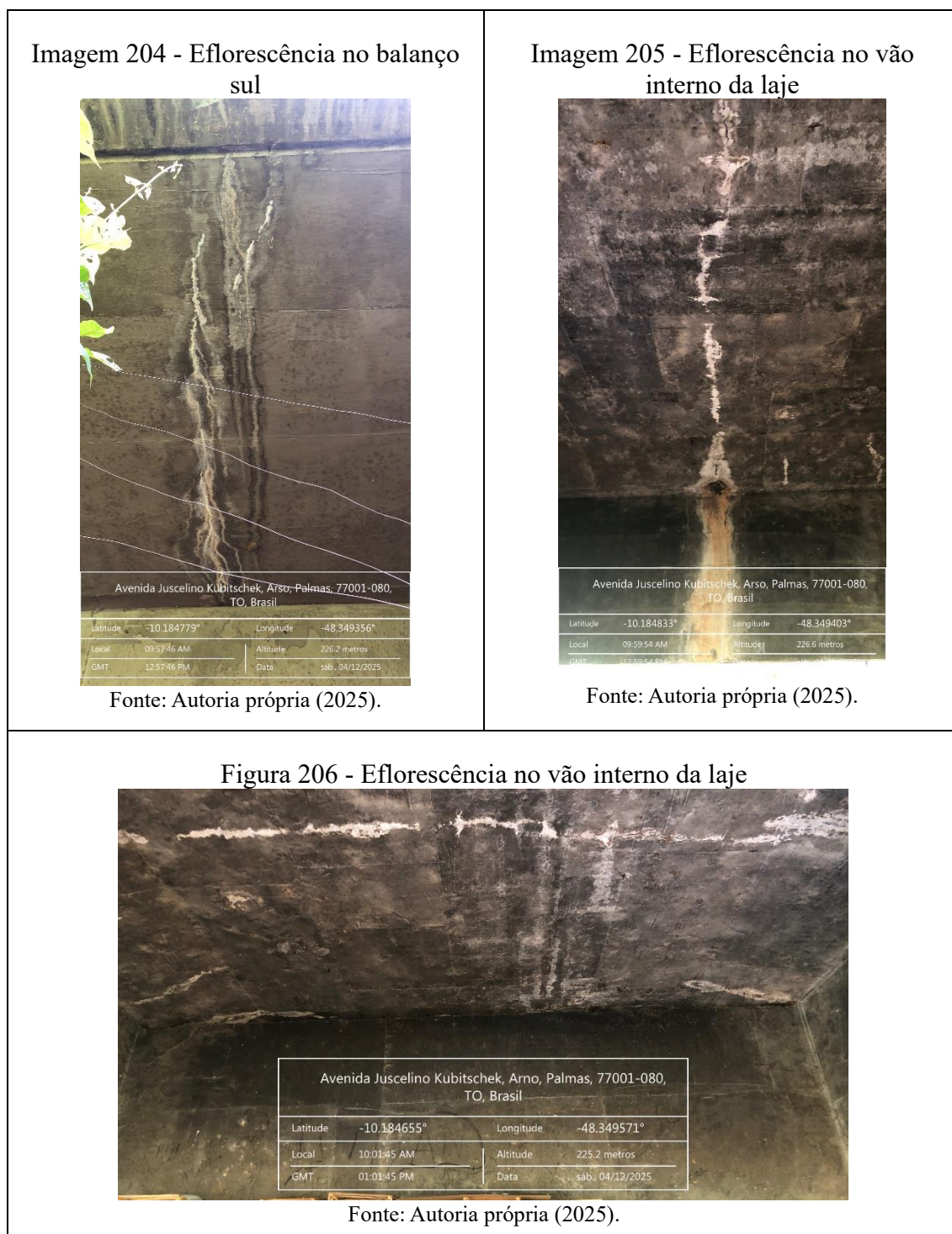
Figura 203 - Eflorescência, limo e corrosão de armadura em ponto de buzinode rompido



Fonte: Autoria própria (2025).

Na parte interna do vão da laje e no balanço sul, há formação de eflorescência em linhas transversais, consideravelmente retilíneas e paralelas entre si, como as trincas do pavimento evidenciadas nas figuras XX a XX. Como mencionado, possivelmente as referidas trincas permitiram a penetração de água das chuvas para a laje e o posterior desenvolvimento das

manifestações aqui relatadas. Em alguns pontos é possível notar a formação de pequenas estalactites, evidenciando perda moderada de massa do concreto e consequente aumento de porosidade, fator maléfico à durabilidade da peça.



Além do mais, foi identificado deslocamento do cobrimento de concreto em vãos internos da laje, tornando expostos pequenos comprimentos de armadura e agregados graúdos

do tipo seixo rolado. O que pode indicar má execução, má drenagem ou infiltração permanente. Como consequência, compromete a barreira física de proteção às armaduras.

Figura 207 - Deslocamento no vão interno da laje



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 208 - Deslocamento e exposição de armadura em vão interno da laje



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 209 - Deslocamento no vão interno da laje



Fonte: Autorial própria (2025).

As cortinas apresentam manchas esverdeadas nas extremidades laterais, causadas pelo contato constante com umidade proveniente do solo e da ineficiência do sistema de drenagem. Essa condição favoreceu a corrosão de pequenos trechos das armaduras.

Na extremidade norte e na face interna da cortina oeste, observa-se uma trinca horizontal com presença de manchas de eflorescência, possivelmente resultantes da poropressão exercida pela água retida no solo contido por esse elemento de arrimo.

Já na porção leste, verifica-se indício de fuga de material de aterro junto à base da cortina, o que pode ter ocasionado/agravado as trincas e degraus evidenciados anteriormente na cabeceira da Obra por assentamento diferencial.

Figura 210 - Eflorescência e manchas de umidade na extremidade Norte da cortina Oeste



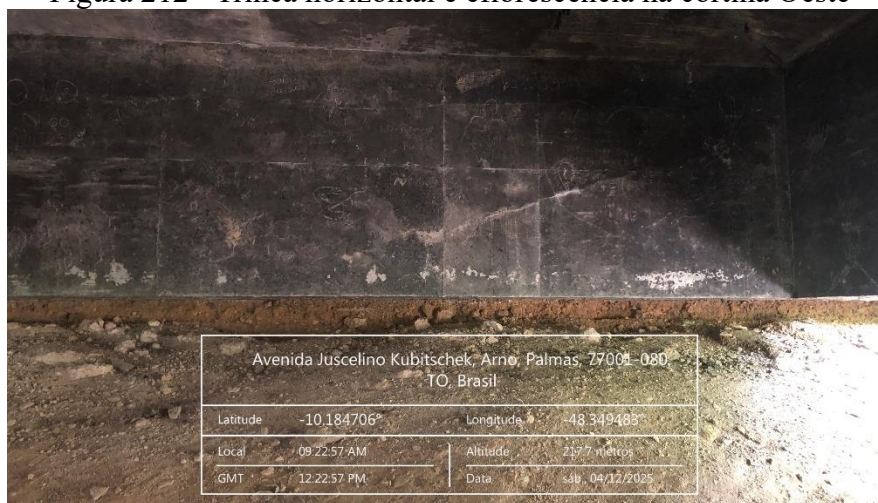
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 211 - Fuga do material de aterro abaixo da cortina Leste



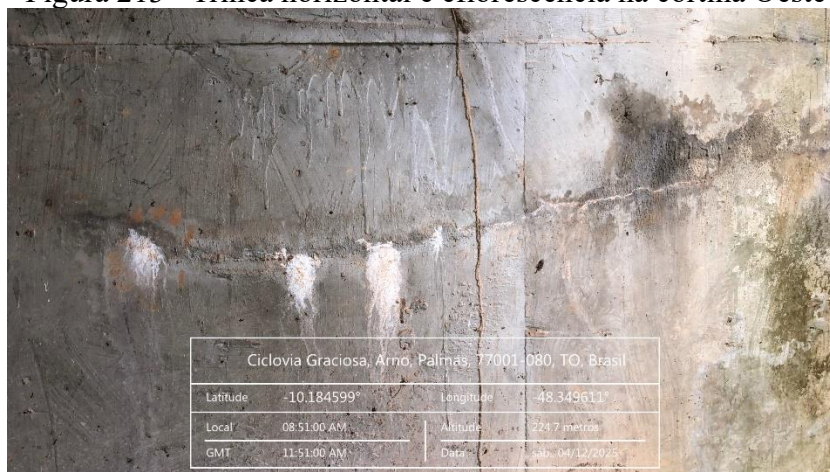
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 212 - Trinca horizontal e eflorescência na cortina Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 213 - Trinca horizontal e eflorescência na cortina Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

Os pilares, por sua vez, se encontram em grau de conservação consideravelmente bom. Apenas foram evidenciadas manchas de umidade no topo do Pilar 04 e pequena exposição de armadura por cobertura insuficiente no Pilar 03, também no topo. Ressalta-se que o Pilar 04 se encontra no lado norte, onde foram encontradas todas as patologias de umidade presentes nas imagens XX.

Figura 214 - Mancha no topo do pilar 04



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 215 - Cobrimento insuficiente no topo do pilar 03



Fonte: Autorial própria (2025).

Quanto às longarinas, as manifestações patológicas observadas estão majoritariamente relacionadas à presença de umidade decorrente das falhas no sistema de drenagem. Destaca-se a Longarina 02, localizada na porção norte da OAE, sob a faixa de passeio.

No lado externo da L2, identificaram-se extensas manchas de coloração verde-escura, atribuídas à umidade percolada a partir do balanço imediatamente acima. Já no lado interno, observaram-se manchas relacionadas ao escoamento inadequado das águas pluviais, que escoaram sobre a superfície da viga devido ao comprimento insuficiente do buzinode de drenagem. Tal condição favorece o desgaste superficial do concreto e pode comprometer a durabilidade do elemento estrutural.

Ainda no lado interno da Longarina 02, verificou-se um ponto com pequeno deslocamento do cobrimento e exposição localizada da armadura. Na Longarina 01 apenas foi encontrada manchas no lado interno, conforme imagem XX.

Figura 216 - Umidade no lado externo da Longarina 02



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 217 - Mancha no lado interno da longarina 02



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 218 - Deslocamento com exposição de armadura na longarina 02



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 219 - Pequenas manchas na Longarina 01



Fonte: Autoria própria (2025).

No que se refere ao vigamento secundário, o grau de conservação é bastante satisfatório. Das cinco transversinas, apenas uma apresenta sintoma de deterioração: Manchas esbranquiçadas umidade na região central da transversina 04.

Figura 220 - Manchas na transversina 04



Fonte: Autoria própria (2025).

Os elementos da infraestrutura, como mencionado anteriormente, se encontram totalmente enterrados, conforme mostram imagens abaixo, o que impossibilitou a sua inspeção.

Figura 221 - Impossibilidade de inspecionar infraestrutura



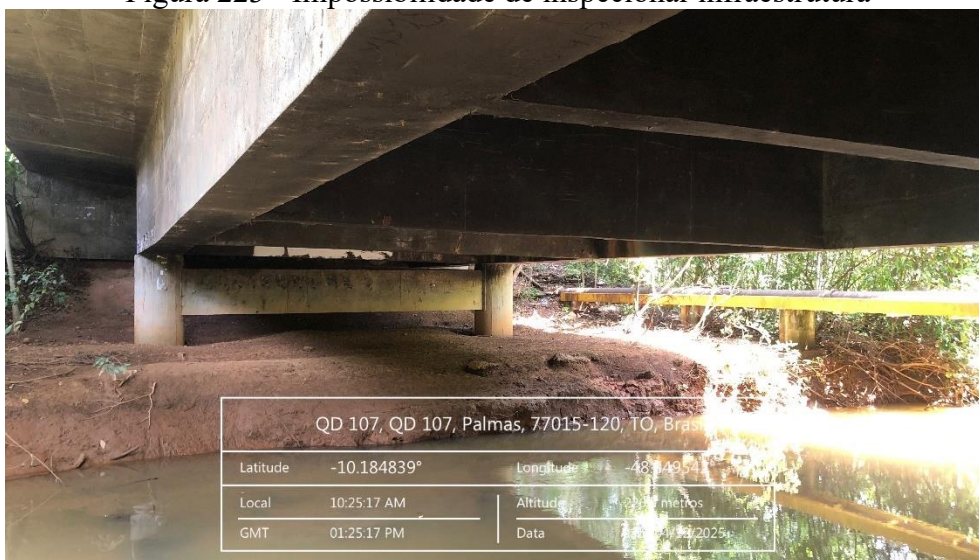
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 222 - Impossibilidade de inspecionar infraestrutura



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 223 - Impossibilidade de inspecionar infraestrutura



Fonte: Autoria própria (2025).

## 3.4.1.1. Metodologia GDE

Tabela 13 – Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida Juscelino Kubitschek

| ELEMENTO                                 | Gde     | Gdemax   | $\Sigma$ Gde | Gdf       | Fr | xFre            |
|--|---------|----------|--------------|-----------|----|-----------------|
| Guarda corpo - Leste                     | 4,8     | 4,8      | 4,8          | 4,8       | 1  | 4,8             |
| Pista rolamento (e acesso)               | 12      | 12       | 12           | 12        | 2  | 24              |
| Cortina Leste                            | 6,72    | 7,8      | 14,52        | 9,433841  | 3  | 28,30152        |
| Cortina Oeste                            | 7,8     |          |              |           |    |                 |
| Laje                                     | 68,3721 | 68,37209 | 68,37209     | 68,372093 | 4  | 273,4884        |
| Transversina 4                           | 16      | 16       | 17           | 16,463864 | 4  | 82,31932        |
| Longarina 1                              | 4,8     | 28       | 32,8         | 29,978854 | 5  | 149,8943        |
| Longarina 2                              | 28      |          |              |           |    |                 |
| Pilar 3                                  | 4,8     | 4,8      | 9,6          | 5,8787754 | 5  | 29,39388        |
| Pilar 4                                  | 4,8     |          |              |           |    |                 |
| <b>Grau de deterioração da estrutura</b> |         |          |              |           | =  | <b>24,67489</b> |

Fonte: Autoria própria (2025).

O Grau de Deterioração obtido para a estrutura é classificado como médio, segundo a tabela 03, extraída de Fonseca (2007). Ainda longe do limite para ser considerado como alto grau de deterioração, o que podemos considerar como um bom tado de conservação geral, feitas apenas algumas ressalvas. O prazo máximo de intervenção determinado por Fonseca (2007) é de 2 anos, devendo as próximas inspeções já terem seu prazo e natureza definidos.

É de se destacar que, não obstante o grande número de trincas na pista de rolagem na região da cabeceira, o grau de deterioração desse elemento resultou em número baixo. A resposta está no Anexo C, tabela de fatores de ponderação, onde mostra que os danos em pista de rolamento abarcados pelo método GDE são apenas três: Descontinuidade, desgaste da sinalização e desgaste superficial.

A classificação mais próxima de abarcar as frestas no pavimento é a da descontinuidade, mas que, pela sua nomenclatura, infere-se que requer uma abertura muito mais expressivas que apenas trincas. Além do mais, o Anexo B, tabela de fatores de intensidade, não detalha ou faz qualquer menção a descontinuidade na pista de rolagem.

Em verdade, temos aqui uma lacuna do método GDE, que não apresenta maiores opções de danos a serem observados no pavimento, além de não detalhar aqueles que apresentou, deixando o inspetor com poucos parâmetros para atribuir notas a determinados elementos, a exemplo do pavimento. Assim, pelos motivos expostos acima, decidiu-se atribuir fator de intensidade 2 para a descontinuidade. O que pouco influenciou no GDE final da estrutura, visto que o elemento em questão possui fator de relevância estrutural baixo.

Deste modo, a maior parte dos elementos relatados obtiveram grau baixo de deterioração. Com exceção da laje e da longarina 02, que por apresentarem danos expressivos, causados pela má drenagem, e possuírem alto fator de relevância, elevaram o Grau de Deterioração final da Obra para médio.

### 3.4.1.2. Metodologia DNIT

Tabela 14 – Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida Juscelino Kubitschek

| DNIT 010/2004       |                          |   |
|---------------------|--------------------------|---|
| Lajes               |                          | Grandes manchas de eflorescência ao longo de todo balanço Norte. Além de exposição e corrosão de armaduras nos pontos de buzinode. Danos que de algum modo afetam a eficiência estrutural, mas que não oferecem risco a curto prazo, devendo ser monitorada sua evolução. |
| NT                  | 3<br>(Boa aparentemente) |   |
| Vigamento principal |                          | Devido à proximidade com o balanço Norte, a Longarina 02 compartilha de alguns de seus problemas relacionados à umidade. Sem sinais claros de insuficiência estrutural, mas que devem ser corrigidos  |
| NT                  | 4<br>(Boa)               |   |
| Mesoestrutura       |                          | Danos pontuais em dois dos pilares. Sem comprometimento da estrutura  |
| NT                  | 4<br>(Boa)               |   |
| Infraestrutura      |                          | As cortinas/encontro apresentam eflorescência em pequenas extensões e exposições pontuais de armadura. Além de início de fuga em um dos aterros. No entanto, não há sinal de insuficiência estrutural.  |
| NT                  | 4<br>(Boa)               |   |
| Pista/Acesso        |                          |   |

|                            |                          |  |
|----------------------------|--------------------------|--|
| NT                         | 3<br>(Boa aparentemente) | Trincas nas regiões das cabeceiras. O que possibilita infiltração para os elementos subjacentes. |
| <b>Nota técnica da OAE</b> |                          | <b>3</b>   |

Fonte: Autoria própria (2025).

A nota técnica final da Ponte a classifica como aparentemente boa, caracterizando-a como uma obra potencialmente problemática, devendo a evolução dos problemas serem acompanhados por meio de inspeções rotineiras para que seja evitado o agravamento dos danos já instalados. Nestes casos, o DNIT permite que a recuperação seja postergada, desde que haja observação sistemática da Obra.

Quanto às Cortinas/Encontros das OAE, vale ressaltar que não há consenso na literatura quanto à sua classificação em meso ou infraestrutura, conforme pontuado por Pfeil (1979). Neste trabalho, optou-se por incluí-las no grupo da infraestrutura, visto que possuem, dentre outras, a função de arrimar o solo.

Dada a gravidade do balanço Norte da laje, cogitou-se a sua classificação em nota 02. Entretanto, pelas limitações de uma inspeção visual e menos acurada, não foi possível constatar se o atual estado em que se encontra causa significativa insuficiência estrutural ou apenas moderada/baixa. Assim, a nota atribuída foi a imediatamente superior.

### 3.4.2. Sentido Oeste-Leste

Em semelhança à Ponte anterior, a maior parte das ocorrências patológicas do tabuleiro desta OAE se concentra no calçamento do passeio e na pista de rolamento, com iguais tipologias e maiores intensidades. No calçamento do passeio, feito de placas de concreto armado, há manchas de tonalidade escura por todo comprimento longitudinal, ocasionadas pela umidade excessiva. A abrasão superficial desgastou o cobrimento, tornando expostos agregados graúdos e armaduras, e estas, por exposição às intempéries, oxidaram.

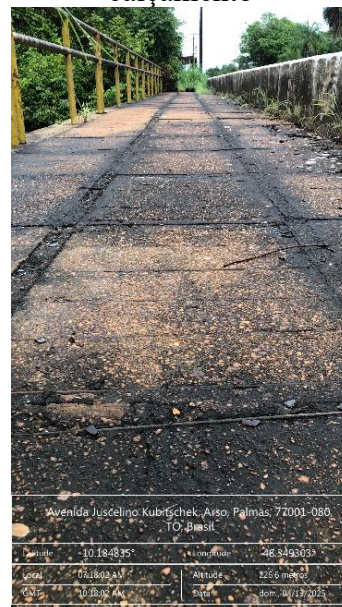
No guarda-corpo de grade metálica há corrosão superficial, o que, além de ocasionar dano estético à Obra, apresenta risco potencial por ser elemento com função de segurança. Outro fator de risco à integridade de transeuntes é a ausência de algumas placas do calçamento, tornado abertos buracos no calçamento com acúmulo de água parada.

Figura 224 - Manchas de umidade no calçamento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 225 - Exposição da armadura no calçamento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 226 - Corrosão superficial no guarda-corpo



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 227 - Ausência de placas e acúmulo de água



Fonte: Autoria própria (2025).

Na pista de rolamento, chama atenção a quantidade expressiva de trincas transversais, especialmente nas regiões das cabeceiras da ponte. Essas fissuras merecem atenção, pois podem estar associadas a movimentações diferenciais entre o aterro de aproximação e o tabuleiro da

ponte — condição comum em estruturas onde há diferença de rigidez ou acomodação do solo ao longo do tempo.

Esse tipo de movimentação pode gerar esforços adicionais na interface entre os dois elementos (aterro e tabuleiro), resultando em fissuração da camada de revestimento asfáltico ou de concreto da pista. Essas trincas atuam como vias de infiltração de água pluvial. A infiltração, por sua vez, pode saturar o solo do aterro, reduzir sua capacidade de suporte e provocar erosões internas, o que agrava o assentamento diferencial e acelera o processo de deterioração.

Figura 228 - Trincas na cabeceira Leste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 229 - Trincas na cabeceira Leste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 230 - Trincas na cabeceira Leste



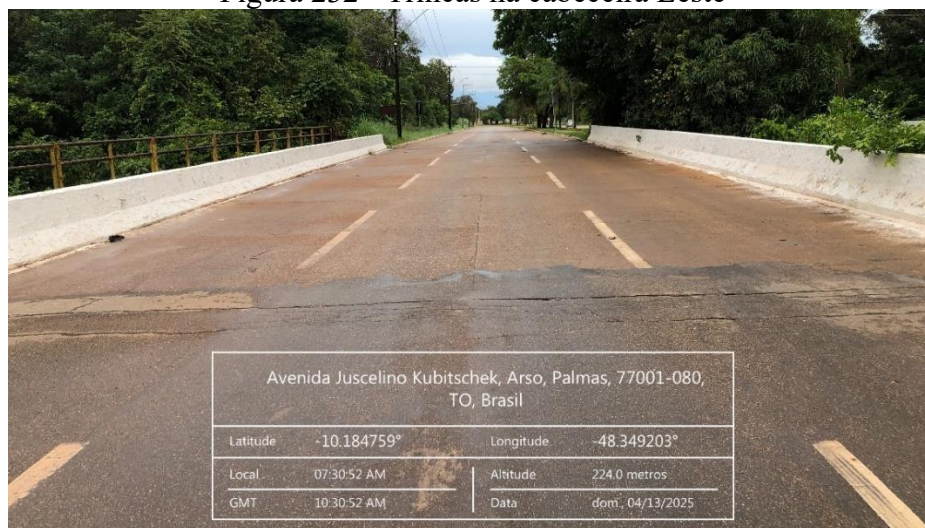
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 231 - Trincas na cabeceira Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 232 - Trincas na cabeceira Leste



Fonte: Autoria própria (2025).

Outro fator de destaque na pista de rolamento é o desgaste por abrasão no pavimento de concreto asfáltico. Processo resultante da fricção de materiais sólidos, como grãos de areia, promovida pelo atrito com pneumáticos, tornando expostos agregados da massa asfáltica.

Na faixa central da via, imediatamente antes do tabuleiro, identificam-se trincas longitudinais que se assemelham a trilhas de roda — deformações verticais plásticas no pavimento ao longo do trajeto das rodas dos veículos pesados. Adicionalmente, observa-se a presença de uma trinca transversal ligando os dois sentidos da via, localizada a poucos metros

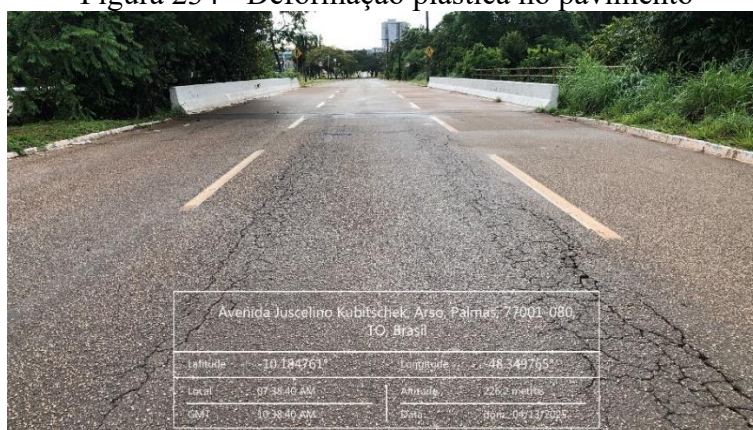
do início do tabuleiro. Estas duas evidências reforçam a ideia de movimentações diferenciais na transição entre aterro e ponte.

Figura 233 - Desgaste por abrasão



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 234 - Deformação plástica no pavimento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 235 - Trinca contínua no pavimento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 236 - Trinca contínua no pavimento



Fonte: Autoria própria (2025).

A inspeção dos elementos situados abaixo do tabuleiro foi parcialmente prejudicada devido à elevada precipitação pluviométrica registrada no dia anterior, que ocasionou a elevação do nível do córrego Brejo Comprido além do previsto, dificultando o acesso e comprometendo em parte a mobilização. Não obstante, todos os elementos estruturais visíveis puderam ser inspecionados.

