



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

INSPEÇÃO DE PONTES FERROVIÁRIAS EM ARCOS DE ALVENARIA

Relatório de Projeto

Nuno Alexandre dos Santos Lopes

Mestrado em Reabilitação Urbana

Tomar / Setembro / 2012



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Nuno Alexandre dos Santos Lopes

INSPEÇÃO DE PONTES FERROVIÁRIAS EM ARCOS DE ALVENARIA

Relatório de Projeto

Orientado por:

Prof. Doutora Cristina Costa – Instituto Politécnico de Tomar

Relatório de Projeto apresentada ao Instituto Politécnico de Tomar para
cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do Grau Mestre em
Reabilitação Urbana

*Aos meus pais, Maria e António,
Aos meus irmãos Tiago e Marta e,
À Dina.*

*Ao meu irmão Hugo,
Com Saudade*

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo analisar as questões relacionadas com a inspeção de pontes ferroviárias em arcos de alvenaria tendo em vista o desenvolvimento das atividades associadas a trabalhos desta natureza, nomeadamente, no que se refere à identificação e caracterização da tipologia e os aspetos básicos sobre o funcionamento das pontes de alvenaria, assim como, à identificação e análise dos danos e degradações frequentes que afetam estas pontes, no sentido de que a informação recolhida sobre o estado atual das pontes seja usada para, posteriormente, definir e implementar ações de manutenção e reabilitação de modo a garantir as condições de segurança, serviço e aparência aceitável durante a vida útil destas estruturas.

Neste contexto, é feita uma pesquisa sobre o estado da arte, tendo em conta as pontes existentes na rede ferroviária portuguesa, descrevendo os seus sistemas estruturais mais comuns e os seus componentes. Para este tipo de pontes são abordadas as metodologias usadas para inspeção e avaliação do seu estado atual, identificando-se os danos e as degradações frequentes e as opções subseqüentes de manutenção, reabilitação e reforço adotadas correntemente em Portugal.

Uma parte do trabalho é dedicada aos casos de estudo de inspeção de pontes em arco de alvenaria da Linha da Beira Alta e do Ramal de Viseu, com especial incidência sobre a ponte do Côa. Para este estudo contribuíram as campanhas de inspeção da REFER realizadas durante o ano de 2012 com o objetivo de avaliar o estado de conservação das obras de arte.

Para o caso da ponte do Côa, para além dos trabalhos relacionados com a inspeção do seu estado atual, foram realizados outros estudos envolvendo a caracterização histórica e geométrica da construção, a identificação das características dinâmicas da ponte através de ensaios de vibração ambiental realizados no local e a avaliação de fatores de segurança da ponte recorrendo a metodologias expeditas disponíveis na aplicação informática RING, que são incluídos também neste relatório.

ABSTRACT

The present study aims to examine issues related to the inspection of railway bridges in masonry arches in view of the development of the activities associated with work of this nature, particularly with regard to the identification and characterization of the typology and the basic aspects of the functioning of the masonry bridges, as well as the identification and analysis of damage and decay frequently affecting these bridges, in the sense that the information collected about the current state of the bridges is used to subsequently define and implement maintenance actions and rehabilitation in order to guarantee safety conditions, service and acceptable appearance during the service life of such structures.

In this context, a search is performed on the state of the art, taking into account the existing bridges in Portuguese railway network, describing their most common structural systems and their components. For this type of bridges are discussed the methodologies used for inspection and assessment of their current state, identifying the damage and degradation and subsequent options frequent maintenance, rehabilitation and strengthening commonly adopted in Portugal.

Some of the work is devoted to case studies of inspection of masonry arch bridges Line of Beira Alta and Extension of Viseu, focusing on the bridge of the Côa. For this study contributed to the campaigns of REFER inspection conducted during the year 2012 with the objective to assess the state of conservation of artworks.

For the case of the bridge Côa beyond the work related to inspection of its current state, other studies have been conducted involving the historical characterization and geometric construction, identification of the dynamic characteristics of the bridge by ambient vibration tests performed on site and evaluating the bridge safety factors using available methodologies expedite the computer application RING, which are also included herein.

AGRADECIMENTOS

À minha família e amigos pelo constante apoio e encorajamento, em especial aos meus pais Maria e António, aos meus irmãos Tiago e Marta, à Dina, por todo o amor, paciência, incentivo e dedicação, durante todos os momentos da realização deste trabalho.

À Professora Cristina Costa, pela sua dedicação na tarefa da orientação deste relatório, pelos conhecimentos transmitidos, pela confiança depositada, pelos inestimáveis conselhos e orientações, pela sua compreensão e por me proporcionar as melhores condições para a realização deste projeto.

Aos meus colegas do curso de Reabilitação Urbana, pela amizade e pelo constante e incondicional apoio e incentivo, durante todo os dois anos do curso.

Aos meus colegas das Estruturas e Projetos Especiais – Pontes, da REFER, pelo apoio e disponibilidade na troca de dados e informações que permitiram o desenvolvimento deste projeto.

Aos professores do Mestrado em Reabilitação Urbana, do Instituto Politécnico de Tomar, pelos seus ensinamentos durante o curso, que me permitiram chegar a esta fase do percurso.

À equipa do Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pela disponibilidade e empenho demonstrados durante a realização dos ensaios de vibração ambiental, da Ponte do Côa, na Linha da Beira Alta.

ÍNDICE

RESUMO	I
ABSTRACT	II
AGRADECIMENTOS	III
ÍNDICE.....	IV
INDICE DE ILUSTRAÇÕES	VII
INDICE DE TABELAS	XIV
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações Gerais.....	1
1.2 Enquadramento	2
1.3 Objetivos.....	5
1.4 Organização do Relatório	6
2 TIPOLOGIAS E SISTEMAS ESTRUTURAIS COMUNS DAS PONTES FERROVIÁRIAS EM ARCO DE ALVENARIA DE PEDRA.....	9
2.1 Considerações gerais.....	9
2.2 Aspetos gerais sobre as alvenarias das pontes ferroviárias.....	10
2.3 Componentes das pontes ferroviárias em arco de alvenaria	12
2.4 Classificação de Pontes de Alvenaria	36
3 ANOMALIAS E MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO EM PONTES EM ARCO DE ALVENARIA	43
3.1 Considerações iniciais.....	43
3.2 Anomalias e degradações localizadas nos elementos estruturais	47
3.2.1 Anomalias no arco	47
3.2.2 Anomalias nos pilares.....	49
3.2.3 Anomalias em encontros	50
3.2.4 Anomalias nos tímpanos.....	50

3.2.5	Anomalias em muros de ala e muros de avenida.....	52
3.2.6	Anomalias na fundação	53
3.3	Anomalias generalizadas dos materiais	55
4	INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE PONTES FERROVIÁRIAS.....	61
4.1	Introdução	61
4.2	Gestão das pontes ferroviárias da rede nacional	65
4.3	Inventário das obras de arte	67
4.4	Inspeção de pontes ferroviárias (da REFER).....	72
4.5	Manutenção de Pontes Ferroviárias de Alvenaria	84
4.6	Casos de estudo de inspeções em pontes em arco de alvenaria.....	88
4.6.1	Considerações iniciais	88
4.6.2	Resultados globais das inspeções nas Linha da Beira Alta e Ramal de Viseu	91
4.6.3	Inspeção das pontes em arco de alvenaria da Linha da Beira Alta.....	93
4.6.4	Inspeção das pontes em arco de alvenaria do Ramal de Viseu	101
5	CASO DE ESTUDO DA PONTE DO CÔA	113
5.1	Enquadramento	113
5.2	Descrição geral da ponte.....	114
5.3	Inspeção da Ponte do Côa.....	124
5.4	Caracterização geométrica.....	127
5.5	Ensaio de Vibração Ambiental	131
5.5.1	Considerações iniciais	131
5.5.2	Técnica do ensaio	137
5.5.3	Características dinâmicas medidas “ <i>in situ</i> ”	142
5.6	Calibração do modelo numérico	145
5.6.1	Modelo numérico FEM	145

5.6.2	Características dinâmicas calculadas.....	147
5.6.3	Considerações finais.....	152
5.7	Avaliação de segurança recorrendo a métodos simplificados.....	153
5.7.1	Considerações iniciais.....	153
5.7.2	Objetivo do cálculo e introdução de dados.....	154
5.7.3	Aplicação à Ponte do Côa.....	156
6	CONCLUSÕES.....	159
	BIBLIOGRAFIA.....	163
	ANEXOS.....	165
	ANEXO 1 - Tipologias e sistemas estruturais comuns em pontes ferroviárias.....	167
	ANEXO 2 - Relatório de Inspeção da Ponte do Côa, Linha da Beira Alta.....	171
	ANEXO 2 - Avaliação do Fator de Segurança do Viaduto de Durrães, utilizando o programa LimitState RING 3.0.....	189

INDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Pontes Ferroviárias notáveis em Alvenaria.....	4
Figura 2 – Pontes Ferroviárias Metálicas notáveis.....	4
Figura 3 – Pontes Ferroviárias notáveis recentes	5
Figura 4 – Exemplos de pontes em arco existentes na infraestrutura ferroviária de Portugal.....	10
Figura 5 – Tipologias das alvenarias de pedra das pontes (C. Costa 2009)	12
Figura 6 – Representação esquemática dos componentes das pontes em arco de alvenaria de pedra [adotado de (C. Costa 2009)]	16
Figura 7 – a) Muro de ala; b) Muro de avenida; c) Muro de contenção.....	17
Figura 8 – Exemplos de Muro Tímpano.....	18
Figura 9 – Exemplos de taludes.....	19
Figura 10 – Exemplos de encontros em pontes ferroviárias.....	19
Figura 11 – Exemplos de pilares em pontes ferroviárias.....	20
Figura 12 – Pormenor de talhantes e quebrantes em pontes ferroviárias	20
Figura 13 – Exemplos de pontes em arcos simples semicirculares.....	22
Figura 14 – Exemplos de pontes em arcos múltiplos semicirculares	22
Figura 15 – Exemplos de pontes em arcos abatidos.....	22
Figura 16 – Exemplos de pontes em arcos segmentais	22
Figura 17 – Exemplos de pontes com sistema de arco principal e arcos secundários....	23
Figura 18 – Pormenor dos Arcos com molduras	23
Figura 19 – Infraestrutura e superestrutura da via (REFER 2009).....	25
Figura 20 – Esquema com a configuração tipo da plataforma da via.....	26
Figura 21 – Esquema do encontro com a obra de arte (REFER 2009)	26
Figura 22 – Dimensões usuais das travessas de madeira (REFER 2009)	27
Figura 23 – Tipos de travessas de betão (REFER 2009).....	28

Figura 24 – Tipos de carril (REFER 2009)	29
Figura 25 – Tipos de fixações de carril (REFER 2009)	30
Figura 26 – Tipos de aparelhos de via (REFER 2009).....	32
Figura 27 – Tipos de muretes guarda-balastro	33
Figura 28 – Tipos de passeios de pontes ferroviárias.....	33
Figura 29 – Tipos de guarda corpos	34
Figura 30 – Drenagem em pontes de alvenaria	34
Figura 31 – Juntas de dilatação em pontes de alvenaria.....	35
Figura 32 – Exemplos de outros componentes.....	36
Figura 33 – Exemplos de Passagens Hidráulicas	37
Figura 34 – Exemplos de Passagens Inferiores	38
Figura 35 – Exemplos de Pontes	39
Figura 36 – Exemplos de Viadutos.....	39
Figura 37 – Exemplos de Passagens Superiores.....	40
Figura 38 – Fendilhação longitudinal e transversal no arco (Catalán e Álamo 2006) ...	48
Figura 39 – Queda de pedras de um arco de alvenaria de pedras (Catalán e Álamo 2006)	48
Figura 40 – Falhas mecânicas em pontes de alvenaria.....	49
Figura 41 – Anomalias nos pilares (Catalán e Álamo 2006).....	50
Figura 42 – Anomalias nos encontros (Catalán e Álamo 2006).....	50
Figura 43 – Anomalias nos tímpanos (a) (Catalán e Álamo 2006)	51
Figura 44 – Anomalias nos tímpanos (b) (Catalán e Álamo 2006).....	52
Figura 45 – Anomalias em muros de ala e muros de avenida (Catalán e Álamo 2006)	53
Figura 46 – Exemplos de degradação do material de fundação (Catalán e Álamo 2006).	53

Figura 47 – Perda de estabilidade da fundação devido a alterações no leito do rio (Catalán e Álamo 2006).....	54
Figura 48 – Anomalias decorrentes de problemas nas fundações (Catalán e Álamo 2006).....	54
Figura 49 – Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água (C. Costa 2009)	55
Figura 50 – Exemplos de manchas negras e filmes negros(Catalán e Álamo 2006).....	55
Figura 51 – Exemplos de depósitos de origem biológica (C. Costa 2009)	56
Figura 52 – Exemplos de eflorescências (Catalán e Álamo 2006).....	56
Figura 53 – Exemplos de crostas de carbonato de cálcio (Catalán e Álamo 2006)	56
Figura 54 – Exemplos de dissolução da pedra (C. Costa 2009).....	57
Figura 55 – Alveolização (Catalán e Álamo 2006).....	57
Figura 56 – Perda de argamassa das juntas (C. Costa 2009).....	57
Figura 57 – Delaminação (Catalán e Álamo 2006).....	58
Figura 58 – Desalinhamentos e destacamentos de pedras nas alvenarias (Catalán e Álamo 2006).....	58
Figura 59 – Rotura por elementos de vegetação(Catalán e Álamo 2006).....	58
Figura 60 – Atos de vandalismo (Catalán e Álamo 2006)	59
Figura 61 – Impactos de veículos (Catalán e Álamo 2006)	59
Figura 62 – Técnicas especiais de inspeção de pontes (Patrício 2009).....	76
Figura 63 - Inspeção subaquática de pontes	77
Figura 64 – Imagens termográficas do Viaduto de Durrães	78
Figura 65 – Nivelamento geométrico de precisão	79
Figura 66 – Ponte de Aregos, Linha do Douro.....	79
Figura 67 – Localização dos pontos de leitura de nivelamentos geométricos em pontes em arco de alvenaria	80
Figura 68 – Resultados da campanha de nivelamentos geométricos na Ponte de Aregos	80

Figura 69 – Levantamento batimétrico da Ponte de Aregos, na Linha do Douro	82
Figura 70 – Imagens sonar subaquático da Ponte de Arêgos	83
Figura 71 – Exemplos de técnicas de manutenção corrente	85
Figura 72 – Exemplos de técnicas de ações corretivas.....	85
Figura 73 – Exemplos de técnicas de manutenção preventiva	87
Figura 74 – Exemplos de técnicas de manutenção corretiva.....	88
Figura 75 – Ponte do Coval	94
Figura 76 – Anomalias na ponte do Coval	94
Figura 77 – PH ao Pk 153+205	95
Figura 78 – Exemplos de danos no PH ao Pk 153+205	96
Figura 79 – PH ao Pk 178+436	96
Figura 80 – Danos no PH ao Pk 178+436	97
Figura 81 – PH ao Pk 224+986	97
Figura 82 – Danos no PH ao Pk 224+986	98
Figura 83 – Ponte de Noémi ao Pk 236+420.....	98
Figura 84 – Danos na Ponte de Noémi ao Pk 236+420.....	99
Figura 85 – PS ao Pk 072+104	100
Figura 86 – Danos na PS ao Pk 106+100	100
Figura 87 – PS ao Pk 117+976	101
Figura 88 – PH ao Pk 065+603	101
Figura 89 – Danos no PH ao Pk 065+603	102
Figura 90 – Exemplos de danos no PH ao Pk 065+630	103
Figura 91 – Ponte do Poço de Santiago ao Pk 070+168.....	104
Figura 92 – Danos na Ponte do Poço de Santiago ao Pk 070+168.....	105
Figura 93 – PH ao Pk 085+482	105
Figura 94 – Danos no PH ao Pk 085+482	106

Figura 95 – Ponte dos Melos ao Pk 092+561	106
Figura 96 – Danos na ponte dos Melos ao Pk 092+561	107
Figura 97 – Ponte do Forno ao Pk 093+249	108
Figura 98 – Exemplos de danos na Ponte do Forno ao Pk 093+249	109
Figura 99 – Ponte do Pego ao Pk 111+802	109
Figura 100 – Exemplos de danos na Ponte do Pego ao Pk 111+802	110
Figura 101 – Ponte de S. Pedro do Sul ao Pk 113+722.....	111
Figura 102 – Exemplos de danos na Ponte de S. Pedro do Sul ao Pk 113+722.....	112
Figura 103 – Projeto de construção da ponte metálica sobre o rio Côa, Linha da Beira Alta (1882).....	114
Figura 104 – Propostas de construção da nova ponte do Côa na localização inicial ...	115
Figura 105 – Propostas de construção da nova ponte do Côa em arcos de alvenaria ..	116
Figura 106 – Projeto de Construção da Ponte do Côa, Linha da Beira Alta	117
Figura 107 – Projeto de exploração da pedreira do Rochoso, Guarda	118
Figura 108 – Modelo 3D detalhado da Ponte do Côa.....	123
Figura 109 – Imagens e Projeto de Construção da Ponte da Quinta Nova, Linha do Alentejo	124
Figura 110 – Apresentação resumida do relatório de Inspeção Principal no GOA, da Ponte do Côa, Linha da Beira Alta	125
Figura 111 – Anomalias detetadas no arco, encontros e pilares da ponte do Côa.....	126
Figura 112 – Anomalias detetadas no guarda-corpos da ponte do Côa.....	127
Figura 113 – Planta geral e perfil longitudinal da Ponte do Côa.....	128
Figura 114 – Planta, corte e alçado da Ponte do Côa	128
Figura 115 – Detalhe das alvenarias da ponte do Côa.....	129
Figura 116 – Detalhe das cantarias da ponte do Côa.....	129
Figura 117 – Modelo 3D simplificado da Ponte do Côa	129

Figura 118 – Modelo 3D detalhado da Ponte do Côa.....	130
Figura 119 – Detalhes do modelo 3D da Ponte do Côa.....	131
Figura 120 – Técnicas do ensaio de vibração ambiental.....	138
Figura 121 – Metodologia do ensaio de vibração ambiental.....	139
Figura 122 – Metodologia do ensaio de vibração ambiental – Setup 1.....	140
Figura 123 – Metodologia do ensaio de vibração ambiental – Setup 2.....	140
Figura 124 – Metodologia do ensaio de vibração ambiental – Setup 3.....	141
Figura 125 – Metodologia do ensaio de vibração ambiental – Setup 4.....	141
Figura 126 – Metodologia do ensaio de vibração ambiental – Setup 5.....	142
Figura 127 – Metodologia do ensaio de vibração ambiental – Setup 6.....	142
Figura 128 – Resultado da aplicação do programa ARTEMIS, para $F=1.15$ Hz (modo transversal).....	143
Figura 129 – Resultado da aplicação do programa ARTEMIS, para $F=1.56$ Hz (modo transversal).....	143
Figura 130 – Resultado da aplicação do programa ARTEMIS, para $F=2.14$ Hz (modo transversal).....	144
Figura 131 – Resultado da aplicação do programa ARTEMIS, para $F=2,78$ Hz (modo transversal).....	144
Figura 132 – Resultado da aplicação do programa ARTEMIS, para $F=3.40$ Hz (modo transversal).....	144
Figura 133 – Geometria simplificada considerada na análise elástica.....	146
Figura 134 – Malha de elementos finitos.....	146
Figura 135 – 1º Modo de vibração (Freq. N.º1 = 1.1344 Hz).....	148
Figura 136 – 2º Modo de vibração (Freq. N.º2 = 1.7103Hz).....	149
Figura 137 – 3º Modo de vibração (Freq. N.º3 = 2.4343Hz).....	149
Figura 138 – 4º Modo de vibração (Freq. N.º4 = 3.1839Hz).....	150
Figura 139 – 5º Modo de vibração (Freq. N.º5 = 3.6638Hz).....	150

Figura 140 – 6° Modo de vibração (Freq. N.º6 = 3.9879Hz)	151
Figura 141 – 7° Modo de vibração (Freq. N.º7 = 4.9848Hz)	151
Figura 142 – 8° Modo de vibração (Freq. N.º8 = 5.420Hz)	152
Figura 143 – Principais danos observados no LimitState RING 3.0.....	154
Figura 144 – Exemplo da limitação geométrica do programa LimiteState Ring 3.0 ...	155
Figura 145 – Modelo de carga e valores característicos para cargas verticais.....	156
Figura 146 – Modelo de avaliação do fator de segurança do arco maior (38m) da Ponte do Côa, no programa RING.....	157
Figura 147 – Resultados da avaliação do fator de segurança, da Ponte de Côa, no programa LimiteState Ring 3.0	158
Figura 148 – Sistemas estruturais de Pontes	167
Figura 149 – Exemplos de Pontes em Viga.....	168
Figura 150 – Exemplos de Pontes em Arco	168
Figura 151 – Exemplos de Pontes de cabos	169
Figura 152 – Modelação do Viaduto de Durrães, do programa LimiteState Ring 3.0.	189
Figura 153 – Modelo de carga e valores característicos para cargas verticais.....	189
Figura 154 – Resultados da avaliação do fator de segurança, do Viaduto de Durrães, no programa LimiteState Ring 3.0	190

INDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Componentes da Obra de Arte.....	15
Tabela 2 – Comprimento total das obras de arte em arcos de alvenaria	41
Tabela 3 – Tipos de anomalias estruturais localizadas nos componentes das pontes	44
Tabela 4 – Processos de degradação estrutural das anomalias frequentes	45
Tabela 5 – Classificação das ações que têm efeito nas anomalias estruturais.....	45
Tabela 6 – Anomalias frequentes do material	46
Tabela 7 – Processos de deterioração e degradação do material.....	46
Tabela 8 – Classificação das ações com efeitos nas anomalias generalizadas do material	47
Tabela 9 - Inventário de obras de arte por entidade responsável.....	68
Tabela 10 - Inventário de obras de arte por situação administrativa.....	68
Tabela 11 - Inventário de obras de arte por material.....	69
Tabela 12 - Inventário de obras de arte em alvenaria por entidade responsável.....	69
Tabela 13 - Inventário de obras de arte em alvenaria por distrito	69
Tabela 14 - Inventário de obras de arte de alvenaria por linha.....	70
Tabela 15 - Inventário de obras de arte por função e por linha.....	71
Tabela 16 - Inventário de obras de arte por função e por linha.....	72
Tabela 17 - Tipos e ciclo das inspeções realizadas na rede ferroviária nacional	73
Tabela 18 – Índices de gravidade das anomalias (Clemente 2001).....	74
Tabela 19 - Obras de arte (OA) em alvenaria inspecionadas na Linha da Beira Alta. Distribuição por função da AO, índices de avaria (IA) e entidade responsável.....	91
Tabela 20 - Obras de arte (OA) em alvenaria inspecionadas no Ramal de Viseu. Distribuição por função da AO, índices de avaria (IA) e entidade responsável.....	92
Tabela 21 – Casos de estudo de obras de arte em alvenaria na Linha da Beira Alta	92
Tabela 22 - Casos de estudo de obras de arte em alvenaria na Ramal de Viseu	93

Tabela 23 – Classificação de componentes da Ponte do Côa, por índice de avaria	126
Tabela 24 – Intervalos de tempo disponíveis na circulação ferroviária na Linha da Beira Alta, para os dias do ensaio de vibração ambiental	133
Tabela 25 – Planeamento dos intervalos de tempo na circulação ferroviária na Linha da Beira Alta, para acesso à ponte no 2º dia de execução do ensaio de vibração ambiental	134
Tabela 26 – Planeamento dos comboios a utilizar para a realização de leituras durante o ensaio de vibração	134
Tabela 27 – Planeamento dos trabalhos para o 1º dia de execução do ensaio de vibração	135
Tabela 28 – Planeamento dos trabalhos para o 2º dia de execução do ensaio de vibração	135
Tabela 29 – Frequências e tipos de modos de vibração determinados numericamente	148
Tabela 30 – Frequências e tipos de modos de vibração determinados pelo modelo numérico e pelo modelo experimental.....	153
Tabela 31 – Propriedades dos materiais	156
Tabela 32 – Resumo dos resultados obtidos para o fator de segurança da Ponte do Côa	157
Tabela 33 – Propriedades dos materiais	189
Tabela 34 – Resumo dos resultados obtidos para o fator de segurança do Viaduto de Durrães	190

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais

A rede ferroviária nacional é constituída por um vasto património de pontes, existindo mais de 2.500 Obras de Arte de variados esquemas estruturais e materiais constituintes, nomeadamente, betão armado, alvenaria, em estrutura metálica e mistas, apresentando diferentes idades e exposição a diferentes tipos de agressividades.

No que respeita ao caso particular das pontes de alvenaria, a rede ferroviária nacional contabiliza um total de 845 pontes constituídas por este tipo de material, tendo estas pontes funções e esquemas estruturais diversificados.

As pontes ferroviárias estão sujeitas a ações variadas que podem desencadear diferentes processos de degradação. Neste contexto, é fundamental desenvolver ações de inspeção, manutenção e reabilitação que garantam um nível adequado de segurança, compatível com a utilização em causa.

Os problemas da degradação das pontes antigas construídas em alvenaria de pedra devem-se, em grande parte, à falta de inspeção e manutenção periódicas adequadas. O estado de conservação e a avaliação da segurança das pontes existentes são temas atuais que têm suscitado uma crescente preocupação em toda a sociedade e, em particular, por parte das autoridades competentes, quer seja em Portugal como em todo o espaço Europeu.

Neste sentido, a implementação de adequado sistema de gestão das obras de arte existentes nas redes de infraestruturas ferroviárias, permite contribuir para otimizar as ações previstas no planeamento, inspeção, manutenção e reabilitação das pontes.

A gestão do estado de conservação das obras de arte inclui a realização de inspeções periódicas com vista a identificar as anomalias presentes nas mesmas, e posteriormente, ativar procedimentos que garantam a adequada durabilidade das estruturas e a sua aptidão para desempenharem as funções para as quais foram projetadas.

Estas inspeções, apoiadas por ensaios e monitorização, permitem acompanhar a evolução do estado de conservação e o aparecimento de anomalias nas obras de uma forma mais rigorosa e precisa.

No presente relatório são abordadas, para o caso particular das pontes em arco de alvenaria de pedra da rede ferroviária nacional, as metodologias de inspeção e avaliação atuais, os danos e degradações mais frequentes e as técnicas de manutenção e reabilitação existentes mais comuns para este tipo de pontes.

Como é amplamente reconhecido, as anomalias e os mecanismos de degradação que ocorrem nas estruturas existentes dependem do tipo de sistema estrutural e do material aplicado. Neste contexto, tendo em consideração o vasto património de pontes existentes na rede ferroviária nacional, do qual fazem parte também as pontes em betão armado e pontes metálicas, para além das pontes construídas em arcos de alvenaria que constituem o tema de estudo deste trabalho, inclui-se em anexo neste trabalho, no Anexo 1, os aspetos básicos sobre as tipologias e sistemas estruturais comuns em pontes ferroviárias constituídas pelos três tipos de materiais: betão armado, alvenaria e metal.

1.2 Enquadramento

A construção, manutenção, inspeção, reabilitação e reforço das pontes ferroviárias existentes na rede ferroviária nacional constitui uma responsabilidade da empresa Rede Ferroviária Nacional - REFER, EPE (REFER). Esta empresa pública foi criada pelo Decreto-Lei n.º 104/97 de 29 de Abril e, no organograma oficial do estado, reporta à Secretaria de Estado dos Transportes.

O objetivo principal da REFER consiste na gestão da infraestrutura integrante da rede ferroviária nacional e no desenvolvimento de atividades de acordo com os princípios de modernização e eficácia, de modo a assegurar o regular e contínuo fornecimento do serviço público de transporte ferroviário.

Incluem-se ainda nos objetivos da REFER, a construção, instalação e renovação da infraestrutura ferroviária, compreendendo, designadamente, o respetivo estudo, planeamento e desenvolvimento, o comando e controlo da circulação e a promoção,

coordenação, desenvolvimento e controlo de todas as atividades relacionadas com a infraestrutura ferroviária.

A criação da REFER resultou da necessidade de adaptar o caminho-de-ferro português às exigências do Mercado Único para aumento da eficácia do serviço público e saneamento da estrutura financeira das empresas de transporte ferroviário, através da separação entre a gestão da infraestrutura ferroviária e a exploração dos serviços de transporte ferroviário.

A adoção deste modelo tem por base clarificar os diferentes níveis de competência no sector ferroviário e compreende atualmente diferentes entidades, nomeadamente, a Entidade Reguladora do Sector do Caminho-de-Ferro (INTF - Instituto Nacional do Transporte Ferroviário), o Gestor da Infraestrutura Ferroviária (REFER) e os operadores ferroviários (CP – Comboios de Portugal, EPE e FERTAGUS).

Para além do referido anteriormente, a REFER tem como finalidade, a gestão da rede ferroviária nacional, nas suas vertentes de construção, conservação, preservação do património e gestão de capacidades, pelo que, do ponto de vista dos seus objetivos, pretende: disponibilizar ao mercado uma rede ferroviária fiável e de qualidade, na perspetiva da otimização do serviço ao cliente; modernizar a empresa, quer tecnologicamente, quer pelo desenvolvimento das suas pessoas e da sua organização; garantir a disponibilidade da rede e a integridade do património; garantir a eficácia social, económica e financeira da empresa; garantir novas oportunidades de negócio e proporcionar ao mercado uma infraestrutura de transporte competitiva, gerindo e desenvolvendo uma rede ferroviária eficiente e segura, no respeito pelo meio ambiente (REFER-EPE 2012).

No que se respeita ao inventário de pontes ferroviárias, na rede ferroviária nacional existem 2592 pontes, das quais 845 são em alvenaria, 661 são metálicas e 1086 são em betão armado e/ou pré-esforçado e mistas (betão armado e aço em perfil), integrando estas algum do património ferroviário mais relevante do País.

Alguns dos exemplos mais notáveis de pontes em alvenaria existentes na rede ferroviária nacional são o Viaduto de Durrães na Linha do Minho (1890) (Figura 1a),

com 16 arcos numa extensão de 255 metros, a Ponte do Poço de Santiago no Ramal de Viseu (1913) (Figura 1b), que ostenta o maior arco de alvenaria com uma abertura de 55 metros, e a Ponte do Tâmega na Linha do Douro (1931) (Figura 1c), com 264 metros de comprimento, sendo esta a de maior dimensão.

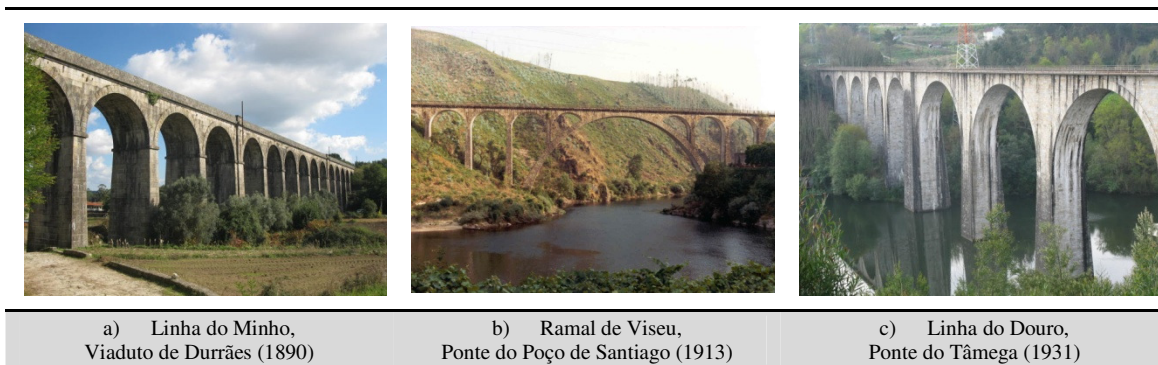


Figura 1 – Pontes Ferroviárias notáveis em Alvenaria

No que respeita às pontes metálicas a mais antiga é a Ponte do Lima, na Linha do Minho (1878) (Figura 2a), projetada na Casa Eiffel e recentemente reabilitada, e a mais alta é a Ponte de São Pedro na Linha da Beira Baixa (1889), com 64 metros (Figura 2b).

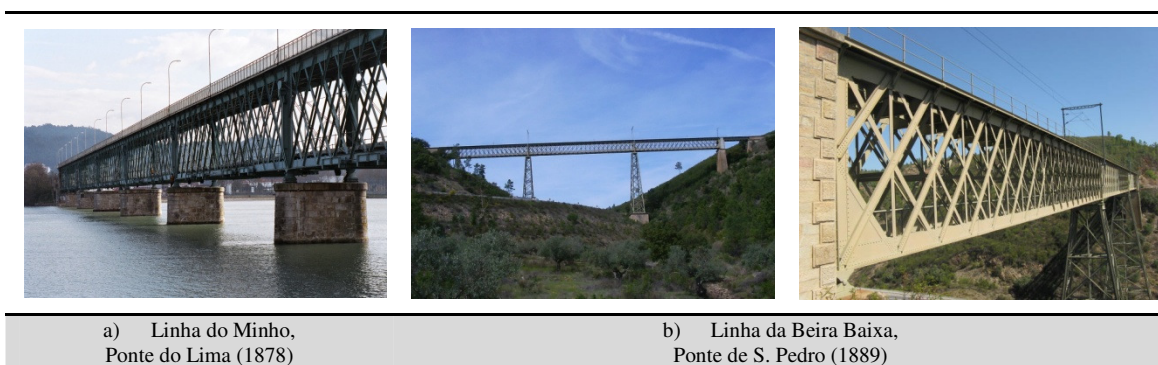


Figura 2 – Pontes Ferroviárias Metálicas notáveis

A nova Variante de Alcácer do Sal, na Linha do Sul inclui a ponte ferroviária de construção mais recente (2010), com 2735 metros de comprimento, constituindo o maior atravessamento exclusivamente ferroviário em Portugal (Figura 3).



Linha do Sul,
Variante de Alcácer do Sal

Figura 3 – Pontes Ferroviárias notáveis recentes

Às pontes exige-se que sejam seguras, duráveis e não acusam a fadiga da idade para garantir que o tráfego ferroviário se processe sem restrições e nas condições de segurança e conforto previstas.

Neste contexto, a REFER realiza ações periódicas de inspeção das pontes ao serviço ferroviário, recorrendo à deteção de anomalias por reconhecimento visual detalhado das estruturas, ensaios não destrutivos, levantamentos topográficos e hidrográficos, nivelamentos e inspeções subaquáticas, o que permite que a manutenção e, sempre que justificado, as intervenções mais profundas de reabilitação e reforço, beneficiem de um planeamento que minimize as interferências com a circulação.

Para além disso, com os trabalhos de manutenção também realizados pela REFER, reduz-se a probabilidade de existência de avarias e mantém-se a vida útil das pontes num estado estacionário, através de ações de limpeza geral das estruturas, proteção das fundações de pilares e encontros, impermeabilização de tabuleiros, incluindo reforço ou substituição de componentes da ponte para reposição das condições iniciais de serviço (REFER-Pontes 2012).

1.3 Objetivos

Com a realização do presente relatório pretende-se alcançar os seguintes objetivos:

- Identificar as tipologias e sistemas estruturais comuns de pontes ferroviárias em arcos de alvenaria de pedra.

- Descrever e identificar as anomalias e mecanismos de degradação que afetam as pontes ferroviárias em arco de alvenaria.
- Descrever e analisar os modelos de gestão e inspeção aplicados na rede ferroviária nacional.
- Aplicar os modelos de inspeção a um conjunto restrito de pontes em arco de alvenaria existentes na rede ferroviária nacional.
- Aplicar um conjunto de metodologias específicas ao caso de estudo da ponte do Côa visando: *i*) a identificação dos diversos componentes da ponte e sua organização estrutural; *ii*) a avaliação do estado da ponte através de inspeção visual; *iii*) a construção de um modelo CAD tridimensional para suporte do modelo estrutural para análise do comportamento da ponte sob a ação do tráfego; *iv*) a realização de ensaios de vibração ambiental para caracterização dinâmica da estrutura e calibração dos modelos numéricos da ponte e *v*) a avaliação da carga de colapso da ponte recorrendo a metodologias expeditas disponíveis na aplicação informática RING.

1.4 Organização do Relatório

Para além do presente capítulo, no qual é realizada a introdução ao tema do projeto, através da apresentação de considerações gerais, enquadramento e objetivos do relatório, este trabalho é constituído por mais quatro capítulos.

No segundo capítulo apresenta-se uma descrição das tipologias e dos sistemas estruturais comuns de pontes ferroviárias em arco de alvenaria de pedra sendo para o efeito identificados também os componente destas pontes.

O terceiro capítulo é dedicado ao estudo das anomalias e mecanismos de degradação que afetam as pontes em arco de alvenaria, descrevendo-se para este tipo de pontes os critérios de classificação e os tipos de defeitos básicos, anomalias e mecanismos de degradação mais frequentes.

No quarto capítulo são apresentados os critérios relacionados com as atividades de inspeção e manutenção realizadas no contexto do sistema de gestão de pontes ferroviárias existentes na rede de infraestruturas portuguesas. São também apresentados os resultados das campanhas de inspeções das pontes da Linha da Beira Alta e do Ramal de Viseu, realizadas durante o ano de 2012 pela brigada de inspeção da REFER, a qual integra uma equipa de inspetores que inclui o autor deste relatório.

O quinto capítulo é dedicado ao caso de estudo da ponte do Côa sendo descritas as aplicações realizadas no contexto deste trabalho que consistiram: *i)* na recolha de dados sobre a construção, a geometria e o sistema estrutural, *ii)* na inspeção visual de danos e degradações, *iii)* na realização de ensaios de vibração ambiental e *iv)* na avaliação de segurança recorrendo a metodologias simplificadas. Estes trabalhos inserem-se no âmbito de uma linha de investigação mais abrangente e detalhada sobre este tipo de pontes, em curso na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e no Instituto Politécnico de Tomar (IPT) com o apoio da REFER e do Centro de Estudos da Construção I&D da FEUP.

No sexto e último capítulo, são apresentadas as conclusões do presente relatório.

Este relatório inclui ainda dois anexos nos quais são apresentados as tipologias e sistemas estruturais comuns em toda a rede ferroviária nacional (Anexo 1), o relatório de inspeção da ponte do Côa com o formato do Sistema de Gestão de Pontes SGOA (Anexo 2) e avaliação do fator de segurança do Viaduto de Durrães, utilizando o programa *LimitState RING 3.0* (Anexo 3)

2 TIPOLOGIAS E SISTEMAS ESTRUTURAIS COMUNS DAS PONTES FERROVIÁRIAS EM ARCO DE ALVENARIA DE PEDRA

2.1 Considerações gerais

A construção de diferentes tipologias e sistemas estruturais de pontes que podemos observar no património ferroviário foi desde sempre influenciada por vários fatores, tais como, os materiais e tecnologias empregues e o conhecimento da época, associados aos diferentes desafios impostos pelos condicionalismos topográficos e aos meios económicos existentes.

De entre a variedade de sistemas estruturais de pontes existentes nas infraestruturas ferroviárias é possível distinguirem-se de três grandes grupos de pontes: as pontes em viga, as pontes de cabos e as pontes em arco. Em qualquer um destes tipos, naturalmente, podem utilizar-se os diferentes materiais mais comuns para a construção destas pontes: a pedra, o aço e o betão.

Dos diversos sistemas estruturais e materiais referidos anteriormente, constitui o tema deste trabalho o caso as pontes em arco de alvenaria de pedra, para as quais é feita neste capítulo uma descrição pormenorizada das tipologias e sistemas estruturais comuns na rede ferroviária nacional.

No Anexo 1 inclui-se ainda, a título complementar, um breve resumo sobre as tipologias e sistemas estruturais comuns existentes na rede ferroviária considerando os três tipos de pontes e materiais referidos anteriormente.

De entre os tipos de pontes mencionados, as pontes em arco de alvenaria de pedra representam uma das tipologias mais frequentes e de maior longevidade na rede ferroviária nacional, como são exemplos as pontes ferroviárias ilustradas na Figura 4.

As estruturas em arco, devido à sua forma curvilínea, desenvolvida segundo a linha de pressões, funcionam essencialmente à compressão (C. Costa 2009), por conseguinte, este é o tipo estrutural mais apropriado para os materiais de construção que apresentam bom comportamento em compressão como é o caso da alvenaria de pedra.

Nas pontes em alvenaria de pedra, o arco é utilizado como elemento fundamental no sistema estrutural de suporte do tabuleiro. Esse elemento é usado para vencer o vão entre pilares e/ou encontros e funcionar como elemento de suporte do tabuleiro.

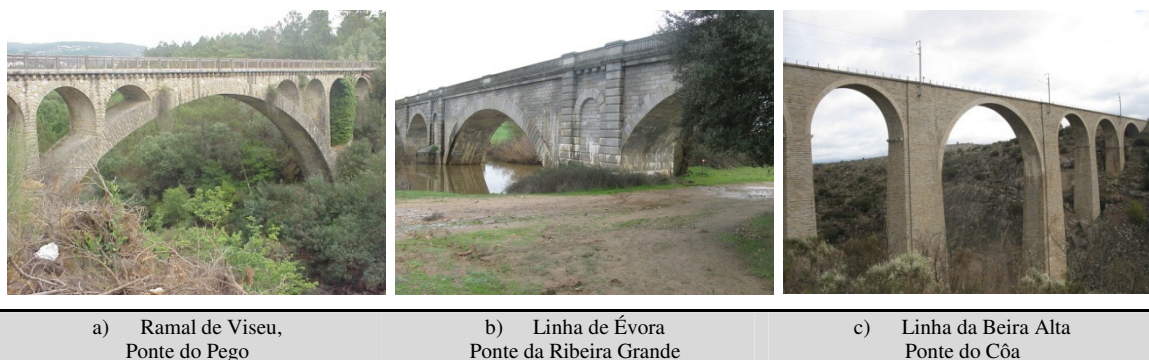


Figura 4 – Exemplos de pontes em arco existentes na infraestrutura ferroviária de Portugal

Com vista à caracterização das diferentes tipologias e sistemas estruturais de pontes ferroviárias em arco de alvenaria de pedra, descrevem-se nas secções seguintes os tipos de alvenarias mais utilizadas na construção destas pontes (secção 2.2), os diversos componentes do sistema estrutural (secção 2.3) e o sistema de classificação das obras de arte, usado na REFER, que tem em conta a função da obra na infraestrutura ferroviária (secção 2.4).

2.2 Aspectos gerais sobre as alvenarias das pontes ferroviárias

As alvenarias das pontes em arco de pedra são constituídas por blocos de pedra natural associados entre si com interposição de juntas que podem conter ou não argamassa de ligação constituindo um material anisotrópico, heterogéneo, com descontinuidades (C. Costa 2009).

Sob o ponto de vista da descrição do comportamento mecânico dos materiais, a alvenaria é controlada pelas propriedades mecânicas dos seus constituintes, blocos e argamassa de interposição (se existir) e das interfaces entre os diversos elementos. As juntas constituem planos de descontinuidades e fraqueza da alvenaria onde pode ocorrer abertura/fecho e escorregamento, pelo que, para além dos condicionantes materiais, a sua dimensão, orientação e posição relativa interferem significativamente no

comportamento da alvenaria na medida em que afetam a sua anisotropia e heterogeneidade (C. Costa 2009).

Para além dos fatores já referidos o estado de tensão e a diferença relativa das propriedades elásticas dos blocos e argamassa são outros fatores que influenciam o comportamento da alvenaria. Uma descrição mais pormenorizada sobre o comportamento mecânico das alvenarias pode ser encontrada na bibliografia (C. Costa 2009).

Neste contexto, é usual distinguir as alvenarias em função do tipo de interfaces existentes, conforme se pode observar na Figura 5, consoante se tratem de alvenarias de juntas argamassadas constituídas por blocos regulares ou irregulares ligados por argamassa ou de alvenarias de juntas secas constituídas apenas por blocos, portanto, sem argamassa entre eles. Tendo-se no primeiro caso interfaces de ligação do tipo bloco-argamassa e no segundo interface de ligação do tipo bloco-bloco (C. Costa 2009).

O aparelho dos vários paramentos exteriores das pontes em arco de alvenaria pode então constituir tipologias diversas de alvenaria de pedra aparelhada regular ou irregular, com ou sem preenchimento de argamassa nas juntas. Em geral nas pontes de alvenaria os arcos e os pilares são constituídos por aparelhos de pedra regulares, existindo maior dispersão de tipologias nos tímpanos (C. Costa 2009).

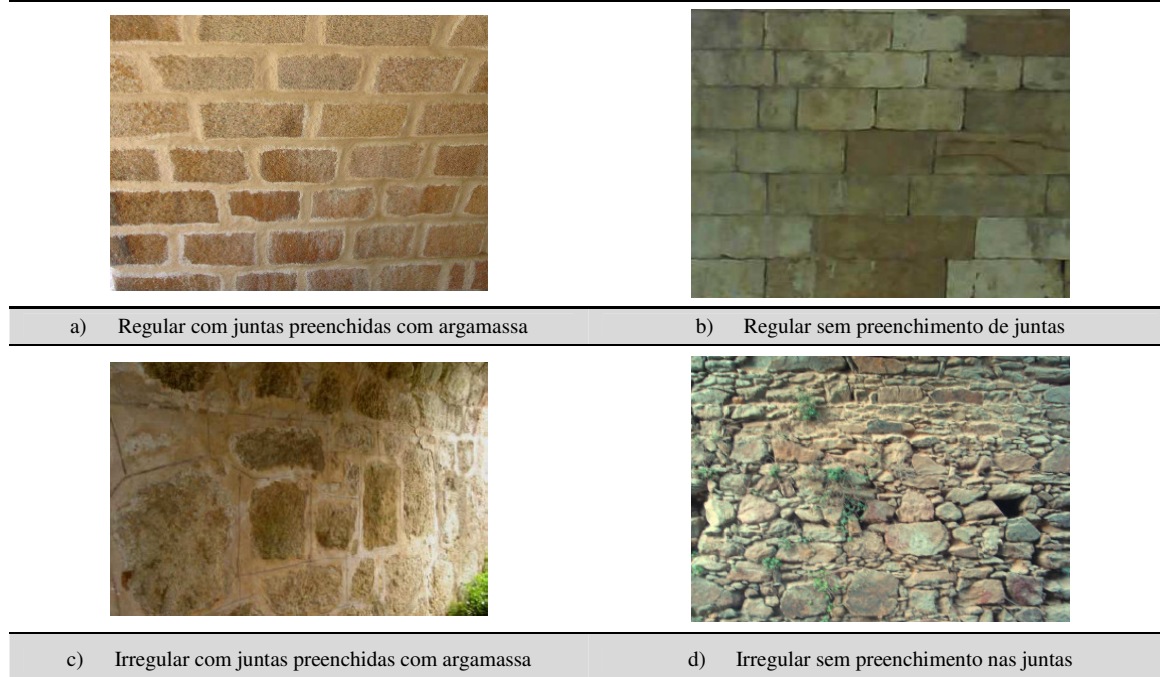


Figura 5 – Tipologias das alvenarias de pedra das pontes (C. Costa 2009)

2.3 Componentes das pontes ferroviárias em arco de alvenaria

O sistema estrutural das pontes em arco de alvenaria de pedra é constituído essencialmente por dois tipos de materiais, a alvenaria e o material de enchimento. Trata-se de materiais heterogêneos, anisotrópicos, em certos casos contendo discontinuidades, com comportamento complexo, geralmente, com reduzida resistência à tração (C. Costa 2009).

Como referência na secção anterior (secção 2.2), as alvenarias consistem na associação de blocos, ligados por argamassa ou simplesmente interpostos uns sobre os outros e constituem os elementos principais do sistema estrutural deste tipo de pontes.

O material de enchimento é em geral, constituído por aglomerados de materiais de diversas granulometrias e origem, desde cinzas até cascalho, interposto nos espaços entre os paramentos de alvenaria, com o objetivo de materializarem a forma final da construção e transmitirem as cargas aplicadas nas superfícies e do peso para o sistema estrutural (C. Costa 2009). Em algumas pontes, principalmente as de maior dimensão, o enchimento pode ser considerado por camadas de diferentes materiais. Usando-se, em

geral, materiais mais fortes (pedra arrumada à mão, pedra aparelhada ou betão ciclópico) nas camadas que estão sujeitas a esforços mais gravosos, como é o caso das zonas de enchimento junto aos encontros dos arcos ou das camadas interiores dos pilares.

A estrutura principal em alvenaria é constituída por fundações, pilares, arcos, muros de tímpanos e encontros. Os arcos desempenham um papel fundamental no esquema funcional da estrutura já que suportam a maior parte das ações aplicadas na estrutura e as encaminham para os pilares que por sua vez as transmitem às fundações. Para além disso, materializam os vãos da ponte, os arcos das pontes em alvenaria também designados por arcos abobadados, consistem num corpo solidário de pedras talhadas, geralmente em forma de cunha, todas elas apoiadas em sequência, desde a pedra colocada no arranque até à pedra de fecho.

A vantagem arquitetónica deste sistema, inventado no século III a.C. e introduzido na arquitetura romana através da cultura etrusca, reside no facto do arco descarregar todo o peso do corpo da ponte existente sobre si para os pilares funcionando essencialmente sob compressão e ser constituído por materiais resistentes à compressão (C. Costa 2009).

Os elementos que constituem a estrutura principal das pontes em arco funcionam essencialmente por gravidade, sendo a geometria uma característica fundamental no seu comportamento e o esforço axial de compressão, o esforço interno predominante. Deste modo, na maioria das pontes de pedra existentes, a geometria e a massa são os principais critérios de projeto (C. Costa 2009).

Para além dos elementos estruturais referidos no parágrafo anterior, o sistema estrutural pode ainda ser constituído por talhantes e quebrantes, que podem ser considerados elementos secundários e são constituídos por alvenaria e, eventualmente, também por material de enchimento.

Finalmente, fazem ainda parte destas construções o pavimento, os componentes da via (balastro, travessas e carris), as guardas laterais, os muretes guarda-balastro e os guarda-corpos, que são elementos não estruturais.

No contexto do sistema de gestão, inspeção, conservação e manutenção das obras de arte tuteladas pela REFER, os componentes das pontes são tipificadas de acordo com a terminologia indicada na Tabela 1. Neste contexto, os componentes são classificados em quinze tipos, sendo esta classificação adotada para todos os tipos de pontes existentes na rede, não sendo por isso específica para o caso das pontes em arco de alvenaria. Assim, alguns dos componentes individuais incluídos nesta classificação não fazem parte da constituição deste tipo de obras de arte, nomeadamente, os aparelhos de apoio, a estrutura de suporte do tabuleiro e a proteção da superfície, que são elementos comuns nas pontes metálicas e em betão armado. As juntas de dilatação são outro dos componentes pouco frequentes nas pontes em arco de alvenaria, ainda que neste caso existam algumas destas pontes com juntas de dilatação, como é o caso da Ponte do Côa, na Linha da Beira Alta, estudada no contexto deste trabalho no capítulo 5.

