



**Sérgio Alexandre Antunes Pereira**

Licenciado em Engenharia Civil

**Inspeção de obras de arte metálicas e  
mistas - Caso de estudo:  
Ponte de D. Luís s/ o rio Tejo**

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia  
da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do Grau de Mestre  
em Engenharia Civil – Estruturas e Geotecnia

Orientador: Corneliu Cismasiu, Prof. Doutor, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Váler José da Guia Lúcio, FCT-UNL  
Arguente: Prof. Doutor António Lopes Batista, FCT-UNL  
Vogal: Prof. Doutor Corneliu Cismasiu, FCT-UNL



**Sérgio Alexandre Antunes Pereira**

Licenciado em Engenharia Civil

**Inspeção de obras de arte metálicas e  
mistas - Caso de estudo:  
Ponte de D. Luís s/ o rio Tejo**

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia  
da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do Grau de Mestre  
em Engenharia Civil – Estruturas e Geotecnia

Orientador: Corneliu Cismasiu, Prof. Doutor, FCT-UNL

**Julho de 2018**

**Relatório nos termos do Despacho 20/2010 para Obtenção do Grau de Mestre por Licenciados  
“Pré-Bolonha”**

Copyright©Sérgio Alexandre Antunes Pereira, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

## AGRADECIMENTOS

---

Este trabalho não teria sido possível sem a autorização da IP – Infraestruturas de Portugal, S.A. para a utilização dos elementos necessários à elaboração da presente dissertação, pelo que agradeço a sua disponibilidade e confiança demonstrada em mim.

A todos os meus colegas da IP com quem tenho aprendido e evoluído profissionalmente, com especial apreço para os que estão sediados em Santarém, Leiria e Portalegre, que desde sempre me acolhem muito bem.

Aos meus colegas da área de gestão de obras de arte, com quem tenho trabalhado há quase 10 anos, dos quais guardo uma grande amizade por todos os bons momentos e conhecimentos adquiridos. Uma palavra particular para o Eng.º Luís Freire, gestor da Unidade de Pontes do Departamento de Inspeções e Diagnóstico de Estruturas Especiais, pela sua contribuição nos conteúdos expressos neste trabalho, assim como para os meus colegas João Amado e Rita Pereira, pelo seu apoio e incentivo.

Ao Professor Corneliu Cismasiu, meu orientador, pela sua disponibilidade e exigência na estruturação da dissertação.

Para a minha mãe não tenho palavras suficientes de agradecimento por tudo o que tem feito por mim. O meu respeito e admiração pela sua enorme resiliência, a sua vontade inesgotável de aprender e de realizar coisas novas, de manter a sua mente sempre ocupada. Que o seu exemplo continue a iluminar-me por muitos e bons anos.

Ao meu irmão, por tudo o que partilhámos juntos, as nossas viagens, aventuras e experiências inesquecíveis que contribuíram em muito para o meu crescimento e a minha valorização pessoal. Sinto-me um privilegiado por poder beber dos seus conhecimentos em áreas tão distintas das quais eu não domino, pela sua cultura acima da média que me torna mais completo sempre que o oiço.

À Elsa, pelo carinho e apoio incondicional nos meus momentos inconsistentes e intermitentes. A sua perseverança e energia focada na realização dos seus projetos são uma fonte de inspiração para mim.

Finalmente, uma palavra saudosa para o meu pai. Tenho em mim um profundo sentimento de gratidão e de reconhecimento pelos seus ensinamentos e pelos valores que me transmitiu. Pela sua amizade, bondade e generosidade, pelo seu relacionamento interpessoal harmonioso. Por todas as dificuldades que superou e, juntamente com a minha mãe, pelo que ambos lutaram e abdicaram nas suas vidas para que eu e o meu irmão pudéssemos ter as oportunidades que eles não tiveram. Aos meus pais, o meu humilde e sincero obrigado!



## RESUMO

---

Com a forte expansão verificada na rede rodoviária em Portugal nos últimos anos e com o aumento progressivo do tráfego rodoviário, as pontes metálicas antigas têm sido sucessivamente adaptadas às novas exigências de mobilidade através de trabalhos de reabilitação e de alargamento estrutural, com recurso a soluções mistas aço-betão.

Em face da verificação do envelhecimento e degradação das infraestruturas rodoviárias, nomeadamente das obras de arte, na última década os esforços das autoridades rodoviárias, ex-EP - Estradas de Portugal, S.A., centraram-se na criação e na consolidação de sistemas de gestão de obras de arte, tendo em vista a criação de estratégias e de metodologias sistematizadas para a conservação e manutenção destas estruturas.

Com a maturação do sistema de gestão de obras de arte da ex-EP, ao longo dos últimos anos, tem-se constatado a necessidade de estabelecer uma observação mais frequente nas pontes metálicas antigas e com posteriores adaptações estruturais mistas aço-betão, muito singulares da rede rodoviária, em oposição do que sucede com as obras de arte correntes. Por serem constituídas por materiais bastante antigos e nem sempre habilitados para suportar as atuais sobrecargas rodoviárias, é fundamental uma observação periódica rigorosa nestas estruturas através de inspeções principais, sendo esta uma atividade essencial em todo o sistema de gestão, nomeadamente pela importância na definição de prioridades de intervenção em obras de arte.

A IP - Infraestruturas de Portugal, S.A., fundada em 2015, fruto da incorporação, por fusão, da EP - Estradas de Portugal, S.A. na Rede Ferroviária Nacional – REFER, E.P.E., despoletou um procedimento tendo em vista a uniformização de metodologias e de boas práticas no âmbito da gestão dos ativos, do qual resultou recentemente o novo sistema de gestão de obras de arte da IP (SGOA IP).

A presente dissertação pretende descrever os procedimentos gerais relacionados com a atividade das inspeções principais a obras de arte rodoviárias, com vertente específica para pontes construídas em Portugal no final do século XIX e início do século XX, de superestrutura metálica ou mista, e infraestrutura materializada por elementos em alvenaria de pedra, enquadrando essa atividade dentro do SGOA IP. Nesse âmbito, será também apresentado um caso prático da inspeção principal à ponte de D. Luís s/ rio Tejo, construída em 1881.

**Palavras-chave:** obras de arte, estruturas, mistas, inspeção, anomalias, sistemas de gestão da conservação.



## **ABSTRACT**

---

With the strong growth of the road network in Portugal in the recent years and with the progressive increase in road traffic loads, the old steel bridges have been successively adapted to the new mobility requirements through rehabilitation and structural enlargement, using mixed steel-concrete solutions.

Taking into account the aging and degradation of the road infrastructures, especially the bridges, in the last decade the efforts of the road authorities, ex-EP - Estradas de Portugal, S.A., have focused on the creation and consolidation of bridge management systems, which helps to create strategies and systematized methodologies for the conservation and maintenance of these structures.

With the maturation of the bridge management system of the ex-EP, in the last years, it has been verified the need to set a more frequent observation in the old steel bridges or with later structural steel-concrete adaptations, that are very unique in the road network, unlike when compared with current bridge solutions. Because this type of bridges are made up of materials that are quite old and not always able to withstand the current loads of road vehicles, it is essential their periodically observation during the principal inspections, essential activities of the management system, especially relevant for setting the intervention priorities in bridges.

The IP - Infraestruturas de Portugal, S.A., founded in 2015, as a result of the incorporation of EP - Estradas de Portugal, S.A., into the Rede Ferroviária Nacional - REFER, E.P.E., triggered the standardization of the methodologies and good practices in the area of asset management, which has recently resulted in the new Bridge Management System of IP (SGOA IP).

The present dissertation describes the general procedures related to the principal inspections on road bridges, with specific focus on bridges built in Portugal at the end of the 19th century and early 20th century, with steel superstructure or using mixed steel-concrete solutions, and stone masonry infrastructure, in the framework of the SGOA IP. The principal inspection on the bridge of D. Luís over the Tagus river, built in 1881, is presented as a case study.

**Keywords:** bridges, metal, concrete, mixed, inspection, anomalies, management systems.



---

**ÍNDICE GERAL**

---

|   |            |
|---|------------|
| <b>AGRADECIMENTOS .....</b>   | <b>III</b> |
| <b>RESUMO.....</b>  | <b>V</b>   |
| <b>ABSTRACT.....</b>  | <b>VII</b> |
| <b>ÍNDICE GERAL.....</b>  | <b>IX</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>  | <b>XI</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>  | <b>XV</b>  |
| <b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>1</b>   |
| <b>1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>   | <b>1</b>   |
| <b>1.2 ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS.....</b>   | <b>2</b>   |
| <b>1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....</b>   | <b>3</b>   |
| <b>CAPÍTULO 2. A GESTÃO DE OBRAS DE ARTE DA IP .....</b>  | <b>5</b>   |
| <b>2.1 A IP – INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL.....</b>  | <b>5</b>   |
| <b>2.1.1 Breve história .....</b>   | <b>5</b>   |
| <b>2.1.2 Património de obras de arte rodoviárias.....</b>   | <b>6</b>   |
| <b>2.2 O SISTEMA DE GESTÃO DE OBRAS DE ARTE DA IP .....</b>   | <b>9</b>   |
| <b>2.2.1 Enquadramento.....</b>   | <b>9</b>   |
| <b>2.2.2 Implementação.....</b>   | <b>10</b>  |
| <b>2.2.3 Conclusões.....</b>  | <b>15</b>  |
| <b>CAPÍTULO 3. PROCEDIMENTOS PARA A INSPEÇÃO PRINCIPAL DE OBRAS DE ARTE METÁLICAS E MISTAS.....</b> | <b>17</b>  |
| <b>3.1 MEIOS DE INSPEÇÃO.....</b>   | <b>17</b>  |
| <b>3.2 HISTÓRICO DA OBRA .....</b>  | <b>19</b>  |
| <b>3.3 FUNCIONAMENTO ESTRUTURAL .....</b>   | <b>19</b>  |
| <b>3.4 ANOMALIAS MAIS COMUNS.....</b>   | <b>25</b>  |
| <b>3.4.1 Anomalias na estrutura metálica .....</b>  | <b>25</b>  |
| <b>3.4.2 Anomalias na laje de betão armado .....</b>  | <b>32</b>  |
| <b>3.4.3 Anomalias na infraestrutura de alvenaria de pedra .....</b>                                | <b>33</b>  |
| <b>3.4.4 Anomalias diversas na plataforma rodoviária .....</b>                                      | <b>34</b>  |

|  |  |            |
|--|--|------------|
| 3.5  | ESTADO DE CONSERVAÇÃO E MEDIDAS DE ATUAÇÃO .....                           | 36         |
| <b>CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDO: PONTE DE D. LUÍS S/ O RIO TEJO .....</b>  |  |            |
| 4.1  | INSPEÇÃO PRINCIPAL .....   | 41         |
| 4.1.1  | Meios de inspeção .....  | 41         |
| 4.1.2  | Histórico da obra .....  | 42         |
| 4.1.3  | Funcionamento estrutural .....   | 50         |
| 4.1.4  | Anomalias.....   | 64         |
| 4.1.5  | Estado de conservação e medidas de atuação .....                           | 106        |
| 4.2  | ENQUADRAMENTO DA PONTE DE D. LUÍS S/ O RIO TEJO NO ÂMBITO DO SGOA IP ..... | 111        |
| <b>CAPÍTULO 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....</b> |  |            |
| 5.1  | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....   | 116        |
| 5.2  | DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....   | 117        |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                   |  | <b>120</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>   |  | <b>124</b> |

---

**ÍNDICE DE FIGURAS**


---

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1 - Distribuição por distrito das obras de arte rodoviárias da IP ou que interferem com as suas vias [23] ..... | 6  |
| Figura 2.2 - Património de obras de arte rodoviárias da IP [23] .....  | 7  |
| Figura 2.3 – Exemplos de pontes metálicas da rede rodoviária da IP .....   | 8  |
| Figura 2.4 – Fluxograma da interação entre a inspeção principal e a área de estudos e projetos no SGOA IP [12] .....     | 15 |
| Figura 2.5 – Fluxograma do SGOA IP [12] .....  | 16 |
| <br>   |    |
| Figura 3.1 – Ferramentas e equipamentos de apoio à inspeção .....  | 18 |
| Figura 3.2 – Aparelhos não correntes de apoio à inspeção principal .....   | 19 |
| Figura 3.3 – Exemplos de pontes metálicas da rede rodoviária da IP [3] .....   | 20 |
| Figura 3.4 – Exemplos de tipos de vigas treliçadas .....   | 21 |
| Figura 3.5 – Pontes metálicas da IP com diferentes tipos de vigas treliçadas .....                                       | 22 |
| Figura 3.6 – Ponte da Raposa na EN114 .....  | 23 |
| Figura 3.7 – Aparelhos de apoio metálicos .....  | 23 |
| Figura 3.8 – Exemplos de modelos simplificados de funcionamento estrutural .....   | 24 |
| Figura 3.9 – Exemplos de análise de uma superestrutura metálica com pré-esforço exterior .....                           | 25 |
| Figura 3.10 – Exemplos de corrosão na estrutura metálica .....   | 26 |
| Figura 3.11 – Exemplos de defeitos de fadiga em pontes metálicas .....   | 27 |
| Figura 3.12 – Exemplos de anomalias por má cravação de rebites [13] .....  | 28 |
| Figura 3.13 – Exemplo de fissuração na soldadura entre elementos metálicos .....   | 28 |
| Figura 3.14 – Exemplos de embates na estrutura metálica [13] .....   | 29 |
| Figura 3.15 – Exemplos de peças lineares encurvadas .....  | 29 |
| Figura 3.16 – Desalinhamentos típicos entre o tabuleiro e os aparelhos de apoio .....                                    | 30 |
| Figura 3.17 – Forças residuais que provocam desalinhamentos entre o tabuleiro e os aparelhos de apoio .....              | 31 |
| Figura 3.18 – Anomalias na ligação entre o tabuleiro e os aparelhos de apoio .....                                       | 31 |
| Figura 3.19 – Exemplos de imobilização da translação em aparelhos de apoio .....   | 32 |
| Figura 3.20 – Exemplos de delaminação e destacamento do betão armado [13] .....  | 32 |
| Figura 3.21 – Exemplos de fendilhação no betão armado [13] .....   | 33 |
| Figura 3.22 – Exemplos de fendilhação na alvenaria de pedra .....  | 33 |
| Figura 3.23 – Exemplo de degradação da chapa de proteção da base de pilares [3] .....                                    | 34 |
| Figura 3.24 – Exemplos de anomalias na plataforma rodoviária .....   | 35 |
| Figura 3.25 – Exemplos de deficiências na impermeabilização do tabuleiro .....   | 35 |
| Figura 3.26 – Trabalhos de reparação na superestrutura metálica e elementos de betão armado [3] .....                    | 38 |
| Figura 3.27 – Exemplos de soluções antissísmicas em pontes metálicas centenárias .....                                   | 38 |
| Figura 3.28 – Trabalhos de colocação de tirantes para contenção de muros [3] .....                                       | 39 |
| Figura 3.29 – Trabalhos de reconstrução do embasamento de pilares [3] .....  | 39 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 4.1 – Plataforma de apoio à inspeção principal .....   | 42 |
| Figura 4.2 – Vista geral da estrutura original da ponte de D. Luís, s/ o rio Tejo [22].....   | 43 |
| Figura 4.3 – Vista geral das estruturas originais da passagem superior ao caminho-de-ferro e do viaduto .....   | 43 |
| Figura 4.4 – Excertos das peças desenhadas do projeto do Professor Edgar Cardoso [5] .....  | 44 |
| Figura 4.5 – Trabalhos da empreitada de reforço e consolidação das fundações da ponte de D. Luís [3].....   | 45 |
| Figura 4.6 – Cortes transversais da ponte de D. Luís [19].....  | 46 |
| Figura 4.7 – Controlo de fendilhação nas bielas de pré-esforço da ponte de D. Luís [17].....  | 47 |
| Figura 4.8 – Aparelho de apoio no pilar-encontro PE2 da ponte de D. Luís [17] .....   | 47 |
| Figura 4.9 – Desenho esquemático da zona inspecionada do viaduto incluído no relatório técnico da IPC1 .....  | 48 |
| Figura 4.10 – Anomalias no alinhamento P33 do viaduto, incluídas no relatório técnico da IPC1.....  | 49 |
| Figura 4.11 – Enquadramento geral da ponte D. Luís .....  | 50 |
| Figura 4.12 – Via sobre a ponte D. Luís, no sentido ascendente dos quilómetros.....   | 51 |
| Figura 4.13 – Passagem superior ao caminho-de-ferro da ponte de D. Luís .....   | 52 |
| Figura 4.14 – Trecho principal ponte de D. Luís .....   | 53 |
| Figura 4.15 – Identificação dos elementos da superestrutura do trecho principal da ponte .....  | 54 |
| Figura 4.16 – Funcionamento do sistema de pré-esforço da superestrutura do trecho principal da ponte .....  | 54 |
| Figura 4.17 – Viaduto da ponte de D. Luís.....  | 55 |
| Figura 4.18 – Modelos de funcionamento estrutural do viaduto da ponte de D. Luís .....  | 56 |
| Figura 4.19 – Ligações aparafusadas pilares-tabuleiro do viaduto da ponte de D. Luís .....  | 56 |
| Figura 4.20 – Pormenores da ligação aparafusada pilar-tabuleiro do viaduto da ponte de D. Luís.....   | 57 |
| Figura 4.21 – Desenho esquemático do viaduto da ponte de D. Luís, incluído na IPC4 .....  | 58 |
| Figura 4.22 – Esquema de anomalias no viaduto da ponte de D. Luís, entre P33 e P35, para Tmax. 59   |    |
| Figura 4.23 - Esquema de anomalias no viaduto da ponte de D. Luís, entre P33 e P35, para Tmin... 60   |    |
| Figura 4.24 - Desenho esquemático com o sentido dos deslocamentos dos conjuntos C1 e C2 do viaduto, para os períodos de verão e de inverno, incluído na IPC4..... | 62 |
| Figura 4.25 – Desenho esquemático do hipotético funcionamento estrutural do viaduto, com 2 centros de rigidez, incluído na IPC4.....                              | 63 |
| Figura 4.26 – Encontro E1 da PS ao CF da ponte de D. Luís .....   | 64 |
| Figura 4.27 – Anomalias nos aparelhos de apoio da PS ao CF da ponte de D. Luís .....  | 65 |
| Figura 4.28 – Anomalias no tabuleiro da PS ao CF da ponte de D. Luís .....  | 66 |
| Figura 4.29 – Anomalias no revestimento da via da PS ao CF da ponte de D. Luís.....   | 67 |
| Figura 4.30 – Anomalias na drenagem da PS ao CF da ponte de D. Luís .....   | 67 |
| Figura 4.31 – Anomalias no pilar-encontro PE1 da ponte de D. Luís (face do lado jusante) .....  | 68 |
| Figura 4.32 – Anomalias no muro de espelho do pilar-encontro PE1 da ponte de D. Luís .....  | 69 |