Figura 237 - Elevação do nível da água



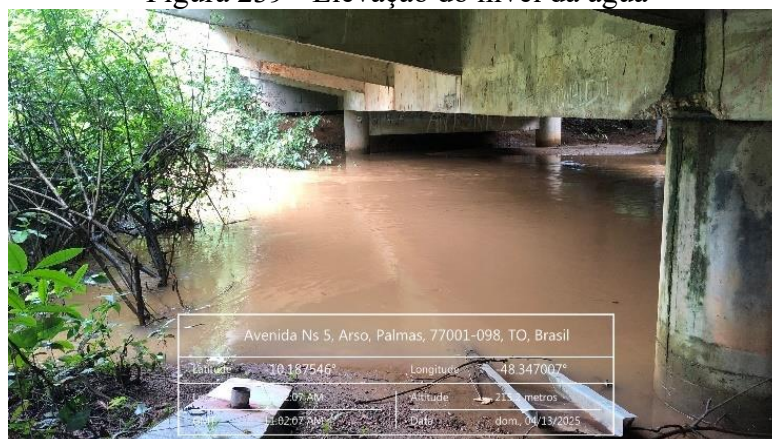
Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 238 - Elevação do nível da água



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 239 - Elevação do nível da água



Fonte: Autorial própria (2025).

Na laje, foram identificadas diversas manifestações patológicas, embora nenhuma de gravidade significativa. A maioria dessas ocorrências, assim como na obra anterior, está relacionada ao contato frequente com água, decorrente de deficiências no sistema de drenagem.

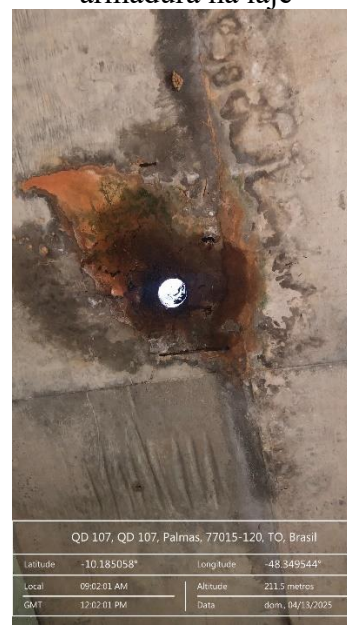
Um exemplo claro são os pontos nos quais houve rompimento da porção externa dos buzinotes, permitindo a infiltração direta da água da chuva sobre a laje. Essa condição favoreceu a oxidação das armaduras, resultando no deslocamento do cobrimento devido à expansão do aço, conforme visto nas imagens abaixo. Além de culminar na presença de manchas brancas características de eflorescências e na formação de limo sobre a superfície.

Figura 240 - Umidade e corrosão de armadura na laje



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 241 - Umidade e corrosão de armadura na laje



Fonte: Autorial própria (2025).

Em outros trechos da laje, também foram identificadas formações de eflorescência, algumas das quais ao longo de trincas com orientação transversal, similares às observadas na pista de rolamento. Em parte dessas trincas, verifica-se a presença de intervenções anteriores com aplicação de pasta de cimento, aparentemente restritas ao recobrimento superficial, sem o devido tratamento da causa raiz da patologia. Como consequência, as manifestações persistem, indicando que as medidas corretivas adotadas foram paliativas e ineficazes para conter a progressão do problema, conforme ilustrado na imagem XX.

Figura 242 - Eflorescência na Laje



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 243 - Eflorescência na Laje



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 244 - Manchas de eflorescência na Laje



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 245 - Manchas de eflorescência na Laje



Fonte: Autoria própria (2025).

Ainda na laje, foi identificado pequena falha de concretagem com exposição de armadura e deslocamento com pequenas escamações do cobrimento.

Figura 246 - Falha de concretagem na Laje



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 247 - Pequena escamação na laje



Fonte: Autoria própria (2025).

Quanto às cortinas, ambas apresentam grandes manchas verdes enegrecidas. Manifestação que é devida ao contato constante com umidade oriunda do solo o qual as cortinas arrimam e das águas pluviais que ali percolam devido à má drenagem, fatores que possibilitaram a formação de limo, que é a proliferação de musgos e fungos na superfície do elemento. A frequente interação com tal umidade resultou na oxidação de barras da armadura longitudinal e transversal, que acabaram por expandir e deslocar o cobrimento de concreto em torno delas, conforme imagens abaixo.

Em um dos pontos, na extremidade Sul da cortina Oeste, a progressão das manifestações mencionadas acima foi favorecida por falha de concretagem preexistente, fato que é possível notar pelo acúmulo de agregado graúdo em área de grande densidade de armadura (canto de forma) e ausência de pasta de cimento, como mostrado na imagem XX. Na parte interna da cortina, abaixo do tabuleiro, também são encontradas manchas de umidade e pequenas exposições de armadura.

Figura 248 - Umidade e corrosão de armadura na extremidade Norte da Cortina Leste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 249 - Umidade e corrosão de armadura na extremidade Sul da Cortina Leste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 250 - Umidade na extremidade Norte da Cortina Oeste



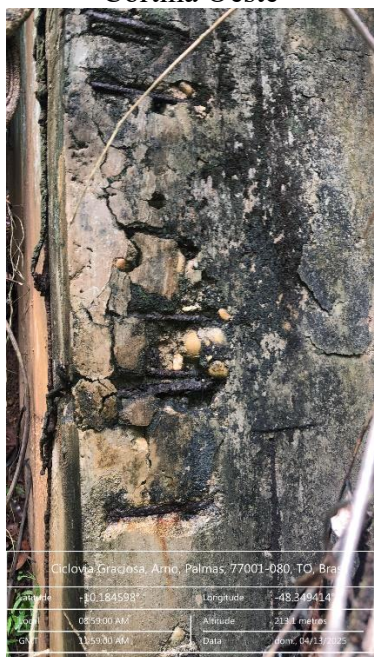
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 251 - Umidade, Corrosão e falha de concretagem na extremidade Sul da Cortina Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 252 - Umidade, Corrosão e falha de concretagem na extremidade Sul da Cortina Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 253 - Umidade e exposição de armadura na Cortina Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

No que se refere às longarinas, a deterioração observada concentra-se especificamente na longarina 02. Em um ponto localizado junto ao apoio com o pilar 04, constata-se contato constante e excessivo com umidade, evidenciado pela presença significativa de limo na superfície do concreto. Essa condição, associada ao acentuado lascamento da peça, favoreceu o processo de corrosão tanto das armaduras longitudinais quanto das transversais.

Figura 254 - Corrosão e formação de limo na Longarina 02



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 255 - Corrosão e formação de limo na Longarina 02



Fonte: Autoria própria (2025).

Nas vigas transversinas, as ocorrências patológicas são semelhantes entre si em tipologia, grau e localização. São elas: deslocamento do cobrimento de concreto e exposição de armadura, envolto ou não por indícios de umidade, nas extremidades norte e sul das peças, abaixo dos balanços da laje.

Figura 256 - Deslocamento e exposição de armadura em transversina



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 257 - Deslocamento em transversina



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 258 - Deslocamento e exposição de armadura em transversina



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 259 - Deslocamento em transversina



Fonte: Autoria própria (2025).

Nos pilares, o único ponto de deterioração a ser relatado é o já mencionado pilar 04, que se encontra com extensa formação de limo em sua superfície.

Figura 260 - Formação de limo no Pilar 04



Fonte: Autoria própria (2025).

### 3.4.2.1. Metodologia GDE

Tabela 15 – Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida Juscelino Kubitschek

| ELEMENTO                   | Gde       | Gdmax     | $\Sigma$ Gde | Gdf       | Fr | xFre     |
|----------------------------|-----------|-----------|--------------|-----------|----|----------|
| Guarda corpo - Leste       | 8         | 8         | 8            | 8         | 1  | 8        |
| Pista rolamento (e acesso) | 40        | 40        | 40           | 40        | 2  | 80       |
| Cortina Oeste              | 37,714286 | 55        | 92,714286    | 65,234258 | 3  | 195,7028 |
| Cortina Leste              | 55        |           |              |           |    |          |
| Laje                       | 24,727273 | 24,727273 | 24,727273    | 24,727273 | 4  | 98,90909 |
| Transversina 1             | 12,363636 | 12,363636 | 37,727273    | 15,988286 | 4  | 63,95314 |
| Transversina 2             | 7,2       |           |              |           |    |          |
| Transversina 3             | 4,8       |           |              |           |    |          |
| Transversina 5             | 12,363636 |           |              |           |    |          |

|  |           |           |           |           |   |                |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|---|----------------|
| Longarina 2                              | 56,744186 | 56,744186 | 56,744186 | 56,744186 | 5 | 283,7209       |
| Pilar 4                                  | 24        | 24        | 28,8      | 25,922963 | 5 | 129,6148       |
|  | 4,8       |           |           |           |   |                |
| <b>Grau de deterioração da estrutura</b> |           |           |           |           | = | <b>35,8292</b> |

Fonte: Autoria própria (2025).

O Grau de Deterioração obtido para a estrutura é classificado como médio, segundo a tabela 03, extraída de Fonseca (2007). O prazo máximo de intervenção determinado esse autor é de 2 anos, devendo as próximas inspeções já terem seu prazo e natureza definidos.

Aqui, o fator de intensidade atribuído às trincas na cabeceira foi 3, visto que são ainda mais expressivas que as do sentido oposto. O que resultou em Grau de deterioração do elemento muito mais avançado, haja vista a fórmula matemática para fatores de intensidade maiores que 2 serem diferentes.

Outros fatores significativos foram as cortinas de contenção, com pontos de corrosão de armadura diversos, e a Longarina 02, com grande deslocamento, umidade e corrosão de armadura em um ponto específico. No mais, os comentários se repetem em relação à OAE do sentido oposto.

#### 3.4.2.2. Metodologia DNIT

Tabela 16 – Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida Juscelino Kubitschek

| DNIT 010/2004       |                          |   |
|---------------------|--------------------------|---|
| Lajes               |                          | Pontos de buzinode rompido com eflorescência e corrosão de armadura. Além de manchas transversais de eflorescência subjacente às trincas do pavimento. Danos que geram insuficiência potencial à Obra sem oferecer risco atual. |
| NT                  | 3<br>(Boa aparentemente) |   |
| Vigamento principal |                          | Longarina 02 com forte deslocamento e presença de umidade sobre o Pilar 04. Fatores que resultaram no início da oxidação de armadura.   |
| NT                  | 4<br>(Boa)               |   |
| Mesoestrutura       |                          |   |

|                            |                          |  |
|----------------------------|--------------------------|--|
| NT                         | 4<br>(Boa)               | Grandes manchas de umidade no Pilar 04, sem apresentar insuficiência.  |
| Infraestrutura             |                          | Cortinas/Encontros Leste e Oeste com manchas significativas de umidade e exposição/corrosão de armadura em ambas as extremidades. Além de Ponto com falha de concretagem considerável. |
| NT                         | 3<br>(Boa aparentemente) |  |
| Pista/Acesso               |                          | Grande quantidade de trincas nas regiões das cabeceiras, possibilitando infiltração para os elementos subjacentes. Além de apresentar desgaste por abrasão do pavimento.               |
| NT                         | 3<br>(Boa aparentemente) |  |
| <b>Nota técnica da OAE</b> |                          | <b>3</b>   |

Fonte: Autoria própria (2025).

A nota técnica final da Ponte a classifica como aparentemente boa, caracterizando-a como uma obra potencialmente problemática, devendo a evolução dos problemas serem acompanhados por meio de inspeções rotineiras para que seja evitado o agravamento dos danos já instalados. Nestes casos, o DNIT permite que a recuperação seja postergada, desde que haja observação sistemática da Obra.

É notável que, embora tenha obtido nota técnica final igual à da OAE do sentido oposto, esta apresentou mais notas 3 (Boa aparentemente) e menos notas 4 (Boa). Situação semelhante ocorreu no método GDE, no qual as duas obtiveram grau de deterioração médio, mas a primeira com grau 24,67 e esta com 35,83. Logo, entendemos como possível exemplo de proporcionalidade entre os métodos quantitativo e qualitativo.

Outro ponto de destaque, dessa vez de dissonância entre os métodos, é que neste foi possível considerar o real estado da pista de rolamento ao levar em consideração a grande quantidade de trincas e os danos potenciais que dela decorre.

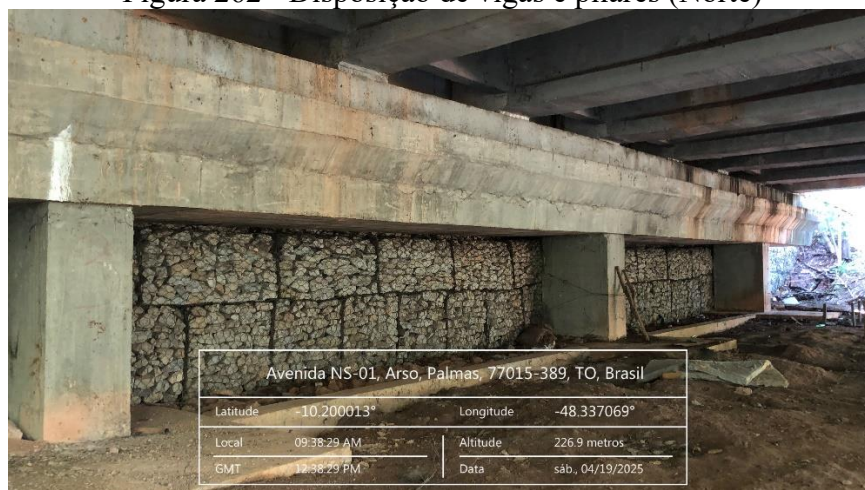
### 3.5. PONTE DA AVENIDA NS-01

Diferentemente das pontes anteriores, esta conta com seis faixas de rolamento — três em cada sentido — e um canteiro central. Isso porque não foram adotadas Obras de Arte Especiais (OAE's) independentes para cada sentido de tráfego da avenida, como nas demais. Essa configuração resultou em um tabuleiro com largura significativamente superior. Ademais, serão descritas a seguir outras particularidades relativas aos elementos estruturais. Cabe relatar que a OAE em concreto não possui qualquer acesso delimitado à parte inferior. Para execução deste trabalho foi necessário recorrer a rotas alternativas em meio à vegetação.

A superestrutura é formada, além da laje e de cinco transversinas, por nove vigas longarinas com seção transversal tipo “I”, que são apoiadas diretamente em três vigas travessas – uma central e duas de extremidades. Estas, por sua vez, são suportadas por três pilares de seção transversal retangular, conforme ilustrado abaixo.



Figura 262 - Disposição de vigas e pilares (Norte)



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 263 - Disposição de vigas e pilares (Norte)



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 264 - Disposição de vigas e pilares (Centro)



Fonte: Autoria própria (2025).

A contenção do solo é feita em partes pelas vigas travessas – que se unem a cortinas laterais nas extremidades e formam barreiras que arrimam o solo – e em partes por estruturas do tipo gabião, que são caixas de arame galvanizado preenchidas com pedras. Os elementos de fundação estão parcialmente enterrados, de modo que foi possível a inspeção visual de sua superfície superior. O córrego, por fim, transpassa a Obra entre os pilares centrais e Norte.

Figura 265 - Cortina lateral (Leste)



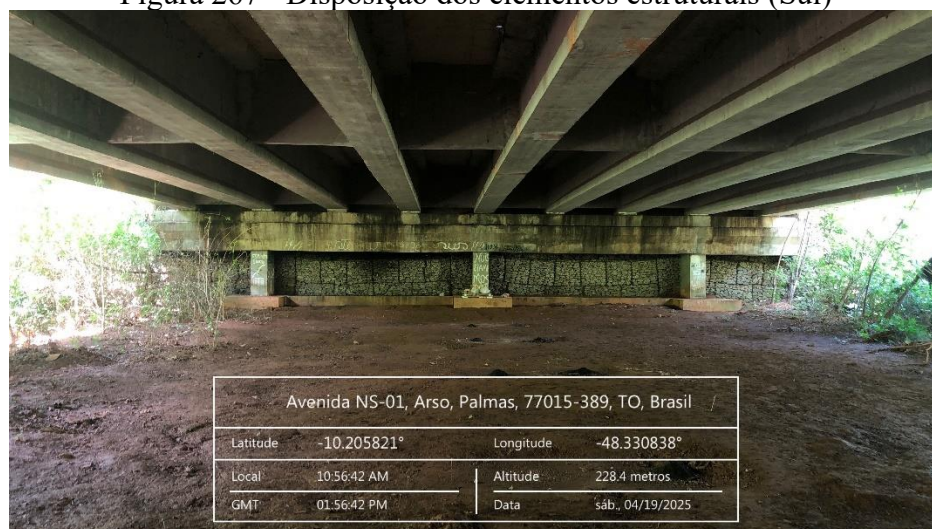
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 266 - Cortina lateral (Oeste)



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 267 - Disposição dos elementos estruturais (Sul)



Fonte: Autoria própria (2025).

Após as observações relacionadas ao sistema construtivo, passamos à descrição das manifestações patológicas identificadas. Ressalta-se que foi adotado o sentido Norte-Sul para enumeração dos elementos, assim, foram enumerados na sequência do Norte para o Sul e do Leste para Oeste.

Na parte superior do tabuleiro, foram constatadas manifestações exclusivamente na pista de rolamento, são elas: trincas e fendas transversais. Essas aberturas concentram-se principalmente nas cabeceiras e no vão central da estrutura, favorecendo a infiltração de águas pluviais e contribuindo para a degradação progressiva dos elementos estruturais subjacentes, conforme será detalhado nas seções seguintes.

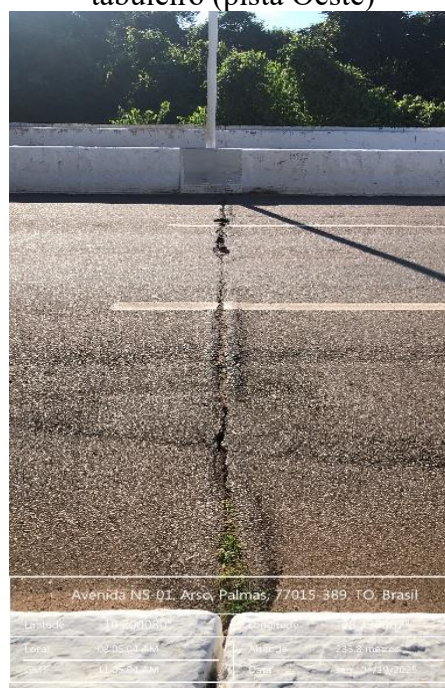
As aberturas mais pronunciadas encontram-se no ponto central do tabuleiro e na cabeceira sul. Ao longo do restante do tabuleiro, observam-se trincas retilíneas de menor amplitude, distribuídas de forma relativamente regular e espaçada. Também foram detectadas pequenas deformações plásticas no pavimento, porém não foi possível registrá-las adequadamente por meio fotográfico devido ao tráfego intenso de veículos no local no momento da vistoria.

Figura 268 - Trinca na cabeceira Sul (pista Oeste)



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 269 - Trinca no centro do tabuleiro (pista Oeste)



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 270 - Trinca na cabeceira Norte  
(pista Oeste)



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 271 - Trinca na cabeceira Norte  
(pista Leste)



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 272 - Trinca no centro do  
tabuleiro (pista Leste)



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 273 - Trinca na cabeceira Sul  
(pista Leste)



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 274 - Trincas em ponto intermediário do tabuleiro (pista Leste)



Fonte: Aatoria própria (2025).

No que se refere à laje, observa-se que apenas pequenas áreas de sua face inferior estão visíveis, em razão da presença predominante das vigas longarinas e de seus flanges superiores, que restringem a visualização completa do elemento. Dentro das áreas acessíveis à inspeção, foram identificadas manchas de eflorescência, localizadas principalmente nas regiões de junção entre as vigas e a laje, conforme ilustrado nas imagens XX e XX.

Figura 274 - Eflorescência entre viga 05 e laje (Vão Norte)



Fonte: Aatoria própria (2025).

Figura 275 - Eflorescência entre viga 04 e laje (Vão Sul)



Fonte: Aatoria própria (2025).

Nas cortinas laterais das cabeceiras Norte e Sul, observa-se o predomínio de manchas esverdeadas e escurecidas, decorrentes da umidade proveniente do solo e da água pluvial que percolou por meio das trincas presentes no tabuleiro. Ressalta-se que, das quatro extremidades laterais, apenas uma pôde ser devidamente registrada por meio de fotografias, uma vez que as demais encontram-se encobertas por vegetação densa.

No muro de gabião localizado na cabeceira Sul, foi constatada deformação excessiva na base da tela metálica, além de rompimento no topo, ambos ocorrendo na mesma região do paramento, indicando possível perda de confinamento ou deslocamento do material de preenchimento.

Figura 276 - Rompimento da tela do muro de gabião



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 277 - Deformação excessiva na tela metálica



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 278 - Rompimento da tela do muro de gabião na parte superior



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 279 - Umidade generalizada na cortina lateral



Fonte: Autoria própria (2025).

As vigas longarinas apresentam, em geral, bom estado de conservação, com manifestações patológicas pontuais. Em quatro das nove vigas, foram observados sinais de eflorescência e/ou umidade, associados, possivelmente, a falhas nos buzinotes — problema já identificado em outras obras avaliadas. No caso das transversinas, a condição é ainda mais favorável: apenas a quinta e última viga apresenta manchas de umidade de pequena extensão, sem indícios de comprometimento estrutural.

Figura 280 - Mancha na longarina 05  
(Vão Norte)



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 281 - Mancha na longarina 01  
(Vão Norte)



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 282 - Mancha na Longarina 05 (Vão Sul)



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 283 - Sinal de eflorescência na longarina 09 (Vão Norte)



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 284 - Sinais de umidade e eflorescência na base da transversina 05



Fonte: Autorial própria (2025).

Especial atenção deve ser dada às vigas travessas. Por estarem imediatamente abaixo das frestas do tabuleiro relatadas anteriormente, por onde percola água fluvial, as três apresentam alto índice de deterioração por contato constante com umidade. Por consequência, em todas são encontradas extensas manchas escuras e sinais claros de eflorescência.

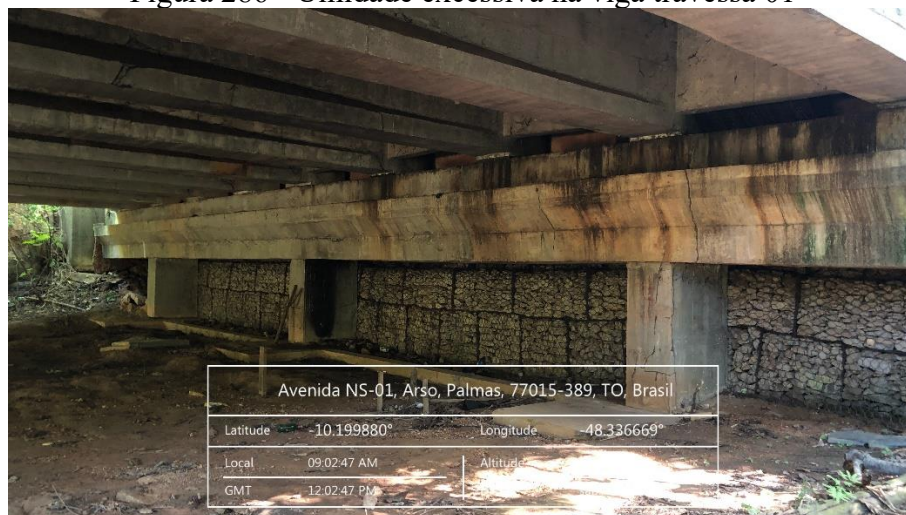
Na viga travessa 01, mais ao Norte, a umidade é predominante na extremidade Leste. A explicação encontrada está na cabeceira Norte, onde as fendas da extremidade Leste são mais proeminentes, conforme dito anteriormente. O que reforça o entendimento de que a principal causa é a infiltração de água pluvial pelas aberturas da pista de rolamento.

Figura 285 - Umidade excessiva na viga travessa 01



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 286 - Umidade excessiva na viga travessa 01



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 287 - Mancha característica de eflorescência na viga travessa 01



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 288 - Mancha característica de eflorescência na viga travessa 01



Fonte: Autoria própria (2025).

A travessa 02, localizada no vão central do tabuleiro, encontra-se em condição mais crítica em comparação às demais. Nessa peça, foram identificados depósitos espessos e extensos de eflorescência, em alguns pontos com formação de estalactites — indício de intenso carreamento de compostos solúveis da matriz cimentícia, o que sugere perda de resistência do concreto em escala considerável.

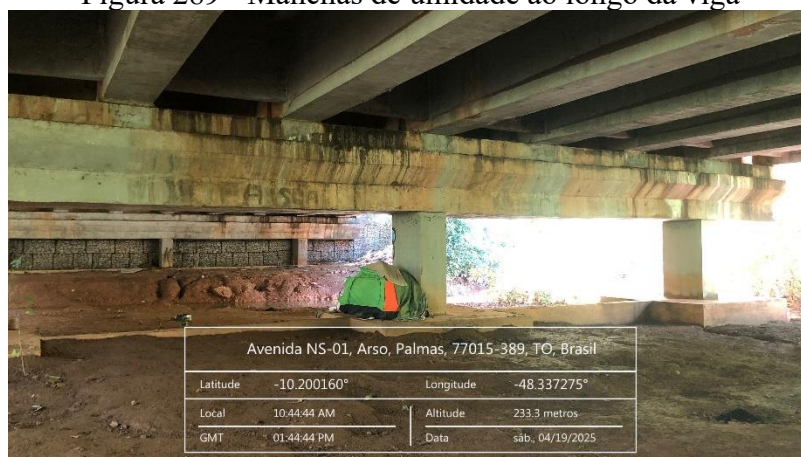
Assim como observado na viga travessa anterior, o maior grau de deterioração se concentra na extremidade leste, onde as formações de eflorescência são mais abundantes, conferindo à superfície inferior da peça um aspecto saponáceo.