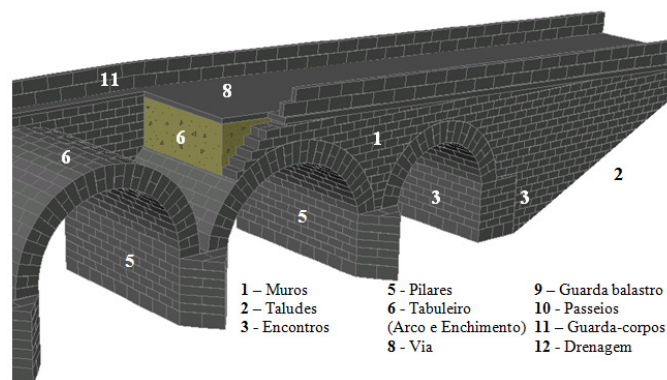
No que se refere aos restantes componentes indicados na Tabela 1, verifica-se que podem ser agrupados em cinco tipos, consoante estejam associados, i) à estrutura e fundação dos encontros da ponte (1 - Muros, 2 – Taludes e 3 – Encontros), ii) à estrutura principal da ponte (5 – Pilares, 6 – Tabuleiro e 7 – Estrutura de suporte do tabuleiro), iii) aos componentes da via e outros elementos existentes sobre o tabuleiro (8 – Via, 9 – Murete guarda-balastro, 10 – Passeios e 11 – Guarda-corpos), ou se tratem de iv) componentes do sistema de drenagem (12 – Drenagem), ou ainda v) consistam outros componentes não incluídos na classificação anterior (15 – Outros componentes).

Número	Componente
0	Obra de Arte
1	Muros
2	Taludes
3	Encontros
4	Aparelhos de Apoio
5	Pilares
6	Tabuleiro
7	Estrutura de Suporte do tabuleiro
8	Via
9	Murete Guarda-balastro
10	Passeios
11	Guarda-corpos
12	Drenagem
13	Juntas de dilatação
14	Proteção da superfície
15	Outros componentes

Tabela 1 – Componentes da Obra de Arte

Atendendo aos componentes das pontes em arco de alvenaria de pedra e a sua organização no sistema estrutural, cujo esquema representativo se ilustra na Figura 6, verifica-se que a aplicação da classificação indicada na Tabela 1, está melhor adaptada para as pontes (em viga ou de cabos) construídas em betão armado ou estrutura metálica, especificamente no que se refere às classificações: 6 – Tabuleiro e 7 – Estrutura de suporte de tabuleiro, existindo também alguma imprecisão no que respeita à classificação: 1 – Muros.

Assim, no contexto da aplicação da classificação usada pela REFER, a estrutura principal das pontes em arco de alvenaria de pedra constituída por arcos e enchimento é incluída na classificação 6 – Tabuleiro, sendo os tímpanos incluídos na classificação 1 – Muros, como Muros de Tímpano, e neste caso incluindo quer a parte do muro de tímpano existente na zona do encontro, quer a parte existente sobre os arcos e pilares.



Representação esquemática dos componentes

Figura 6 – Representação esquemática dos componentes das pontes em arco de alvenaria de pedra [adotado de (C. Costa 2009)]

Nos parágrafos seguintes apresenta-se uma descrição mais detalhada dos principais componentes das pontes ferroviárias em arco de alvenaria de pedra, atendendo à classificação referida na Tabela 1.

Nesta classificação pode incluir-se os *muros*, em dois tipos de componentes consoante se tratem de i) *elementos de contenção de terras adjacentes à obra de arte* (Tipo 1), ou ii) *elementos de contenção vertical do material de enchimento da ponte* (Tipo 2).

i) Os *elementos de contenção de terras adjacentes à obra de arte*, monolíticos com esta ou separados por junta de dilatação, podem ser dos seguintes tipos:

Os *muros de ala* são elementos paralelos à via inferior (atravessada pela ponte) ou formando com esta, um ângulo menor que 20 graus (Figura 7a);

Os *muros de avenida* são elementos paralelos à via superior, existentes no prolongamento da ponte (Figura 7b);

Os *muros de contenção*, são os muros que pela sua geometria ou função não são incluídos na classificação anterior (muros de ala ou muros de avenida), sendo geralmente constituídos por muros de gabiões e destinados a suportar as terras dos taludes existentes nas proximidades da ponte (Figura 7c).

Nas pontes em arco de alvenaria de pedra, estes três tipos de muros, são normalmente em pedra arrumada, alvenaria de pedra e alvenaria de tijolo, conforme se pode verificar nas ilustrações da Figura 7.



Figura 7 – a) Muro de ala; b) Muro de avenida; c) Muro de contenção

ii) Os *elementos de contenção do material de enchimento da ponte*, são os paramentos verticais exteriores construídos em alvenaria sobre os arcos e pilares, designados por *muros tímpano*. Na Figura 8, apresentam-se alguns exemplos deste tipo de muros e nos parágrafos seguintes, uma descrição deste tipo de componentes.

Nos *muros tímpano*, a principal função é servir de cofragem perdida para o enchimento e pavimento, resistir às ações transmitidas por estes elementos e encaminha-las para os arcos e pilares que lhes dão apoio.

O interior do tímpano pode ser inclinado ou apresentar degraus de diferentes espessuras, sendo mais espesso junto à base, onde são maiores os impulsos horizontais. Podem ainda ser construídos com olhais para aumentar a secção de vazão da ponte, quando esta não é suficiente para permitir o escoamento em situações de cheia, para permitir o escoamento do leito em caso de cheia (C. Costa 2009).



Figura 8 – Exemplos de Muro Tímpano

Nas pontes com arcos de grande vão, no sentido de aligeirar as cargas transmitidas para o arco, a zona dos tímpanos e enchimento é substituída por um sistema de arcos secundários como acontece no exemplo das Pontes do Poço de Santiago e do Pego, na desativada linha ferroviária do Ramal de Viseu, ilustradas na Figura 17.

Os *taludes* existentes na proximidade das pontes são classificados em função dos revestimentos existentes nas suas superfícies. Assim podem agrupar-se taludes vegetais ou taludes não vegetais, consoante os revestimentos sejam naturais ou tratados. Considera-se não vegetal, qualquer tipo de revestimento superficial colocado no local, com o objetivo conferir maior grau de impermeabilização ao talude, favorecer esteticamente o seu aspeto ou evitar o seu escorregamento. A presença deste tipo de taludes exige que ocorram ao longo do tempo trabalhos de manutenção específicos para o revestimento. Os taludes vegetais, são os taludes naturais do local, nos quais as exigências de manutenção se resumem, em geral, a operações simples de limpeza e desmatagem.

Os materiais não vegetais mais usados nos revestimentos de superfície são a pedra arrumada, e a gravilha. Na Figura 9, apresentam-se dois exemplos de taludes vegetais e um talude não vegetal com revestimento de superfície em pedra arrumada.

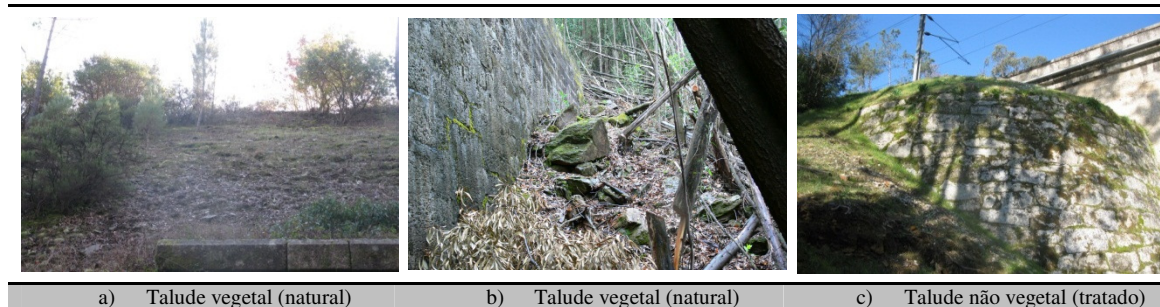


Figura 9 – Exemplos de taludes

Os *encontros* são os elementos estruturais que estabelecem a ligação entre a ponte e a via de comunicação que lhe dá acesso por intermédio de um aterro.

Para o caso das pontes em arco de alvenaria de pedra, incluem-se nesta classificação o conjunto de todos os elementos da ponte existentes na zona do encontro (Figura 10a e Figura 10b), constituído pelos muros tímpano, encontro dos arcos, muros de avenida e enchimento existente eles. Associados aos encontros podem ainda existir muros de ala, como acontece no caso da Ponte da Ribeira da Muxagata (Figura 10c) que apresenta um muro tímpano de pedra com um muro de ala (perpendicular) construído no mesmo material.

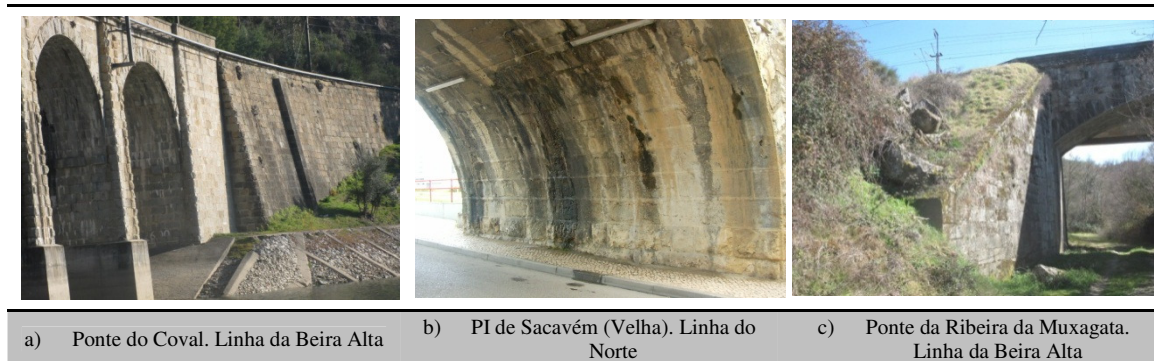


Figura 10 – Exemplos de encontros em pontes ferroviárias

Os *pilares* constituem os apoios dos arcos e têm a função de encaminhar as ações por eles transmitidas para as fundações, para além de terem de resistir às ações aplicadas diretamente, como o vento e a ação do escoamento do rio (C. Costa 2009).

Nas pontes em arco de alvenaria de pedra a secção dos pilares é, geralmente, retangular, como acontece nos exemplos da Figura 11, e quase sempre são integralmente constituídas por alvenaria com blocos de grandes dimensões para fazer

face às ações transmitidas pela estrutura e às ações provenientes do escoamento do rio onde os pilares estão inseridos.

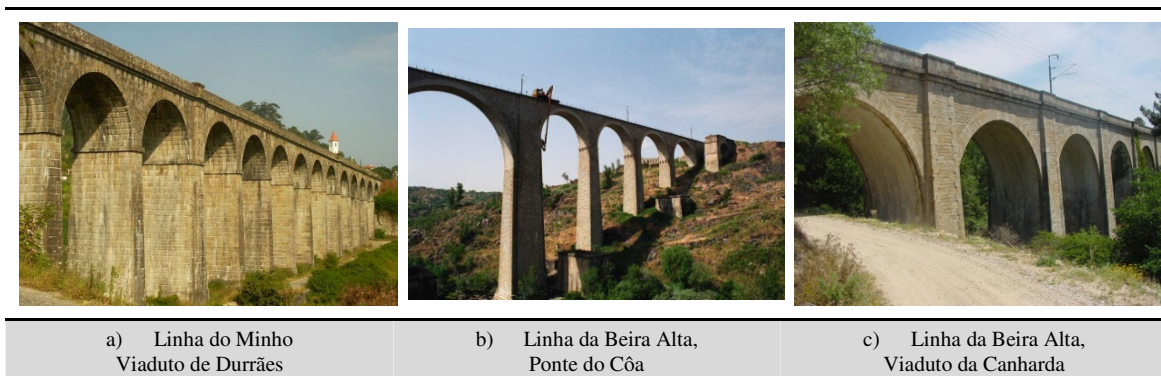


Figura 11 – Exemplos de pilares em pontes ferroviárias

Os pilares fundados nos leitos dos rios são, geralmente, dotados de talhantes a montante e ou quebrantes a jusante. Os talhantes e quebrantes nas pontes antigas eram geralmente construídos, numa fase posterior, desligados do pilar com a forma triangular a montante e retangular a jusante, mas podem encontrar-se formas menos usuais como a troncocónica e a cilíndrica (C. Costa 2009).

Na Figura 12a, ilustra-se a Ponte sobre a Ribeira Grande, na Linha de Évora, que apresenta talhantes e quebrantes de forma triangular. A jusante os quebrantes podem ser arredondados. Nas pontes construídas mais recentemente é muito comum os talhantes e quebrantes serem construídos com continuidade com os pilares apresentando a forma arredondada, como no caso da Ponte do Casal da Igreja, na Linha da Beira Baixa, ilustrada na Figura 12b.

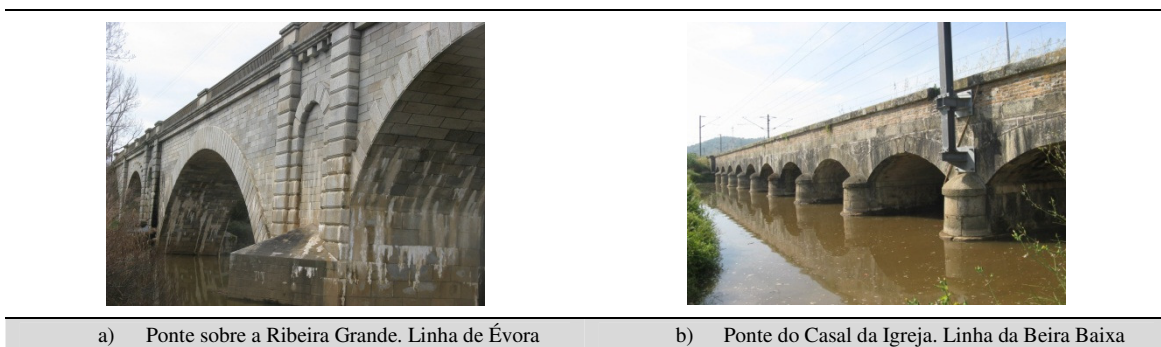


Figura 12 – Pormenor de talhantes e quebrantes em pontes ferroviárias

Os talhantes e os quebrantes têm como função encaminhar o escoamento do rio reduzindo a pressão sobre os pilares a montante e protegendo a jusante da sucção

causada pelos vórtices. Para além de protegerem a zona dos pilares da erosão causada pelo escoamento, estes elementos servem também para aumentar a rigidez desta zona (C. Costa 2009).

Conforme referido anteriormente, pelo facto de se verificar que a presente classificação dos componentes das obras de arte (Tabela 1), está melhor adaptada para pontes em viga ou em cabos do que para as pontes em arco, no caso da classificação das pontes em arco de alvenaria de pedra, incluem-se na classificação do componente *tabuleiro*, os *arcos* e o material de *enchimento* sobre os mesmos arcos.

- i) Os *arcos* são os elementos que nas pontes materializam os vãos e sobre os quais apoia a estrutura que interliga as duas margens. Por conseguinte, têm a função de encaminhar as cargas precedentes do pavimento, enchimento e tímpanos, para os pilares e fundações e materializar os vãos a vencer entre os pilares.

Nas pontes de alvenaria os arcos podem ter formas diversas sendo as mais frequentes a semicircular (ou de volta inteira) que podem encontrar-se ilustradas na Figura 13 e na Figura 14, o arco abatido (ou multi-raio) como exemplos ilustrados na Figura 15, e o segmento de arco (ou segmental) existentes nas pontes ilustradas na Figura 16.

Estas pontes podem ser constituídas por um único arco, também designadas por pontes em arco simples (Figura 13 e Figura 15), ou serem compostas por vários arcos, neste caso designadas também de pontes em arcos múltiplos (Figura 14 e Figura 16). Podem ainda encontrar-se pontes constituídas por vários arcos nas quais um (ou alguns) dos arcos funciona(m) como sistema principal e outros funcionam como sistema de arcos secundários, como são exemplos as pontes incluídas na Figura 17.

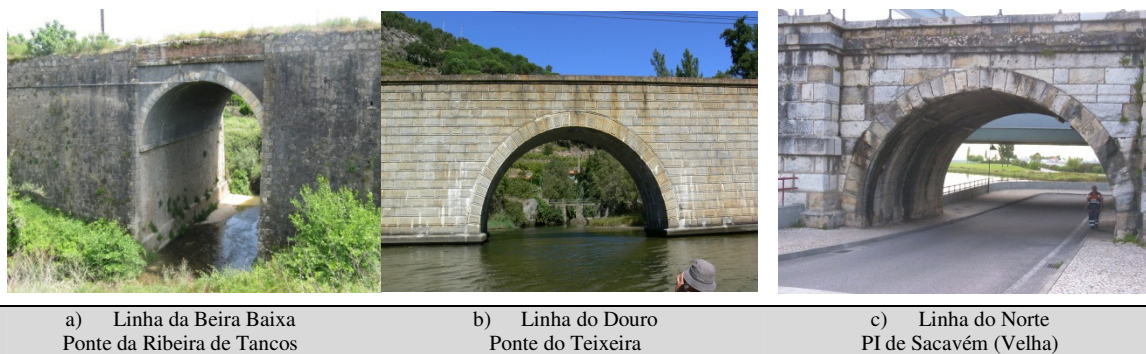


Figura 13 – Exemplos de pontes em arcos simples semicirculares

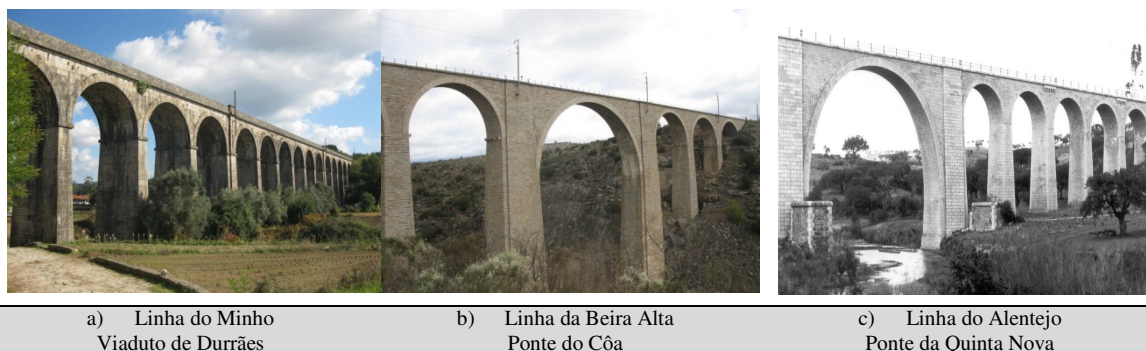


Figura 14 – Exemplos de pontes em arcos múltiplos semicirculares

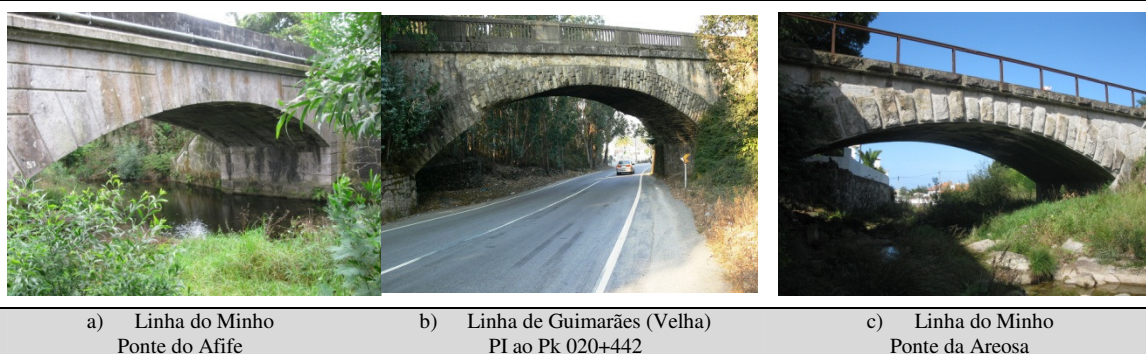


Figura 15 – Exemplos de pontes em arcos abatidos

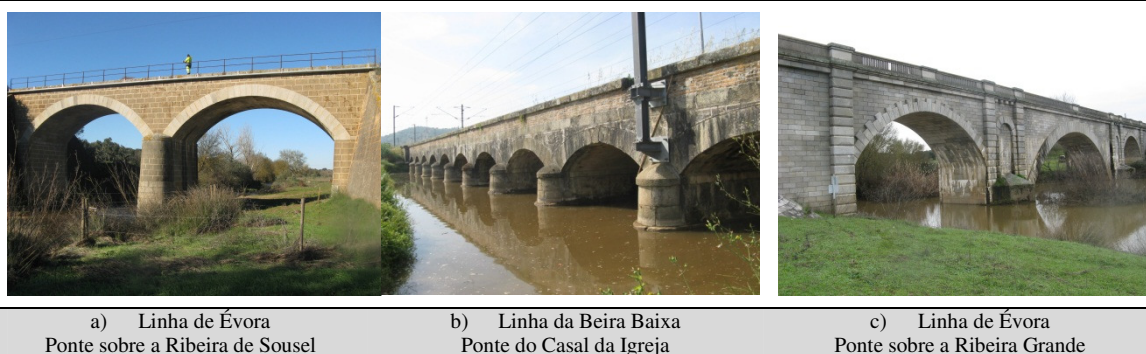


Figura 16 – Exemplos de pontes em arcos segmentais



Figura 17 – Exemplos de pontes com sistema de arco principal e arcos secundários

Em certas pontes as aduelas do arco na zona de ligação entre tímpanos e arco podem ter maior dimensão que as restantes ou mesmo serem constituídas por materiais diferentes (Figura 18). Esta fiada de aduelas de maior dimensão designa-se habitualmente por moldura do arco (C. Costa 2009).

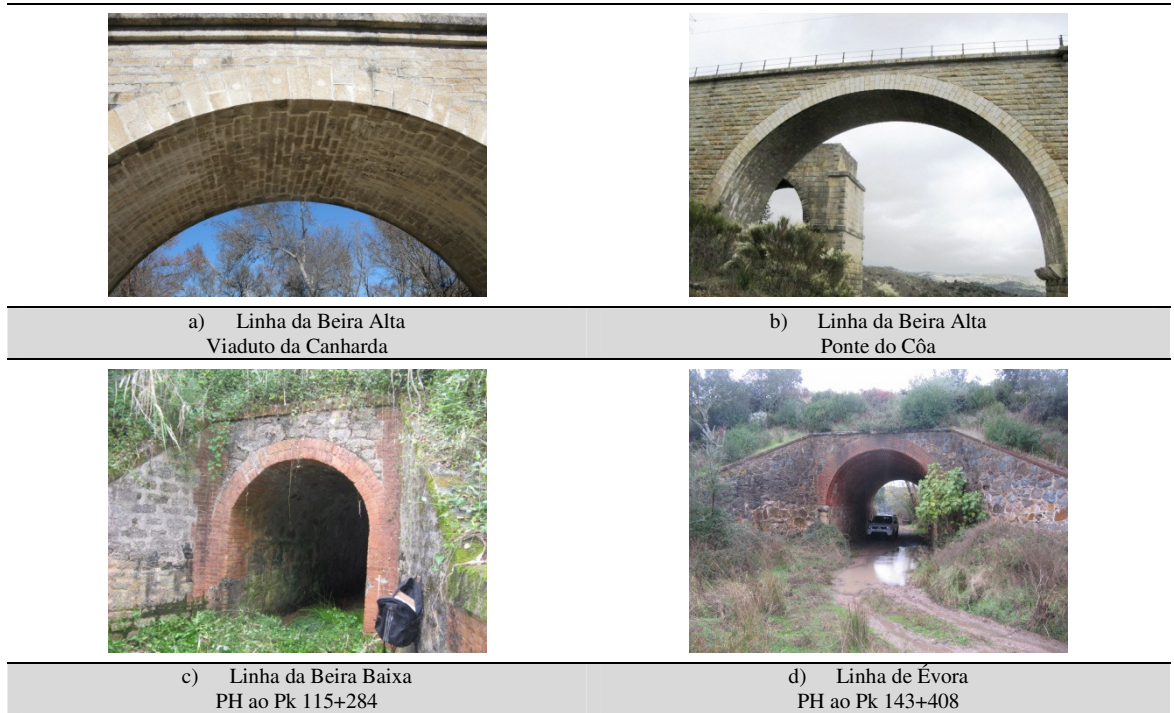


Figura 18 – Pormenor dos Arcos com molduras

- ii) O *enchimento* é o elemento colocado no espaço sobre os arcos e entre os muros de tímpano com o objetivo funcional de completar a forma da ponte e constituir a via de atravessamento de veículos e pessoas entre as margens a unir com a ponte. Tem o objetivo estrutural de transmitir as cargas do pavimento para os arcos e tímpanos (C. Costa 2009).

Geralmente são usados materiais soltos com granulometria extensa, todavia existem sistemas distintos, como o caso da Ponte do Côa em alvenaria de granito, em que o material granítico colocado no interior da ponte é igual ao dos paramentos exteriores dos tímpanos, contudo o preenchimento do espaço no interior do enchimento não apresenta a mesma regularidade dos paramentos exteriores, sendo os paramentos de alvenaria exteriores constituídos por alvenaria de aparelhada e o interior constituído por duas camadas, a inferior constituída também por alvenaria de pedra aparelhada e a superior por pedra solta arrumada à mão, com os vazios preenchidos por argamassa hidráulica.

No caso de pontes com arcos em material cerâmico também acontece o enchimento ser materializado por este tipo de material. Finalmente, a zona de enchimento pode ainda ser reforçada com a construção de muros de tímpano secundários no interior da estrutura para aliviar os impulsos horizontais transmitidos para as paredes de tímpano exteriores e estabelecer o sistema de distribuição de cargas para o arco.

Independentemente da classificação das pontes em arco de alvenaria de pedra, incluir na classificação do componente tabuleiro, apenas os arcos e o material de enchimento sobre os mesmos arcos e da classificação dos muros tímpano estar incluída no componente muros, pelo facto da classificação dos componentes das obras de arte (Tabela 1) estar melhor adaptada para pontes em viga ou em cabos, podemos concluir que os muros tímpanos não estão devidamente classificados.

Neste sentido a proposta de classificação dos muros tímpano devia ser executada com base na sua separação em i) muros tímpano no encontro da ponte e ii) muros tímpano sobre os arcos e os pilares.

Com isto, os encontros são constituídos pelos muros tímpano, encontro dos arcos, muros de avenida, muros de ala e enchimento existente entre eles, passando a sua classificação a figurar apenas no componente encontros, em vez de ser executada no componente muros.

Em relação ao componente tabuleiro, a classificação das pontes em arco de alvenaria de pedra, passariam a incluir também os muros tímpanos sobre os arcos e

pilares, para além dos arcos e do material de enchimento sobre os mesmos arcos, evitando que a classificação dos muros tímpano figurasse no componente muros.

Nas pontes ferroviárias a superestrutura da *via* é constituída por balastro, travessas, carris, material de fixação e material de ligação. A via-férrea, enquanto via de comunicação, é o conjunto de elementos que serve de suporte e encaminhamento dos comboios. Na via-férrea distinguem-se duas partes fundamentais, a infraestrutura e a superestrutura. A superestrutura é formada pelos carris, travessas, balastro, material de fixação e de ligação. A infraestrutura é formada pela plataforma, aterros, trincheiras e obras de arte. Na Figura 19 apresenta-se uma esquematização da via, na qual a infraestrutura de suporte da superestrutura é constituída pela plataforma, pelo aterro apoiado no terreno e por uma trincheira (situada no lado esquerdo do aterro) (REFER 2009).

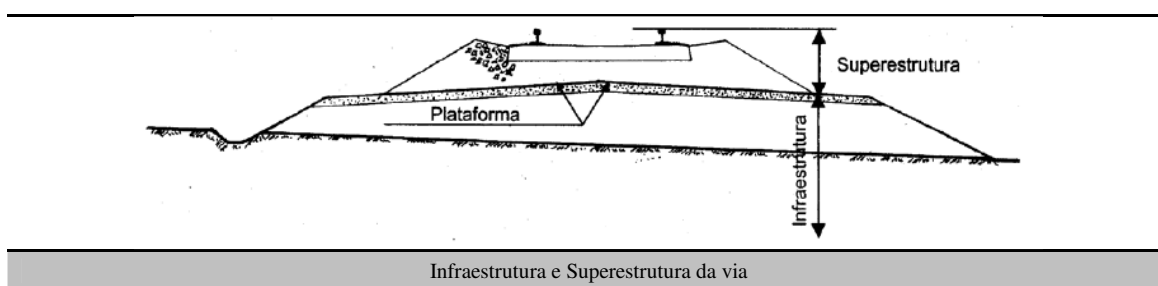
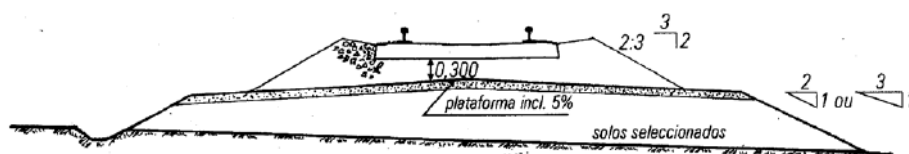


Figura 19 – Infraestrutura e superestrutura da via (REFER 2009)

A plataforma é a superfície onde assenta o balastro, logo, é a base de sustentação da superestrutura e das cargas rolantes, corresponde às circulações ferroviárias. Para que possa cumprir o seu objetivo deve ser plana, com uma certa inclinação transversal de modo a facilitar a saída (drenar) das águas da chuva, deve estar ao abrigo das águas, ou outros efluentes vindos de trincheiras, inundações, etc.

A permanência de águas sobre a plataforma provoca o seu amolecimento e a penetração do balastro causando a sua destruição, o que acaba por se repercutir de forma irreversível no nivelamento da via.

A Figura 20 representa um esquema com a configuração tipo da plataforma da via, tendo em consideração os objetivos previstos e descritos anteriormente (REFER 2009).

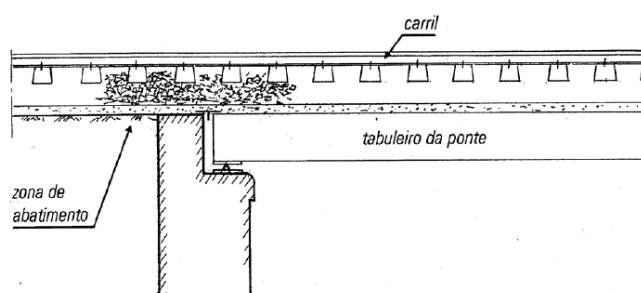


Plataforma da via

Figura 20 – Esquema com a configuração tipo da plataforma da via

As pontes, viadutos e passagens inferiores criam normalmente descontinuidades no leito da via e no apoio da superestrutura. Essa descontinuidade é causadora de problemas de nivelamento da via, especialmente na zona sobre os encontros da obra de arte, devido a abatimentos do aterro do encontro, como representa a Figura 21 para o caso de uma ponte em viga. Assim, no sentido de evitar este fenómeno, adotam-se medidas, tais como:

- Evitar pontes não balastradas, ou seja, pontes em que as travessas assentam diretamente sobre o respetivo tabuleiro da obra de arte;
- Deixar uma altura de balastro suficiente, entre o tabuleiro da ponte e o leito de balastro;
- Manter o leito normal de balastro;
- Fazer uma boa compactação dos aterros junto aos encontros das obras de arte (REFER 2009).

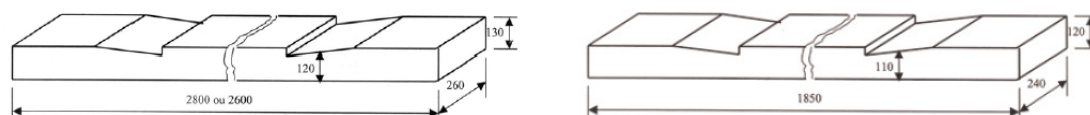


Esquema do encontro com a obra de arte

Figura 21 – Esquema do encontro com a obra de arte (REFER 2009)

Conforme já referido anteriormente, a superestrutura da via é constituída por, balastro, travessas, carris, material de fixação e material de ligação.

As travessas são o órgão intermédio da superestrutura da via e destinam-se a, fixar os carris, manter a bitola e distribuir as cargas sobre o balastro. Podem ser de madeira, de betão e metálicas. As travessas de madeira, exemplificadas na Figura 22, são de fácil fabrico e manuseamento, asseguram um bom nivelamento devido à sua interação com o balastro, mas não garantem uma eficaz fixação dos carris. As madeiras mais utilizadas são o pinho, o carvalho e o azobé. A sua duração é muito variável de acordo com as exigências de tráfego e as condições de terreno, podendo oscilar entre os 10 e 20 anos para as travessas de pinho de boa qualidade e bem creosotadas (REFER 2009).



a) Dimensões usuais das travessas de madeira para via larga

b) Dimensões usuais das travessas de madeira para via estreita

Figura 22 – Dimensões usuais das travessas de madeira (REFER 2009)

Para dar a inclinação do carril é feita a chamada sabotagem, a qual não é mais que o corte de dois entalhes nas travessas de madeira a fim de permitir o assentamento dos carris com a tal inclinação. As mesas de sabotagem, também designadas de aparelhos, tal como os furos, são feitos com a configuração e dimensões adequadas ao tipo de carril e de fixação.

As travessas de betão, ilustradas na Figura 23, são as mais utilizadas atualmente, porque além de serem produzidas a partir de matérias-primas mais acessíveis, asseguram, uma boa fixação, uma boa estabilidade da via, devido ao seu peso e grande durabilidade.

São obtidas pela moldagem do betão, cujos moldes são preparados para um determinado sistema de fixação, recebendo por vezes no ato da moldagem (betonagem) as sedes de fixação dos carris.

As sobrelarguras da via (sobrebitola), quando necessárias, são obtidas na montagem dos carris, através da combinação das peças de fixação. Com diferentes

peças de fixação, é também possível aplicar nas mesmas travessas, diferentes tipos de carris. Existem diversos tipos de travessas em via corrente (Figura 23), nomeadamente:

- Travessa monobloco, formada por um só bloco de betão armado, podendo ser pós tensionado ou pré tensionado (Figura 23a);
- Travessa bi-bloco, formada por dois blocos de betão armado, ligados por um perfil de aço (Figura 23b);
- Travessas polivalentes, são semelhantes às travessas de betão monobloco para via corrente, mas que são fabricadas com sedes de fixação aptas para a bitola Ibérica e bitola Europeia. Em Espanha já é empregue de uma forma generalizada, com a bitola de 1668 mm, para em qualquer momento passar a funcionar com bitola 1435 mm (Figura 23c).

As travessas metálicas foram muito utilizadas no passado, contudo deixaram de ser fabricadas. Os sistemas de fixação são semelhantes, aos das travessas de betão bi-bloco e asseguram uma fixação eficaz (REFER 2009).

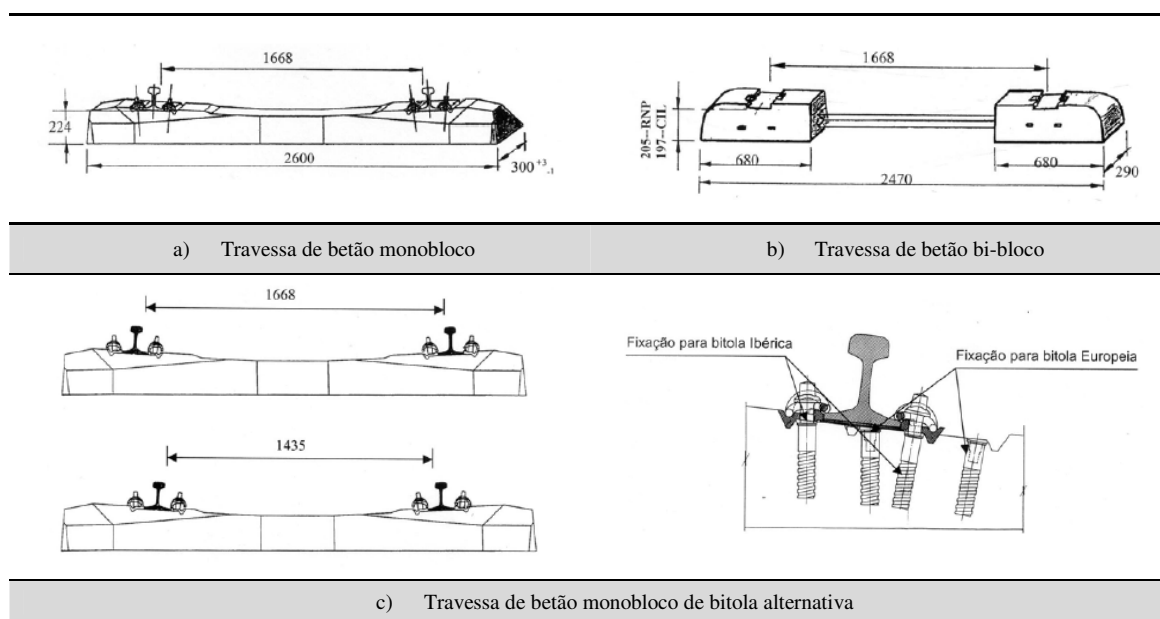


Figura 23 – Tipos de travessas de betão (REFER 2009)

Os carris não são mais do que perfis de aço, com uma secção transversal própria a qual é formada por cabeça, alma e patilha. São caracterizados, essencialmente pelo seu peso por metro de comprimento. Assim os tipos mais correntes são:

- Carris com 71 Kg/m de peso, nas linhas de tráfego muito pesado (EUA);

- Carris com 60 Kg/m de peso, nas linhas de tráfego pesada e linhas de alta velocidade;
- Carris com 54 Kg/m de peso, nas linhas correntes;
- Carris com 45 Kg/m de peso, nas linhas de tráfego leve.

Ainda existem outros tipos de carril de fabrico mais antigo, mas que ainda se podem encontrar em serviço, nomeadamente, os carris com 30, 36 e 40 Kg/m de peso.

Atualmente as siderurgias produzem carris com comprimentos de 18, 36, 72 e 108 m, havendo também casos de carris já com 120 m, contudo no passado não era assim, pois foram produzidos carris com comprimentos menores, sendo os de 18 e 24 m, os mais usuais. Quando utilizados na via, os carris podem ser formados por uma só peça (com o comprimento de unidade do carril) ou compostos por várias unidades soldadas (Figura 24). Neste contexto é usual adotarem-se as seguintes designações:

- Carril – unidade formada de uma só peça (sem soldadura);
- Barra – fila de carris formada por dois ou mais carris soldados;
- Barra curta – fila de carris com o comprimento máximo de 36 m;
- Barra longa soldada (BLS) – fila de carris com o comprimento mínimo de 300 m (REFER 2009).

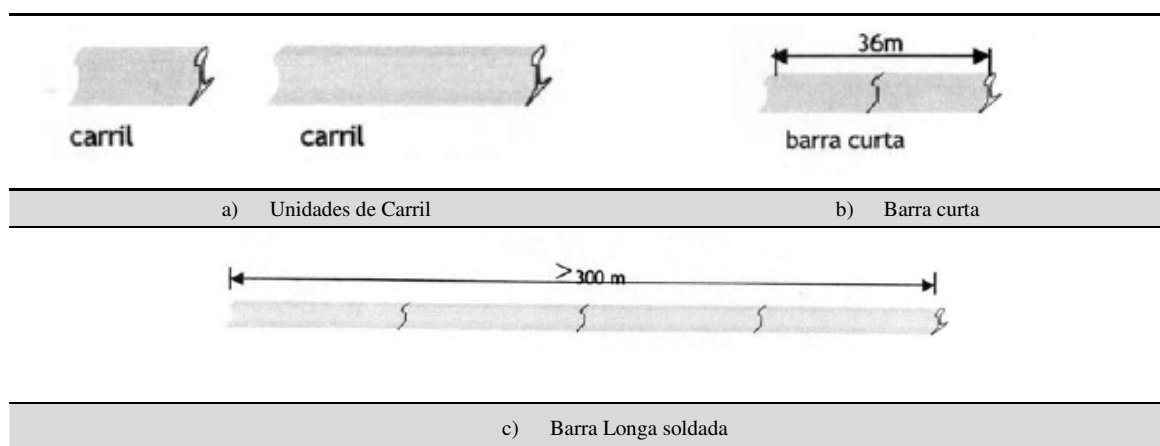


Figura 24 – Tipos de carril (REFER 2009)

O transporte ferroviário moderno é caracterizado pela circulação de grandes quantidades de carga, com veículos muito pesados a velocidades elevadas em vias eventualmente com pouca manutenção. Este tipo de exploração exige uma

superestrutura da via muito pesada com um sistema de fixação carril/travessas robusto e flexível.

Os antigos sistemas de fixação rígida (Figura 25a), onde não há utilização de materiais elásticos, não garantem o aperto permanente do carril e permitem o deslocamento longitudinal deste (também denominado por “caminhamento dos carris”).

Por contraste o sistema de fixação elástica (Figura 25b a h), engloba uma palmilha em material plástico sob o carril e grampos de aço de mola, com diferentes configurações conforme o sistema que assegura o aperto permanente do carril. Existem no mercado diversos tipos de fixação elástica dos quais se destacam os que se incluem nas ilustrações da Figura 25b a h.

Na fixação elástica, para se garantir um aperto adequado, as trefonadoras (máquina de aperto automático) devem ser objeto de aferição do seu momento de aperto (REFER 2009).

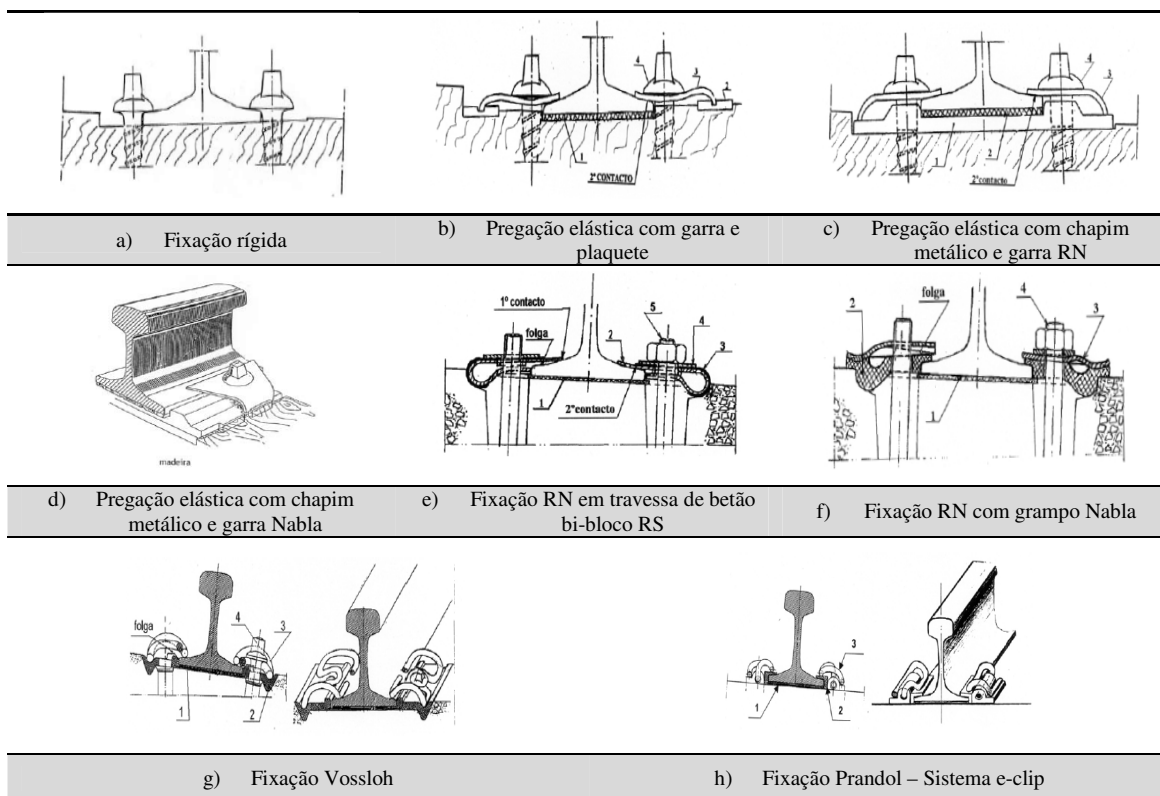


Figura 25 – Tipos de fixações de carril (REFER 2009)

Existem também alguns dispositivos especiais aplicados na via para que esta possa cumprir o seu objetivo de suporte e guiamento dos veículos. A estes dispositivos,

como os que estão esquematizados na Figura 26, dá-se a designação genérica de aparelhos de via, sendo os mais frequentes os seguintes:

- Aparelho de mudança de via simples normalmente designado de aparelho de mudança de via (AMV);
- Aparelho de mudança de via dupla;
- Aparelho de atravessamento oblíquo (ATO);
- Aparelho de atravessamento retangular (ATR);
- Aparelho transversal de junção simples (TJS);
- Aparelho transversal de junção dupla (TJD);
- Aparelho de comunicação ou “S” de ligação;
- Aparelho de comunicação dupla ou bretelle;
- Charriot;
- Placa giratória;
- Aparelhos de dilatação (AD);
- Aparelhos carriladores (AC) (REFER 2009).

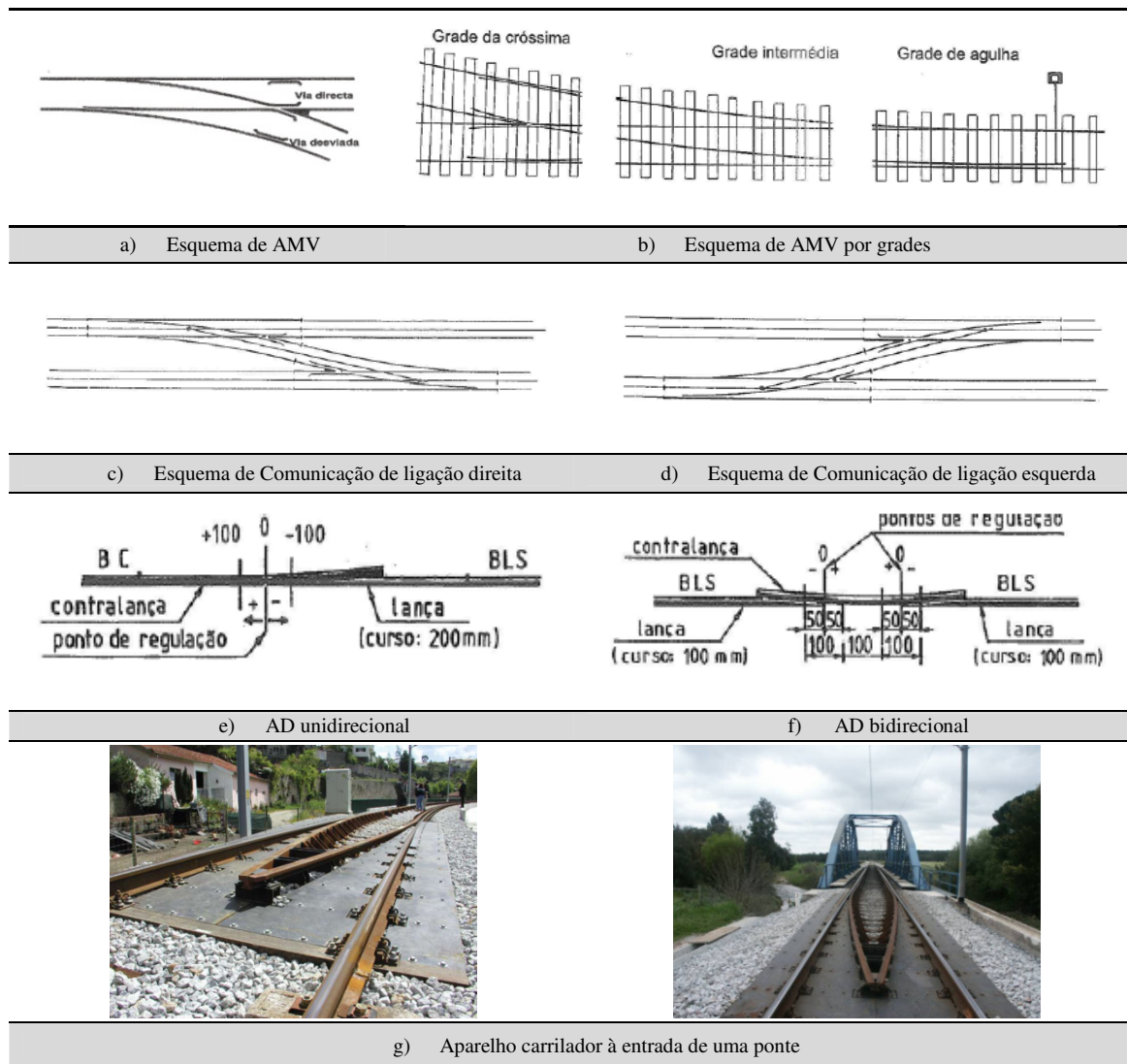


Figura 26 – Tipos de aparelhos de via (REFER 2009)

O *murete guarda balastro*, como o próprio nome indica é o murete que tem como principal função evitar que a via fique desguarnecida de material de balastro, assim como, evitar que o mesmo entre em contacto com a obra de arte. Os muretes podem ser executados em alvenaria, madeira (Figura 27a), betão armado (Figura 27b e c) ou outro tipo de materiais.

Em relação à posição do murete na via, podem distinguir-se os muretes paralelos à via (Figura 27a e b) e os transversais à via (Figura 27c).



Figura 27 – Tipos de muretes guarda-balastro

Os *passaios* existentes nas pontes ferroviárias destinam-se a facilitar a circulação de pessoas ao longo da via, especificamente para desenvolver ações de inspeção e manutenção ou para utilização em casos de emergência. Estes elementos podem classificar-se como interiores ou exteriores consoante estejam situados sobre o corpo principal da ponte (Figura 28a) ou fora do corpo principal da ponte como acontece com os passeios em consola (Figura 28b) (SGOARrefer 2012).