---

|  |    |
|--|----|
| Figura 4.33 – Anomalias no pilar-encontro PE1, junto à PS da ponte de D. Luís (face do lado montante).....           | 70 |
| Figura 4.34 – Anomalias no pilar-encontro PE1, junto ao tabuleiro da ponte de D. Luís (face do lado montante).....   | 70 |
| Figura 4.35 – Desenho esquemático das fendas observadas na estrutura de alvenaria do pilar-encontro PE1 .....        | 71 |
| Figura 4.36 – Desenhos esquemáticos de identificação dos aparelhos de apoio nos pilares-encontros da ponte .....     | 72 |
| Figura 4.37 – Desenhos esquemáticos para medição dos deslocamentos dos aparelhos de apoio da ponte [18].....         | 72 |
| Figura 4.38 – Anomalias nos aparelhos de apoio no pilar-encontro PE2 da ponte de D. Luís .....                       | 73 |
| Figura 4.39 – Aparelhos diversos na ponte de D. Luís .....   | 74 |
| Figura 4.40 – Anomalias nos pilares, com base submersa, da ponte de D. Luís (P1 e P2) .....                          | 75 |
| Figura 4.41 – Anomalias nos pilares, sem base submersa, da ponte de D. Luís (P3 a P6) .....                          | 75 |
| Figura 4.42 – Anomalias no 1º tramo da superestrutura metálica da ponte de D. Luís .....                             | 76 |
| Figura 4.43 – Anomalias nos montantes da superestrutura da ponte de D. Luís (viga do lado montante).....             | 77 |
| Figura 4.44 – Encurvadura em montantes da superestrutura da ponte de D. Luís (viga do lado jusante) .....            | 77 |
| Figura 4.45 – Anomalias na laje de betão armado da ponte de D. Luís.....   | 78 |
| Figura 4.46 – Anomalias nas escoras de betão armado na ponte de D. Luís devido às ações do pré-esforço .....         | 79 |
| Figura 4.47 – Anomalias no trecho inferior das escoras de betão armado da ponte de D. Luís.....                      | 79 |
| Figura 4.48 – Anomalias resultantes da execução do sistema de pré-esforço exterior da ponte de D. Luís .....         | 80 |
| Figura 4.49 – Juntas de dilatação metálicas da ponte de D. Luís .....  | 80 |
| Figura 4.50 – Anomalias na junta de dilatação sobre o pilar P8 da ponte de D. Luís .....                             | 81 |
| Figura 4.51 – Anomalias no pilar-encontro PE2 do viaduto da ponte de D. Luís .....                                   | 82 |
| Figura 4.52 – Anomalias no encontro E2 do viaduto da ponte de D. Luís.....   | 82 |
| Figura 4.53 – Anomalias nos aparelhos de apoio do PE2 do viaduto da ponte de D. Luís.....                            | 83 |
| Figura 4.54 – Anomalias no aparelho de apoio, do lado montante, do PE2 do viaduto da ponte de D. Luís .....          | 84 |
| Figura 4.55 – Esquema geral das anomalias nas ligações tabuleiro-pilares do viaduto, entre P33 e P35.....            | 85 |
| Figura 4.56 – Desenho esquemático da deformada da estrutura do viaduto, entre o P32 e P36.....                       | 86 |
| Figura 4.57 – Vista geral do pilar P33 do viaduto, do lado jusante (face exterior) .....                             | 87 |
| Figura 4.58 – Pormenor da zona 4 da ligação P33-tabuleiro, do lado jusante (face exterior).....                      | 87 |
| Figura 4.59 – Vista geral do pilar P33 do viaduto, do lado montante (face exterior).....                             | 88 |
| Figura 4.60 – Dispositivo de equalização de flechas entre os tramos nº 25 e nº 26 do viaduto, do lado montante ..... | 88 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 4.61 – Pormenor da zona 2 da ligação P33-tabuleiro, do lado montante (face exterior) .....              | 89  |
| Figura 4.62 – Parafuso da zona 2 da ligação P33-tabuleiro, do lado montante (face exterior).....               | 90  |
| Figura 4.63 – Vista geral do pilar P35 do viaduto, do lado jusante (face exterior) .....                       | 91  |
| Figura 4.64 – Pormenor da zona 3 da ligação P35-tabuleiro, do lado jusante (face exterior).....                | 91  |
| Figura 4.65 – Vista geral do pilar P35 do viaduto, do lado montante (face exterior) .....                      | 92  |
| Figura 4.66 – Pormenor da zona 2 da ligação P35-tabuleiro, do lado montante (face exterior) .....              | 92  |
| Figura 4.67 – Exemplos de ligações bloqueadas entre pilares-tabuleiro do viaduto da ponte de D. Luís<br>.....  | 93  |
| Figura 4.68 – Exemplos de fissuras na pintura das ligações entre pilares-tabuleiro do viaduto .....            | 93  |
| Figura 4.69 – Anomalias nos elementos de contraventamento do pilar P9.....                                     | 95  |
| Figura 4.70 – Empenos nos elementos de contraventamento do pilar P9 .....                                      | 95  |
| Figura 4.71 – Assentamento de pilares metálicos do viaduto da ponte de D. Luís .....                           | 96  |
| Figura 4.72 – Anomalias nos tramos nº 1 e nº 2 do tabuleiro do viaduto (lado montante).....                    | 97  |
| Figura 4.73 – Anomalias no tramo nº 1 do tabuleiro do viaduto, sobre o pilar-encontro PE2 .....                | 98  |
| Figura 4.74 – Anomalias de durabilidade no tabuleiro do viaduto da ponte de D. Luís .....                      | 99  |
| Figura 4.75 – Anomalias nos guarda-corpos do viaduto da ponte de D. Luís .....                                 | 99  |
| Figura 4.76 – Depressão nos passeios do viaduto, sobre o alinhamento P9.....                                   | 100 |
| Figura 4.77 – Aberturas da junta do passeio, sobre o P33, do lado montante .....                               | 101 |
| Figura 4.78 – Aberturas da junta do passeio, sobre o P35, do lado montante.....                                | 101 |
| Figura 4.79 – Aberturas das juntas dos passeios do viaduto, sobre o PE2 (lado montante) .....                  | 102 |
| Figura 4.80 – Aberturas das juntas dos passeios do viaduto, sobre o PE2 (lado jusante) .....                   | 103 |
| Figura 4.81 – Anomalias na junta GTF do viaduto, sobre o P33 .....   | 104 |
| Figura 4.82 – Anomalias na junta GTF do viaduto, sobre P35 .....   | 104 |
| Figura 4.83 – Anomalias na junta FIP RAN 50-S do viaduto, sobre o PE2 .....                                    | 105 |
| Figura 4.84 – Anomalias nas juntas de dilatação do viaduto, no âmbito da IPG.....                              | 105 |
| Figura 4.85 – Enquadramento das medidas de aprofundamento do diagnóstico da IPG, no âmbito do<br>SGOA IP ..... | 110 |
| Figura 4.86 – Enquadramento das medidas de manutenção da IPG, no âmbito do SGOA IP .....                       | 111 |
| Figura 4.87 – Trabalhos de reposicionamento dos aparelhos de apoio da ponte, em PE1 e PE2 ....                 | 112 |
| Figura 4.88 – Alvos aplicados para monitorização topográfica dos pilares do viaduto .....                      | 113 |
| Figura 4.89 – Trabalhos de manutenção na via sobre a obra [3] .....  | 113 |

Nota:

As figuras que não têm referência bibliográfica são do próprio autor.

---

**ÍNDICE DE TABELAS**

---

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 2.1 - Classificação do estado de conservação das obras de arte [12] .....                              | 13  |
| Tabela 2.2 - Níveis de vigilância do SGOA IP para as obras de arte sob gestão direta em exploração [12] ..... | 14  |
| Tabela 4.1 – Valores medidos nos alinhamentos PE2 e P33, do conjunto C1, para diferentes temperaturas .....   | 60  |
| Tabela 4.2 – Valores medidos nos alinhamentos P35 e E2, do Conjunto C2, para diferentes temperaturas .....    | 61  |
| Tabela 4.3 – Medições nos aparelhos de apoio de PE1 e PE2, para diferentes temperaturas ambiente .....        | 73  |
| Tabela 4.4 – Estado de conservação da PS ao CF no SGOA IP .....   | 106 |
| Tabela 4.5 – Estado de conservação da ponte no SGOA IP .....  | 107 |
| Tabela 4.6 – Estado de conservação do viaduto no SGOA IP .....  | 108 |



# CAPÍTULO 1.

## INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

---

A rede rodoviária nacional expandiu-se consideravelmente nos últimos 30 anos tendo sido, por conseguinte, aumentado substancialmente o número de obras de arte novas durante esse período, sendo estas principalmente constituídas por betão armado ou betão armado pré-esforçado.

Da mesma forma, e com o aumento progressivo do tráfego rodoviário, as pontes metálicas mais antigas, e algumas delas centenárias, têm sido sucessivamente adaptadas às novas exigências de mobilidade através de trabalhos de reabilitação e de alargamento estrutural, com recurso a soluções mistas aço-betão e por vezes com aplicação de pré-esforço exterior. Esta adaptação estrutural surgiu logo na segunda metade do século XX, em algumas obras, enquanto outras foram adaptadas apenas no início do século XXI.

A partir de meados da década de 2000, em face da verificação do envelhecimento e consequente degradação das infraestruturas rodoviárias, nomeadamente as obras de arte, foi criado um sistema de gestão de obras de arte da rede rodoviária portuguesa, nomeadamente na ex-EP - Estradas de Portugal, S.A., com o objetivo de uniformizar e sistematizar as estratégias e metodologias para a conservação e manutenção das obras de arte. Este instrumento, fundamental na gestão de conservação destas estruturas, permitiu a organização e o tratamento de toda a informação relativa às obras de arte.

Nesse âmbito, consolidaram-se procedimentos sistemáticos de acompanhamento periódico das obras de arte, sendo a atividade das inspeções principais um fator essencial em todo o sistema de gestão, pela sua importância na definição de prioridades de intervenção. Ainda assim, as metodologias e os automatismos de trabalho que foram criados nesse sistema de gestão de obras de arte, ao longo dos últimos 15 anos, incidiram maioritariamente para as pontes correntes, nomeadamente as estruturas de betão armado ou de betão armado pré-esforçado.

Sendo as pontes rodoviárias centenárias, de grande extensão e com tabuleiro metálico ou misto, muito específicas, com a maturação do sistema de gestão de obras de arte ao longo dos últimos anos, tornou-se necessário ter uma abordagem diferenciada das pontes correntes. Muito singulares da rede rodoviária, estas obras assumem um papel muito importante a nível social e económico, e apresentam uma envergadura na sua estrutura que merece um acompanhamento especial.

Tratam-se de obras que, por serem constituídas originalmente por materiais bastante antigos (algumas do século XIX), nem sempre estão preparadas para suportar as atuais sobrecargas rodoviárias, tendo sido conseqüentemente parte delas interditas ao tráfego pesado, mesmo após trabalhos de reabilitação estrutural. No entanto, estes condicionamentos de trânsito, muitas vezes não

são respeitados na íntegra, pelo que se torna indispensável manter uma observação rigorosa a este tipo de estruturas, através de inspeções periódicas.

A IP - Infraestruturas de Portugal, S.A., fundada em 2015, fruto da incorporação, por fusão, da EP - Estradas de Portugal, S.A. na Rede Ferroviária Nacional – REFER, E.P.E., despoletou um procedimento tendo em vista a uniformização de metodologias e de boas práticas no âmbito da gestão dos ativos, tendo resultado recentemente no novo sistema de gestão de obras de arte da IP.

A presente dissertação apresenta os procedimentos da atividade de inspeção principal a obras de arte rodoviárias, com vertente específica para pontes com 100 anos aproximadamente, de superestrutura metálica ou mista, e infraestrutura materializada por elementos de alvenaria de pedra. Nesse enquadramento, insere-se a inspeção principal realizada pelo autor à Ponte de D. Luís s/ rio Tejo, construída em 1881, e que engloba elementos e soluções estruturais dos séculos XIX, XX e XXI, a funcionar em conjunto.

### **1.2 ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS**

---

Com a realização desta dissertação pretende-se alcançar os seguintes objetivos:

- 1) Evidenciar a particularidade das pontes metálicas e mistas na rede rodoviária gerida pela IP, sendo esta a maior concessionária a nível nacional;
- 2) Apresentar o sistema de gestão de obras de arte da IP (SGOA IP), as suas metodologias, as várias atividades que sustentam o seu funcionamento, e algumas particularidades de vigilância no caso das pontes metálicas;
- 3) Descrever os procedimentos para a realização de uma inspeção principal a pontes com superestrutura metálica ou mista e infraestrutura materializada por elementos em alvenaria de pedra, no âmbito do SGOA IP, com ênfase na importância da compreensão do seu funcionamento estrutural e do conhecimento das anomalias mais comuns, sendo fundamentais para a atribuição correta do estado de conservação da obra e para a definição das respetivas medidas de atuação adequadas;
- 4) Analisar em pormenor o caso de estudo da ponte de D. Luís s/ o rio Tejo, nomeadamente a inspeção principal realizada pelo autor, assim como apresentar o histórico desta obra e o seu enquadramento atual no âmbito do SGOA IP.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

---

Atendendo aos objetivos propostos, a presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos, cujo sumário de conteúdos seguidamente se apresenta.

No capítulo 1 é feita uma breve introdução às temáticas abordadas, sendo identificados os principais objetivos da dissertação e a sua organização em capítulos.

No capítulo 2 é apresentada a IP – Infraestruturas de Portugal, as características do património de obras de arte rodoviárias que tem sob sua jurisdição, descrevendo-se o modelo de funcionamento do seu sistema de gestão de obras de arte (SGOA IP), incluindo as metodologias e as várias atividades que o sustentam.

No capítulo 3 são feitas considerações gerais sobre os procedimentos a ter em conta na realização de uma inspeção principal a pontes com superestrutura metálica ou mista e infraestrutura materializada por elementos de alvenaria de pedra, no âmbito do SGOA IP.

O capítulo 4 é dedicado ao caso prático de uma inspeção principal realizada à ponte de D. Luís s/ o rio Tejo, enquadrando esta atividade dentro do SGOA IP, do qual se faz uma análise do modelo de funcionamento de 3 estruturas (passagem sobre o caminho-de-ferro, ponte e viaduto), a identificação e justificação das anomalias observadas, a atribuição dos estados de conservação das obras e dos respetivos componentes, e as medidas de atuação recomendadas. Neste capítulo também se apresenta um histórico da obra e o ponto de situação atual no âmbito do SGOA IP.

No capítulo 5 são feitas algumas considerações finais sobre a dissertação, destacando-se os principais aspetos alcançados neste trabalho, propondo-se também algumas linhas de orientação a desenvolver no futuro para esta área de atuação.



# CAPÍTULO 2.

## A GESTÃO DE OBRAS DE ARTE DA IP

### 2.1 A IP – INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL

---

A Infraestruturas de Portugal é a empresa pública que resultou da fusão entre a Rede Ferroviária Nacional – REFER, E.P.E. (REFER, E.P.E.) e a EP - Estradas de Portugal, S.A. (EP, S.A.) através da qual a REFER, E.P.E., incorpora, por fusão, a EP, S.A., e é transformada em sociedade anónima, passando a denominar-se Infraestruturas de Portugal, S.A. (IP, S.A.). A fusão foi consagrada no dia 1 de junho de 2015, na sequência do Decreto-Lei nº 91/2015 de 29 de maio. Na prática, a maioria das infraestruturas rodoviárias e ferroviárias passam a ser geridas por uma única empresa, de acordo com uma estratégia conjunta, integrada e complementar. A IP, S.A. tem por objeto a conceção, projeto, construção, financiamento, conservação, exploração, requalificação, alargamento e modernização das redes rodoviária e ferroviária nacionais, incluindo o comando e controlo da circulação ferroviária. A IP, cujo único acionista é o Estado Português, está sujeita à tutela dos Ministérios do Planeamento e das Infraestruturas e das Finanças [16].

#### 2.1.1 Breve história

Para a Rede Rodoviária, a Estradas de Portugal foi resultado de uma longa evolução nos tempos, como uma das mais relevantes instituições da administração pública em Portugal, integrada na administração central, até ao modelo empresarial adotado em finais de 2004, pela sua transformação em entidade pública empresarial. Esta entidade veio a evoluir para um modelo de direito privado, suportado num contrato de concessão com o Estado, que contratualizou a relação com a empresa e determinou o seu atual posicionamento dentro do setor empresarial do Estado. Neste longo percurso, a empresa, passou por uma sucessão de formas, modelos e regimes organizacionais, estatutários e regulamentares, que praticamente utilizaram todas as formas de organização das funções públicas, desde o organismo da administração central (a JAE) criado em 1927, a criação de uma sociedade anónima especializada (a JAE - Construção, S.A.) e a formação dos três Institutos Rodoviários, IEP (Instituto das Estradas de Portugal), O ICOR (Instituto para a Construção Rodoviária) e o ICERR (o Instituto para a Conservação e Exploração da rede Rodoviária), em 1999. Três anos depois, deu-se a sua fusão numa única entidade (o IEP), entidade singular que voltou a integrar e exercer toda a fileira de funções públicas da administração rodoviária. Em finais de 2004, o IEP foi transformado numa entidade pública empresarial, a EP- Estradas de Portugal, E.P.E., visando o relançamento das suas atividades num novo quadro operacional que permitisse garantir melhores resultados e maior estabilidade dos seus recursos. Em 2007, foi aprovado um novo modelo de gestão e financiamento do setor rodoviário, que incluiu então a separação de funções entre a regulação e a operação, a criação

de um regulador institucional para o setor, na forma de instituto público, a contratualização da relação entre o Estado Português e a EP- Estradas de Portugal, S.A., bem como a transformação desta entidade numa sociedade anónima de capitais exclusivamente públicos, com as funções de concessionária geral da rede rodoviária nacional. Neste âmbito, foi aprovado o Decreto-Lei n.º 374/2007, de 7 de novembro, que transformou a EP, E.P.E., na EP- Estradas de Portugal, S.A. e aprovou os respetivos estatutos, em vigor. A EP, S.A. integrou o setor empresarial do Estado, consagrado no regime do Decreto-Lei n.º 133/2013, de 3 de outubro, regendo-se pelas boas práticas de governo societário aplicáveis ao setor, pelas disposições do Código das Sociedades Comerciais, regulamentos internos e normas jurídicas nacionais e europeias subjacentes à sua atividade [14].

A REFER foi criada em 1997, pelo Decreto-Lei n.º 104/97, de 29 de abril, como empresa pública responsável pela prestação do serviço público de gestão da infraestrutura integrante da rede ferroviária nacional. Em 22 de julho de 2008, o Decreto-Lei n.º 141/2008 altera a denominação da REFER para Rede Ferroviária Nacional - REFER, EPE e introduz alterações aos seus estatutos, procedendo à sua republicação [15].

A 1 de junho de 2015, na sequência do Decreto-Lei n.º 91/2015 de 29 de maio, a Rede Ferroviária Nacional – REFER, E.P.E. (REFER, E.P.E.) incorpora, por fusão, a EP - Estradas de Portugal, S.A. (EP, S.A.) e é transformada em sociedade anónima, passando a denominar-se Infraestruturas de Portugal, S.A. (IP, S.A.) [15].

### 2.1.2 Património de obras de arte rodoviárias

A IP, sendo a maior concessionária rodoviária de Portugal, é aquela que apresenta um maior número de obras de arte rodoviárias no seu património. Segundo dados do Sistema de Gestão de Obras de Arte da IP (SGOA IP), de dezembro de 2017, 5328 obras de arte fazem parte do inventário da IP, existindo mais 472 obras que são de outras entidades mas interferem com as estradas da IP. A figura 2.1 indica o número de obras de arte existentes na rede rodoviária da IP, por distrito.

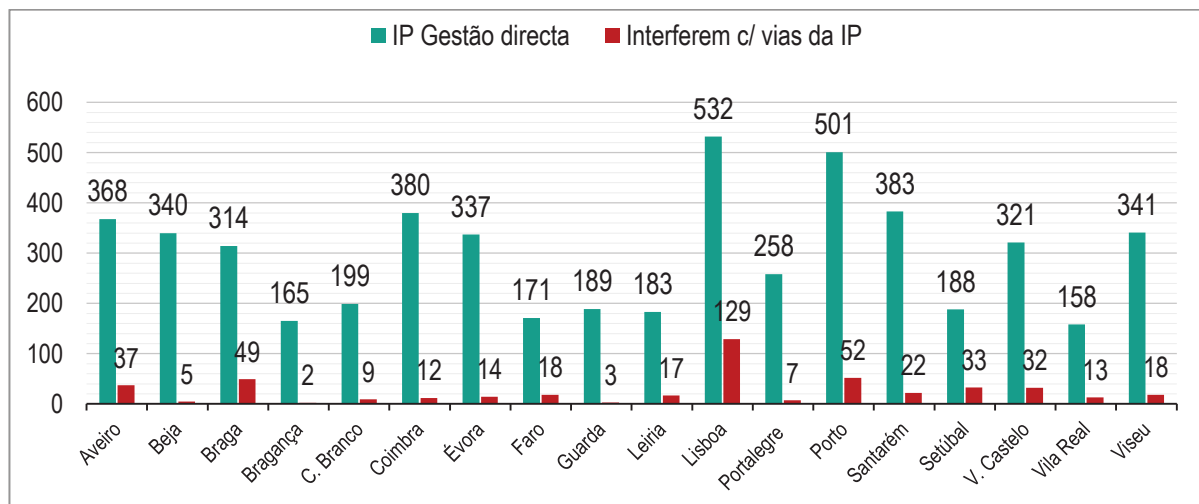


Figura 2.1 - Distribuição por distrito das obras de arte rodoviárias da IP ou que interferem com as suas vias [23]

Relativamente à tipologia das obras de arte rodoviárias, verifica-se que existe uma predominância de obras de reduzida extensão, do tipo passagem hidráulica. As pontes correspondem apenas a cerca de 19%. No que diz respeito ao material constituinte das obras de arte rodoviárias, de salientar que cerca de 37% das obras são de alvenaria, facto diretamente relacionado com a idade da rede rodoviária portuguesa. O material predominante é o betão armado ou betão armado pré-esforçado, com 58%, em face da expansão considerável da rede rodoviária nacional nos últimos 30 anos. As obras com tabuleiros metálicos e mistos estão incluídas num grupo restrito de 2% das obras da rede rodoviária. Em termos de extensão das obras rodoviárias, as estruturas com comprimentos reduzidos (menor que 10 m) predominam, com 58%. As obras com comprimento superior a 100 m têm ainda alguma expressão na rede rodoviária, representando 9%. A figura 2.2 indica a distribuição das obras de arte rodoviárias da IP, em percentagem, por tipologia, por material e por extensão das respetivas estruturas.