Em um dos blocos de coroamento localizados sob a viga, também foram observadas projeções de eflorescência atingindo sua superfície, evidenciando a ação contínua da umidade. Além disso, na face inferior da travessa há sinais de corrosão nas armaduras, acompanhados de pequenos deslocamentos do concreto, característicos da expansão provocada pela oxidação do aço.

É importante destacar que, ao contrário das outras duas travessas, esta possui todas as suas faces expostas, e os sinais de deterioração descritos estão presentes em todas as superfícies

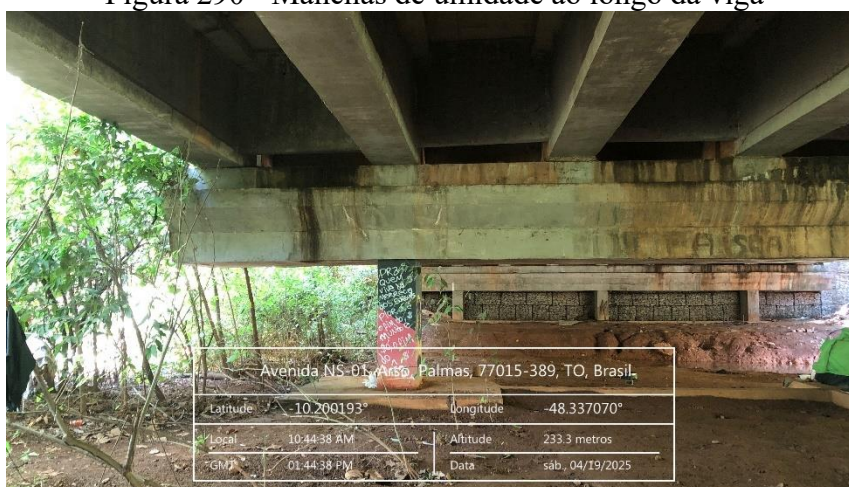
da peça. As manifestações relatadas apontam para uma degradação generalizada do concreto armado, afetando tanto a massa de concreto quanto as armaduras, causada pelo contato prolongado com umidade em níveis não previstos.

Figura 289 - Manchas de umidade ao longo da viga



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 290 - Manchas de umidade ao longo da viga



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 291 - Mancha de umidade na extremidade Leste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 192 - Eflorescência na extremidade Leste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 293 - Formação de estalactite



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 294 - Respingos de eflorescência



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 295 - Manchas de umidade e eflorescência



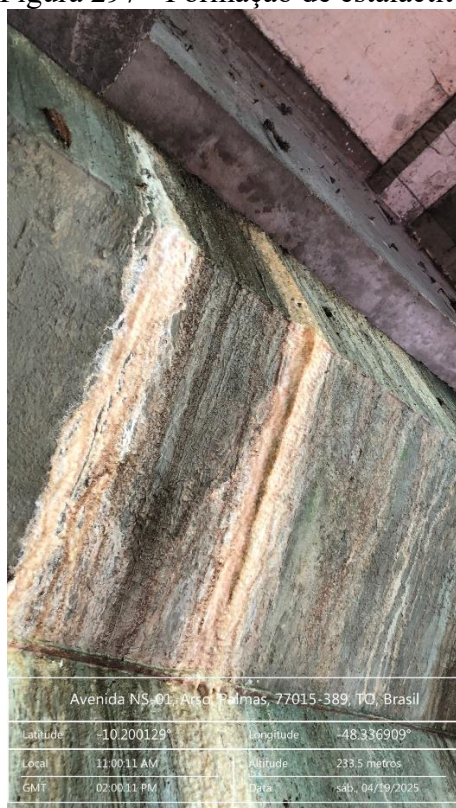
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 296 - Manchas de umidade e eflorescência



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 297 - Formação de estalactite



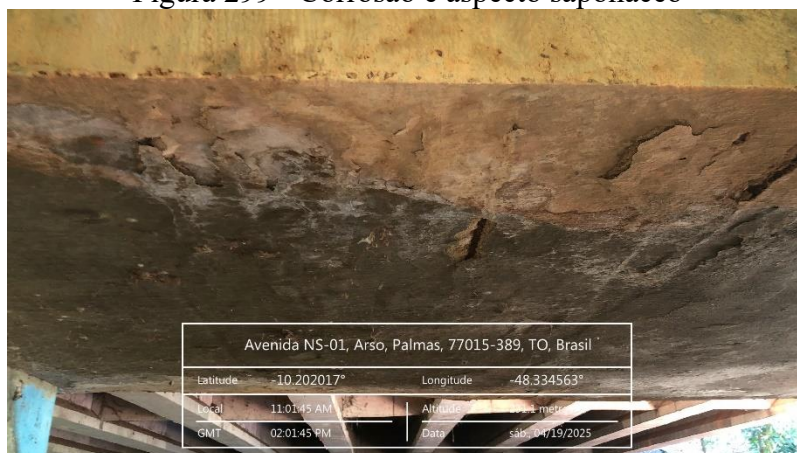
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 298 - Corrosão e aspecto saponáceo



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 299 - Corrosão e aspecto saponáceo

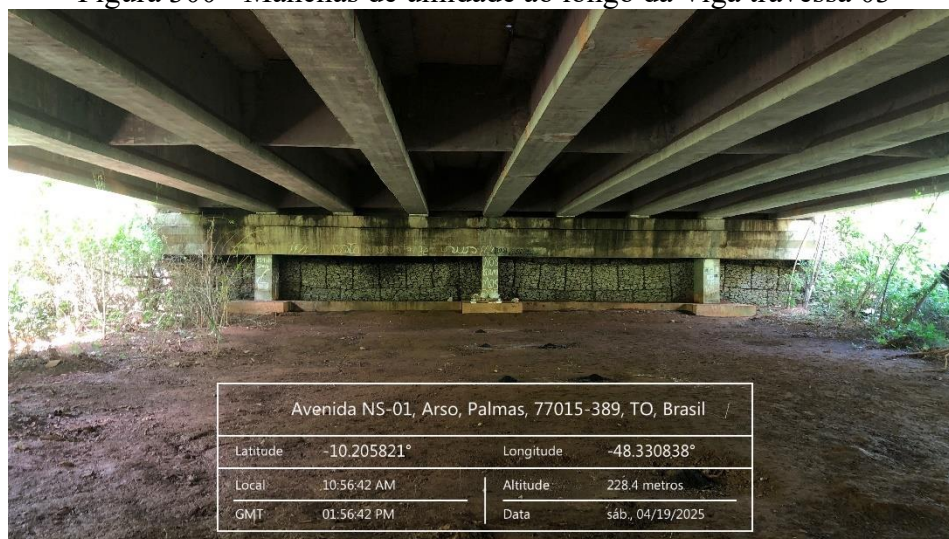


Fonte: Autoria própria (2025).

Quanto à viga travessa 03, a mesma linha de raciocínio é seguida para o relato das manifestações nela presentes. Com apenas algumas peculiaridades que serão citadas. Uma delas é a maior distribuição das patologias de umidade, mancha e eflorescência, que se apresentam com igual intensidade ao longo de toda a peça. Outro adendo é sobre a distinção de estágios, aqui as manchas de umidade se encontram mais avançadas e as eflorescências menos expressivas.

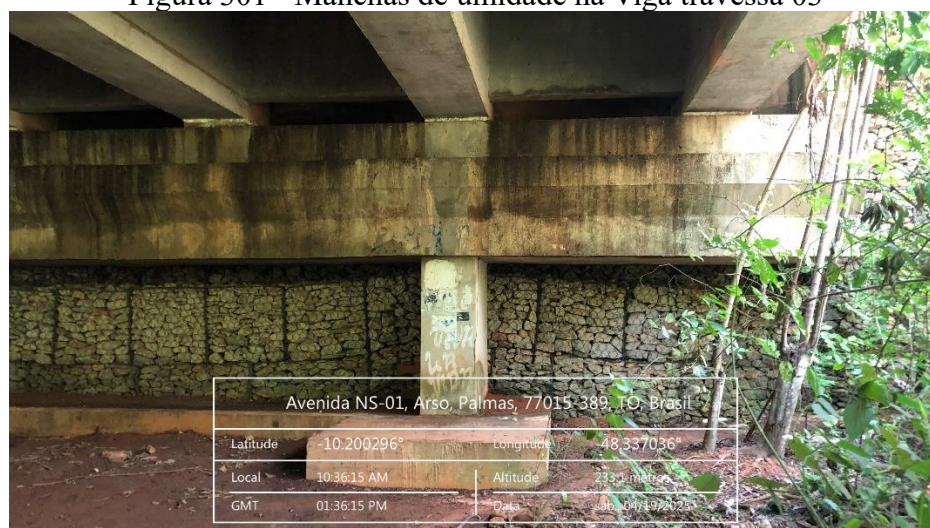
Outra peculiaridade é a alteração cromática na superfície inferior da peça por exposição a chamas e fumaça, como consequência do ponto de fogueira usada por desabrigados que se encontra abaixo, ao lado do pilar 08. O que, por um olhar estritamente técnico e científico, é indesejável à integridade dos elementos estruturais, visto que a exposição a altas temperaturas pode promover a dilatação diferencial entre concreto e aço, resultando na perda de aderência entre estes materiais. Além do mais, a expansão volumétrica de agregados graúdos cria esforços internos que podem levar à fissuração.

Figura 300 - Manchas de umidade ao longo da Viga travessa 03



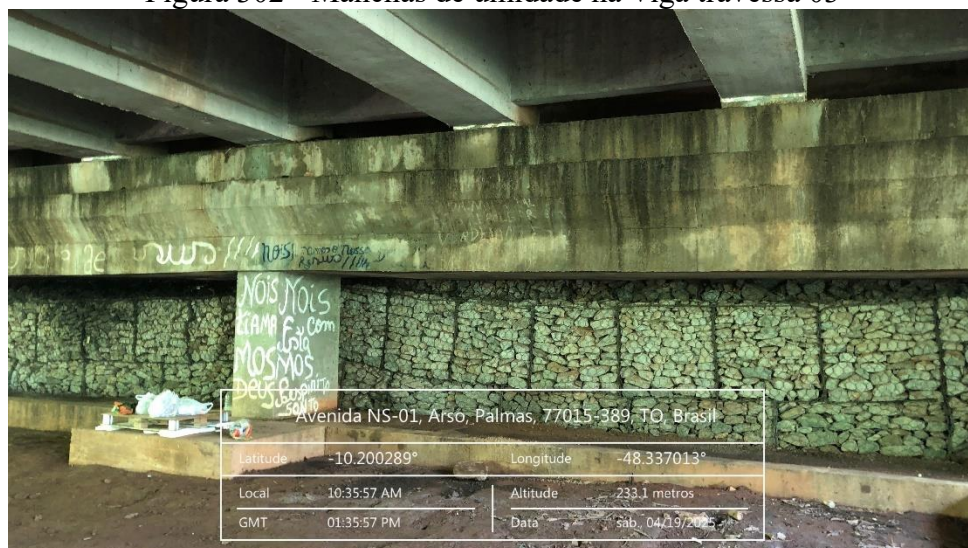
Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 301 - Manchas de umidade na Viga travessa 03



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 302 - Manchas de umidade na Viga travessa 03



Fonte: Aatoria própria (2025).

Figura 303 - Manchas de chama e esfumaçamento



Fonte: Aatoria própria (2025).

Figura 304 - Manchas de umidade na Viga travessa 03



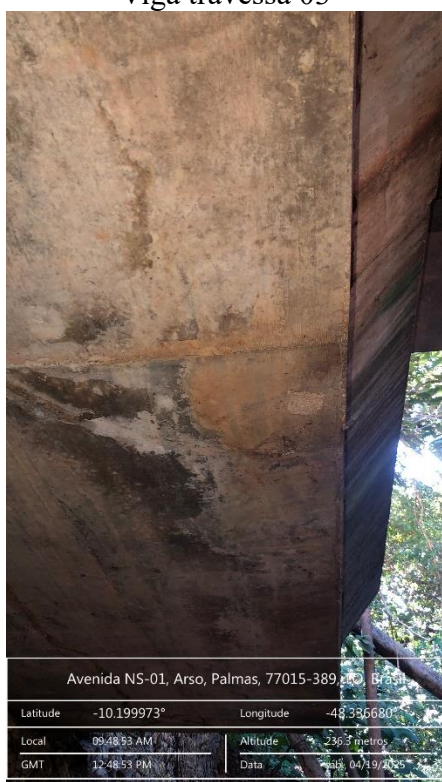
Fonte: Aatoria própria (2025).

Figura 305 - Manchas de umidade e eflorescência na Viga travessa 03



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 306 - Manchas de eflorescência na Viga travessa 03



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 307 - Manchas de eflorescência na Viga travessa 03



Fonte: Autoria própria (2025).

Em um último comentário em relação às vigas, simplifica-se os principais pontos de incidência de umidade da seguinte forma: mais acentuadas nas vigas central e Sul; e, na viga Norte, concentradas na extremidade Leste. Dada a convergência com os locais de maior

abertura das fissuras/fendas do tabuleiro, ratificamos o entendimento de que estas são a principal causa de deterioração das vigas travessas.

No tocante à mesoestrutura, o grau de conservação apresentado é satisfatório. Em decorrência do contato com outros elementos afetados por umidade, quatro dos nove pilares apresentam manchas esverdeadas pouco ou medianamente extensas e próximas à base. Na lateral Leste do pilar 02 há grande mancha preta por exposição a chamas e fumaça, em decorrência da ignição recorrente de fogueira por desabrigados. Destaca-se que se trata de ponto diverso daquele mencionado anteriormente.

Figura 308 - Local de fogueira junto ao Pilar 02



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 309 - Umidade na base do Pilar 07



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 310 - Umidade na base do Pilar 07



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 311 - Umidade na base do Pilar 07



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 312 - Umidade na base do Pilar 09



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 313 - Umidade na base do Pilar 09



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 314 - Umidade na base do Pilar 04



Fonte: Autoria própria (2025).

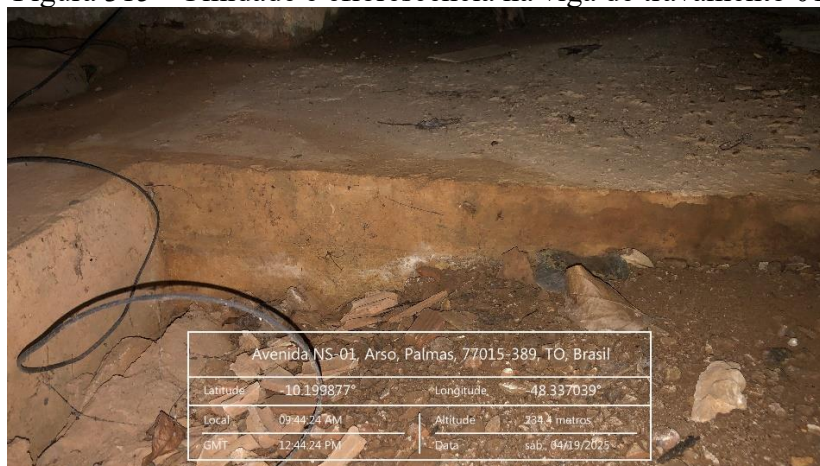
Referente à infraestrutura, foram encontradas nos blocos de coroamento, bem como nas vigas de travamento que os unem, manchas horizontais de eflorescência. Os pontos afetados são os elementos das extremidades norte e sul, com destaque para a primeira. Nos elementos de fundação localizados no centro do tabuleiro é encontrada apenas umidade, causada pelo recente aumento de nível do Córrego, sem sinais de eflorescência. Assim, nos permite inferir que a causa principal das manifestações nos elementos de infraestrutura das extremidades é a umidade advinda do solo arrimado.

Evidência que corrobora para o entendimento acima são os sinais de umidade nas bases do muro de arrimo e dos pilares adjacentes. Pela sua própria constituição, o muro de gabião é um elemento altamente permeável, logo, a provável inexistência ou ineficiência de drenos de pé nesse elemento levou ao acúmulo de água em pontos indesejados, a exemplo do solo imediatamente atrás dos blocos e vigas da fundação.

Vale rememorar que o mecanismo de surgimento da eflorescência requer pressão hidrostática para que a água percole pela massa de concreto, hidrolise e carregue compostos de sua massa. Assim, concluímos que a poropressão do solo, que possivelmente se encontra

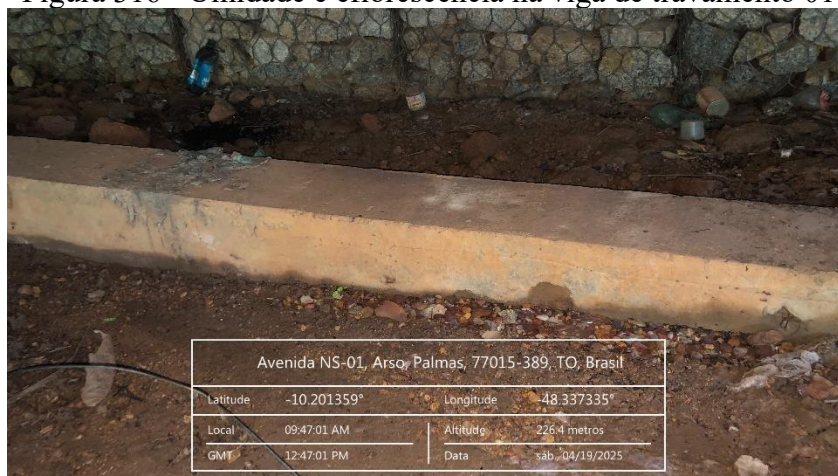
saturado, faz com que a água penetre no elemento e dê início ao mecanismo físico-químico acima.

Figura 315 - Umidade e eflorescência na viga de travamento 01



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 316 - Umidade e eflorescência na viga de travamento 01



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 317 - Umidade e eflorescência no Bloco 02



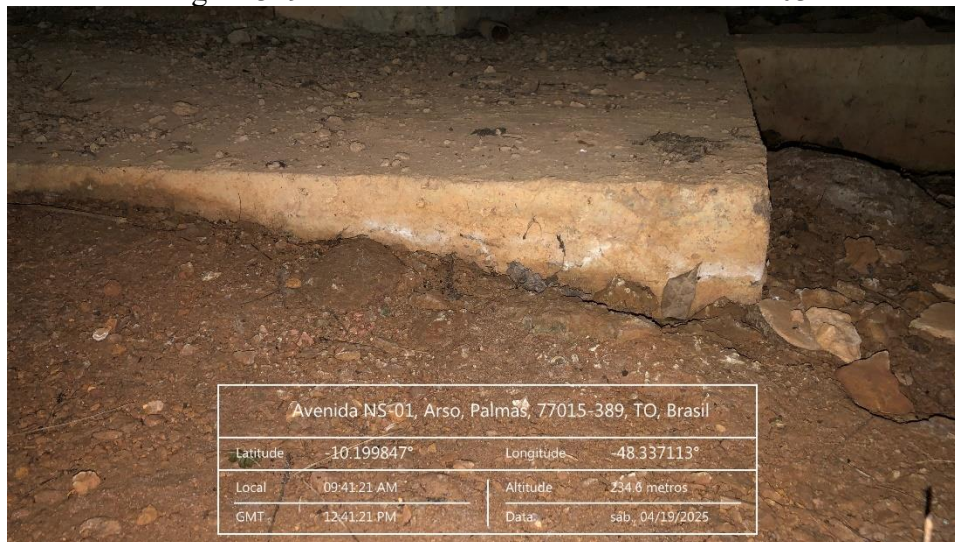
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 318 - Umidade e eflorescência no Bloco 02



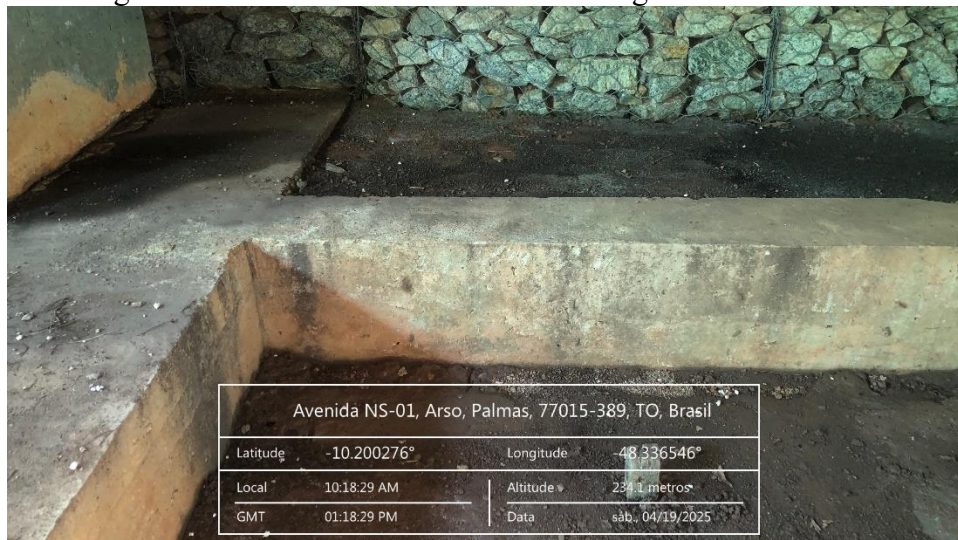
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 319 - Umidade e eflorescência no Bloco 03



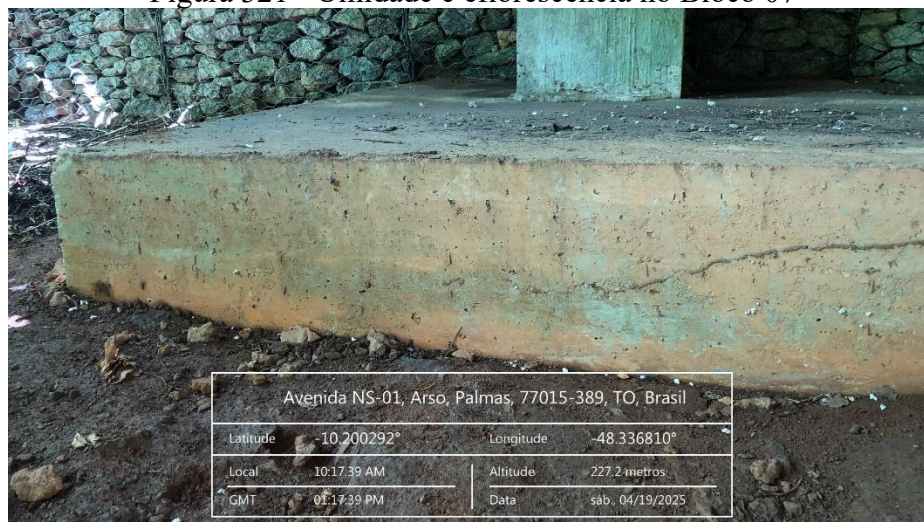
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 320- Umidade e eflorescência na viga de travamento 03



Fonte: Aatoria própria (2025).

Figura 321 - Umidade e eflorescência no Bloco 07



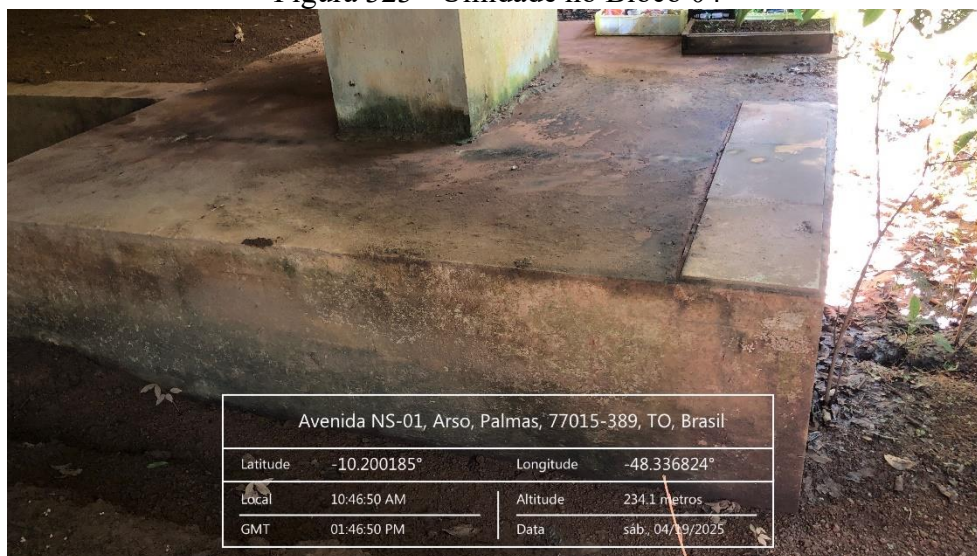
Fonte: Aatoria própria (2025).

Figura 322 - Umidade e eflorescência na viga de travamento 03



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 323 - Umidade no Bloco 04



Fonte: Autoria própria (2025).