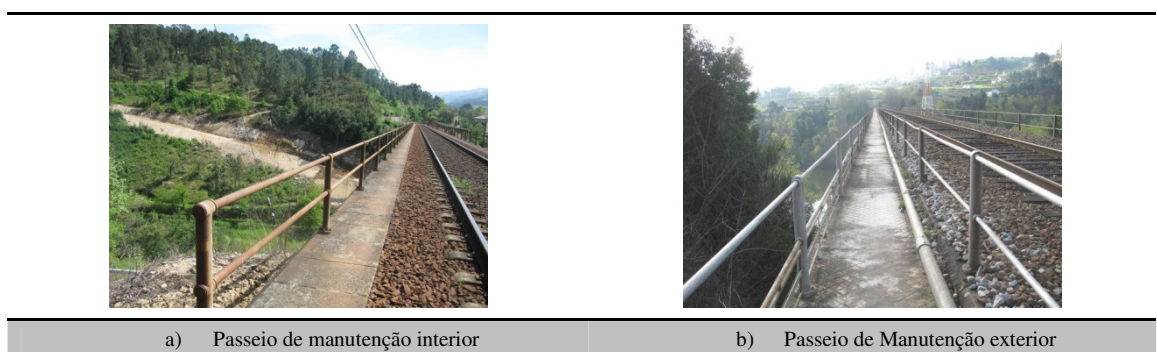


Figura 28 – Tipos de passeios de pontes ferroviárias

Os *guarda corpos* são elementos com função de guarda de segurança que ladeiam os bordos do tabuleiro, destinando-se a evitar a queda de pessoas. Consideram-se guarda corpos do tipo pré-fabricado ou executados em obra. Os guarda corpos podem ser construídos com o mesmo tipo de material empregue no corpo principal da ponte (Figura 29a) ou serem pré-fabricados e construídos por material que podem ser distintos dos usados na estrutura principal, como são exemplos os ilustrados na (Figura 29b e c), nas quais se observa que os guarda corpos metálicos estão fixos nas cornijas.

Nas extremidades do guarda corpos podem existir acrotérios, que são elementos com função estética usados principalmente em pontes de alvenaria ou em pontes metálicas e construídos nos mesmos materiais (Santos 2008).



Figura 29 – Tipos de guarda corpos

Os órgãos de *drenagem* têm como função recolher e encaminhar as águas superficiais para um sistema de drenagem geral. Este componente tem assim uma função determinante na durabilidade das estruturas dado que esta é muitas vezes comprometida devido à falta ou má execução dos órgãos de drenagem (V. Costa 2009).

Na Figura 30 ilustram-se exemplos de órgãos de drenagem existentes em pontes de alvenaria.

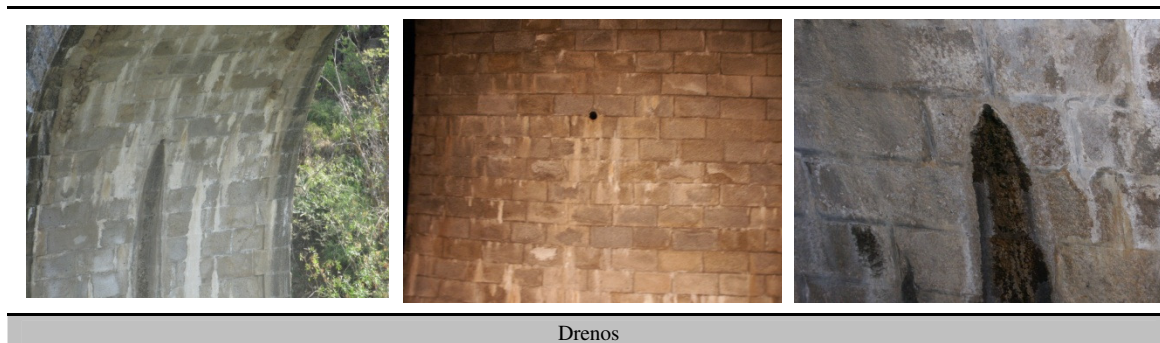


Figura 30 – Drenagem em pontes de alvenaria

As *juntas de dilatação* são dispositivos deformáveis que permitem assegurar a transição entre os elementos da ponte (móveis) e as zonas fixas dos seus acessos, possibilitando a existência de movimentos relativos entre as duas partes em condições de segurança, comodidade e durabilidade.

Nas pontes em viga ou de cabos, a sua localização normal é entre o tabuleiro da ponte e cada encontro se bem que, no caso de pontes muito extensas, se possam também situar entre zonas da própria ponte. Neste último caso, as vigas principais, ou mais geralmente a superestrutura, têm de ser interrompidas criando-se apoios móveis para permitir a livre dilatação na zona da junta.

As juntas são os elementos das pontes mais sujeitos a desgastes e mais sensíveis. Deste modo, devem ser projetadas para resistir às ações dinâmicas e abrasivas do trânsito bem como aos agentes atmosféricos e à retração e à fluência dos materiais.

Existem diferentes tipos de juntas de dilatação e a sua classificação pode ser efetuada segundo vários critérios, qualitativos ou quantitativos, tendo em consideração o modo de execução, os materiais utilizados, os movimentos permitidos, o funcionamento estrutural, a sua localização, etc. (V. Costa 2009).

Conforme referido anteriormente, a construção de juntas de dilatação em pontes em arco de alvenaria de pedra não é muito frequente. No entanto, a Ponte do Côa, na Linha da Beira Alta, é uma das obras de arte de alvenaria de pedra, em que existe este componente, como se pode observar na Figura 31, sendo este caso de estudo abordado com maior detalhe mais adiante no capítulo 5.



Figura 31 – Juntas de dilatação em pontes de alvenaria

Nesta classificação são incluídos *outros componentes* existentes nas obras de arte sem funções específicas no sistema estrutural da ponte, da via ou dos encontros, tais como, a instrumentação, os meios especiais de acesso, a catenária, a iluminação, os serviços de entidades externas (Figura 32) ou as barreiras sonoras e a sinalização de tráfego, entre outros.

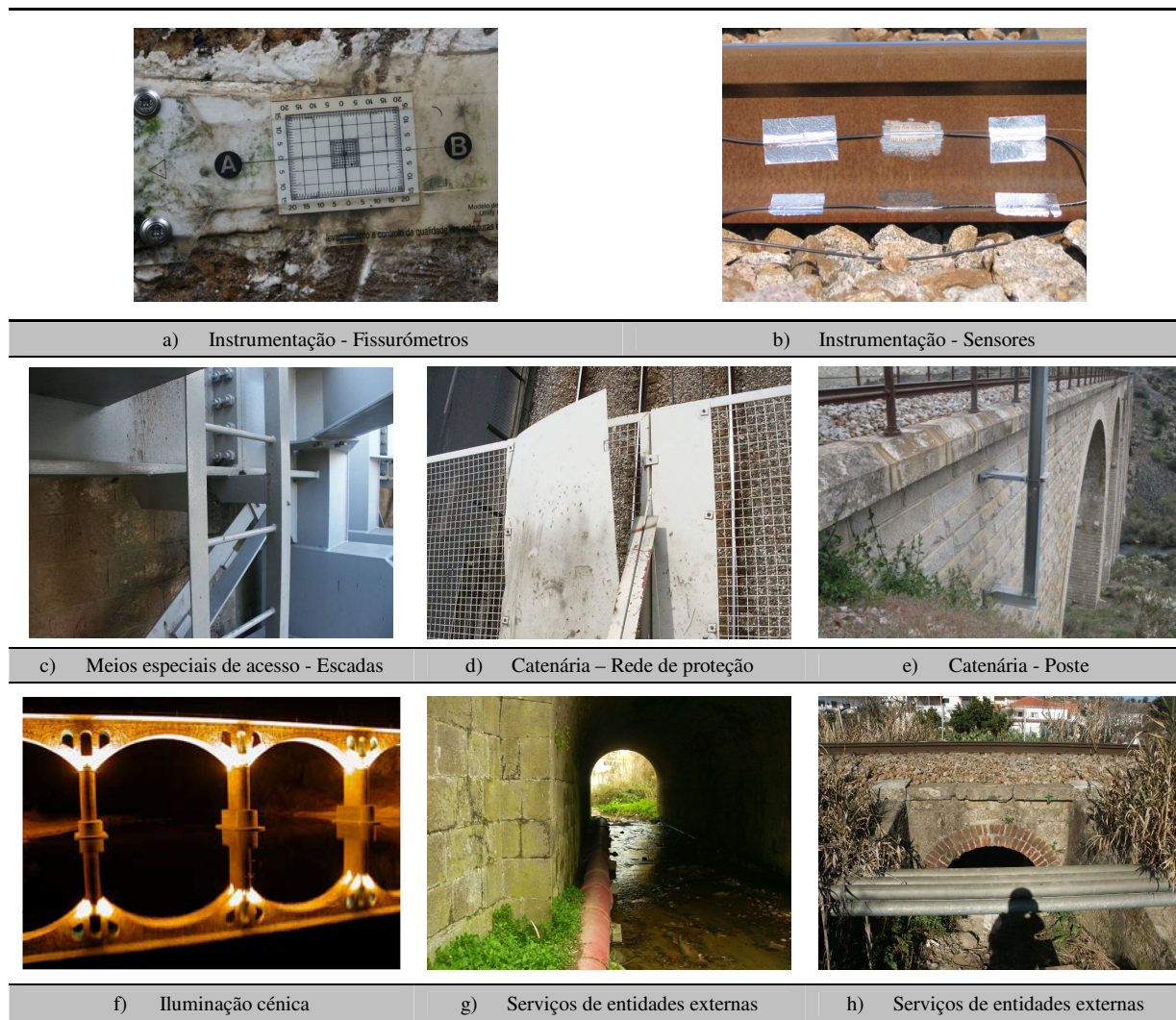


Figura 32 – Exemplos de outros componentes

2.4 Classificação de Pontes de Alvenaria

No sistema de classificação das obras de arte da REFER, as pontes são classificadas, tendo em conta a sua função na infraestrutura ferroviária. Esta classificação tem em consideração, não apenas critérios estruturais, mas também a hierarquização das vias intersectadas. Assim e adotando como referência o caminho-de-ferro, as obras de arte são classificadas consoante as vias de intersecção passem por cima ou por baixo da via-férrea principal.

Neste contexto são classificadas como Órgão de Drenagem de Via (OD), Passagem Hidráulica (PH), Passagem Inferior (PI), Passagem Inferior Pedonal (PIP), Ponte (PO) e Viaduto (VU) as obras cujas vias de intersecção passem por baixo da via-

férrea principal, e como Passagem Superior (PS) e Passagem Superior Pedonal (PSP) as obras cujas vias de intersecção passam por cima da via-férrea principal.

Nos casos em que se cruzam duas vias férreas é identificada a via mais importante, sendo esta tomada como referência para a classificação referida anteriormente.

Nos parágrafos seguintes apresenta-se uma descrição mais detalhada desta classificação, incluído também a ilustração de alguns exemplos de obras de alvenaria existentes na rede ferroviária.

A classificação de *passagem hidráulica (PH)* é atribuída quando a via principal passa sobre a obra de arte e a via intersectada é um curso de água. Geralmente tem um único vão de dimensão inferior a 10m.

Porém, no caso da obra de arte apresentar pelo menos um vão de dimensão maior ou igual a 10m é atribuída a designação de ponte e no caso de todos os vãos serem inferiores ou iguais a 2m, receberá a designação de órgão de drenagem de via. (SGOARrefer 2012).

Na Figura 33 apresentam-se exemplos de passagens hidráulicas, existentes na rede ferroviária nacional.

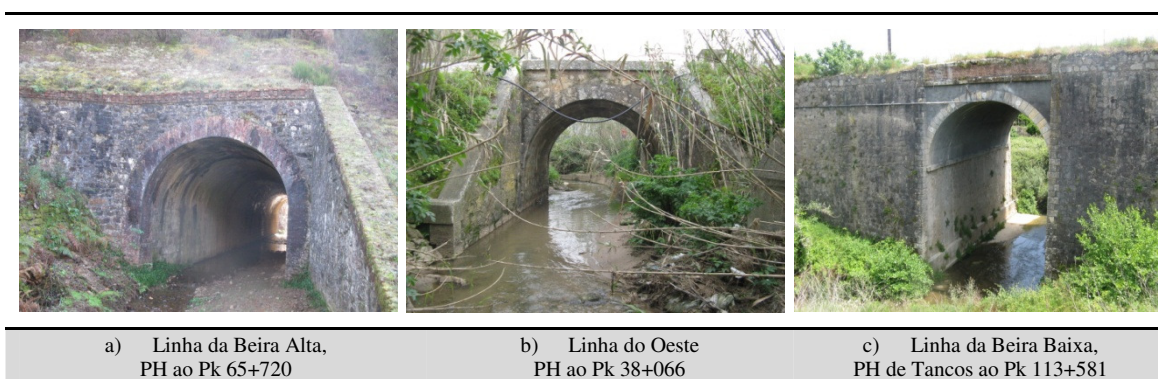


Figura 33 – Exemplos de Passagens Hidráulicas

A obra de arte é considerada como *passagem inferior (PI)* quando a condicionante principal que motivou a construção da obra de arte tenha sido o atravessamento de uma via inferior e a via principal passa sobre a obra de arte.

Distingue-se da Passagem Hidráulica, pelo tipo de via atravessada, dado que na Passagem Inferior é uma via de circulação e na passagem hidráulica é um curso de água(SGOARefer 2012).

Na Figura 34 são apresentados exemplos de passagens inferiores nas quais se podem observar as vias de circulação (inferiores) que são atravessadas pela obra de arte.

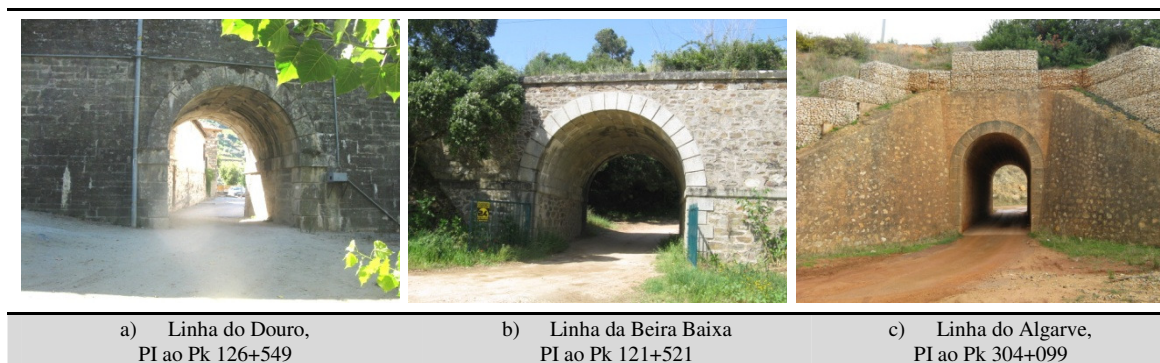


Figura 34 – Exemplos de Passagens Inferiores

No caso específico da *passagem inferior de peões (PIP)* a obra de arte é classificada desta forma, quando a condicionante que motivou a sua construção tenha sido o atravessamento de uma via inferior apenas para tráfego pedonal e a via principal passa sobre a obra de arte. (SGOARefer 2012).

Não é comum encontrarem-se na rede ferroviária nacional passagens inferiores de peões em alvenaria de pedra, sendo que a maioria deste tipo de obras de arte são construídas em betão armado.

No caso das *pontes (PO)*, a obra de arte passa sobre um curso de água e distingue-se de uma Passagem Hidráulica pelo facto do seu comprimento ser maior que 10m (SGOARefer 2012).

Alguns dos exemplos de pontes da infraestrutura ferroviária, nomeadamente a Ponte do Côa, na Linha da Beira Alta, a Ponte de Canivais, na Linha do Douro e a Ponte da Zela, no Ramal de Viseu, são incluídas na Figura 35.

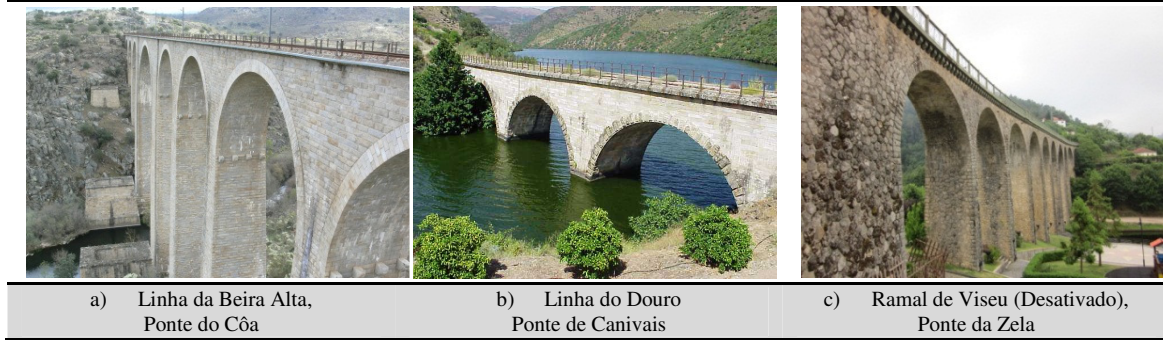


Figura 35 – Exemplos de Pontes

Incluem-se nesta classificação dos *viadutos (VU)* as obras de arte que atravessam um vale, podendo existir ou não vias intersectadas ou mesmo cursos de água. Para não ser confundida com uma passagem inferior, a obra de arte é considerada a classificação de viaduto quando a principal condicionante que motivou a sua construção tenha sido uma depressão geográfica (SGOARrefer 2012).

Na Figura 36, apresentam-se alguns exemplos deste tipo de obras de arte.

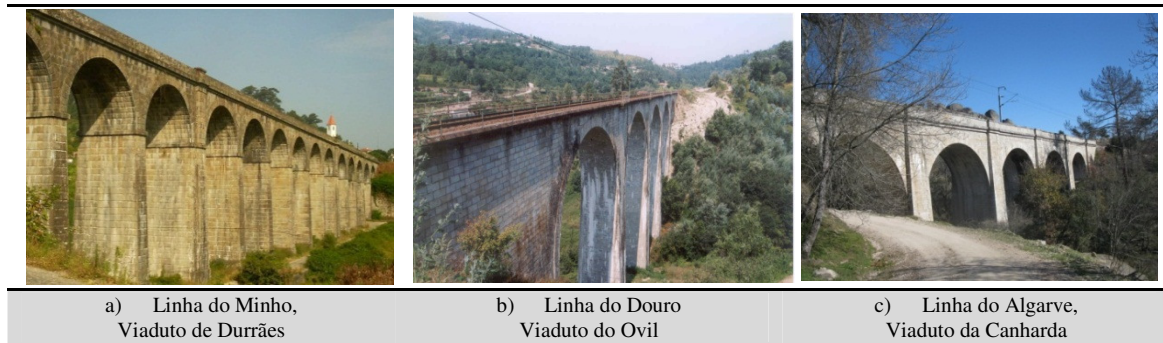


Figura 36 – Exemplos de Viadutos

A classificação *passagem superior (PS)* é considerada para os casos em que a via principal passa sob a obra de arte (SGOARrefer 2012), como acontece nos exemplos ilustrados na Figura 37, que constitui passagens superiores em alvenaria de pedra existentes sobre a ferrovia nacional.



Figura 37 – Exemplos de Passagens Superiores

No caso da *passagem superior de peões (PSP)*, em relação à posição da via principal, a obra de arte permite o atravessamento superior apenas de tráfego pedonal (SGOARrefer 2012).

No entanto, não é comum na rede ferroviária nacional, encontrarem-se passagens superiores de peões em alvenaria de pedra, sendo que a maioria deste tipo de obras de arte são construídas em betão armado ou em estrutura metálica.

A classificação descrita nos parágrafos anteriores engloba todos os tipos de pontes existentes na rede de caminho-de-ferro, independentemente do material pelo qual são construídos. Assim, qualquer uma das classificações referidas nos parágrafos anteriores pode incluir pontes em alvenaria, pontes metálicas ou pontes em betão armado.

Neste contexto, e atendendo às especificidades das obras de arte construídas por arcos de alvenaria, que no contexto deste trabalho são designadas genericamente por pontes em arco de alvenaria de pedra, verifica-se existir uma relação direta entre o comprimento total destas estruturas e a classificação para atender à função da obra de arte na infraestrutura (Tabela 2). Verifica-se assim que as obras de arte classificadas como órgão de drenagem têm em geral 2m de comprimento máximo. As passagens hidráulicas e as passagens inferiores apresentam em geral um comprimento total que varia entre 2m e 10m. Enquanto as pontes e os viadutos têm na maior parte dos casos, mais que 10m de vão, podendo também encontrarem-se algumas passagens inferiores com comprimentos maiores que 10m.

De referir que a relação entre comprimento e função indicada na Tabela 2 também se verifica, em geral, para os outros tipos de pontes da rede. Deste modo esta relação pode ser considerada como uma classificação complementar à classificação da função das obras de arte, apresentada anteriormente, podendo até ser usada como forma de uniformizar aquela classificação.

Comprimento	Função
<2m	Órgãos de Drenagem de Via (OD)
≥ 2m e <10m	Passagens Hidráulicas (PH) Passagens Inferiores (PI) Passagens Inferiores Pedonais (PIP)
≥ 10m	Passagens Inferiores (PI) Pontes (PO) Viadutos (VU)

Tabela 2 – Comprimento total das obras de arte em arcos de alvenaria

No caso das obras de arte em arcos de alvenaria verifica-se ainda ser conveniente distinguir o comprimento máximo do vão dos arcos destas pontes.

Adotando uma classificação complementar consoante o máximo vão dos arcos seja inferior a 2m, esteja compreendido entre 2m e 10m ou seja maior que 10m.

Esta classificação também adequada para o vão máximo existente nas pontes em viga e de cabos, juntamente com as duas classificações atrás descritas resultaria numa classificação envolvendo os três critérios: função, comprimento máximo total da ponte e comprimento máximo do arco ou tabuleiro, mais completa no contexto do sistema de gestão, inspeção e manutenção das obras de arte da rede de infraestruturas da REFER.

Deste modo, obter-se-iam por exemplo para uma passagem inferior com 12m de comprimento total e máximo vão do arco 10m, a classificação: PI-12-10, e para uma passagem inferior com 12m de comprimento com vão máximo de 2m, a classificação: PI-12-2.

3 ANOMALIAS E MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO EM PONTES EM ARCO DE ALVENARIA

3.1 Considerações iniciais

O processo de degradação de pontes ferroviárias tornou-se uma questão essencial em quase todos os países da Europa, uma vez que as estruturas das pontes são constantemente expostas a inúmeras causas de degradação ao longo da sua vida útil, que conseqüentemente podem provocar vários tipos de anomalias e a degradação deste tipo de estruturas.

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos neste contexto, sendo de realçar o trabalho publicado pelo *UIC-International Union of Railways*, no qual é apresentado um catálogo dos defeitos em pontes de alvenaria (Catalán e Álamo 2006). Pela abrangência do referido trabalho ao caso das pontes ferroviárias em alvenaria existentes na Europa, a abordagem feita neste capítulo é baseada, essencialmente, nesse documento.

A sistematização dos danos e degradações mais frequentes em pontes, mediante a descrição dos fenômenos envolvidos e o reconhecimento das suas causas, permite facilitar o diagnóstico e a identificação dos meios de prevenção e de reparação mais adequados para determinada anomalia (C. Costa 2009).

Na sistematização apresentada neste trabalho distinguem-se os danos que ocorrem localizados nos elementos estruturais decorrentes de avarias específicas no funcionamento da estrutura, dos danos e degradações generalizados que são independentes do esquema estrutural.

Os primeiros (danos estruturais localizados) são associados a um mau desempenho da estrutura e a redução da capacidade de carga e os segundos (danos generalizados) podem afetar qualquer elemento estrutural sendo as suas causas e efeitos, em geral, independentes do tipo de elemento afetado e do seu funcionamento no sistema estrutural. Estas avarias são associadas aos processos de degradação dos materiais que resultam do processo natural de envelhecimento decorrente da passagem do tempo e da exposição dos elementos a ações erosivas, meteorológicas e físico químicas adversas,

por deficiente manutenção ou intervenções desadequadas (ação humana). Estas ações afetam essencialmente a durabilidade da construção, podendo a longo prazo contribuir para o agravamento das condições de segurança da estrutura.

Neste contexto, relativamente aos danos e degradações na estrutura das pontes em arco de alvenaria associados a um mau desempenho da estrutura e a redução da capacidade de carga, são apresentados na secção 3.2 as diversas anomalias mais comuns em cada um dos elementos constitutivos destas pontes que se resumem também na Tabela 3.

Anomalias estruturais localizadas nos elementos estruturais	
Anomalias no arco	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada
	Fendilhação longitudinal entre os tímpanos e o arco
	Fendilhação diagonal do arco
	Fendilhação transversal no arco
	Perda ou deslocamento de material do arco
Anomalias nos pilares	Falhas mecânicas
	Fendilhação vertical nos pilares
	Fendilhação em escada
Anomalias nos encontros	Fendilhação entre talhantes, quebrantes e pilares
	Fendilhação vertical em encontros
Anomalias nos tímpanos	Fendilhação horizontal em encontros
	Abaulamento dos tímpanos
	Deslizamento dos tímpanos
	Rotação do tímpano
Anomalias nos muros de ala e muros de avenida	Fendilhação em escada nos tímpanos
	Rotação e abaulamento
	Fissuração vertical na ligação entre o encontro e os muros de ala e avenida
Anomalias nas fundações	Perda dos elementos de proteção
	Erosão local dos elementos de fundação
	Abrasão e apodrecimento das estacas de madeira
	Perda de estabilidade da fundação por alterações no leito do rio
	Assentamento diferencial longitudinal em pilares
	Rotação longitudinal da base do pilar
	Rotação transversal do pilar
	Assentamento diferencial transversal do pilar
Assentamento relativo entre extremidades e centro de pilar	

Tabela 3 – Tipos de anomalias estruturais localizadas nos componentes das pontes

Os processos de degradação mais comuns responsáveis pelo aparecimento deste tipo de anomalias e a correspondente classificação das ações que os influenciam são resumidos na Tabela 4 e na Tabela 5, respetivamente. Uma descrição detalhada sobre

este tema pode ser encontrada em várias publicações (Catalán e Álamo 2006) e (C. Costa 2009).

Causas dos processos de degradação estrutural
Comportamento do arco na direção longitudinal da ponte (mecanismo de rótulas no arco)
Comportamento da ponte na direção transversal (transmissão de impulsos pelo enchimento)
Comportamento das pontes enviesadas
Comportamento dinâmico
Utilização excessiva das estruturas
Pressão excessiva do solo
Pressão excessiva do enchimento
Variação de rigidez entre elementos estruturais
Processo de construção
Intervenções anteriores
Ações

Tabela 4 – Processos de degradação estrutural das anomalias frequentes

Classificação das Ações
Ações permanentes
Sobrecargas
Ações horizontais devidas à frenagem e às cargas centrífugas
Ação do vento
Ações térmicas e reológicas
Movimentos impostos
Ações dinâmicas

Tabela 5 – Classificação das ações que têm efeito nas anomalias estruturais

Relativamente aos danos e degradações dos materiais são apresentados na secção as anomalias frequentes observadas nos materiais, que se resumem também na Tabela 6.

Anomalias frequentes do material	
Alterações da superfície	Manchas de humidade, escorrências e depósito de água
	Manchas negras e filmes negros
	Depósitos de origem biológica
	Eflorescência e cripto-eflorescência
	Crostas
Perda de material	Erosão da pedra
	Dissolução da pedra
	Desagregação da pedra
	Alveolização
	Perda de argamassa nas juntas
	Delaminação
	Desalinhamentos e destacamentos de pedras dos paramentos de alvenaria
Rotura por elementos de vegetação	
Danos resultantes da ação humana	Atos de vandalismo
	Intervenções de reabilitação e reforço desadequadas
	Impactos de veículos

Tabela 6 – Anomalias frequentes do material

Neste caso, os processos de degradação mais frequentes estão indicados na Tabela 7 e as ações que os desencadeiam na Tabela 8. Uma descrição mais pormenorizada pode ser encontrada noutras publicações (Catalán e Álamo 2006) e (C. Costa 2009).

Processos de deterioração e degradação do material
Presença da água
Efeito do vento
Gelo-degelo
Presença de sais solúveis
Gases presentes na atmosfera
Efeitos térmicos
Hidratação (expansão de água)
Vegetação
Carbonatação
Mistura de argila

Tabela 7 – Processos de deterioração e degradação do material

Classificação das Ações	
Ambientais	Ações climáticas
	Ações devidas à poluição
Ações biológicas	Bactérias e fungos
	Líquenes
	Algas e musgos
	Vegetação
Ações humanas	Atos de vandalismo
	Acidentes
	Intervenções anteriores

Tabela 8 – Classificação das ações com efeitos nas anomalias generalizadas do material

3.2 Anomalias e degradações localizadas nos elementos estruturais

3.2.1 Anomalias no arco

A interação entre arco, tímpanos, enchimento, pilares e fundações na direção longitudinal da ponte ou os efeitos resultantes do funcionamento na direção transversal da ponte, influenciam o comportamento global da ponte e podem provocar o aparecimento de fendas longitudinais na ligação tímpano-arco ou no centro da abobada, fendas nas juntas transversais do arco ou fendilhação diagonal no arco água (C. Costa 2009).

Assim, a *fendilhação longitudinal entre os tímpanos e o arco* (Figura 38a) é determinada pelos efeitos que decorrem da transmissão dos impulsos horizontais associados ao funcionamento da ponte na direção longitudinal. A *fendilhação longitudinal no centro da abóbada* (Figura 38b) também é determinada pelos efeitos resultantes do funcionamento na direção transversal, podendo ainda estar associada a forças transversais de flexão presentes no arco ou a concentração de cargas em correspondência com a posição das travessas da via arco. Enquanto a *fendilhação diagonal no arco* (Figura 38c) resulta, em geral, de assentamentos ou rotações nos pilares e fundações.

A identificação das posições teóricas das rótulas, que caracterizam os mecanismos de rotura no arco, permitem associar a existência de fendas transversais neste elemento com o funcionamento da ponte na direção longitudinal indicando falta de capacidade resistente dos materiais por carregamento excessivo água (C. M. Costa

2009). Porém, para que ocorra o colapso do arco sob a aplicação de cargas é necessário que se forme um mecanismo de quatro (Figura 38d) ou cinco rótulas no arco. No caso de pontes com arcos múltiplos podem ainda ocorrer mecanismos de sete (Figura 38e) ou mais rótulas (Catalán e Álamo 2006).

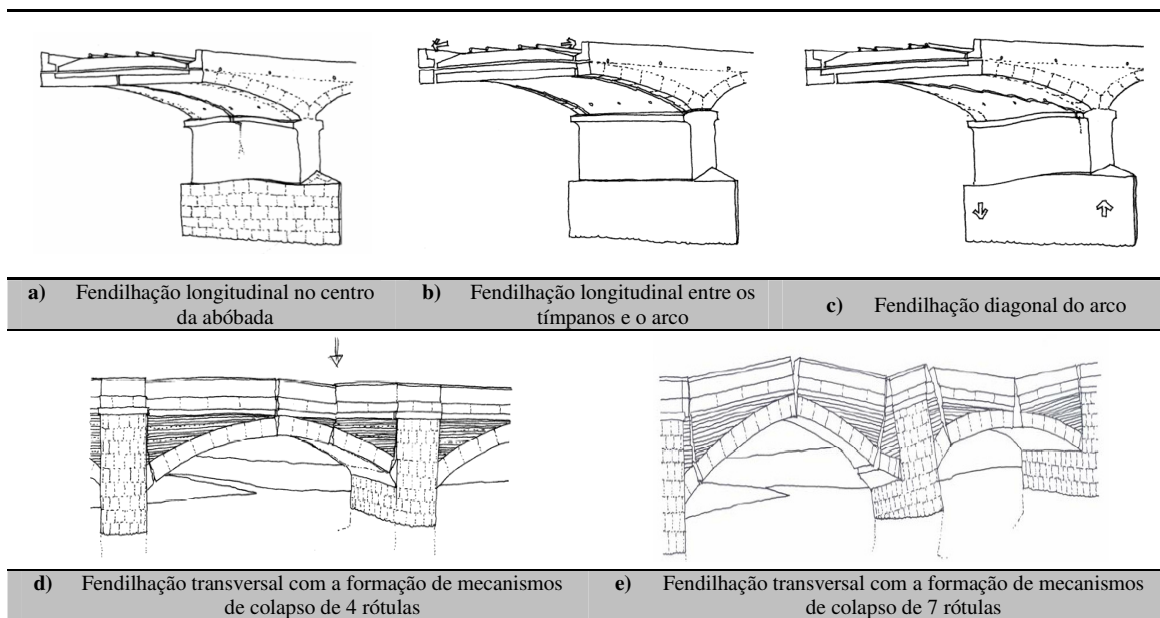


Figura 38 – Fendilhação longitudinal e transversal no arco (Catalán e Álamo 2006)

A *perda ou deslocamento de material do arco* pode ser devida a cargas dinâmicas excessivas ou problemas relacionados com a durabilidade ou a ambos. Na Figura 39 ilustra-se um exemplo deste dano.

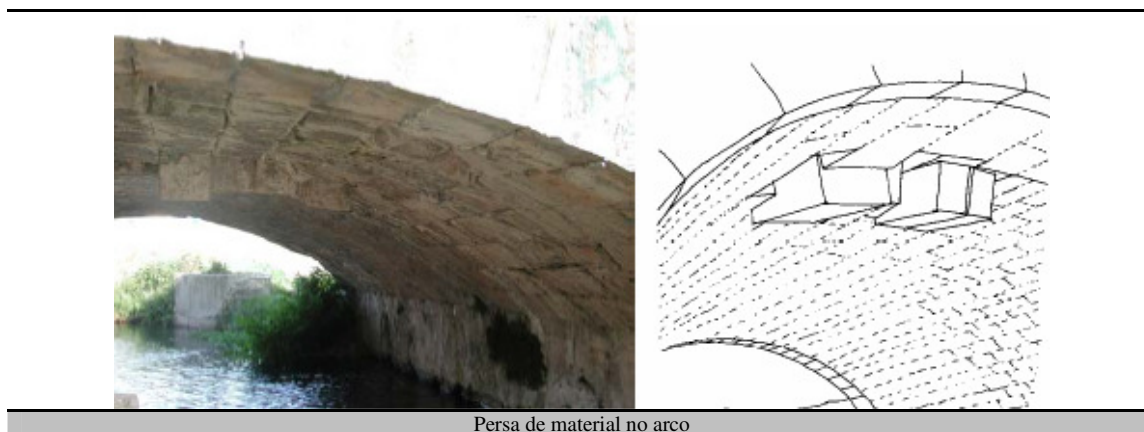


Figura 39 – Queda de pedras de um arco de alvenaria de pedras (Catalán e Álamo 2006)

As *falhas mecânicas no arco* correspondem a danos localizados que resultam da atuação das forças de internas, podendo ocorrer por excesso de compressão axial (Figura 40a), flexão associada a corte (Figura 40b) ou flexão a corte associadas a forças de compressão reduzidas (Figura 40c).

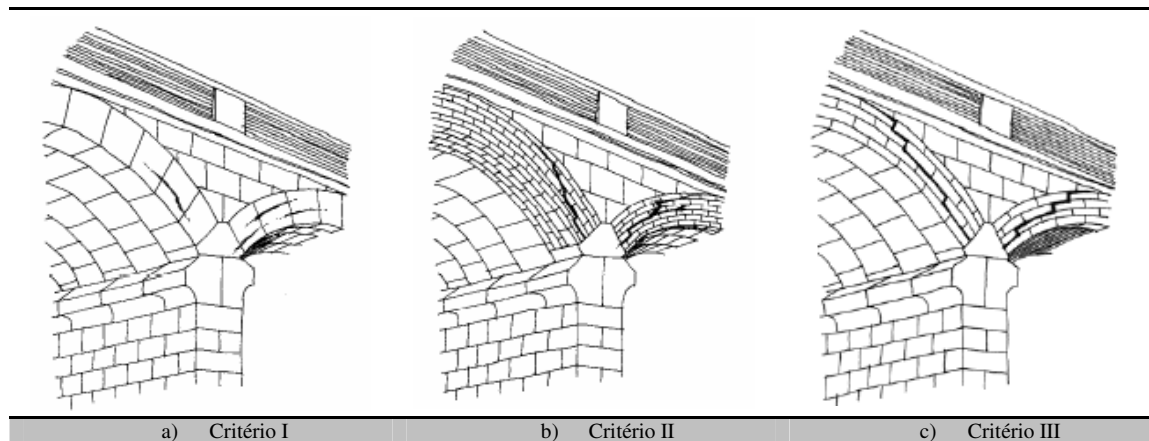


Figura 40 – Falhas mecânicas em pontes de alvenaria

3.2.2 Anomalias nos pilares

A *fendilhação vertical nos pilares* pode ocorrer devido à concentração do de compressão, perda de enchimento no interior do pilar ou alterações na base das fundações e assentamentos (Figura 41a). Esta anomalia requer atenção imediata, uma vez que se trata de um aviso de um colapso eminente e catastrófico.

A *fendilhação em escada* está associada à rotação da base do pilar quando há uma falha local da fundação (Figura 41b).

As *fendas verticais entre talhantes, quebrantes e pilares* correspondem a avarias relacionadas com problemas de fundação ou com o sistema construtivo dos talhantes e quebrantes quando são separados o pilar (Figura 41c).

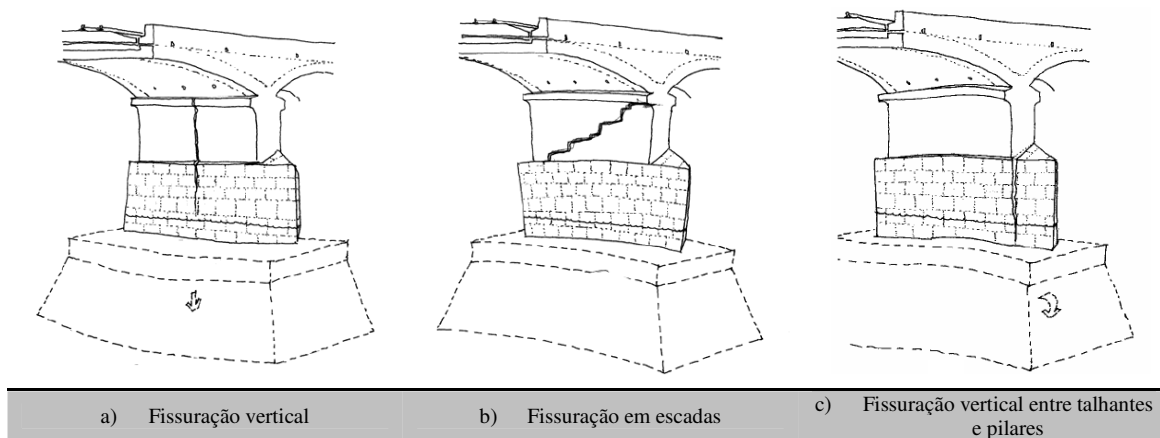


Figura 41 – Anomalias nos pilares (Catalán e Álamo 2006)

3.2.3 Anomalias em encontros

A *fendilhação vertical em encontros* é semelhante à fendilhação vertical em pilares (Figura 42a).

A *fendilhação horizontal* é comum no centro dos encontros de pontes muito baixas, quando os encontros não são capazes de resistir ao impulso horizontal transmitido através do arco (Figura 42b).

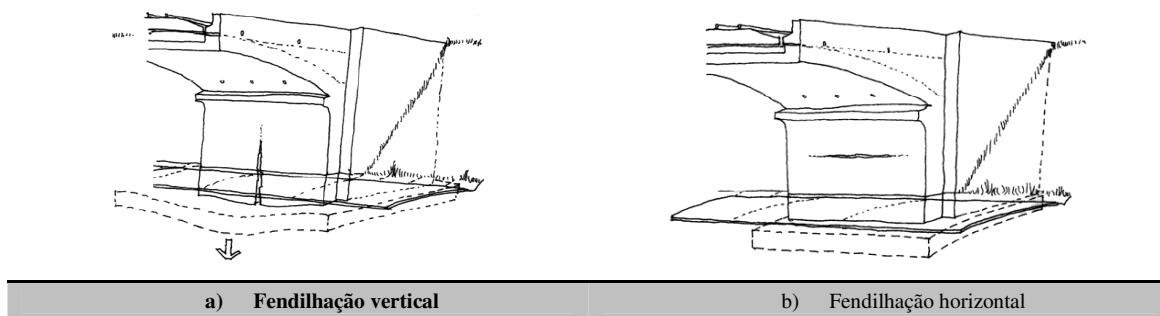


Figura 42 – Anomalias nos encontros (Catalán e Álamo 2006)

3.2.4 Anomalias nos tímpanos

O *abaulamento dos tímpanos* deve-se à pressão excessiva do enchimento e da água retida pelo tímpano, e também à componente horizontal das cargas aplicadas. Este dano representado na Figura 43a e na Figura 43d é uma característica de pontes em arco

profundas, mas não muito largas e com uma grande profundidade de enchimento sobre o arco.

O *deslizamento dos tímpanos* ocorre tipicamente quando a pressão do enchimento em conjunto com a força horizontal devido a ações da água retida, o balastro e ações externas, são maiores do que a ação estabilizadora do peso próprio do tímpano multiplicada pelo coeficiente de atrito das juntas (Figura 43b,e) é uma característica de pontes em arco profundas, mas não muito largas e com uma grande profundidade de enchimento sobre o arco.

A *rotação do tímpano* ocorre quando o momento de derrube devido ao enchimento, à água e às cargas aplicadas, é maior do que o momento de estabilização. É característico de pontes em arco estreitas rasas e profundas e com uma grande profundidade de enchimento (Figura 43c,f).

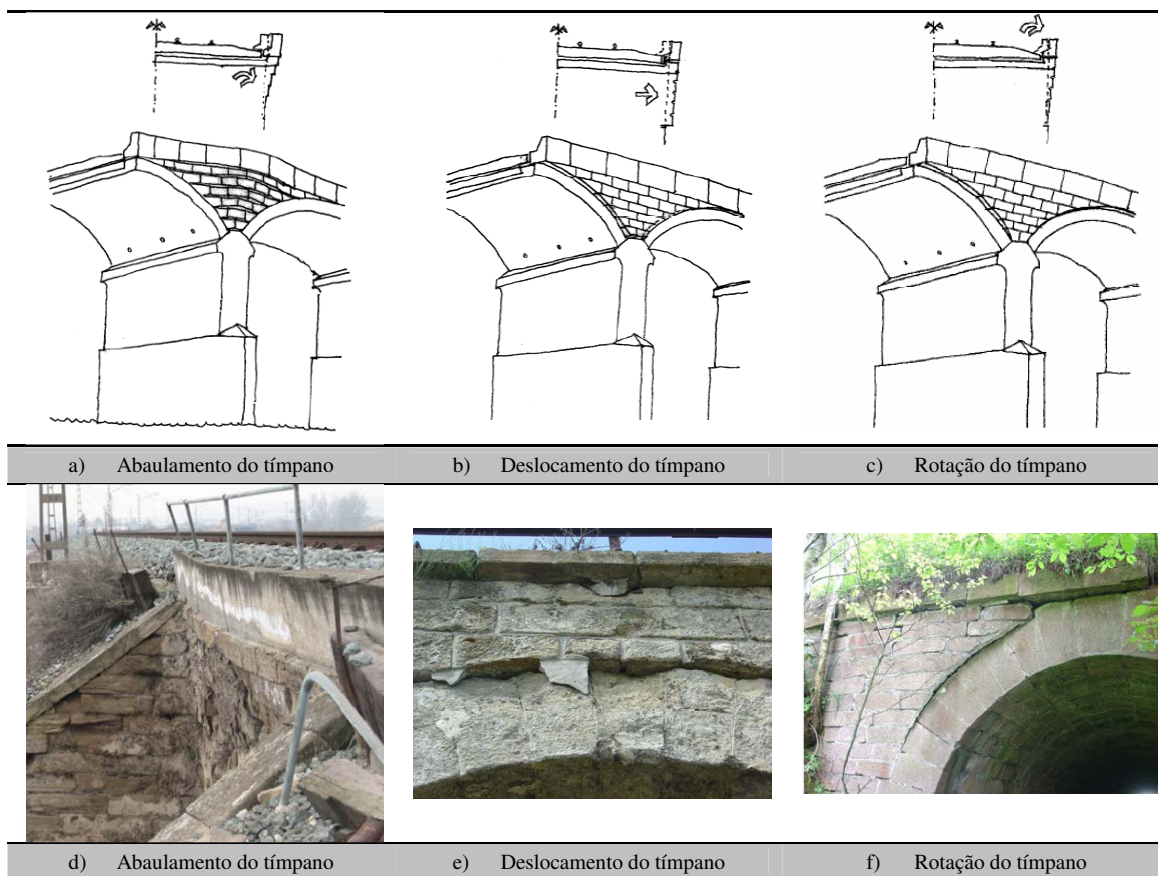
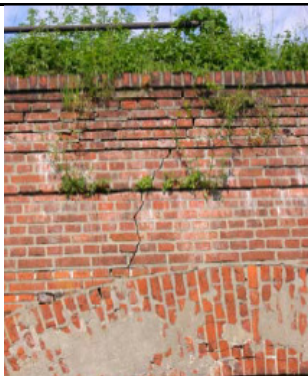


Figura 43 – Anomalias nos tímpanos (a) (Catalán e Álamo 2006)

A *fendilhação em escada nos tímpanos* (Figura 44) é um resultado da tendência do arco para se tornar num mecanismo de três ou quatro rótulas e ocorre devido à deformação do arco após a remoção prematura dos cimbres.



Fendilhação em escada nos tímpanos

Figura 44 – Anomalias nos tímpanos (b) (Catalán e Álamo 2006)

3.2.5 Anomalias em muros de ala e muros de avenida

A origem da *rotação e abaulamento* nos muros de ala e de avenida (Figura 45a) pode dever-se a ineficiente drenagem do enchimento, que aumenta a pressão horizontal nas paredes e que resulta em rotação ou abaulamento dos muros, como pode acontecer também no caso dos muros de tímpano.

A *fendilhação vertical na ligação entre o encontro e os muros de ala e avenida* deve-se a movimentos diferentes dos elementos (Figura 45b). O encontro é unido ao tímpano e ao arco, enquanto os muros têm movimentos horizontais livres, em particular na parte superior.

A *fendilhação em escada* tem normalmente origem no assentamento diferencial no plano do muro (Figura 45b).

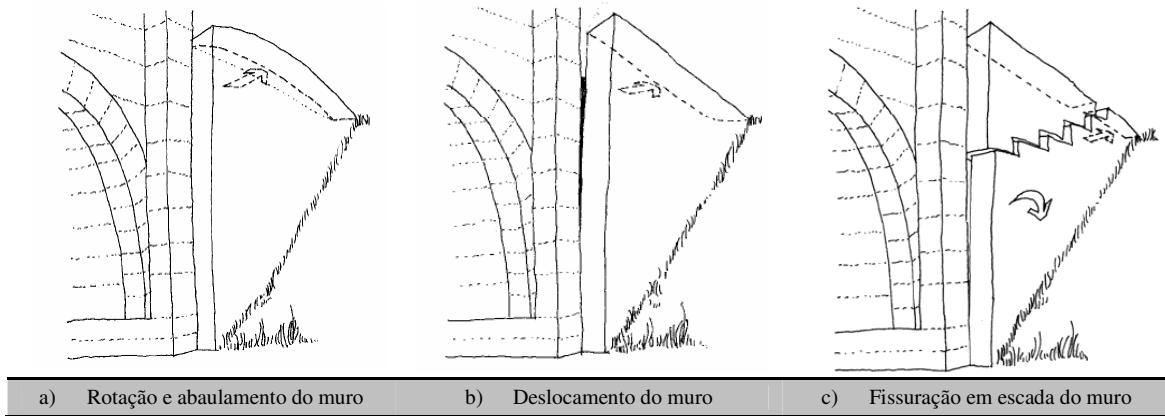


Figura 45 – Anomalias em muros de ala e muros de avenida (Catalán e Álamo 2006)

3.2.6 Anomalias na fundação

Grande parte dos danos estruturais existentes nas pontes em arco de alvenaria está relacionada com problemas ou falhas nas fundações.

Entre as anomalias que podem ocorrer nos elementos das funções são frequentes a perda dos elementos de proteção, a erosão local dos elementos de fundação ou a abrasão e apodrecimento das estacas de madeira (Figura 46).

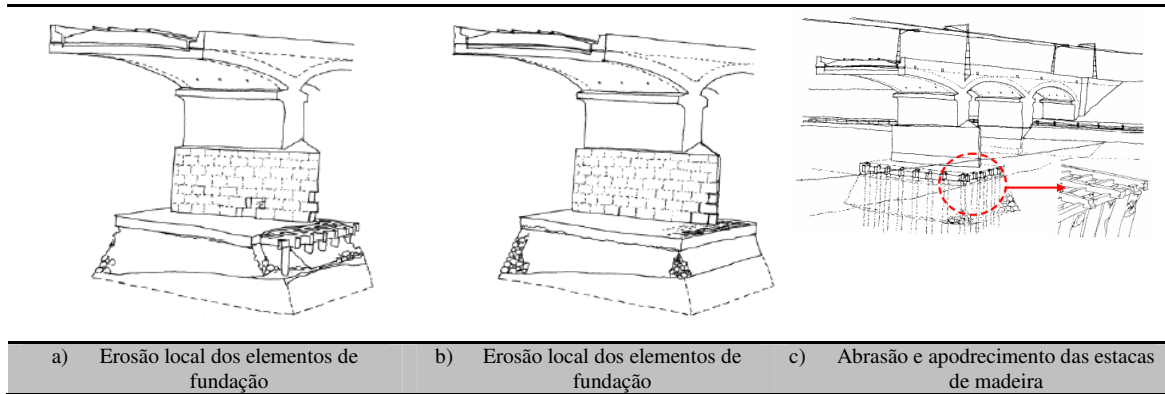


Figura 46 – Exemplos de degradação do material de fundação (Catalán e Álamo 2006).

Para além disso pode ocorrer perda de estabilidade da fundação devido a alterações no leito do rio (Figura 47).

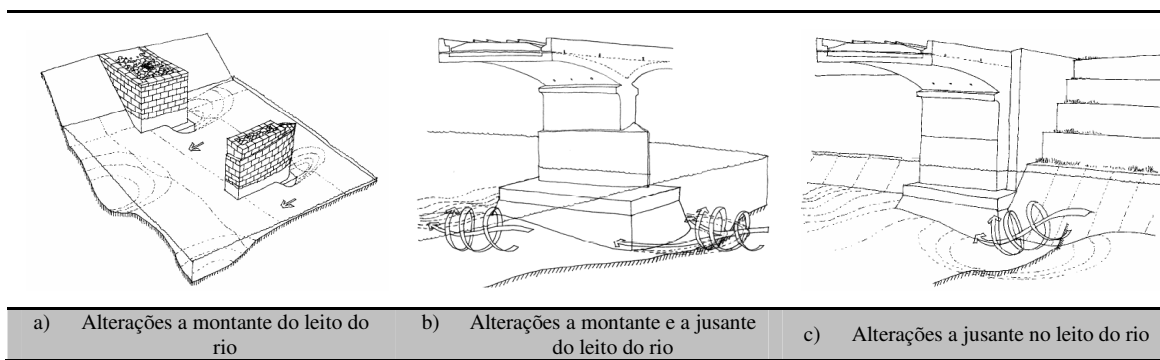


Figura 47 – Perda de estabilidade da fundação devido a alterações no leito do rio (Catalán e Álamo 2006).