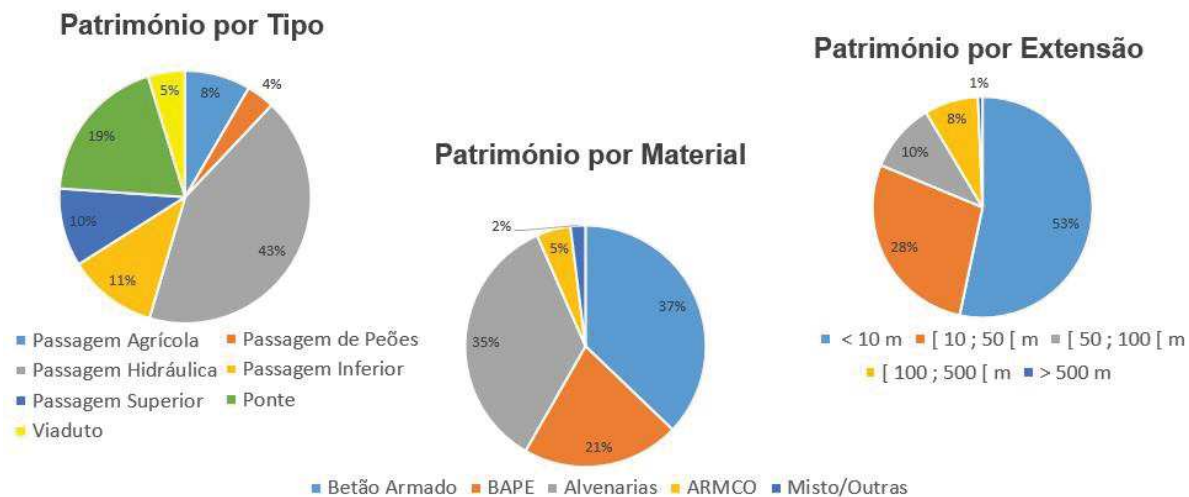


Figura 2.2 - Património de obras de arte rodoviárias da IP [23]

Para pontes rodoviárias com mais de 100 anos, com comprimento superior a 100 m e com tabuleiro metálico ou misto, o número de obras é mais reduzido, contabilizando-se menos de 20 obras de arte no SGOA IP (obras de arte cujo tabuleiro serve estradas nacionais sob jurisdição da IP). Estas obras caracterizam-se essencialmente por uma tipologia que consiste, originalmente, numa superestrutura metálica, com infraestrutura materializada por alvenaria de pedra (pilares e encontros). Esta tipologia desenvolveu-se em Portugal sensivelmente até meados da década de 1930. Parte destas obras foram objeto de reabilitação e alargamento estrutural (com tabuleiros mistos, aplicação de pré-esforço e por vezes com substituição de aparelhos de apoio), outras foram integralmente substituídas (e demolidas), e ainda existem algumas que se encontram atualmente desativadas da rede rodoviária. Na figura 2.3 apresentam-se dois exemplos de pontes metálicas da rede rodoviária da IP. A figura 2.3a apresenta a ponte de Constância, que foi construída em 1892, tendo sido objeto de trabalhos de reabilitação e reforço estrutural em 2003, e que contemplou o alargamento do tabuleiro superior e a aplicação de pré-esforço exterior. A figura 2.3b apresenta a ponte do Barbancho, que foi construída em

1878 e era constituída originalmente por um tramo único com vigas metálicas, apoiado em encontros de cantaria e alvenaria ordinária. O tabuleiro superior foi posteriormente objeto de alargamento estrutural através de uma solução de betão armado, em 1935. O pavimento original era constituído por tacos de madeira revestidos superficialmente com argamassa betuminosa [20]. Em 2010, esta ponte foi substituída por outra estrutura de betão armado pré-esforçado, tendo sido desativada da rede rodoviária, por já não se ajustar às condições de tráfego atuais. Em 2015 a ponte foi demolida.



a) Ponte de Constância s/ rio Zêzere



b) Ponte do Barbancho

Figura 2.3 – Exemplos de pontes metálicas da rede rodoviária da IP

O património de obras de arte rodoviárias tem sido gerido através de um sistema de gestão de obras de arte que teve início em meados da década de 2000. Desde então, este instrumento, fundamental na gestão da conservação, foi utilizado exaustivamente para organizar e processar toda a informação relativa às obras de arte. Nesse âmbito, consolidaram-se procedimentos sistemáticos de acompanhamento periódico das obras de arte, designadamente na área das inspeções principais. As metodologias e os automatismos de trabalho que foram criados neste sistema incidiram maioritariamente para as pontes correntes, nomeadamente as estruturas de betão armado ou de betão armado pré-esforçado, atendendo à sua maior expressão no conjunto da rede rodoviária.

Por outro lado, as pontes rodoviárias centenárias, de grande extensão (mais de 100 m de comprimento) e com tabuleiro metálico ou misto, são muito específicas, e com a maturação do SGOA tem-se vindo a adquirir experiência nestas estruturas, mas não tão rapidamente como tem acontecido para as pontes correntes. Apesar de serem muito singulares na rede rodoviária, estas obras assumem um papel muito importante a nível social e económico, e apresentam uma envergadura na sua estrutura que merece um acompanhamento especial (por conterem materiais antigos sujeitos ao aumento das sobrecargas rodoviárias, e pelas suas soluções ou elementos estruturais serem cada vez menos comuns).

## 2.2 O SISTEMA DE GESTÃO DE OBRAS DE ARTE DA IP

---

Todas as grandes empresas gestoras de redes de infraestruturas procuram a otimização de processos e sistemas de gestão eficientes e integrados na sua atividade, com o objetivo de fomentar a criação de valor e incremento das competências distintivas [12].

Um sistema de gestão fundamenta-se no conhecimento do estado de condição dos ativos, na organização das atividades inerentes à sua manutenção, no apoio da tomada de decisão da intervenção, e por último, na otimização do funcionamento para garantia da longevidade e segurança.

A IP, sendo resultado da fusão entre a REFER e a EP, abrangeu desde o início 3 sistemas de gestão associados a obras de arte, nomeadamente o SGOA rodoviário, o SGOA das pontes ferroviárias e o SGOA dos túneis ferroviários. Por conseguinte, foi despoletado um procedimento tendo em vista a uniformização de metodologias e de boas práticas, adaptadas ao universo da IP, em que a organização se reconheça e reveja [12].

No final de 2017, foi criado o novo sistema de gestão de obras de arte da IP (SGOA IP), que será implementado progressivamente com a desativação faseada dos anteriores sistemas distintos de gestão de obras de arte, com o objetivo final de organizar e otimizar processos integrados na atividade principal da empresa (exploração e manutenção de vias), unificar a ferramenta fundamental de apoio à decisão e harmonizar culturas, linguagens e conceitos de gestão de ativos [12].

### 2.2.1 Enquadramento

O SGOA IP funciona com a interligação de um conjunto de atividades distintas, em constante desenvolvimento e melhoria, sendo transversal a diversas direções/departamentos da IP que abrangem a área de gestão da rede (rodoviária e ferroviária), a área de gestão de ativos e a área de engenharia e ambiente.

O modelo funcional do SGOA IP assenta, de uma forma geral, em 4 grupos de atividades distintos: inventário; inspeção e diagnóstico; estudos e projetos; e manutenção, reparação, reforço e substituição.

Relativamente ao inventário, importa assegurar através da área de gestão da rede a atualização permanente do parque de obras de arte, incluindo os registos do histórico provenientes dos trabalhos realizados nessas estruturas. Para o grupo referente à inspeção e diagnóstico, a área de gestão de ativos assume a execução de inspeções periódicas às obras (de carácter visual), no âmbito estrutural (inspeções principais), estabelecendo medidas complementares de diagnóstico ou de mitigação de riscos de segurança, assim como a definição de prioridades nas intervenções de reparação/reforço/substituição. A área de gestão da rede tem a competência de execução de inspeções visuais mais frequentes às obras (inspeções de rotina), para levantamento e realização das necessidades de manutenção, e para solicitação de pedidos de inspeção principal em caso de verificação de anomalias estruturalmente importantes. No grupo de estudos e projetos, compete à área

de engenharia e ambiente, em face das necessidades detetadas no âmbito das inspeções, executar os projetos ou especificações de intervenção e estudos de aprofundamento do diagnóstico. Finalmente, as intervenções de manutenção, reparação, reforço e substituição das obras de arte, são executadas pela área de gestão da rede, para garantir o adequado funcionamento estrutural das obras.

### **2.2.2 Implementação**

De seguida descrevem-se detalhadamente os 4 grupos de atividade que permitem a implementação do modelo funcional do SGOA IP.

#### *2.2.2.1 Inventário*

O inventário consiste no primeiro passo do sistema, uma vez que é a partir do conhecimento do parque de obras de arte na rede que se inicia o planeamento de atividades necessárias no âmbito da gestão de conservação. Neste sentido, o processamento da informação recolhida e a sua disponibilização numa aplicação informática permite, por um lado, registar e atualizar de uma forma sistemática e organizada as características das obras e, por outro, torná-los facilmente acessíveis a toda a organização.

O inventário é organizado em três partes: dados administrativos, dados técnicos e dados de constituição. Nos dados administrativos é registada toda a informação que permite localizar a obra (por exemplo: via e quilómetro em que se encontra, coordenadas geográficas, etc). Nos dados técnicos é indicada essencialmente a solução estrutural da obra (por exemplo: tipo de estrutura, dimensões gerais, etc). Para os dados de constituição, faz-se a discretização da obra em vários componentes (por exemplo: muros, encontros, aparelhos de apoio, apoios intermédios, tabuleiro, etc), sendo identificado para cada um deles as respetivas características específicas (por exemplo: materiais estruturais, tipo de fundações, tipo de aparelhos de apoio, etc).

#### *2.2.2.2 Inspeção e diagnóstico*

O SGOA IP prevê a realização de diferentes tipos de inspeção, que se inserem em 2 grupos distintos: inspeções periódicas e inspeções especiais. Do diagnóstico proveniente dessas inspeções resultam diferentes níveis de vigilância nas obras, com periodicidades distintas para o respetivo acompanhamento, e medidas de atuação específicas que vão de encontro às necessidades de cada estrutura inspecionada.

##### *2.2.2.2.1 Inspeções periódicas*

As inspeções periódicas assentam em 2 tipos de inspeção: inspeções de rotina e inspeções principais. Através destas inspeções são classificados todos os componentes da obra de arte, que

estão definidos nos dados de constituição provenientes do respetivo inventário, com um indicador que traduz o estado de cada um dos componentes e da obra de arte como um todo. São inspeções essencialmente de carácter visual.

- Inspeções de rotina

A inspeção de rotina (IR) consiste numa ação inspetiva visual de carácter cíclico e frequente, que compreende o levantamento das necessidades de trabalhos de manutenção e reparação corrente e o acompanhamento simplificado da obra de arte, incluindo o registo dos trabalhos efetuados. Neste âmbito, poderá ser identificada a necessidade de inspeção principal, bem como o registo de alertas de segurança de circulação. Em alguns casos, também poderá englobar o registo da evolução das principais anomalias identificadas no último relatório de inspeção principal e eventualmente no último relatório de inspeção rotina, e o registo de novas anomalias relevantes. A inspeção de rotina classifica o estado de manutenção das obras em suficiente, insuficiente e muito insuficiente, dependente do cumprimento da periodicidade definida para as ações de manutenção e da necessidade da realização de trabalhos de manutenção corrente [12].

- Inspeções principais

As inspeções principais estão divididas em 3 tipos: inspeção principal global (IPG), inspeção principal de componente (IPC) e inspeção subaquática (IPS). Todas estas inspeções poderão ser realizadas de forma programada ou por motivos extraordinários (em face de pedidos de inspeção principal, provenientes, por exemplo, de inspeções de rotina).

A inspeção principal consiste em observar e registar as condições de funcionamento de uma obra de arte. Neste registo ficam identificadas as anomalias mais graves que comprometem o bom desempenho dos diversos componentes da obra de arte, quer a nível de durabilidade quer ao nível de segurança [12]. Com base no historial da obra, bem como na leitura de eventual monitorização instalada previamente, as observações *in situ* permitem efetuar uma análise e diagnóstico da obra, tendo em conta os fatores de risco e agravamento, e se as anomalias aparentes são de carácter evolutivo ou não. Nesse sentido, é atribuído um estado de conservação para a obra e arte (escala de 0 a 5: 0 – excelente; 1 – bom; 2 – regular; 3 – irregular; 4 – deficiente; 5 – mau). Com a atribuição deste indicador são assim estabelecidos prazos recomendáveis para a realização das medidas de atuação que a obra de arte requer. Para o estado de conservação excelente não existem anomalias relevantes nem é necessário efetuar qualquer trabalho de reparação, enquanto para o pior estado (mau) corresponde a situações que podem pôr em risco a segurança estrutural, devendo ser especificadas intervenções de urgência a curto prazo (até 1 ano) ou mesmo o encerramento da obra. A tabela 2.1 define com rigor todos os estados de conservação assim como os respetivos seguimentos adequados.

| Índice | Estado de Conservação | Definição   | Seguimento  |
|--------|-----------------------|---|---|
| NI     | Não Inspeccionado     | Não inspeccionado por dificuldade de acesso ou por se encontrar oculto  | Propor ou promover medidas de atuação para resolução do impedimento que motivou a impossibilidade de observação.  |
| 0      | Excelente             | Estado exemplar de conservação. Admitem-se anomalias insignificantes.   | Não é necessário efetuar qualquer trabalho de reparação.  |
| 1      | Bom                   | Estado normal de conservação. Existência de anomalias que ainda não afetam o comportamento mas comprometem a durabilidade.  | É dispensável efetuar qualquer trabalho de reparação.   |
| 2      | Regular               | Estado de conservação satisfatório. Existência de anomalias com alguma importância na durabilidade e/ou na funcionalidade mas com impacto insignificante no seu comportamento.  | São definidos trabalhos de reparação não prioritários, para realização a longo prazo (recomendável 6 a 10 anos). Podem ser recomendadas ações complementares de diagnóstico ou monitorização, para aferição da evolução no médio e longo prazo das anomalias detetadas.   |
| 3      | Irregular             | Estado de conservação deficitário. Existência de anomalias que reduzem significativamente a durabilidade e/ou condicionam o comportamento, ou cuja rápida evolução possa vir a afetar a segurança.  | São definidos trabalhos de reparação para realização no médio prazo (recomendável 2 a 6 anos). Se for expectável rápida evolução que comprometa o comportamento e a capacidade resistente da obra de arte, deve ser especificada a realização de avaliação técnica. Caso não seja expectável evolução significativa da sua condição ou capacidade de serviço, a intervenção poderá ser reavaliada na próxima inspeção principal. A opção quanto à data de intervenção ou de reavaliação na próxima inspeção deverá ser expressamente indicada e devidamente justificada. Podem ser recomendadas ações complementares de diagnóstico ou monitorização, para aferição da evolução no curto e médio prazo das anomalias detetadas. |
| 4      | Deficiente            | Estado de conservação muito grave. Existência de anomalias que afetam de forma gravosa o comportamento, a capacidade resistente e a segurança estrutural, com importância na integridade. Não cumpre os requisitos mínimos para desempenhar a função para a qual foi concebido. | Deve ser especificado o início de intervenção a curto prazo (recomendável até 2 anos). Deve ser especificada a necessidade de um Projeto reforço/reabilitação. Pode ser restringida a sua exploração através de condicionamentos à circulação, ou desencadeadas outras intervenções de carácter preventivo tais como escoramentos ou reforços temporários. Devem ser recomendadas ações complementares de diagnóstico ou monitorização, para aferição da evolução no curto prazo das anomalias detetadas.   |

|   |     |  |  |
|---|-----|--|--|
| 5   | Mau | Estado de ruína ou de falha iminente. Existência de anomalias que colocam em causa a integridade e segurança estrutural. A sua capacidade resistente está severamente afetada. | Deve ser especificado o início de intervenção com urgência ou a muito curto prazo (recomendável até 1 ano). Deve ser especificada a necessidade de um Projeto reforço/reabilitação. Devem ser implementadas medidas restritivas da circulação, em termos de carga, velocidade ou modo de circulação ou outras intervenções de carácter preventivo que mitiguem o risco de exploração, tais como escoramentos ou reforços temporários. No caso limite, a circulação pode ser interdita. |
| Nota: Aos Estados de Conservação 0 a 5 é acrescido o epíteto IC sempre que não seja possível verificar a totalidade dos seus elementos constituintes e que, normalmente, estão acessíveis para serem inspecionados visualmente. |     | Propor ou promover medidas de atuação para resolução do impedimento que motivou a impossibilidade de observação da totalidade do componente.                                   |  |

Tabela 2.1 - Classificação do estado de conservação das obras de arte [12]

Com a atribuição do estado de conservação, podem ser igualmente definidos trabalhos e quantidades de reparação, ou medidas adicionais, para controlo da evolução das anomalias. Nessa fase também se determina se essas medidas deverão ser imediatas e se as condições observadas justificam um aprofundamento do diagnóstico (por exemplo, através de monitorizações, ensaios, análises estruturais e inspeções especiais) ou se poderão ser reavaliadas na próxima inspeção principal, sem análises complementares. Em caso de serem necessárias medidas mitigadoras para a garantia do funcionamento e segurança, usualmente poderão ser definidos trabalhos urgentes de manutenção ou reparação, escoramentos provisórios ou mesmo condicionamentos de tráfego. Normalmente estas medidas são despoletadas na inspeção principal através da identificação de alertas de segurança de circulação, de segurança estrutural, de proteção anticorrosiva ou de proteção de fundações.

#### 2.2.2.2 Inspeções especiais

A inspeção especial consiste numa ação inspetiva não periódica, incorporando conhecimento adquirido por meio de estudos complementares tais como avaliações técnicas estruturais, ensaios especializados não correntes, ensaios dinâmicos ou ensaios de carga, ou análise de monitorizações estruturais periódicas. Pode ou não atribuir um estado de conservação e ocorrer nas seguintes condições: para aprofundamento de diagnóstico decorrente de pedido efetuado em inspeção principal; no âmbito de estudo, projeto ou avaliação estrutural; para avaliação particular de determinado comportamento da obra de arte; associada à inspeção e verificação do estado pormenorizado de conservação de parte ou da globalidade da obra de arte [12].

#### 2.2.2.3 Níveis de vigilância

Em função do estado de conservação (EC) atribuído a uma obra de arte numa inspeção principal, são definidos níveis de vigilância diferentes. Assim, para  $EC \leq 2$  considera-se adequada uma

vigilância normal (IPG a cada 6 anos). Para  $EC=3$  enquadra-se a vigilância reforçada (IPG/IPC/IPS a cada 3 anos), e para  $EC \geq 4$  define-se vigilância alta (IPG a cada 3 anos; IPC/IPS a cada 1 ano).