### 3.5.1. Metodologia GDE

Tabela 17 – Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida NS-01

| ELEMENTO                                 | Gde       | Gdemax    | $\Sigma$ Gde | Gdf       | Fr       | xFre            |
|--|-----------|-----------|--------------|-----------|----------|-----------------|
| Pista rolamento                          | 40        | 40        | 40           | 40        | 2        | 80              |
| Cortina Norte                            | 24        | 24        | 48           | 29,393877 | 3        | 88,18163        |
| Cortina Sul                              | 24        |           |              |           |          |                 |
| Laje                                     | 3,2       | 3,2       | 3,2          | 3,2       | 4        | 12,8            |
| Travessa 1                               | 35,142857 | 72,631579 | 166,9411     | 90,859955 | 4        | 363,4398        |
| Travessa 2                               | 59,166667 |           |              |           |          |                 |
| Travessa 3                               | 72,631579 |           |              |           |          |                 |
| Longarina 1                              | 4,8       | 6,72      | 17,92        | 8,5663528 | 5        | 42,83176        |
| Longarina 5                              | 6,72      |           |              |           |          |                 |
| Longarina 7                              | 3,2       |           |              |           |          |                 |
| Longarina 9                              | 3,2       |           |              |           |          |                 |
| Transversina 5                           | 6,72      | 6,72      | 6,72         | 6,72      | 4        | 26,88           |
| Pilar 2                                  | 4,8       | 24        | 57,6         | 30,199338 | 5        | 150,9967        |
| Pilar 4                                  | 4,8       |           |              |           |          |                 |
| Pilar 7                                  | 24        |           |              |           |          |                 |
| Pilar 9                                  | 24        |           |              |           |          |                 |
| Bloco de coroamento 1                    | 3,2       | 24        | 43,52        | 28,885168 | 4        | 115,5407        |
| Bloco de coroamento 2                    | 6,72      |           |              |           |          |                 |
| Bloco de coroamento 6                    | 24        |           |              |           |          |                 |
| Bloco de coroamento 7                    | 4,8       |           |              |           |          |                 |
| Bloco de coroamento 9                    | 4,8       |           |              |           |          |                 |
| Viga de travamento 1                     | 3,2       | 4,8       | 8            | 5,6794366 | 4        | 22,71775        |
| Viga de travamento 3                     | 4,8       |           |              |           |          |                 |
| <b>Grau de deterioração da estrutura</b> |           |           |              |           | <b>=</b> | <b>25,81109</b> |

Fonte: Autoria própria (2025).

O Grau de Deterioração obtido para a estrutura é classificado como médio, segundo a tabela 03, extraída de Fonseca (2007). Próximo do limite mínimo para essa classificação, que é 15. O prazo máximo de intervenção determinado esse autor é de 2 anos, devendo as próximas inspeções já terem seu prazo e natureza definidos.

Assim, de modo geral e à vista da metodologia em questão, a ponte se apresenta em estado de conservação bastante satisfatório. Entretanto, algumas observações devem ser feitas. Primeiro, em razão de a maioria dos elementos terem obtido grau de deterioração baixo, o alto grau das travessas foi ofuscado no cálculo do GDE final, visto que esse é uma espécie de média entre os valores. Pontua-se que os graus das travessas 02 e 03 são suficientes para classificá-las em altamente deterioradas, que exige intervenção em prazo máximo de um ano, segundo Fonseca (2007).

Outro adendo é o grau da pista de rolamento, que se apresenta em valor considerável, mas que não interfere no valor final da OAE por possuir baixo fator de relevância. Muito além de apresentar um mero dano na via trafegável, as aberturas que lá se encontram são a causa das maiores manifestações encontradas na Obra, conforme demonstrado no tópico anterior. Aspectos que, aliados ao fato de a ponte aqui tratada estar entre as mais novas do escopo deste trabalho, tornam a Obra digna de atenção.

Por último, observa-se que o método GDE classificou a travessa 03 em pior estado que a 02, mesmo esta apresentando manifestações mais chamativas. Isso se deve ao fato de o fator de ponderação da umidade ser maior que o da eflorescência, e a travessa 03 apresenta umidade em toda sua extensão, enquanto na outra a umidade se concentra mais na extremidade Leste.

### 3.5.2. Metodologia DNIT

Tabela 18 – Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida NS-01

| DNIT 010/2004       |            |   |
|---------------------|------------|---|
| Lajes               |            | Alguns pontos de eflorescência em regiões de encontro com vigas. Sem indicar grande perda de massa ou outro tipo de insuficiência estrutural. |
| NT                  | 4<br>(Boa) |   |
| Vigamento principal |            |   |

|                            |                          |  |
|----------------------------|--------------------------|--|
| NT                         | 3<br>(Boa aparentemente) | Travessas apresentam fortes evidências do contato constante com umidade. Grandes manchas de eflorescência com formações de estalactite indicam perda de massa e dano gerador de insuficiência. Porém, não foi possível aferir o grau de insuficiência. |
| Mesoestrutura              |                          | Manchas esverdeadas de umidade na base de quatro dos nove pilares. Não há sinais de que gerou corrosão, carbonatação ou outro tipo de insuficiência.   |
| NT                         | 4<br>(Boa)               |  |
| Infraestrutura             |                          | Blocos de coroamento e vigas de travamento com sinais de eflorescência em pequenas extensões, sem grande carreamento de massa. Cortinas de contenção com manchas significativas de umidade, sem sinal indicativo de insuficiência estrutural.          |
| NT                         | 4<br>(Boa)               |  |
| Pista/Acesso               |                          | Trincas acentuadas nas regiões das cabeceiras e centro do tabuleiro, promovendo deterioração dos elementos subjacentes.  |
| NT                         | 3<br>(Boa aparentemente) |  |
| <b>Nota técnica da OAE</b> |                          | <b>3</b>   |

Fonte: Autoria própria (2025).

A nota técnica final da Ponte a classifica como aparentemente boa, caracterizando-a como uma obra potencialmente problemática, devendo a evolução dos problemas serem acompanhados por meio de inspeções rotineiras para que seja evitado o agravamento dos danos já instalados. Nestes casos, o DNIT permite que a recuperação seja postergada, desde que haja observação sistemática da Obra.

Mais uma vez fica evidente a expressividade dos danos ocasionados pela infiltração pluvial promovida pelas aberturas do tabuleiro. Das cinco notas técnicas da ponte, duas a classificaram como obra potencialmente problemática: Pista/acesso e vigamento principal. Inclusive, notas dadas em consequência de manifestações que possuem relação de causa (primeira) e efeito (segunda). Pontua-se que, embora vigas travessas não sejam tidas como principais, é o grupo em que se encaixam para fins de aplicação da metodologia DNIT.

### 3.6. PONTE DA AVENIDA LO-05

A OAE analisada neste t3pico, assim como a do anterior, compartilha um 3nico tabuleiro para ambos os sentidos de tr3fego. No entanto, diferencia-se por atender a uma via de m3o dupla com pista simples, ou seja, h3 apenas uma faixa de circula33o por sentido, sem separa33o f3sica entre os fluxos opostos de ve3culos. Em fun33o dessa configura33o, esta estrutura apresenta a menor largura de tabuleiro entre todas as inclu3idas no escopo deste trabalho.

Quanto 3 disposi33o dos elementos estruturais, se assemelha 3 maioria das OAE anteriores: laje de concreto armado apoiada sobre 6 transversinas e 2 longarinas, que s3o apoiadas em dois pares de pilares de se33o circular, ligados por uma viga de travamento cada par. O aterro 3 arrimado por cortinas de conten33o em concreto armado em cada uma das cabeceiras. A laje apresenta dois balan3os assim3tricos, o do lado Sul em maior dimens3o devido ao passeio localizado imediatamente acima, conforme imagens abaixo. Vale destacar que a vegeta33o densa ao redor da obra impossibilitou a captura de imagens com maior amplitude.

Adotou-se o sentido Leste-Oeste como principal para enumera33o dos elementos.

Figura 324 - Disposi33o de vigas e pilares



Fonte: Aurtoria pr3pria (2025).

Figura 325 - Longarina 01 e balan3o sul



Fonte: Aurtoria pr3pria (2025).

Concluídas as considerações gerais, passa-se ao relato das manifestações patológicas observadas: No que se refere ao tabuleiro, de forma geral, constata-se a presença de trincas e sinais de umidade excessiva. No passeio, observa-se a obstrução dos dispositivos de drenagem, cujos elementos de captação encontram-se parcialmente vedados por folhas secas, sedimentos e resíduos carreados pelas chuvas.

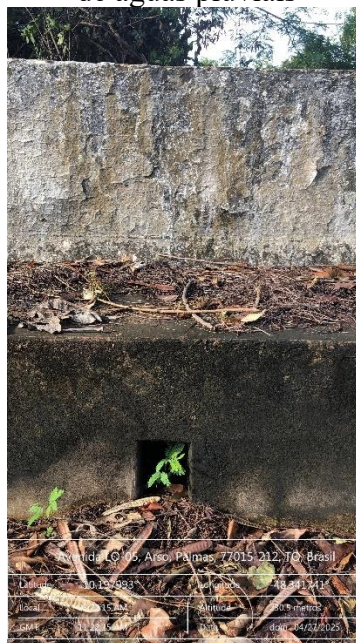
Na base da barreira rígida que separa o passeio da faixa de rolamento, são visíveis manchas escuras de umidade ao longo de toda a sua extensão. Quanto à barreira do lado oposto, o tráfego da avenida não possibilitou a sua vistoria com igual acurácia, visto que aquela extremidade não dispõe de passeio.

Figura 326 - Obstrução parcial do coletor de águas pluviais



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 327 - Obstrução parcial do coletor de águas pluviais



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 328 - Acúmulo de sedimentos no passeio



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 329 - Umidade nos elementos do passeio



Fonte: Autoria própria (2025).

Na pista de rolamento, foi identificada uma trinca transversal, relativamente retilínea e de magnitude moderada, localizada na cabeceira Leste. Apesar de sua extensão, não há degrau perceptível na transição entre o tabuleiro e o terrapleno, o que impossibilita, até o momento, a identificação de uma causa evidente para a abertura observada. Já na cabeceira Oeste e em trechos intermediários do tabuleiro, observam-se trincas e fissuras de pequena expressão.

Figura 330 - Trinca na cabeceira Leste



Fonte: Autoria própria (2025).

Convém observar que, embora não apresentem caráter alarmante, os achados descritos até o momento contribuem diretamente para o surgimento de eflorescências na laje, algumas delas de proporções significativas, que serão detalhadas mais adiante. Conforme mencionado, as trincas presentes no tabuleiro possibilitaram a infiltração de água através do concreto, promovendo a dissolução de sais solúveis presentes na matriz cimentícia. Após a evaporação da água na superfície, esses sais cristalizam-se, formando manchas esbranquiçadas características.

A obstrução dos elementos de drenagem fez com que a água seguisse caminhos alternativos na laje, os quais não foram projetados para suportar o contato prolongado com a umidade, favorecendo assim o processo físico-químico descrito anteriormente.

Ainda no que se refere à pista de rolamento, ressalta-se que não foram identificados pontos com desgaste superficial. No entanto, observou-se a existência de empoçamentos em trechos da faixa de tráfego, decorrentes de deficiências no sistema de drenagem. Essa condição favorece a ocorrência de aquaplanagem, uma vez que a lâmina d'água impede o contato direto entre os pneus dos veículos e o pavimento, reduzindo a aderência e comprometendo a segurança viária.

Figura 331 - Acúmulo de água no pavimento



Fonte: Autoria própria (2025).

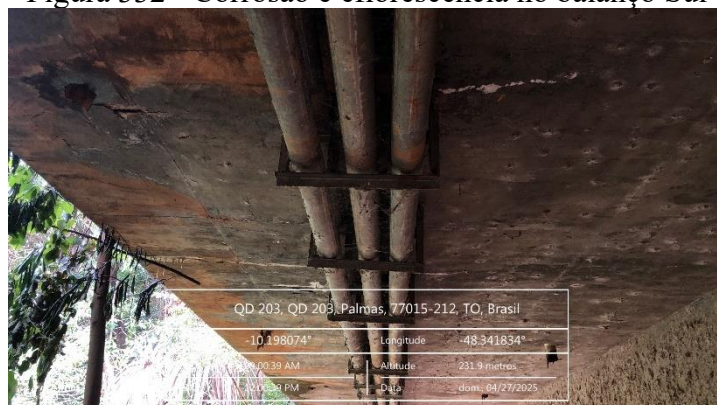
No que tange à laje, chama a atenção a porção sul do elemento, abaixo do passeio. Ao longo de todo balanço sul há manchas extensas de eflorescências, algumas em direção

transversal e outras ao redor de algum ponto específico, como os buzinotes. Em pontos diversos, a manifestação progrediu ao ponto de apresentar estalactite, em dois deles há gotejamento de compostos esbranquiçados formados pelos sais solúveis que foram lixiviados da pasta de cimento.

Além disso, observam-se pontos de armadura exposta localizados em áreas de umidade excessiva e deslocamento, o que permite inferir que essas armaduras se encontram em algum estágio de oxidação. Isso se deve ao fato de que a umidade, especialmente na presença de oxigênio, rompe a camada passivadora natural do aço, expondo-o à corrosão. Ademais, a água atua como eletrólito, facilitando as reações eletroquímicas entre o oxigênio e o metal.

Como os produtos de corrosão — principalmente óxidos e hidróxidos de ferro — podem apresentar volume até dez vezes superior ao do aço original, ocorre uma expansão significativa no interior do concreto. Essa expansão gera esforços de tração que superam a capacidade resistente do concreto, que normalmente possui resistência à tração em torno de 10% da sua resistência à compressão. Como resultado, surgem fissuras no cobrimento e, progressivamente, ocorre o deslocamento ao longo do comprimento das barras afetadas.

Figura 332 - Corrosão e eflorescência no balanço Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 333 - Formação de estalactite no balanço Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 334 - Formação de estalactite no balanço Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 335 - Umidade e corrosão no balanço Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 336 - Eflorescência no balanço Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 337 - Eflorescência no balanço Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 338 - Eflorescência no balanço Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 339 - Produtos lixiviados da pasta de cimento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 340 - Produtos lixiviados da pasta de cimento



Fonte: Autoria própria (2025).

Na parte interna do vão e no balanço norte também são observadas manchas de eflorescência, semelhantes em tipologia e intensidade às registradas no balanço sul, porém em menor quantidade.

Na porção interna, próxima à cabeceira Leste, imediatamente acima dos pilares 01 e 02, identifica-se uma extensa mancha de eflorescência, coincidente em forma, extensão e

localização com a trinca previamente descrita na pista de rolamento. Tal correlação permite inferir que a trinca seja a provável origem da manifestação.

Na cabeceira Oeste, a situação se repete, com a diferença de que, além da eflorescência, há indícios de corrosão das armaduras e deslocamento do concreto na mesma região, evidenciando estágio mais avançado de deterioração.

Figura 341 - Eflorescência com pequena formação de estalactite no balanço Norte



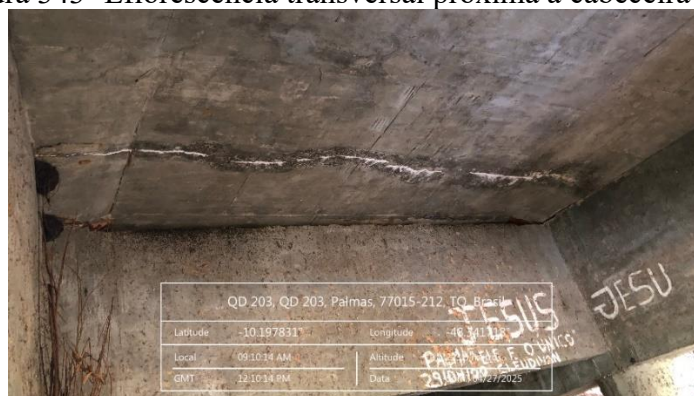
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 342 - Eflorescência transversal próxima à cabeceira Leste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 343- Eflorescência transversal próxima à cabeceira Leste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 344 - Eflorescência, corrosão e deslocamento próximos à cabeceira Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

No que se refere às cortinas de contenção, as manifestações patológicas concentram-se exclusivamente nas alas sul. Tanto na cortina leste quanto na oeste, observam-se manchas de umidade e eflorescência localizadas abaixo dos pontos de passagem dos dutos.

A tipologia das manchas — semelhante àquelas encontradas abaixo de buzinetes — sugere escoamento superficial da água sobre o concreto. Considerando-se, ainda, que o surgimento de eflorescência pressupõe a existência de pressão hidrostática e que as manchas esbranquiçadas costumam se manifestar no lado oposto ao da entrada de água, infere-se que também ocorre percolação no lado em contato com o solo. Em síntese, é provável que os dutos estejam provocando transbordamentos tanto no lado interno quanto no lado externo da peça, contribuindo para as manifestações observadas.

Na cortina Leste há também ponto de exposição de armadura, o qual possivelmente se originou ou foi favorecido por alguma falha de concretagem preexistente. Já na Oeste, foi encontrada trinca na extremidade Sul, na região de junção com o guarda-corpo, de abertura e comprimento expressivos, permitindo passagem de água.

Figura 345 - Exposição de armadura na cortina Leste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 346 - Sinais de eflorescência e umidade na cortina Leste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 347 - Sinais de eflorescência e umidade na cortina Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 348 - Sinais de eflorescência e umidade na cortina Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 349 - Trinca na cortina Oeste.



Fonte: Autoria própria (2025).

Com relação às vigas longarinas e transversinas, o grau de conservação geral é considerado satisfatório. Nas longarinas, contudo, observa-se insuficiência de cobrimento em pequena escala, o que permite a identificação da armadura transversal na face inferior ao longo de toda a peça, com alguns pontos de exposição direta do aço. A presença de deslocamentos lineares acompanhando o traçado dos estribos, aliada à coloração, indica o início de processo de corrosão das armaduras

Já nas transversinas, nada foi encontrado. Contudo, forte deslocamento foi encontrado no centro da viga de contraventamento entre os pilares 03 e 04. Local sem exposição aparente a intempéries, de modo que ficou prejudicada a inferência de causa para tal evento. Pontua-se que esta última faz parte da mesoestrutura.

Figura 350 - Insuficiência de cobrimento na longarina 01



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 351 - Insuficiência de cobrimento na longarina 01



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 352 - Insuficiência de cobrimento na longarina 02



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 353 - Insuficiência de cobrimento na longarina 02



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 354 - Desplacamento na viga de contraentramento Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 355 - Desplacamento na viga de contraentramento Oeste



Fonte: Autoria própria (2025).

Os pilares, por sua vez, se apresentam íntegros. Nestes elementos apenas foram detectados indícios de umidade na base, provavelmente devido ao aumento do nível da água em dias de maior precipitação, não apresentando maiores avarias.

Figura 356 - Indícios de umidade no pilar 01



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 357 - Indícios de umidade no pilar 03



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 358 - Indícios de umidade no pilar 03



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 359 - Indícios de umidade no pilar 04



Fonte: Autoria própria (2025).

Os elementos de fundação estão totalmente enterrados, conforme evidenciado nas imagens acima. Por este motivo, não puderam ser inspecionados.

### 3.6.1. Metodologia GDE

Tabela 19 – Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida LO-05

| ELEMENTO                                 | Gde     | Gdemax    | $\Sigma$ Gde | Gdf       | Fr | xFre               |
|--|---------|-----------|--------------|-----------|----|--------------------|
| Guarda corpo – Leste                     | 4,8     | 4,8       | 4,8          | 4,8       | 1  | 4,8                |
| Barreira de defesa Norte                 | 4,8     | 28        | 32,8         | 29,978854 | 2  | 59,95770867        |
| Barreira de defesa Sul                   | 28      |           |              |           |    |                    |
| Pista rolamento (e acesso)               | 4       | 4         | 4            | 4         | 2  | 8                  |
| Cortina Oeste                            | 26,8235 | 26,823529 | 39,7466      | 30,877793 | 3  | 92,63337824        |
| Cortina Leste                            | 12,9231 |           |              |           |    |                    |
| Laje                                     | 60      | 60        | 60           | 60        | 4  | 240                |
| Viga de contraventamento pilar 3-4       | 30      | 30        | 30           | 30,48003  | 4  | 121,9201219        |
| Pilar 1                                  | 2,4     | 2,4       | 7,2          | 3,0983867 | 5  | 15,49193338        |
| Pilar 3                                  | 2,4     |           |              |           |    |                    |
| Pilar 4                                  | 2,4     |           |              |           |    |                    |
| Longarina 1                              | 12,3636 | 12,363636 | 23,3636      | 14,994278 | 5  | 74,9713905         |
| Longarina 2                              | 11      |           |              |           |    |                    |
| <b>Grau de deterioração da estrutura</b> |         |           |              |           | =  | <b>23,76055895</b> |

Fonte: Autoria própria (2025).

O Grau de Deterioração obtido para a estrutura é classificado como médio, segundo a tabela 03, extraída de Fonseca (2007). Próximo do limite mínimo para essa classificação, que é 15. O prazo máximo de intervenção determinado esse autor é de 2 anos, devendo as próximas inspeções já terem seu prazo e natureza definidos.

Assim, de modo geral e à vista da metodologia em questão, a ponte se apresenta em estado de conservação bastante satisfatório, malgrado a forte incidência de eflorescência na Laje. Considerações adicionais são dispensáveis neste ponto; contudo, recomenda-se atenção específica ao sistema de drenagem do passeio de pedestres, elemento singular desta OAE, visto tratar-se do agente causador das principais manifestações patológicas observadas.

Cabe destacar que, conforme simulação realizada com parâmetros hipotéticos, o grau de deterioração da estrutura provavelmente seria classificado como baixo, caso não houvessem

as patologias associadas ao comprometimento do sistema de drenagem. Diante disso, concluímos que a falta de manutenção preventiva é fator decisivo na deterioração desta Obra.

### 3.6.2. Metodologia DNIT

Tabela 20 – Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida LO-05

| DNIT 010/2004              |                          |  |
|----------------------------|--------------------------|--|
| Lajes                      |                          | Pontos de estalactite dão indicação inequívoca de perda de massa do concreto. Deslocamentos acompanhando o comprimento da armadura em locais de umidade na laje indicam corrosão. Fatores que geram alguma insuficiência à integridade do elemento; porém, sem indicar estado sofrível.                    |
| NT                         | 3<br>(Boa aparentemente) |  |
| Vigamento principal        |                          | Há evidências de que o cobrimento insuficiente na base das longarinas causou início de corrosão nas armaduras secundárias. Porém, não apresenta, até o momento, danos geradores de insuficiência estrutural.   |
| NT                         | 4<br>(Boa)               |  |
| Mesoestrutura              |                          | Os quatro pilares encontram-se íntegros, com apenas pequenas manchas de umidade na base. Contudo, a viga de travamento entre os pilares 3 e 4 apresenta deslocamento significativo. Não obstante, não há indícios de que tal dano tenha comprometido em alguma escala a capacidade estrutural do elemento. |
| NT                         | 4<br>(Boa)               |  |
| Infraestrutura             |                          | O possível transbordo através dos dutos que transpassam as cortinas sul causou eflorescência e manchas de umidade. No entanto, não foram observados indícios de perda significativa de massa do concreto nem corrosão nas armaduras.   |
| NT                         | 4<br>(Boa)               |  |
| Pista/Acesso               |                          | Foram observadas trincas no tabuleiro que resultaram em infiltração de água, embora sem abertura expressiva. Além disso, há pontos com acúmulo de água.  |
| NT                         | 4<br>(Boa)               |  |
| <b>Nota técnica da OAE</b> |                          | <b>3</b>   |

Fonte: Autoria própria (2025).

A nota técnica final da Ponte a classifica como aparentemente boa, caracterizando-a como uma obra potencialmente problemática, devendo a evolução dos problemas serem acompanhados por meio de inspeções rotineiras para que seja evitado o agravamento dos danos já instalados. Nestes casos, o DNIT permite que a recuperação seja postergada, desde que haja observação sistemática da Obra.

Mais uma vez, evidencia-se o impacto da infiltração na laje, especialmente no balanço sul do elemento. A percolação de umidade gerou eflorescência e perda de massa do concreto e, em certa medida, corrosão das armaduras. Embora o comprometimento da integridade da laje não seja considerado severo, há indícios de degradação que exigem atenção. Por este motivo, à laje foi atribuída nota técnica 03, enquanto todos os outros elementos receberam nota 04. Como o método em questão exige que seja considerado sempre a menor, podemos concluir que a infiltração foi a única responsável por reduzir a nota técnica de toda a estrutura.

### 3.7. PONTES DA AVENIDA NS-15

As pontes analisadas neste tópico se destacam por apresentarem o maior comprimento e a data de construção mais recente entre as Obras de Arte Especiais (OAE) sobre o Córrego Brejo Comprido, em Palmas–TO. Além disso, são as únicas sob responsabilidade direta do Estado do Tocantins.

Destaca-se, ainda, a presença de uma melhoria recente: a instalação de uma transição metálica entre a pista de rolamento e a barreira rígida, com o objetivo de atenuar os efeitos de eventuais colisões de veículos. Essa intervenção foi implementada após um sinistro ocorrido em 2022, envolvendo a barreira de proteção. Ressalta-se que tal solução de transição não foi identificada em nenhuma das demais obras vistoriadas ao longo deste levantamento.

Figura 360 - Ausência de transição metálica na Barreira rígida em 2022



Fonte: Jornal Agência Tocantins (2022).

Figura 361 - Implantação de transição metálica na barreira rígida



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 362 - Implantação de transição metálica na barreira rígida



Fonte: Autoria própria (2025).

No que se refere aos elementos estruturais, a obra em análise apresenta, em sua superestrutura, além da laje, treze vigas transversinas e três longarinas, todas apoiadas sobre quatro vigas travessas. Cada viga travessa, por sua vez, apoia-se em um par de pilares de seção circular, totalizando oito pilares que compõem a mesoestrutura.

Ressalta-se que o número de transversinas informado não inclui aquelas localizadas nas extremidades da obra, uma vez que estas também exercem a função de cortinas, atuando na contenção do aterro das cabeceiras.

Os elementos da infraestrutura permanecem totalmente enterrados, não sendo visíveis para inspeção.

Parte dessa configuração pode ser observada na imagem abaixo; no entanto, a presença de vegetação densa e a mobilidade reduzida no entorno da estrutura comprometeram a obtenção de registros fotográficos mais abrangentes.