De entre as anomalias que decorrem de problemas nas fundações, as mais frequentes ilustram-se na Figura 48 e correspondem a *assentamento diferencial longitudinal em pilares* (Figura 48a), *rotação longitudinal da base do pilar* (Figura 48b), *rotação transversal do pilar* (Figura 48c), *assentamento diferencial transversal do pilar* (Figura 48d), *assentamento relativo entre extremidades e o centro de pilar* (Figura 48e).

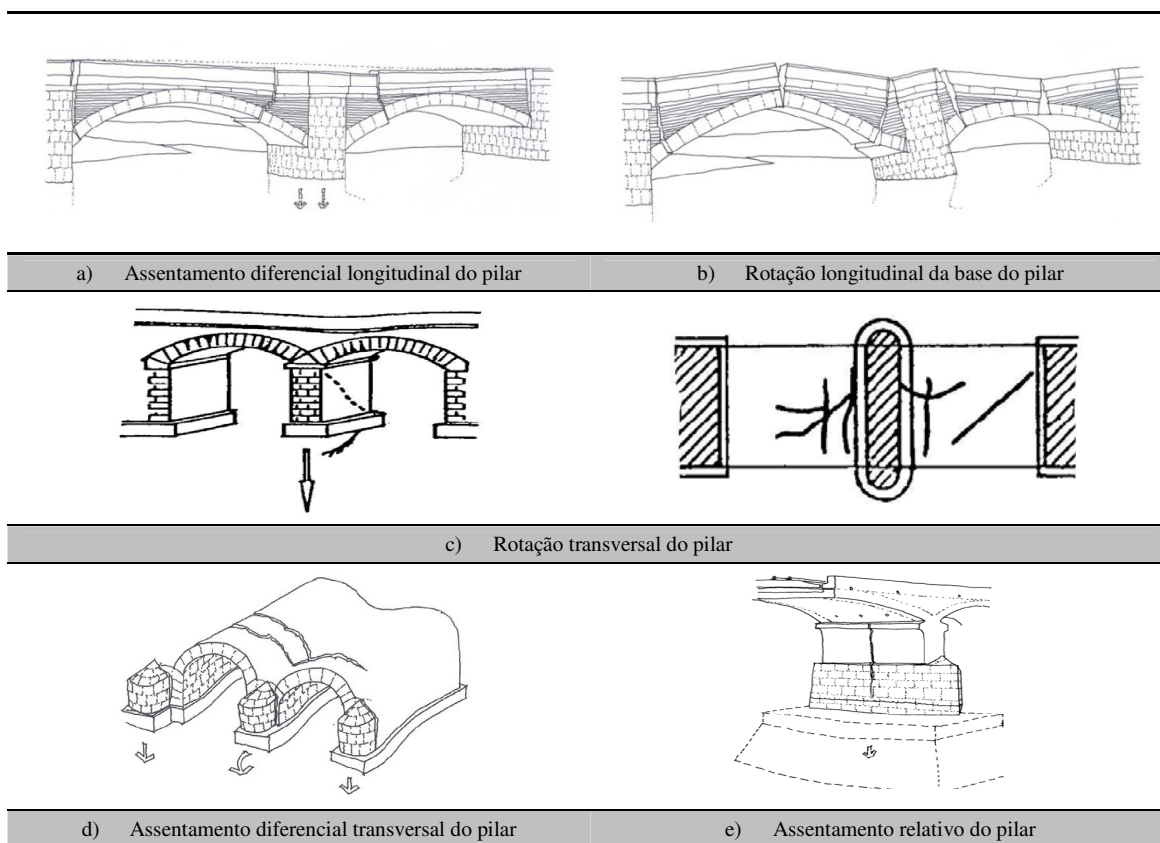


Figura 48 – Anomalias decorrentes de problemas nas fundações (Catalán e Álamo 2006)

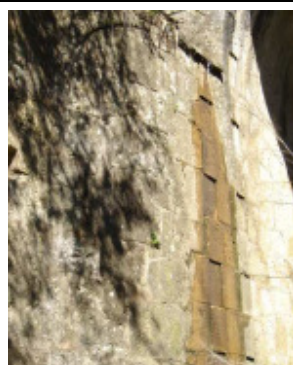
3.3 Anomalias generalizadas dos materiais

Os principais agentes agressivos de deterioração dos materiais: água, sais solúveis, gases presentes na atmosfera, seres vivos, temperatura, vento e gelo, conduzem a *alterações da superfície* e a *perda de material*. Trata-se de danos de natureza físico-química, mecânica e erosiva que resultam essencialmente da passagem do tempo e de planos de manutenção e intervenções de reabilitação desadequados (*ação humana*).

As anomalias correspondentes a *alterações da superfície* afetam a aparência externa de alvenaria, apesar de não causarem mudanças significativas na estrutura da alvenaria ou de participarem nos principais processos de degradação. Entre estas anomalias são frequentes o aparecimento de manchas de humidade, escorrências e depósitos de água (Figura 49), manchas e filmes negros (Figura 50), depósitos de origem biológica (Figura 51), eflorescências e cripto-eflorescências (Figura 52) e crostas de carbonato de cálcio (Figura 53).

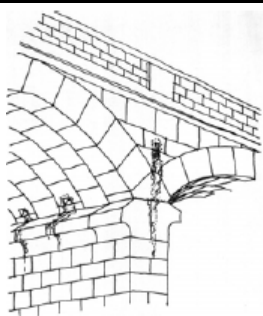


a) Presença de água por capilaridade



b) Escorrência de água nos paramentos da alvenaria

Figura 49 – Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água (C. Costa 2009)



a) Manchas negras e filmes negros



b) Manchas negras no arco



c) Filmes negros no tímpano

Figura 50 – Exemplos de manchas negras e filmes negros (Catalán e Álamo 2006)

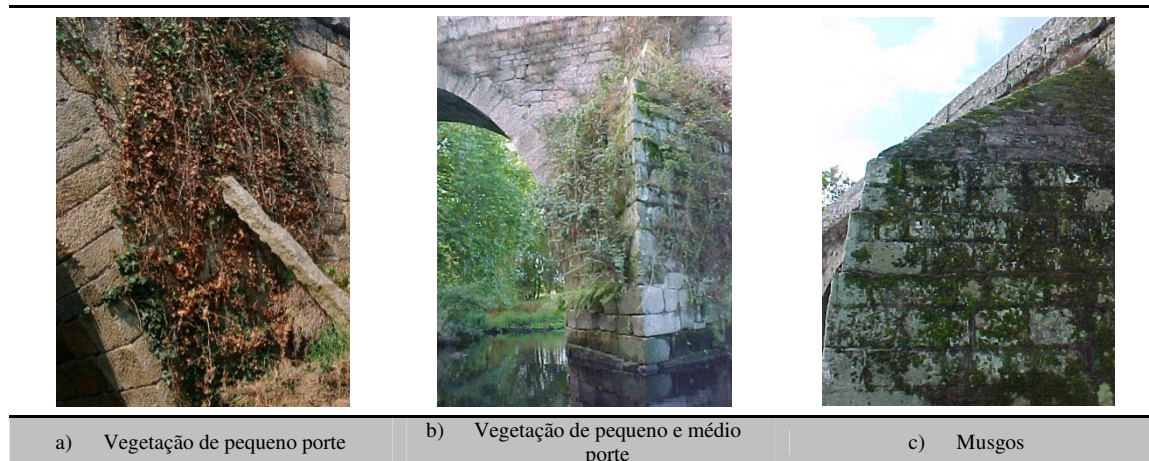


Figura 51 – Exemplos de depósitos de origem biológica (C. Costa 2009)



Figura 52 – Exemplos de eflorescências (Catalán e Álamo 2006)

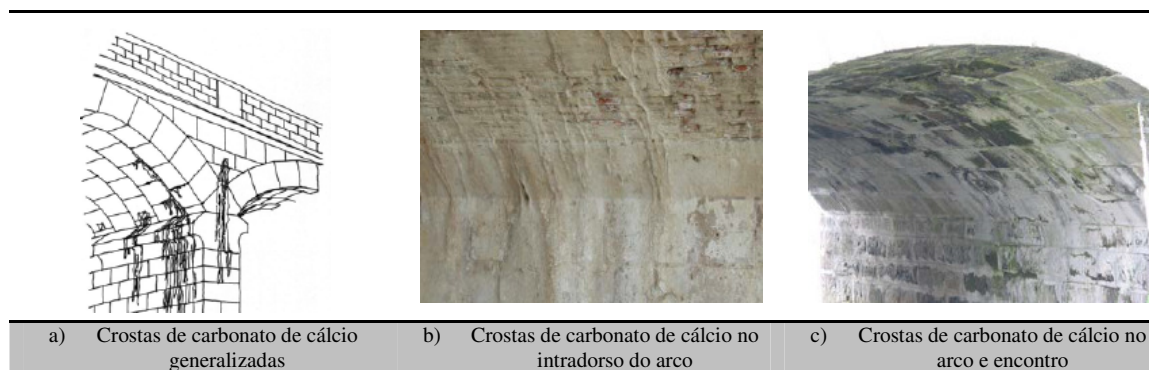


Figura 53 – Exemplos de crostas de carbonato de cálcio (Catalán e Álamo 2006)

A *perda de material* inclui todos os tipos de danos nas quais há perda de material nas alvenarias em consequência de vários processos químicos e mecânicos. Estes danos são mais graves e normalmente apresentam um sinal de um processo de deterioração significativa, que pode conduzir à desintegração parcial e perda de

material, ou ambas. As anomalias frequentes correspondem à degradação da pedra por erosão, dissolução e desagregação (Figura 54), alveolização (Figura 55), perda de argamassa nas juntas (Figura 56), delaminação (Figura 57), desalinhamentos e destacamentos de pedras dos paramentos de alvenaria (Figura 58), rotura por elementos de vegetação (Figura 59).

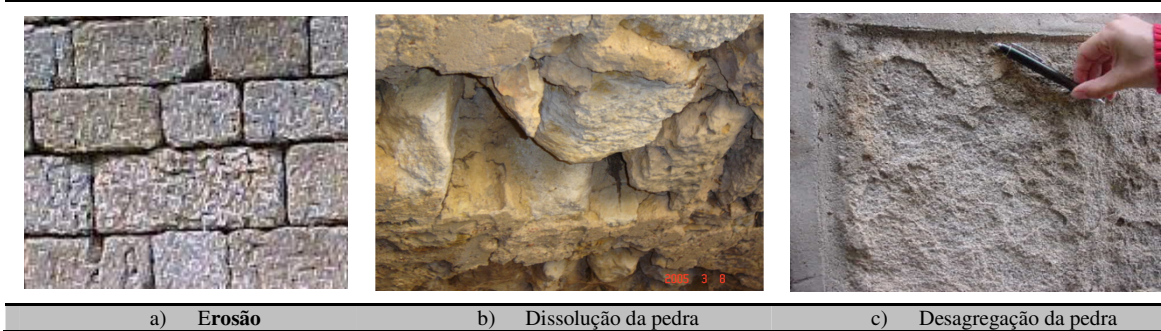


Figura 54 – Exemplos de dissolução da pedra (C. Costa 2009)



Figura 55 – Alveolização (Catalán e Álamo 2006)

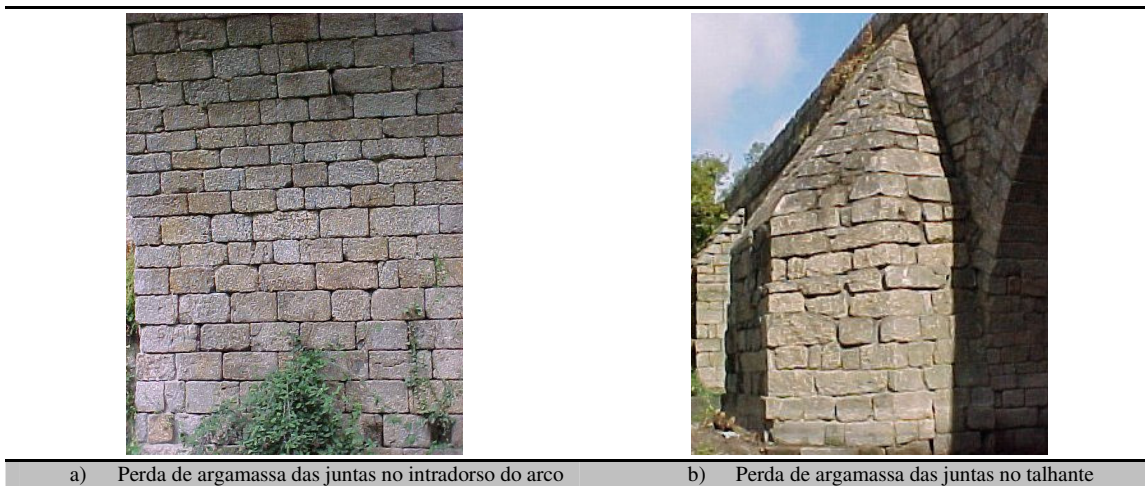
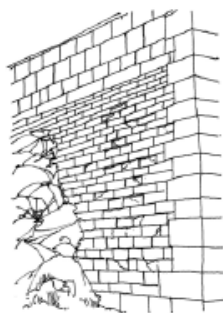
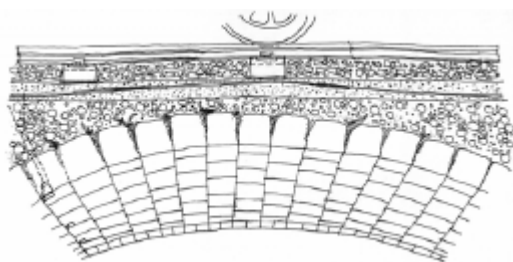


Figura 56 – Perda de argamassa das juntas (C. Costa 2009)



Delaminação

Figura 57 – Delaminação (Catalán e Álamo 2006)

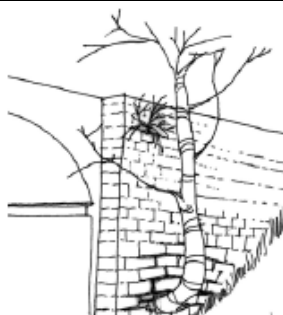


a) Desalinhamentos de pedras



b) Destacamentos de pedras

Figura 58 – Desalinhamentos e destacamentos de pedras nas alvenarias (Catalán e Álamo 2006)



Rotura por elementos de vegetação

Figura 59 – Rotura por elementos de vegetação(Catalán e Álamo 2006)

Entre os *danos decorrentes da ação humana* nas pontes em arco de alvenaria de pedra que podem ser causados diretamente pela ação humana, os mais frequentes correspondem a atos de vandalismo (Figura 60) e impacto de veículos (Figura 61).



Atos de vandalismo

Figura 60 – Atos de vandalismo (Catalán e Álamo 2006)



Impactos de veículos

Figura 61 – Impactos de veículos (Catalán e Álamo 2006)

Relativamente a intervenções de reabilitação e reforço desadequadas uma das situações frequentes corresponde à utilização de cimento Portland corrente em intervenções de reabilitação e reforço conduz a ocorrência de danos de natureza físico-química devido a incompatibilidade entre os materiais existentes e o novo material adicionado.

Ao serem introduzidos na construção, os sais contidos no cimento desencadeiam fenómenos de dissolução e desagregação, já detalhados anteriormente, que podem levar a construção a um estado de degradação mais gravoso após a intervenção. Neste sentido, as intervenções em estruturas de pedra devem ser realizadas com argamassas quimicamente compatíveis com os materiais existentes, portanto essencialmente à base de cal e pobres em cimento.

Além de quimicamente incompatível, a utilização de argamassa de cimento para refechamento das juntas conduz a uma alteração do funcionamento mecânico da alvenaria, que inicialmente se baseava na existência de interfaces fracas entre blocos (com argamassa de reduzido módulo de elasticidade ou mesmo inexistente) e blocos

fortes. Após a intervenção com argamassas com elevado módulo de elasticidade as juntas passam a funcionar como elementos fortes.

Esta alteração prejudica o princípio de funcionamento desejável da alvenaria, na qual as juntas constituem planos de descontinuidade e fraqueza onde podem ocorrer abertura/fecho e escorregamento entre as interfaces dos blocos; com a adição de uma argamassa de ligação muito forte, que impede que isso aconteça, o funcionamento da alvenaria passa a ser baseado em interfaces fortes e blocos fracos; pelo que e os danos, inicialmente concentrados nas juntas, passam a ocorrer na ligação bloco-argamassa no blocos, podendo mesmo originar a sua fissuração na direção normal à interface (C. Costa 2009).

4 INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE PONTES FERROVIÁRIAS

4.1 Introdução

A implementação de adequados métodos de inspeção e avaliação, como parte integrante do sistema de gestão de pontes, permite às autoridades ferroviárias uma utilização mais eficiente dos recursos na manutenção das condições de segurança das pontes e na gestão das suas obras de arte.

Neste sentido, as entidades responsáveis pela inspeção regular das pontes existentes no caminho-de-ferro Europeu têm implementado, planos de inspeção periódicos como parte integrante do sistema de gestão e manutenção das obras de arte. Tratam-se de atividades cíclicas, com intervalos temporais bem definidos, cujos objetivos são a garantia de adequados níveis de fiabilidade estrutural e a proteção de pessoas e bens, e os custos afetos à exploração das infraestruturas (Holmerich 2007).

Trabalhos realizados na década passada no âmbito de dois projetos de investigação europeus sobre pontes ferroviárias – “Sustainable Bridges – Assessment for Future Traffic Demands and Longer Lives” (www.sustainablebridges.net) e “Assessment, Reability and Maintenance of Masonry Arch Bridges - UIC Project I/03/U285” (www.uic.org) evidenciaram, por um lado, que era necessário implementar metodologias de inspeção e avaliação mais eficientes, para todos os tipos de pontes existentes na infraestrutura ferroviária europeia. Por outro lado, atendendo à necessidade de serem adotadas medidas comuns a todo o espaço europeu, em resposta a crescentes pressões para aumento das exigências de tráfego ferroviário, incluindo a remoção de barreiras transeuropeias de transporte ferroviário, verificou-se ser necessário dispor de resultados comparáveis sobre o estado da rede de infraestruturas obtidos através de procedimentos de inspeção e avaliação similares.

No estudo realizado pelo UIC, referido anteriormente, é ainda mencionado que as várias entidades responsáveis pelas redes ferroviárias europeias, seguem regras nacionais para inspeção e avaliação das suas pontes, sendo que é corrente executarem-se diferentes tipos de inspeção em função da periodicidade e do detalhe que as caracteriza.

A avaliação global de cada estrutura é baseada em indicadores provenientes de diferentes fontes de informação, as mais comuns correspondem aos resultados de observações visuais e aos resultados de medições *in situ* obtidos através de meios auxiliares de diagnóstico (como são exemplos os ensaios não destrutivos de diagnóstico ou os levantamentos geométricos), e menos frequentes, porque requerem a disponibilização mais meios, porém necessários quando são detetados problemas mais complexos, os ensaios laboratoriais realizados em amostras de materiais recolhidas das pontes, as simulações numéricas do comportamento estrutural das pontes ou outros meios auxiliares de diagnósticos específicos (como ensaios de carga ou ensaios de vibração ambiental).

O estudo concluiu também que no caminho-de-ferro europeu o mais comum é existirem três ou quatro níveis de inspeções, definidos com diferentes periodicidades (semestrais, anuais, bianuais e outros), com as inspeções menos frequentes a serem também as que se caracterizam por apresentar maior detalhe (Holmerich 2007).

Estas inspeções podem classificar-se ainda em regulares ou especiais, consoante ocorram com uma periodicidade previamente definida no contexto do sistema de gestão das infraestruturas ou ocorram como resultado de situações ocasionais que suscitem dúvidas. Como inspeções regulares definem-se as *inspeções de vigilância*, as *inspeções de rotina*, as *inspeções principais* e as *inspeções gerais*, e como inspeções ocasionais as *investigações especiais* e a *opinião de especialistas*.

Nos parágrafos incluem-se os principais aspetos que caracterizam estes seis tipos de inspeções e que refletem as situações mais correntes de acordo com estudo referido anteriormente (Holmerich 2007). Mais adiante, na secção 4.4, descrevem-se também os tipos de inspeções realizadas na rede ferroviária nacional.

As *inspeções de vigilância* são realizadas continuamente pelos operadores da via e dos comboios que durante a sua passagem pelas pontes podem detetar a presença de anomalias (e.g. alterações no som ou obstáculos) comunicando-as por forma a iniciar-se um processo de inspeção.

As *inspeções de rotina* são realizadas semestralmente ou anualmente. Os resultados da inspeção são obtidos através de observações visuais realizadas a

partir do nível do solo, sendo documentadas por escrito ou em formato digital. Os inspetores que realizam estas inspeções têm formação específica para o efeito, seguindo os requisitos nacionais para atingir o nível de formação exigido. Caso ocorram dúvidas, estes inspetores comunicam-nas ao engenheiro responsável pelas estruturas e inicia-se uma investigação mais detalhada (inspeção especial).

As *inspeções padrão*, também designadas como investigações ou inspeções principais, são inspeções realizadas regularmente para atualizar a documentação das pontes. Nos anos em que se realizam as inspeções principais, estas substituem a inspeção anual de rotina e normalmente ocorrem três anos após as inspeções principais. Porém nem todos os países exigem este tipo de inspeções três anos após as inspeções principais. Estas inspeções podem ainda ocorrer ocasionalmente concentrando-se apenas em alguns elementos das pontes, como os que são especialmente sensíveis aos problemas de durabilidade (e.g. pilares ou fundações em rios expostos a cheias, juntas de dilatação e elementos expostos a fadiga).

As *inspeções principais ou gerais* são investigações detalhadas realizadas, à distância do toque, em todas as pontes com intervalos de dois a doze anos, podendo este intervalo variar de país para país. O nível de formação dos inspetores que realizam estas inspeções é mais elevado que o dos inspetores que realizam as inspeções anuais, considerando-se ser necessário que os inspetores principais (em geral engenheiros) sejam experientes em estruturas e entendam a relação causa/defeito associada às observações no local. Para além disso, engenheiros de estruturas devem ainda apoiar os inspetores que realizam normalmente as inspeções de rotina.

Se surgirem dúvidas durante as inspeções regulares são também os inspetores principais (engenheiros experientes em estruturas de pontes) que determinam os requisitos para investigações especiais ou opinião de especialistas.

A primeira inspeção deste tipo (principal) é realizada após a conclusão da ponte, sendo que em alguns países, esta primeira inspeção principal inclui mais

atividades do que as exigidas nas restantes, como por exemplo, a realização de ensaio de carga em pontes de maior importância.

As *investigações especiais* são executadas quando ocorrem dúvidas, sobre o estado real ou sobre a capacidade de carga das pontes. Estas situações podem ser provocadas por eventos inesperados, como por exemplo acidentes com impactos de camiões ou impactos ambientais, como sismos ou inundações, ou por alterações das cargas de tráfego. A necessidade de utilizar comboios com maior carga por eixo, maior frequência, ou a necessidade de extensas medidas de reforço, podem também requerer a realização de investigações especiais no âmbito da reavaliação estrutural. Normalmente é uma equipa externa especializada (laboratório ou universidade) que realiza este tipo de inspeções, (preferencialmente) em colaboração com os inspetores.

A *opinião de especialistas*, tal como as investigações especiais, é pedida quando ocorrem dúvidas sobre o estado das pontes. Em alguns países, são realizadas com regularidade, a cada seis anos, alternando com a inspeção principal que é obrigatória. Neste caso, apenas engenheiros com experiência reconhecida em engenharia de pontes, são autorizados a apresentar as suas opiniões.

Os dados recolhidos durante as inspeções são fundamentais para uma correta caracterização do estado da ponte. Consequentemente é comum (e necessário) que toda a informação relativa às pontes seja documentada (em formato de papel ou, preferencialmente, em ficheiros e bases de dados digitais) em arquivos que pertencem à ponte e a acompanha ao longo da sua vida útil, mesmo em caso de alteração da titularidade.

No domínio da gestão de obras de arte as entidades gestoras dispõem, atualmente, de novos modelos de gestão apoiados em programas informáticos especializados (C. Costa 2009) como são exemplos as aplicações informáticas REGPontes (Almeida 2003), PONTIS (Systematics 2001), BRIDGIT (Hawk 1999) e SGOA (Mendonça e Villar 2002).

O nível de sofisticação destes programas é muito diversificado e podem consistir em simples bases de dados sobre a evolução do estado das pontes, como é o caso do

SGOA, ou basear-se em metodologias mais avançadas baseadas em modelos matemáticos (Matrizes lógicas de Markov) para prever condições futuras e recomendar os trabalhos de intervenção, como no caso do programa PONTIS.

Em qualquer dos casos, os dados relativos ao estado das pontes, recolhidos através de inspeções no local, são usados no planeamento de ações de manutenção, reparação e reforço.

No segundo tipo de programas (os mais avançados), para prever condições futuras das pontes são considerados, nos modelos matemáticos, diversos parâmetros relacionados com a evolução do estado das pontes. Neste contexto a avaliação de fatores de segurança das pontes recorrendo a metodologias expeditas, como as apresentadas neste trabalho para o caso da ponte em arco de alvenaria do Côa, na Linha da Beira Alta, representam um aspeto importante a ser considerado.

Nas secções seguintes é apresentada uma descrição do modelo de gestão das pontes ferroviárias da rede nacional implementado na REFER, focando-se em particular os meios (humanos e materiais) disponíveis na REFER para esse efeito. Neste contexto, inclui-se uma breve descrição da aplicação informática SGOA (secção 4.2) e os principais aspetos relacionados com o inventário, a inspeção e a manutenção das pontes (secções 4.3, 4.4 e 4.5, respetivamente).

São ainda apresentados casos de estudo de inspeções de pontes ferroviárias em arco de alvenaria (secção 4.6), realizadas no âmbito das Campanhas de Inspeção do ano de 2012, na Linha da Beira Alta e no Ramal de Viseu, promovidas pelo órgão de *Estruturas e Projetos Especiais – Pontes*, da REFER.

4.2 Gestão das pontes ferroviárias da rede nacional

Para assegurar a gestão das suas pontes, a REFER possui um departamento responsável pela especialidade, a nível nacional, que se encontra dividido em três áreas: *Estudos e Projetos, Inspeção e Diagnóstico e Manutenção* (Campos 2009).

A área de *Estudos e Projetos* atua a nível nacional e está vocacionada para o acompanhamento de projetos elaborados no exterior, para a elaboração de pareceres e para a execução de projetos de menor envergadura.

A área de *Inspeção e Diagnóstico* é constituída por uma *Equipa de Diagnóstico* e por duas *Brigadas de Inspeção de Pontes (BIP)*. A *Equipa de Diagnóstico* constitui a primeira linha de apoio, tanto ao nível de anomalias, como do acompanhamento, no terreno, de empreitadas e prestações de serviço. As duas *BIP* operam ao nível do trabalho de inspeção de pontes, em duas zonas distintas. Para o efeito o país está dividido em duas zonas de dimensão semelhante, uma a norte e outra a sul. As *BIP* estão vocacionadas para qualquer ação de inspeção, recorrendo-se apenas a apoio exterior para trabalhos muito específicos, como por exemplo, campanhas de nivelamento de precisão, levantamentos batimétricos ou inspeções subaquáticas.

A área da *Manutenção* é composta por quatro equipas operacionais constituídas pelas *Brigadas de Manutenção de Pontes (BMP)* e integra um *Parque de Equipamentos e Materiais*. O objetivo primário da área de *Manutenção* é assegurar um nível adequado de serviços das estruturas e respetivos equipamentos, garantindo um desempenho compatível com o previsto em projeto. Esse desempenho pressupõe uma exploração ferroviária sem restrições, nas condições de segurança, conforto e velocidades previstas. As *BMP* dividem-se pelo país em quatro zonas de ação e têm as suas sedes na Régua, Alfarelos, Entroncamento e Beja. Estão vocacionadas e dimensionadas para executar os trabalhos de manutenção e pequenos trabalhos de reparação.

A implementação de um sistema de gestão de obras de arte viável para apoio às atividades de inspeção, manutenção, conservação, reabilitação e reforço é particularmente importante para garantir o bom funcionamento de todas as pontes e de todos os seus componentes.

Neste contexto, os sistemas de gestão de obras de arte deverão permitir identificar as principais deficiências atuais e futuras das obras de arte e estimar o custo a despendido no futuro em manutenção, conservação, reabilitação ou reforço. Estes

sistemas assumem assim um papel importante na tomada de decisões e consequentemente contribuem para uma melhor gestão das obras de arte.

O sistema de gestão de obras de arte que está implementado na REFER tem por base a aplicação informática SGOA. Este sistema constitui uma ferramenta importante de apoio à gestão do património, permitindo à REFER conhecer o estado de conservação e manutenção das obras e tomar decisões relativas aos investimentos a realizar.

O programa *SGOA – Sistema de gestão de obras de arte* é constituído por seis módulos que se designam por inventário, inspeções, histórico, consultas, tabelas auxiliares e gestão de permissões, permitindo o modelo de funcionamento do programa que haja interação entre os diversos módulos que o constituem.

Trata-se de uma base de dados para apoio à gestão, composta por dados relativos ao inventário das obras de arte e resultados de inspeções, que permite organizar convenientemente a informação recolhida sobre as obras de arte, efetuar consultas sobre o histórico das pontes inventariadas e analisar essas informações com vista a definir as medidas futuras de manutenção, reparação ou reforço.

4.3 Inventário das obras de arte

O inventário de uma obra de arte consiste no registo, de uma forma sistemática e organizada, das características dessa obra que possam servir de base ou interessar à sua manutenção e conservação. No SGOA essa informação é constituída por dados relativos à identificação, localização e descrição da obra de arte. O registo destes dados é feito de acordo com critérios preestabelecidos, de forma a obter uma base documentada que permita, com eficácia, efetuar todos os procedimentos posteriores de gestão de obras de arte.

Neste contexto, os dados relativos a cada obra de arte são organizados no SGOA em quatro tipos, consoante se tratem de: *i)* dados administrativos, *ii)* dados técnicos, *iii)* dados de constituição e *iv)* fotografias da obra de arte. Nos dados administrativos é registada toda a informação disponível que permita localizar e identificar a obra de arte,

assim como as intersecções e acessos. Nos dados técnicos são registados os dados relativos ao tipo e geometria da obra, à exploração da infraestrutura e via e às ações reais e de projeto. Em relação aos dados de constituição é feita a divisão da obra em partes elementares (componentes) que se distinguem pela função no sistema estrutural conforme a classificação apresentada na secção 2.3. As fotografias da obra, como o próprio nome indica, correspondem ao arquivo do registo fotográfico da obra de arte.

No que se refere ao número de obras de arte inventariadas no SGOA, existem atualmente 3768 pontes, estando sob a jurisdição da REFER 2592 pontes de diferentes tipologias e materiais (Tabela 9).

OBRAS INVENTARIADAS		
Total	REFER	Outras entidades
3768	2592	1176

Tabela 9 - Inventário de obras de arte por entidade responsável

As restantes obras, identificadas na Tabela 9 como pertencentes a outras entidades, são da responsabilidade de Câmaras Municipais, da EP-Estradas de Portugal, e outras entidades. Tratam-se, na sua maioria, de passagem superiores rodoviárias, pedonais ou outras, sobre as quais a REFER realiza uma inspeção visual ligeira, de forma a verificar se o estado dessas obras coloca em causa a infraestrutura ferroviária, a sua exploração e circulação de comboios, e se for o caso, as anomalias são comunicadas às entidades respetivas.

Relativamente às obras de arte sob a jurisdição da REFER incluem-se na Tabela 10 o número de obras que se encontra em exploração, em linha desativada, em troço privado, em fase de projeto ou em zona de resguardo.

OBRAS INVENTARIADAS					
Total	Exploração	Desativadas	Privadas	Projeto	Resguardo
2592	2228	270	65	7	22

Tabela 10 - Inventário de obras de arte por situação administrativa

Quanto ao material pelo qual as pontes são constituídas, inclui-se na Tabela 11 o número de obras de arte em alvenaria, betão armado, betão armado e pré-esforço, metálicas e mistas, relativo ao número total de 2592 sob a jurisdição da REFER.

OBRAS REFER					
Total	Alvenaria	BA	BAPE	Metálicas	Mistas
2592	845	949	68	661	69

Tabela 11 - Inventário de obras de arte por material

De acordo com os dados da Tabela 11 pode verificar-se que a REFER tem, atualmente, sob a sua jurisdição 845 obras de arte em alvenaria de pedra, porém, e tendo em conta o total de obras inventariadas, existem outras 96 pontes em alvenaria que estão sob a responsabilidade de outras entidades (Tabela 12).

OBRAS INVENTARIADAS DE ALVENARIA		
Total	REFER	Outras entidades
941	845	96

Tabela 12 - Inventário de obras de arte em alvenaria por entidade responsável

Da Tabela 13 à Tabela 16 apresenta-se ainda o inventário das pontes de alvenaria dividido por diversos parâmetros, nomeadamente, por localização, linha e função da obra de arte.

Na Tabela 13 e na Tabela 14 são então apresentados os números de obras de arte em arco de alvenaria existentes na rede nacional ferroviária, distribuídas por distrito e por linha, respetivamente.

OBRAS DE ALVENARIA DA REFER POR DISTRITO			
Distrito	Alvenaria	Distrito	Alvenaria
Aveiro	56	Leiria	28
Beja	54	Lisboa	54
Braga	37	Portalegre	88
Bragança	31	Porto	71
C. Branco	56	Santarém	69
Coimbra	47	Setúbal	5
Évora	68	V. Castelo	19
Faro	38	Vila Real	27
Guarda	47	Viseu	50
Totais		845	

Tabela 13 - Inventário de obras de arte em alvenaria por distrito

OBRA DE ALVENARIA DA REFER POR LINHA			
Linha	Alvenaria	Linha	Alvenaria
C. Funcheira	1	L. Sul	35
C. S. Gemil	1	L. Tâmega	19
L. Alentejo	33	L. Tua	18
L. Algarve	30	L. V. Novas	4
L. Beira Alta	50	L. Vouga	27
L. Beira Baixa	114	R. Alfarelos	5
L. Cascais	8	R. Aljustrel	1
L. Cintura	8	R. Braga	1
L. Corgo	19	R. Cáceres	10
L. Douro	43	R. Famalicão	7
L. Évora	45	R. Figueira da Foz	15
L. Guimarães	1	R. Lousã	7
L. Guimarães (velha)	22	R. Monção	2
L. Leixões	3	R. Montemor	1
L. Leste	61	R. Mora	15
L. Minho	34	R. Moura	12
L. Norte	87	R. Reguengos	4
L. Oeste	43	R. Sines	1
L. Póvoa	4	R. Tomar	3
L. Sabor	7	R. Vila Viçosa	1
L. Sines	2	R. Viseu	41
L. Sintra	5	Totais	845

Tabela 14 - Inventário de obras de arte de alvenaria por linha

Na Tabela 15 e na Tabela 16 apresentam-se os dados referentes ao número de obras de arte existentes na rede ferroviária nacional, de acordo com a função que as mesmas desempenham (PH, PI, PIP, PS, PSP, PO e VU conforme a classificação apresentada na secção 2.4) e separadas por linha.

FUNÇÃO DE OBRAS POR LINHA								
Linha	Total	PH	PI	PIP	PS	PSP	PO	VU
C. Funcheira	1	1	0	0	0	0	0	0
C. S. Gemil	1	0	1	0	0	0	0	0
L. Alentejo	33	32	0	0	0	0	1	0
L. Algarve	37	19	11	0	6	1	0	0
L. Beira Alta	64	38	7	0	14	0	4	1
L. Beira Baixa	123	96	9	0	9	0	7	2
L. Cascais	8	6	2	0	0	0	0	0
L. Cintura	9	4	4	0	1	0	0	0
L. Corgo	24	16	1	0	5	0	2	0
L. Douro	45	23	3	0	2	0	15	2
L. Évora	45	40	0	0	0	0	5	0
L. Guimarães	1	1	0	0	0	0	0	0
L. Guimarães (velha)	28	15	4	0	6	0	3	0
L. Leixões	7	1	1	0	4	0	1	0
L. Leste	61	52	4	0	0	0	5	0
L. Minho	44	21	7	0	10	0	4	2
L. Norte	92	63	19	0	5	0	4	1
L. Oeste	48	35	8	0	5	0	0	0
L. Póvoa	7	4	0	0	3	0	0	0
L. Sabor	7	7	0	0	0	0	0	0
L. Sines	3	2	0	0	1	0	0	0

Tabela 15 - Inventário de obras de arte por função e por linha

FUNÇÃO DE OBRAS POR LINHA								
Linha	Total	PH	PI	PIP	PS	PSP	PO	VU
L. Sintra	5	5	0	0	0	0	0	0
L. Sul	35	31	2	0	0	0	2	0
L. Tâmega	23	15	0	0	4	0	4	0
L. Tua	22	14	1	0	4	0	3	0
L. Vouga	30	24	1	0	3	0	2	0
R. Alfarelos	6	5	0	0	1	0	0	0
R. Aljustrel	1	1	0	0	0	0	0	0
R. Braga	2	1	0	0	0	1	0	0
R. Cáceres	10	9	1	0	0	0	0	0
R. Famalicão	9	6	0	0	2	0	1	0
R. Figueira da Foz	15	13	2	0	0	0	0	0
R. Lousã	8	6	1	0	1	0	0	0
R. Monção	2	1	1	0	0	0	0	0
R. Montemor	1	1	0	0	0	0	0	0
R. Mora	15	13	0	0	0	0	2	0
R. Moura	12	12	0	0	0	0	0	0
R. Reguengos	4	3	0	0	0	0	1	0
R. Sines	1	1	0	0	0	0	0	0
R. Tomar	2	1	1	0	0	0	0	0
R. Vila Viçosa	1	1	0	0	0	0	0	0
R. Viseu	50	31	2	0	9	0	8	0
Totais	941	670	93	0	94	2	74	8

Tabela 16 - Inventário de obras de arte por função e por linha

4.4 Inspeção de pontes ferroviárias (da REFER)

Em Portugal verifica-se não existir legislação ou orientações normativas sobre a atividade de inspeção das infraestruturas, sejam elas rodoviárias ou ferroviárias, cabendo a cada entidade gestora a definição da periodicidade e metodologias a adotar.

O sistema de inspeção implementado na REFER, até 2008, baseava-se em ciclos de cinco anos de inspeções (principais) que consistiam fundamentalmente na realização de observações visuais dos componentes da ponte (visualmente) acessíveis (Patrício 2009).

Atualmente, sistema de gestão de pontes da REFER, é baseado em três tipos de inspeções: *inspeções de rotina*, *inspeções principais* e *investigações detalhadas* (ou

especiais), que se realizam com ciclos temporais, meios humanos e técnicos e níveis de detalhe distintos. As *inspeções de rotina* e as *inspeções principais* são realizadas com ciclos temporais regulares de um e quatro anos, respetivamente, enquanto as *inspeções detalhadas* (ou *especiais*) ocorrem em ciclos com duração variável, como resultado de situações ocasionais (Tabela 17).

Tipos de Inspeção	Ciclo (Anos)
Inspeções de rotina	1
Inspeções principais	4
Investigações detalhadas	Variável

Tabela 17 - Tipos e ciclo das inspeções realizadas na rede ferroviária nacional

As informações recolhidas nas *inspeções principais* são documentadas em relatórios de inspeção, no programa SGOA, e apesar de se manterem fundamentadas essencialmente em resultados de observações visuais, podem incluir resultados obtidos de ensaios não destrutivos ou ligeiramente intrusivos e de outros meios auxiliares de diagnóstico, realizados pelos técnicos das *brigadas de inspeção* com equipamentos próprios da REFER. Nestes relatórios são integrados dados provenientes da observação de todos os componentes da superestrutura das pontes quer estes se encontrem submersos ou em locais de difícil acesso.

No que respeita às ações de inspeção, de modo a evitar uma carga subjetiva sujeita às grandes diferenças de avaliação relativas de cada um dos inspetores de pontes, foram definidos índice de gravidade de anomalias por componente e para a globalidade da estrutura (Tabela 18). Para o efeito, recorreu-se aos trabalhos desenvolvidos na UIC - União Internacional dos Caminhos de Ferro(UIC 2006) para este fim, tendo sido adotada a uma classificação com índices que variam de 0 a 4 e que correspondem à descrição apresentada na Tabela 18. Na mesma tabela apresentam-se ainda as medidas a tomar para dar seguimento às anomalias detetadas em função do índice que lhe é atribuído (Clemente 2001).

Índice	Definição	Seguimento
0	Estado normal.	-
1	Existência de avarias sem importância, cujo tratamento pode ser feito mais tarde, sem inconveniente.	Registo para comparação com futuras informações da mesma obra.
2	Avarias sem repercussão a curto prazo na estabilidade da estrutura, mas implicando a médio prazo custos de manutenção cada vez mais elevados, carecendo de intervenção quando possível.	Registo de inspeções de acompanhamento frequentes, podendo incluir a colocação de meios permanentes de medição.
3	Avarias importantes, suscetíveis de provocar, a curto prazo, restrições às circulações, carecendo de intervenção logo que possível.	Inspeção detalhada imediata, seguida de vigilância permanente e de trabalhos de reparação.
4	Avarias que impõem atuação imediata.	Trabalhos de reparação imediatos

Tabela 18 – Índices de gravidade das anomalias (Clemente 2001)

Inspeção de Rotina

As *inspeções de rotina* são inspeções de natureza expedita, que se realizam com a periodicidade de cerca de doze a quinze meses. São realizadas pelos técnicos das *Brigadas de Manutenção de Pontes* que no decorrer das suas atividades podem detetar anomalias nas pontes comunicando-as posteriormente às *Brigadas de Inspeção de Pontes*.

Inspeção Principal

As *inspeções principais* são realizadas com ciclos temporais de quatro anos pelos técnicos das duas *brigadas de inspeção de pontes (BIP)* que integram a área de *Inspeção e Diagnóstico* da REFER (ver secção 4.2).

Estas inspeções consistem num número suficiente de observações, realizadas com o objetivo: de determinar o estado de conservação da ponte, identificar quaisquer problemas em formação e/ou mudanças no estado da obra de arte; assim como, garantir que a estrutura continue a satisfazer as exigências atuais de segurança e funcionalidade.

Estas inspeções incluem atividades de *observação visual* em todos os componentes da ponte realizadas à distância de toque e a realização de *ensaios não destrutivos ou ligeiramente destrutivos* e outros *meios auxiliares de diagnóstico*.

As informações recolhidas nas inspeções são documentadas em relatórios de inspeção principal, no programa SGOA, sendo adotados os índices incluídos na Tabela 18 para classificação das anomalias e propostas medidas ou trabalhos de reparação ou correção.

Nos parágrafos seguintes apresentam-se de forma mais detalhada os principais tipos de atividades incluídas na inspeção principal, distinguindo para o efeito as que se referem a atividades realizadas no âmbito de *inspeções visuais gerais* (a), *inspeções subaquáticas* (b), *ensaios não destrutivos ou ligeiramente destrutivos* (c) e outros *meios auxiliares de diagnóstico* (d). De referir que à exceção dos trabalhos especializados de mergulho, topografia e análise química laboratorial, todos os trabalhos sistemáticos são executados pelas *brigadas de inspeção*.

a) Inspeções visuais gerais

Na *inspeção visual geral* são observados todos os elementos ou componentes das pontes, sendo registadas no relatório de inspeção as anomalias detetadas e apresentadas propostas de medidas ou trabalhos de reparação ou correção.

Para garantir o acesso à distância de toque dos elementos ou componentes que se pretendem inspecionar, são usadas algumas técnicas de acesso, designadas de especiais pelos meios que envolvem, nomeadamente, a utilização de um veículo ferroviário com braço articulado, também designado de dresine de inspeção de pontes (Figura 62a) e o acesso por cordas (Figura 62a) (Patrício 2009).

Eventualmente, para garantir o acesso a alguns dos componentes das estruturas podem ser utilizados outros meios para o efeito, como a utilização de plataformas elevatórias e a utilização de barcos a motor, dependendo sempre do local onde a estrutura se encontra.

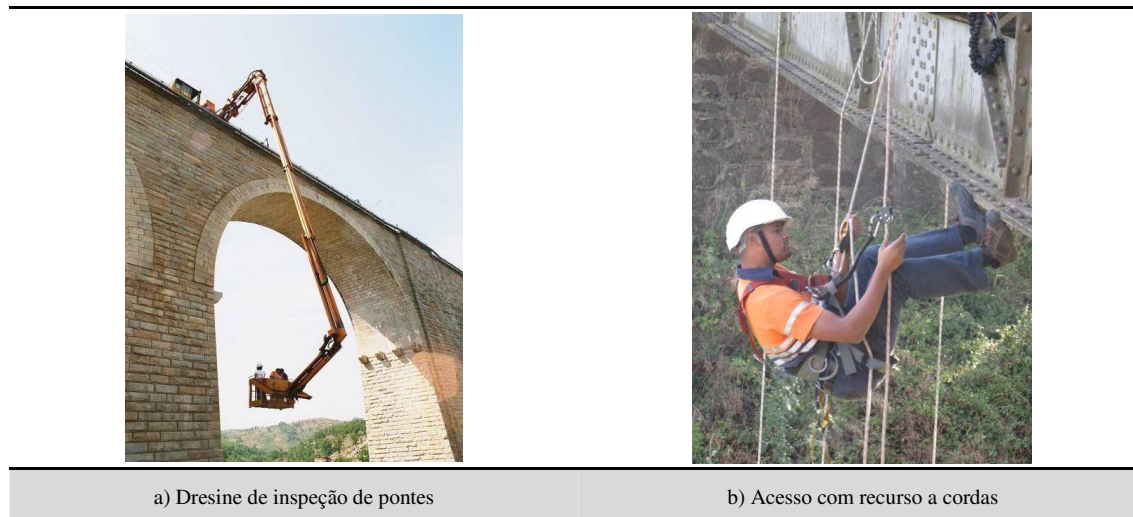


Figura 62 – Técnicas especiais de inspeção de pontes (Patrício 2009)

O acesso por cordas é usado de forma preferencial uma vez que a utilização do veículo de inspeção de pontes ferroviárias obriga necessariamente ao corte de via e tensão da catenária, o que face à obrigação da REFER de manter os níveis de exploração, obriga a realização destes trabalhos em períodos noturnos (períodos consignados à manutenção) e necessariamente curtos (habitualmente entre as 00:00h e 04:00h)

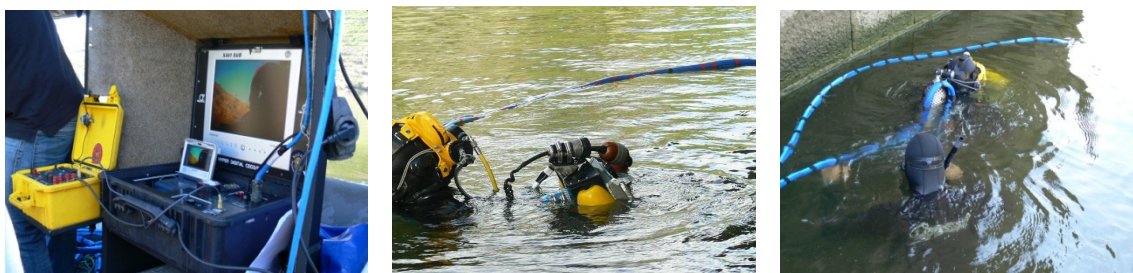
Atualmente considera-se que uma *inspeção principal* encontra-se concluída quando tiverem sido observados todos os componentes estruturais da ponte, incluindo os elementos submersos ou os componentes de difícil acesso (Patrício 2009).

b) Inspeções subaquáticas

Desde 2001, a REFER adotou a *inspeção subaquática* de pontes (Figura 63) como método de avaliação e diagnóstico especial para as obras de arte com elementos submersos (pilares e encontros fundados em leitos de rios). Os trabalhos de mergulho são realizados no contexto de uma prestação de serviço, porém, as inspeções são coordenadas pelos técnicos das **BIP**, cabendo a estes a análise dos dados recolhidos e posterior elaboração de relatórios de inspeção principal, com base nos registos dos mergulhos (Patrício 2009).

Estas campanhas são realizadas no contexto de uma prestação de serviço abrangendo cerca de quarenta pontes com elementos submersos, das quais seis são pontes em arco de alvenaria de pedra, nomeadamente as pontes do Tâmega, de Arêgos,

do Teixeira, da Ribeira da Teja e de Canivais da Linha do Douro e a ponte do Coval na Linha da Beira Alta.



Inspeção subaquática

Figura 63 - Inspeção subaquática de pontes

Neste contexto, foram incluídos como métodos de avaliação e diagnóstico especiais a realização de batimetrias ou levantamentos topo-hidrográfico (em 2002) e aquisição de imagens de sonar subaquático (em 2008), que serão descritos mais adiante.

c) Ensaios não destrutivos ou ligeiramente destrutivos

Atualmente, a REFER dispõe de um conjunto de meios próprios para realização de *ensaios não destrutivos ou ligeiramente destrutivos* durante as inspeções principais. Na sua maioria tratam-se de equipamentos vocacionados para aplicação em estruturas de betão armado ou em estruturas metálicas. Entre estes, são usados regularmente em pontes de betão armado, equipamentos para medição de recobrimentos, carbonatação e cloretos, ou o esclerómetro e em pontes metálicas a utilização de equipamento de ultrassons e líquidos penetrantes.

Existe ainda uma câmara termográfica que pode ser usada como equipamento auxiliar para a inspeção de estruturas de alvenaria, para deteção de zonas de acumulação de água (Figura 64).

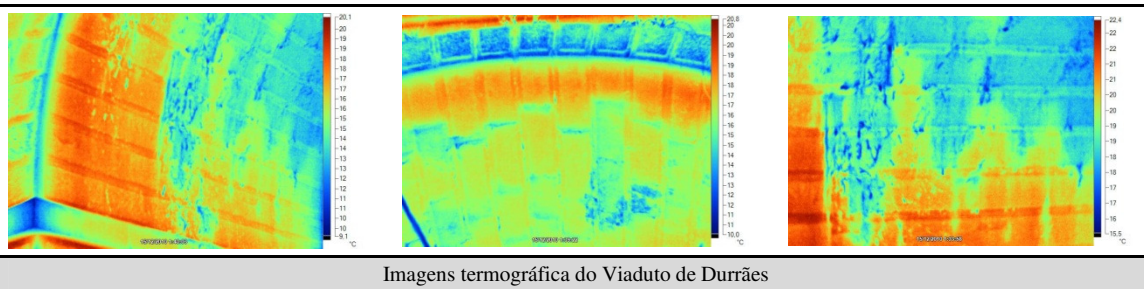


Figura 64 – Imagens termográficas do Viaduto de Durrães

Pontualmente, também são extraídas carotes de materiais para realização de ensaios físicos e químicos em laboratório (Patrício 2009).