Complementarmente, existe a necessidade de maior vigilância para determinados tipos de obra que, pelas suas características, têm um potencial nível baixo de robustez que pode induzir uma possibilidade de maior rapidez de desenvolvimento de mecanismos de degradação. Nesse âmbito enquadram-se as obras de arte metálicas com mais de 100 anos e as estruturas tubulares metálicas em aço corrugado (ETMAC), que no mínimo deverão ter vigilância reforçada (mesmo para  $EC \leq 2$ ). Estas medidas específicas de vigilância para este tipo de estruturas têm vindo a ser implementadas progressivamente, em face da experiência adquirida ao longo dos últimos anos de desenvolvimento e de maturação do sistema de gestão de obras de arte. A tabela 2.2 apresenta os 3 níveis de vigilância previstos no SGOA IP, onde são indicadas as periodicidades das inspeções programadas para as obras de arte sob gestão direta em exploração, de acordo com a condição (estado de conservação) e tipologia.

| Nível de Vigilância |                        | Normal               | Reforçada                            | Alta                         |
|---------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Condição            |                        | $EC \leq 2$          |                                      | $EC > 4$                     |
| Tipologia           |                        | Restantes Estruturas | ETMAC,<br>O.A. Metálicas e Túneis    | Todas as tipologias          |
| Insp. Programadas   | Principal Global       | 6 anos               | 3 anos (possível intercalar com IPC) | 3 anos                       |
|                     | Principal Componente   | -                    | 3 anos se intercalada c/ IPG         | 3 anos se intercalada c/ IPG |
|                     | Principal Subaquática* | 3 anos               | 3 anos                               | 3 anos                       |
|                     | Rotina                 | 18 a 24 meses        | 18 a 24 meses                        | 18 a 24 meses                |

\* O.A. com elementos permanentemente submersos a uma profundidade superior a 1 metro são objeto de Vigilância Reforçadas, sendo sujeitas a Inspeções Subaquáticas Programadas.

Tabela 2.2 - Níveis de vigilância do SGOA IP para as obras de arte sob gestão direta em exploração [12]

### 2.2.2.3 Estudos e projetos

As atividades da inspeção interligam-se com a área de estudos e projetos quando, no âmbito de uma inspeção principal, surge a necessidade de aprofundamento do diagnóstico ou de intervenção na obra. Na primeira situação, através do aprofundamento do diagnóstico, são previamente realizados ensaios, monitorizações ou avaliações (por exemplo, estruturais) e, caso se considere ajustado, será despoletada uma inspeção especial tendo em vista o desenvolvimento de um projeto ou especificações de intervenção. Caso contrário, a obra será apenas enquadrada na vigilância adequada, sendo reavaliada na próxima inspeção principal. Na segunda situação (quando se considera necessária uma intervenção), embora no âmbito da inspeção principal possam ser recomendados alguns trabalhos de reparação ou soluções de reforço/substituição, estes serão sempre reapreciados e definidos na área de estudos e projetos. A figura 2.4 apresenta o fluxograma previsto no SGOA IP que esquematiza a interação entre a inspeção principal (onde se constata a necessidade de aprofundamento do diagnóstico ou de intervenção) e a área de estudos e projetos (onde se definem as especificações de intervenção tendo por base uma inspeção especial).

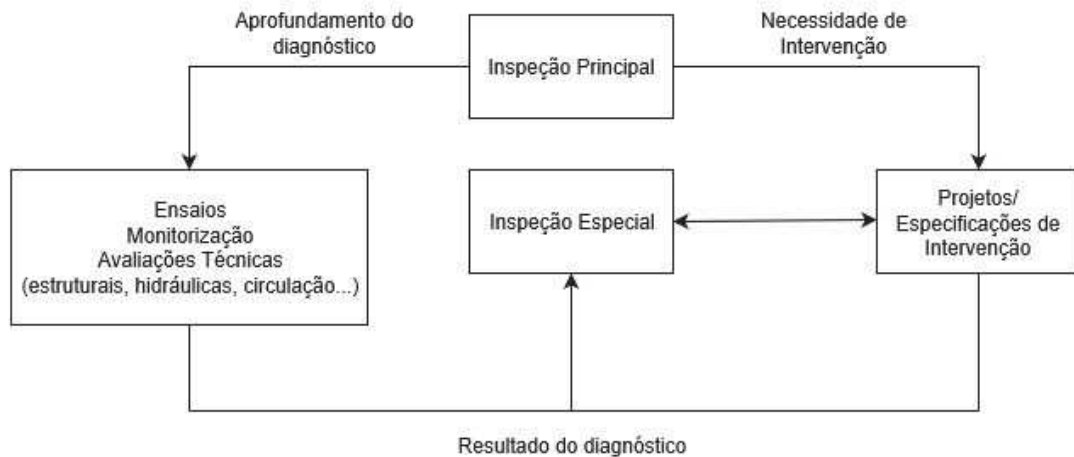


Figura 2.4 – Fluxograma da interação entre a inspeção principal e a área de estudos e projetos no SGOA IP [12]

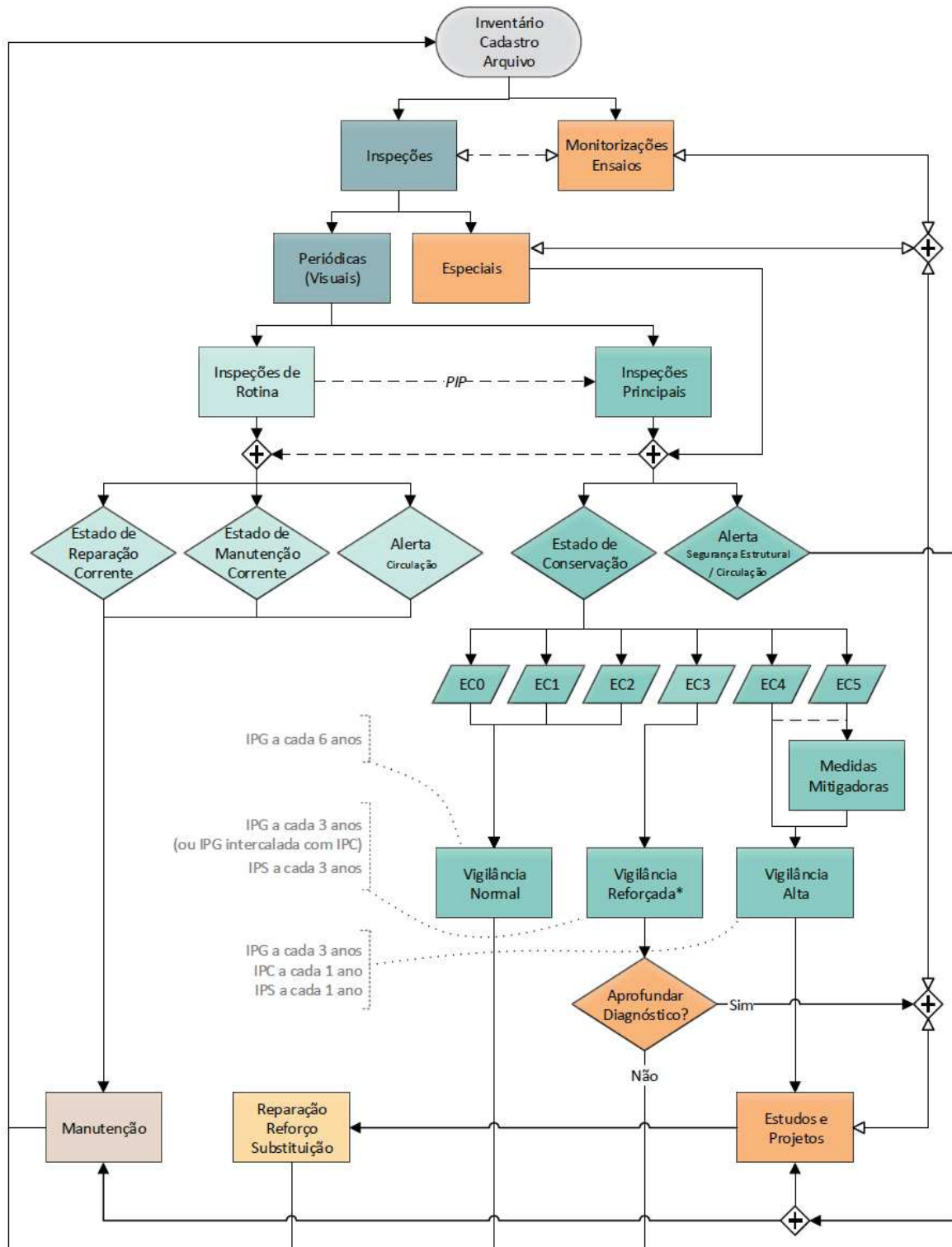
#### 2.2.2.4 Manutenção, reparação, reforço e substituição

Neste grupo de atividade existem 2 campos distintos. Os trabalhos de manutenção são realizados diretamente com base no levantamento de necessidades indicadas nas inspeções de rotina ou de recomendações/alertas provenientes das inspeções principais (manutenção corrente e reparação corrente). Os restantes trabalhos de reparação, reforço e substituição são planeados tendo em conta as prioridades ditadas pela gravidade das anomalias (traduzido pelo EC), pelo impacto das eventuais restrições impostas para a exploração e pela classificação atribuída ao troço em que se insere. São trabalhos planeados de acordo com necessidades de exploração, na sequência de insuficiências detetadas em estudos e/ou avaliações estruturais, alertas de segurança ou ainda na sequência do desenvolvimento de projetos de reparação/reabilitação (pela área de estudos e projetos) [12].

### 2.2.3 Conclusões

O SGOA IP tem inúmeras atividades, interdependências operacionais e de fluxos de informação no seu desenho e operação. A figura 2.5 apresenta um fluxograma que identifica as principais fases e níveis de atuação associados ao processo do SGOA IP, e do qual se pretende resumir esquematicamente a ligação entre todos os grupos de atividade referidos nos pontos anteriores. De salientar que este sistema de gestão de obras de arte tem vindo a ser sucessivamente ajustado, em face da experiência adquirida ao longo dos últimos anos de implementação, nomeadamente os níveis de vigilância. No início do sistema de gestão, a periodicidade das inspeções principais estava definida em 5 anos para todas as obras, tendo sido ajustada progressivamente para periodicidades variáveis de acordo com o estado de conservação e também da tipologia das obras. No caso das grandes obras metálicas e mistas centenárias, para além dos níveis de vigilância específicos já indicados, o SGOA IP pretende enquadrá-las num grupo restrito de obras de arte especiais, com o objetivo de implementar

planos específicos de inspeção e de manutenção dos respetivos componentes, em função das particularidades de cada estrutura.



\* Consideram-se sob Vigilância Reforçada todas as O.A. que, tendo EC≤3, sejam Estruturas Tubulares em Aço, pontes metálicas ou túneis com mais de 100 anos, ou estejam sujeitas a Inspeções Subaquáticas periódicas.

Figura 2.5 – Fluxograma do SGOA IP [12]

## **CAPÍTULO 3.**

# **PROCEDIMENTOS PARA A INSPEÇÃO PRINCIPAL DE OBRAS DE ARTE METÁLICAS E MISTAS**

Os procedimentos gerais para a realização de uma inspeção principal englobam, de uma forma geral, a realização de uma pré-inspeção para definir uma estratégia para a inspeção principal. Alguns pontos a ter em conta nesta fase são a localização e condicionalismos envolventes da obra, a garantia das condições de acesso a todos os componentes (por exemplo, com recurso a plataformas), e se existe necessidade de efetuar desvios/interrupções de tráfego no decorrer da inspeção, por forma a informar ou solicitar apoio antecipadamente às autoridades interessadas.

No SGOA IP as obras de arte estão perfeitamente identificadas, existindo também uma lista detalhada que indica as obras que necessitam de meios especiais de acesso ou desvios de tráfego no decorrer das inspeções. Nesse sentido, a atividade de pré-inspeção usualmente não engloba uma visita preliminar *in situ* à obra de arte, limitando-se essencialmente a trabalho de gabinete.

Neste capítulo são descritos alguns procedimentos gerais para a execução de uma inspeção principal a obras de arte metálicas e mistas, com vertente específica para a tipologia referida no capítulo 2 (pontes rodoviárias com 100 anos aproximadamente, de superestrutura metálica ou mista e infraestrutura materializada por elementos de alvenaria de pedra). Na fase de pré-inspeção aborda-se a identificação dos meios necessários, a consulta do histórico e antecedentes da obra, e a compreensão do funcionamento estrutural. Na fase da inspeção propriamente dita referem-se as anomalias mais comuns (por tipo de material), assim como se relaciona a avaliação do estado de conservação com as medidas de atuação adequadas para este tipo de estruturas.

A inspeção principal enquadra-se no âmbito do SGOA IP, consistindo fundamentalmente na realização de observações visuais dos componentes da obra de arte.

### **3.1 MEIOS DE INSPEÇÃO**

---

Os meios de inspeção englobam um conjunto de equipamentos e ferramentas necessários para o acesso, a deteção e a caracterização das anomalias.

A nível de documentação, é indispensável uma ficha de inspeção para tomar apontamentos, assim como relatórios antecedentes para comparação das anomalias registadas anteriormente. É obrigatória a utilização de equipamento de proteção individual (EPI's). Deve prever-se sinalização temporária na via sobre a obra, se necessário. Por vezes é preciso recorrer a alguns meios especiais para garantir a observação dos componentes da obra de arte, nomeadamente plataformas elevatórias, escadas, acesso por cordas, barcos, etc.

Os equipamentos e ferramentas mais correntes correspondem a máquina fotográfica, régua, medidor de fissuras, distanciómetro, martelo, entre outras, sendo as mais expeditas e suficientes, na maioria dos casos, para a caracterização das anomalias. Na figura 3.1a apresentam-se alguns exemplos de ferramentas e equipamentos de apoio à inspeção, designadamente as ferramentas correntes, do qual se observa o distanciómetro, o martelo, a régua e o medidor de fissuras. A figura 3.1b apresenta uma plataforma elevatória para inspeção do tabuleiro da obra.



a) Ferramentas correntes



b) Plataforma elevatória

Figura 3.1 – Ferramentas e equipamentos de apoio à inspeção

Consistindo as inspeções principais meramente em observações visuais, o inspetor desconhece as propriedades mecânicas dos materiais estruturais apenas pela visita *in situ* à obra de arte, devendo consultar o projeto/telas finais da obra, se existirem em arquivo. No caso de não ser possível obter o projeto da obra de arte, existem ferramentas não correntes de apoio à inspeção que poderão ser utilizadas *in situ*, de modo a permitir caracterizar, da melhor forma, as propriedades mecânicas dos materiais estruturais. De salientar alguns aparelhos expeditos que, por medição da dureza superficial do material, permitem converter e determinar a sua resistência através de fórmulas de correlação ou ábacos (por exemplo: esclerómetro do tipo de Schmidt, para elementos de betão; aparelho de ensaio de dureza *Leeb*, para elementos metálicos). De salientar também o medidor de espessura ultrassónico, que permite determinar a secção (e a sua perda) de peças metálicas corroídas. Estas ferramentas normalmente não são utilizadas nas inspeções principais programadas, no âmbito do SGOA IP, estando mais associadas a situações de necessidade de aprofundamento do diagnóstico ou de intervenção na obra. Na figura 3.2a apresenta-se um aparelho de ensaio de dureza *Leeb* [11], sendo um dos métodos mais usados para testar a dureza de materiais metálicos (*The Leeb Rebound Hardness Test - LRHT*) [29]. A figura 3.2b apresenta um aparelho ultrassónico para medição de espessura de peças de metal [2].



a) Leeb Hardness Tester [11]

b) Medidor de espessura de peças de metal [2]

Figura 3.2 – Aparelhos não correntes de apoio à inspeção principal

## 3.2 HISTÓRICO DA OBRA

---

A consulta do historial da obra é fundamental para o conhecimento e análise da evolução da estrutura e dos seus componentes ao longo do tempo. Nesse sentido, por ordem cronológica, deverão ser recolhidos todos os dados relevantes, nomeadamente o projeto original e alterações estruturais posteriores (pertencentes ou não ao mesmo projetista), trabalhos de reparação ocorridos na obra (telas finais), relatórios de inspeções anteriores e artigos de imprensa que tenham relatado acontecimentos particulares na obra (por exemplo, acidentes). A partir desta leitura, o inspetor poderá identificar previamente as zonas mais sensíveis da obra, de modo a observar com maior detalhe esses locais e poder caracterizar mais facilmente as eventuais anomalias observadas.

No âmbito do SGOA IP, as informações referentes ao histórico das obras de arte estão compiladas, por ordem cronológica, na aplicação informática que apoia o sistema.

## 3.3 FUNCIONAMENTO ESTRUTURAL

---

A equipa de inspeção, se possível, deverá antecipadamente ter conhecimento das obras a inspecionar e das suas características estruturais.

Numa primeira fase, deverão ser consultados os elementos de projeto disponíveis (projeto original e outros posteriores de reabilitação ou alargamento estrutural).

É importante salientar que uma inspeção principal não corresponde a uma avaliação técnica estrutural, pelo que a análise do comportamento estrutural não deve ser demasiado exaustiva, sendo apenas necessário ter noções gerais sobre o seu funcionamento. Por outro lado, uma inspeção principal também não deverá limitar-se apenas ao registo de anomalias, uma vez que a atribuição do estado de conservação da obra dependerá de um conhecimento técnico do equilíbrio e comportamento da estrutura (e da identificação de possíveis modos de falha), que é fundamental para interpretar a gravidade e as consequências de algumas anomalias (mesmo quando localizadas em zonas pontuais).

Conhecendo ou não antecipadamente o projeto da obra, durante a realização da inspeção principal *in situ*, a equipa inspetora deverá interpretar de uma forma geral o seu funcionamento estrutural. A análise estrutural pode ser dividida em duas partes distintas: superestrutura e infraestrutura. A superestrutura corresponde ao tabuleiro da obra e à estrutura metálica que o suporta. A infraestrutura engloba os apoios verticais da obra (encontros e pilares) que suportam a superestrutura. A análise dos aparelhos de apoio é também fundamental, uma vez que estes dispositivos definem o tipo de ligação entre a superestrutura e a infraestrutura (fixa ou móvel).

A superestrutura metálica é usualmente formada por um arco ou viga treliçada, servindo de suporte à via rodoviária, na zona superior ou inferior. Os posteriores trabalhos de reabilitação e alargamento estrutural das obras de arte são materializadas, por vezes, por lajes de betão armado assentes nos elementos metálicos, para suporte das plataformas rodoviárias. Também se recorreram a soluções de tabuleiro ortotrópico inteiramente metálico para aligeirar o peso de tabuleiros em pontes antigas (o pavimento de origem era normalmente formado por pranchas de madeira assentes em perfis metálicos). A figura 3.3 apresenta alguns exemplos de pontes metálicas da rede rodoviária da IP. A figura 3.3a mostra a ponte sobre o rio Douro na estrada nacional EN323 (distrito de Vila Real), construída em 1903, tendo uma superestrutura metálica em arco e tabuleiro inferior. A figura 3.3b apresenta a ponte D. Luiz I no Porto, de 1886, tendo uma superestrutura metálica em arco e com tabuleiros nas zonas inferior e superior. Na figura 3.3c visualiza-se a ponte de Belver s/ o rio Tejo, de 1906, tendo uma superestrutura metálica em viga treliçada com tabuleiro superior. A figura 3.3d apresenta a ponte da Chamusca s/ o rio Tejo, de 1909, tendo uma superestrutura metálica em viga treliçada com tabuleiro inferior.



a) Ponte s/ o rio Douro na EN323



b) Ponte Luiz I



c) Ponte de Belver s/ o rio Tejo



d) Ponte da Chamusca s/ o rio Tejo

Figura 3.3 – Exemplos de pontes metálicas da rede rodoviária da IP [3]

A viga treliçada da superestrutura metálica é constituída por duas peças longitudinais, horizontais ou ligeiramente inclinadas, designadas por cordas, e por uma sequência de barras, dispostas no intervalo entre as cordas de tal modo que os eixos de duas peças sucessivas intersejam o eixo da corda num mesmo ponto. Designa-se por triangulação da alma o conjunto das barras que se situam entre as cordas [13]. Dentro dessa triangulação existem os montantes e as diagonais. As ligações entre as diversas barras são maioritariamente rebitadas, existindo ainda assim alguns pormenores com ligações soldadas e aparafusadas (já provenientes de trabalhos de reabilitação/alargamento estrutural).

Existem vários tipos de vigas treliçadas, como por exemplo as vigas Pratt ou Warren, que são de simples compreensão do seu funcionamento estrutural, mesmo sem consulta dos elementos de projeto. Existem outras soluções, ligeiramente mais complexas, nomeadamente a viga Warren com montante, viga composta (dupla Warren), a viga composta com montante (ou viga triangulada de rótula simples) e a viga triangulada de rótula múltipla [25]. A figura 3.4 apresenta vários exemplos dos tipos de vigas treliçadas referidas anteriormente, nomeadamente as vigas do tipo Pratt, as vigas do tipo Warren, e as vigas trianguladas de rótula simples ou múltipla.