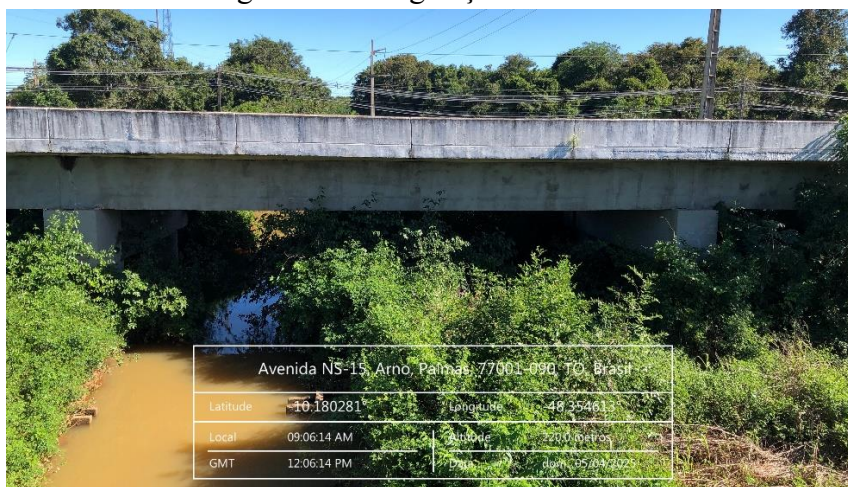
Figura 363 - Disposição dos elementos construtivos



Fonte: Autoria própria (2025).

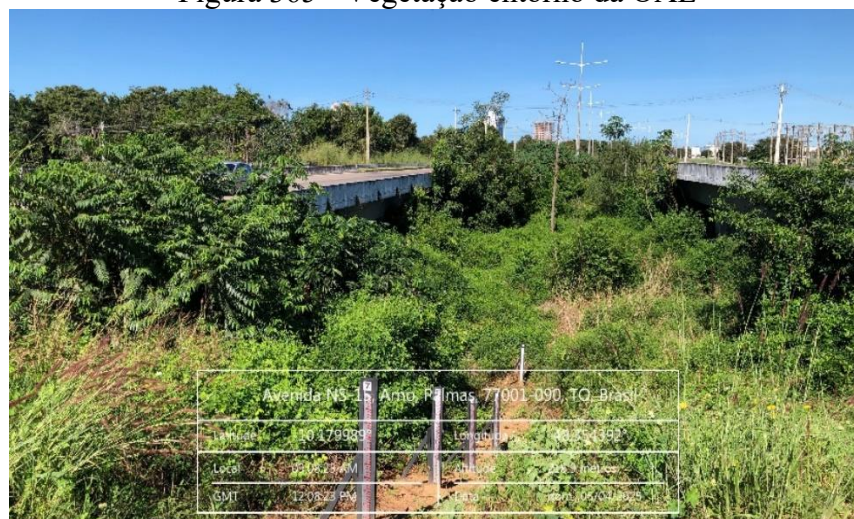
Por fim, convém mencionar o acesso e mobilidade dificultados pela vegetação espessa, tanto no entorno quanto sob a obra, o que impôs riscos e obstáculos à inspeção. Não obstante, todos os elementos foram satisfatoriamente visualizados, com exceção das cortinas de contenção, as quais serão melhor abordadas mais à frente.

Figura 364 - Vegetação sob a OAE



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 365 - Vegetação entorno da OAE



Fonte: Autoria própria (2025).

### 3.7.1. Sentido Sul-Norte

Iniciando pelo tabuleiro, as manifestações a serem relatadas não fogem ao padrão das características encontradas no tabuleiro das demais obras deste escopo. Desse modo, foram encontradas, predominantemente, trincas transversais, retilíneas e igualmente espaçadas ao longo da pista de rolamento. As aberturas em porções intermediárias são menos proeminentes

e mais uniformes, enquanto as trincas próximas às cabeceiras Norte e Sul se mostram mais expressivas e disformes, podendo indicar eventual assentamento do aterro, que teria gerado tensões de tração no pavimento flexível e o levado à fissuração. Porém, ainda sem apresentar risco ou falha relevante.

Outra observação concernente à pista refere-se à ação de reparo feita na transição terrapleno-tabuleiro, onde foi aplicada nova camada de revestimento asfáltico, presumivelmente a fim de corrigir degrau e/ou trincas. Destaca-se que, para a primeira finalidade, tal correção se mostra eficiente, visto que soluciona o problema com base na causa. Entretanto, para a segunda finalidade, tal intervenção apenas minimiza os sintomas. A evidência dessa limitação é observada na cabeceira Norte, onde as trincas continuam a transpassar a camada de revestimento sobreposta.

Figura 366 - Fissura na Cabeceira Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 367 - Trinca na Cabeceira Norte



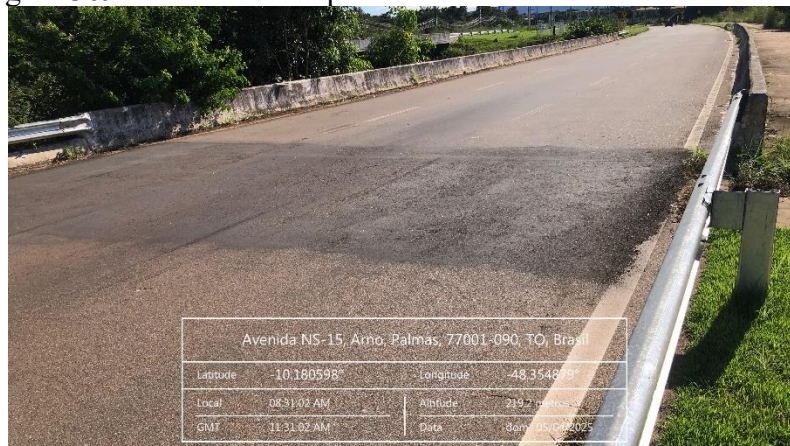
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 368 - Fissuras uniformes no vão intermediário



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 369 - Camada sobreposta de revestimento na Cabeceira Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 370 - Fissura irregular próxima à Cabeceira Norte



Fonte: Autoria própria (2025).

Os elementos complementares do tabuleiro apresentam estado de conservação satisfatório. No guarda-corpo, observam-se apenas corrosões superficiais nas barras metálicas, atribuídas à exposição prolongada às intempéries, caracterizadas por oxidação leve e ausência de perda de seção, não representando, portanto, risco à segurança. A barreira rígida se apresenta em mesmo nível de conservação: superfície apresentando leves sinais de exposição, porém com sua estrutura íntegra.

Figura 371 - Corrosão superficial nas barras metálicas



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 372 - Leve degradação superficial



Fonte: Autoria própria (2025).

Na laje, foram identificadas manifestações patológicas de pequena magnitude. Em decorrência das aberturas existentes no pavimento, previamente ilustradas, ocorre infiltração de água pluvial, que percola através da laje e alcança sua face inferior. Nesse processo, a água transporta sais solúveis presentes na massa de concreto, os quais se depositam na superfície inferior à medida que a água evapora, resultando em manchas esbranquiçadas, como ilustrado a seguir.

Convém destacar que a localização e a tipologia dessas manchas coincidem com as fissuras observadas no pavimento imediatamente acima – especialmente nas cabeceiras, além

de apresentarem características semelhantes às verificadas em outras pontes analisadas neste trabalho, corroborando com a conclusão de eflorescência devido à infiltração pelo pavimento

Observa-se que, em alguns casos desta OAE, a água percolou preferencialmente através das juntas da laje, o que pode ser inferido pela tipologia retilínea das manchas esbranquiçadas e pelas marcas lineares identificadas. Dessa forma, por seguir um caminho de menor resistência, a infiltração não exigiu pressão hidrostática significativa para atravessar o concreto, o que possivelmente limitou o carreamento de sais solúveis, resultando em eflorescência de menor intensidade. Contribui para esse cenário de menor magnitude de eflorescência a menor idade da obra em questão.

Figura 373 - Eflorescência próxima à cabeceira Norte



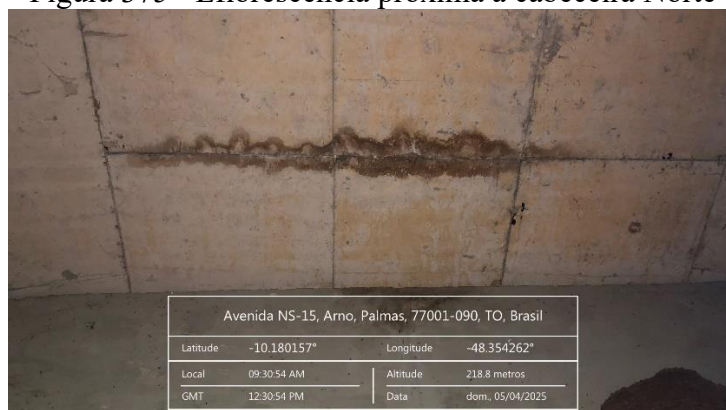
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 374- Eflorescência próxima à cabeceira Sul



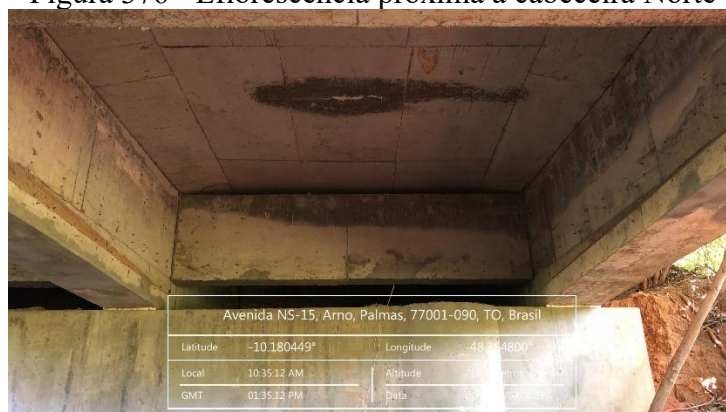
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 375 - Eflorescência próxima à cabeceira Norte



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 376 - Eflorescência próxima à cabeceira Norte



Fonte: Autoria própria (2025).

Quanto aos demais elementos da superestrutura, as vigas são os elementos que concentram os danos mais significativos, embora ainda apresentem, de modo geral, estado de conservação satisfatório. Nas três longarinas, foram identificadas falhas de concretagem na face inferior, sobretudo nas regiões de canto, onde a maior densidade de armadura e a proximidade entre barras e fôrmas dificultam o adensamento e a adequada homogeneização da massa de concreto. Em outros pontos há pequena exposição da armadura ocasionada por cobrimento insuficiente.

Tais falhas construtivas, além de acarretarem perda localizada de resistência à compressão, comprometem a durabilidade do elemento ao expor trechos da armadura e favorecer a ocorrência de corrosão química. Inclusive, essa condição foi observada em determinados pontos das vigas, onde há indícios de início do processo corrosivo.

Figura 377 - Falha de concretagem e exposição de armadura na Longarina 01



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 378 - Falha de concretagem e exposição de armadura na Longarina 01



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 379 - Falha de concretagem e exposição de armadura na Longarina 03



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 380 - Falha de concretagem e exposição de armadura na Longarina 02



Fonte: Autoria própria (2025).

Referente às vigas transversinas, não foram encontrados danos. Nas travessas, por outro lado, é encontrada mancha significativa de umidade na primeira das três, em ambas as extremidades. Das imagens abaixo, é possível notar discrepância nas tipologias e localizações

das duas manchas de umidade. Na extremidade Oeste é possível concluir pela projeção de água que respinga na superfície da peça, fato confirmado pela umidade do solo no entorno e pela presença de buzinote localizado acima.

Por outro lado, na extremidade Leste, a mancha se apresenta mais difusa e próxima ao pilar. Não foi visualizado elemento de drenagem, e o talude da cabeceira, situado atrás da estrutura, é inacessível, o que impossibilitou a identificação precisa da origem da infiltração. Porém, dada a simetria com a ponte do sentido oposto, podemos inferir que é oriunda também de buzinote, o qual provavelmente se localiza atrás da travessa em questão.

Figura 381 - Umidade na viga travessa 01



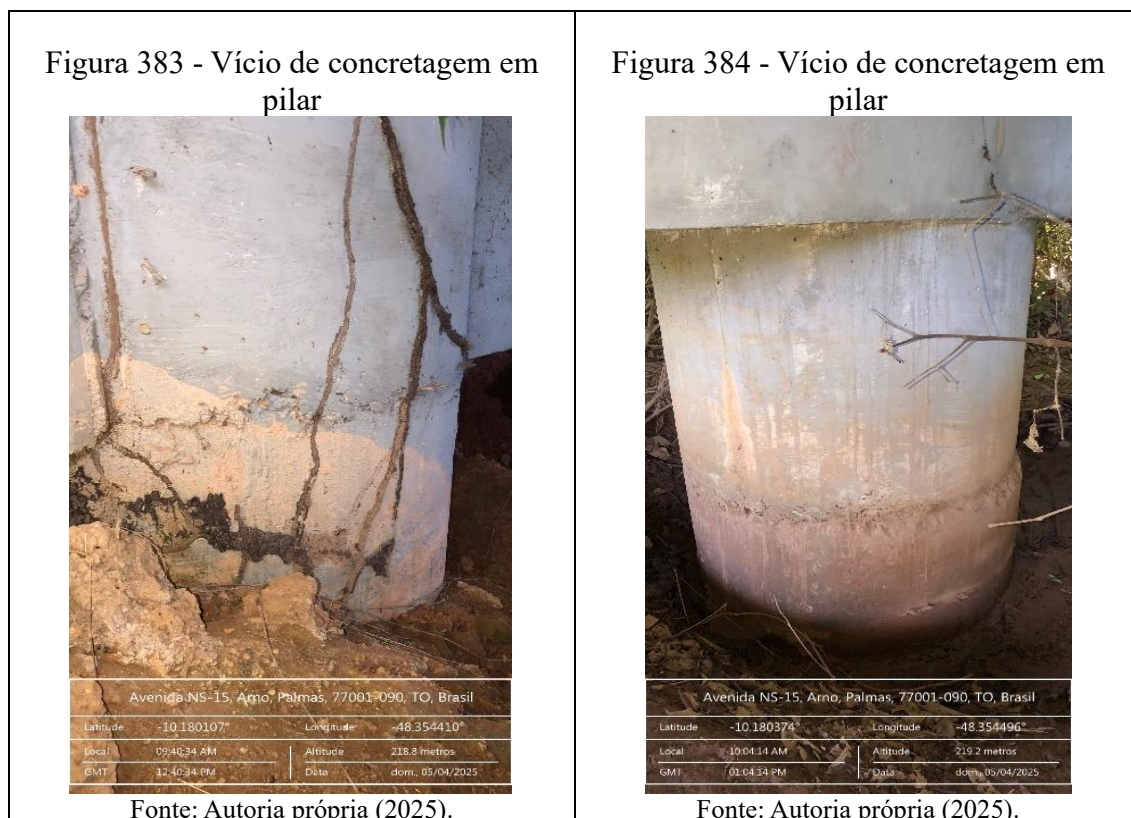
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 382 - Umidade na viga travessa 01



Fonte: Autoria própria (2025).

Quanto aos pilares, além da umidade observada no Pilar 02, conforme ilustrado anteriormente, foram identificadas imperfeições superficiais nos pilares 5 e 8, possivelmente decorrentes de falhas no processo de concretagem. No entanto, não há indícios de perda de seção ou exposição das armaduras, logo, não indicando dano.



Os elementos de fundação estão, em sua totalidade, enterrados. O que é constatado pelas imagens mostradas até então.

### 3.7.1.1. Metodologia GDE

Tabela 21 – Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida NS-15

| ELEMENTO                   | Gde     | Gdemax    | $\Sigma$ Gde | Gdf       | Fr | xFre        |
|----------------------------|---------|-----------|--------------|-----------|----|-------------|
| Guarda-corpo               | 4       | 4         | 4            | 4         | 1  | 4           |
| Pista rolamento (e acesso) | 4       | 4         | 4            | 4         | 2  | 8           |
| Laje                       | 4,26667 | 4,2666667 | 4,26667      | 4,2666667 | 4  | 17,06666667 |
| Pilar 02                   | 4,8     | 4,8       | 4,8          | 4,8       | 5  | 24          |
| Viga longarina 01          | 21,3333 | 21,333333 | 26,1333      | 23,209975 | 5  | 116,0498759 |
| Viga longarina 02          | 4,8     |           |              |           |    |             |
| Viga longarina 03          | 11      |           |              |           |    |             |

|  |    |    |    |    |   |                    |
|--|----|----|----|----|---|--------------------|
| Viga travessa 01                         | 24 | 24 | 24 | 24 | 4 | 96                 |
| <b>Grau de deterioração da estrutura</b> |    |    |    |    | = | <b>12,62459727</b> |

Fonte: Autoria própria (2025).

O grau de deterioração obtido para a estrutura é classificado como baixo, conforme a Tabela 03, extraída de Fonseca (2007). A recomendação do autor, para esse nível de deterioração, é a continuidade das ações de manutenção e inspeção preventiva, considerando que a OAE se encontra em estado estável.

Da interpretação da tabela acima podemos concluir que os maiores danos da estrutura foram decorrentes de algum vício, quais sejam: falha de concretagem/deficiência de cobrimento que causaram exposição e leve corrosão de armadura na longarina 01; além do mau posicionamento de elementos de drenagem, responsável por concentrar umidade na superfície da travessa 01. Apesar dessas manifestações patológicas, a OAE apresenta um estado de conservação geral bastante satisfatório, o que indica bom desempenho da estrutura frente à ação do tempo.

### 3.7.1.2. Metodologia DNIT

Tabela 22 – Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida NS-15

| <b>DNIT 010/2004</b>       |             |  |
|----------------------------|-------------|--|
| <b>Lajes</b>               |             |  |
| NT                         | 4<br>(Boa ) | Manchas transversais de eflorescência próximas às cabeceiras. Sem carrear quantidade significativa de massa ou apresentar algum tipo insuficiência estrutural.             |
| <b>Vigamento principal</b> |             |  |
| NT                         | 4<br>(Boa ) | Falhas de concretagem com conseqüente exposição de armadura em extensões reduzidas. Porém, sem perda de seção na peça ou oxidação que causem perda de capacidade portante. |
| <b>Mesoestrutura</b>       |             |  |
| NT                         | 4<br>(Boa)  | Umidade superficial em um dos oito pilares. Além de vícios de concretagem em outros dois. Porém, não há danos gerando insuficiência.                                       |
| <b>Infraestrutura</b>      |             |  |
| NT                         | N/E         | Elementos de fundação totalmente enterrados e cortinas de contenção inacessíveis.  |

|                            |            |   |
|----------------------------|------------|---|
| Pista/Acesso               |            | Apenas trincas/fissuras de pequenas aberturas. Não há desgaste superficial ou degraus significativos. |
| NT                         | 4<br>(Boa) |   |
| <b>Nota técnica da OAE</b> |            | <b>4</b>  |

Fonte: Autoria própria (2025).

A nota técnica final classifica a ponte como boa, segundo o Anexo C da norma DNIT 010/2004. O que indica a ausência de problemas relevantes. No entanto, foram observadas manifestações pontuais que, embora de baixa gravidade, requerem atenção preventiva. Recomenda-se a continuidade das inspeções e manutenções rotineiras, a fim de evitar a evolução dos danos. A estrutura apresenta bom desempenho geral, compatível com sua função e idade.

Nesta OAE, observa-se uniformidade no grau de conservação entre os grupamentos de elementos estruturais, com exceção da infraestrutura, cuja inspeção visual foi inviabilizada. Essa uniformidade se justifica pelo fato de todas as famílias de elementos apresentarem algum tipo de dano, porém sempre de baixa magnitude. Ademais, nota-se coerência entre os resultados obtidos pelas duas metodologias de avaliação, sendo esta a única OAE a receber Nota Técnica 04 e grau de deterioração classificado como baixo.

### 3.7.2. Sentido Norte-Sul

Iniciando pela pista de rolamento, as anomalias observadas repetem o padrão descrito anteriormente: trincas mais pronunciadas na interface entre o tabuleiro da ponte e o aterro adjacente, e fissuras de menor magnitude, porém mais uniformes, nas regiões centrais do tabuleiro.

Embora apresente pequenos pontos com fissuras interligadas, em forma de malha, o pavimento não indica sinais claros de deformação plástica, o que sugere que o assentamento diferencial entre o aterro e a estrutura pode não ser o principal agente causador das anomalias abaixo ilustradas. Assim, é cabível cogitar a inexistência/deficiente de laje de transição ou deformação por ação térmica como possíveis explicações.

Outra observação a ser feita é que, ao contrário da OAE situada no sentido oposto da via, esta não recebeu nova camada de revestimento asfáltico nas regiões de cabeceira, apresentando, portanto, leve desnível na transição entre o aterro e o tabuleiro.

Figura 385 - Trinca na cabeceira Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 386 - Trinca na cabeceira Norte



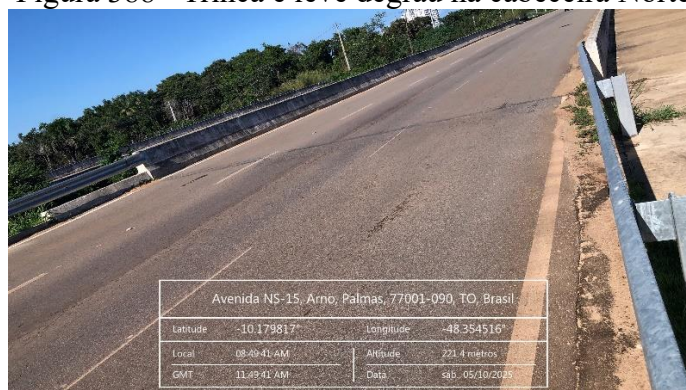
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 387 - Trincas na cabeceira Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 388 - Trinca e leve degrau na cabeceira Norte



Fonte: Autoria própria (2025).

Os elementos complementares de segurança apresentam desgaste por ação do tempo, sem apresentar, contudo, danos que possam ser considerados. A exceção é um ponto específico do guarda-corpo, onde foi identificado o seccionamento das barras metálicas de proteção. Essa condição, caso evolua, poderá representar risco à segurança de transeuntes.

Figura 389 - Leve degradação superficial



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 390 - Seccionamento de barras metálicas



Fonte: Autoria própria (2025).

Apesar da vegetação densa e da acentuada inclinação do talude de acesso, foi possível realizar a inspeção visual de ambas as cortinas de contenção — Norte e Sul —, o que permitiu identificar diversas anomalias construtivas.

Em vários trechos, observam-se indícios da ação da umidade proveniente do solo arrimado, contribuindo diretamente para o processo de deterioração dessas estruturas. Em áreas com falhas de concretagem preexistentes, nota-se a percolação da água até a face oposta das peças, evidenciada pela presença de manchas escurecidas.

Na cortina Sul, em um ponto específico, a poropressão gerada pela água no interior do solo promoveu sua migração através da matriz de concreto, resultando na formação de eflorescência visível na superfície da peça. Também foram constatados sinais de umidade no solo adjacente, indicando o caminho percorrido pela água e sugerindo carreamento de material do aterro.

Na cortina Norte, observa-se a formação de limo, provocada pela umidade constante associada à presença de vegetação e à ausência de incidência solar direta — fator igualmente decorrente da vegetação densa no entorno. Há, ainda, indícios iniciais de corrosão localizada.

Adicionalmente, verificam-se falhas de concretagem nas regiões superior e inferior da cortina, especialmente nos cantos de forma. Essas falhas são atribuídas à elevada densidade de armaduras e à reduzida distância entre as ferragens e as fôrmas, condições que dificultam o adensamento eficiente do concreto durante a execução

Figura 391 - Densidade de vegetação próxima à cortina Norte



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 392 - Limo e indícios de corrosão de armadura na cortina Norte



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 393 - Falhas de concretagem com exposição de armadura na cortina Norte



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 394 - Falhas de concretagem com exposição de armadura na Cortina Norte



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 395 - Eflorescência na cortina Sul



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 396 - Falha de concretagem na cortina Sul



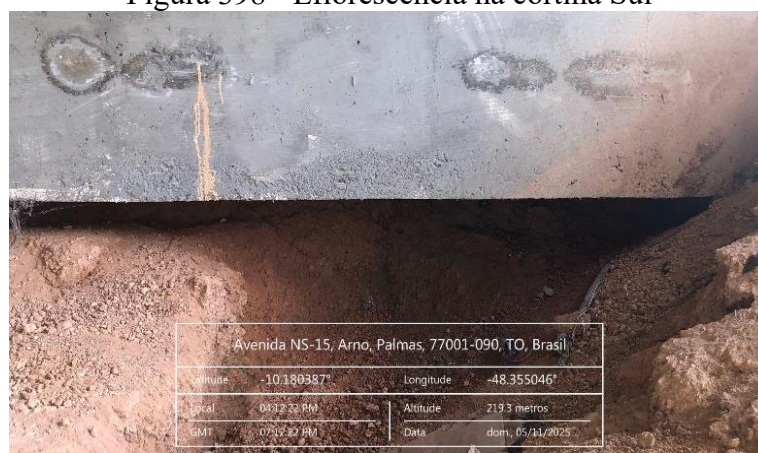
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 397 - Percolação de água através de falhas na cortina Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 398 - Eflorescência na cortina Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 399 - Carreamento de solo abaixo da cortina Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 400 - Percolação de água através de falhas na cortina Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 401 - Falha de concretagem e exposição de armadura na cortina Sul



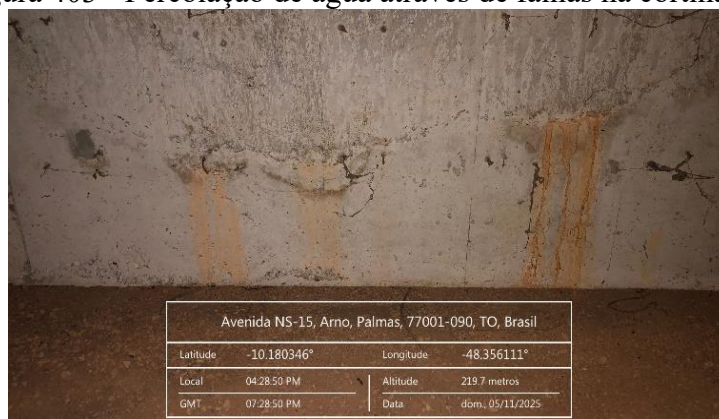
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 402 - Falha de concretagem e exposição de armadura na cortina Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 403 - Percolação de água através de falhas na cortina Sul

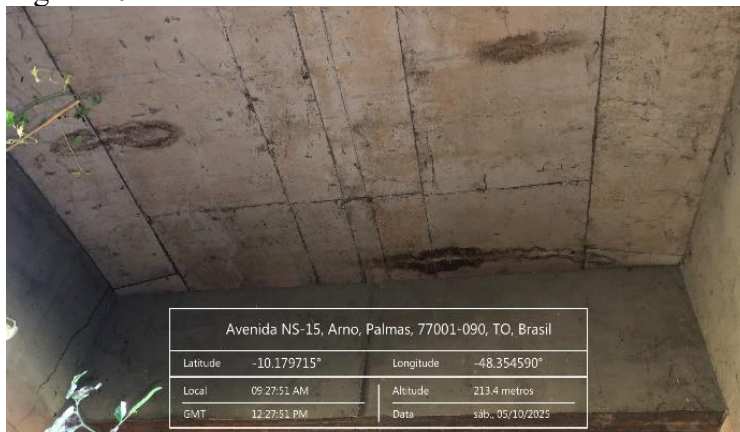


Fonte: Autoria própria (2025).