É também usual recorrer a contratação de serviços externos, envolvendo empresas especializadas e laboratórios acreditados, para a realização de ensaios não destrutivos ou ligeiramente destrutivos, para *i*) pontes de betão armado: os ensaios de resistência à tração e à compressão, análise petrográfica e resistência de argamassas de injeção, entre outros, para *ii*) pontes metálicas: os ensaios de análise química, raio X, ensaio de dureza, dobragem, choque, tração, fadiga, magnetoscopia e ultrassons e para *iii*) pontes de alvenaria: ensaios de compressão e tração, macacos planos e resistência das caldas de injeção.

d) Outros meios auxiliares de diagnóstico (serviços externos)

Como meios auxiliares de diagnóstico são efetuados com regularidade nivelamentos geométricos de precisão, batimetrias ou levantamentos topo-hidrográfico e aquisição de imagens de sonar subaquático.

A monitorização de pontes com recurso a *nivelamento geométrico de precisão* (Figura 65) foi incluída em 2005 nos métodos de avaliação e diagnósticos especiais do sistema global de gestão de obras de arte (Patrício 2009).

Este sistema de monitorização permite avaliar a evolução no tempo das deformações altimétricas registadas entre pontos de referência exteriores à estrutura (fixos) e pontos de monitorização (móveis) previamente referenciados nas estruturas. Deste modo a realização sistemática e metódica de campanhas de nivelamentos permite detetar atempadamente anomalias associadas a deformações estruturais não previstas.

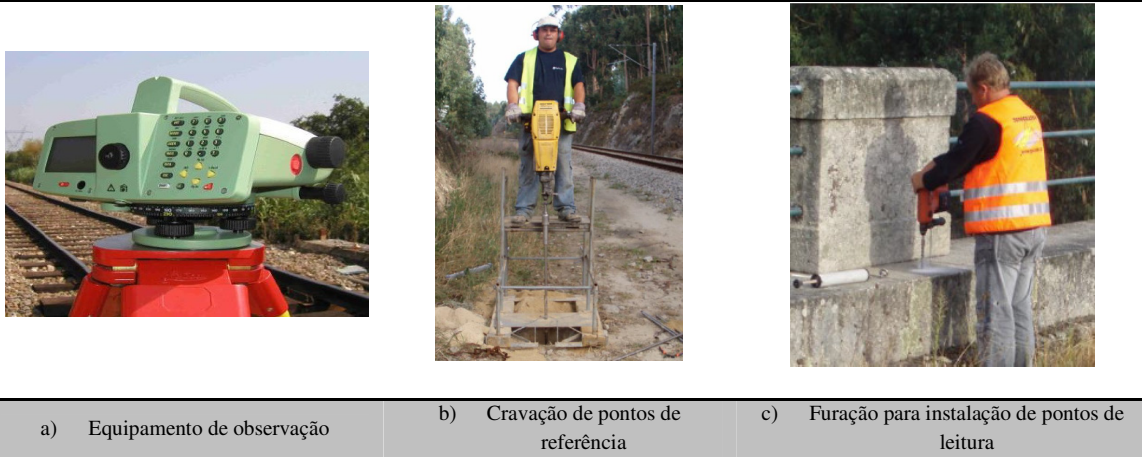


Figura 65 – Nivelamento geométrico de precisão

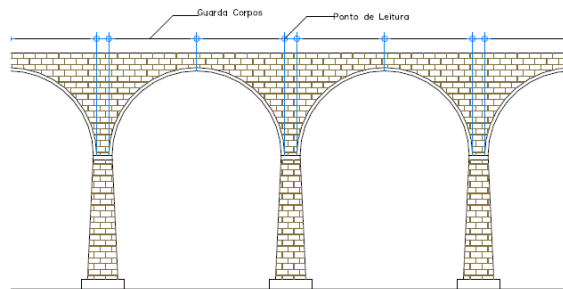
Os nivelamentos geométricos de precisão são realizados no contexto de uma prestação de serviço que abrange cerca de 359 pontes, das quais 47 são pontes em arco de alvenaria de pedra, como é o caso da ponte de Aregos (Figura 66).



Ponte de Aregos, Linha do Douro

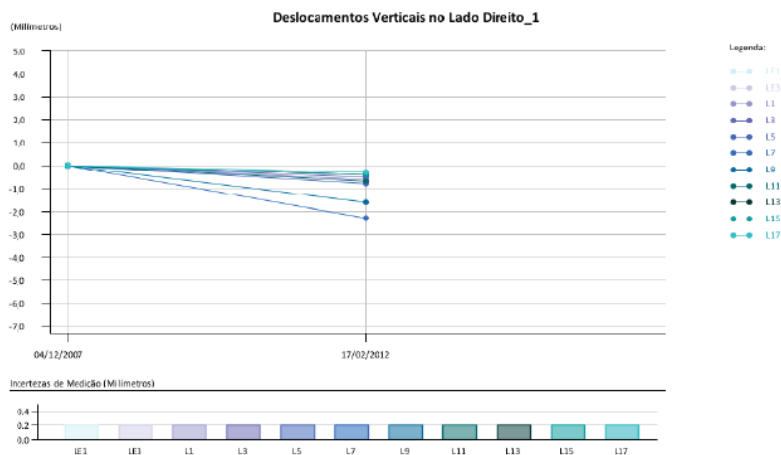
Figura 66 – Ponte de Aregos, Linha do Douro

No caso das pontes em arco de alvenaria os pontos de leitura correspondem a secções transversais na ponte localizadas nos alinhamentos verticais dos pilares e a meio vão dos arcos conforme se ilustra na Figura 67.



Ponto de leitura de nivelamentos geométricos

Figura 67 – Localização dos pontos de leitura de nivelamentos geométricos em pontes em arco de alvenaria



Deslocamentos verticais

Figura 68 – Resultados da campanha de nivelamentos geométricos na Ponte de Aregos

A *batimetria ou levantamento topo-hidrográfico* tem como objetivo o registo do estado do leito do rio da zona envolvente das pontes com infraestruturas submersas (Figura 69) e serve quer para conhecimento da cota do referido leito, sujeito a erosões sedimentares, quer para base de comparação para situações futuras de novas ações a realizar ou pela assunção do carácter periódico deste tipo de inspeções ou em função das condições meteorológicas e hidrológicas, após regimes de cheia significativos.

Esta investigação permite obter algumas propriedades físicas do rio e respetiva evolução na vizinhança da ponte, em particular, as condições em torno dos pilares nas

zonas submersas (Figura 69). Nomeadamente, as características do perfil, os valores normais de corrente, a morfologia do leito envolvente à estrutura e a forma do rio, quer a jusante, quer a montante (Patrício 2009).

Como referido anteriormente estas campanhas são realizadas no contexto de uma prestação de serviço desde 2002, abrangendo cerca de quarenta pontes com elementos submersos, das quais seis são pontes em arco de alvenaria de pedra, nomeadamente a Ponte do Tâmega, A Ponte de Arêgos, a Ponte da Ribeira da Teja e a Ponte de Canivais, na Linha do Douro, a Ponte do Coval na Linha da Beira Alta e a Ponte sobre a Ribeira Grande na Linha de Évora.

A Figura 69 ilustra o levantamento batimétrico da Ponte de Aregos e representa um dos exemplos das batimetrias efetuadas na campanha de 2011. Os resultados obtidos para esta ponte e nesta campanha, foram comparados com os resultados obtidos no ano de 2009. Neste sentido, e como exemplo, pode-se referir que da análise aos perfis resultantes dos levantamentos topo-hidrográficos efetuados em 2009 e 2011, não são visíveis alterações significativas.

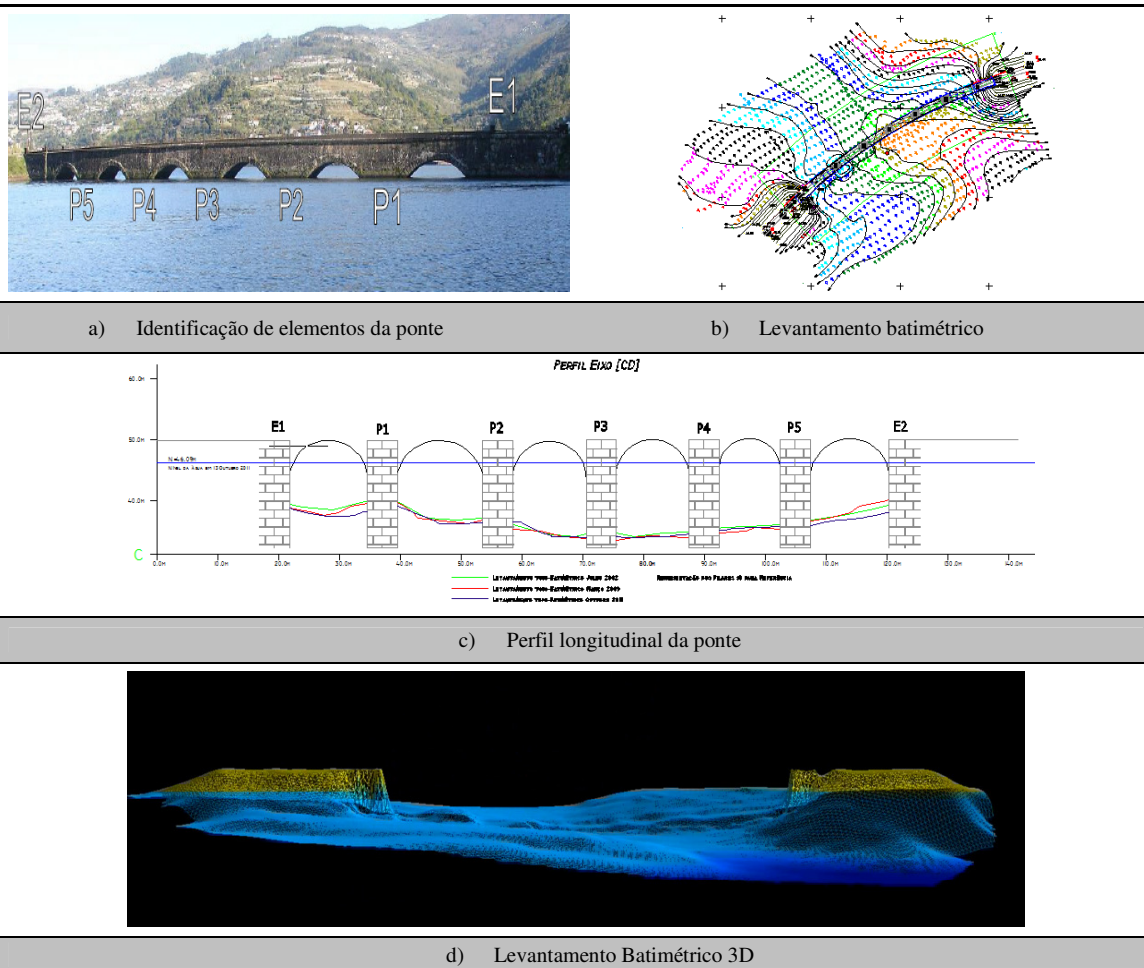


Figura 69 – Levantamento batimétrico da Ponte de Aregos, na Linha do Douro

O conhecimento do impacto da gestão do rio sobre as fundações, devido aos efeitos da construção e do funcionamento das barragens e devido aos efeitos de causas naturais, não evita a ocorrência de acidentes, mas a disponibilidade dos dados fornecidos permite uma abordagem metódica para identificação de potenciais riscos e o tratamento adequado na altura certa.

A *aquisição de imagens de sonar subaquático* dos elementos submersos foi incluída na prestação de serviço da campanha de batimetrias de 2008. As imagens de sonar (Figura 70) permitem obter uma visão geral dos elementos estruturais submersos bem como do leito dos cursos de água (Patrício 2009).

A aquisição de imagens de sonar subaquático é também realizada no contexto de uma prestação de serviço, neste caso abrange cerca de catorze pontes, das quais três são pontes em arco de alvenaria de pedra, nomeadamente, as ponte de Arêgos (Figura 70) e de Canivais, na Linha do Douro e a ponte do Coval na Linha da Beira Alta.

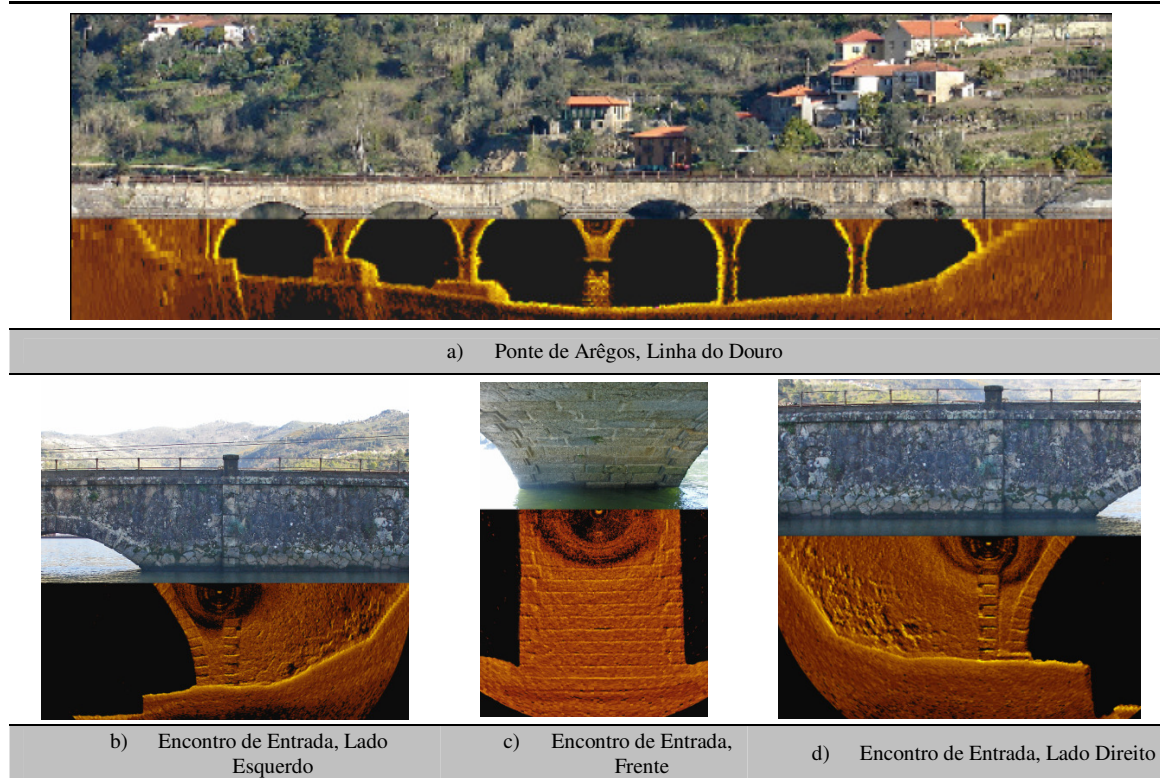


Figura 70 – Imagens sonar subaquático da Ponte de Arêgos

Inspeção detalhada

Quando existem dúvidas sobre o estado das obras de arte, que podem surgir no decorrer das inspeções ou no decorrer de outras atividades, são realizadas *investigações detalhadas*. Estas podem recorrer a contratação de serviços externos envolvendo empresas especializadas, laboratórios ou universidades.

Alguns exemplos destas inspeções detalhadas consistem em levantamentos geométricos das pontes, quando não existe informação disponível, assim como na realização de projetos de avaliação estrutural incluindo a realização de ensaios de carga.

Outros estudos sobre o comportamento das obras de arte podem ainda ser realizados no contexto de projetos de investigação realizados em cooperação entre a REFER e outras instituições. Podem-se incluir neste contexto, os protocolos realizados com algumas universidades do país, onde estão incluídos alguns projetos de investigação das mesmas universidades, assim como o protocolo de cooperação existente com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), que inclui alguns

projetos de monitorização e de especificações para caderno de encargos e instruções técnicas para a REFER.

4.5 Manutenção de Pontes Ferroviárias de Alvenaria

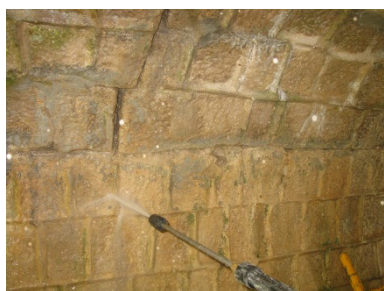
Na REFER, as ações de manutenção podem ser classificadas em três tipos: corrente, preventiva ou corretiva, consoante a previsibilidade/frequência, objetivo e dimensão/"profundidade" das avarias.

Uma política de manutenção eficaz contribui de forma preponderante para a garantia de um bom desempenho das estruturas, reduzindo significativamente tanto os custos associados a intervenções de reparação, como os custos associados às interferências/restrições na exploração (muitas vezes, erradamente, não considerados).

A execução de pequenos trabalhos de manutenção no dia-a-dia reduz a necessidade de grandes intervenções de reparação no futuro.

A *manutenção corrente* consiste na execução de trabalhos que são assegurados continuamente, ao longo da vida útil da obra, com uma programação cíclica que varia entre doze a quinze meses. Tratam-se, em geral, de trabalhos de pequena complexidade técnica e que se estendem a toda a estrutura. De entre estas ações destacam-se as seguintes (Campos 2009):

- Limpeza geral de toda a estrutura, incluindo trabalhos de corte de vegetação na envolvente (Figura 71);
- Desobstrução e limpeza do sistema de drenagem;
- Manutenção dos equipamentos de inspeção (nos casos aplicáveis).



a) Lavagem do arco de alvenaria



b) Corte de vegetação na envolvente

Figura 71 – Exemplos de técnicas de manutenção corrente

Além dos trabalhos referidos anteriormente, nas ações de manutenção corrente, realizadas pela REFER, são ainda incluídos outros tipos de trabalhos que envolvem na correção de avarias correntes, como são exemplo os seguintes trabalhos aplicados no caso das obras de arte em alvenaria (Campos 2009):

- Refechamento local de juntas de alvenaria;
- Injeção em juntas de alvenaria;
- Colocação de gatos/ferrolhos de ligação ente blocos de alvenaria;
- Reposição e/ou substituição de elementos de alvenaria.



a) Reparação da Laje de embasamento



b) Reposição de elementos de alvenaria



c) Refechamento de juntas de alvenaria

Figura 72 – Exemplos de técnicas de ações corretivas

Quanto ao equipamento e material usado na realização destes trabalhos, cada brigada dispõe de um veículo todo o terreno, no qual transporta um gerador, uma máquina de soldar, um maçarico de oxicorte, uma torna (martelo perfurador), um pequeno martelo de demolição/agulhas, colher de pedreiro, talocha, várias chaves e pequena ferramenta diversa, uma motosserra, uma moto-roçadora, lubrificantes, tintas, escovas, lixas, etc., bem como o equipamento de segurança adequado a este tipo de trabalhos.

Quanto aos custos associados a este tipo de manutenção, interessa referir que são custos relativamente baixos e correspondem principalmente ao custo da mão-de-obra, tendo o material incorporado, normalmente, um valor menor. Estes custos de manutenção corrente são também proporcionais à distância da obra de arte em relação aos estaleiros das **BMP**. Em todos os casos tem-se ainda de considerar a amortização dos equipamentos e o custo dos materiais não incorporados.

Para uma maior otimização de recursos, quando decorrem trabalhos de manutenção nas obras de arte realiza-se em simultâneo, pela mesma equipa, a inspeção de rotina.

No que se refere à documentação produzida, para além da informação enviada para as BIP no caso de serem detetadas anomalias, é preenchido um formulário em que são registados a data, a constituição da equipa, a obra em causa e os trabalhos efetuados.

A **manutenção preventiva** consiste na execução de determinados trabalhos com o intuito de reduzir a probabilidade de ocorrência de anomalias e/ou abrandar a evolução da degradação já em curso.

Este tipo de intervenção é determinado, normalmente, pela deteção de alguns defeitos de projeto e/ou execução, pelo deficiente comportamento de materiais e equipamentos, pela alteração da envolvente ou pela agressividade do meio ambiente.

Na manutenção preventiva estão incluídas a execução de lajes de embasamento, proteções de fundações, reforço de fundações, reforço com tirantes e pregagens, injeções de caldas no tardo das alvenarias, entre outros trabalhos que implicam uma maior intervenção na estrutura. Na REFER, estas ações são, correntemente, realizadas por recurso a contratação externa e obedecem a programas anuais de execução ao longo de toda a rede. Este facto deve-se, sobretudo, à duração das ações e aos meios necessários à sua execução (Campos 2009).



Figura 73 – Exemplos de técnicas de manutenção preventiva

As ações de *manutenção corretiva* incidem sobre obras cujas anomalias detetadas afetem, em parte ou no todo, o seu comportamento estrutural. Os trabalhos inseridos nestas ações passam muitas vezes pela reparação, reforço e/ou substituição de diversos componentes da estrutura, com o objetivo de repor as condições iniciais de serviço.

Ao contrário da manutenção de rotina, e de algumas das ações da manutenção preventiva, que se executam de uma forma periódica e programada, a manutenção corretiva resulta, normalmente, da inspeção e diagnóstico da obra de arte. Desta ação inspetiva, e do resultado do diagnóstico, pode surgir a necessidade de se procederem a ações corretivas. Estas ações corretivas podem ou não ser suportadas por uma avaliação estrutural, mas são sempre enquadradas por um projeto que, em muitos casos, se pode resumir a um conjunto de procedimentos e peças desenhadas.

Assim, as ações de manutenção corretiva são planeadas tendo em conta as prioridades ditadas pela gravidade das anomalias, pelo impacto que as restrições impostas têm para a exploração (redução da velocidade máxima de circulação e/ou da capacidade de carga) e pela classificação atribuída ao troço em que se insere (rede principal, secundária ou desativada).

As intervenções de manutenção corretiva são, em grande parte, objeto de contratação externa, nomeadamente nas reparações de maior dimensão. No entanto, parte das ações de pequena dimensão continua a ser feita internamente, através das **BMP**.

No caso das obras de arte em alvenaria, são exemplo de ações de manutenção corretiva os seguintes tipos de intervenção:

- Injeção de vazios, juntas ou fissuras em elementos de alvenaria;
- Reforço interior de arcos de alvenaria, por introdução de novos elementos resistentes (metálicos, em betão ou mistos);
- Recolocação de blocos de alvenaria deslocados (quando possível);
- Colocações de guarda-corpos em estruturas onde estes sejam necessários e não existam (frequentemente em estruturas ou elementos de alvenaria);
- Execução de pregagens ou colocação de tirantes (Campos 2009).



a) Recolocação de blocos de alvenaria



b) Injeção de calda no arco de alvenaria

Figura 74 – Exemplos de técnicas de manutenção corretiva

Para levar a cabo estas ações, as **BMP** têm à sua disposição, além do material e equipamento já referido para a manutenção de rotina, uma dresine, uma carrinha de 3500 kg 4x4 de transporte de materiais, compressores, martelos de cravação, macacos de encosto, forjas, mandriladores, engenhos de furação com base eletromagnética, grampos, esmeriladoras, equipamento de decapagem a jacto de areia, martelos de demolição (ar comprimido e elétricos), macacos hidráulicos, calços diversos, chaves dinamométricas, kits de aplicação de buchas químicas, máquina de injeção, betoneira, material para bailéus/andaimos, nível ótico de precisão, etc. (Campos 2009)

4.6 Casos de estudo de inspeções em pontes em arco de alvenaria

4.6.1 Considerações iniciais

Conforme referido anteriormente, até 2008, na REFER, o sistema de inspeção fundamentava-se em ciclos de inspeção de 5 anos, e a inspeção principal de uma determinada ponte era fundamentalmente visual e cingia-se aos componentes acessíveis.

Atualmente o ciclo de inspeção reduziu-se para três/quatro anos, através de um planeamento devidamente executado, dividido por duas Brigadas de Inspeção, uma na zona Norte e outra a Sul do país, que realizam um relatório de inspeção principal, em todas as obras de arte existentes nas linhas e troços correspondentes à sua zona de intervenção. Apesar de se manter essencialmente visual (com a exceção dos ensaios não destrutivos ou ligeiramente intrusivos) esta inspeção principal integra dados provenientes da observação de quase todos os componentes (com a exceção das fundações) quer estes se encontrem submersos ou em locais de difícil acesso. Neste caso a inspeção principal é apoiada com inspeções especiais que permitem avaliar o estado da obra de arte, através das inspeções subaquáticas, nivelamentos de precisão e batimetrias.

No âmbito destes ciclos de inspeções principais regulares, foram realizadas durante o ano de 2012, inspeções a todas as obras de arte existentes na Linha da Beira Alta, no troço entre a Pampilhosa e Vilar Formoso, e no Ramal de Viseu, no troço entre Sernada do Vouga e Viseu, apresentando-se neste trabalho os principais resultados obtidos para o caso das pontes em arco de alvenaria da pedra.

De referir que os objetivos das campanhas de inspeções realizadas nestas duas linhas são particularmente diferentes, dado que, a Linha da Beira Alta encontra-se em exploração ferroviária e o Ramal de Viseu encontra-se desativado sendo usado, atualmente, como ciclovia em boa parte da sua extensão.

Não obstante a nova utilização do Ramal de Viseu, a realização das inspeções regulares das suas obras de arte, tendo em vista a avaliação o estado de conservação das mesmas e a garantia da segurança das pessoas que utilizam a via, mantem-se sob a responsabilidade da REFER.

Os resultados destas campanhas são registados nos relatórios de inspeção e arquivados no programa SGOA, que contém informações relativas às anomalias detetadas (descrição e registo fotográfico). São ainda atribuídos índices de avaria aos componentes das obras de arte, e quando necessário, são recomendadas propostas de intervenção.

A cada componente da obra de arte (classificado de acordo com a Tabela 1 apresentada na secção 2.3) é atribuído um índice de avaria (de acordo com classificação da Tabela 18 da secção 4.4). No final da inspeção também é atribuído à obra de arte (identificada como o componente 0 – Obra de Arte) um índice de avaria global, que resume o estado geral da obra, quer em relação a critérios de durabilidade dos materiais, quer em relação a critérios de índices de segurança e fiabilidade estrutural.

A atribuição de um índice de avaria a um determinado componente resulta das diversas ações incluídas na inspeção principal e que são aplicadas mediante o caso em avaliação. Neste contexto, incluem-se as seguintes atividades:

- Inspeção visual geral;
- Realização de ensaios não destrutivos ou ligeiramente destrutivos;
- Inspeções subaquáticas;
- Nivelamentos geométricos de precisão;
- Batimetria ou levantamento topo-hidrográfico;
- Aquisição de imagens de sonar subaquático;
- Outros.

Como resultado das campanhas de inspeção são propostas medidas de intervenção que são dirigidas aos órgãos da REFER que serão responsáveis pela sua execução. Entre estes constam os seguintes órgãos: ***Região Operacional Norte (RON)***; ***Região Operacional Centro (ROC)***; ***Região Operacional Sul (ROS)***; ***Brigadas de Manutenção de Pontes (BMP)***; ***Brigadas de Inspeção de Pontes (BIP)***; ***Empreitadas de Reparação***; ***Estudos Especializados e Avaliações Estruturais***.

No que se refere aos atravessamentos superiores à linha (PS – Passagens Superiores), cuja manutenção e beneficiação das estruturas não é da responsabilidade da REFER mas sim das entidades que usufruem do atravessamento, e para as quais também são realizadas inspeções sucintas com o intuito de detetar anomalias passíveis de pôr em perigo a exploração ferroviária, são também comunicadas às entidades responsáveis (***EP, Câmaras Municipais***, e outros) as anomalias detetadas e (eventuais) propostas de medidas de intervenção de modo que estas entidades possam proceder à sua correção.

4.6.2 Resultados globais das inspeções nas Linha da Beira Alta e Ramal de Viseu

Na Linha da Beira Alta foram inspecionadas no total 64 obras de arte em alvenaria, tendo estas funções diversas (PH, PI, VU, PO e PS) das quais 50 estão sob jurisdição da REFER e as restantes 14 (PS) estão sob a responsabilidade de outras entidades (Tabela 19). No caso do Ramal de Viseu foram inspecionadas 30 obras de arte em alvenaria, sendo 26 das quais (PH, PI, e PO) da responsabilidade da REFER (Tabela 20).

Na Tabela 21 e na Tabela 22 resumem-se os dados relativos às campanhas de inspeções realizadas nas obras de arte em alvenaria das Linha da Beira Alta e do Ramal de Viseu, respetivamente. Indicando-se o número total de obras de arte distribuídas por função (PH, PI, VU, PO e PS), a correspondente distribuição do número de obras de arte por índice de avaria global (IA_0) atribuído na inspeção (ao componente 0-Obra de Arte), e a entidade responsável pela obra de arte. Relativamente ao índice de avaria atribuído na inspeção, apresenta-se também, na terceira coluna da tabela, o correspondente valor médio (IA MÉDIO) por tipo de função da obra de arte.

Como pode verificar-se através dos valores indicados na Tabela 19 e na Tabela 20 para o índice de avarias global das obras de arte, a maior parte destas obras (90% das 94 obras inspecionadas) apresenta índices de avarias $IA_0=0$ ou $IA_0=1$, a que correspondem, respetivamente, um estado normal ou a existência de avarias sem importância, cujo tratamento pode ser feito mais tarde sem inconveniente. Verificando-se que das restantes, apenas uma obra de arte (1% do total) têm $IA_0=4$ e as outras oito têm $IA_0=2$ (9% do total).

FUNÇÃO DA AO	N.º TOTAL	IA MÉDIO	N.º DE OA / IA_0					ENTIDADE RESPONSÁVEL
			$IA_0=0$	$IA_0=1$	$IA_0=2$	$IA_0=3$	$IA_0=4$	
Passagem Hidráulica (PH)	38	$IA_M=1$	8	30	0	0	0	REFER
Passagem Inferior (PI)	7	$IA_M=1$	1	6	0	0	0	REFER
Viaduto (VU)	1	$IA_M=1$	0	1	0	0	0	REFER
Ponte (PO)	4	$IA_M=1$	0	4	0	0	0	REFER
Passagem Superior (PS)	14	$IA_M=1$	7	5	2	0	0	Outros
Total	64	$IA_M=1$	16	46	2	0	0	

Tabela 19 - Obras de arte (OA) em alvenaria inspecionadas na Linha da Beira Alta.

Distribuição por função da AO, índices de avaria (IA) e entidade responsável

FUNÇÃO DA AO	N.º TOTAL	IA MÉDIO	N.º DE AO / IA ₀					ENTIDADE RESPONSÁVEL
			IA ₀ =0	IA ₀ =1	IA ₀ =2	IA ₀ =3	IA ₀ =4	
Passagem Hidráulica (PH)	17	IA 1	2	13	1	0	1	REFER
Passagem Inferior (PI)	1	IA 0	1	0	0	0	0	REFER
Ponte (PO)	8	IA 2	0	4	4	0	0	REFER
Passagem Superior (PS)	4	IA 1	3	0	1	0	0	Outros
Total	30	IA 1	6	17	6	0	1	

Tabela 20 - Obras de arte (OA) em alvenaria inspeccionadas no Ramal de Viseu.

Distribuição por função da AO, índices de avaria (IA) e entidade responsável

De entre as 94 obras de arte em alvenaria inspeccionadas nestas duas campanhas foram seleccionados 16 casos de obras (8 casos da Linha da Beira Alta e 8 do Ramal de Viseu) para os quais se apresentam nos parágrafos seguintes uma descrição das anomalias detetadas e as propostas de intervenção que foram pedidas para cada um dos casos. Na Tabela 21 e na Tabela 22 resumem-se os dados de identificação destas obras de arte, incluindo-se a localização (correspondente ao PK da obra) e a função ou o nome da obra. Nas Tabela 21 e na Tabela 22 inclui-se também o índice de avaria global atribuído na inspeção e o órgão para o qual foram enviadas propostas de intervenção.

OBRA DE ARTE FUNÇÃO	PK	IA ₀	ÓRGÃO RESPONSÁVEL PELA INTERVENÇÃO
PO - Ponte do Coval	083+057	IA ₀ =1	REFER (BMP)
PH	153+205	IA ₀ =1	REFER (BMP)
PH	178+436	IA ₀ =1	REFER (BMP)
PH	224+986	IA ₀ =1	REFER (BMP)
PO - Ponte de Noémi	236+420	IA ₀ =1	REFER (BIP)
PS	072+104	IA ₀ =2	Outros
PS	116+100	IA ₀ =2	Outros
PS	117+976	IA ₀ =1	Outros

Tabela 21 – Casos de estudo de obras de arte em alvenaria na Linha da Beira Alta

OBRA DE ARTE FUNÇÃO	PK	IA ₀	ÓRGÃO RESPONSÁVEL PELA INTERVENÇÃO
PH	065+603	IA ₀ =2	Outros
PH	065+630	IA ₀ =4	Outros
PO - Ponte do Poço de Santiago	070+168	IA ₀ =1	Outros
PH	085+485	IA ₀ =3	Outros
PO - Ponte dos Melos	092+561	IA ₀ =2	Outros
PO - Ponte do Forno	093+249	IA ₀ =2	Outros
PO - Ponte do Pego	111+802	IA ₀ =2	Outros
PO - Ponte de S. Pedro do Sul	113+722	IA ₀ =2	Outros

Tabela 22 - Casos de estudo de obras de arte em alvenaria na Ramal de Viseu

Para os casos das pontes em arco de alvenaria da Linha da Beira Alta verifica-se também que, globalmente, as obras de arte se encontram em bom estado de conservação e, como será referido na secção 4.6.3, as avarias encontradas são na sua maioria correspondentes a danos típicos deste tipo de pontes que não comprometem a segurança do sistema estrutural, nem o bom funcionamento da exploração e circulação ferroviária.

Nos casos das pontes em arco de alvenaria do Ramal de Viseu, como será descrito na 4.6.4, verificam-se várias anomalias, quer estruturais, quer de segurança dos utilizadores e apesar destas últimas não terem influência no comportamento estrutural, comprometem a segurança da exploração e circulação dos utilizadores da ciclovia.

4.6.3 Inspeção das pontes em arco de alvenaria da Linha da Beira Alta

Ponte do Coval – Pk 083+057 – Linha da Beira Alta

Trata-se de uma ponte em alvenaria de granito com 131m de extensão com perfil longitudinal retilíneo e secção transversal de 5.33m de largura (Figura 75a). É constituída por oito arcos guarnecidos com molduras (Figura 75b). Num dos encontros existem muros avenida também em alvenaria reforçados por contrafortes (Figura 75c).

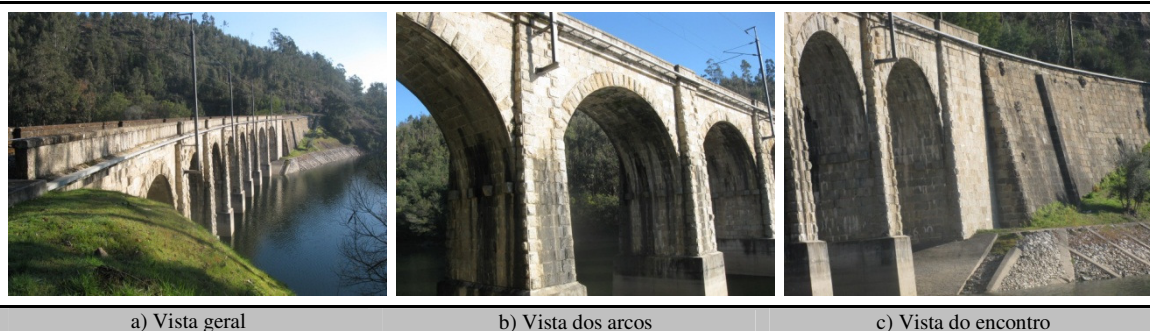


Figura 75 – Ponte do Coval

A esta obra de arte foi atribuído um índice de avaria $IA_0=1$, que significa que existem avarias sem importância, cujo tratamento pode ser feito mais tarde, sem inconveniente.

No que se refere a anomalias detetadas durante a inspeção, verificou-se a existência de vegetação em alguns elementos da obra de arte, nomeadamente num dos arcos e nos muros tímpanos (Figura 76).



Figura 76 – Anomalias na ponte do Coval

Dado que o crescimento de vegetação presente nas alvenarias pode provocar danos graves nas mesmas, nomeadamente, deslocamentos das pedras, fendilhação e até perda do próprio material, a remoção dos elementos biológicos é necessária para garantir um melhor estado de conservação e aumento do tempo de vida útil da obra de arte.

Neste contexto, e apesar de ter sido atribuído à obra de arte um índice de avaria $IA_0=1$, que significa que existem avarias sem importância, cujo tratamento pode ser feito mais tarde, sem inconveniente, foi solicitado à **Brigada de Manutenção de Pontes** que procedesse à remoção da vegetação presente nas alvenarias.

PH – Pk 153+205 – Linha da Beira Alta

Esta obra de arte trata-se de uma passagem hidráulica em alvenaria de granito com 5m de comprimento, constituída por um arco (Figura 77).



Figura 77 – PH ao Pk 153+205

Nesta obra de arte verificaram-se as seguintes anomalias:

- i) Existência de uma fenda longitudinal no arco (Figura 78a);
- ii) Perda de argamassa nas juntas nos encontros e no arco (Figura 78b);
- iii) Erosão de algumas pedras da alvenaria (Figura 78c);
- iv) Infiltrações e escorrências de água generalizadas.

Apesar de ter sido atribuído um índice 1 ao componente *Obra de Arte*, foi atribuído ao componente *Tabuleiro* (que inclui o arco) um índice 2, o que significa que é uma avaria sem repercussão a curto prazo na estabilidade da estrutura, mas implicando a médio prazo custos de manutenção cada vez mais elevados, carecendo de intervenção quando possível.

Neste contexto, foi identificado como trabalho a executar pela *Brigada de Manutenção de Pontes*, a injeção das fendas no arco.

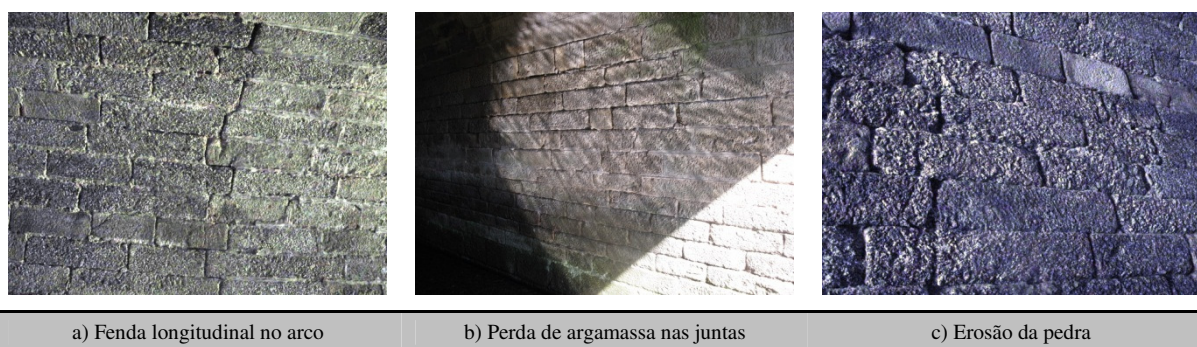


Figura 78 – Exemplos de danos no PH ao Pk 153+205

PH – Pk 178+436 – Linha da Beira Alta

A obra de arte ao Pk 178+436 trata-se de uma passagem hidráulica em alvenaria de granito com 3m de comprimento, constituída por um arco simples (Figura 79).



Figura 79 – PH ao Pk 178+436

Nesta obra de arte verifica-se a existência de uma fenda longitudinal no arco, que acompanha o desenvolvimento de todo o arco entre os dois encontros, em algumas zonas percorrendo as juntas das pedras e noutras zonas fraturando os blocos de alvenaria (Figura 80).

O estado deste PH foi classificado com um índice de avaria $IA_0=2$, o que significa que carece de intervenção assim que possível, sendo os trabalhos a executar pela **Brigada de Manutenção de Pontes** constituídos pela injeção das fissuras detetadas no arco.



Figura 80 – Danos no PH ao Pk 178+436

PH – Pk 224+986 – Linha da Beira Alta

Trata-se de uma passagem hidráulica em alvenaria de granito com 3m de comprimento e secção transversal de 7.05m de largura e é constituída por um arco simples (Figura 81).



Figura 81 – PH ao Pk 224+986

Nesta obra de arte verificaram-se as seguintes anomalias:

- i) infiltrações e escorrências de água generalizadas (Figura 82b)
- ii) existência de uma fenda longitudinal desde o encontro de entrada, passando pelo arco, até ao encontro de saída (Figura 82a);
- iii) perda de argamassa nas juntas nos encontros e no arco (Figura 82c).

Foi atribuído um índice $IA_0=1$ à **Obra de Arte**, mas aos **Encontros e Tabuleiro** (arco) foi atribuído um índice 2, o que significa que é uma avaria sem repercussão a curto prazo na estabilidade da estrutura, mas necessita de intervenção assim que possível.

Neste caso os trabalhos a executar pela *Brigada de Manutenção de Pontes* correspondem ao refechamento das juntas da alvenaria e injeção das fissuras nos encontros e nos arcos.



Figura 82 – Danos no PH ao Pk 224+986

Ponte de Noémi – Pk 236+420 – Linha da Beira Alta

A ponte de Noémi é uma ponte em arcos múltiplos em alvenaria de granito com 88m de extensão com perfil longitudinal retilíneo e secção transversal de 5.4m de largura e é constituída por cinco arcos (Figura 83).

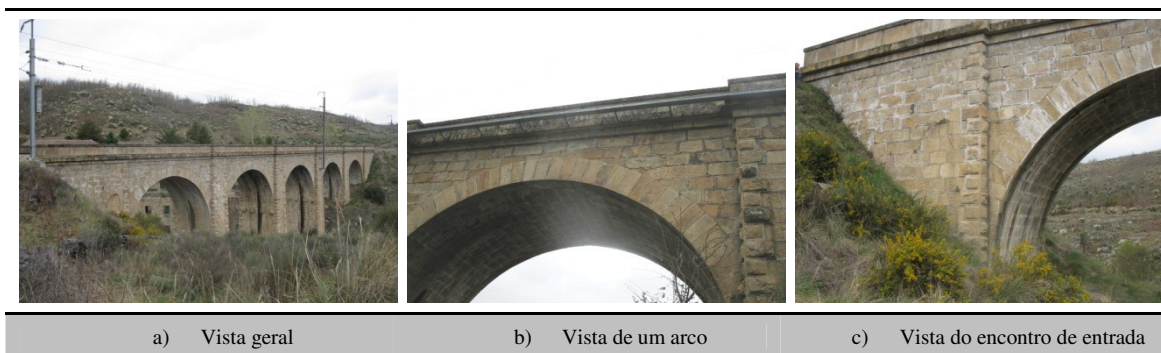


Figura 83 – Ponte de Noémi ao Pk 236+420

Nesta obra de arte verificaram-se as seguintes anomalias:

- i) infiltrações, escorrências de água e eflorescências nos arcos e nos encontros (Figura 84a);
- ii) existência de fissuras nas pedras e juntas em alguns pilares (Figura 84e);

iii) deslocamento do muro tímpano sobre o primeiro arco, com abertura das juntas entre a moldura e o arco (Figura 84f).

Foi atribuído um índice $IA_0=1$ à **Obra de Arte**, mas ao **Tabuleiro** (arcos) foi atribuído um índice 2, em consequência do deslocamento do tímpano sobre o arco, o que significa que é uma avaria sem repercussão a curto prazo na estabilidade da estrutura, mas necessita de intervenção assim que possível.

Relativamente ao deslocamento no tímpano verificou-se também que esta anomalia não evoluiu face às observações registadas na inspeção anterior. No entanto, foi solicitado à **Brigada de Inspeção de Pontes** o acompanhamento periódico desta anomalia no sentido de confirmar a evolução deste dano para assim permitir identificar a necessidade de uma eventual intervenção para garantir a estabilidade da estrutura.

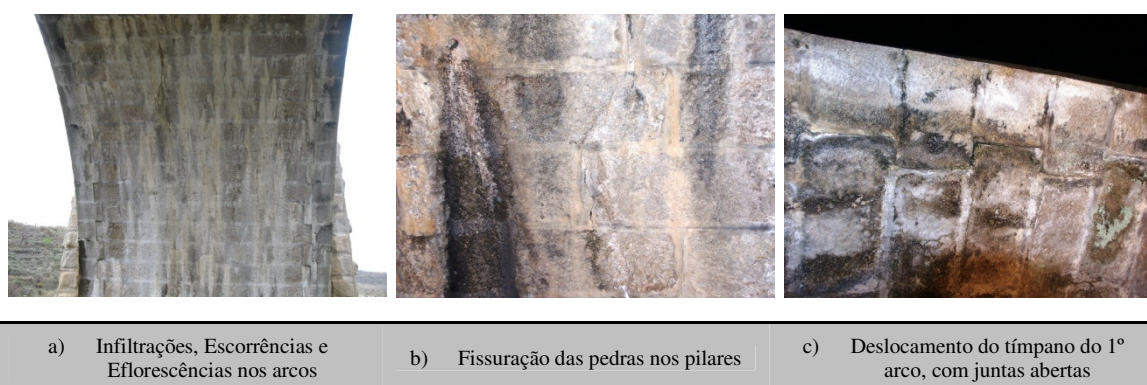


Figura 84 – Danos na Ponte de Noémi ao Pk 236+420

PS ao Pk 072+104 – Linha da Beira Alta

A obra de arte ao Pk 072+104 é constituída por um arco, trata-se de uma passagem superior em alvenaria de granito (Figura 85a) que não se encontra sobre a jurisdição da REFER.

Neste caso, dado que os danos detetados podem prejudicar a circulação ferroviária, caso se verifique um agravamento dos mesmos, é enviada, pela REFER, ao proprietário da Obra de Arte, informação sobre o estado de conservação da mesma.

Nesta obra de arte verificou-se que o capeamento do guarda-corpos encontra-se deslocado e desguarnecido de argamassa nas juntas (Figura 85b e c), o que pode permitir o deslocamento e queda do material para a via-férrea.

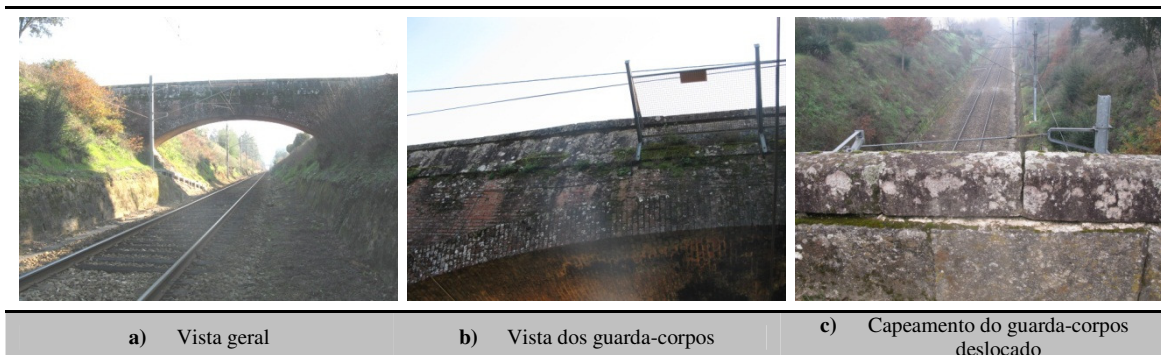


Figura 85 – PS ao Pk 072+104

PS ao Pk 106+100 – Linha da Beira Alta

Também para o caso desta passagem superior constituída por um arco em alvenaria de granito (Figura 86a), as informações sobre o estado de conservação da obra, foram enviadas para o proprietário da obra, à semelhança do referido anteriormente.

Neste caso, como se pode verificar na Figura 86b e na Figura 86c, o guarda-corpos em ferro e betão armado encontra-se danificado, o que pode permitir a queda do material para a via-férrea.



Figura 86 – Danos na PS ao Pk 106+100

PS ao Pk 117+976 – Linha da Beira Alta

A obra de arte ao Pk 111+976 é constituída por um arco e trata-se de uma passagem superior em alvenaria de granito (Figura 87a).

Como se pode verificar na Figura 87b e Figura 87c, o guarda-corpos em ferro, encontra-se danificado, o que pode permitir a queda do material para a via-férrea. Neste caso, á semelhança do procedimento referido anteriormente, compete à REFER informar o proprietário da obra, sobre o estado de conservação da mesma.



Figura 87 – PS ao Pk 117+976

4.6.4 Inspeção das pontes em arco de alvenaria do Ramal de Viseu

PH – Pk 065+603 – Ramal de Viseu

Esta obra de arte é uma passagem hidráulica, localizada ao Pk 065+603, constituída por um arco com 2m de vão em alvenaria de granito (Figura 88).



Figura 88 – PH ao Pk 065+603

Nesta passagem hidráulica verificaram-se as seguintes anomalias:

- i) existência de uma fenda longitudinal no arco que se desenvolve entre os dois encontros do arco (Figura 89a);
- ii) perda de argamassa nas juntas nos encontros e no arco (Figura 89b);
- iii) infiltrações, escorrências de água e eflorescências generalizadas (Figura 89c).

Foi atribuído um índice $IA_0=2$ à **Obra de Arte**, o que significa que carece de intervenção assim que possível. Os trabalhos identificados para serem executados pela **Brigada de Manutenção de Pontes** correspondem ao refechamento das juntas de alvenaria e injeção em fissuras, nos encontros e no arco.

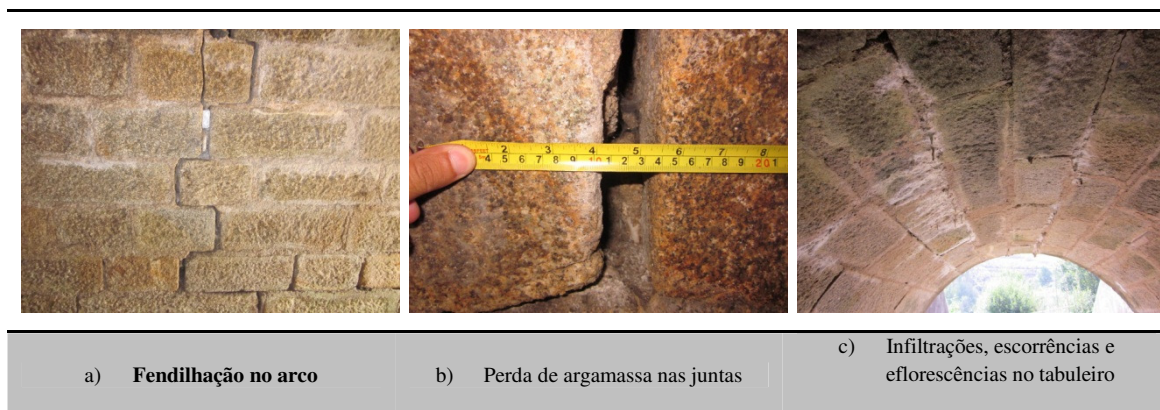


Figura 89 – Danos no PH ao Pk 065+603

PH – Pk 065+630 – Ramal de Viseu

O PH – Pk 065+630 é uma passagem hidráulica em alvenaria de granito, constituída por um arco com cerca de 2m de vão e encontra-se em avançado estado de degradação, conforme se ilustra nas imagens da Figura 90.