No património de obras de arte da IP existem alguns exemplos de diferentes tipos de vigas treliçadas. A figura 3.5a apresenta a ponte General Teófilo Trindade s/ o rio Sorraia, construída em 1930, de superestrutura em viga do tipo Pratt, com tabuleiro inferior e com montante extremo inclinado. Na figura 3.5b visualiza-se a ponte de Abrantes s/ o rio Tejo, construída em 1870, de superestrutura em viga triangulada de rótula múltipla com tabuleiro superior, enquanto a figura 3.5c mostra a ponte de Constância s/ o rio Tejo, de superestrutura em viga triangulada de rótula simples com tabuleiro superior.

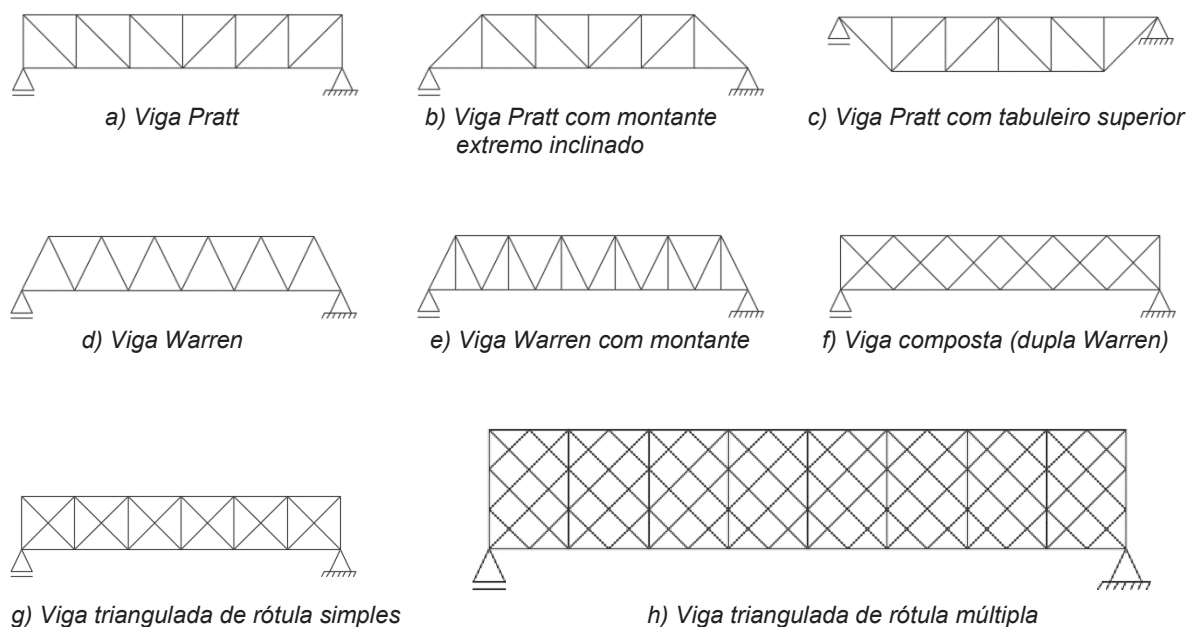


Figura 3.4 – Exemplos de tipos de vigas treliçadas



a) Ponte General Teófilo Trindade s/ o rio Sorraia



b) Ponte de Abrantes s/ o rio Tejo

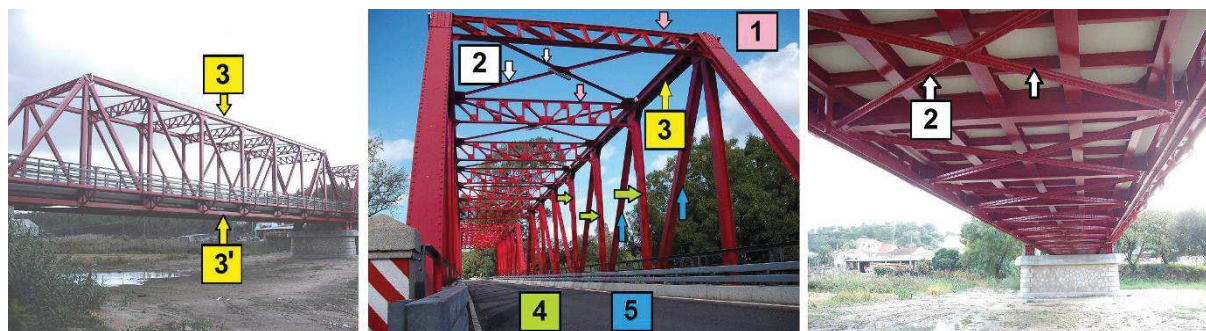


c) Ponte de Constância s/ o rio Tejo

Figura 3.5 – Pontes metálicas da IP com diferentes tipos de vigas treliçadas

O contraventamento da superestrutura metálica caracteriza-se por um conjunto de peças, ou subestrutura, cuja função principal consiste em assegurar a capacidade resistente da estrutura face à ação das forças horizontais do vento ou a transmissão dessas mesmas forças aos elementos principais da estrutura, assim como permite reduzir o comprimento de encurvadura de determinadas barras da estrutura, conferindo-lhes assim a capacidade resistente à encurvadura de que elas necessitam. Habitualmente o contraventamento é constituído por barras isoladas, as quais se designam também por travamentos (travamentos de estabilização é outra designação comum), ou por triangulações que, em conjunto com as barras a que estão ligadas, formam verdadeiras vigas trianguladas [13].

Na figura 3.6a mostra-se a ponte da Raposa na EN114, construída em 1932, de viga do tipo Pratt com montante extremo inclinado e com tabuleiro inferior, onde a corda superior (3) está sujeita a esforços de compressão e a corda inferior (3') a esforços de tração, para as cargas permanentes e as sobrecargas rodoviárias. No que diz respeito ao contraventamento, a figura 3.6b mostra as carlingas (1) que foram utilizadas na zona superior (vigas de alma vazada) para travamento e redução do comprimento de encurvadura da corda superior. A capacidade resistente e de transmissão das forças horizontais às vigas principais é assegurada pelas barras cruzadas, na zona superior e inferior (2). Para esta estrutura, as diagonais interiores da viga estão sujeitas a esforços de tração (5) e os montantes verticais interiores a esforços de compressão (4), exceto os montantes de extremidade (a distribuição dos esforços normais de tração e de compressão nas barras de uma viga do tipo Pratt com montante extremo inclinado e com tabuleiro inferior está exemplificada na figura 3.8). Na zona inferior, visível na figura 3.6c, as cordas da viga têm esforços de tração, e a ligação do tabuleiro misto aço-betão é assegurada por conetores. Por vezes, com a introdução desta nova ligação (em obras de reabilitação ou alargamento), alguns elementos metálicos poderão deixar de ser necessários para o equilíbrio estrutural.



a) Viga do tipo Pratt

b) Contraventamento superior

c) Contraventamento inferior

Figura 3.6 – Ponte da Raposa na EN114

Neste tipo de obras, a superestrutura está apoiada na infraestrutura através de aparelhos de apoio (apoios fixos rotulados ou móveis). A infraestrutura consiste em apoios verticais originalmente materializados por alvenaria de pedra (encontros e pilares). Os aparelhos de apoio de origem são metálicos, tendo sido progressivamente substituídos por outros modelos, em obras de reabilitação estrutural (principalmente para as estruturas estarem capacitadas para a ação sísmica regulamentar). A figura 3.7 exemplifica alguns aparelhos de apoio metálicos. A figura 3.7a mostra a ponte da Coroa na EN114, nomeadamente a ligação entre a superestrutura metálica (tabuleiro inferior) e a infraestrutura (encontro) através de 2 aparelhos de apoio fixos rotulados. A figura 3.7b evidencia um aparelho de apoio móvel e a figura 3.7c apresenta um aparelho de apoio fixo rotulado.



a) Ligação tabuleiro-encontro

b) Aparelho de apoio móvel

c) Aparelho de apoio fixo

Figura 3.7 – Aparelhos de apoio metálicos

Tendo por base estas noções gerais, a equipa de inspeção poderá esboçar o modelo de funcionamento estrutural simplificado para cada obra de arte analisada. Dependendo da complexidade da superestrutura, este modelo poderá ser em viga treliçada ou apenas em viga, sendo contínua ou simplesmente apoiada nos aparelhos de apoio (fixos/móveis). No caso de estruturas isostáticas poderão ser conhecidos facilmente os sinais dos esforços normais em cada elemento da viga treliçada (esforços de tração ou de compressão, sob ação do peso próprio do tabuleiro e das sobrecargas rodoviárias), e daí interpretar da melhor forma a importância de uma determinada anomalia num determinado elemento. É possível também saber onde são esperados os deslocamentos máximos nos aparelhos de apoio e nas juntas de dilatação, podendo determiná-los de forma expedita e compará-los com as características desses elementos (especificações técnicas das marcas e dos modelos

utilizados). Na figura 3.8a exemplifica-se a ponte da Coroa na EN114, construída em 1932, de viga do tipo Pratt com montante extremo inclinado e com tabuleiro inferior. O seu modelo simplificado de funcionamento estrutural está apresentado na figura 3.8c, onde se indicam os sinais dos esforços normais (esforços de compressão e de tração) existentes nas cordas, nos montantes e nas diagonais, para a ação do peso próprio do tabuleiro inferior e das sobrecargas rodoviárias. Na figura 3.8b exemplifica-se o terceiro tramo da ponte General Teófilo Trindade s/ o rio Sorraia na EN114, de viga do tipo Pratt e com tabuleiro inferior. O seu modelo simplificado de funcionamento estrutural está apresentado na figura 3.8d, onde se indicam também os sinais dos esforços normais existentes nos elementos da viga, para as mesmas ações referidas anteriormente.

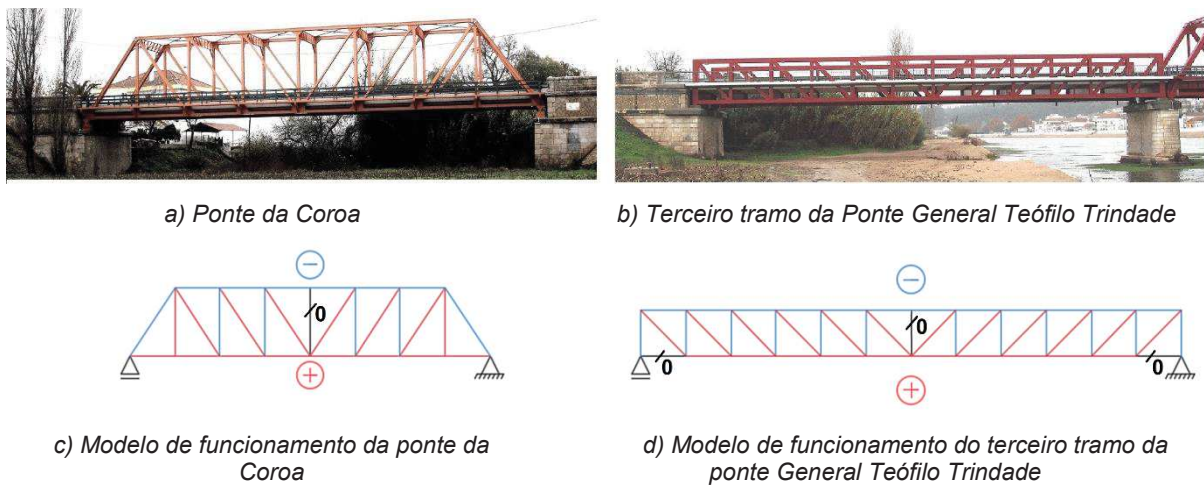
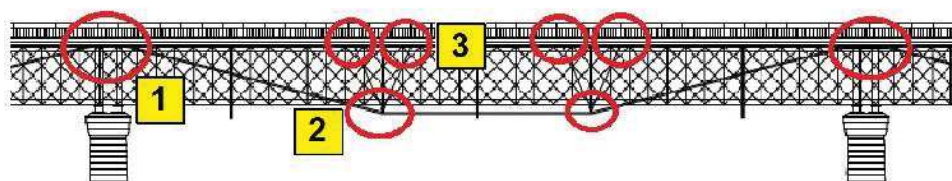
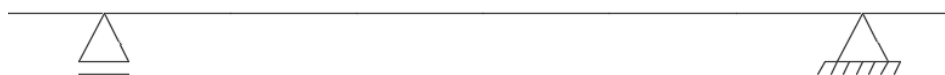


Figura 3.8 – Exemplos de modelos simplificados de funcionamento estrutural

No caso de superestruturas metálicas que foram objeto de reabilitação com a aplicação de pré-esforço exterior, também se poderão indicar as zonas mais suscetíveis para o aparecimento de anomalias, nomeadamente as zonas de concentração das forças do pré-esforço e onde se dá a sua transmissão para a estrutura metálica. Na figura 3.9a exemplifica-se um desenho esquemático de um tramo de uma superestrutura em viga de rótula múltipla e tabuleiro superior, com aplicação de pré-esforço exterior, e onde se assinalam a vermelho as zonas que poderão ser as mais sensíveis para o aparecimento de anomalias, nomeadamente as ancoragens (1), as zonas dos desviadores dos cabos (2) e as zonas de transmissão das cargas do pré-esforço para a superestrutura (3). Face à complexidade de análise dos esforços nas barras de uma viga treliçada de rótula múltipla, no âmbito de uma inspeção principal poder-se-á considerar uma simples viga contínua assente sobre os apoios, como modelo simplificado do seu funcionamento estrutural (apresentado na figura 3.9b), sendo suficiente para compreender as movimentações longitudinais da ponte e os deslocamentos esperados nos aparelhos de apoio, assim como a amplitude da abertura das juntas de dilatação (no Capítulo 4 será abordado o exemplo da ponte de D. Luís).



a) Desenho esquemático com indicação de zonas a inspecionar no pré-esforço exterior



b) Modelo simplificado de funcionamento estrutural

Figura 3.9 – Exemplos de análise de uma superestrutura metálica com pré-esforço exterior

De referir ainda que o modelo de funcionamento admitido para cada estrutura deverá ter por base a consulta dos antecedentes e histórico, nomeadamente as considerações indicadas nas inspeções principais anteriores e nas telas finais de trabalhos decorridos na obra, sendo de grande importância porque possibilita melhorar o conhecimento da estrutura, permitindo explicar determinados comportamentos estruturais verificados no local.

### 3.4 ANOMALIAS MAIS COMUNS

---

No âmbito de uma inspeção principal é essencial elaborar uma análise bem fundamentada das anomalias identificadas na obra de arte, de modo a atribuir os Estados de Conservação adequados nos diversos componentes. Nesse sentido, deverá ser descrita a natureza (designação habitual) e causas prováveis da anomalia, a sua localização e caracterização (por exemplo, a extensão e abertura de uma fenda), assim como o seu estado de desenvolvimento (por exemplo, o grau de corrosão de elementos metálicos), as consequências e a comparação da sua evolução deste a última inspeção.

Este subcapítulo faz uma abordagem simples às anomalias gerais mais comuns por tipo de material, enquadrando os vários componentes da obra de arte nesses agrupamentos.

#### 3.4.1 Anomalias na estrutura metálica

##### 3.4.1.1 Corrosão

A corrosão é o principal mecanismo de degradação das pontes metálicas. A causa desta anomalia é a interação do aço com o meio ambiente (água e oxigénio do ar) e a falta de pintura de proteção desses elementos. A presença de detritos e poluição biológica também contribui para a ocorrência da corrosão. Esta anomalia afeta, de uma forma geral, toda a extensão da estrutura. Ainda assim, localiza-se com maior incidência nas faces horizontais da estrutura, em zonas propícias para a

acumulação de água e detritos, ou nas juntas de ligação entre elementos onde a aplicação da pintura de proteção pode ser deficiente. A corrosão é uma anomalia de carácter evolutivo, que desencadeia um processo de perda de secção resistente da estrutura metálica. Numa primeira fase, a corrosão é apenas superficial, desenvolvendo-se posteriormente através da delaminação do aço (já com perda de secção visível) e, em casos extremos, o corte e degradação total do material. A figura 3.10a apresenta um exemplo de corrosão uniforme numa viga treliçada, nomeadamente na corda inferior (ou banzo inferior). Na figura 3.10b mostra-se a corrosão localizada numa chapa horizontal, na zona de ligação entre uma carlinga e o banzo inferior de uma viga treliçada, sendo um local propício para a acumulação de água e detritos.



a) Corda inferior de viga treliçada [13]



b) Ligação entre carlinga e banzo inferior

Figura 3.10 – Exemplos de corrosão na estrutura metálica

### 3.4.1.2 Fadiga

A fadiga provoca um fenómeno de fissuração em peças lineares e chapas, e ocorre essencialmente devido à repetição e alternância de tensões ao longo do tempo, sendo mais frequentes nas zonas de ligação entre elementos pelo efeito da concentração de tensões que propiciam. Os fatores que contribuem para a ocorrência da rotura por fadiga são: o número de ciclos de tensão; a amplitude dos ciclos de tensão; a intensidade e a orientação das tensões residuais. As estruturas mais antigas, em cuja conceção não foi tomada em consideração a possível ocorrência de roturas por fadiga, serão, naturalmente, as mais suscetíveis a este tipo de problemas. A rotura por fadiga inicia-se pelo aparecimento de microfissuras, indetetáveis à vista desarmada [13]. Este fenómeno por vezes apenas é possível de observar no momento em que a estrutura está sob ação das sobrecargas rodoviárias/ferroviárias. Esta anomalia é mais comum nas pontes ferroviárias uma vez que os efeitos estáticos e dinâmicos das ações (magnitude das tensões e vibrações nos elementos), provocados pela passagem de veículos ferroviários, são mais intensos. Os fenómenos de fadiga nas pontes rodoviárias são menos comuns e estão associados a defeitos de material, a defeitos de conceção ou alterações da obra e não tanto às ações das sobrecargas, ao contrário das pontes ferroviárias. A figura 3.11 mostra 2 exemplos de fadiga em pontes com tabuleiros metálicos mais modernos (não foi possível apresentar nenhum exemplo de fadiga em pontes metálicas rodoviárias centenárias).



a) Viga metálica (face interior) [24]

b) Viga metálica (face exterior) [21]

Figura 3.11 – Exemplos de defeitos de fadiga em pontes metálicas

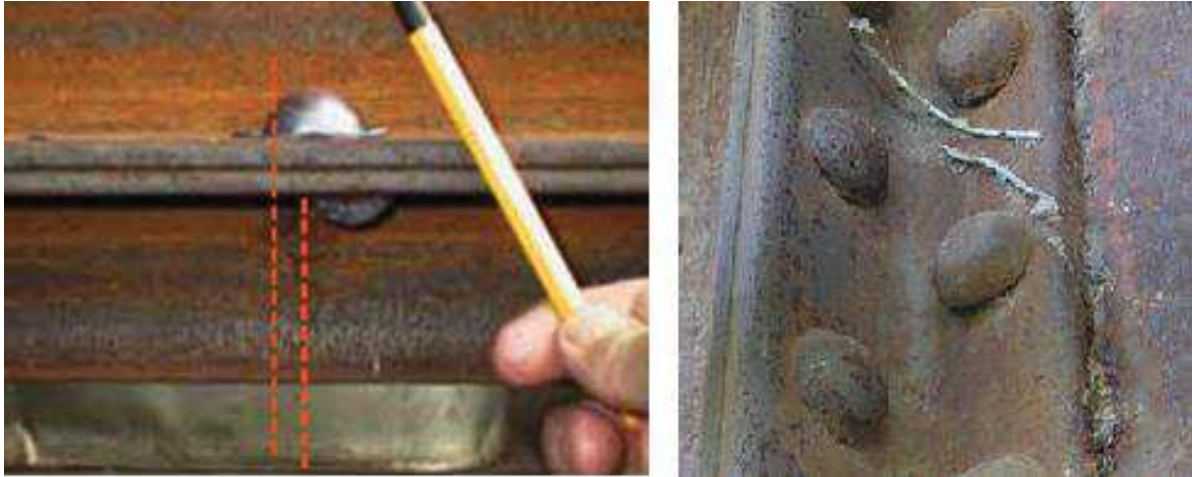
#### 3.4.1.3 Deterioração e deficiências dos elementos de ligação

Os elementos de ligação assumem um papel fundamental na transmissão dos esforços entre as barras da estrutura metálica. São zonas muito pormenorizadas e requerem bastante rigor e cuidado na sua execução. As deficiências podem ocorrer nas ligações rebitadas, aparafusadas ou nas soldaduras.