Quanto à laje, observa-se uma manifestação patológica predominante: manchas alongadas de eflorescência que seguem o traçado das trincas identificadas na pista de rolamento. A principal variação está na intensidade dessas formações, que são mais proeminentes nas regiões das extremidades, junto às cabeceiras. Em alguns casos, há presença de pequenas estalactites, o que indica um carreamento moderado de sais solúveis pela água percolada através da massa de concreto.

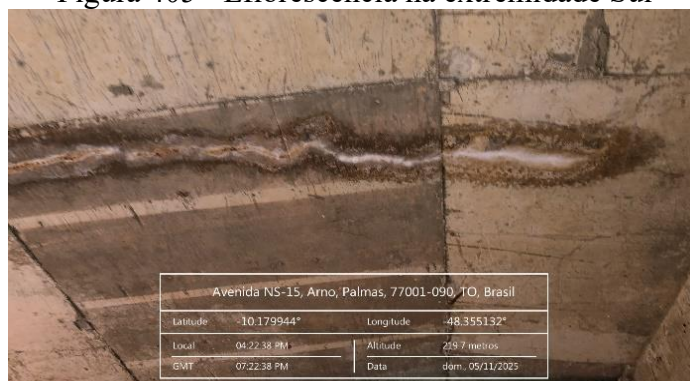
Ressalta-se ainda que, nesta OAE, tais manifestações se apresentam de forma ligeiramente mais acentuada do que na OAE analisada anteriormente — o que já era esperado, uma vez que, nesta estrutura, não houve recapeamento asfáltico que pudesse obstruir as trincas superficiais do pavimento e, conseqüentemente, limitar a infiltração de água

Figura 404 - Sinais de eflorescência na extremidade Norte



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 405 - Eflorescência na extremidade Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 406 - Manchas de eflorescência na extremidade Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 407 - Manchas de eflorescência na extremidade Sul



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 408 - Eflorescência com formação de estalactite na extremidade Sul



|  |             |           |                 |
|--|-------------|-----------|-----------------|
| Avenida NS-15, Arno, Palmas, 77001-090, TO, Brasil |             |           |                 |
| Latitude   | -10.180347° | Longitude | -48.356112°     |
| Local  | 04:30:38 PM | Altitude  | 219,7 metros    |
| GMT  | 07:30:38 PM | Data      | dom, 05/11/2025 |

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 409 - Sinais de eflorescência na extremidade Sul



|  |             |           |                 |
|--|-------------|-----------|-----------------|
| Avenida NS-15, Arno, Palmas, 77001-090, TO, Brasil |             |           |                 |
| Latitude   | -10.180301° | Longitude | -48.354962°     |
| Local  | 04:41:59 PM | Altitude  | 219,8 metros    |
| GMT  | 07:41:59 PM | Data      | dom, 05/11/2025 |

Fonte: Autoria própria (2025).

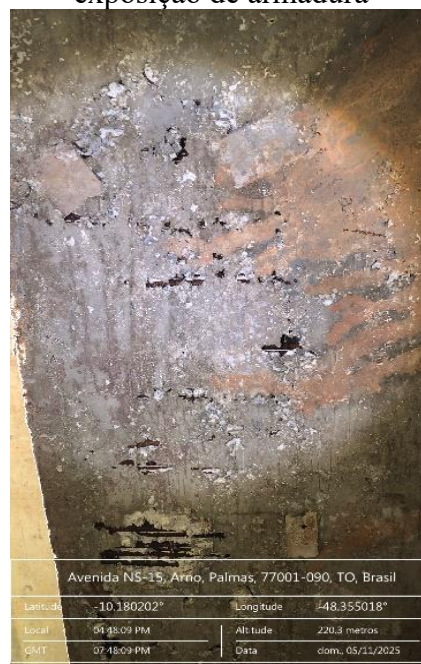
Quanto ao sistema de vigamento da Obra, as longarinas se destacam como os elementos mais deteriorados, mais especificamente a Longarina 01. Nessa peça, foram identificadas falhas de concretagem expressivas, com significativa exposição das armaduras e alta porosidade na massa de concreto. Além disso, observou-se a presença de folhas secas incrustadas na superfície, denunciando possível falta de controle tecnológico na etapa construtiva da concretagem.

Figura 410 - Falhas de concretagem com exposição de armadura



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 411 - Falhas de concretagem com exposição de armadura



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 412 - Falhas de concretagem com exposição de armadura



Fonte: Autoria própria (2025).

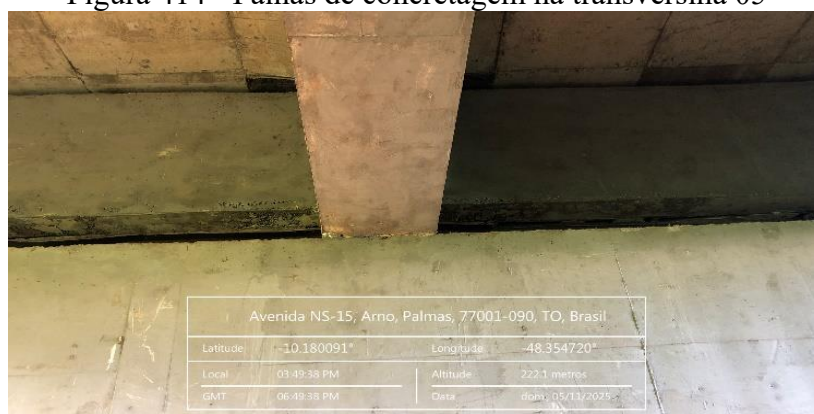
Figura 413 - Falhas de concretagem com exposição de armadura



Fonte: Autoria própria (2025).

As vigas transversinas seguem padrão semelhante de deterioração. A transversina 05, em particular, apresenta falhas de concretagem em sua face inferior, distribuídas ao longo da extensão longitudinal. Tais falhas se manifestam por elevada concentração de agregado gráudo e acentuada porosidade, indicando deficiências no adensamento da massa durante a execução. Além disso, observa-se a presença de manchas causadas por escoamento superficial de água proveniente do sistema de drenagem, cujos buzinotes estão mal posicionados, direcionando o fluxo diretamente sobre elementos estruturais. Essa condição favorece, ao longo do tempo, processos de erosão superficial e desgaste por lixiviação da pasta de cimento, podendo comprometer a durabilidade da peça.

Figura 414 - Falhas de concretagem na transversina 05



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 415 - Escoamento superficial sobre a transversina



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 516 - Escoamento superficial sobre a transversina



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 417 - Escoamento superficial sobre a transversina



Fonte: Autoria própria (2025).

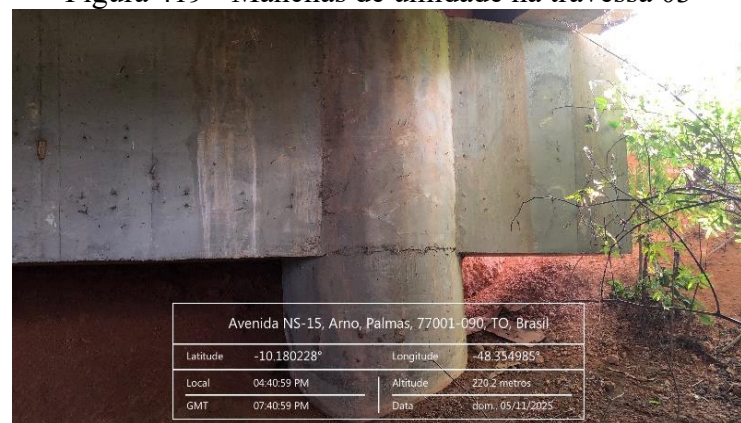
As travessas refletem o mesmo problema de drenagem mal direcionada, nas três é notória a formação de manchas, e até limo, pelo despejo frequente de água pluvial, provenientes de buzinetes localizados imediatamente acima.

Figura 418 - Manchas de umidade na travessa 01



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 419 - Manchas de umidade na travessa 03



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 420 - Buzinote acima da travessa 01



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 421 - Manchas de umidade na travessa 02



Fonte: Autoria própria (2025).

Os pilares também são afetados pela umidade, embora nenhum apresente estágio de deterioração moderado ou avançado. Observa-se a influência combinada da drenagem deficiente e do contato contínuo com a umidade do solo — especialmente nos pilares localizados nas extremidades — condição que favorece o processo de ascensão capilar, resultando em umidade persistente na base desses elementos.

Figura 422 - Umidade proveniente de drenagem em pilar da extremidade Norte



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 423 - Umidade em pilar da extremidade Norte



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 424 - Umidade em pilar da extremidade Norte



Fonte: Autorial própria (2025).

Figura 425 - Umidade em pilar da extremidade Sul



Fonte: Autorial própria (2025).

## 3.7.2.1. Metodologia GDE

Tabela 23 – Aplicação da metodologia GDE na Ponte da Avenida NS-15

| ELEMENTO                                 | Gde     | Gdemax  | $\Sigma$ Gde | Gdf    | Fr | xFre         |
|--|---------|---------|--------------|--------|----|--------------|
| Guarda corpo - Leste                     | 4       | 4       | 4            | 4      | 1  | 4            |
| Pista rolamento (e acesso)               | 4       | 4       | 4            | 4      | 2  | 8            |
| Laje                                     | 16      | 16      | 16           | 16     | 4  | 64           |
| Cortina Norte                            | 16      | 18,6667 | 34,6667      | 22,567 | 3  | 67,7007      |
| Cortina Sul                              | 18,6667 |         |              |        |    |              |
| Pilar 1                                  | 4,8     | 4,8     | 21,6         | 6,4    | 5  | 32           |
| Pilar 2                                  | 4,8     |         |              |        |    |              |
| Pilar 4                                  | 4,8     |         |              |        |    |              |
| Pilar 7                                  | 2,4     |         |              |        |    |              |
| Pilar 8                                  | 4,8     |         |              |        |    |              |
| Viga longarina 3                         | 21,3333 | 21,3333 | 21,3333      | 21,333 | 4  | 85,3333      |
| Viga travessa 1                          | 4,8     | 4,8     | 14,4         | 6,1968 | 4  | 24,7871      |
| Viga travessa 2                          | 4,8     |         |              |        |    |              |
| Viga travessa 3                          | 4,8     |         |              |        |    |              |
| Viga transversina 2                      | 4,8     | 4,8     | 24           | 6,4399 | 4  | 25,7595      |
| Viga transversina 3                      | 1,6     |         |              |        |    |              |
| Viga transversina 5                      | 3,2     |         |              |        |    |              |
| Viga transversina 11                     | 4,8     |         |              |        |    |              |
| Viga transversina 12                     | 4,8     |         |              |        |    |              |
| Viga transversina 13                     | 4,8     |         |              |        |    |              |
| <b>Grau de deterioração da estrutura</b> |         |         |              |        | =  | <b>11,54</b> |

Fonte: Autoria própria (2025).

O grau de deterioração obtido para a estrutura é classificado como baixo, conforme a Tabela 03, extraída de Fonseca (2007). A recomendação do autor, para esse nível de deterioração, é a continuidade das ações de manutenção e inspeção preventiva, considerando que a OAE se encontra em estado estável.

À primeira vista, considerando a maior incidência e diversidade de anomalias patológicas, seria plausível supor que o Grau de Deterioração Estrutural (GDE) desta OAE apresentasse valor superior ao da estrutura analisada no tópico anterior. No entanto, observa-se o contrário: o valor final do GDE é ligeiramente inferior.

Essa aparente contradição se justifica pela fórmula matemática empregada no método adotado, que calcula o GDE como uma fração: o numerador representa o somatório dos graus de deterioração das famílias de elementos, enquanto o denominador corresponde ao somatório dos respectivos fatores de relevância dessas famílias.

Assim, a inclusão de famílias com alta relevância estrutural, mas com baixo grau de deterioração, tende a elevar o denominador da fração mais do que o numerador, o que, por consequência, reduz o valor final do GDE.

Importa destacar que o método considera o grau de deterioração e a quantidade de famílias afetadas, e não o número absoluto de elementos deteriorados dentro de cada família.

No caso específico desta OAE, foram acrescentadas apenas duas novas famílias em relação à estrutura anterior — embora o número total de elementos deteriorados seja maior. Uma dessas famílias é a das vigas transversinas, que possuem alto fator de relevância, mas baixo grau de deterioração, o que contribuiu significativamente para a redução do valor final do GDE. No mais, os comentários se repetem em relação à Obra relatada no tópico anterior.

### 3.7.2.2. Metodologia DNIT

Tabela 24 – Aplicação da metodologia DNIT na Ponte da Avenida NS-15

| DNIT 010/2004       |            |  |
|---------------------|------------|--|
| Lajes               |            | Manchas transversais de eflorescência próximas às cabeceiras. Sem carrear quantidade significativa de massa ou apresentar indício de insuficiência estrutural em alguma magnitude.                                       |
| NT                  | 4<br>(Boa) |  |
| Vigamento principal |            | Falhas de concretagem com consequente exposição de armadura em extensões moderadas em uma das três longarinas. Porém, sem perda de seção na peça ou oxidação a ponto de causar perda de capacidade portante do elemento. |
| NT                  | 4<br>(Boa) |  |
| Mesoestrutura       |            |  |

|                            |            |  |
|----------------------------|------------|--|
| NT                         | 4<br>(Boa) | Umidade superficial em quatro dos oito pilares. Porém, sem gerar dano comprometedor.   |
| Infraestrutura             |            | Falhas de concretagem em pontos diversos das duas Cortinas, permitindo visualização de trechos de armadura e percolação de umidade. Danos potencialmente problemático pela porosidade do concreto e exposição do aço, porém, sem apresentar, atualmente, dano significativo. |
| NT                         | 4<br>(Boa) |  |
| Pista/Acesso               |            | Apenas trincas/fissuras de pequenas aberturas. Não há desgaste superficial ou degraus acentuados.  |
| NT                         | 4<br>(Boa) |  |
| <b>Nota técnica da OAE</b> |            | <b>4</b>   |

Fonte: Autoria própria (2025).

A nota técnica final classifica a ponte como boa, segundo o Anexo C da norma DNIT 010/2004. O que indica a ausência de problemas relevantes. No entanto, foram observadas manifestações pontuais que, embora de baixa gravidade, requerem atenção preventiva. Recomenda-se a continuidade das inspeções e manutenções rotineiras, a fim de evitar a evolução dos danos. A estrutura apresenta bom desempenho geral, compatível com sua função e idade.

Entretanto, cabe uma ressalva: foram identificadas falhas consideráveis de concretagem em diferentes pontos da OAE, que não foram corrigidas no momento do recebimento definitivo pelo órgão responsável. Embora tais falhas não apresentem, no momento, danos estruturais significativos, recomenda-se sua correção preventiva, a fim de evitar possíveis agravamentos futuros.

### 3.8. DA ANÁLISE

Os resultados das Notas Técnicas (metodologia DNIT) e dos Graus de Deterioração (metodologia GDE) foram consolidados na tabela a seguir. Para facilitar a compreensão, as pontes estão organizadas conforme a ordem cronológica das inspeções apresentadas no capítulo anterior.

Tabela 25 – Resultados de pesquisa por OAE

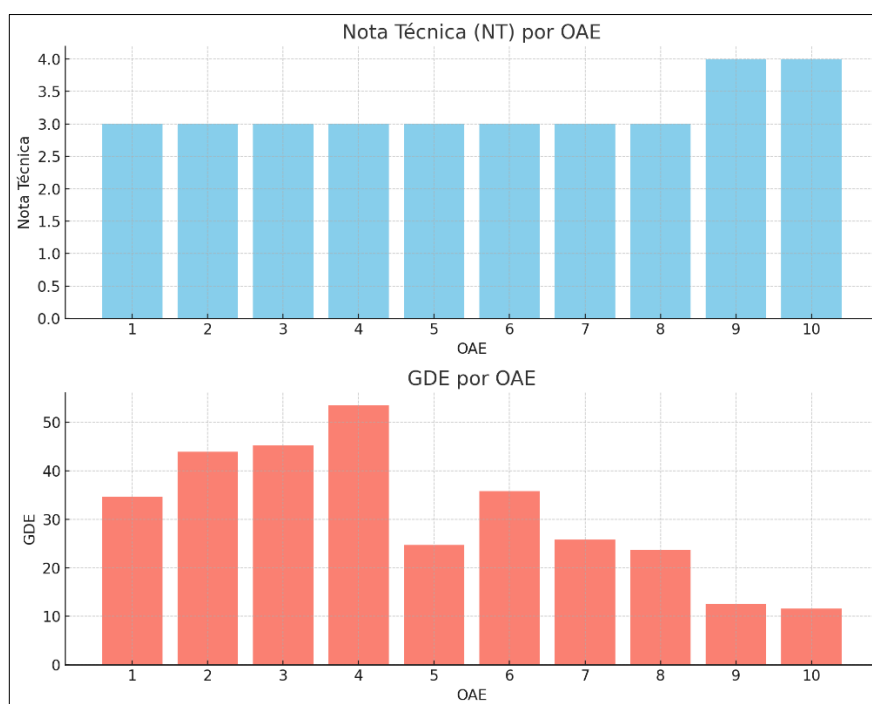
| Avenida  | Sentido | OAE | NT | GDE   |
|----------|---------|-----|----|-------|
| NS-02    | S-N     | 1   | 3  | 34,6  |
|          | N-S     | 2   | 3  | 43,88 |
| Teotônio | S-N     | 3   | 3  | 45,27 |
|          | N-S     | 4   | 3  | 53,46 |
| JK       | L-O     | 5   | 3  | 24,67 |
|          | O-L     | 6   | 3  | 35,83 |
| NS-01    | Único   | 7   | 3  | 25,8  |
| LO-05    | Único   | 8   | 3  | 23,68 |
| NS-015   | S-N     | 9   | 4  | 12,62 |
|          | N-S     | 10  | 4  | 11,54 |

Fonte: Autoria própria (2025)

Partindo de uma análise amostral composta por dez Obras de Arte Especiais (OAE's), e considerando os gráficos apresentados a seguir, é possível concluir que a maioria das pontes em concreto armado localizadas no Plano Diretor da cidade de Palmas - TO encontra-se em um estado razoável de conservação. Tal conclusão é sustentada pelo fato de que a maior parte dos valores de Grau de Deterioração Estrutural (GDE) está compreendida no intervalo de 15 a 50, o que caracteriza uma condição média de deterioração, e pela predominância de Notas Técnicas (NT) iguais a 3, classificação esta considerada como “aparentemente bom” conforme os critérios estabelecidos pelo DNIT.

Para a correta interpretação das estatísticas apresentadas, é importante considerar a seguinte diferença: enquanto a metodologia DNIT atribui notas com base no estado de conservação das obras, a metodologia GDE/UNB quantifica o grau de deterioração. Dessa forma, os resultados são inversamente proporcionais - quanto maior a Nota Técnica, menor tende a ser o Grau de Deterioração, e vice-versa.

Figura 426 - Grau de Deterioração e Nota Técnica por OAE



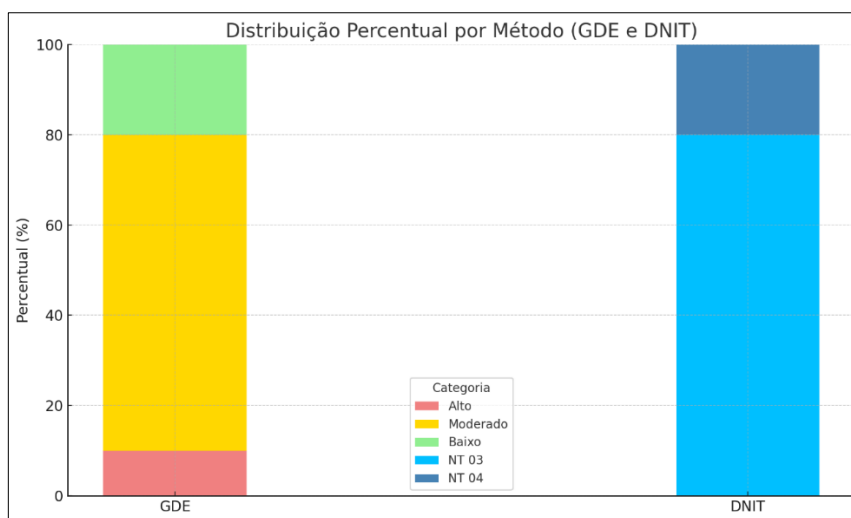
Fonte: Autoria própria (2025).

No entanto, alguns casos que se desviam dessa tendência merecem destaque. O primeiro refere-se à OAE 4, situada no sentido Norte-Sul da Avenida Teotônio Segurado, que apresentou o maior valor de GDE entre todas as estruturas avaliadas. Tal deterioração está associada, principalmente, à ocorrência de deslocamento e corrosão nos pilares, como relatado anteriormente.

O segundo ponto de destaque são as pontes localizadas na Avenida NS-15 (OAE 9 e OAE 10), que obtiveram Notas Técnicas mais altas ( $NT = 4$ ) e os menores valores de GDE. Esses resultados estão diretamente relacionados à menor idade das estruturas e a outros fatores positivos discutidos no capítulo 04 deste trabalho.

O estado geral das Obras analisadas é apresentado no gráfico abaixo, onde é reforçado o entendimento de que predomina o grau de conservação intermediário entre as Obras analisadas.

Figura 427 - Distribuição percentual dos resultados

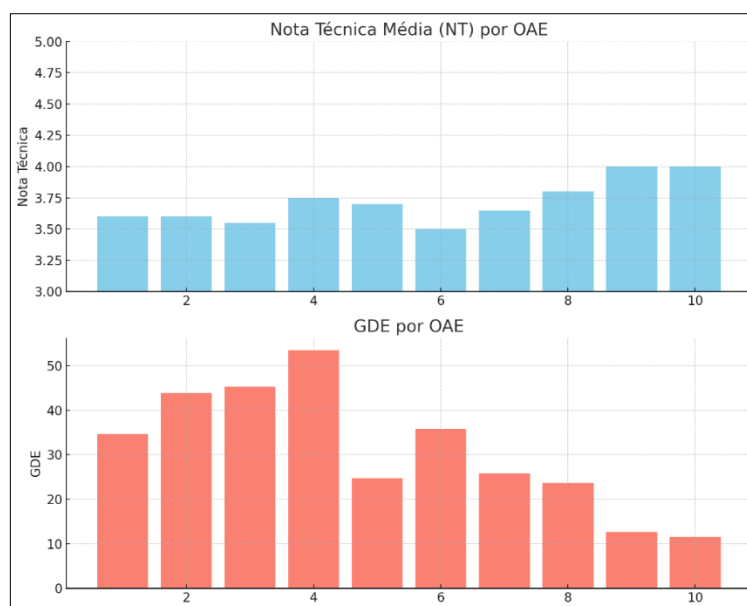


Fonte: Autoria própria (2025).

Outro aspecto que merece destaque é a quase uniformidade das Notas Técnicas atribuídas, mesmo entre pontes com diferentes níveis de deterioração. Isso ocorre porque o método DNIT é de natureza qualitativa e adota como Nota Técnica final, numa concepção mais conservadora, o menor valor dentre as cinco notas atribuídas aos diversos grupamentos de elementos estruturais — como mesoestrutura, infraestrutura e Vigamento e Laje.