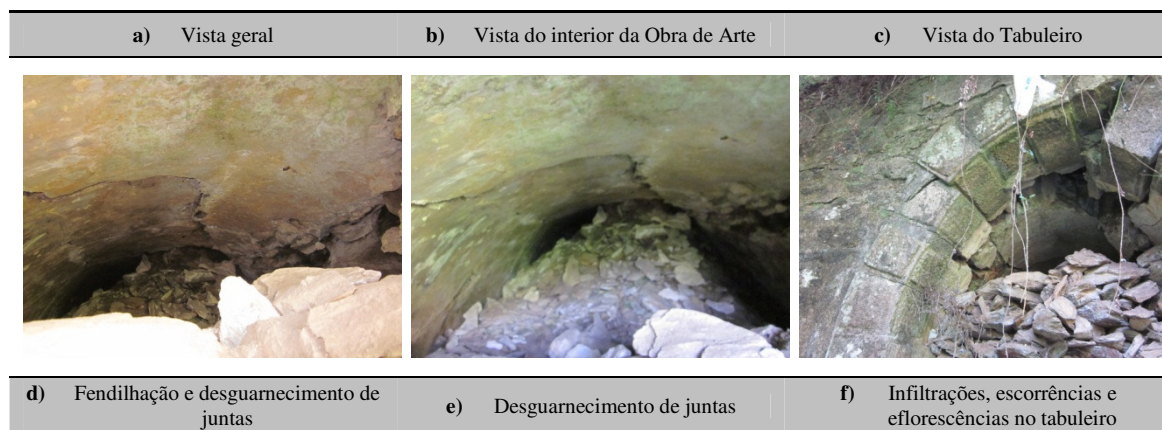


Figura 90 – Exemplos de danos no PH ao Pk 065+630

Foi atribuído um índice $IA_0=4$ à **Obra de Arte**, bem como a todos os seus componentes, devido ao estado de conservação da obra, que se encontra em risco de ruína, o que significa que as avarias detetadas carecem de intervenção imediata, para evitar o colapso da estrutura.

Os danos detetados são provenientes das cargas transmitidas pela utilização da antiga plataforma da via, por veículos longos carregados com madeira, que naquela zona realizam o seu carregamento. Este peso avolumado sobre a obra de arte, implica um aumento significativo das cargas aplicadas, em relação à capacidade resistente da obra de arte.

Em consequência destas sobrecargas, verifica-se a existência de um deslocamento dos muros tímpano da obra de arte para o exterior, diversas fendas no tabuleiro e encontros de grandes espessuras, quer pelas juntas das pedras, quer pelas pedras de alvenaria. Verifica-se também a rotura do arco e da moldura, provocado pela compressão exercida superiormente, com fendilhação, deslocamentos e perdas de material. A obra de arte encontra-se parcialmente entulhada, o que não permite a avaliação total do estado da estrutura, mas ao mesmo tempo previne o acesso à mesma, evitando danos pessoais em caso de ruína total (Figura 90).

Os trabalhos a executar na presente obra de arte, passam inicialmente por um estudo e avaliação estrutural, com vista à realização de um projeto de reforço e reabilitação a executar em empreitada.

Ponte do Poço de Santiago – Pk 070+168 – Ramal de Viseu

A ponte do Poço de Santiago é uma ponte em alvenaria de granito com 166m de extensão com perfil longitudinal retilíneo, constituída por um sistema de arco principal com maior dimensão e por arcos secundários (Figura 91).

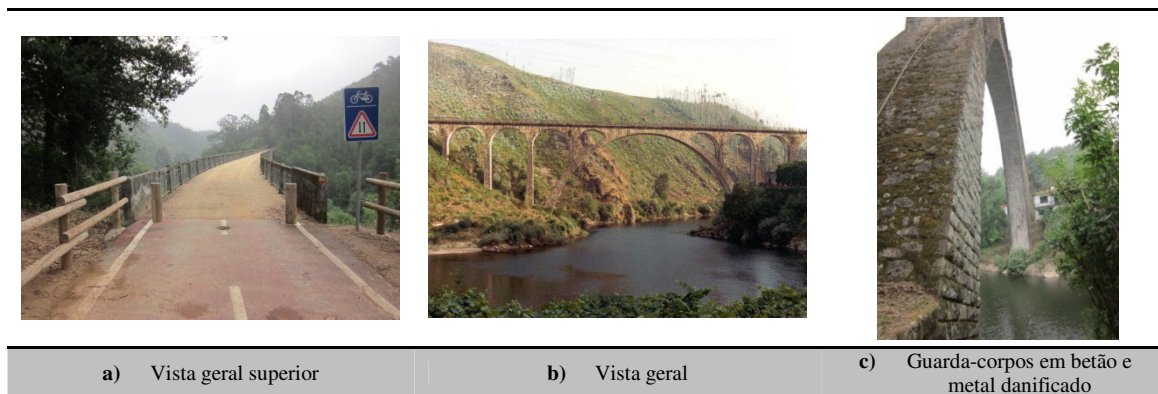


Figura 91 – Ponte do Poço de Santiago ao Pk 070+168

Nesta obra de arte, que tem como principal exploração, a ciclovia, à semelhança das outras obras deste Ramal, tem como principal dano, a degradação do guarda-corpos, que tem como materiais de construção o ferro nos painéis e o betão armado nas consolas e elementos de suporte dos painéis (Figura 92b). Estes danos, apesar de não terem influência no comportamento estrutural, são aqui valorizados, tendo em conta a utilização e exploração da mesma obra, nomeadamente por questões de segurança dos utilizadores da ciclovia.

Verifica-se também a existência de infiltrações e escorrências generalizadas na estrutura, eflorescências nos arcos e nos pilares e erosão em alguns pontos da obra de arte (Figura 92a). De referir que o intradorso dos arcos em pedra de alvenaria, foi alvo de uma intervenção de conservação, que passou pelo guarnecimento das juntas de alvenaria e posteriormente pelo revestimento em betão do intradorso dos arcos (Figura 92c).

Foi atribuído um índice $IA_0=1$ à **Obra de Arte**, mas ao **Guarda-corpos** foi atribuído um índice 2, em consequência dos danos referidos, o que significa que é uma avaria sem repercussão a curto prazo, mas necessita de intervenção assim que possível.

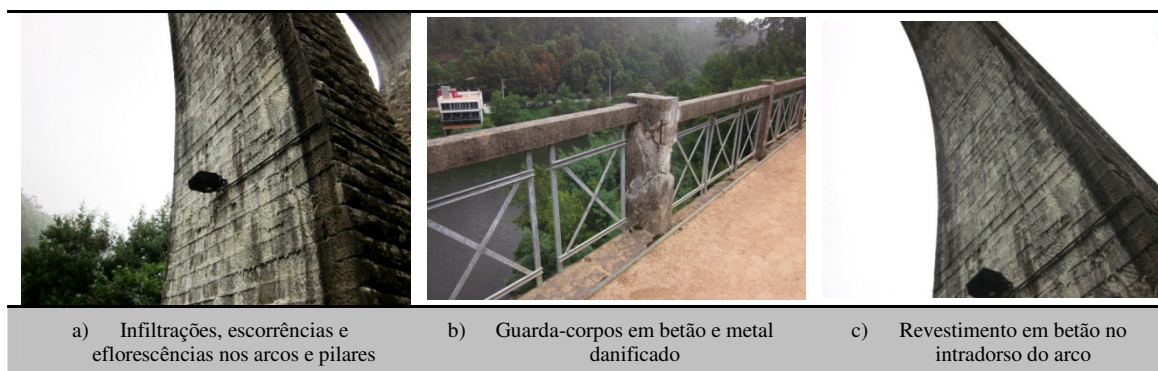


Figura 92 –Danos na Ponte do Poço de Santiago ao Pk 070+168

PH – Pk 085+482 – Ramal de Viseu

O PH – Pk 085+482 é uma passagem hidráulica em alvenaria pedra de granito com 3m de comprimento, constituída por um arco simples (Figura 81).



Figura 93 – PH ao Pk 085+482

Nesta obra de arte verificaram-se as seguintes anomalias:

- i) infiltrações, escorrências de água e eflorescências generalizadas (Figura 94a);
- ii) infraescavação e ruína da alvenaria do encontro de saída (Figura 94b);
- iii) perda de material no encontro de saída (Figura 94c).

Foi atribuído um índice $IA_0=3$ à **Obra de Arte**, o que significa a existência de avarias importantes, suscetíveis de provocar, a curto prazo, restrições às circulações, carecendo de intervenção logo que possível. Neste sentido deverá ser realizada uma inspeção detalhada imediata, seguida de vigilância permanente e de trabalhos de reparação.



Figura 94 – Danos no PH ao Pk 085+482

Ponte dos Melos – Pk 092+561 – Ramal de Viseu

A ponte de Melos é uma ponte em alvenaria de granito em arcos múltiplos (oito) com 128m de extensão com perfil longitudinal retilíneo (Figura 95).

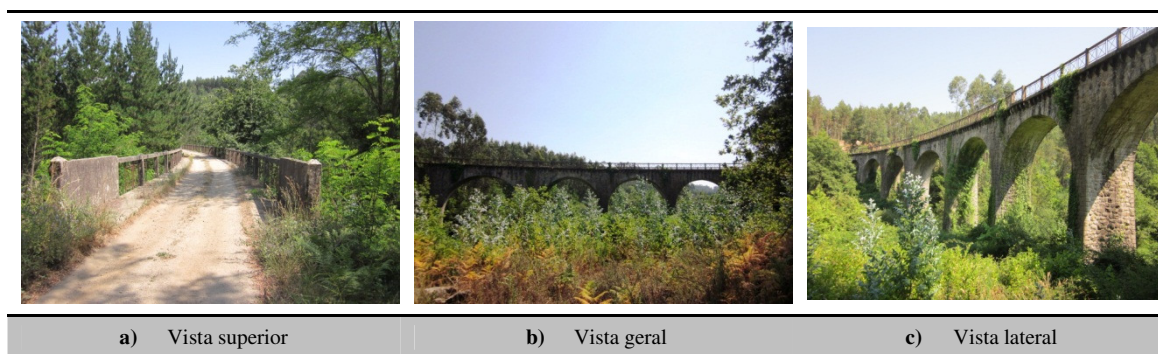


Figura 95 – Ponte dos Melos ao Pk 092+561

Nesta ponte verificaram-se as seguintes anomalias:

- i)* fendilhação longitudinal no intradorso dos 2º e 5º arcos, em consequência do deslocamento dos tímpanos para o exterior (Figura 96a e b);
- ii)* degradação do guarda-corpos com perda de material (Figura 96c);
- iii)* vegetação generalizada nos paramentos da obra de arte (Figura 96d);
- iv)* infiltrações, escorrências de água e eflorescências (Figura 96e).

Para além das anomalias referidas anteriormente, a ponte dos Melos foi alvo de trabalhos de conservação com aplicação de argamassas no intradorso da abóbada e de tirantes metálicos entre tímpanos, que apresentam já alguma degradação, delaminação

das argamassas de reparação e perda de resistência dos tirantes, que já não exercem qualquer reforço na estrutura e apresentam perda de material (Figura 96f).

Foi atribuído um índice $IA_0=2$ à *Obra de Arte*, o que significa que é uma avaria sem repercussão a curto prazo, mas necessita de intervenção assim que possível.



Figura 96 – Danos na ponte dos Melos ao Pk 092+561

Ponte do Forno – Pk 093+249 – Ramal de Viseu

A ponte do Poço do Forno é uma ponte em alvenaria de pedra de granito com 91m de extensão com perfil longitudinal retilíneo, constituída por seis arcos (Figura 97). O intradorso de alguns arcos foi alvo de uma intervenção de conservação anterior, que passou pelo guarnecimento das juntas da alvenaria e posteriormente pelo revestimento em betão do intradorso desses arcos.

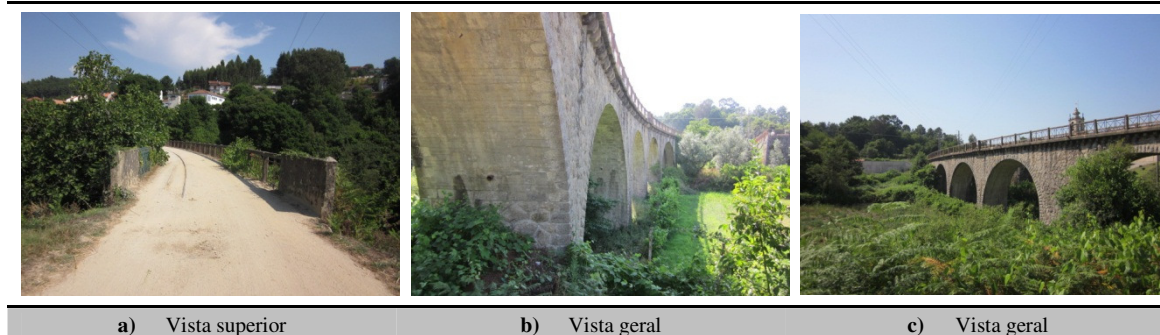


Figura 97 – Ponte do Forno ao Pk 093+249

As principais anomalias encontradas nesta obra de arte foram as seguintes:

- i)* degradação do guarda-corpos e material constituinte (Figura 98a e b);
- ii)* vegetação generalizada nos paramentos da obra de arte (Figura 98c);
- iii)* infiltrações, escorrências de água e eflorescências (Figura 98d,e);
- iv)* delaminação e degradação do betão de reparação no intradorso dos arcos (Figura 98f).

Foi atribuído um índice $IA_0=2$ à ***Obra de Arte***, o que significa que necessita de intervenção assim que possível.

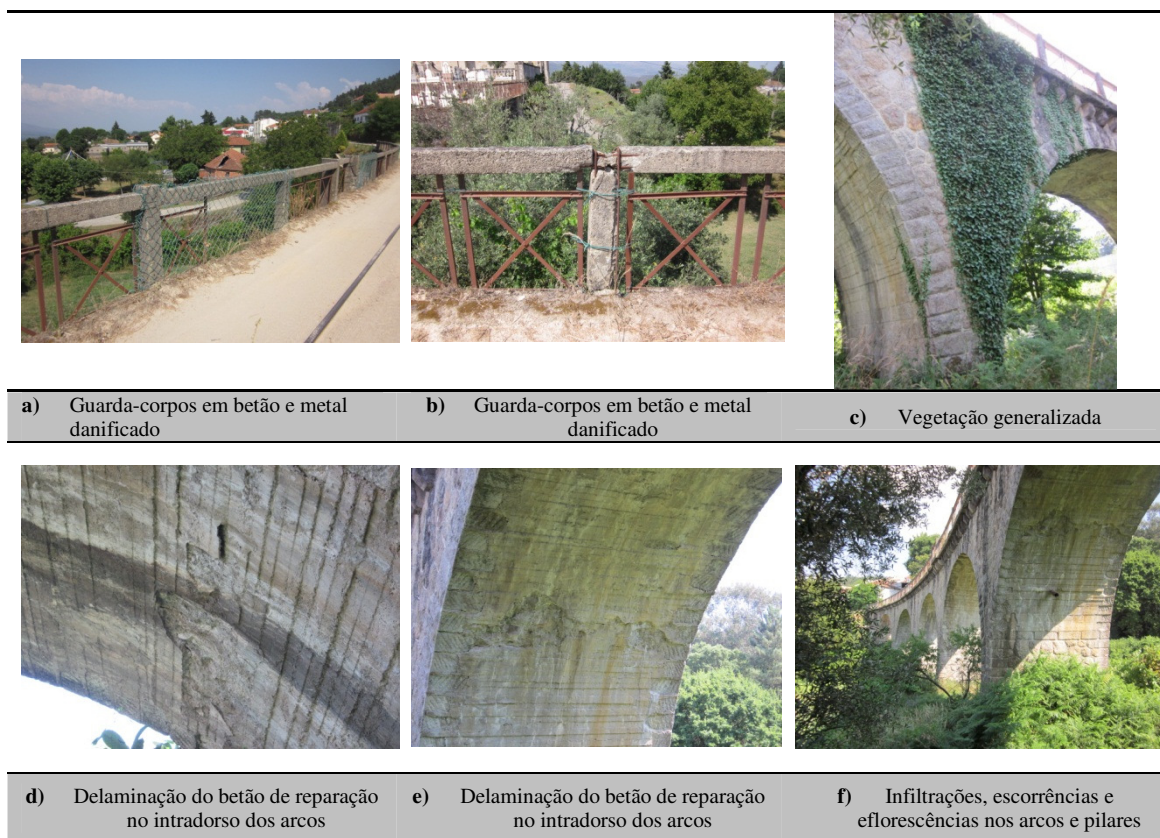


Figura 98 – Exemplos de danos na Ponte do Forno ao Pk 093+249

Ponte do Pego – Pk 111+802 – Ramal de Viseu

A ponte do Pego é constituída por um sistema de arco principal com maior dimensão e por arcos secundários em alvenaria de granito, e apresenta o perfil longitudinal retilíneo com 81m de extensão (Figura 99).

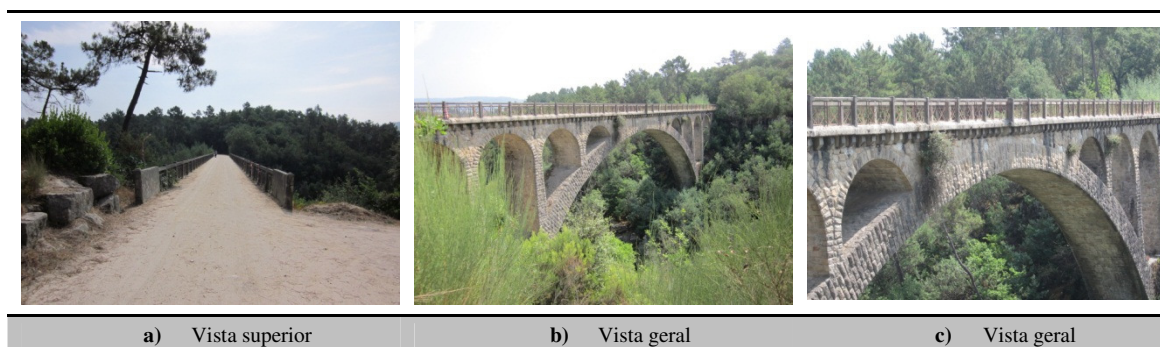


Figura 99 – Ponte do Pego ao Pk 111+802

Na ponte do Pego verifica-se a degradação do guarda-corpos (Figura 100a), a existência de vegetação (Figura 100b), infiltrações e escorrências generalizadas na estrutura, eflorações nos arcos e nos pilares (Figura 100c) e erosão em alguns pontos da obra de arte (Figura 100d).

No intradorso do arco principal existe uma fenda longitudinal (Figura 100e), devidamente referenciada e marcada com selos em argamassa para acompanhamento da sua evolução, tendo-se verificado que a mesma se encontra estabilizada.

Esta ponte foi alvo de uma intervenção de conservação, que passou pelo guarnecimento das juntas de alvenaria e pela aplicação de elementos metálicos para reforço dos tímpanos e arcos da estrutura, que apresentam alguns sinais de deterioração (Figura 100f).

Foi atribuído um índice $IA_0=2$ à *Obra de Arte*, o que significa que necessita de intervenção assim que possível.



Figura 100 – Exemplos de danos na Ponte do Pego ao Pk 111+802

Ponte de S. Pedro do Sul – Pk 113+722 – Ramal de Viseu

A ponte de S. Pedro do Sul é uma ponte em alvenaria de granito em arcos múltiplos (oito) com 146m de extensão e perfil longitudinal retilíneo (Figura 95).

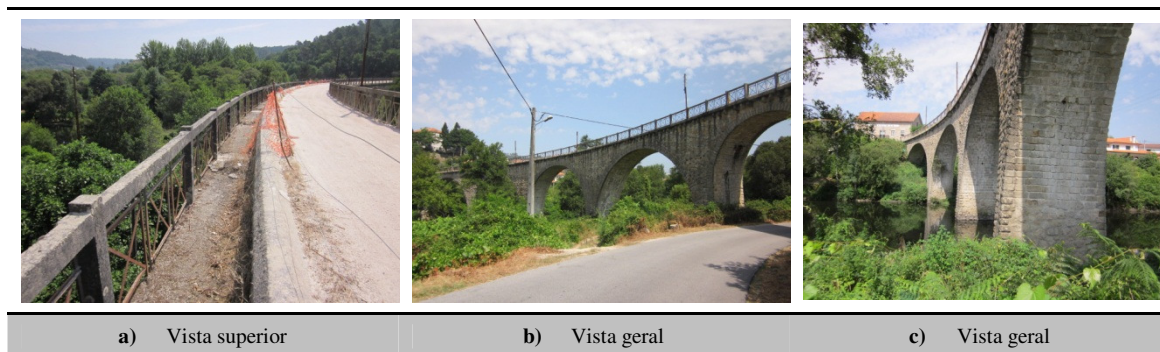


Figura 101 – Ponte de S. Pedro do Sul ao Pk 113+722

Nesta obra de arte verificaram-se as seguintes anomalias:

- i) degradação do passeio (Figura 102a);
- ii) degradação do guarda-corpos (Figura 100b);
- iii) vegetação generalizada nos paramentos da obra de arte (Figura 100c);
- iv) infiltrações, escorrências de água e eflorescências (Figura 100d);
- v) erosão generalizada e perda de argamassa nas juntas (Figura 100e)
- vi) fendilhação longitudinal no intradorso dos arcos e pilares (Figura 100f).

De referir também que, no passado, a ponte foi alvo de uma intervenção de conservação, que consistiu no preenchimento das juntas de alvenaria e as fendas longitudinais no intradorso dos arcos e pilares encontram monitorizadas através da aplicação de selos de argamassa, nos quais se verificar a evolução da abertura da fenda desde a sua aplicação

Foi atribuído um índice $IA_0=2$ à **Obra de Arte**, mas ao **Guarda-corpos** foi atribuído um índice 3 e aos **Passeios**, um índice 4, em consequência dos danos referidos, o que significa que a obra necessita de intervenção assim que possível.

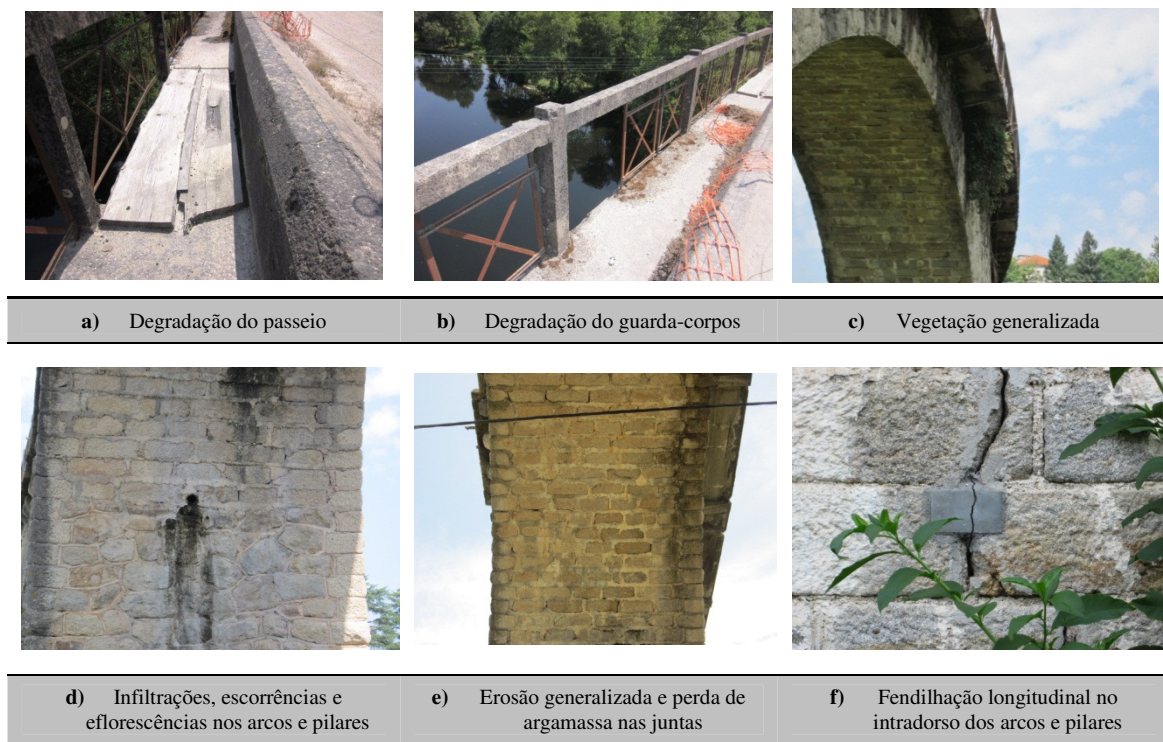


Figura 102 – Exemplos de danos na Ponte de S. Pedro do Sul ao Pk 113+722

5 CASO DE ESTUDO DA PONTE DO CÔA

5.1 Enquadramento

O estudo realizado sobre a ponte do Côa insere-se no âmbito de trabalhos de investigação mais abrangentes sobre o comportamento estrutural de pontes em arco de alvenaria sob a ação do tráfego ferroviário que envolvem a participação do Instituto Politécnico de Tomar (IPT), da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e da REFER. Neste contexto, associou-se o trabalho desenvolvido pelo autor do presente projeto e o trabalho em desenvolvimento na linha de investigação referido anteriormente.

Assim, no decorrer da campanha de inspeções principais realizadas nas obras de arte da REFER durante o ano de 2012 foi escolhida a ponte do Côa como um caso de estudo para aquela linha de investigação e realizado um conjunto de atividades que se descrevem neste capítulo. Entre estas encontram-se as seguintes atividades inseridas no contexto deste trabalho:

- i)* Pesquisa e análise de dados documentais sobre o projeto e a construção da ponte;
- ii)* Inspeção visual e descrição de anomalias na ponte;
- iii)* Caracterização e discretização geométrica de modelos computacionais recorrendo ao programa AUTOCAD;
- iv)* Preparação e realização de ensaios dinâmicos de vibração ambiental;
- v)* Interpretação dos resultados dos ensaios dinâmicos de vibração ambiental e sua comparação com resultados numéricos de simulação estrutural.

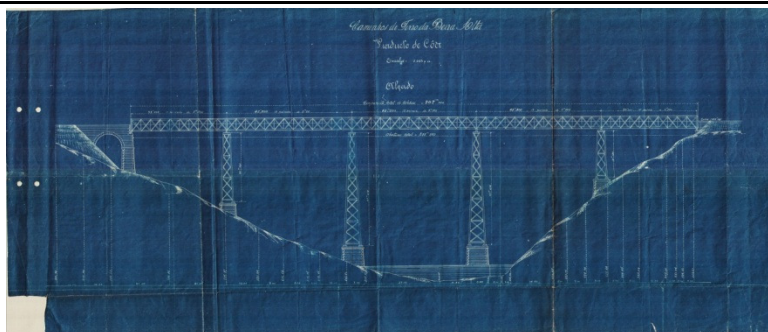
Os ensaios dinâmicos de vibração ambiental foram realizados pelo Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural da FEUP com vista à validação de modelos numéricos de simulação estrutural da ponte, para posteriormente proceder a análises numéricas detalhadas sobre o comportamento destas pontes. Esperando-se, com esse estudo mais detalhado, contribuir para a identificação dos efeitos condicionantes do regular funcionamento destas pontes sob a ação do tráfego ferroviário.

Neste contexto, e tendo em vista a calibração dos modelos numéricos de simulação estrutural da ponte do Côa com base nos resultados dos ensaios de vibração ambiental, apresentam-se também neste relatório alguns resultados preliminares relativos às características dinâmicas experimentais (frequências e modos de vibração da ponte). No mesmo sentido, apresentam-se também os resultados das características dinâmicas determinadas numericamente através da análise de um modelo (simplificado) da ponte que foi realizado pela Prof^ª. Cristina Costa também no contexto da linha de investigação em curso pelo IPT e FEUP com o apoio da REFER.

5.2 Descrição geral da ponte

A Ponte do Côa situa-se na Linha da Beira Alta, no troço Pampilhosa – Vilar Formoso, ao Pk 238+286, entre o Apeadeiro de Castelo Mendo e o Apeadeiro da Freineda, no concelho de Almeida, distrito da Guarda e constitui um atravessamento do rio Côa.

Esta travessia sobre o rio Côa remonta ao ano de 1882, data em que no mesmo local foi construída uma outra ponte de caminho-de-ferro. Essa (primeira ponte), cuja autoria pertence à casa Eiffel, era uma ponte com tabuleiro e pilares metálicos e com encontros e bases dos pilares em alvenaria de pedra. O comprimento total do tabuleiro era de 207m, dividido por 5 tramos e assente em pilares com altura máxima de 47m, conforme se pode verificar na Figura 103.



Projecto da construção da ponte metálica sobre o rio Côa (1882)

Figura 103 – Projeto de construção da ponte metálica sobre o rio Côa, Linha da Beira Alta (1882)

No ano de 1925, foi realizado um estudo de reforço da ponte metálica, com vista à verificação das condições de resistência e estabilidade devidas ao aumento do número de circulações e das sobrecargas impostas pelas mesmas sobre a estrutura. No entanto, este reforço da ponte metálica nunca passou de um estudo, dado que em 1948 foi construída ao seu lado, a atual ponte do Côa em arcos de alvenaria de pedra.

No início os anos 40, foram realizados alguns estudos para a construção da nova ponte sobre o rio Côa, e a solução encontrada para a construção de uma nova ponte ao lado da existente não foi a primeira escolha e sofreu uma evolução considerável desde o primeiro anteprojeto até ao projeto de execução. Na Figura 104 incluem-se as propostas realizadas para a construção da nova ponte do Côa, sendo algumas em estrutura metálica e outras em arcos de alvenaria, mas sempre com o aproveitamento dos encontros e bases dos pilares em alvenaria de pedra, construídos em 1882.

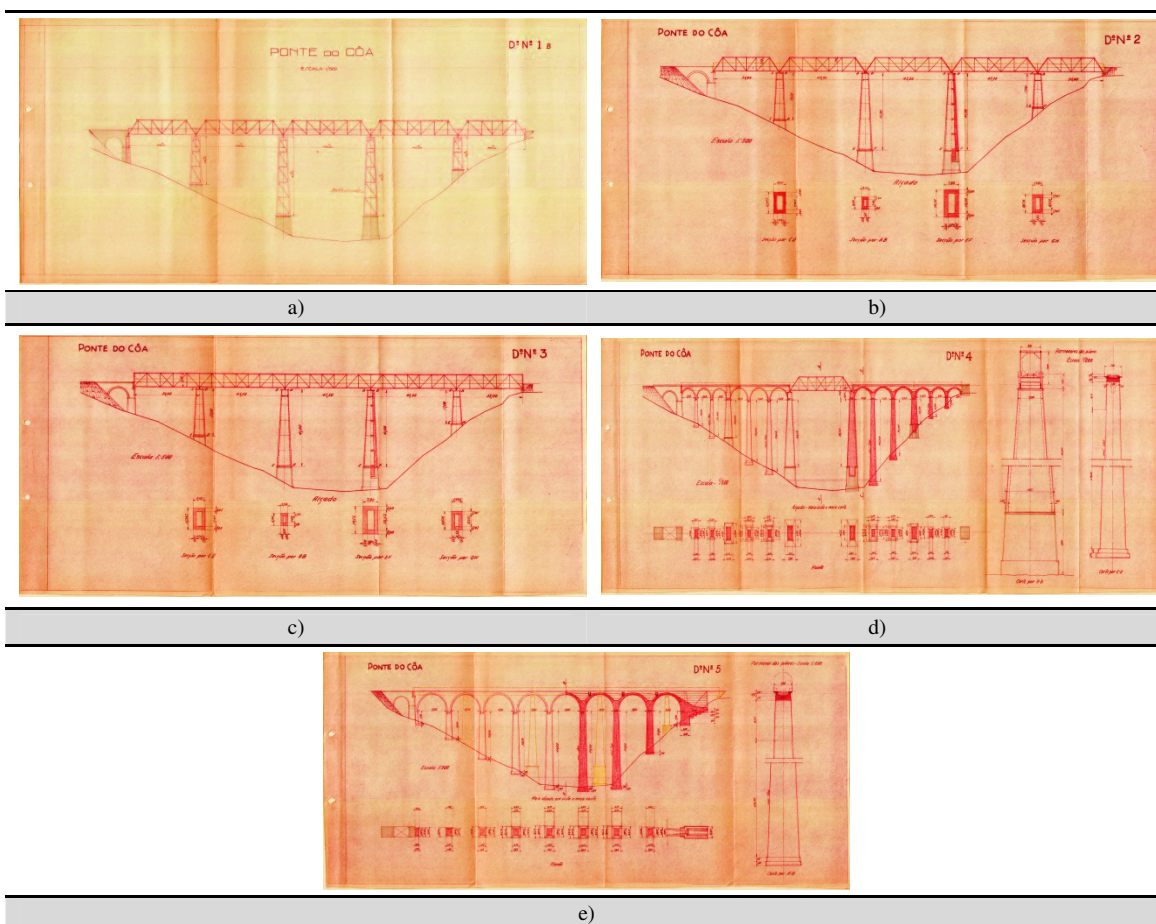


Figura 104 – Propostas de construção da nova ponte do Côa na localização inicial

Numa segunda fase foram apresentadas novas propostas, nas quais a opção passou sempre pela construção de uma nova ponte ao lado da existente. Na Figura 105

incluem-se os desenhos relativos a essas propostas para a realização da travessia, através de uma ponte em arco de alvenaria e que divergem entre si pelo número de arcos, formas e dimensões.

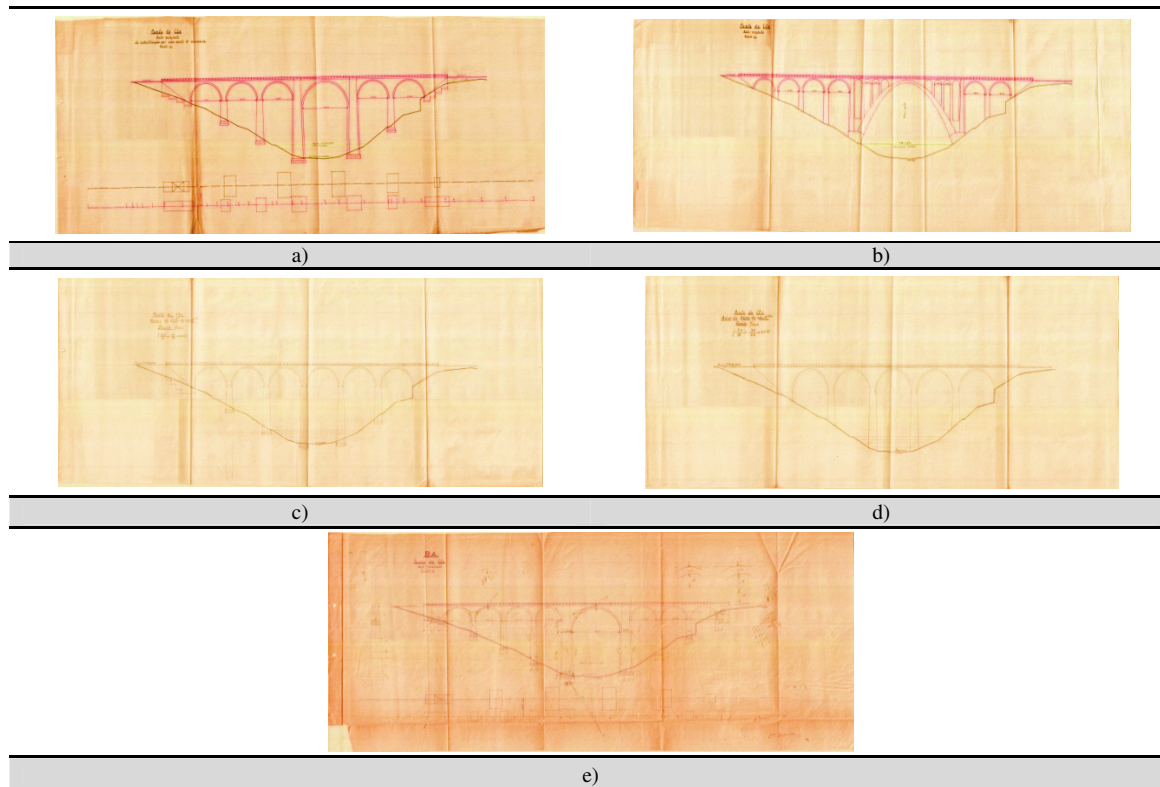


Figura 105 – Propostas de construção da nova ponte do Côa em arcos de alvenaria

Após decidida a proposta final para a construção da ponte do Côa, que corresponde à ponte ilustrada na Figura 105e, foi necessário definir uma solução para a estrutura metálica da ponte antiga. Neste sentido e após a execução da nova obra, foi realizado, em 1952, um concurso para a venda do metal da antiga ponte do Côa. Na Figura 106a podem ver-se os encontros e as bases dos pilares metálicos construídos em alvenaria de pedra, que ainda se encontram no local.

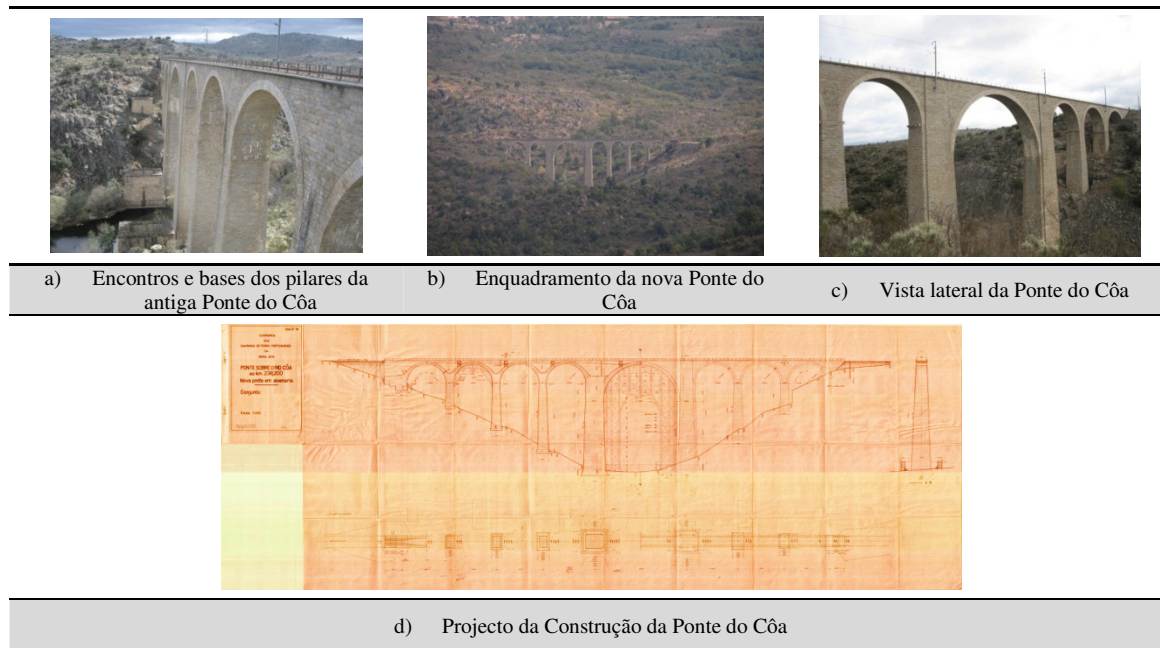


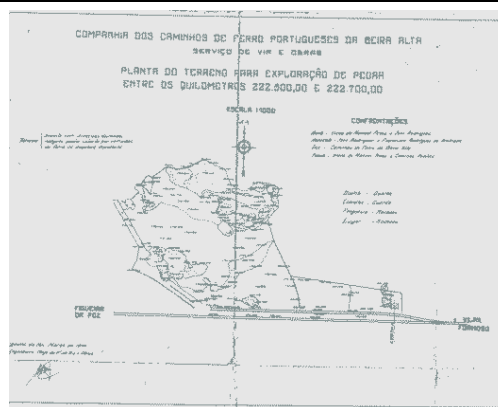
Figura 106 – Projeto de Construção da Ponte do Côa, Linha da Beira Alta

Conforme se pode verificar no desenho do projeto de execução da Ponte do Côa, apresentado na Figura 106d, a ponte é constituída por sete arcos de 20m e um arco de 38m, o que perfaz um comprimento total de 237,59m e sendo a largura ao nível do pavimento de 5,45m.

A ponte do Côa encontra-se atualmente em exploração, em via única, com bitola de via larga, carril de 54Kg em barra longa e sendo o seu perfil longitudinal em reta.

No que respeita à descrição detalhada dos materiais usados na obra e ao processo construtivo dos diversos componentes que a constituem, recorreu-se à memória descritiva e a outros elementos do projeto de execução de construção da ponte.

Na Figura 107 apresenta-se o projeto de exploração da pedreira utilizada para a construção da ponte do Côa, situada no lugar e freguesia de Rochoso, Guarda.



Projecto de exploração da pedreira do Rochoso, Guarda

Figura 107 – Projeto de exploração da pedreira do Rochoso, Guarda

A memória descritiva do projeto da ponte inclui também os requisitos do material a extrair das pedreiras de acordo com este documento. Este material deveria ser em granito rijo, de grão fino e homogéneo, perfeitamente são e isento de cavidades, fendas, lesins, nódulos, veios, cravos, crosta de pedreira ou outras matérias estranhas, não sendo aceites as peças que tinham cristais de feldspato muito grossos ou mica em grandes quantidades. A pedra empregue em paramentos à vista deveria ser toda de cor mais ou menos uniforme.

Os requisitos para a construção das alvenarias foram também definidos na memória descritiva e são apresentados nos parágrafos seguintes.

A *alvenaria hidráulica de enchimento* era descrita como uma alvenaria de argamassa com o traço de 400Kg de cimento por m³ de areia. As pedras destinadas a esta alvenaria, depois de terem sido desbastadas e bem limpas, em local apropriado, e nunca sobre as alvenarias construídas, seriam molhadas no momento de emprego. Colocar-se-ia cada uma das pedras em seco no local que cada uma devia ocupar, com a finalidade de verificar se assentavam convenientemente nas pedras anteriores. Tiravam-se de seguida para encher o leito com argamassa e voltavam a assentar-se novamente batendo-a com um maço de madeira, de modo a fazer ressumar por todos os lados a argamassa, calçando-a depois com lascas de pedras duras metidas a maço. Era proibido o emprego de maços de ferro para bater as pedras. Estas seriam colocadas sobre o lado que desse melhor leito, e quando possível sobre o leito da pedreira, devendo ligar-se umas às outras por meio de argamassa.

A alvenaria não deveria apresentar espaços vazios, nem as pedras assentes oscilantes, nem intervalos consideráveis cheios unicamente com argamassa. Este tipo de alvenaria não seria executado por camadas ou fiadas sucessivas encascadas na parte superior com pedra miúda, pelo contrário, deixar-se-ia em cada fiada um grande número de cabeças ou pedras salientes, com a maior inclinação dos sobreleitos para o lado interior da obra, a fim de melhorar o travamento, umas com as outras, das partes sucessivamente construídas. Quando esta alvenaria fosse revestida com alvenaria de paramento, ter-se-ia cuidado de travar bem as pedras de uma com as da outra.

A *alvenaria de paramento* seria executada com argamassa com o traço de 450Kg de cimento por m³ de areia. As pedras de fiada seriam assentes de forma que as juntas verticais de duas fiadas consecutivas não distassem entre si mais ou menos 0.02m. Teria caudas com um mínimo de 0.04, a 0.06m em fiadas alternadas e para que esta alvenaria ligasse bem à de enchimento. As pedras de cada fiada teria de ter a mesma altura, com um mínimo de 0.022m e um máximo de 0.03m. Em duas fiadas consecutivas não poderia haver uma diferença de altura superior a 0.03m. Não era permitido o emprego de pedras com o comprimento inferior a 0.42m. As faces vistas seriam aparelhadas a picão, as juntas, leitos e sobreleitos, também aparelhadas a picão na extensão mínima de 0.01m e o restante desbastado de modo que as juntas ficassem a 0.01m de espessura. Para assentar a alvenaria de fiada, começar-se-ia por picar a argamassa de fiada inferior a fim de lhe tirar os fragmentos friáveis e tornar a superfície desigual.

Limpar-se-ia o sobreleito, que se iria cobrir com uma nova fiada, e depois de humedecer, estender-se-ia sobre ele uma camada de argamassa com a espessura conveniente. De seguida, colocar-se-ia bem de nível a pedra a assentar, depois de bem limpa e humedecida, batendo com o maço de madeira até fazer ressumar a argamassa. As juntas verticais eram tomadas com argamassa de forma a encher todos os espaços vazios, nunca empregando lascas de pedra para tal fim. O emprego de cunhas no assentamento de pedras estava absolutamente proibido sem expressa autorização da fiscalização que se considerasse necessárias, indicaria as suas dimensões e natureza. As cunhas seriam retiradas logo após a sua utilização e as juntas cheias com a argamassa, empregando a trincheira.

As **fundações** seriam executadas com alvenaria hidráulica de 450Kg de cimento por m³ de areia, exceto nos pilares entre arcos desiguais, que seriam de alvenaria de fiada, de 500Kg de cimento por m³ de areia.

Os **encontros e os pilares entre arcos iguais, muros de tímpano e muros de avenida** seriam constituídos inteiramente por alvenaria de enchimento e nas faces vistas por alvenaria de paramento. Os **pilares entre arcos desiguais** seriam constituídos até à altura indicada nos desenhos por alvenaria de fiadas, e daí para cima, tal como os pilares correntes. O enchimento destes pilares comportaria 1600m³ de betão de 380Kg de cimento por m³ de betão.

A alvenaria de paramento dos pilares e encontros deveria começar 0.50m, abaixo do terreno natural. Os jorramentos a dar aos paramentos vistos seriam fixados nos desenhos.

Durante a execução das obras a fiscalização indicaria o modo como deviam ser feitas e a localização que deviam de ter as juntas de dilatação dos muros de tímpanos.

As **abóbadas** seriam constituídas em toda a sua espessura com aduelas de dimensões exatas a fixar nos desenhos de pormenor. Estas aduelas com espessura nunca poderiam ser inferiores a 0.22m, seriam aparelhadas a picão em todas as faces vistas, testas e intradorso, e em todas as faces não vistas, para que, sem falhas permitissem que as juntas tivessem rigorosamente a espessura de 0.01m. As aduelas constituíam uma série de anéis sobrepostos convenientemente travados entre si. Empregar-se-ia argamassa de cimento com o traço de 500Kg de cimento por m³ de areia. As aduelas de testa ficariam com um balanço de 0.05m em relação ao paramento dos muros de tímpano. Nos arcos, depois de convenientemente dispostos os simples e coxins, começar-se-ia o assentamento das aduelas por anéis, simultaneamente em ambas as nascenças e noutros pontos intermédios, em toda a largura da abóbada.

A **chapa hidráulica** é uma chapa horizontal com a espessura de 0.085m, que seria construída de baixo para cima, por uma camada de 0.04m de espessura de argamassa de cimento, com o traço de 100Kg de cimento, por m³ de areia, uma camada de asfalto (de 120° de ponto de fusão) de 0.015m de espessura com 7% do seu peso em

betume, uma camada de argamassa de cimento com 0.03m de espessura, com o traço de 350Kg de cimento por m³ de areia.

A chapa propriamente dita constituída pelas duas últimas camadas anteriores só seria assente quando a primeira camada estivesse perfeitamente seca. A chapa hidráulica nas abóbadas só seria executada depois do descimbramento, alisando-se com a colher, de modo que ficasse sem fendas, e logo depois de assente seria coberta com areia ou serradura e regada durante um período de 8 a 15 dias conforme fosse necessário.

A chapa vertical seria composta de uma camada de 0.01m de argamassa de cimento com o traço de 350Kg de cimento, por m³ de areia e uma chapa de 0.01m de asfalto puro sem areia.

As chapas seriam dispostas em duas vertentes transversais com a inclinação de 0.05m por metro, de modo a reunir as águas das chuvas, no eixo da ponte, num pequeno aqueduto de alvenaria de 0.20mx0.20m. Longitudinalmente o aqueduto recebe também a inclinação de 0.05m por metro, indo as águas sair por tubos de descarga colocados nos rins da abóbada.

O *enchimento* desde o extradorso dos arcos até à chapa hidráulica, seria feito com alvenaria hidráulica, empregando-se argamassa com o traço de 100Kg de cimento por m³ de areia. Entre a chapa hidráulica e a rasante da linha, bem como nos cofres dos encontros, o enchimento seria feito com pedra seca, cuidadosamente assente à mão calçando bem as pedras com lascas duras batidas a maço, de modo a não ficarem espaços vazios entre elas.

Todos os *passeios*, como os *resguardos*, seriam em cantaria numa só pedra em toda a largura com a altura de 0.40m, e assente com argamassa com o traço 450Kg de cimento por m³ de areia. A cantaria dos passeios seria assente de modo a ficar com 0.30m de talanço em relação aos paramentos vistos dos muros de tímpano. A cantaria seria aparelhada a pico grosso com as arestas passadas a cinzel.

A *guarda da ponte* seria feita conforme o desenho, em aço pudelado.

O acabamento e limpeza dos paramentos e refechamento de juntas, em todos os paramentos à vista, seriam feitos depois de concluídos os assentamentos das pedras.