No primeiro caso, a causa mais comum é a má cravação dos rebites, e poderá ter como consequência a insuficiente capacidade resistente da ligação, e não garantir a transmissão adequada dos esforços entre barras. No segundo caso, nas ligações aparafusadas pode ocorrer o desaperto das porcas e a falta de parafusos (por montagem deficiente ou vibrações excessivas). A rotura de rebites ou parafusos não é comum em pontes rodoviárias, mas poderá ocorrer em situações pontuais, principalmente quando a estrutura está a ter solicitações superiores ou imprevistas face à capacidade desses elementos. As soldaduras poderão ter fissuração, em zonas localizadas, devido à existência de estados de tensão desfavoráveis, ou em resultado de defeitos da própria soldadura. Esta anomalia é mais comum nas ligações entre elementos que suportam diretamente a via rodoviária/ferroviária (onde existem maiores vibrações e amplitude de tensões com passagem de veículos).

A figura 3.12 mostra 2 exemplos de anomalias por má cravação de rebites, nomeadamente devido a desalinhamento das cabeças (figura 3.12a) e devido a deficiências na técnica de cravação com cabeça irregular ou desviada (figura 3.12b). Esta deficiência deve-se, geralmente, ao comprimento excessivo do fuste antes da cravação ou à circunstância desta ter sido executada como rebite a uma temperatura demasiado baixa, o que não lhe permitiu contrair o suficiente para que o impedimento dessa contração gerasse os esforços de tração [13].

Na figura 3.13 evidencia-se um exemplo de fissuração/corte na soldadura num tabuleiro metálico, na ligação entre uma travessa e uma laje ortotrópica que suporta a via rodoviária. A figura 3.13a mostra a vista geral sob a estrutura metálica, junto ao encontro da ponte, e a figura 3.13b apresenta o pormenor da fissuração da soldadura entre elementos metálicos (situada sob a via de circulação rodoviária).



a) Desalinhamento

b) Cabeça irregular

Figura 3.12 – Exemplos de anomalias por má cravação de rebites [13]



a) Vista geral da estrutura metálica

b) Fissuração da soldadura

Figura 3.13 – Exemplo de fissuração na soldadura entre elementos metálicos

#### 3.4.1.4 Defeitos geométricos de peças da estrutura, com sinais de impacto

Esta anomalia resulta de ações acidentais, sendo causadas sobretudo por embates do tráfego rodoviário, induzindo nas peças da estrutura deficiências geométricas que podem ser locais ou globais. Os sinais de impacto podem ser evidenciados por marcas na pintura e por configurações geométricas irregulares, sendo de extrema importância avaliar os danos nos elementos estruturais. Na figura 3.14 evidenciam-se 2 exemplos de embates que ocorreram na superestrutura metálica com tabuleiro inferior, nomeadamente a deformação da viga treliçada (figura 3.14a) e a degradação de uma carlinga, à entrada da ponte (figura 3.14b).



a) Deformação de viga treliçada

b) Degradação de carlinga

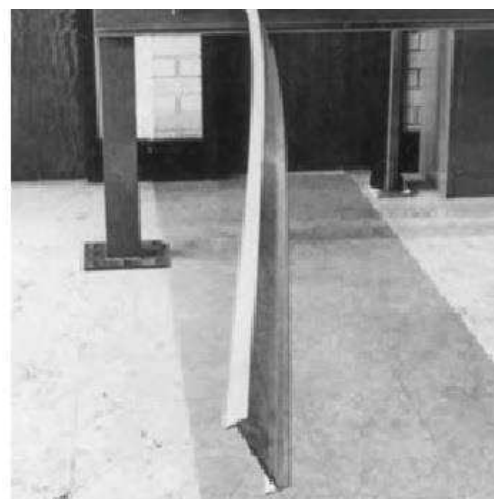
Figura 3.14 – Exemplos de embates na estrutura metálica [13]

#### 3.4.1.5 Defeitos geométricos de peças da estrutura, sem sinais de impacto

Os elementos da estrutura metálica poderão manifestar deformações, essencialmente devido à encurvadura por esforços de compressão, e à encurvadura lateral, não sendo esta situação muito comum. No entanto, nas estruturas mais antigas, com o aumento das sobrecargas rodoviárias, estas situações devem ser verificadas no âmbito da inspeção. Relativamente à encurvadura por compressão, a peça comprimida apresenta-se fletida e com deslocamentos visíveis, em toda a sua extensão livre, na direção perpendicular ao eixo de menor inércia da secção. No segundo caso, a peça, que está submetida a esforços de flexão, apresenta-se torcida, mas também com deslocamentos na direção perpendicular ao eixo de menor inércia [13]. A figura 3.15a mostra um exemplo de encurvadura por compressão da alma de um montante de uma viga treliçada. A figura 3.15b apresenta um exemplo de encurvadura lateral numa peça linear.



a) Deformação de encurvadura por compressão



b) Deformação por encurvadura lateral [28]

Figura 3.15 – Exemplos de peças lineares encurvadas

Algumas vigas metálicas manifestam ligeiros empenos, evidenciando um desalinhamento na ligação aos aparelhos de apoio. Estas situações poderão estar associadas à ação de um sismo ou a um ligeiro desequilíbrio da superestrutura que decorreu durante um determinado tempo, nomeadamente devido à falta de apoio (por assentamentos diferenciais das fundações dos pilares/encontros ou pela degradação dos aparelhos de apoio). Esta anomalia pode ocorrer em vigas contínuas assentes em vários apoios, em que o assentamento de um dos apoios gera redistribuição de esforços no tabuleiro (estruturas hiperestáticas). No caso de tabuleiros simplesmente apoiados nos encontros, um assentamento das fundações deverá provocar essencialmente a rotação nas vigas metálicas (comportamento típico de estruturas isostáticas). A figura 3.16 apresenta desenhos esquemáticos de um exemplo de desalinhamento entre o tabuleiro e os aparelhos de apoio, devido ao empenamento do tabuleiro que provocou um ligeiro deslocamento horizontal  $\Delta H$  da estrutura metálica. O tabuleiro e os balanceiros dos aparelhos de apoio estão perfeitamente ligados entre si e funcionam de forma conjunta, mas a sua ligação à base de assentamento no encontro está ligeiramente desalinhada, prejudicando a movimentação dos roletes. Relativamente a esse mesmo exemplo, a figura 3.17 apresenta desenhos esquemáticos da ligação entre o tabuleiro e os aparelhos de apoio (vista transversal e planta), onde se evidencia que o ligeiro empenamento do tabuleiro faz com que os seus movimentos naturais, de dilatação ou de encurtamento (com a variação da temperatura ambiente), não tenham uma direção longitudinal perfeita. Neste sentido, a força  $F$  gerada pela movimentação do tabuleiro sobre os roletes dos aparelhos de apoio (devido ao atrito) apresenta também uma componente transversal que gera esforços não previstos nos roletes e chapas de ligação ( $F_H$ ), uma vez que estes elementos foram colocados e alinhados apenas para movimentos longitudinais perfeitos do tabuleiro. Com as movimentações cíclicas do tabuleiro, geram-se reações ( $R_H$ ) entre as chapas de ligação (entre roletes) e as chapas de assentamento dos aparelhos de apoio. Esta situação potencia, a médio prazo, a degradação da ligação entre as chapas e os roletes, tendo consequências graves uma vez que origina posteriormente a desconexão entre os roletes, que poderão sair da sua posição, provocando o assentamento do tabuleiro. Na figura 3.18a apresenta-se o exemplo de rotura da ligação entre as chapas e os roletes devido à reação ( $R_H$ ) gerada pela força do movimento cíclico do tabuleiro ( $F_H$ ) e na figura 3.18b evidencia-se o desalinhamento entre os elementos metálicos (tabuleiro e balanceiros dos aparelhos de apoio) e a base de assentamento no encontro.

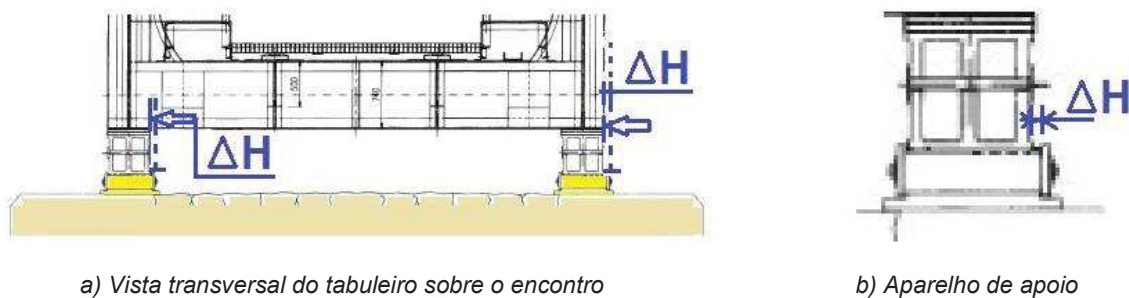


Figura 3.16 – Desalinhamentos típicos entre o tabuleiro e os aparelhos de apoio

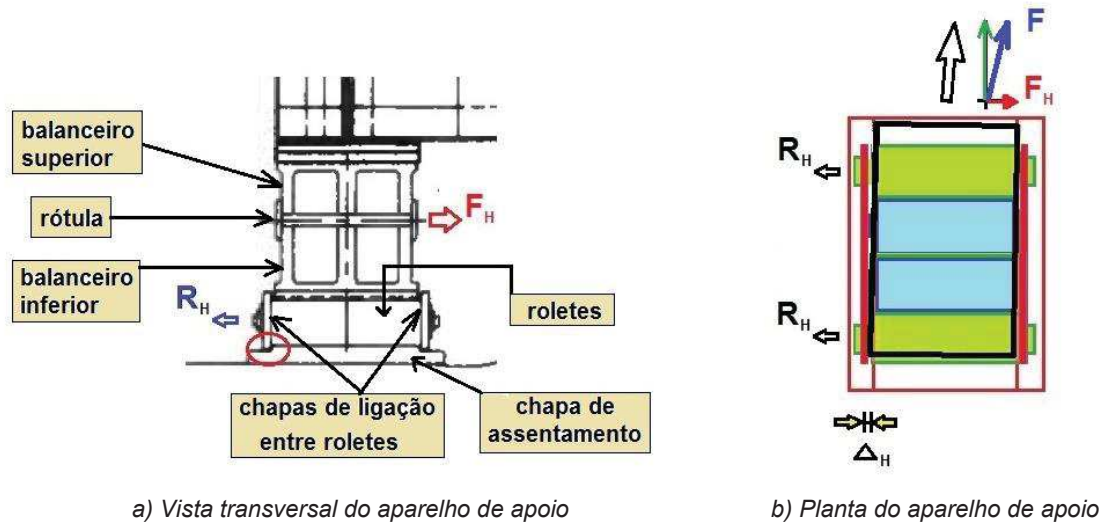


Figura 3.17 – Forças residuais que provocam desalinhamentos entre o tabuleiro e os aparelhos de apoio



Figura 3.18 – Anomalias na ligação entre o tabuleiro e os aparelhos de apoio

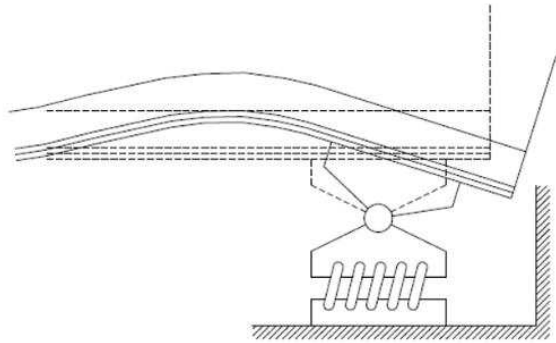
### 3.4.1.6 Imobilização da translação num apoio móvel metálico

Esta anomalia poderá ocorrer devido ao bloqueamento do aparelho de apoio móvel por falta de manutenção (limpeza e lubrificação) ou devido a um deslocamento excessivo da estrutura, superior a que foi concebido e dimensionado o aparelho de apoio (por exemplo, devido a variações de temperatura elevadas). No caso de aparelhos de apoio móveis com roletes confinados em chapas planas, toda a estrutura poderá deslizar sobre os roletes ficando estes fora da sua posição. Para aparelhos de apoio com articulações móveis (por exemplo, através de pêndulos metálicos), estes ficam bloqueados quando se atinge o limite admissível de translação, gerando-se esforços não previstos na estrutura (no tabuleiro e nos apoios verticais). A figura 3.19a mostra o exemplo do bloqueamento dum aparelho de apoio móvel com roletes, por falta de manutenção. Esta situação não deverá provocar esforços significativos na estrutura uma vez que o tabuleiro desliza sobre os roletes (mesmo que estes estejam bloqueados). Na figura 3.19b apresenta-se um desenho esquemático de um aparelho de apoio com articulações móveis e que atingiu o seu limite admissível de translação. Neste caso, o aparelho de

apoio passa a funcionar como ligação fixa (a partir desse limite admissível), e poderão gerar-se esforços na superestrutura (compressão) e na infraestrutura (esforço transverso).



a) Aparelho de apoio com falta de manutenção [10]



b) Aparelho de apoio bloqueado [27]

Figura 3.19 – Exemplos de imobilização da translação em aparelhos de apoio

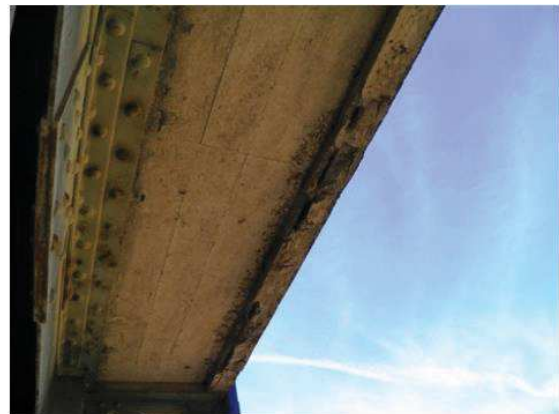
### 3.4.2 Anomalias na laje de betão armado

#### 3.4.2.1 Delaminação e destacamento do betão armado

Esta anomalia é a degradação mais comum no betão armado, estando associada à corrosão das armaduras devido à carbonatação do betão ou à presença de cloretos no betão. A carbonatação do betão resulta de combinações entre o dióxido de carbono presente no ar e as bases do cimento hidratado, o que provoca abaixamento do pH do betão e reduz o efeito protetor das armaduras. A corrosão expande as armaduras, provocando a delaminação e o destacamento do betão. A figura 3.20 mostra exemplos de delaminação e destacamento do betão armado em tabuleiros de obras de arte.



a) Laje em consola



b) Viga de bordadura da laje

Figura 3.20 – Exemplos de delaminação e destacamento do betão armado [13]

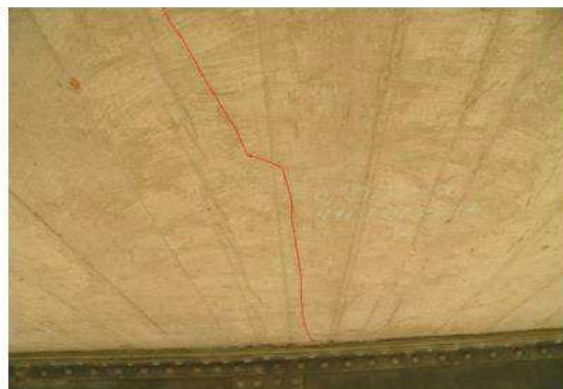
#### 3.4.2.2 Fendilhação no betão armado

A fendilhação está associada a tensões instaladas no betão armado, podendo ter várias direções (transversal, longitudinal e oblíqua), consoante os diferentes tipos de esforços a que a laje está sujeita (por exemplo: retração, flexão, esforço transverso, etc). O nível de gravidade das consequências desta

anomalia deverá ser ponderado, atendendo à localização, extensão e desenvolvimento da anomalia (por exemplo: valor de abertura de fenda superior ao máximo regulamentar admissível). A figura 3.21 mostra exemplos de fendilhação em lajes de betão armado.



a) Fendilhação dispersa



b) Fendilhação transversal

Figura 3.21 – Exemplos de fendilhação no betão armado [13]

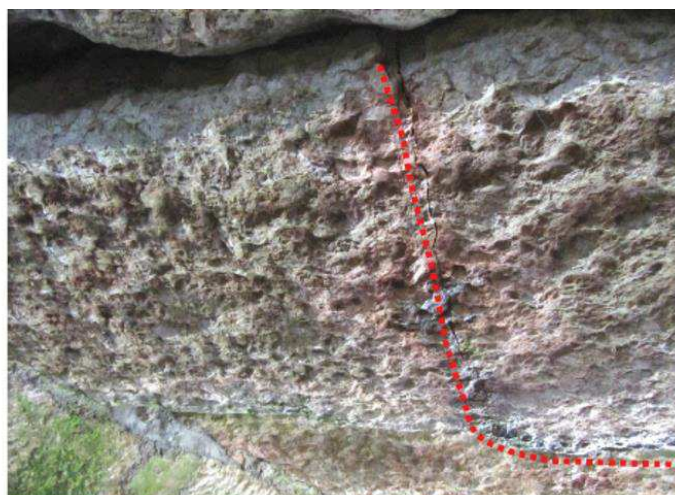
### 3.4.3 Anomalias na infraestrutura de alvenaria de pedra

#### 3.4.3.1 Fendilhação na alvenaria de pedra

A fendilhação nos blocos de pedra ou a abertura das juntas entre blocos de pedra, nos pilares/encontros, poderá estar associada a diversos fatores, nomeadamente assentamentos diferenciais das fundações, impulsos do terreno ou carga excessiva. Por vezes, associada a esta fendilhação poderá verificar-se também o deslocamento ou destacamento dos materiais. A figura 3.22 mostra exemplos de fendilhação na alvenaria de pedra. Na figura 3.22a verifica-se um corte vertical na extremidade do paramento, possivelmente ocorrido devido a impulsos do aterro/terreno, e na figura 3.22b mostra-se uma fenda num bloco de pedra do paramento devido a carga excessiva.



a) Fenda vertical no paramento [26]



b) Fenda num bloco de pedra [7]

Figura 3.22 – Exemplos de fendilhação na alvenaria de pedra

### 3.4.3.2 Degradação da chapa de proteção da base dos pilares

A degradação da chapa de revestimento e de proteção do embasamento dos pilares de alvenaria de pedra deve-se essencialmente à corrosão. Esta anomalia tem como consequência a falta de proteção do material interior da base dos pilares, estando este exposto às ações hidrodinâmicas que contribuem para a sua erosão e desagregação. Esta anomalia poderá, em último caso, levar à rotura do pilar e, por conseguinte, ao colapso da superestrutura. A figura 3.23 mostra um exemplo de degradação das chapas de proteção do embasamento dos pilares de uma ponte metálica centenária. Na figura 3.23a observa-se um dos pilares da ponte, na figura 3.23b mostra-se a exposição do material interior da base do pilar que está exposto às ações hidrodinâmicas devido à inexistência de chapa de proteção (já degradada) na face do lado montante e na figura 3.23c evidencia-se a degradação da chapa em outro pilar, sendo visível a falta de algumas partes e a existência de cavidades nas chapas (assinaladas com setas na figura).



a) Vista do pilar

b) Exposição do material interior

c) Degradação da chapa de proteção

Figura 3.23 – Exemplo de degradação da chapa de proteção da base de pilares [3]

Neste subcapítulo não foram detalhadas outras anomalias que também poderão ocorrer nos elementos de alvenaria de pedra, como por exemplo as deformações (deslocamentos verticais, horizontais ou rotações que poderão estar associados à falta de capacidade resistente dos elementos ou a assentamentos diferenciais das suas fundações) e a degradação dos blocos de alvenaria e das argamassas de ligação (por ações físicas e químicas).

### 3.4.4 Anomalias diversas na plataforma rodoviária

Na plataforma rodoviária, as anomalias mais importantes estão as associadas à segurança da circulação do tráfego rodoviário ou pedonal. Neste sentido, é fundamental avaliar a estabilidade dos guarda-corpos e guardas de segurança (estado de condição dos elementos metálicos e das respetivas fixações) assim como as juntas de dilatação (verificar a existência de folga nas fixações ou risco de levantamento dos módulos). Também ao nível da drenagem, a falta de manutenção dos sumidouros pode provocar a ocorrência de lençóis de água na via sobre a obra. A figura 3.24 mostra exemplos de anomalias na plataforma rodoviária. As figuras 3.24a e b evidenciam a corrosão nos prumos dos guarda-corpos (assinalados com setas na figura) e na figura 3.24c mostra-se a degradação de uma junta de dilatação.