Dessa forma, para uma interpretação mais precisa, é recomendável analisar também as demais notas atribuídas a cada obra. Uma alternativa consiste no uso da média ponderada das cinco notas – com os pesos sendo os fatores de relevância estrutural, do método GDE – em vez de considerar apenas a menor delas. Melhor explicando, para uma visualização mais realista da NT geral da Obra no método DNIT (qualitativo) seria considerar não apenas a menor nota entre as cinco, como o método sugere, mas todas elas a partir de média ponderada em que os pesos para a Laje, Vigamento, Mesoestrutura, Infraestrutura e Pista/Acesso seriam, respectivamente: 4, 5, 5, 4 e 2. Essa abordagem está ilustrada no gráfico a seguir:

Figura 428 - Grau de Deterioração e Nota Técnica Ponderada por OAE



Fonte: Autoria própria (2025).

Observa-se uma tendência de aumento do GDE à medida que a Nota Técnica diminui. Ressalta-se que esta análise não propõe alterações no método adotado, tratando-se apenas de uma abordagem ilustrativa para facilitar a interpretação dos dados obtidos nesta pesquisa.

Destaca-se ainda que nenhuma Nota Técnica atribuída ao longo do trabalho ficou fora do intervalo de 3 a 4. Isso se explica pelo fato de o Anexo C da norma DNIT 010/2004 ser taxativo ao atribuir nota 5 apenas a grupamentos que não apresentem qualquer tipo de dano, por menor que seja — condição não verificada em nenhuma das Obras avaliadas.

Quanto à ausência de notas inferiores a 3, cabe mencionar que, em algumas situações, considerou-se a possibilidade de atribuição de nota 2. No entanto, devido às limitações inerentes à inspeção predominantemente visual, não foi possível constatar insuficiências estruturais significativas — requisito essencial para a atribuição das notas 2 ou 1.

Feitas as considerações gerais sobre as OAE's, procede-se à análise dos grupamentos com maior ou menor grau de deterioração identificados nesta pesquisa. Para isso, adotou-se a divisão proposta na norma DNIT 010/2004, a lembrar: Laje, Vigamento Principal, Mesoestrutura, Infraestrutura e Pista/Acessos. No caso do método GDE/UnB, foi calculada a média aritmética dos graus de deterioração das famílias pertencentes a cada grupamento, a fim de representar o grau de deterioração correspondente de forma consolidada<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Na coluna tabuleiro foram considerados a pista e os elementos complementares.

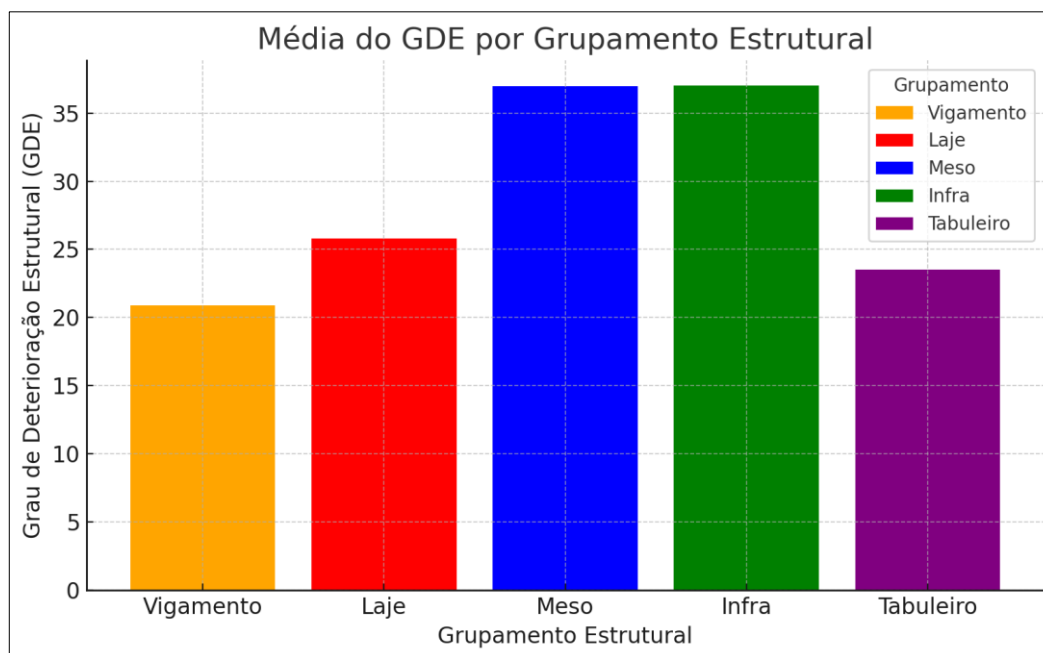
Tabela 26 - Graus de Deterioração por grupamento estrutural

| OAE          | Vigamento         | Laje           | Mesoestrutura   | Infraestrutura | Tabuleiro         |
|--------------|-------------------|----------------|-----------------|----------------|-------------------|
| 1            | 6,78610846        | 40             | 10,5            | 47,47731       | 8,397761668       |
| 2            | 10,8160494        | 16             | 35,2            | 65,34904       | -                 |
| 3            | 20,304101         | 33,6           | 113,112         | 32,62983       | 41,9139293        |
| 4            | 25,92             | 36             | 114,26          | 37,85          | 51,37989587       |
| 5            | 23,2213593        | 68,37209       | 5,87            | 9,43           | 8,4               |
| 6            | 36,3662361        | 24,72727       | 25,923          | 65,23          | 24                |
| 7            | 35,3821026        | 3,2            | 30,199          | 17,2823        | 40                |
| 8            | 14,99             | 60             | 16,54919        | 30,4389        | 12,92628478       |
| 9            | 23,6049876        | 4,266667       | 4,8             | NA             | 4                 |
| 10           | 11,3233275        | 16             | 6,4             | 22,5669        | 4                 |
| <b>Média</b> | <b>20,8714272</b> | <b>30,2166</b> | <b>36,28132</b> | <b>36,4727</b> | <b>21,6686524</b> |

Fonte: Autoria própria (2025).

A análise estatística dos graus de deterioração estrutural (GDE) médios por grupamento nas dez OAE's avaliadas indica que todos os elementos estruturais se enquadram em um nível intermediário de deterioração, conforme os parâmetros estabelecidos por Fonseca (2007). Observa-se uma relativa uniformidade entre os grupamentos, com três deles apresentando valores médios próximos e dois com médias mais elevadas, embora sem variações abruptas. Essa distribuição pode ser visualizada de forma clara no gráfico a seguir.

Figura 429 - Grau de Deterioração médio por grupamento estrutural



Fonte: Autoria própria (2025).

Observou-se uma elevação expressiva nos valores de GDE da mesoestrutura nas OAE localizadas na Avenida Teotônio (nº 03 e 04), com registros de 113,11 e 114,26, respectivamente, em razão do alto grau de deslocamento e corrosão na base dos pilares dessas estruturas, o que elevou consideravelmente a média geral desse grupamento. De forma semelhante, a infraestrutura, que abrange tanto os blocos de coroamento quanto as cortinas de contenção, apresentou uma das maiores médias (36,47), influenciada principalmente pelas OAE 01 e 02, onde foram identificadas anomalias significativas nas vigas de travamento entre os blocos.

Por outro lado, o grupo do vigamento apresentou os valores mais consistentes e uniformes, com pequena variação entre as pontes analisadas e uma média geral de 20,87. Essa uniformidade indica que os elementos que compõem o vigamento encontram-se em condições semelhantes entre as OAE avaliadas, demonstrando um comportamento estrutural mais previsível e equilibrado nesse grupamento.

Em síntese, os dados analisados apontam para uma condição geral de deterioração intermediária nas estruturas inspecionadas, com anomalias pontuais influenciando os resultados de determinados grupamentos. A mesoestrutura e a infraestrutura destacam-se com médias mais elevadas devido à concentração de danos em elementos como pilares e cortinas de contenção. Em contrapartida, vigamento e tabuleiro demonstram maior uniformidade e menores graus de

deterioração, sugerindo prioridade nas ações de manutenção para os grupamentos com variações mais significativas.

### 3.8.1. Das manifestações

Considerando as semelhanças estruturais, ambientais e de idade entre as pontes avaliadas neste estudo, observou-se a recorrência de diversas manifestações patológicas semelhantes entre si. Para sistematizar essa análise, foi elaborada uma tabela consolidando a incidência das manifestações por grupamento estrutural. A partir desses dados, foram gerados três gráficos estatísticos que permitiram uma interpretação mais visual e objetiva das manifestações patológicas predominantes.

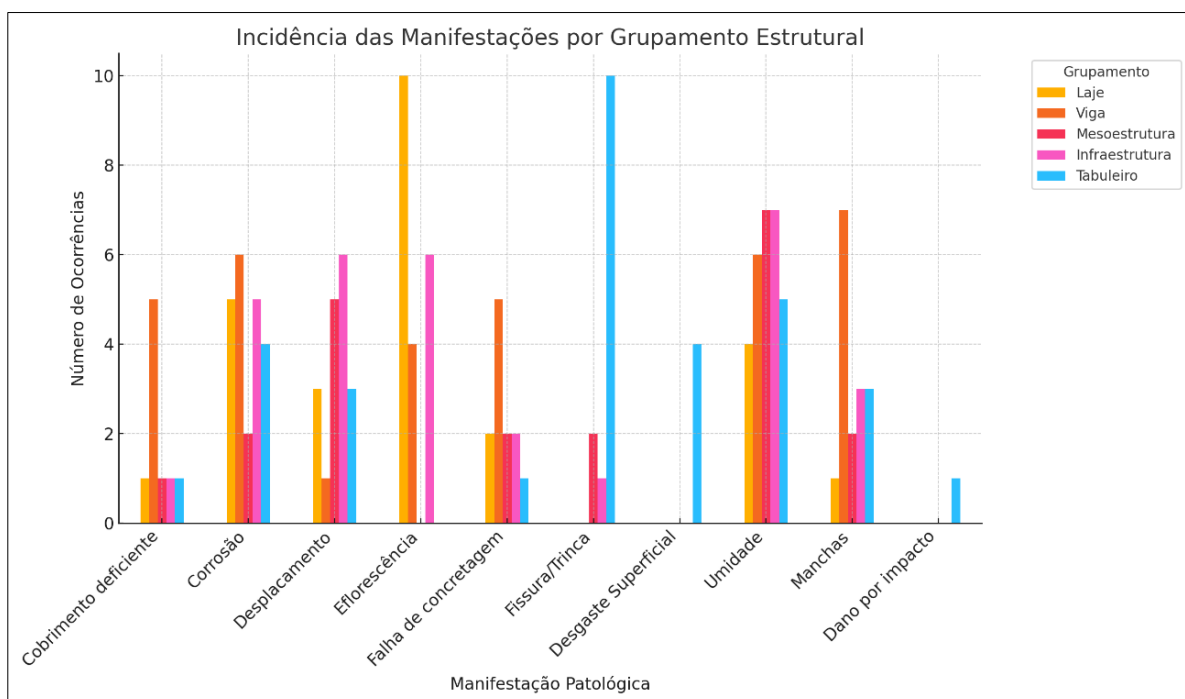
Tabela 27 – Incidência de Manifestações por Grupamento Estrutural

| <b>Manifestação</b>   | <b>Laje</b> | <b>Viga</b> | <b>Mesoestrutura</b> | <b>Infraestrutura</b> | <b>Tabuleiro</b> |
|-----------------------|-------------|-------------|----------------------|-----------------------|------------------|
| Cobrimento deficiente | 1           | 5           | 1                    | 1                     | 1                |
| Corrosão              | 5           | 6           | 2                    | 5                     | 4                |
| Desplacamento         | 3           | 1           | 5                    | 6                     | 3                |
| Eflorescência         | 10          | 4           | 0                    | 6                     | 0                |
| Falha de concretagem  | 2           | 5           | 2                    | 2                     | 0                |
| Fissura/Trinca        | 0           | 0           | 2                    | 1                     | 10               |
| Desgaste Superficial  | 0           | 0           | 0                    | 0                     | 4                |
| Umidade               | 4           | 6           | 7                    | 7                     | 5                |
| Manchas               | 1           | 7           | 2                    | 3                     | 3                |
| Dano por impacto      | 0           | 0           | 0                    | 0                     | 1                |

Fonte: Autoria própria (2025).

Para visualização mais clara da tabela acima, foi gerado o gráfico abaixo, onde mostra o total de ocorrências por manifestação patológica, separado para cada grupamento estrutural. Com os dados ilustrados na tabela foi gerado o gráfico abaixo.

Figura 430 - Incidência das Manifestações por Grupamento Estrutural



Fonte: Autoria própria (2025).

O gráfico permite comparar quais grupamentos foram mais afetados por cada tipo específico de patologia. Por exemplo, a eflorescência está concentrada quase exclusivamente na laje, enquanto a fissuração está fortemente concentrada no tabuleiro. Já a umidade se apresenta de forma generalizada, atingindo todos os grupamentos com relativa intensidade — sendo o único tipo de manifestação com ampla presença em toda a estrutura das pontes avaliadas.

Observa-se ainda que a laje e a infraestrutura concentram a maior diversidade de manifestações, com destaque para a eflorescência e a umidade. A mesoestrutura, por sua vez, apresenta casos relevantes de deslocamento e corrosão, enquanto o tabuleiro revela grande quantidade de fissuras/trincas, além de elevada incidência de umidade.

No gráfico de colunas a seguir, que apresenta o total de manifestações independentemente do grupamento estrutural, observa-se que a umidade foi a patologia mais recorrente entre as OAE analisadas, seguida pela eflorescência e pela corrosão. Esses três tipos de manifestações apresentam forte inter-relação, sendo a umidade não apenas o dano mais frequente, mas também um agente facilitador e, possivelmente, a causa direta das outras duas patologias mais identificadas. A presença de umidade excessiva, geralmente resultante de falhas no sistema de drenagem ou na impermeabilização da estrutura, favorece o surgimento de eflorescência — decorrente da migração de sais solúveis — e acelera o processo de corrosão

das armaduras internas. Dessa forma, conclui-se que a umidade, além de predominante em frequência, atua como fator desencadeador de grande parte das demais manifestações encontradas nas estruturas inspecionadas.

Figura 431 - Total de ocorrências por Manifestação Patológica



Fonte: Autoria própria (2025).

Essa inter-relação também pode se refletir em manifestações menos frequentes: o deslocamento pode estar relacionado à expansão gerada pela corrosão das armaduras, que provoca a ruptura do concreto de cobertura. As manchas, por sua vez, geralmente decorrem da ação prolongada da umidade nas superfícies de concreto, sendo um sinal indireto de falhas de drenagem ou de absorção capilar.

Algumas manifestações patológicas não foram identificadas nas inspeções visuais realizadas, como: carbonatação e ataques por cloreto ou sulfato (em função do ambiente externo pouco propício e da não realização de ensaios complementares), recalques diferenciais, desaprumo de pilares, deformação ou travamento de aparelhos de apoio.

A ausência de algumas dessas manifestações pode ser atribuída às limitações metodológicas da inspeção visual, que não permite verificar manifestações internas sem uso de ensaios complementares, como extração de testemunhos, ultrassom ou esclerometria. Além disso, algumas manifestações dependem de condições específicas, como a reação álcali-agregado, que exige a presença de agregados reativos – caso da ponte de Porto Nacional -TO sobre o Rio Tocantins.

Diante do exposto, é possível afirmar que a má drenagem e/ou deficiência de impermeabilização constitui o fator de maior influência sobre as manifestações patológicas identificadas nas OAE analisadas. Essa falha, aliada a fatores como trincas no tabuleiro ou falta de manutenção em elementos de drenagem, está na origem de uma cadeia de danos que inclui umidade, eflorescência, corrosão, deslocamento e manchas, afetando de forma relevante a durabilidade dessas pontes.

### **3.8.2. Dos métodos**

Este capítulo tem por objetivo apresentar considerações de ordem prática observadas ao longo da execução da pesquisa, distinguindo-se dos aspectos teóricos previamente abordados no referencial teórico, onde se encontram descrições detalhadas dos métodos de inspeção aplicados. São expostas aqui, prioritariamente, as ponderações relacionadas às limitações dos métodos utilizados, bem como reflexões de caráter comparativo entre eles, com base nas experiências obtidas em campo e nos resultados analisados.

#### **3.8.2.1. Método GDE**

No que se refere ao Método GDE, observou-se como principal limitação a excessiva padronização das manifestações patológicas contempladas na tabela de Fatores de Intensidade (Anexo B), onde é notória a não descrição de parâmetros para atribuição de Fatores de intensidade a manifestações não recorrentes ao Concreto Armado em si. Em outras palavras, certas manifestações contempladas na tabela de Fatores de Ponderação não possuem correspondência na tabela de Fatores de Intensidade, o que compromete a coerência e aplicabilidade do método em situações reais.

Um exemplo claro dessa deficiência está relacionado às manifestações típicas da pista de rolamento, como discontinuidades, desgaste da sinalização e desgaste superficial. Nenhuma dessas manifestações possui detalhamento específico na referida tabela do Anexo B, exigindo que o inspetor recorra a referências externas para atribuir os fatores de intensidade

correspondentes. Caso que aconteceu diversas vezes durante a execução desta pesquisa, visto que trincas e desgaste superficial foram anomalias recorrentemente identificadas.

Adicionalmente, verificou-se a omissão de manifestações relevantes para Obras de Arte Especiais (OAE), como a erosão nas fundações dos encontros. Tal patologia, identificada em algumas das obras analisadas — a exemplo da ponte Teotônio, sentido Sul-Norte —, não é contemplada por nenhuma das tabelas do método GDE. Ressalta-se que a importância dessa manifestação já havia sido destacada por Vitório (2008), ao apontá-la como o dano mais frequente entre as fundações das 40 OAE's avaliadas em seu estudo.

Tal detalhamento é primordial para o sucesso da aplicação do método, visto que se trata de um método taxativo e pouco subjetivo, logo, necessitando de maior estabelecimento de critérios para que sejam atribuídos os fatores devidos e aplicadas as fórmulas requeridas.

Outro fator de destaque do método GDE, que por vezes se apresenta como uma limitação — ainda que inerente à sua proposta —, é o fato de o grau de deterioração de algumas famílias ofuscar o estado real da Obra. Isso decorre das formulações do método, baseadas essencialmente em médias ponderadas, em que os pesos atribuídos correspondem aos Fatores de Relevância estrutural das famílias analisadas.

Observou-se que, em razão disso a inserção de danos de baixa intensidade em elementos associados a elevados Fatores de Relevância (Fr) pode ocasionar a redução do GDE final da obra, ofuscando a real significância de manifestações mais graves. Tal distorção está diretamente relacionada à estrutura da fórmula empregada, que se vale de uma razão em que o Grau de Deterioração da família (GDf) é a variável do numerador e o Fator de Relevância (Fr) a variável do denominador. Nessa configuração, o acréscimo de manifestações leves em elementos de alta relevância estrutural tende a elevar o denominador de forma mais expressiva do que o numerador, resultando em um valor final inferior.

Essa distorção gera situações contraditórias, como se observou ao longo desta pesquisa. Em cenários hipotéticos — mas também constatados na prática —, uma OAE que apresenta apenas um dano significativo (A) pode resultar em um GDE superior ao de outra estrutura que apresenta esse mesmo dano (A), acrescido de um segundo dano (B) de menor gravidade. Isso se deve ao fato de que a adição de manifestações leves em elementos com alto Fator de Relevância pode reduzir o valor final da equação, conforme já exposto.

Tal comportamento foi identificado em diversas ocasiões durante a aplicação do método, como no caso da ponte localizada na Avenida NS-01. Nessa obra, os elementos de vigas e blocos de coroamento apresentavam danos de baixa intensidade, os quais acabaram por atenuar o

impacto dos danos mais relevantes, como a presença expressiva de eflorescência e umidade em componentes da mesoestrutura e superestrutura.

Ressalta-se que tais observações não devem ser interpretadas como críticas à validade do método, mas sim como ponderações decorrentes das características próprias de abordagens baseadas em médias ponderadas. Contudo, diante desses aspectos, recomenda-se que a utilização do método seja sempre acompanhada de uma análise técnica dos graus de deterioração de cada família e de uma avaliação qualitativa complementar.

### 3.8.2.2. Método DNIT

No que se refere ao método DNIT, observam-se menos limitações a serem apontadas, especialmente em razão de sua natureza mais subjetiva. Por se tratar de uma metodologia fortemente baseada na percepção técnica do inspetor, muitas das possíveis lacunas são supridas pelo bom senso e pela experiência profissional de quem a aplica. Nesse sentido, a eficácia da metodologia está diretamente relacionada ao grau de conhecimento e criticidade do responsável pela inspeção.

Ainda assim, é possível identificar uma inconsistência relevante — não necessariamente do método em si, mas da norma que o regulamenta — quanto à falta de integração entre o Anexo B (Ficha de Inspeção Rotineira) e o Anexo C (Instruções para Atribuição de Notas de Avaliação), ambos da norma DNIT 010/2004. Como se observa, o Anexo C se limita a estabelecer critérios com base na simples existência de danos e sua relação com insuficiências estruturais significativas ou risco de colapso, sem apresentar diretrizes específicas quanto aos graus de evolução das manifestações patológicas ou aos elementos estruturais mais comumente afetados.

A título de exemplificação, observa-se que o Anexo B da norma apresenta uma lista de possíveis achados patológicos na mesoestrutura, classificando-os em categorias como inexistente, incidente e grande incidência. No entanto, o Anexo C, responsável por orientar a atribuição das Notas Técnicas, não estabelece qualquer correlação direta com os danos listados anteriormente, tampouco diferencia os critérios de avaliação entre os distintos grupamentos estruturais — como mesoestrutura, infraestrutura e superestrutura.

Dessa forma, a norma delega ao inspetor a responsabilidade de realizar uma análise técnica subjetiva e emitir juízo de valor quanto à gravidade e impacto de cada anomalia sobre

a estabilidade global da obra. Tal escolha normativa pode ter sido intencional, no intuito de evitar rigidez excessiva e conferir maior flexibilidade à aplicação do método. No entanto, essa liberdade interpretativa também demanda elevado grau de capacitação técnica e uniformidade de critérios entre os profissionais.

Outro aspecto a ser considerado quanto à metodologia DNIT refere-se ao critério de definição da Nota Técnica final da obra, que é atribuída com base na menor das cinco notas dos grupamentos estruturais (superestrutura, mesoestrutura, infraestrutura, laje/pista e acessos). Diferentemente do método GDE, que se baseia em médias ponderadas, o DNIT adota uma abordagem conservadora, na qual o desempenho do grupamento mais comprometido determina a nota global da estrutura.

Tal característica requer atenção redobrada por parte do avaliador, pois pode gerar situações em que obras com graus distintos de comprometimento global recebam a mesma nota final. Por exemplo, uma OAE com apenas um grupamento estrutural gravemente deteriorado e os demais em bom estado terá a mesma Nota Técnica final que outra em que todos os grupamentos apresentem o mesmo nível de deterioração moderada. Ainda que os valores sejam numericamente equivalentes, a criticidade estrutural é evidentemente mais acentuada no primeiro caso.

Dessa forma, observa-se uma oposição conceitual entre os métodos analisados: enquanto o método GDE tende a suavizar a criticidade por meio de médias ponderadas, o método DNIT 010/2004 pode acentuá-la ao adotar o valor mais baixo como representativo da condição geral da obra. Assim, conclui-se que a análise das estruturas considerando unicamente a Nota Técnica final pode ser insuficiente, uma vez que obras com níveis de deterioração bastante distintos podem ser enquadradas na mesma categoria de classificação.

A prática mais recomendada, portanto, consiste em analisar detalhadamente os campos descritivos das anomalias registrados na ficha de inspeção, bem como avaliar todas as Notas Técnicas atribuídas aos cinco grupamentos de forma conjunta e crítica.

### 3.8.2.3. Síntese comparativa das metodologias utilizadas

A comparação entre os métodos DNIT 010/2004 e GDE/UnB revela diferenças fundamentais quanto à exigência técnica do inspetor. O DNIT depende fortemente da experiência e julgamento do avaliador, já que a Nota Técnica é atribuída com base na

consequência do dano observado. Já o GDE padroniza o processo, fornecendo critérios objetivos para classificação dos danos, como os Fatores de Intensidade descritos no Anexo B, reduzindo a subjetividade e tornando-se mais acessível a inspetores com menor experiência.

Por outro lado, o GDE oferece maior flexibilidade na escolha dos elementos a serem avaliados e no agrupamento das famílias estruturais, enquanto o DNIT adota um checklist fixo e um conjunto limitado de manifestações. Por isso, o GDE contempla um acervo mais amplo de danos, atribuindo fatores específicos para diferentes tipos e intensidades de manifestação, ao passo que o DNIT se restringe às principais patologias.

Considerando ainda que o DNIT seja qualitativo e o GDE quantitativo, ambos se complementam. O DNIT classifica a obra em categorias de conservação com base na menor nota dos grupamentos, enquanto o GDE expressa numericamente o grau de deterioração, indicando o tipo e urgência da intervenção. A aplicação conjunta permite um diagnóstico mais completo e confiável.

Durante a execução deste trabalho, foi possível identificar uma coerência proporcional entre os resultados obtidos por ambas as metodologias. A análise das pontes da Avenida JK ilustra bem essa relação: embora ambas tenham recebido a mesma Nota Técnica final pelo método DNIT (3), uma apresentou maior concentração de notas 3 (condição “Boa aparentemente”) e menos notas 4, indicando uma condição levemente inferior. De modo semelhante, o método GDE refletiu essa diferença por meio dos valores médios de deterioração: 24,67 para a ponte com melhores avaliações e 35,83 para a outra, ambas dentro da mesma faixa, mas com deteriorações distintas. Esse comportamento sugere certa proporcionalidade entre os métodos: à medida que as Notas Técnicas tendem a diminuir, o Grau de Deterioração aumenta.