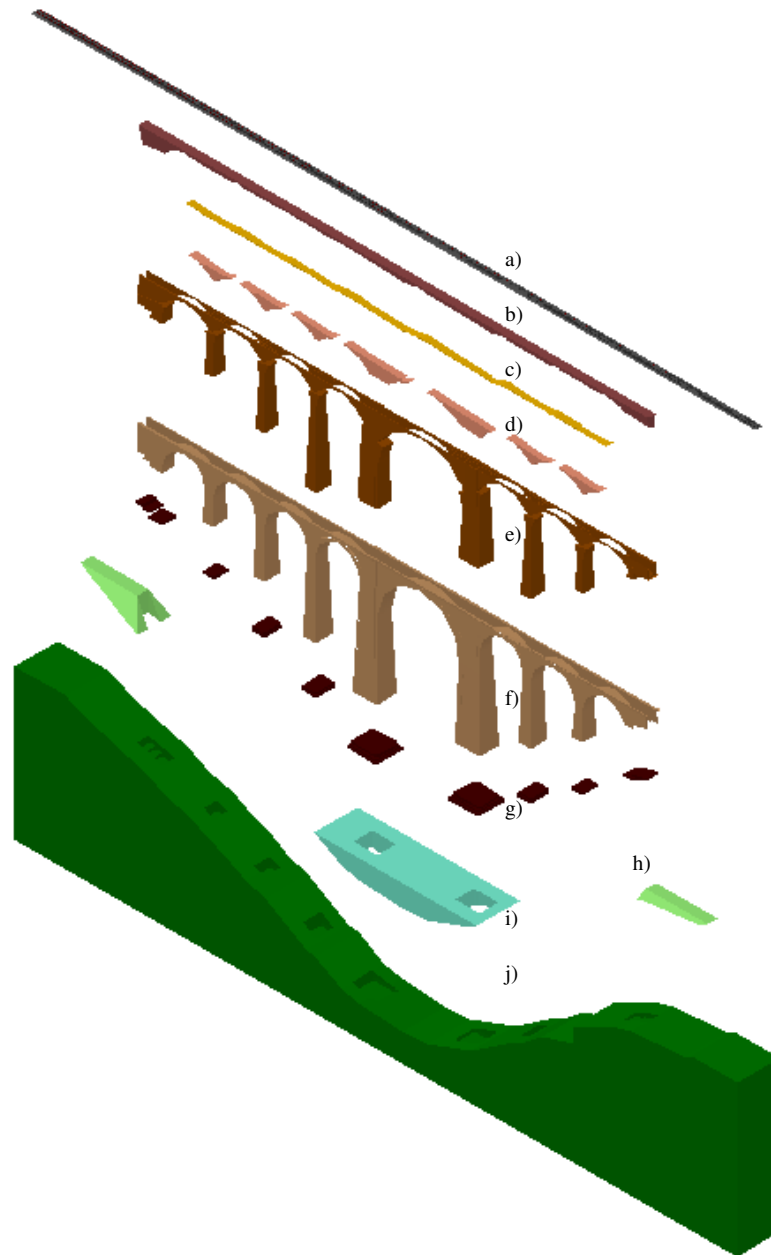
Para proceder ao refechamento das juntas, começar-se-ia por as limpar, lavando-as e enchendo-as de argamassa antes de secarem. Recalcar-se-ia a argamassa e alisar-se-ia depois de ter começado a endurecer, cortando-se em linhas paralelas à junta com a largura aproximada de 0.02m. A argamassa do refechamento teria o traço de 400Kg de cimento por m³ de areia.

Os tubos de drenagem seriam em ferro galvanizado, tendo na sua parte superior uma campânula com orifícios, ou outro qualquer dispositivo para evitar a sua obstrução, com o diâmetro indicado no mapa de quantidades de trabalho. Haveria uma câmara de visita com tampa de ferro, por cada um dos tubos de esgoto.

Na Figura 108 apresenta-se um modelo 3D da ponte, realizado no contexto deste trabalho, com base no projeto de execução e na memória descritiva, na qual estão representados os elementos que constituem a ponte, separados consoante o tipo de alvenarias, materiais e outros elementos que constituem a ponte. De cima para baixo, os componentes representados no modelo da Figura 108 são legendados da seguinte forma:

- a) Via-férrea constituída por balastro, travessas e carril;
- b) Enchimento entre a chapa hidráulica e a rasante da linha, bem como nos cofres dos encontros, executado em pedra seca;
- c) Chapa hidráulica com 0.085m de espessura, construída por duas camadas de argamassa de cimento e uma camada intermédia de asfalto;
- d) Enchimento desde o extradorso dos arcos até à chapa hidráulica, constituído por pedras desbastadas e alvenaria hidráulica com argamassa ao traço de 100Kg de cimento por m³ de areia;
- e) Alvenaria hidráulica de enchimento com pedras desbastadas e argamassa ao traço de 400Kg de cimento por m³ de areia;
- f) Alvenaria de paramento executada em pedras de fiada com argamassa com o traço de 450Kg de cimento por m³ de areia;
- g) Fundações executadas em pedra de fiada com argamassa de 450Kg de cimento por m³ de areia, exceto nos pilares entre arcos desiguais, que serão de 500Kg de cimento por m³ de areia;
- h) Taludes;
- i) Nível de cheia do rio;

j) Perfil longitudinal do terreno.



Ponte do Côa – Modelo 3D detalhado

Figura 108 – Modelo 3D detalhado da Ponte do Côa

A título de curiosidade é de referir que existe, na rede ferroviária nacional uma outra ponte cujo projeto e processo construtivo é semelhante, porém adaptado às condicionantes geológicas do local. Trata-se da Ponte da Quinta Nova, na Linha do Alentejo, que se apresenta na Figura 109.

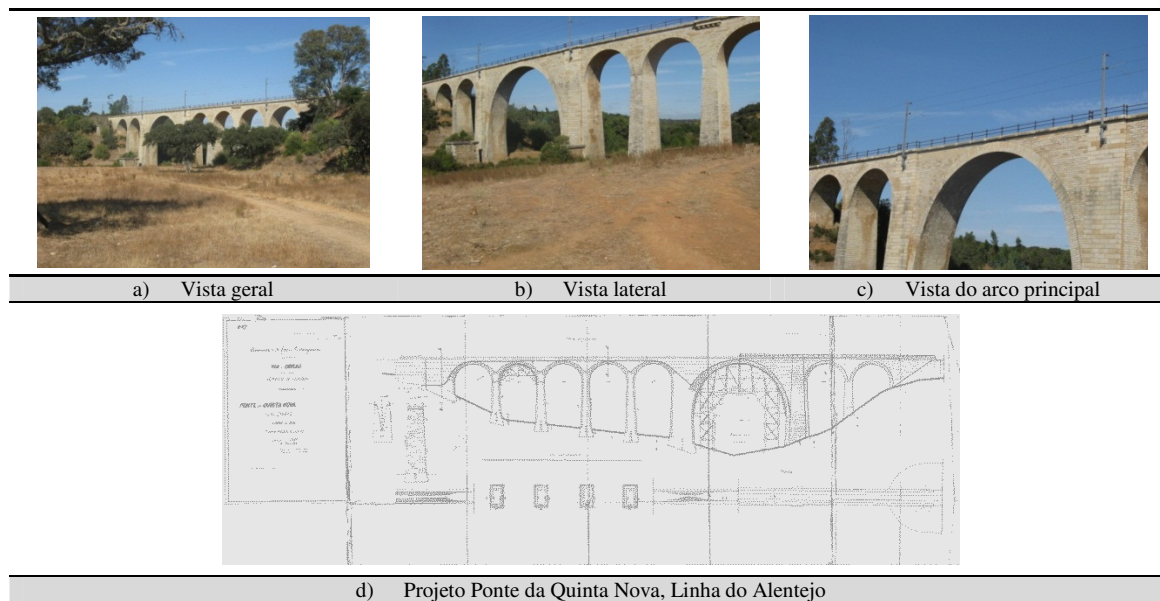


Figura 109 – Imagens e Projeto de Construção da Ponte da Quinta Nova, Linha do Alentejo

5.3 Inspeção da Ponte do Côa

Como resultado da Inspeção Principal efetuada pela Brigada de Inspeção, foi elaborado um relatório de inspeção que resume as informações sobre o estado de conservação dos componentes obtidos através de observações visuais. Estes dados são introduzidos no programa de gestão de obras de arte, SGOA utilizado na REFER, já apresentado no capítulo 4. Neste contexto, são registadas, por componentes, todas as informações referentes a anomalia e outras informações importantes decorrentes da inspeção.

Com o referido resulta um relatório de inspeção simples (Figura 110), registo fotográfico dos componentes da obra de arte, descrição, pela identificação das anomalias detetadas nos mesmos componentes e pela atribuição de índices de avaria, que caracteriza a obra de arte em função dos seus danos. Este relatório é apresentado também no Anexo 2.

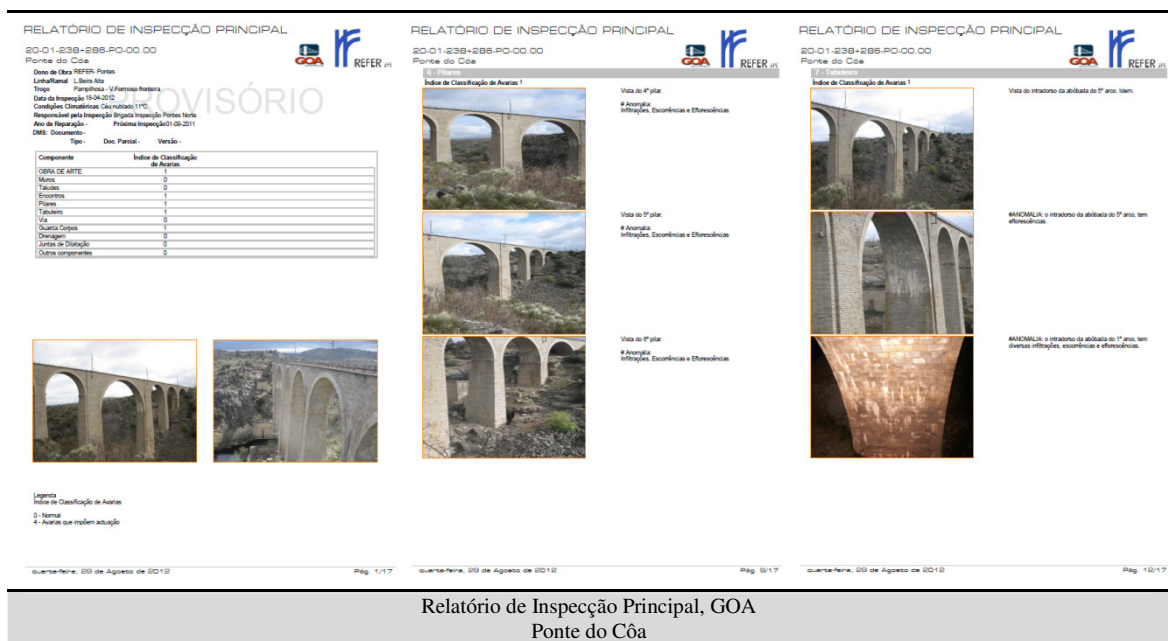


Figura 110 – Apresentação resumida do relatório de Inspeção Principal no GOA, da Ponte do Côa, Linha da Beira Alta

A inspeção da Ponte do Côa, foi realizada em duas fases, uma em período diurno e outra em período noturno. A primeira fase realizada em período noturno foi realizada com o apoio de uma dresine de inspeção de pontes, que permitiu o acesso ao intradorso dos arcos, à zona dos pilares junto dos arcos e aos muros tímpano da obra de arte. Na segunda fase (em período diurno) foi realizada uma inspeção a pé, aos restantes elementos que constituem a ponte, nomeadamente às bases dos pilares, aos encontros, aos taludes e à via.

Das duas fases da inspeção resultou a classificação de índices de avaria por cada componente da obra de arte apresentada na Tabela 23. Estes índices traduzem assim as observações visuais relativas aos danos detetados nos componentes da ponte de alvenaria.

Número	Componente	Índice de avaria
0	Obra de Arte	1
1	Muros	0
2	Taludes	0
3	Encontros	1
4	Aparelhos de Apoio	Não aplicável
5	Pilares	1
6	Tabuleiro (arcos, enchimento)	1
7	Estrutura de Suporte do tabuleiro	Não aplicável
8	Via	0
9	Murete Guarda-balastro	Não aplicável
10	Passeios	Não aplicável
11	Guarda-corpos	1
12	Drenagem	0
13	Juntas de dilatação	0
14	Proteção da superfície	Não aplicável
15	Outros componentes	0

Tabela 23 – Classificação de componentes da Ponte do Côa, por índice de avaria

As avarias detetadas nos encontros, pilares e tabuleiro da ponte, correspondem a anomalias típicas neste tipo de estruturas, nomeadamente infiltrações, escorrências e eflorescências, ilustradas na Figura 111, tendo sido atribuídos a estes um índice de classificação de avarias IA=1.

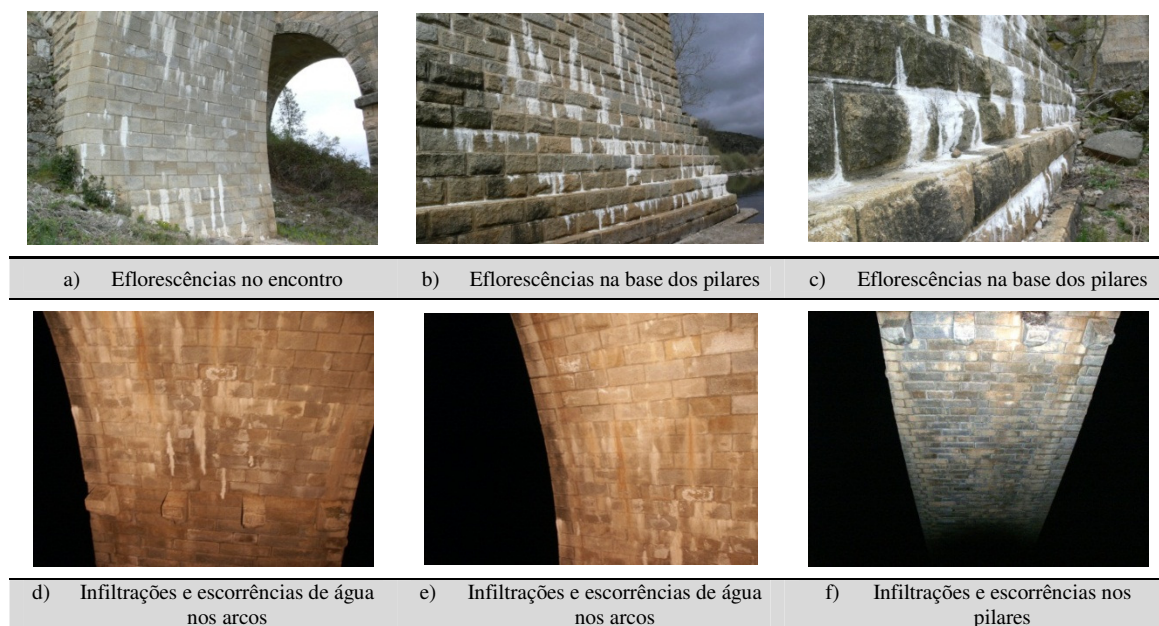


Figura 111 – Anomalias detetadas no arco, encontros e pilares da ponte do Côa

No que respeita aos guarda-corpos também foram detetadas anomalias pouco importantes, nomeadamente, uma oxidação generalizada do material constituinte e

alguns pontos de corrosão, conforme se pode verificar na Figura 112. A este componente foi atribuído um índice de classificação de avarias IA=1.

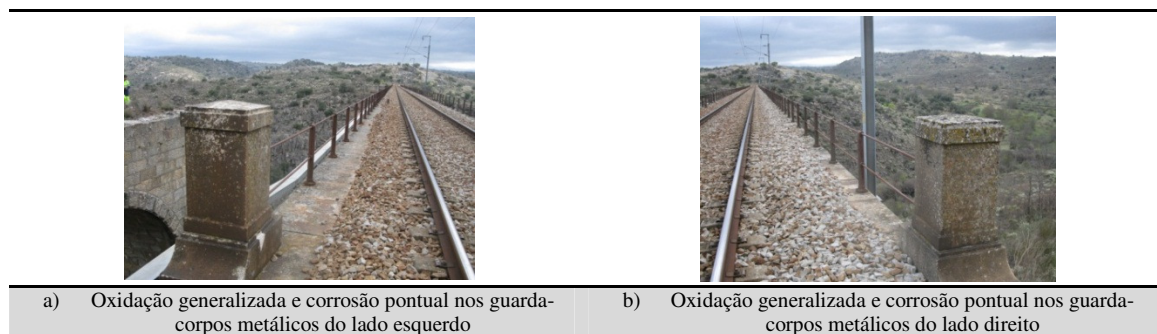


Figura 112 – Anomalias detetadas no guarda-corpos da ponte do Côa

Na apreciação global da ponte, que é feita através do índice de avaria atribuído ao componente 0 - Obra de Arte, foi considerado $IA_0=1$, o que significa que a ponte se encontra em bom estado de conservação e que não carece de manutenção a curto ou médio prazo.

Atendendo às informações contidas no relatório de inspeção principal que para o caso da ponte do Côa é apresentado no Anexo 2, verifica-se as informações contidas sobre o estado das obras não são suficientemente detalhadas tanto para o caso desta ponte como para outros tipos de obra. De facto, verifica-se que o programa SGOA constitui uma boa ferramenta de inventário e arquivo de dados das obras de arte, porém no que se refere aos resultados das inspeções visuais está mais adaptado para conter registos fotográficos e descrições resumidas do que para conter informação descritiva mais detalhada sobre o estado de conservação, as anomalias e os (possíveis) mecanismos de degradação, ou um mapeamento rigoroso das anomalias detetadas.

5.4 Caracterização geométrica

A caracterização geométrica da ponte do Côa foi realizada com base nas peças desenhadas e peças escritas do projeto de construção da ponte do Côa, que data dos anos 40 e que se encontra no arquivo do órgão técnico *Estruturas e Projetos Especiais – Pontes* da REFER. Optou-se por serem considerados reais os valores e dados previstos no projeto de execução uma vez que não foram efetuadas outras medidas específicas

para confirmação no local das dimensões da ponte e constituição interna das secções, ainda que se possa considerar fundamental proceder a esta confirmação no contexto do desenvolvimento de estudos e trabalhos futuros sobre a obra de arte.

Nas ilustrações da Figura 113 à Figura 116 apresentam-se os desenhos que serviram de base para a construção do modelo geométrico, incluindo-se na Figura 113 a planta geral e o perfil longitudinal do terreno da ponte e na Figura 114 a representação em planta, corte e alçado da ponte.

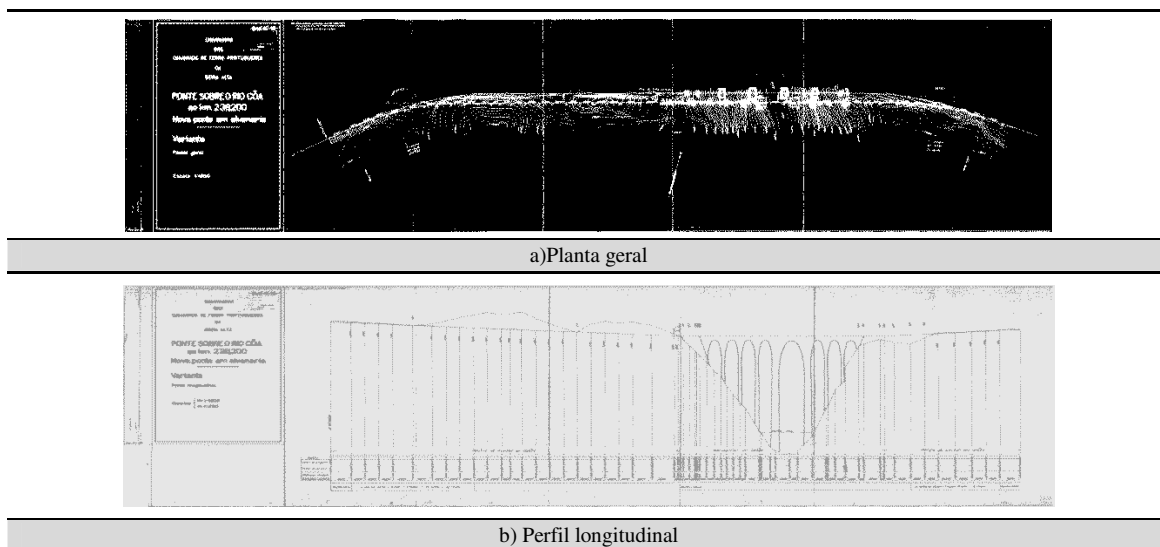


Figura 113 – Planta geral e perfil longitudinal da Ponte do Cõa

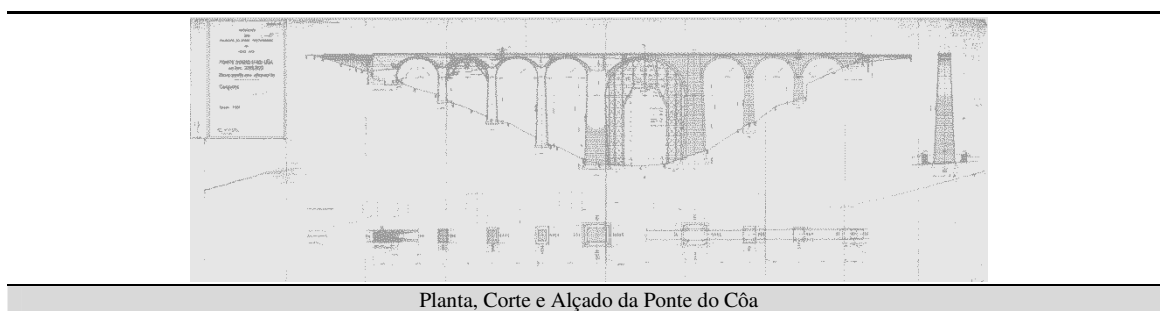


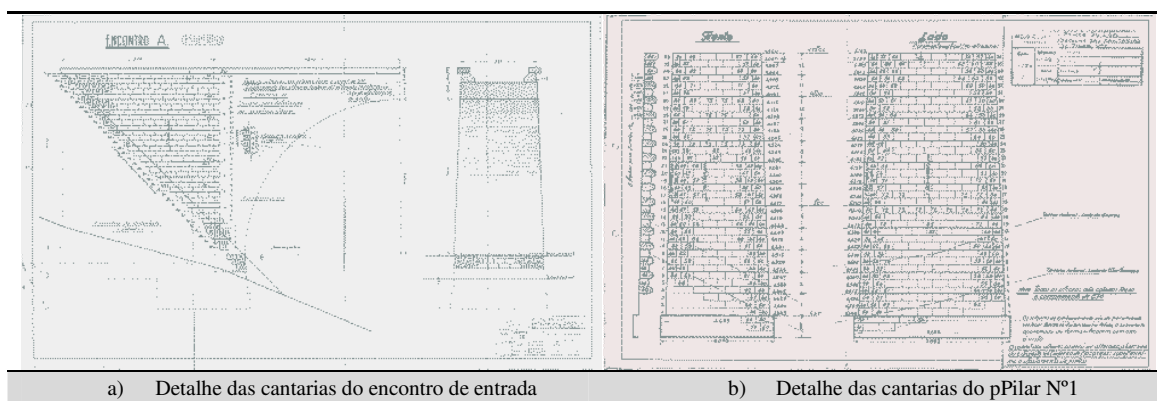
Figura 114 – Planta, corte e alçado da Ponte do Cõa

Na discretização geométrica foram também consultados os desenhos de detalhe das alvenarias dos componentes da obra de arte, que fazem parte do projeto de execução. Na Figura 115 apresenta um exemplo de um desenho de detalhe das alvenarias do pilar N°5 e na Figura 116 apresentam-se exemplos de detalhes mais rigorosos das cantarias (alvenarias de paramento) no encontro de entrada (Figura 116a) e no pilar N°1 (Figura 116b).



Detalhe da alvenaria do pilar N°5

Figura 115 – Detalhe das alvenarias da ponte do Côa



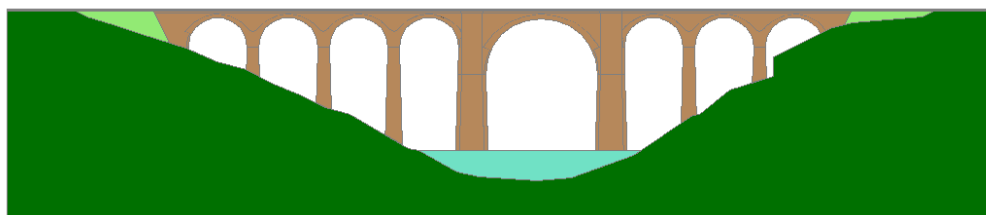
a) Detalhe das cantarias do encontro de entrada

b) Detalhe das cantarias do pPilar N°1

Figura 116 – Detalhe das cantarias da ponte do Côa

Com base nos elementos relativos às peças desenhadas e peças escritas do projeto de execução da ponte do Côa, apresentados anteriormente, procedeu-se à realização de dois modelos 3D no programa AUTOCAD; um deles mais simplificado e outro mais detalhado.

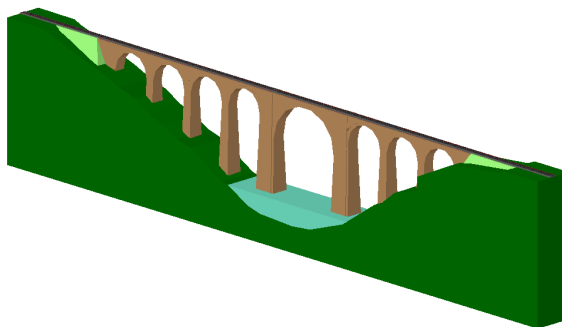
No modelo simplificado, ilustrado na Figura 117, procedeu-se à discretização dos componentes pelo seu contorno de forma a individualizá-los nos seguintes componentes: *i)* arcos; *ii)* pilares; *iii)* tímpanos e enchimento; *iv)* fundações e *v)* balastro.



Alçado do modelo simplificado

Figura 117 – Modelo 3D simplificado da Ponte do Côa

No modelo 3D detalhado, cuja perspectiva se ilustra na Figura 118, foram incluídos também os detalhes relativos à ponte (fundações, alvenaria de paramentos, alvenaria hidráulica de enchimento, chapa hidráulica, enchimento, via, etc.) que constituem os componentes da ponte como já ilustrado anteriormente na Figura 108.



Perpetiva do modelo 3D detalhado

Figura 118 – Modelo 3D detalhado da Ponte do Côa

Na Figura 119 são ainda ilustrados em pormenor alguns dos detalhes dos componentes em alvenarias e dos componentes da via considerados no modelo 3D detalhado.

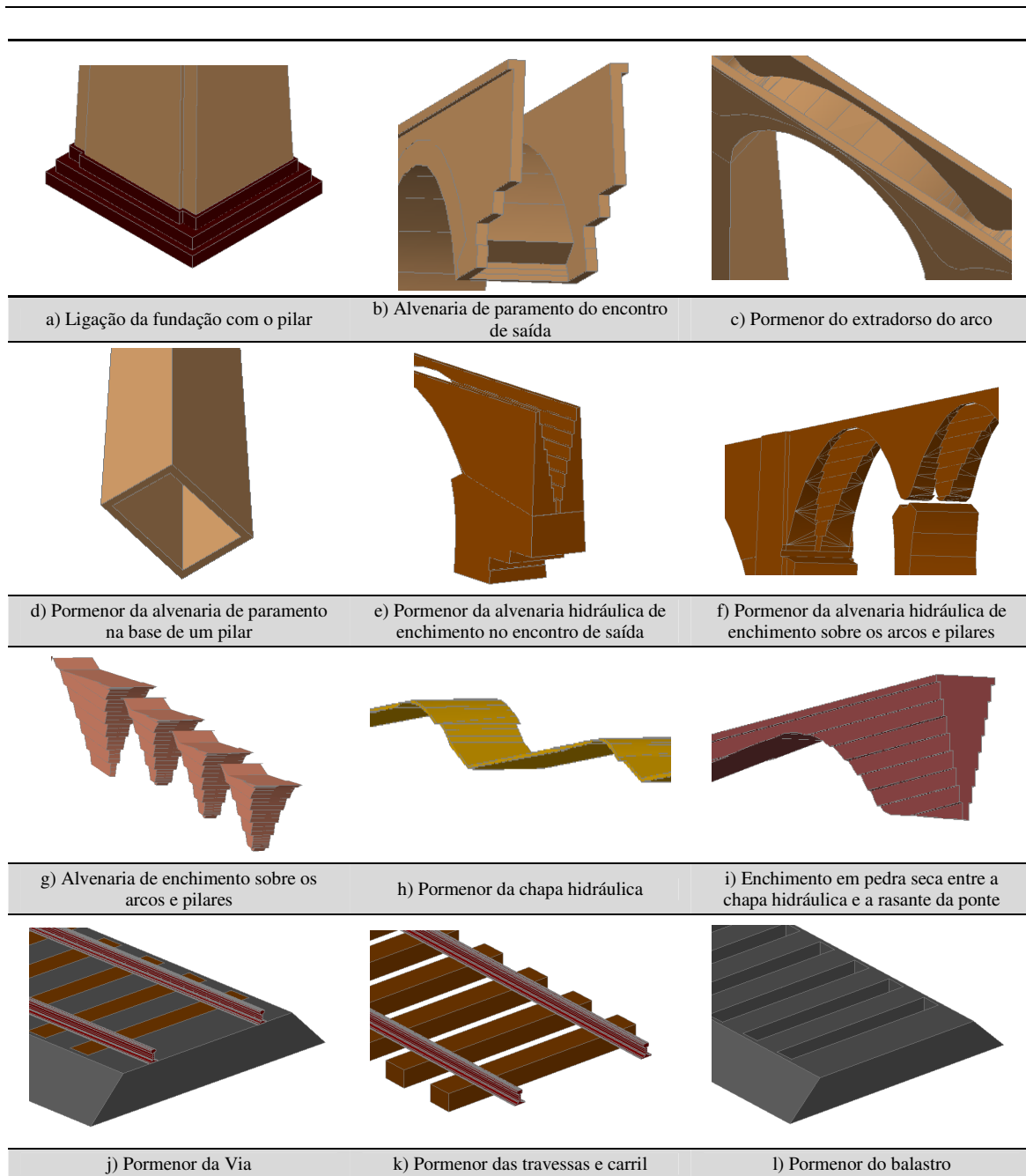


Figura 119 – Detalhes do modelo 3D da Ponte do Côa

5.5 Ensaio de Vibração Ambiental

5.5.1 Considerações iniciais

Como referido anteriormente, a ensaio foi realizada pelo Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto com o apoio da REFER e do IPT.

Para a realização do ensaio de vibração ambiental na Ponte do Côa, que decorreu nos dias 17 e 18 de Setembro de 2012, foi necessário proceder ao planeamento desses ensaios, realizando-se previamente um conjunto de trabalhos preparatórios divididos em duas fases.

A primeira fase correspondeu, por um lado, à recolha de dados sobre os intervalos de tempo disponíveis para a realização do ensaio e as características dos comboios em circulação sobre a ponte, de acordo com a previsão de exploração ferroviária na Linha da Beira Alta (Tabela 24). Por outro lado, correspondeu também à identificação dos procedimentos necessários para verificação das condições de segurança de acordo com as normas de segurança da REFER, visando permitir o acesso à estrutura sem prejudicar a circulação ferroviária e garantindo a segurança dos intervenientes no ensaio.

A segunda fase correspondeu à preparação do ensaio, propriamente dito, tendo em consideração os dados recolhidos na primeira fase e a metodologia do ensaio que, como será descrito mais adiante, compreende a realização de vários ensaios e medições de vibração em diversos pontos do tabuleiro da ponte.

Na Tabela 24 incluem-se os dados relativos à circulação dos comboios sobre a ponte, de acordo com a previsão de exploração ferroviária na Linha da Beira Alta nos dias em que se realizaram os ensaios (primeira fase de preparação do ensaio). Na mesma tabela estão indicados também dez intervalos correspondentes a períodos com a duração superior a 30min sem passagem de circulações.

INSPEÇÃO DE PONTES FERROVIÁRIAS EM ARCO DE ALVENARIA

COMBOIO	Material Motor	Carga (Ton.)	Comp. Total (m)	NOÉMI	PO CÔA	VILAR FORMOSO	Sentido Descendente		
				(232+30)	(238+286)	(252+00)			
				Sentido Ascendente			VILAR FORMOSO (252+00)	PO CÔA (238+286)	NOÉMI (232+30)
1º Intervalo		1:31:00		0:00:00					
				1:31:00					
49805	INTERN. - PAPEL	LOC 5000	1257.0	500.0	1:31:00		1:51:30		
316	LUSITÂNIA	LOC 5600	190.0	202.5			2:25:00		2:39:00
315	LUSITÂNIA	LOC 5600	190.0	202.5	3:12:00		3:25:00		
49814	INTERN.L - PAPEL	LOC 5000	1229.0	500.0			4:10:00		4:25:00
2º Intervalo		1:13:00					4:25:00		
							5:38:00		
312	SUD-EXPRESS	LOC 5600	190.0	202.5			5:38:00		5:51:30
5420	REGIONAL	UTE 2240		71.1			6:22:00		6:39:30
49810	PEÇAS AUTO VW	LOC 4700 + 4700	1300.0	561.0			7:15:00		7:29:30
3º Intervalo		1:28:30					7:29:30		
							8:58:00		
49802	INTERNACIONAL - PAPEL	LOC 5000	1221.0	500.0			8:58:00		9:13:30
57343	DISTRIB. - PAMPILHOSA	LOC 4700	1000.0	370.0	9:34:00		9:48:00		
57341	DISTRIB. - PAMPILHOSA	LOC 4700	1000.0	370.0	9:48:00		10:02:00		
5422	REGIONAL	UTE 2240		71.1			9:44:00		10:01:30
4º Intervalo		1:12:30					10:01:30		
							11:14:00		
57430	DISTRIB. - PAMPILHOSA	LOC 4700	1060.00	390.00			11:14:00		11:28:30
5º Intervalo		1:58:30					11:28:30		
							13:27:00		
5421	REGIONAL	UTE 2240		71.10	13:27:00		13:45:00		
49813	PEÇAS AUTO VW	LOC 4700 + 4700	1300.0	561.0	13:37:00		13:51:00		
6º Intervalo		1:43:00					13:51:00		
							15:34:00		
5424	REGIONAL	UTE 2240		71.1			15:34:00		15:51:30
7º Intervalo		0:49:30					15:51:30		
							16:41:00		
49801	INTERN. - PAPEL	LOC 5000	1257.0	500.0	16:41:00		17:02:00		
5426	REGIONAL	UTE 2240		71.1			17:07:00		17:24:30
8º Intervalo		0:55:30					17:24:30		
							18:20:00		
5423	REGIONAL	UTE 2240		71.1	18:20:00		18:38:00		
9º Intervalo		1:00:30					18:38:00		
							19:38:30		
47843/2	INTERN. - SIDERÚRGICO	LOC 6000	1200.0	310.0	19:38:30		19:58:30		
49806	INTERN. - PAPEL	LOC 5000	1221.0	500.0			20:03:00		20:18:00
49817	INTERNACIONAL - PAPEL	LOC 5000	1257.0	500.0	20:43:30		21:04:00		
311	SUD-EXPRESS	LOC 5600	190.0	202.5	21:32:00		21:45:00		
10º Intervalo		2:15:00					21:45:00		
							0:00:00		

Tabela 24 – Intervalos de tempo disponíveis na circulação ferroviária na Linha da Beira Alta, para os dias do ensaio de vibração ambiental

Na Tabela 25 constam os intervalos de tempo previstos para serem usados para a realização do ensaio, para tarefas realizadas sobre a ponte que incluem a montagem do

equipamento e outras operações a realizar (alteração da localização do equipamento e remoção do equipamento no final do ensaio) como será referido adiante.

	Intervalo	Hora de início HM:MM:SS	Hora de fim HM:MM:SS	Duração HM:MM:SS
Dia 1	1º Intervalo	07:29:30	08:58:00	01:28:30
	2º Intervalo	10:01:30	11:14:00	01:12:30
	3º Intervalo	11:28:30	13:27:00	01:43:00
	4º Intervalo	13:51:00	15:34:00	01:43:00
	5º Intervalo	15:51:30	16:41:00	00:49:30
	6º Intervalo	17:24:30	18:20:00	00:55:30
Dia 2	1º Intervalo	07:29:30	08:58:00	01:28:30
	2º Intervalo	10:01:30	11:14:00	01:12:30
	3º Intervalo	11:28:30	13:27:00	01:43:00
	4º Intervalo	13:51:00	15:34:00	01:43:00

Tabela 25 – Planeamento dos intervalos de tempo na circulação ferroviária na Linha da Beira Alta, para acesso à ponte no 2º dia de execução do ensaio de vibração ambiental

Na Tabela 26 apresenta-se ainda o planeamento relativo à previsão da passagem dos comboios durante a realização de leituras previstas no ensaio.

COMBOIO	Material Motor	Carga (Ton.)	Comp. Total (m)	NOÉMI	PO CÔA	VILAR FORMOSO	Sentido Descendente		
				(232+30)	(238+286)	(252+00)			
				Sentido Ascendente			VILAR FORMOSO (252+00)	PO CÔA (238+286)	NOÉMI (232+30)
Dia 1									
57430	DISTRIB. - PAMPILHOSA	LOC 4700	1060	390.0				11:14:00	11:28:30
5421	REGIONAL	UTE 2240		71.1	13:27:00	13:45:00			
49813	PEÇAS AUTO VW	LOC 4700 + 4700	1300	561.0	13:37:00	13:51:00			
5424	REGIONAL	UTE 2240		71.1			15:34:00		15:51:30
49801	INTERN. - PAPEL	LOC 5000	1257	500.0	16:41:00	17:02:00			
5426	REGIONAL	UTE 2240		71.1			17:07:00		17:24:30
Dia 2									
49802	INTERNACIONAL - PAPEL	LOC 5000	1221	500.0			8:58:00		9:13:30
57343	DISTRIB. - PAMPILHOSA	LOC 4700	1000	370.0	9:34:00	9:48:00			
57341	DISTRIB. - PAMPILHOSA	LOC 4700	1000	370.0	9:48:00	10:02:00			
5422	REGIONAL	UTE 2240		71.1			9:44:00		10:01:30
57430	DISTRIB. - PAMPILHOSA	LOC 4700	1060	390.0			11:14:00		11:28:30

Tabela 26 – Planeamento dos comboios a utilizar para a realização de leituras durante o ensaio de vibração

Com base dos dados apresentados anteriormente, recolhidos na primeira fase de preparação do ensaio, foi realizado o planeamento do ensaio, tendo em consideração os dias e os períodos efetivos, a duração dos trabalhos, os *setups* para medição e interpretação de resultados e as equipas de trabalho intervenientes, de acordo com a Tabela 27 e Tabela 28.

Período HH:MM:SS	Duração HH:MM:SS	Setup	Tarefa			
			Equipa 1	Equipa 2	Equipa 3	Equipa 4
07:45:00 8:45:00	01:00:00		Marcação de Pontos de medição	Colagem de chapas Setup 1	Montagem de Cabos Amarrar bobines	Montagem de Cabos Amarrar bobines
08:45:00 10:15:00	01:30:00					
10:15:00 11:00:00	00:45:00		Colocar acelerómetros e fazer ligações Executar teste	Colagem de chapas Setup 2	Colocar acelerómetros e ligações Executar teste	Sistema de aquisição
11:00:00 11:45:00	00:45:00	Setup 1		Medição Setup 1 Interpretação de resultados		
11:45:00 13:15:00		Alteração do Setup 1 para o Setup 2	Mudar posição dos acelerómetros	Colagem de chapas Setup 3 e Setup 5	Mudar posição dos acelerómetros	Mudar posição dos acelerómetros
13:15:00 14:00:00	00:45:00	Setup 2		Medição Setup 2 Interpretação de resultados		
14:00:00 15:20:00	01:20:00	Alteração do Setup 2 para o Setup 3	Mudar posição dos acelerómetros	Colagem de chapas Setup 5	Mudar posição dos acelerómetros	Mudar posição dos acelerómetros
15:20:00 16:00:00	00:40:00	Setup 3		Medição Setup 3		
16:00:00 16:25:00	00:25:00	Alteração do Setup 3 para o Setup 4	Mudar posição dos acelerómetros		Mudar posição dos acelerómetros	Mudar posição dos acelerómetros
16:25:00 17:40:00	01:15:00	Setup 4		Medição Setup 1 Interpretação de resultados		
17:40:00 18:05:00	00:25:00			Retirar acelerómetros		
18:05:00 18:50:00	00:45:00			Arrumar material		

Tabela 27 – Planeamento dos trabalhos para o 1º dia de execução do ensaio de vibração

Período HH:MM:SS	Duração HH:MM:SS	Setup	Tarefa			
			Equipa 1	Equipa 2	Equipa 3	Equipa 4
07:45:00 8:45:00	01:00:00	Alteração do Setup 4 para o Setup 5	Mudar posição dos acelerómetros		Mudar posição dos acelerómetros	Mudar posição dos acelerómetros
08:45:00 10:15:00	01:30:00	Setup 5		Medição Setup 5 Interpretação de resultados		
10:15:00 11:00:00	00:45:00	Alteração do Setup 5 para o Setup 6	Mudar posição dos acelerómetros		Mudar posição dos acelerómetros	Mudar posição dos acelerómetros
11:00:00 11:45:00	00:45:00	Setup 6		Medição Setup 6 Interpretação de resultados		
11:45:00 13:15:00	01:30:00			Arrumar material		
13:15:00 14:00:00	00:45:00					
14:00:00 15:20:00	01:20:00			Arrumar material		

Tabela 28 – Planeamento dos trabalhos para o 2º dia de execução do ensaio de vibração

Uma vez concluída a planificação do ensaio, foi ainda necessário compatibilizar a realização das tarefas previstas no ensaio com as questões relacionadas com a segurança ferroviária. Para o efeito, foram atendidas as regras normalizadas vigentes na REFER e descritas numa Instrução Técnica própria designada de IET77.

Neste sentido, foram efetuadas Ordens Diárias de Trabalho (ODT), registadas na plataforma disponível para o efeito no Centro de Comando e Operações (CCO) da REFER, para os dois dias previstos na realização do ensaio, e definidas as medidas de prevenção para os riscos ferroviários tendo em consideração os princípios gerais de prevenção de acordo com a IET77.

No que respeita às medidas de segurança ferroviária adotadas para a realização dos ensaios, foi definida a medida que se considerou a mais adequada ao planeamento dos trabalhos, designada por Suspensão Temporária de Circulação.

A Suspensão Temporária de Circulação é uma medida de segurança utilizada em troços de plena via e/ou em estações, em intervalos entre circulações e sem que seja previsível a possibilidade de afetação do desempenho da infraestrutura após os trabalhos e que permite suspender temporariamente a circulação dos comboios. Esta medida de segurança é utilizada para as zonas de risco de atropelamento e choque de circulações ferroviárias com pessoas, equipamento e materiais ou na sua proximidade e para os quais se identifique o risco de invasão desta zona por pessoas ou equipamentos. A zona de risco é definida também como o espaço tridimensional circundante das infraestruturas ferroviárias pela plataforma da via e pelas superfícies geradas pelas distâncias de segurança. A utilização desta medida não permite a utilização de equipamentos rodoviários ou ferroviários sobre o balastro, mas é possível a utilização de equipamentos portáteis ligeiros ou pesados.

A concretização desta medida foi apoiada no local pelo Responsável dos Trabalhos, que a implementou de acordo com o plano de trabalhos aprovado, solicitando a autorização para o início da realização dos trabalhos ao CCO e os períodos previstos para a realização dos trabalhos nos intervalos das circulações, em plena via que foram autorizados mediante a formalização dos despachos telefónicos estabelecidos pela IET77.

Assim, para a realização e início dos trabalhos na ponte, as formalidades a cumprir para a implementação da suspensão temporária de circulação, foram as seguintes:

- Com uma antecedência de 10 minutos antes da hora prevista para o início dos trabalhos, o Responsável dos Trabalhos endereçou ao CCO, um telefonema registado a solicitar a autorização do início dos trabalhos;
- O CCO suspendeu temporariamente a circulação dos comboios no troço de via em causa e autorizou o início dos trabalhos através de telefonema registado, após se certificar que no troço de via que ia ficar suspensa a circulação, nenhum comboio se encontrava em circulação e que as proteções longitudinais e transversais das estações testa de via estavam asseguradas.

Para a conclusão dos trabalhos e para o levantamento da suspensão temporária de circulação implementada, a obtenção de autorização de “via livre” dependeu dos seguintes procedimentos:

- Com uma antecedência mínima de 10 minutos sobre a hora indicada para o termo do período concedido, o Responsável dos Trabalhos entrou em comunicação com o CCO e acertou a hora exata para a cessação dos trabalhos, após se certificar da sua conclusão, da remoção das proteções e de verificar que estavam garantidas todas as condições de segurança para a circulação normal de comboios;
- O CCO na posse do telefonema registado indicado anteriormente, providenciou o levantamento da Suspensão Temporária de Circulação, transmitindo para o efeito o respetivo telefonema registado.

5.5.2 Técnica do ensaio

Na campanha de ensaios dinâmicos “*in situ*”, realizadas com o objetivo de obter as estimativas das frequências e modos de vibração da ponte, foram utilizados acelerómetros uniaxiais (Figura 120a) num total de treze aparelhos.

Cada acelerómetro permite registar sinais de aceleração numa direção, sendo possível considerar diferentes taxas de amostragem e diferentes condições de disparo e leitura. As condições de funcionamento dos sensores são estabelecidas com recurso a

programas específicos para esse fim, pelo que é necessária a utilização de um computador portátil que serve também para armazenar os registos no disco do computador (Figura 120b).

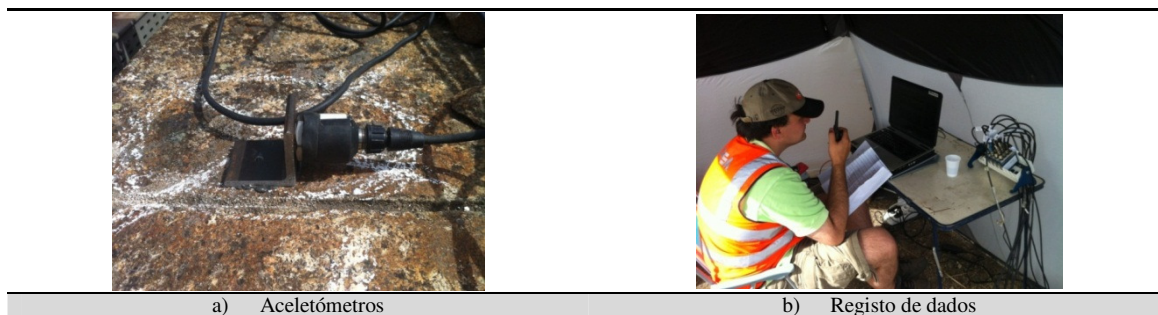
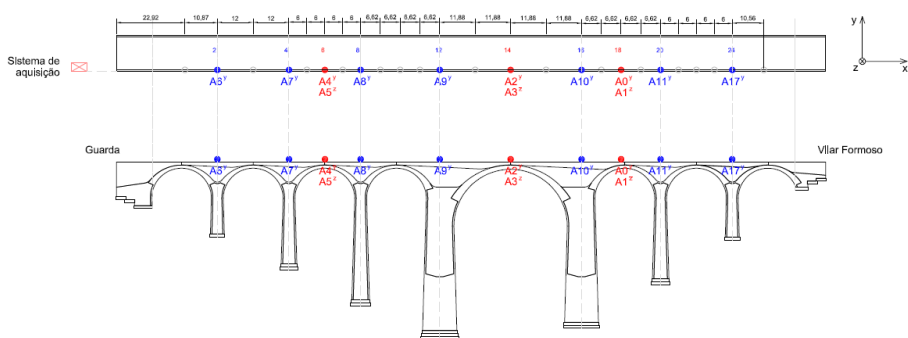


Figura 120 – Técnicas do ensaio de vibração ambiental

A metodologia de ensaio consistiu em efetuar sucessivas medições de vibração em pontos do tabuleiro da ponte, indicados na Figura 121, correspondentes a secções transversais distintas sobre o tabuleiro. Foram realizadas várias séries de medições, seguindo a sequência ilustrada na Figura 121, colocando seis acelerómetros (A4y, A5z, A2y, A3z, A0y, A1z) em três pontos de referência fixos (pontos: 6, 14, 18) e os restantes aparelhos noutros pontos de medição. Os seis *setups* são descritos com mais detalhe nos parágrafos seguintes.

SETUP 1

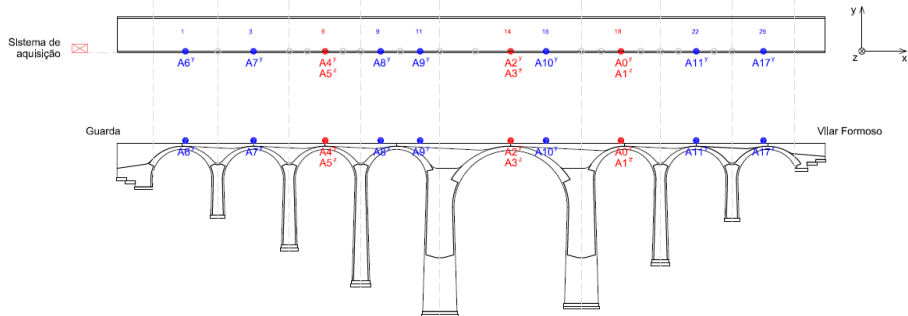


Ensaio de vibração ambiental

Figura 122 – Metodologia do ensaio de vibração ambiental – Setup 1

Para o Setup 2 (Figura 123) foram alteradas as posições dos acelerómetros A6y, A7y, A8y, A9y, A10y, A11y, A17y para outros pontos de medição, respetivamente, os pontos: 1, 3, 9, 11, 15, 22, 25.

SETUP 2

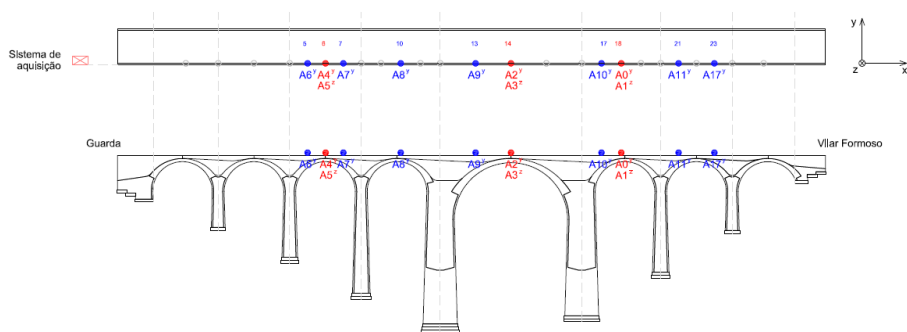


Ensaio de vibração ambiental

Figura 123 – Metodologia do ensaio de vibração ambiental – Setup 2

Para o Setup 3 (Figura 124) repetiu-se o processo anterior, alterando as posições dos acelerómetros A6y, A7y, A8y, A9y, A10y, A11y, A17y para os pontos de medição: 5, 7, 10, 13, 17, 21, 23, respetivamente.