Estes elementos são também muito importantes para a conservação da estrutura face às infiltrações de águas pluviais. Uma impermeabilização ineficaz da via superior e do tabuleiro que a suporta, a aplicação de juntas de dilatação inadequadas ou a má colocação dos elementos de drenagem contribuem para a ocorrência de corrosão na estrutura metálica ou a degradação do betão. Na figura 3.25a mostra-se um tubo de drenagem de curta extensão (assinalado com um círculo na figura) que faz com que as águas pluviais incidam sobre uma das vigas principais, contribuindo para a corrosão desse elemento (assinalado com uma seta na figura). Exemplos de aplicação de materiais inadequados nas juntas de dilatação na via superior (assinalado com uma seta na figura) e de má impermeabilização do tabuleiro, onde se visualizam sinais de escorrências na estrutura metálica manchadas com ferrugem, são ilustradas, respetivamente, na figura 3. 25b e na figura 3.25c.



Figura 3.24 – Exemplos de anomalias na plataforma rodoviária



Figura 3.25 – Exemplos de deficiências na impermeabilização do tabuleiro

Neste subcapítulo não foram detalhados exemplos de anomalias que poderão ocorrer em outros componentes da estrutura, nomeadamente em barras e cabos de pré-esforço bem como em dispositivos adicionais de controlo de rigidez (por exemplo em dispositivos fluido-dinâmicos antissísmicos). Estes elementos estão normalmente associados a soluções recentes de reabilitação e de alargamento estrutural, mas também deverão ser observados durante a realização da inspeção principal.

### 3.5 ESTADO DE CONSERVAÇÃO E MEDIDAS DE ATUAÇÃO

---

A atribuição do Estado de Conservação da obra de arte e dos respetivos componentes é enquadrada numa escala de 0 a 5, de acordo com os critérios definidos no SGOA IP: 0 – excelente; 1 – bom; 2 – regular; 3 – irregular; 4 – deficiente; 5 – mau. Com a atribuição deste indicador são assim priorizados e estabelecidos os respetivos prazos recomendáveis para a realização das medidas de atuação que a obra de arte requer.

Para cada anomalia registada deverá ser realizada uma análise bem fundamentada sobre as consequências que poderão ter no comportamento estrutural e funcional da obra de arte. Nesse sentido, deverão ser avaliados os possíveis modos de falha na estrutura associados a essa anomalia (ou mesmo com a combinação de várias anomalias), dependendo da sua localização, sua caracterização/extensão e o respetivo estado de desenvolvimento.

De uma forma geral, deverá ser verificado se as anomalias estão centradas nos elementos mais importantes (por exemplo, nas vigas treliçadas), avaliar as características da estrutura (isostática ou hiperestática) e a sua capacidade de redistribuição dos esforços, num caso extremo de rotura de um ou mais elementos. Se possível, é útil avaliar o tipo de esforços a que estarão sujeitos os elementos estruturais e as eventuais consequências da ocorrência de determinadas anomalias. No caso dos elementos tracionados, poderão existir combinações entre anomalias, nomeadamente fissuras devido a esses esforços que, com a presença da corrosão e a perda de secção resistente, têm tendência para evoluir, podendo levar à rotura.

Com a atribuição do estado de conservação, definem-se prazos para a realização de trabalhos necessários na estrutura, associados a cada tipo de anomalia verificada. Esses trabalhos poderão ser de manutenção, reparação, reforço ou de substituição. Nos últimos anos, este tipo de obras tem sido objeto de trabalhos de reabilitação e de alargamento estrutural, com a introdução ou substituição de sistemas de pré-esforço no tabuleiro, capacitando igualmente as estruturas para as ações sísmicas regulamentares, o que implicou o reforço de pilares, a substituição dos aparelhos de apoio antigos ou a colocação de dispositivos fluido-dinâmicos antissísmicos. Todos os trabalhos de reparação, reforço ou substituição, recomendados para componentes estruturais da obra de arte, no âmbito de uma inspeção principal, deverão ser em última instância apreciados e enquadrados num estudo mais detalhado, tendo em vista a elaboração de um projeto. A solução final de projeto e o investimento envolvido, por vezes, terá de ter em conta fatores sociais e económicos, o volume de tráfego e a existência ou não de alternativas a essa ponte, a sua importância histórica e arquitetónica, entre outros.

Para exemplificar, são indicados de seguida alguns trabalhos e recomendações correntes para este tipo de obra de arte, no âmbito de uma inspeção principal, associados às anomalias referidas anteriormente.

Para a superestrutura metálica, o trabalho mais comum é o de *pintura da superfície metálica com decapagem total*, sendo periodicamente aplicado nas obras de arte para reparar e proteger a estrutura face à corrosão superficial. Quando a corrosão for mais expressiva na estrutura, existindo perda de secção nos elementos metálicos igual ou superior a 20%, o trabalho de reparação mais indicado será o de *substituição ou reforço de elementos metálicos*. Este trabalho também será o indicado para as

anomalias nos elementos metálicos devido à fadiga, a deficiências de ligações e a defeitos geométricos com e sem sinais de impacto.

Relativamente aos aparelhos de apoio, o trabalho mais comum e simples é o de *limpeza e lubrificação de aparelhos de apoio*, sendo periodicamente feito nas obras de arte para prevenir problemas de imobilização dos dispositivos móveis (com roletes). No caso de imobilização do aparelho de apoio com articulação móvel, por ter excedido o seu limite admissível de translação e não estar adequado para a amplitude de movimentos da estrutura, o trabalho adequado é o de *substituição de aparelhos de apoio*, devendo ser baseado em especificações técnicas previstas em projeto. Também no caso de existir um desalinhamento entre tabuleiro e aparelho de apoio móvel (com roletes), a única solução que permite a resolução deste problema, a longo prazo, é a substituição do tipo de aparelhos de apoio. No caso de se preferir manter o mesmo tipo de aparelhos de apoio, com roletes, deverá ser promovida a vigilância apertada da obra de arte, com observações regulares ao posicionamento dos aparelhos de apoio, sendo exatável a realização de trabalhos de manutenção com bastante frequência (nomeadamente o reposicionamento dos roletes e a reparação das chapas de ligação entre roletes).

Para lajes de betão armado, os dois trabalhos mais comuns consistem na *reparação de betão em profundidade com reforço ou a substituição de armaduras* (para anomalias referentes à delaminação e destacamento do betão armado) e no *preenchimento ou selagem por injeção de fendas no betão* (para colmatar a fendilhação existente no betão armado).

Para a infraestrutura de alvenaria de pedra, e de modo a corrigir anomalias referentes à fendilhação, numa primeira fase poderá recorrer-se ao trabalho mais simples de *preenchimento ou selagem de juntas de alvenaria*, quando se considera que as fendas observadas não são muito expressivas nem profundas, não existindo deformações acentuadas nos paramentos associadas a essa fendilhação, e quando se julga que essa anomalia estará estabilizada ou se prevê que a evolução seja pouco significativa a médio-longo prazo. No caso de as anomalias serem mais graves, e com previsão de evolução gravosa a curto-médio prazo, deverá recorrer-se a trabalhos de reparação mais extensos enquadrados por especificações técnicas previstas em projeto. Nesse âmbito, consideram-se as situações associadas a fendas mais profundas e de abertura maior na alvenaria, com desagregação entre os elementos constituintes ou deformações visíveis no paramento, indiciando uma incapacidade de suporte face às ações a que estão submetidos esses elementos (muito comum nos encontros em cofre). Os trabalhos de reparação mais comuns para esta fase correspondem normalmente a uma combinação do *preenchimento ou selagem por injeção de calda de cimento no solo de enchimento entre muros tímpano com a colocação de tirantes para contenção de muros tímpano*. Para a anomalia referente à degradação da base dos pilares, é frequente recomendar-se, como trabalho de reparação, a *reconstrução do embasamento dos pilares através da recolocação de blocos em falta e refechamento de juntas e fendas, e colocação de tapete de enrocamento em redor da base dos pilares* (com base em especificações técnicas previstas em projeto). Muitas vezes, também se recorre à remoção das chapas degradadas de proteção e execução de embasamentos de betão armado.

Para a plataforma rodoviária, e de modo a impedir ou minimizar as infiltrações de águas no interior do tabuleiro, os trabalhos recomendados correspondem à *impermeabilização total do tabuleiro*

e à *colocação de tubos de drenagem no tabuleiro*. De modo a evitar a ocorrência de lençóis de água na via sobre a obra, recomenda-se a *limpeza periódica dos órgãos de drenagem*. Relativamente aos guarda-corpos, no caso de estes estarem danificados devido a embates de veículos ou existindo corrosão acentuada nos seus elementos metálicos em que já não se conseguem garantir as condições de estabilidade e de segurança, preconiza-se a *substituição de guarda corpos*. Para situações menos graves ao nível da corrosão, poderá recorrer-se a trabalhos mais simples e comuns tais como a *pintura da superfície metálica com decapagem total*. No caso das juntas de dilatação da via sobre a obra, deverão ser realizados trabalhos periódicos de *reaperto de fixações* (de acordo com as especificações adequadas para cada modelo da junta). Em casos extremos de degradação acentuada dos módulos das juntas e respetivas fixações, preconiza-se a *substituição de juntas de dilatação*.

A figura 3.26 mostra exemplos de trabalhos realizados na ponte de D. Luís s/ o rio Tejo, nomeadamente ao nível do reforço dos elementos metálicos da viga treliçada (figura 3.26a), a decapagem e pintura da superestrutura (figura 3.26b) e o trabalho de preenchimento por injeção de fendas no betão (figura 3.26c). Na figura 3.27 identificam-se 2 tipos de soluções utilizadas correntemente em trabalhos de reabilitação, para capacitar as estruturas para as ações sísmicas regulamentares. Na figura 3.27a mostra-se um dos aparelhos de apoio de neoprene de alto amortecimento (HDRB) que substituíram os antigos aparelhos de apoio metálicos nos pilares da ponte da Chamusca s/ o rio Tejo e na figura 3.27b apresenta-se um dos dispositivos fluido-dinâmicos antissísmicos que foram colocados nos encontros da ponte de Constância s/ o rio Zêzere, tendo-se mantido os aparelhos de apoio de origem.



a) Reforço da viga treliçada

b) Pintura da superestrutura

c) Preenchimento de fendas no betão

Figura 3.26 – Trabalhos de reparação na superestrutura metálica e elementos de betão armado [3]



a) Aparelho de apoio HDRB

b) Dispositivo fluido-dinâmico antissísmico

Figura 3.27 – Exemplos de soluções antissísmicas em pontes metálicas centenárias

As figuras 3.28a e b mostram o trabalho de colocação de tirantes para contenção de muros de um encontro em cofre da ponte de Belver s/ rio Tejo (2016). A figura 3.29 mostra os trabalhos de reconstrução do embasamento dos pilares da ponte da Praia do Ribatejo (2013), nomeadamente através da remoção das chapas degradadas de proteção, a execução de embasamentos de betão armado e posteriormente a colocação de tapete de enrocamento em redor da base dos pilares (incluindo a reparação dos fustes), apresentados nas figuras 3.29a, b, c e d, respetivamente.



*a) Vista geral*



*b) Pormenor*

Figura 3.28 – Trabalhos de colocação de tirantes para contenção de muros [3]



*a) Remoção das chapas de proteção*



*b) Embasamento em betão armado*



*c) Tapete de enrocamento*



*d) Reparação de pilar*

Figura 3.29 – Trabalhos de reconstrução do embasamento de pilares [3]



## **CAPÍTULO 4.**

### **CASO DE ESTUDO: PONTE DE D. LUÍS S/ O RIO TEJO**

O capítulo 4. contém informação confidencial e reservada pela IP – Infraestruturas de Portugal, SA, tendo sido analisada exclusivamente pelo aluno, pelo seu orientador e pelo júri, no âmbito da respetiva dissertação. O acesso ou consulta desta documentação por terceiros está sujeita a autorização expressa e prévia da IP – Infraestruturas de Portugal, SA.



# CAPÍTULO 5.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

### 5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

A presente dissertação foi elaborada com base na experiência profissional do autor na área de inspeção e diagnóstico de obras de arte da IP, tendo sido essencialmente focada a atividade das inspeções principais a pontes metálicas e mistas construídas no século XIX e início do século XX.

Primeiramente foi abordado o sistema de gestão de obras de arte da IP (SGOA IP), as suas metodologias gerais e as várias atividades que se articulam e que permitem sustentar o seu modelo de funcionamento. Salientou-se ainda a particularidade e a importância de vigilância reforçada das pontes metálicas com mais de 100 anos.

Procedeu-se à descrição de procedimentos gerais que se consideram importantes na atividade das inspeções principais às pontes com superestrutura metálica ou mista e com infraestrutura materializada por elementos de alvenaria de pedra, no âmbito do SGOA IP, tendo sido especialmente centrada na identificação dos problemas mais comuns neste tipo de estrutura com o intuito de futuramente, em próximas inspeções, seja sistematizada e facilitada a tarefa de procura das anomalias e a justificação das mesmas.

Com o caso de estudo da ponte de D. Luís s/ o rio Tejo, apresentado nesta dissertação, ficou demonstrada a necessidade de observação rigorosa e sistemática neste tipo de estruturas.

Verificou-se que soluções de reabilitação estrutural com a combinação de materiais de diferentes épocas poderá levar a estrutura a ter respostas não previstas, nomeadamente com o exemplo da aplicação do mais recente sistema de pré-esforço (2006-2008, século XXI) que provocou anomalias nos elementos de ancoragem, de betão armado, executados aquando da realização do pré-esforço anterior (1956, século XX), o que obrigou posteriormente a correções a nível de reforço.

Também se evidenciou a necessidade de execução de trabalhos de manutenção de uma forma sistemática, sob pena de prejudicar a conservação e o funcionamento da obra, a médio prazo. Nesse âmbito foram dados os exemplos dos aparelhos de apoio e dos elementos metálicos do tabuleiro.

Da mesma forma, sendo estruturas muito antigas e com o envelhecimento inevitável dos seus elementos estruturais, estas deverão impreterivelmente ser acompanhadas com regularidade, tendo sido evidenciada, por exemplo, a degradação progressiva das chapas de proteção da base dos pilares da ponte.

Salientou-se igualmente que, no âmbito de um sistema de gestão de obras de arte, as inspeções principais periódicas, sendo uma ferramenta fundamental, consistem essencialmente em observações

visuais, com consulta de antecedentes/histórico e da análise do projeto da obra, que nem sempre colocam a descoberto todas as anomalias que as pontes possam conter, podendo ocorrer imprevistos no funcionamento destas estruturas, mesmo que em casos pontuais, tal como ficou evidenciado no caso do viaduto de acesso à ponte de D. Luís. Nesta situação devem ser despoletadas inspeções especiais com incorporação de avaliações estruturais, instrumentação e/ou monitorização, de modo a complementarem o diagnóstico decorrente das inspeções principais.

Finalmente, esta dissertação reportou, através de um exemplo prático, que apesar da especificidade deste tipo de estruturas e da ocorrência de eventuais fenómenos imprevistos, o sistema de gestão de obras de arte implementado e consolidado durante a última década na ex-EP e atualmente na IP, apresenta as ferramentas e os mecanismos necessários para garantir os adequados níveis de serviço e de segurança nas obras de arte da rede rodoviária.

### **5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

---

A realização de inspeções principais a obras de arte será sempre uma atividade necessária tendo em vista uma eficiente gestão de conservação da rede rodoviária pelo que, no futuro, deverão permanecer os procedimentos e as metodologias contínuas e periódicas, no âmbito do sistema de gestão, principalmente para estruturas metálicas e mistas construídas no final do século XIX e início do século XX. Com a idade, este tipo de estruturas é considerado, no SGOA IP, merecedor de observações mais frequentes (vigilância reforçada), de modo a assegurar um acompanhamento adequado da progressão dos mecanismos de degradação que assolam este tipo de estruturas.

Nos últimos anos, algumas soluções de reabilitação estrutural deste tipo de obras têm assentado na substituição dos aparelhos de apoio antigos por aparelhos de apoio de alto amortecimento (do tipo HDRB) e no reforço dos pilares, de modo a capacitá-las para as ações sísmicas regulamentares. Nesse âmbito enquadra-se a reabilitação da ponte de Abrantes s/ o rio Tejo, sendo estruturalmente semelhante à ponte de D. Luís. Nessa reabilitação, decorrida em 2014, para a instalação do novo sistema de pré-esforço na estrutura, foram demolidas as bielas de betão armado do pré-esforço anterior, contrariamente à solução adotada na ponte de D. Luís, em Santarém (2006). Estas soluções permitirão melhorar o comportamento geral destas estruturas, minimizando também as necessidades de manutenção para garantir o seu bom funcionamento, nomeadamente ao nível dos aparelhos de apoio.

A recente implementação do SGOA IP constitui uma oportunidade de melhoria contínua, de partilha de conhecimento e de experiências entre as várias equipas de trabalho que se desenvolveram nos últimos anos de forma distinta, tanto na rede rodoviária como na ferroviária, nomeadamente na atividade de inspeção de obras de arte metálicas e mistas. Nesse sentido, está em desenvolvimento a criação de equipas de trabalho mistas (rodovia e ferrovia) e de equipas de inspeção de obras de arte especiais que incidirão também na observação deste tipo de estruturas que continuam a merecer um acompanhamento mais específico.

Considera-se importante a implementação de procedimentos mais expeditos para a execução dos necessários trabalhos de manutenção corrente neste tipo de estrutura.

Finalmente, tendo a IP um papel fundamental a diversos níveis em Portugal (sociais, económicos, políticos, etc), e uma vez que também estabelece frequentemente relacionamentos diretos com entidades externas (por exemplo, com municípios), nomeadamente na realização de prestações de serviços relativas a inspeções principais a obras de arte, julga-se que é de extrema importância a melhoria contínua da informação expressa nos respetivos relatórios técnicos de inspeção principal, designadamente a necessidade de a mesma ser exposta de uma forma clara, com linguagem acessível (dentro do possível) e por vezes também pedagógica, de modo a estabelecer uma base sólida de apoio à decisão dos gestores das infraestruturas.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

[1] A minha Santarém. (2018). *Santarém de ontem e de hoje. Fotografias e memórias* [Internet]. [citado 22 de janeiro de 2018]. Obtido de: <http://aminhasantarem.blogspot.pt/2010/11/ponte-d-luis-i-vista-da-tapada-em-1907.html>

[2] AliExpress. (2018). *GM130 BENETECH Digital ultrasonic thickness testing gauge meter for metal 300mm steel Resolution 0.01mm* [Internet]. [citado 20 de abril de 2018]. Obtido de: <https://www.aliexpress.com/item/GM130-BENETECH-Digital-ultrasonic-thickness-testing-gauge-meter-for-metal-300mm-steel-Resolution-0-01mm/32816576694.html>.

[3] Arquivo fotográfico da I.P. – Infraestruturas de Portugal, S.A.

[4] BEL. (2011). *EN114 – Ponte D. Luís sobre o Rio Tejo – Beneficiação e Reforço – Trabalhos Complementares (juntas de dilatação, pavimento, iluminação)*. BEL – Engenharia e Reabilitação de Estruturas, S.A.

[5] Cardoso, E. (1956). *Projecto de Alargamento e Reforço da Ponte de D. Luiz em Santarém na E.N. 114*. Edgar Cardoso - Engenharia e Laboratório de Estruturas Lda.

[6] Estradas de Portugal. (2011). *Manual de Inspeções Principais*. EP, S.A. Almada.

[7] Estradas de Portugal. (2013). *Manual de Inspeções Subaquáticas de Obras de Arte*. EP, S.A. Almada.

[8] Ferreira, L. (2008). Palestra: Formação em Inspeção e Reabilitação de Obras de Arte – Contributos para a melhoria de desempenho de juntas de dilatação. EP. Almada.

[9] Fip Industriale. (2018). *RAN 50 S* [Internet]. [citado 22 de março de 2018]. Obtido de: <https://www.fipindustriale.it/index.php?area=106&menu=124>.

[10] Freire, L. (2008). Palestra: Formação em Inspeção e Reabilitação de Obras de Arte – Aparelhos de apoio. EP. Almada.

[11] Indiamart. (2018). *Leeb Hardness Tester - OC Shah & Company* [Internet]. [citado 2 de maio de 2018]. Obtido de: <https://www.indiamart.com/proddetail/leeb-hardness-tester-12499234612.html>.