Nota-se, entretanto, que a comparação entre os métodos pode ser aprofundada em aspectos operacionais específicos. O método DNIT, por exemplo, permite a realização de inspeções em menor tempo, visto que sua estrutura se baseia em uma ficha resumida e na percepção direta do avaliador. Já o método GDE, por demandar cálculos e aplicação de fórmulas baseadas em múltiplos fatores (intensidade, ponderação e relevância), exige maior tempo de execução e preenchimento detalhado.

Do ponto de vista das limitações, o método DNIT apresenta como desvantagem a ausência de um critério numérico para diferenciar graus distintos de deterioração moderada. Dessa forma, duas pontes com níveis distintos de comprometimento podem receber a mesma Nota Técnica. Em contrapartida, o GDE, ao atribuir valores contínuos, permite uma leitura mais refinada da severidade e da urgência das anomalias.

Em suma, destaca-se que o método GDE possui maior potencial para a integração com sistemas informatizados de gestão de pontes, devido ao seu caráter quantitativo e padronizado. Isso o torna mais indicado em cenários que demandem comparabilidade longitudinal e armazenamento estruturado dos resultados ao longo do tempo.

Por fim, conclui-se que a qualificação do inspetor é fator determinante para o sucesso da inspeção. O método GDE, por ser mais normatizado e menos dependente da percepção individual, mostra-se mais indicado em contextos com menor disponibilidade de profissionais especializados ou em inspeções menos acuradas. Em contrapartida, o método DNIT é mais ágil e adaptável, porém exige maior domínio técnico e capacidade de julgamento por parte do aplicador.

### **3.8.3. Das limitações de pesquisa**

No desenvolvimento desta pesquisa, algumas limitações metodológicas comprometeram, em parte, a precisão dos diagnósticos obtidos. A principal delas foi a impossibilidade de realização de ensaios complementares, como esclerometria (Schmidt), pacometria, ultrassom, fenolftaleína e nitrato de prata. Tais ensaios seriam fundamentais para caracterizar a resistência do concreto, identificar o nível de carbonatação, estimar a profundidade de armaduras e avaliar a existência de deslocamentos internos, o que proporcionaria maior embasamento técnico à classificação dos danos observados.

Em relação ao método DNIT 010/2004, identificou-se como limitação relevante a dificuldade de atribuição de Notas Técnicas abaixo de 3 com base apenas em observação visual. Isso se deve ao fato de que a norma exige, para essas classificações, a verificação de comprometimento estrutural com insuficiência significativa, o que não pode ser avaliado com precisão sem a realização de ensaios e consulta a projetos.

Como exemplo de tal limitação, pode-se citar a ponte da Avenida LO-05, onde foram observadas estalactites e deslocamento, os quais sugerem corrosão por eflorescência, mas sem meios técnicos para quantificar a perda de massa do concreto e de seção da armadura, impedindo a quantificação do nível do dano. Situação semelhante ocorreu na ponte da Avenida NS-01, cujas vigas travessas exibiam significativa presença de eflorescência e infiltrações,

impossibilitando, no entanto, concluir se os danos comprometiam de fato a estabilidade estrutural da obra.

No caso do método GDE, uma limitação expressiva refere-se à avaliação de fissuras. Para a correta atribuição dos Fatores de Intensidade e de Ponderação dessas manifestações seria necessário conhecer parâmetros como a classe do concreto ( $F_{ck}$ ), a causa das fissuras e sua classificação como ativas ou passivas — informações que exigiriam acesso aos projetos, realização de ensaios específicos e monitoramento periódico, respectivamente. Como o órgão responsável não dispunha dos acervos técnicos das obras analisadas e não foi possível conduzir campanhas experimentais, tais variáveis permaneceram indefinidas.

Soma-se a isso a limitação de pessoal, já que todas as inspeções foram conduzidas por apenas um integrante, o que comprometeu, em parte, a abrangência e a celeridade das atividades de campo. Além disso, houve a dificuldade de acesso às regiões inferiores de algumas pontes em virtude de terreno alagado e escorregadio (caso da OAE da Avenida JK sentido Oeste-Leste), ou ainda a necessidade de acesso por mata densa, como observado na OAE da Avenida NS-01. Fatores que dificultaram o acesso e/ou mobilidade na execução da inspeção.

## 4 CONCLUSÃO

Considerando o disposto nos tópicos anteriores, podemos concluir que, de modo geral, as Obras de Arte Especiais que transpassam o Córrego Brejo Comprido, ao longo de seu trajeto no Plano Diretor Sul de Palmas - TO, se encontram em estado razoavelmente satisfatório de conservação, não apresentando, no momento, risco à integridade estrutural ou à funcionalidade.

Entretanto, dois fatores devem ser analisados conjuntamente para uma visão mais realista. O primeiro refere-se à inexistência de um programa de inspeções rotineiras, bem como à ausência de um Sistema de Gerenciamento de Obras ou acervo documental sobre os projetos e manutenções das pontes avaliadas. O segundo aspecto é que as principais manifestações encontradas afetam a durabilidade da estrutura e tendem a evoluir caso não sejam sanadas. Desse modo, é possível afirmar que, embora estejam atualmente em estado razoável de conservação, são, em sua maioria, potencialmente problemáticas.

Diante disso, recomenda-se aos Gestores Públicos a implementação de um programa contínuo de controle e conservação das OAE, por meio da realização periódica de inspeções rotineiras – conforme normativas DNIT 010/2004 e NBR 9452/2019 –, da adoção de medidas de manutenção preventiva e do estabelecimento de um Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte. O que permitiria uma visão integrada do estado das estruturas ao longo do tempo.

Diante ainda das limitações enfrentadas nesta pesquisa, recomenda-se que futuros trabalhos adotem abordagens mais acuradas, com a realização de ensaios complementares. O que permitiria uma avaliação mais precisa da integridade do objeto inspecionado, contribuindo para diagnósticos mais confiáveis e fundamentados.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. M. M. R. M. O. **Sistema de gestão de pontes com base em custos de ciclo de vida**. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013. 380 p. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/72514>. Acesso em out./2024.
- ALMEIDA, Julyanny Parreão de. **Manifestações patológicas, deterioração e intervenção em pontes sobre o córrego Brejo Comprido em Palmas-TO**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal do Tocantins, Palmas, 2021. Disponível em: <https://portal.ifto.edu.br/palmas/campus-palmas/ensino/biblioteca>. Acesso em out./2024.
- ARRAIS, Mônica Avelino. **Um estudo para a preservação e uso sustentável da área verde urbana do córrego Brejo Comprido em Palmas - TO**. 2009. 243 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) —Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Disponível em: <https://www.repositorio.unb.br/bitstream/10482/9545/1/2009>. Acesso em: jul./2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 7188**: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre – procedimento. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 9452**: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 12655**: Concreto de cimento Portland. Preparo, controle e recebimento. Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 16230**: Inspeção de estruturas de concreto - Qualificação e certificação de pessoal - Requisitos, Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2013.
- BOLINA, F. L. TUTIKIAM, B. F.; HELENE, P. R. L. Patologia de Estruturas. São Paulo: **Oficinas de Textos**, 2019.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION - **BSI. BS 7543**: Guide to Durability of Buildings and Building Element, Products and Components. London, 2015.
- CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**, Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994. 185 p. Disponível em: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3860657?show=full>. Acesso em jul./2024.
- CHAVES, Juliana Brizola. Análise comparativa de metodologias de inspeção de obras de arte especiais: um estudo de caso. 2023. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2023. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/32038>. Acesso em ago./2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **IPR 698:** Manual de Projeto de Obras de Arte Especiais. Rio de Janeiro, 1996. 225p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Norma 010/2004-PRO - Inspeções em Pontes e Viadutos de Concreto Armado e Protendido** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **IPR 744: Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários.** Rio de Janeiro, 2010

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE – DNIT. **IPR 709: Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias.** Rio de Janeiro, 2004.

EUQUERES, P. **Metodologia de inspeção de pontes de concreto armado.** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2011. 168 p. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/items/4f05122b-c0c8-4e9c-a9c9-78d0140963ec>. Acesso em set./2024.

Federal Highway Administration - FHWA. **Bridge Inspector`s Reference Manual (BIRM).** Publication No. FHWA-NHI 12-049. Washington: U.S. Department of Transportation. 2022

FERNANDES, A. V.; CORREIA, V. C. Uma introdução ao estudo das pontes em viga. **Ciências exatas e tecnológicas**, Aracaju, v. 4, n. 1, p. 115-138, 2017.

FERREIRA, João Vitor de Souza. **Inspeção e Monitoramento de Obras de Arte Especiais com vista manutenção preditiva.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023216.pdf>. Acesso em out./2024.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** 1993. 231 p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000738379>. Acesso em jul./2024.

HELENE, P. R. L; MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. In: ISAIA, G. (Org). **Concreto: ciência e tecnologia.** V. 2. São Paulo: Ipsis, 2011. Cap. 32.

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

INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE - IPQ. NP EN 1990. Eurocódigo 0 - **Bases para o Projeto de Estruturas**, Lisboa, 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **Performance standards in buildings:** principles for their preparation and factors to be considered, ISO 6241. Genebra, 1984.

KLEIN, D. *et al.* Critérios adotados na vistoria de obras de arte. In: **Jornadas Sul-Americanas De Engenharia Estrutural**, 25. Porto Alegre, 1991. Anais [...] Porto Alegre, 1991.

LANDMANN, R. **Inspeção de obras-de-arte especiais rodoviárias das regiões sul e sudeste do Brasil**. Relatório técnico. Brücken Engenharia de Inspeção de Estruturas. São Paulo, 2001.

LANER, Felice José. Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas nos municípios de Porto Alegre. 2001. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/2475>. Acesso em jun./2024.

LEONHARDT, F. **Construções de concreto: princípios básicos da construção de pontes de concreto**. Rio de Janeiro: Interciência, 1979.

MARCELLI, M. **Sinistros na Construção Civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: Pini, 2007.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de Concreto Armado**. São Paulo: Editora Blucher, 2008.

MASON, Jayme. **Pontes em Concreto Armado e Protendido**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1977.

MEDEIROS, Alisson Gadelha de. **Análise de durabilidade da ponte do Rio do Carmo utilizando ensaios não destrutivos, norma DNIT e a metodologia GDE/UNB**. 2015. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/items/45ac506d-7cd6-4313-a2f3-b89bb6e6ea7b>. Acesso em jul./2024.

MEHTA, P. M.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

MENDES, P. T. C. Contribuição para um modelo de gestão de pontes de concreto aplicado à rede de rodovias brasileiras. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Estruturas), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-29062009-103830/pt-br.php>. Acesso em mar./2025.

MITRE, M. P. Metodologia para inspeção e diagnóstico de pontes e viadutos de concreto. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. 148 p. Disponível em: <https://phd.eng.br/wp-content/uploads/2017/04/>. Acesso em out./2024.

MUSSI, R.F.F. *et al.* Pesquisa Quantitativa e/ou qualitativa: distanciamentos, aproximações e possibilidades. **Revista Sustinere**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 7, p. 414-430, jul./dez., 2019. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/8ac9/f5d8fbd44ab24a31ab2ceaaede3143fdee19.pdf>. Acesso em abr./2025.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2013. 2. ed. Porto Alegre: Bookman; 448 p.

PECCHIO, Marcelo *et al.* **Produtos da reação álcali-silicato em concretos de edificações da região do grande Recife-PE**. 2006, Anais. São Paulo: Ibracon, 2006.

PEREIRA, V. M. **Aplicação das metodologias de inspeção “GDE” adaptada para OAE e norma DNIT 010/2004 em estruturas de pontes em concreto armado: estudo de caso de pontes sobre o Rio Todos os Santos localizadas no perímetro urbano do município de Teófilo**

Otoni – MG. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, 2019, 115 p.

PFEIL, W. **Pontes**: curso básico – projeto, construção e manutenção. Rio de Janeiro: Campus, 1983.

PINHO, F. O.; BELLEI, I. H. **Pontes e Viadutos em Vigas Mistas**. Rio de Janeiro: CBCA, 2007.

RODRÍGUES, J. & ANDRADE, C. **Manual de Evaluación de Estructuras Afectadas por Corrosión de la Armadura**. Instituto Eduardo Torroja, Madrid, 2000.

RYALL, M. J. **Bridge management**. 2 ed. Oxford: Elsevier, 2010. 560 p

SANTOS, José Manuel Martins Neto dos. **Avaliação da integridade estrutural de pontes de betão**: o caso da Ponte Nossa Senhora da Guia. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia do Porto, Porto, 2008. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/12388>. Acesso em set./2024.

SITTER, W. R. **Costs for service life optimization**. The “Law of fives”. Durability of concrete structures - Ceb-Rilem International Workshop. Proceedings... Copenhagen: p. 18-20. Workshop Report by steen Rostam. Copenhagen, 1984.

SOARES, Bruno Mota. **Manifestações patológicas, deterioração e intervenção em pontes sobre os córregos Brejo Comprido e Sussuapara em Palmas-TO**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal do Tocantins, Palmas, 2021. Disponível em: <https://portal.ifto.edu.br/palmas/campus-palmas/ensino/biblioteca/Acervo/trabalhos-academicos>. Acesso em ago./2024.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1ª ed. São Paulo: Pini, 2009.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios causas, prevenção e recuperação**. Pini: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1ª ed. São Paulo, 1989.

TUUTTI, Kyosti. **Corrosion of Steel in Concrete**. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982.

VASCONCELOS, Flávio de Oliveira. **Análise das manifestações patológicas em pontes de concreto armado**: estudo de caso. 2018. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Unidade Delmiro Gouveia-Campus do Sertão, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2018. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/3747/1>. Acesso em jun./2024.

VERLY, Rogério Calazans. **Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais**. 2015. xix, 178 f., il. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <https://www.pecc.unb.br/wp-content/uploads/dissertacoes>. Acesso em out./2024.

VITÓRIO, J. A. P. – **Avaliação do Grau de Risco Estrutural de Pontes Rodoviárias de Concreto** – Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto, Salvador, 2008.

VITÓRIO, J. A. P. – **Um Estudo Comparativo sobre métodos de alargamento de pontes rodoviárias de concreto armado com a utilização das normas brasileiras e Eurocódigos**

(Tese de Doutorado), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2013. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/230869535/>. Acesso em nov./2024.

VITÓRIO, J. A. P. **Uma Contribuição ao Estudo da Avaliação da Segurança de Pontes Existentes**, Rio de Janeiro, v. jul. /dez, n. Volume 15, 2015.

VITÓRIO, J. A. P. **Pontes Rodoviárias: Fundamentos, Conservação E Gestão**. Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão. 1ª edição. ed. Recife, 2002.

VITÓRIO, J. A. P.; **Manutenção e Gestão de Obras de Arte Especiais**. Anais do VII Encontro Nacional das Empresa de Arquitetura e Engenharia Consultiva, Recife, 2005.

Yazigi, R. - **Avaliação de carbonatação em viadutos em concreto armado**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica), Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Paulo, 2008. Disponível em: [https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/ITA\\_a890dc3ffe9b8b27e787339b848ee9c0](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/ITA_a890dc3ffe9b8b27e787339b848ee9c0). Acesso em ago./2024.



|                             | Nota Técnica:   | Local | Quantidade (Opcional) |
|-----------------------------|---|-------|-----------------------|
| <b>3. MESOESTRUTURA</b>     |   |       |                       |
| Armadura Exposta            | <input type="checkbox"/> Muito Oxidada<br><input type="checkbox"/> Grande Incidência        |       |                       |
| Concreto Desagregado        | <input type="checkbox"/> Muita Intensidade<br><input type="checkbox"/> Grande Incidência    |       |                       |
| Fissuras                    | <input type="checkbox"/> Forte Infiltração<br><input type="checkbox"/> Grande Incidência    |       |                       |
| Aparelho de Apoio           | <input type="checkbox"/> Danificado<br><input type="checkbox"/> Grande Incidência           |       |                       |
| Aspecto do Concreto         | <input type="checkbox"/> Má Qualidade   |       |                       |
| Cobrimento                  | <input type="checkbox"/> Ausente/Pouco  |       |                       |
| Desaprumo                   | <input type="checkbox"/> Há   |       |                       |
| Deslocabilidade dos Pilares | <input type="checkbox"/> Forte  |       |                       |
| <b>4. INFRAESTRUTURA</b>    |   |       |                       |
| Recalque de Fundação        | <input type="checkbox"/> Há   |       |                       |
| Deslocamento de Fundação    | <input type="checkbox"/> Há   |       |                       |
| Erosão Terreno de Fundação  | <input type="checkbox"/> Há   |       |                       |
| Estacas Desenterradas       | <input type="checkbox"/> Há   |       |                       |
| <b>5. PISTA / ACESSO</b>    |   |       |                       |
| Irregularidades no Pav.     | <input type="checkbox"/> Muita Intensidade<br><input type="checkbox"/> Grande Extensão      |       |                       |
| Junta de Dilatação          | <input type="checkbox"/> Faltando/inoperante<br><input type="checkbox"/> Muito Problemática |       |                       |
| Acessos X Ponte             | <input type="checkbox"/> Degrau Acentuado<br><input type="checkbox"/> Concordância Problem. |       |                       |
| Acidentes com Veículos      | <input type="checkbox"/> Frequente<br><input type="checkbox"/> Eventual                     |       |                       |
| <b>ESQUEMAS</b>             |   |       |                       |

## ANEXO B - FATORES DE INTENSIDADE

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Carbonatação              | <p>1 - localizada e superficial, com algumas regiões com PH &lt; 9, sem atingir a armadura (com pequenas profundidades, junto à superfície da peça) ou por apenas inspeções visuais;</p> <p>2 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco;</p> <p>3 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido;</p> <p>4 - generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.</p>  |
| Cobrimento insuficiente   | <p>1 - menores que os previstos em norma, permitindo de certa forma a localização de alguma barra da armadura;</p> <p>2 - menor que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões;</p> <p>3 - insuficiente, com armaduras expostas em extensões significativas.</p>   |
| Contaminação por cloretos | <p>1 - em elementos localizadas em regiões salinas, sem que haja aferições de profundidades em seus elementos estruturais. Apenas por inspeções visuais;</p> <p>2 - em elementos sem umidade, com profundidades superficiais (sem contaminação da barra);</p> <p>3 - em elementos com umidade, com profundidades superficiais (sem contaminação da barra);</p> <p>4 - em ambientes úmidos, com profundidades atingindo a barra</p> |
| Deslocamento por empuxo   | <p>3 - deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, estável;</p> <p>4 - deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, instável</p>  |
| Corrosão das armaduras    | <p>2 - manifestações leves, pequenas manchas e/ou, de certa forma, permitindo a localização de alguma barra da armadura;</p> <p>3 - grandes manchas e/ou fissuras de corrosão, com exposição de armaduras em pequenas ou médias áreas por deslocamentos;</p> <p>4 - corrosão acentuada na armadura principal, com perda relevante de seção, em regiões iguais ou superiores a 50% da área do elemento.</p>                         |
| Desagregação              | <p>2 - início de manifestação;</p> <p>3 - manifestações leves, início de estofamento do concreto;</p> <p>4 - por perda acentuada de seção e esfarelamento do concreto</p>  |
| Desplacamento             | <p>2 - pequenas escamações do concreto com pequenos lascamentos junto ou não da exposição das armaduras;</p> <p>3 - lascamento de grandes proporções, com exposição da armadura;</p> <p>4 - lascamento acentuado com perda relevante de seção ou, chegando até apresentar buracos nos elementos.</p>   |
| Desvios de geometria      | <p>2 - pilares e cortinas com excentricidade <math>\leq h/100</math> (h = altura);</p> <p>3 - pilares e cortinas com excentricidades <math>h/100 \leq e &lt; h/50</math>;</p> <p>4 - pilares e cortinas com excentricidades <math>\geq h/50</math>.</p>  |

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Eflorescência                    | <p>1 - início de manifestações;</p> <p>2 - manchas de pequenas dimensões;</p> <p>3 - manchas acentuadas, em grandes extensões;</p> <p>4 - grandes formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).</p>  |
| Falha de concretagem             | <p>1 - superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça;</p> <p>2 - significativa em relação às dimensões da peça;</p> <p>3 - profunda em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura;</p> <p>4 - perda relevante da seção da peça.</p>   |
| Fissuras                         | <p>1 - aberturas menores do que as máximas previstas em norma;</p> <p>2 - estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma;</p> <p>3 - aberturas excessivas; estabilizadas;</p> <p>4 - aberturas excessivas; não estabilizadas.</p>  |
| Flechas                          | <p>1 - não perceptíveis a olho nu;</p> <p>2 - perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos na norma;</p> <p>3 - superiores em até 40% às previstas na norma;</p> <p>4 - excessivas.</p>  |
| Manchas                          | <p>2 - manchas escuras de pouca extensão, porém significativas (&lt;50% da área visível do elemento estrutural);</p> <p>3 - manchas escuras de grande extensão (&gt;50%);</p> <p>4 - manchas escuras em todo o elemento estrutural (100%).</p>   |
| Obstrução de juntas de dilatação | <p>2 - Desgaste superficial e/ou perda de elasticidade do material da junta início de fissuras paralelas às juntas nas lajes adjacentes;</p> <p>3 - presença de material não compressível na junta, grande incidência de fissuras paralelas às juntas nas lajes adjacentes;</p> <p>4 - fissuras em lajes adjacentes às juntas, com prolongamento em vigas e/ou pilares de suporte.</p> |
| Recalques                        | <p>2 - indícios de recalque pelas características das trincas na superestrutura;</p> <p>3 - recalque estabilizado com fissuras na mesoestrutura e infraestrutura;</p> <p>4 - recalque não estabilizado com fissuras na mesoestrutura e na infraestrutura.</p>  |
| Sinais de esmagamento            | <p>3 - desintegração do concreto na extremidade superior do pilar ou do aparelho de apoio, causada por sobrecarga ou movimentação da estrutura; fissuras diagonais isoladas;</p> <p>4 - fissuras de cisalhamento bi diagonais, com intenso lascamento e/ou esmagamento do concreto devido ao cisalhamento e a compressão, com perda substancial de material;</p>                       |
| Umidade                          | <p>1 - indícios de umidade;</p> <p>2 - pequenas manchas;</p> <p>3 - grandes manchas;</p> <p>4 - generalizada</p>   |

Fonte: Medeiros (2015).

## ANEXO C - FATORES DE PONDERAÇÃO

|                                       | FAMÍLIA DE ELEMENTOS |        |        |                              |          |                    |                  |                     |                   |
|---------------------------------------|----------------------|--------|--------|------------------------------|----------|--------------------|------------------|---------------------|-------------------|
|                                       | Pilar                | Viga   | Laje   | Barreiras e/ou guarda-corpos | Cortinas | Blocos de fundação | Pista de rolagem | Juntas de dilatação | Aparelho de apoio |
| DANOS                                 | Fr                   |        |        |                              |          |                    |                  |                     |                   |
| Carbonatação                          | 3                    | 3      | 3      | 3                            | 3        | 3                  |                  |                     |                   |
| Cobrimento insuficiente               | 3                    | 3      | 3      | 3                            | 3        | 3                  |                  |                     | 3                 |
| Contaminação por cloretos             | 4                    | 4      | 3      | 4                            | 4        | 4                  |                  |                     |                   |
| Corrosão das armaduras                | 5                    | 5      | 5      | 5                            | 5        | 5                  |                  |                     | 5                 |
| Danos por impacto                     | 5                    |        |        | 5                            |          |                    |                  |                     |                   |
| Desagregação                          | 3                    | 3      | 3      | 3                            | 3        | 3                  |                  |                     |                   |
| Descontinuidade                       |                      |        |        |                              |          |                    | 5                |                     |                   |
| Desgaste da sinalização               |                      |        |        |                              |          |                    | 5                |                     |                   |
| Desgaste do material de preenchimento |                      |        |        |                              |          |                    |                  | 5                   |                   |
| Desgaste superficial                  |                      |        |        |                              |          |                    | 5                |                     |                   |
| Deslocamento                          |                      |        |        |                              |          |                    |                  |                     | 5                 |
| Deslocamento por empuxo               |                      |        |        |                              | 5        |                    |                  |                     |                   |
| Desplacamento                         | 3                    | 3      | 3      | 3                            | 3        | 3                  |                  |                     | 3                 |
| Desvios de geometria                  | 4                    |        |        |                              | 3        |                    |                  |                     |                   |
| Eflorescência                         | 2                    | 2      | 2      | 2                            | 2        | 2                  |                  |                     |                   |
| Falha de concretagem                  | 3                    | 2      | 2      | 2                            | 2        | 3                  |                  |                     |                   |
| Fissuras                              | 2 a 5*               | 2 a 5* | 2 a 5* | 2 a 5*                       | 2 a 5*   | 2 a 5*             |                  |                     |                   |
| Flechas                               |                      | 5      | 5      | 5                            |          |                    |                  |                     |                   |
| Manchas                               | 3                    | 3      | 3      | 3                            | 3        |                    |                  |                     |                   |
| Obstrução de juntas de dilatação      |                      |        |        |                              |          |                    |                  | 5                   |                   |
| Recalques                             | 5                    |        |        |                              |          | 5                  |                  |                     |                   |
| Sinais de esmagamento                 | 5                    | 4      |        |                              | 5        | 5                  |                  |                     | 5                 |
| Umidade                               | 3                    | 3      | 3      | 3                            | 3        | 3                  |                  | 5                   |                   |

\*Critérios para atribuição do fator de ponderação das fissuras são encontrados em Fonseca (2007)

Fonte: Euqeres (2011)