- [12] Infraestruturas de Portugal. (2017). *Sistema de Gestão de Obras de Arte da IP (SGOA IP) – Bases do Sistema*. IP. Lisboa.
- [13] Infraestruturas de Portugal. (2018). *Guia para o Diagnóstico de Obras de Arte Metálicas e Mistadas*. IP, S.A. Lisboa.
- [14] Infraestruturas de Portugal (2018). *Histórico EP* [Internet]. [citado 2 de fevereiro de 2018]. Obtido de: <http://www.infraestruturasdeportugal.pt/sobre-nos/historico/ep>.
- [15] Infraestruturas de Portugal (2018). *Histórico REFER* [Internet]. [citado 2 de fevereiro de 2018]. Obtido de: <http://www.infraestruturasdeportugal.pt/sobre-nos/historico/refer>.
- [16] Infraestruturas de Portugal (2018). *Sobre nós* [Internet]. [citado 2 de fevereiro de 2018]. Obtido de: <http://www.infraestruturasdeportugal.pt/sobre-nos>.
- [17] LNEC. (2012). *Inspeção da Ponte D. Luís sobre o rio Tejo*. LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- [18] LNEC. (2015). *Especificações Técnicas Complementares para a Inspeção Principal da Ponte D. Luís*. LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- [19] Martins, J. L. Câncio. (2009). *Projeto de Beneficiação da Ponte D. Luís em Santarém*. J. L. Câncio Martins – Projetos de Estruturas Lda.
- [20] Martins, M.R.F., Torres, M.T.P. e Freire, P.C.M. (1998). *Pontes Metálicas Rodoviárias*. MEPAT-SEOP-JAE.
- [21] MDPI. (2018). *Fatigue-Prone Details in Steel Bridges* [Internet]. [citado 20 de maio de 2018]. Obtido de: <http://www.mdpi.com/2075-5309/2/4/456/htm>.
- [22] O Ribatejo (2015). *Postais de Santarém – Inéditos de Freitas do Amaral*. [Internet]. [citado 22 de janeiro de 2018]. Obtido de: <http://www.oribatejo.pt/2015/09/20/postais-de-santarem-ineditos-de-freitas-do-amaral/>.
- [23] Póvoa, A. (2017). *Palestra: Obras de Arte da Rede Rodoviária da IP – Gestão, Inspeção, Monitorização, Projeto, Manutenção, Reparação e Reforço*. Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra.

- [24] Purdue University – Steel Bridge Research, Inspection, Training, and Engineering Center. (2018). *Distributed Expertise Network* [Internet]. [citado 25 de abril de 2018]. Obtido de: <https://engineering.purdue.edu/CAI/SBRITE/DEN>.
- [25] R1 Engenharia. (2018). *Pontes Treliçadas* [Internet]. [citado 22 de abril de 2018]. Obtido de: <http://r1engenharia.blogspot.pt/2015/11/pontes-trelicadas.html>.
- [26] Rodrigues, T. (2013). *Reabilitação e Reforço de Obras de Arte*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. FCT-UNL, Lisboa.
- [27] Santos, N. Eduardo (1998). *Conservação e Reabilitação de Pontes Metálicas*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. FEUP, Porto.
- [28] Trahair, N.S., Bradford, M.A., Nethercot, D.A., Gardner, L. (2008). *The behaviour and design of steel structures to EC3*. 4ª edição, Taylor & Francis Group. Londres e Nova Iorque.
- [29] Wikipedia, The Free Encyclopedia. (2018). *Leeb rebound hardness test* [Internet]. [citado 20 de abril de 2018]. Obtido de: [https://en.wikipedia.org/wiki/Leeb\\_rebound\\_hardness\\_test](https://en.wikipedia.org/wiki/Leeb_rebound_hardness_test).



## **ANEXOS**

---

ANEXO 1 – Ficha técnica das juntas de dilatação do tipo GTF

ANEXO 2 – Ficha técnica das juntas de dilatação do tipo FIP RAN 50-S

ANEXO 3 – Fluxograma do histórico e enquadramento atual da ponte D. Luís, no âmbito do SGOA IP

ANEXO 4 – CURRICULUM VITAE



ANEXO 1

Esta informação é confidencial e reservada pela IP – Infraestruturas de Portugal, SA, tendo sido analisada exclusivamente pelo aluno, pelo seu orientador e pelo júri, no âmbito da respetiva dissertação. O acesso ou consulta desta documentação por terceiros está sujeita a autorização expressa e prévia da IP – Infraestruturas de Portugal, SA.



ANEXO 2

Esta informação é confidencial e reservada pela IP – Infraestruturas de Portugal, SA, tendo sido analisada exclusivamente pelo aluno, pelo seu orientador e pelo júri, no âmbito da respetiva dissertação. O acesso ou consulta desta documentação por terceiros está sujeita a autorização expressa e prévia da IP – Infraestruturas de Portugal, SA.



ANEXO 3

Esta informação é confidencial e reservada pela IP – Infraestruturas de Portugal, SA, tendo sido analisada exclusivamente pelo aluno, pelo seu orientador e pelo júri, no âmbito da respetiva dissertação. O acesso ou consulta desta documentação por terceiros está sujeita a autorização expressa e prévia da IP – Infraestruturas de Portugal, SA.



ANEXO 4  
CURRICULUM VITAE



## Curriculum Vitae



### Informação pessoal

Apelido(s) / Nome(s) próprio(s) **Pereira, Sérgio Alexandre Antunes**  
Morada(s)  
Telefone(s) (+351) 96 144 70 52  
Correio(s) electrónico(s) [sergioantunespereira@hotmail.com](mailto:sergioantunespereira@hotmail.com); [sergio.pereira@infraestruturasdeportugal.pt](mailto:sergio.pereira@infraestruturasdeportugal.pt)  
Nacionalidade Portuguesa  
Data de nascimento 5 de junho de 1981  
Sexo Masculino

### Área funcional **Engenheiro Civil** (Cédula Profissional nº52765)

### Experiência profissional

**Datas Desde março de 2007 até à presente data**

**Função ou cargo ocupado Engenheiro Civil**

Principais atividades e responsabilidades

- Inspeções principais a obras de arte de diversos tipos de estrutura e materiais (alvenaria, metálicas, betão armado e pré-esforçado), incluindo a definição preliminar de soluções de projeto de reabilitação e de prioridades de intervenção, com base na avaliação das deficiências estruturais;
- Coordenação e supervisão de diversas prestações de serviços em obras de arte, nomeadamente a realização de inspeções principais e subaquáticas, ensaios e monitorização, e atualização de inventário a nível distrital;
- Fiscalização de empreitadas de reabilitação/substituição de obras de arte;

Nome e morada do empregador IP – Infraestruturas de Portugal, S.A. (ex-EP – Estradas de Portugal, E.P.E., ex-EP – Estradas de Portugal, S.A.)  
Praça da Portagem  
2809-013 Almada  
Website: <http://www.infraestruturasdeportugal.pt/>

Tipo de empresa ou sector Gestão da Rede Rodoviária Nacional

**Datas De agosto de 2004 a fevereiro de 2007**

**Função ou cargo ocupado Engenheiro civil**

Principais atividades e responsabilidades

- Conceção de projetos de execução de fundações e de estruturas (obras de arte, edifícios, estruturas enterradas e obras de contenção);

Nome e morada do empregador Dimeconsult – Engenheiros Consultores, Lda  
Rua Alexandre Ferreira, 31 - 2º Dto.  
1750-010 Lisboa  
Website: <http://www.dimeconsult.pt/>

Tipo de empresa ou sector Consultores de Engenharia Civil

## Publicações

- “Análise de Estruturas tubulares metálicas em aço corrugado tipo ARMCO”, artigo em coautoria apresentado no 3.º Congresso Nacional sobre Segurança e Conservação de Pontes – ASCP, Porto, junho de 2013;
- “Da inspeção à intervenção”, artigo em coautoria apresentado no 2.º Congresso Nacional sobre Segurança e Conservação de Pontes – ASCP, Coimbra, junho de 2011;

## Formação académica

### Datas

**Desde setembro de 2017**

Designação da qualificação atribuída  
Nome e tipo da organização de ensino  
ou formação

Aluno do Curso de Mestrado em Engenharia Civil (Estruturas e Geotecnia)  
Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências de Tecnologia da Universidade de Lisboa

### Datas

**De setembro de 1999 a julho de 2004**

Designação da qualificação atribuída  
Principais disciplinas/competências  
profissionais  
Nome e tipo da organização de ensino  
ou formação

Licenciatura em Engenharia Civil (pré-bolonha – 5 anos)  
Ramo de Estruturas  
Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa (IST-UTL)

Nível segundo a classificação nacional  
ou internacional

Nota final de 14/20 valores

## Formação profissional

### • Cursos

- “Ensaio Não Destrutivo em Obras de Arte Metálicas e de Betão Armado”, LNEC, 2018;
- “IET 77 – Segurança dos trabalhos realizados na infraestrutura ferroviária”, IP, Lisboa, 2018;
- “Análise do Risco e Gestão de Ativos nas Edificações e Infraestruturas” – Universidade do Minho, Lisboa, 2017;
- Training School on Bridge Quality Control “COST TU1406 – Quality specifications for roadway bridges, standardization at European level”, Faculty of Civil Engineering CTU in Prague, 30 horas, Praga, 2017;
- “Pontes Tirantes - Projeto e Construção”, FUNDEC, Lisboa, abril de 2013;
- “Curso Estruturas de Betão”, Appleton Square, 20 horas, Lisboa, Novembro e Dezembro 2013;
- “Ensaio de Pontes”, FUNDEC, Lisboa, 2011;
- “Monitorização - Métodos Geodésicos e LASER”, FUNDEC, Lisboa, 2011;
- “Cycle Inspection des Ouvrages d’Art – Module 6: Diagnostic”, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 19 horas, Lisboa, julho de 2011;
- “Cycle Inspection des Ouvrages d’Art – Module 5: Entretien, Réparer et Renforcer les Ouvrages en Béton”, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 40 horas, Paris, fevereiro e março de 2011;
- “Cycle Inspection des Ouvrages d’Art – Module 2: Grands Ouvrages en Béton Précontraint”, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 8 horas, Paris, janeiro de 2011;
- “Cycle Inspection des Ouvrages d’Art – Module 4: Ponts en Maçonnerie”, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 40 horas, Lisboa, novembro de 2010;
- “Cycle Inspection des Ouvrages d’Art – Module 3: Ouvrages de Soutènement Non Contrants”, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 15 horas, Lisboa, julho de 2010;
- “Cycle Inspection des Ouvrages d’Art – Module 1”, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 48 horas, Paris, agosto e setembro de 2009;
- Curso de AutoCAD2007 – Lusocuanza, Lisboa, 2006;
- Curso de SAP2000 – Módulos: Estruturas Laminares; Análise Sísmica – ISEL, Lisboa, 2003;

- Conferências, Seminários e Congressos

- Jornada Técnica “Estruturas Tubulares Metálicas em Aço Corrugado” – IMT, Lisboa, 2017;
- 3.º Congresso Nacional sobre Segurança e Conservação de Pontes – ASCP, Porto, 2013;
- 2.º Congresso Nacional sobre Segurança e Conservação de Pontes – ASCP, Coimbra, 2011;
- 1.º Congresso Nacional sobre Segurança e Conservação de Pontes – ASCP, Lisboa, 2009;
- Seminário “Inspeção e Reabilitação de Obras de Arte” – EP, Lisboa, 2008;
- Seminário “Aço para Armaduras de Betão Armado Pré-Esforçado” – EP, Lisboa, 2007;
- JPEE 2006 - 4as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas – LNEC, Lisboa, 2006;

## Aptidões e competências pessoais

Língua(s) materna(s)

Português

Outra(s) língua(s)

Auto-avaliação

Nível europeu (\*)

Inglês

Espanhol

Francês

| Compreensão      |                       |         |                         | Conversaão      |                       |               |                       | Escrita |                         |
|------------------|-----------------------|---------|-------------------------|-----------------|-----------------------|---------------|-----------------------|---------|-------------------------|
| Compreensão oral |                       | Leitura |                         | Interacção oral |                       | Produção oral |                       |         |                         |
| C1               | Utilizador experiente | C1      | Utilizador experiente   | C1              | Utilizador experiente | C1            | Utilizador experiente | B2      | Utilizador independente |
| C1               | Utilizador experiente | C2      | Utilizador experiente   | C1              | Utilizador experiente | C1            | Utilizador experiente | B2      | Utilizador independente |
| A2               | Utilizador elementar  | B1      | Utilizador independente | A1              | Utilizador elementar  | A1            | Utilizador elementar  | A1      | Utilizador elementar    |

(\*) [Nível do Quadro Europeu Comum de Referência \(CECR\)](#)

Aptidões e competências técnicas

- Domínio de software Office™: Word™, Excel™ and PowerPoint™ (contexto profissional);
- Domínio de software de modelação e análise de estruturas: SAP2000 (contexto: formação), Robot Millennium (contexto profissional), TDV RM2004 (contexto profissional);
- Conhecimento normal de software de design: AutoCAD (contexto profissional);
- Conhecimentos básicos em programação: linguagem C++ (contexto: formação);

Outras aptidões e competências

- Prática de futebol federado no Amora F.C. durante 1 ano;
- Prática de futebol de 11 pela A.E. Instituto Superior Técnico durante 4 anos;

Carta de condução

- Carta de condução da República Portuguesa, Categoria B;

Lisboa, 9 de julho de 2018

Sérgio Alexandre Antunes Pereira

**ANEXO  
CURRICULUM VITAE**

**IP – Infraestruturas de Portugal, S.A.**

Inspeções Principais a Obras de Arte

- Inspeções principais a obras de arte nos distritos de Santarém, Leiria, Portalegre, Castelo Branco, Coimbra, Lisboa e Setúbal (cerca de 1000 inspeções) no âmbito do Plano de Inspeções Principais a Obras de Arte a realizar com meios internos (2009-2018);

Coordenação e Supervisão de  
Prestações de Serviços  
em Obras de Arte

- Programa de Inspeções Principais com Recurso a Plataforma e Realização de Ensaios em Obras de Arte 2011/2012 (2013);
- Programa de Inspeções Subaquáticas a Obras de Arte – 2010 - Lote B, Distritos de Santarém, Leiria, Portalegre e Castelo Branco (2010);
- Prestação de Serviços para a Realização de um Programa de Inspeções Principais a Obras de Arte – Lote D, 292 obras de arte nos distritos de Santarém, Leiria e Portalegre (2009-2010);
- Prestação de Serviços para a Atualização de um Programa de Inspeções de Rotina e Levantamento/Atualização do Inventário Técnico-Administrativo de Obras de Arte - Distrito de Leiria (2007);
- Prestação de Serviços para a Atualização de um Programa de Inspeções de Rotina e Levantamento/Atualização do Inventário Técnico-Administrativo de Obras de Arte - Distrito de Santarém (2007);

Fiscalização de Empreitadas

- ER356 – Passagem sobre o caminho-de-ferro do oeste ao km 1+273 na Martingança – Reabilitação e Alargamento (2009);
- IC2 – Viaduto sobre o rio Maior e a EN114 ao km 74+040 – Substituição de juntas de dilatação (2009);
- IC8 – Viaduto sobre o Vale do rio Arunca – Reparação urgente de juntas de dilatação aos km's 40+600 E 40+940 (2009);
- IC2 – Passagem superior ao km 121+250 – Substituição das juntas de dilatação (2008);
- ER361 – Pontão da Ribeira da Estanganhola ao km 40+735 – Substituição da obra de arte (2008);
- EN114 – Pontão da Trabalharia ao km 32+450 – Estrutura provisória de escoramento à obra de arte (2008);
- EN8 – Passagem Hidráulica ao km 113+800 – Intervenção de reparação com carácter preventivo (2008);
- EN114-2 – Ponte Metálica sobre a ribeira de Freiria ao KM 0+360 – Reabilitação e Reforço Estrutural (2008);
- EN3-2 – Ponte do Reguengo sobre a Vala da Azambuja ao km 4+200 – Intervenção urgentes nas fundações (2007);
- EN114 – Ponte do Barbancho sobre a ribeira das Alcobertas ao km 65+930 – Escoramento provisório (2007);

Lançamento de Concursos de  
Empreitadas e Análise de Propostas

- IC2 – Viaduto sobre o rio Maior e a EN114 ao km 74+040 – Substituição de juntas de dilatação (2009);
- IC8 – Viaduto sobre o Vale do rio Arunca – Reparação urgente de juntas de dilatação aos km's 40+600 E 40+940 (2009);
- IC2 – Passagem superior ao km 121+250 – Substituição das juntas de dilatação (2008);
- EN118 – Ponte da Foz ao km 116+780 – Substituição da obra de arte (2008);
- A23 – Reparação das juntas de dilatação das obras de arte existentes no troço entre Torres Novas e Abrantes (2007);

Elaboração de Projetos em  
Obras de Arte

- Uma passagem de peões, Tomar Pólis – *Estudo Prévio de Fundações e Estrutura* (2006);
- Oito passagens superiores e três passagens inferiores, Obras de Arte do IC6, Catraia Poços / Venda Galizes – *Projeto de Execução de Fundações e Estrutura* (2006);
- Uma passagem inferior e um viaduto, Obras de Arte de Sta Clara e São Martinho – *Projeto de Execução de Fundações e Estrutura* (2006);
- Duas passagens inferiores e uma passagem superior, SCUT do Grande Porto, Lote 6 – A42 / IC25: Paços de Ferreira / Nó da EN106 (Norte) – *Projeto de Execução de Fundações e Estrutura* (2004);
- Três passagens inferiores e um viaduto do IC9 – Nazaré / Alcobaca / EN1 - *Projeto de Execução de Fundações e Estrutura* (2004);

Elaboração de Projetos de  
Estruturas Enterradas e  
Obras de Contenção

- ETA Complexo da Boavista - *Projeto de Concurso de Fundações e Estrutura* (2007);
- ETAR de Faro - *Projeto de Concurso de Fundações e Estrutura* (2006);
- ETAR de Barreiro-Moita - *Projeto de Concurso de Fundações e Estrutura* (2006);
- ETAR da Quinta do Conde - *Projeto de Concurso de Fundações e Estrutura* (2006);
- ETAR de Serzedelo II - *Projeto de Concurso de Fundações e Estrutura* (2005);
- ETA do Rabagão - *Projeto de Concurso de Fundações e Estrutura* (2005);
- ETAR da Guia – Cascais - *Projeto de Licenciamento de Fundações e Estrutura* (2005);

Elaboração de Projetos de  
Edifícios

- EMPREENDIMENTO, Empreendimento Vila Verde – Santa Maria, Ilha do Sal, Cabo Verde – *Projeto de Execução de Fundações e Estrutura* (2007);
- IGREJA, Igreja da Misericórdia de Cascais - *Projeto de Remodelação da Estrutura* (2006);
- MORADIA, Carnaxide Lote 26, Lisboa - *Projeto de Execução de Fundações e Estrutura* (2006);
- HABITAÇÃO COLECTIVA, Urbanização da Fajã de Cima Lote 4, Açores - *Projeto de Execução de Fundações e Estrutura* (2006);
- HABITAÇÃO COLECTIVA, Urbanização da Arroja Lotes 21, 22 e 23, Odivelas - *Projeto de Execução de Fundações e Estrutura* (2005);
- HABITAÇÃO COLECTIVA, CDH Bairro da Esperança, Lotes 1 a 5, Beja - *Projeto de Execução de Fundações e Estrutura* (2005);
- HABITAÇÃO COLECTIVA, CDH Lagoa Lotes 1 a 33, Longueira Açores - *Projeto de Execução de Fundações e Estrutura* (2005);
- EDIFÍCIO, Edifício Seixal Baía, Seixal - *Projeto de Execução de Fundações e Estrutura* (2005);
- HABITAÇÃO COLECTIVA, CDH Relvas Lotes 1 a 22, São Miguel Açores - *Projeto de Execução de Fundações e Estrutura* (2005);
- EDIFÍCIO, Edifício da Mobiser, Belavista - *Projeto de Execução de Fundações e Estrutura* (2005);
- HABITAÇÃO COLECTIVA, CDH Ginetes Lote 9, São Miguel Açores – *Projeto de Execução de Fundações e Estrutura* (2004);
- BIBLIOTECA, Biblioteca do Vale da Amoreira, Moita – *Projeto de Execução de Especialidades e Ampliação* (2004);
- EDIFÍCIO, Edifício Sede da SGS Portugal, Lisboa – *Projeto de Execução de Fundações e Estrutura* (2004);