SETUP 3

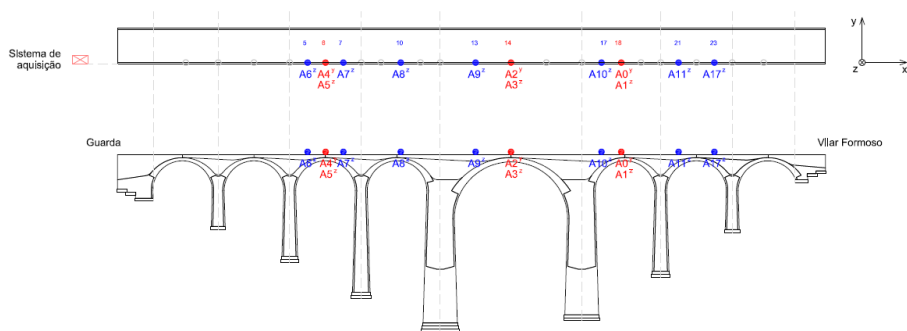


Ensaio de vibração ambiental

Figura 124 – Metodologia do ensaio de vibração ambiental – Setup 3

No Setup 4 (Figura 125) manteve-se a localização dos acelerómetros A6z, A7z, A8z, A9z, A10z, A11z, A17z nos pontos de medição: 5, 7, 10, 13, 17, 21, 23, alterando apenas a sua posição no eixo y para o eixo z.

SETUP 4

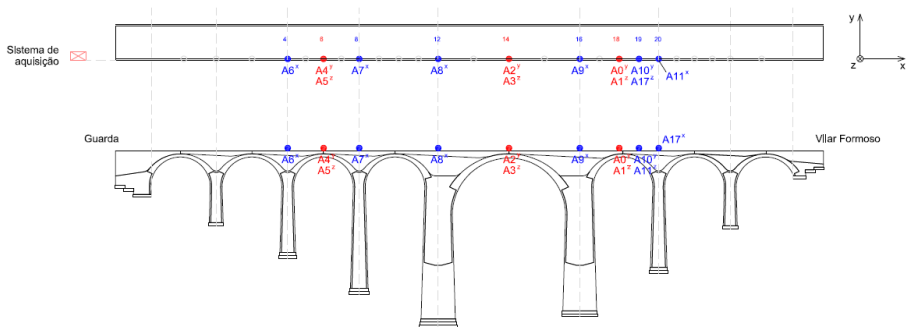


Ensaio de vibração ambiental

Figura 125 – Metodologia do ensaio de vibração ambiental – Setup 4

No Setup 5 (Figura 126) procedeu-se à alteração para novos pontos de medição (pontos: 4, 8, 12, 16, 20) dos acelerómetros A6x, A7x, A8x, A9x, A17x procedendo-se à alteração do eixo z para o eixo x. Foram ainda alterados dois acelerómetros, A10y, A17z, para a posição 19, sendo que, respetivamente, um foi colocado no eixo y e o outro no eixo z.

SETUP 5

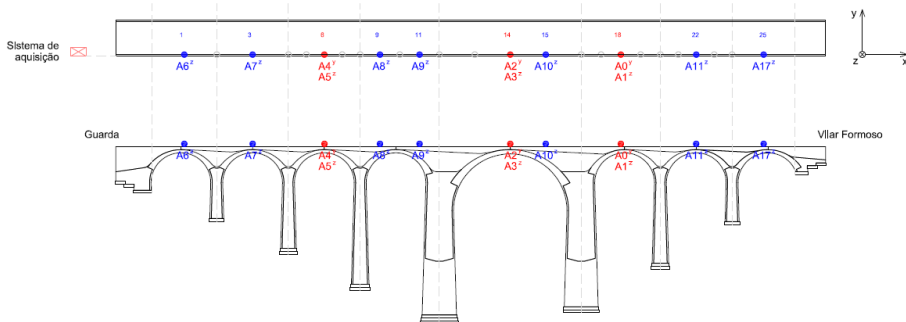


Ensaio de vibração ambiental

Figura 126 – Metodologia do ensaio de vibração ambiental – Setup 5

Por último, no Setup 6 (Figura 127) foram alteradas as posições dos acelerómetros A6z, A7z, A8z, A9z, A10z, A11z, A17z para outros pontos de medição, respetivamente, os pontos: 1, 3, 9, 11, 15, 22, 25.

SETUP 6



Ensaio de vibração ambiental

Figura 127 – Metodologia do ensaio de vibração ambiental – Setup 6

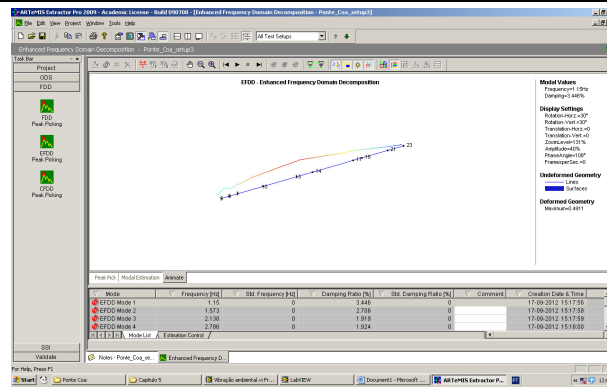
5.5.3 Características dinâmicas medidas “in situ”

Para a determinação das frequências próprias e configuração dos modos de vibração, com base nos registos das medições de aceleração efetuados durante os ensaios dinâmicos, recorreu-se ao programa de análise e processamento de sinal ARTEMIS.

Pela via referida anteriormente, foram identificadas cinco frequências naturais cujos valores e respetivas configurações podem ser consultados entre a Figura 128 e a Figura 132.

Como referido anteriormente, estes resultados foram processados pela equipa da FEUP e constituem ainda resultados preliminares.

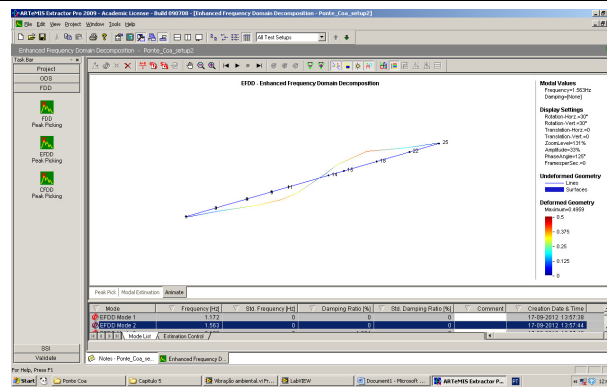
F=1.15 Hz (modo transversal)



F=1.15 Hz (modo transversal)

Figura 128 – Resultado da aplicação do programa ARTEMIS, para F=1.15 Hz (modo transversal)

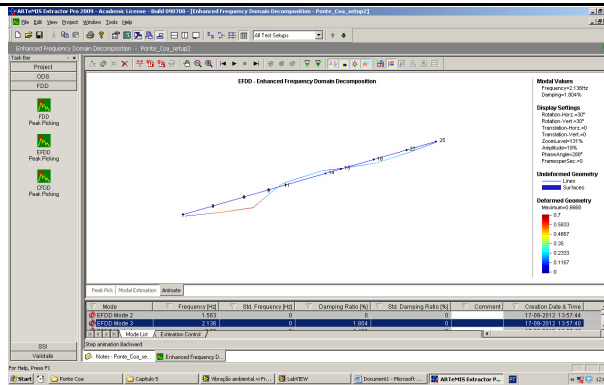
F =1.56 Hz (modo transversal)



F=1.56 Hz (modo transversal)

Figura 129 – Resultado da aplicação do programa ARTEMIS, para F=1.56 Hz (modo transversal)

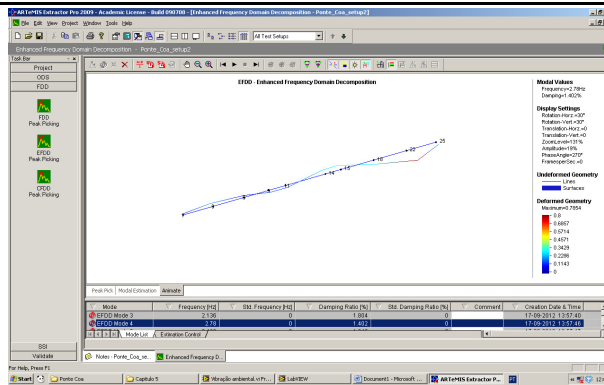
F=2.14 Hz (modo transversal)



F=2.14 Hz (modo transversal)

Figura 130 – Resultado da aplicação do programa ARTEMIS, para F=2.14 Hz (modo transversal)

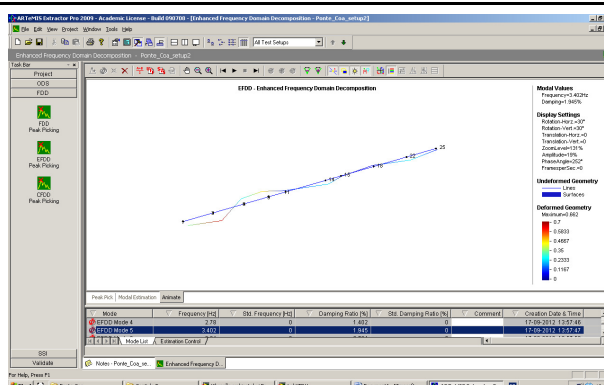
F=2.78 Hz (modo transversal)



F=2.78 Hz (modo transversal)

Figura 131 – Resultado da aplicação do programa ARTEMIS, para F=2,78 Hz (modo transversal)

F=3.40 Hz (modo transversal)



F=3.40 Hz (modo transversal)

Figura 132 – Resultado da aplicação do programa ARTEMIS, para F=3.40 Hz (modo transversal)

5.6 Calibração do modelo numérico

5.6.1 Modelo numérico FEM

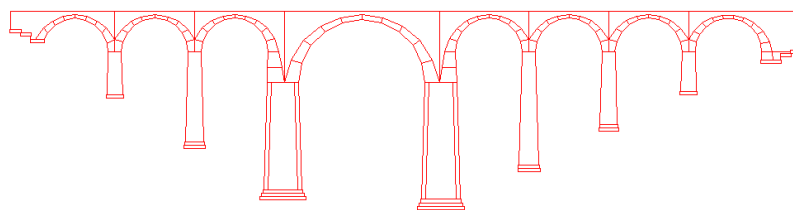
Com o objetivo de avaliar as características dinâmicas da ponte do Côa e compará-las com idênticos parâmetros determinados através dos ensaios de vibração ambiental procedeu-se a uma análise elástica linear (simplificada) com base no Método dos Elementos Finitos (MEF) recorrendo ao programa CAST3M.

A estratégia usada nesta análise consistiu em descrever a geometria através de elementos finitos tridimensionais de modo a representar o contínuo usando um material elástico, isotrópico e homogéneo em toda a estrutura.

A caracterização das propriedades elásticas dos materiais baseou-se em valores encontrados na bibliografia tendo em conta o tipo de material existente no local e outros valores usados em estudos precedentes que recorreram a metodologias de análise semelhantes. Nos parágrafos seguintes, apresentam-se as hipóteses de base e os resultados obtidos nesta análise.

Geometria

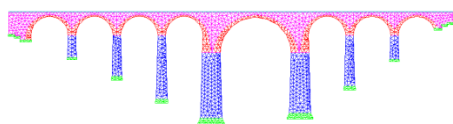
As dimensões dos elementos da ponte (pilares, arcos, tímpanos, enchimentos e fundações) foram aferidas com base nos modelos geométricos construídos em AUTOCAD, apresentados anteriormente dos quais num deles (o modelo geométrico 3D detalhado) se teve a preocupação de incluir alguns detalhes da constituição interna da ponte mas que nesta fase não foram incluídos na descrição da geometria por se considerar um material homogéneo idêntico para toda a extensão da ponte. Assim, e tendo por base o modelo 3D simplificado construído em AUTOCAD, redefiniu-se o modelo 3D, que pode ser observado na Figura 133, para atender às especificidades requeridas para a definição da malha de elementos finitos no programa CAST3M.



Geometria simplificada

Figura 133 – Geometria simplificada considerada na análise elástica

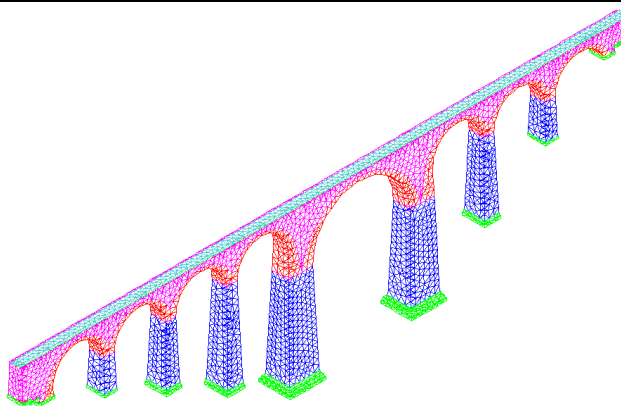
A malha de elementos finitos da ponte foi posteriormente definida através da utilização de elementos volumétricos de 6 nós usando operadores disponíveis no programa CAST3M e que pode ser observada na Figura 134 em alçado, planta e em perspectiva.



a) Alçado



b) Planta



c) Perspectiva

Figura 134 – Malha de elementos finitos

Parâmetros dos materiais

No que respeita aos parâmetros dos materiais que compõem a estrutura, a alvenaria de pedra (blocos e juntas) e o enchimento com alvenaria hidráulica, foram representados num único material. Deste modo os parâmetros do material resultam de uma homogeneização dos parâmetros de cada constituinte formado por blocos, interfaces e enchimento.

No contexto da simulação numérica de estruturas existentes a definição dos parâmetros dos materiais é uma das tarefas mais complexas de realizar. A estimativa das frequências naturais por via numérica e a sua comparação com idênticos parâmetros por via experimental constitui uma ferramenta preciosa para calibrar os modelos numéricos. No caso da análise que se apresenta e dado que foi possível aferir no local os parâmetros da estrutura (frequências e modos de vibração), calcularam-se as características dinâmicas da estrutura (frequências e modos de vibração) para diferentes valores do módulo de elasticidade homogéneo de modo a obterem-se idênticos resultados das frequências e modos de vibração obtidos por via numérica e experimental. Assim, esta técnica constitui uma via para calibrar e validar o modelo numérico da estrutura a usar em simulações posteriores.

Assim, para o módulo de elasticidade da estrutura homogeneizada, E , foi considerado o valor de 15 GPa e para o coeficiente de Poisson um valor de 0.2 que pode ser considerado um valor corrente para este tipo de estruturas. Para o peso específico, considerou-se 25.17 kN/m³ que resultou de uma ponderação entre as partes constituídas por paramentos de alvenaria de pedra aparelhada e alvenaria de enchimento.

Condições fronteira

Para as condições fronteira foram impostos bloqueamentos dos deslocamentos (dx , dy , dz) dos nós da malha da ponte localizados da base e nos paramentos laterais extremos dos encontros.

5.6.2 Características dinâmicas calculadas

Com base no modelo definido de acordo com os critérios referidos nos parágrafos anteriores determinaram-se as oito primeiras frequências e correspondentes modos de vibração que se representam em alçado, planta e perspetiva, da Figura 135 à Figura 142, juntamente com o correspondente valor da frequência na legenda das figuras. Na Tabela 29 resumem-se os valores das frequências e tipos de modos de vibração correspondentes para o caso referido.

Frequências (Hz)	Tipo de modo
Freq. N.º1 = 1.1344	Transversal
Freq. N. 2 = 1.7103	Transversal
Freq. N. 3 = 2.4343	Transversal
Freq. N. 4 = 3.1839	Transversal
Freq. N. 5 = 3.6638	Longitudinal
Freq. N. 6 = 3.9879	Transversal
Freq. N. 7 = 4.9848	Transversal
Freq. N. 8 = 5.420	Vertical

Tabela 29 – Frequências e tipos de modos de vibração determinados numericamente

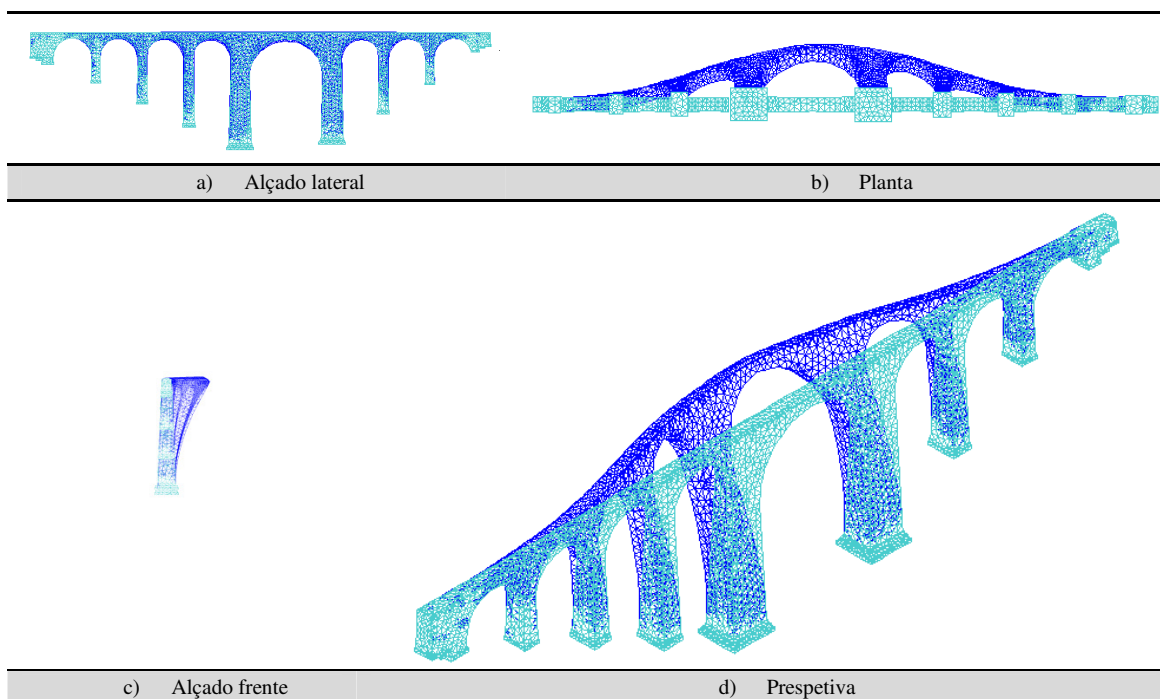


Figura 135 – 1º Modo de vibração (Freq. N.º1 = 1.1344 Hz)

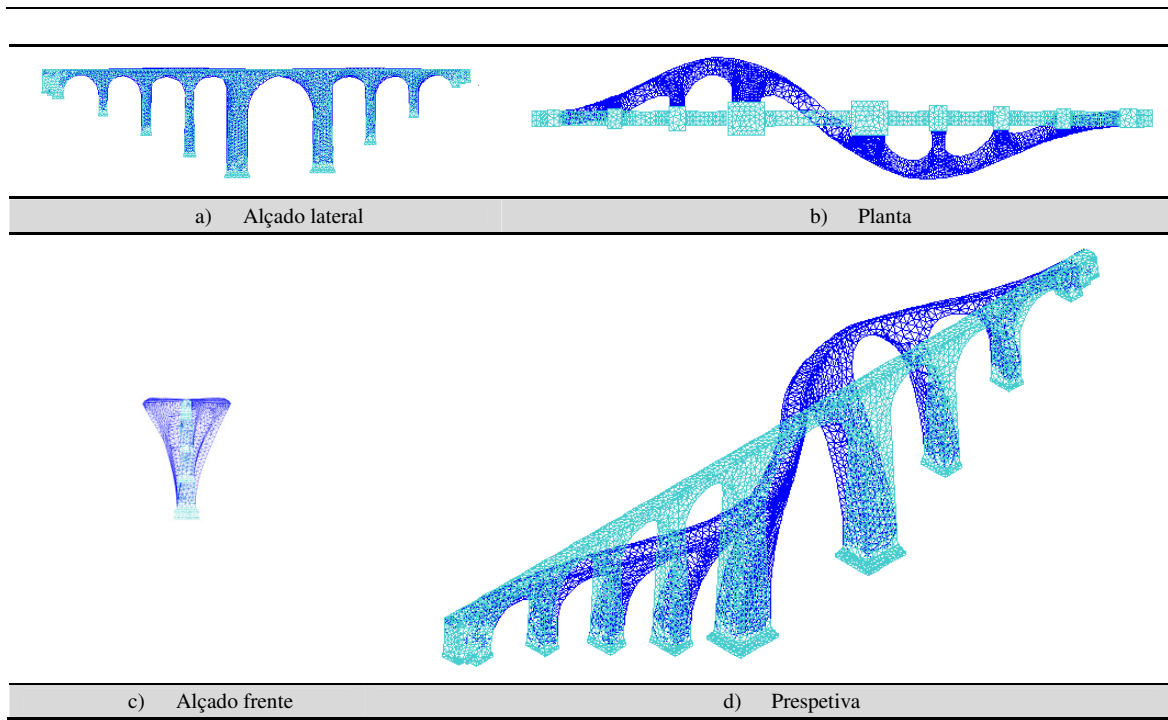


Figura 136 – 2º Modo de vibração (Freq. N.º2 = 1.7103Hz)

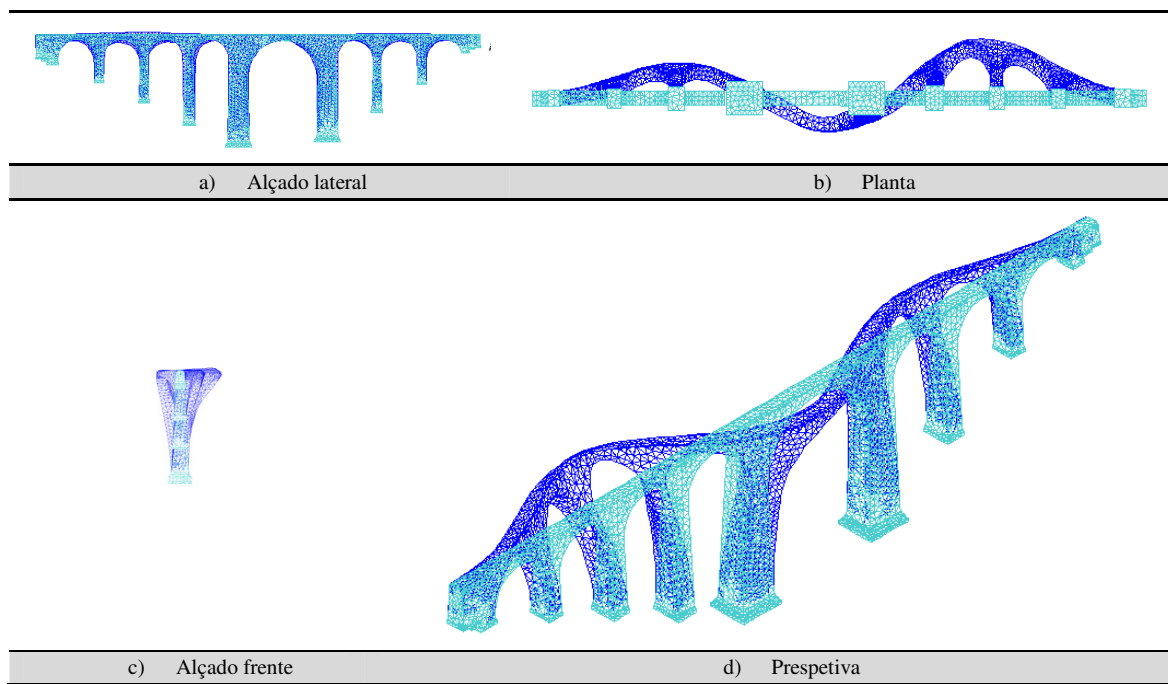


Figura 137 – 3º Modo de vibração (Freq. N.º3 = 2.4343Hz)

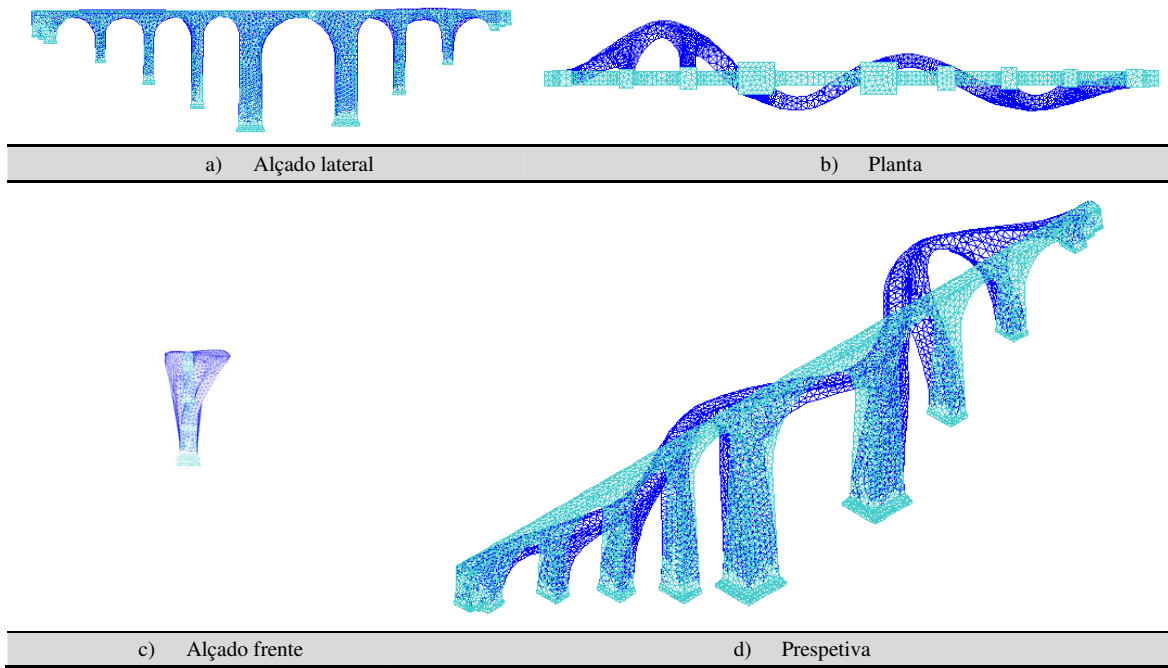


Figura 138 – 4º Modo de vibração (Freq. N.º4 = 3.1839Hz)

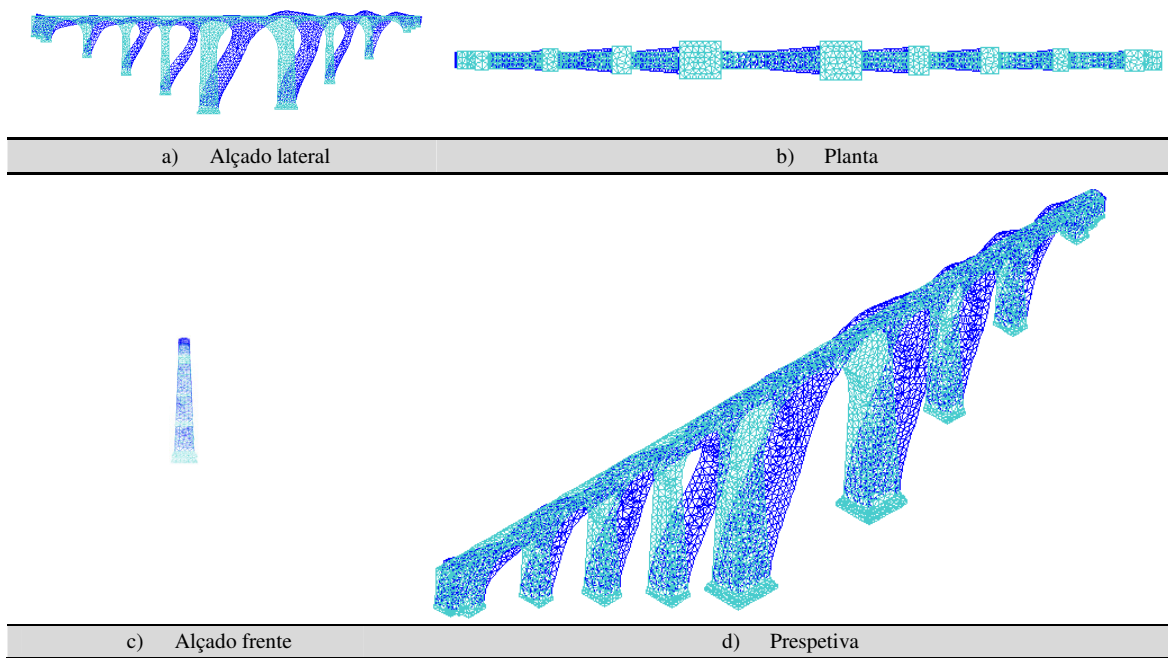


Figura 139 – 5º Modo de vibração (Freq. N.º5 = 3.6638Hz)

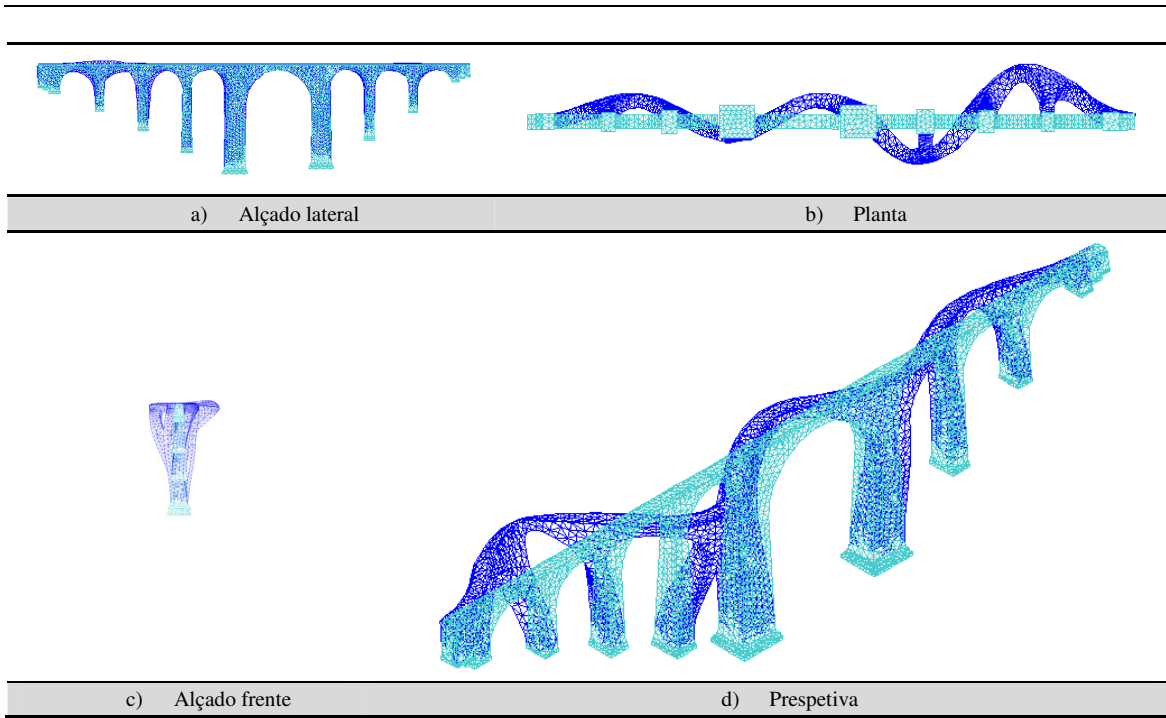


Figura 140 – 6º Modo de vibração (Freq. N.º6 = 3.9879Hz)

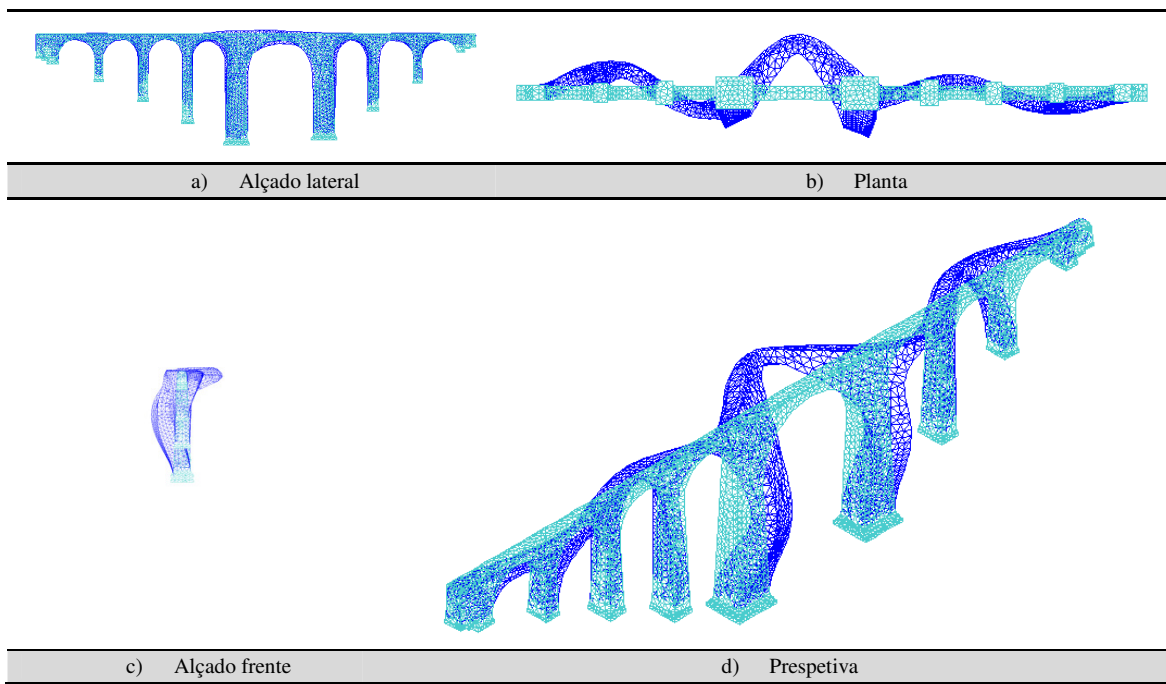


Figura 141 – 7º Modo de vibração (Freq. N.º7 = 4.9848Hz)

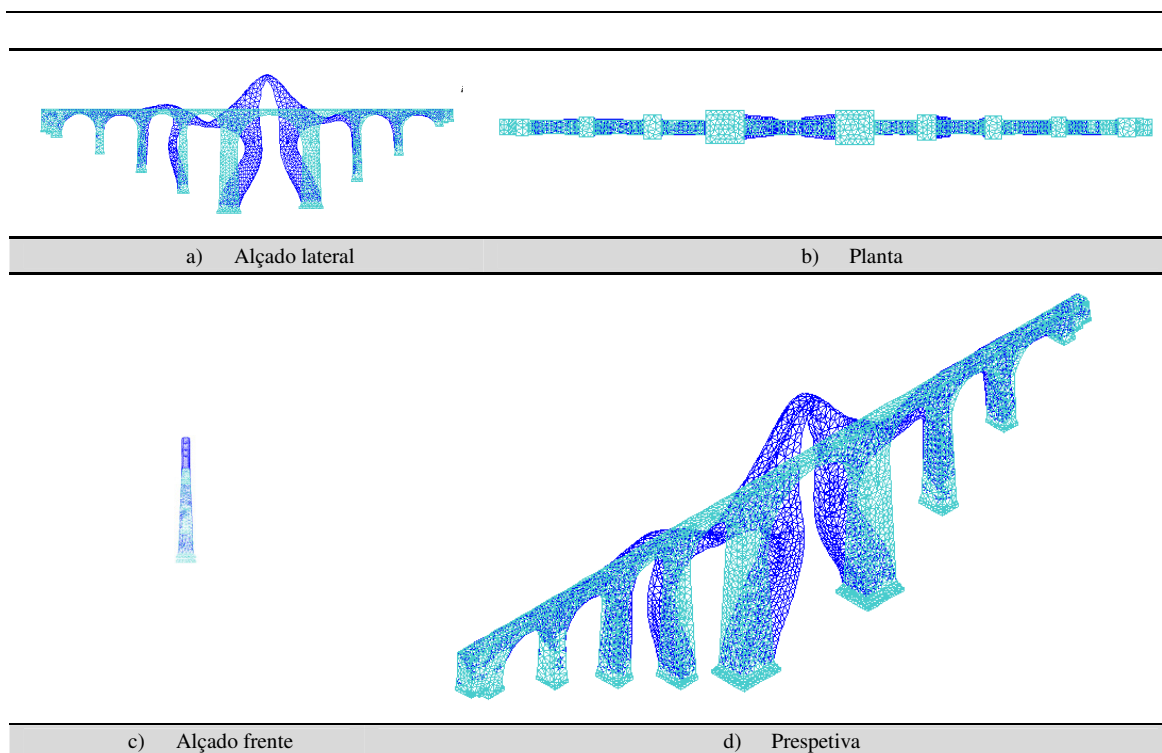


Figura 142 – 8º Modo de vibração (Freq. N.º8 = 5.420Hz)

5.6.3 Considerações finais

Atendendo aos resultados obtidos pelas duas vias numérica e experimental, apresentados anteriormente e resumidos na Tabela 30, verifica-se existir boa concordância nos valores de frequência e modos de vibração identificados. Refira-se porém que este estudo está em fase de desenvolvimento e por conseguinte os resultados aqui apresentados devem ser considerados como preliminares.

Modelo numérico		Modelo Experimental	
Frequências (Hz)	Tipo de modo	Frequências (Hz)	Tipo de modo
Freq. N.º1 = 1.1344	Transversal	F = 1.15 Hz	Transversal
Freq. N. 2 = 1.7103	Transversal	F = 1.56 Hz	Transversal
Freq. N. 3 = 2.4343	Transversal	F = 2.14 Hz	Transversal
Freq. N. 4 = 3.1839	Transversal	F = 2.78 Hz	Transversal
Freq. N. 5 = 3.6638	Longitudinal		
Freq. N. 6 = 3.9879	Transversal	F = 3.40 Hz	Transversal
Freq. N. 7 = 4.9848	Transversal		
Freq. N. 8 = 5.420	Vertical		

Tabela 30 – Frequências e tipos de modos de vibração determinados pelo modelo numérico e pelo modelo experimental

5.7 Avaliação de segurança recorrendo a métodos simplificados

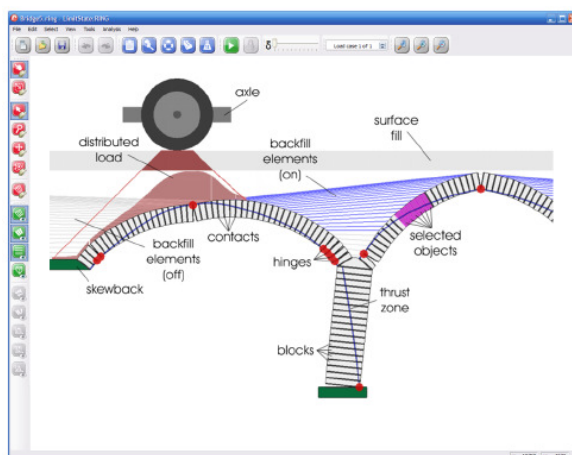
5.7.1 Considerações iniciais

O programa *LimitState: RING 3.0* é uma ferramenta de análise rápida para pontes de alvenaria em arco vocacionada para analisar a carga de colapso destas pontes (Gilbert & Melbourne 1994, Melbourne & Gilbert 1995 e Melbourne 1997).

Nesta aplicação é utilizado um método que recorre à discretização do arco por blocos rígidos (aduelas) separados por superfícies de contacto (juntas), nas quais pode ocorrer escorregamento, esmagamento ou rotação, sendo o efeito do enchimento modelado através da dispersão pelo arco das cargas aplicadas (degradação de cargas pelo enchimento) e através da imposição de restrições no arco (impulso passivo do enchimento).

O método é baseado na análise plástica limite por via do teorema cinemático (ou do limite superior) em conjunto com critérios geométricos de compatibilidade e métodos de programação linear para a obtenção de soluções em problemas 2D.

A Figura 143 ilustra as potencialidades mais importantes desta aplicação, a partir da qual se pode verificar que o *LimitState: RING 3.0* permite ao utilizador identificar o mecanismo de rótulas no arco e a correspondente linha de pressões, os elementos do enchimento em contacto com o arco e a zona do arco solicitada pelas cargas aplicadas.



Principais danos observados

Figura 143 – Principais danos observados no LimitState RING 3.0

5.7.2 Objetivo do cálculo e introdução de dados

O programa *LimitState: RING 3.0* permite avaliar o fator de segurança em pontes de arcos de alvenaria através de um método simplificado, em que é avaliada a carga máxima que corresponde à formação de um mecanismo de rótulas no arco através da identificação da linha de pressão no arco.

Para o efeito, é necessário a introdução de alguns dados no programa, seguindo os menus para a descrição geral da ponte, a geometria, as propriedades dos materiais e as cargas aplicadas na ponte.

Na descrição geral da ponte, para além dos dados de identificação e localização da ponte, é necessário definir o tipo de exploração da ponte, especificando se é uma ponte rodoviária ou uma ponte ferroviária, assim como, também são introduzidos dados sobre a largura da ponte.

No caso da ponte do Côa foi definido o tipo de exploração ferroviária e a largura 4.80m.

Para a definição da geometria da ponte são consideradas as formas e dimensões dos elementos estruturais, nomeadamente, encontros, arcos e pilares, assim como o enchimento e os componentes da via. De referir também que não são incluídos os muros

tímpano, uma vez que o programa recorre a uma modelação 2D que não inclui a discretização da ponte na direção transversal, pelo que os tímpanos não são considerados.

Para a definição da geometria os dados relativos aos constituintes da ponte são introduzidos nos menus do programa. No caso da ponte do Côa foram considerados os dados da constituição da ponte e seus componentes (dois encontros, sete pilares e oito arcos, e enchimento) já apresentados na secção 5.2.

Nesta fase, detetou-se a uma limitação da aplicação do programa ao caso da ponte do Côa, uma vez que se encontraram dificuldades na introdução dos arcos de dimensões diferentes e linhas de nascença diferentes (como é o caso da ponte do Côa). Na Figura 144 ilustram-se duas tentativas para definição da geometria da ponte do Côa que porém não traduzem corretamente a geometria real da ponte.

Assim, optou-se por proceder à avaliação do fator de segurança da ponte considerando do arco maior isolado e com os dados correspondentes à geometria, desse arco conforme será apresentado mais à frente.

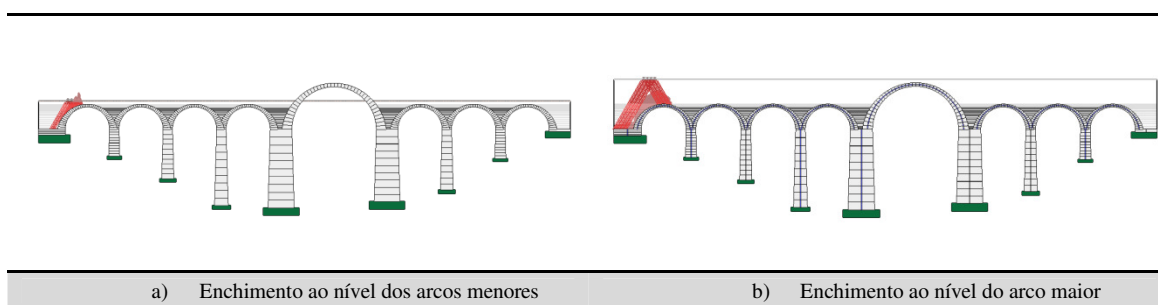


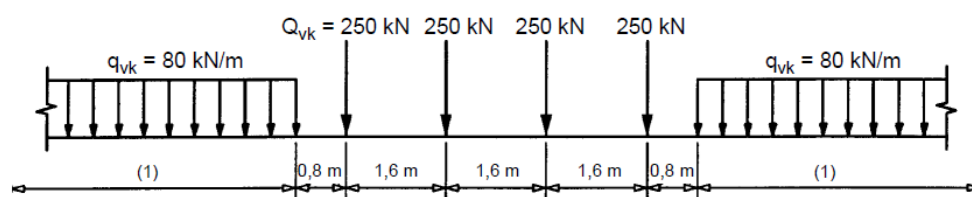
Figura 144 – Exemplo da limitação geométrica do programa LimiteState Ring 3.0

No que respeita às propriedades dos materiais foram adotados os valores apresentados na Tabela 31. Estes parâmetros foram definidos com base em valores encontrados na bibliografia uma vez que para esta ponte não existem disponíveis estes dados experimentais.

Material	Propriedade	Unidades
Alvenaria	Peso específico	25 KN/m ³
	Tensão de compressão	5 N/mm ²
	Coefficiente de atrito	0,6
Enchimento	Peso específico	25 KN/m ³
	Ângulo de atrito	30°
	Coesão	100 KN/m ²
Balastro	Peso específico	18 KN/m ²
	Ângulo de dispersão das cargas	45°

Tabela 31 – Propriedades dos materiais

Para as cargas aplicadas na ponte, foi considerado o modelo das ações de tráfego ferroviário “Load Model 71” disponível no RING e previsto no “*Union International of Railways - Code 776-1 – Loads to be considered in railway bridges design*”, que representa o efeito estático das cargas verticais devido a tráfego ferroviário normal. Na Figura 145 ilustra-se o modelo de carga e os correspondentes valores característicos das cargas verticais.



Modelo de carga 71

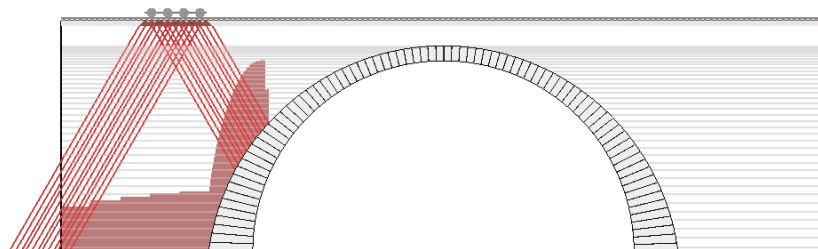
Figura 145 – Modelo de carga e valores característicos para cargas verticais

Decorrente da aplicação das metodologias disponíveis no programa a carga de colapso corresponde ao valor característico das ações aplicadas multiplicadas pelo valor o fator de segurança encontrado no cálculo.

5.7.3 Aplicação à Ponte do Côa

Com o objetivo proceder à avaliação do fator de segurança na ponte do Côa, optou-se por aplicar as metodologias disponíveis no programa RING ao 5º arco isolado (Figura 146), sendo este arco considerado como o arco principal da ponte por apresentar o maior vão (com vão de 38m). Para o efeito consideraram-se vinte casos de carga

(Tabela 32), as quais correspondem a sucessivas posições do veículo sobre o arco, desde a origem do arco (posição 0m) até ao final do arco (posição 38m).



Modelação do arco maior (38m) da Ponte do Côa, no programa RING

Figura 146 – Modelo de avaliação do fator de segurança do arco maior (38m) da Ponte do Côa, no programa RING

Distância(m)	Fator de Segurança	Observações
0	39.0446	
2	27.4055	
4	19.2076	
6	14.2856	
8	11.7604	
10	10.7493	
12	10.4592	Fs menor (entrada)
14	10.5307	
16	10.7772	
18	10.6821	
20	10.4816	Fs menor (saída)
22	10.5138	
24	11.0156	
26	12.6256	
28	15.7863	
30	21.7762	
32	31.6425	
34	45.2674	
36	68.0065	
38	106.207	

Tabela 32 – Resumo dos resultados obtidos para o fator de segurança da Ponte do Côa

Verifica-se que as duas situações mais desfavoráveis neste arco da Ponte do Côa ocorrem quando o veículo se encontra na zona dos 1/3 do vão, para as distâncias de 12m e 20m da origem do arco, e são associadas a mecanismos de 4 rótulas no arco (Figura 147), para as quais se obtiveram os menores fatores de segurança que correspondem a 10.4592 e 10.4816, respetivamente.

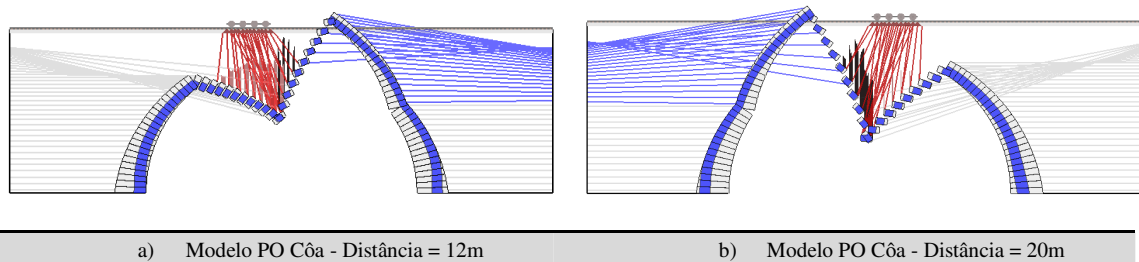


Figura 147 – Resultados da avaliação do fator de segurança, da Ponte de Côa, no programa LimiteState Ring 3.0

Corroborando com o bom comportamento desta ponte, obtiveram-se, como era expectável, valores elevados dos fatores de segurança. Porém atendendo que no modelo usado não foram considerados os arcos adjacentes e pilares é de esperar que os resultados obtidos traduzam uma solução não conservativa, e portanto para o modelo completo da ponte serão esperados fatores de segurança menores.

No contexto deste trabalho as metodologias disponíveis no RING foram aplicadas a outra ponte ferroviária em arco de alvenaria, o viaduto de Durrães, cujo modelo e os resultados se apresentam a título de exemplo no Anexo 3.

6 CONCLUSÕES

As tipologias e sistemas estruturais comuns das pontes existentes na rede ferroviária nacional distinguem-se em pontes em viga, pontes de cabos e as pontes em arco, sendo que, em qualquer um destes tipos de pontes, podem utilizar-se os diferentes materiais utilizados para a construção destas pontes, nomeadamente a pedra, o aço e o betão.

Dos diversos sistemas estruturais e materiais referidos anteriormente, constituiu como tema do presente trabalho o caso as pontes em arco de alvenaria de pedra, para as quais foi feita uma descrição pormenorizada com vista à caracterização das diferentes tipologias e sistemas estruturais de pontes ferroviárias, através da descrição dos tipos de alvenarias mais utilizadas na construção destas pontes, dos diversos componentes do sistema estrutural e do sistema de classificação das obras de arte, usado na REFER, que tem em conta a função da obra na infraestrutura ferroviária.

Atendendo aos componentes das pontes em arco de alvenaria de pedra e a sua organização no sistema estrutural, conclui-se que a aplicação da classificação atual aplicada, está melhor adaptada para as pontes (em viga ou de cabos) construídas em betão armado ou estrutura metálica. No entanto, é apresentada uma solução que se julga mais adaptada às necessidades e que permite a utilização do mesmo sistema de classificação dos componentes, com o mesmo rigor que a organização para outros sistemas estruturais. No que respeita ao sistema de classificação da função das obras de arte em arco de alvenaria é também apresentada uma classificação complementar à função e ao comprimento total da obra de arte, que passa pela introdução do comprimento total dos vão do arco no sistema de classificação.

As pontes em arco de alvenaria de pedra são constantemente expostas a processos e mecanismos que causam a degradação ao longo do seu tempo de vida útil e conseqüentemente, provocam vários tipos de anomalias associadas a este tipo de estruturas.

O desgaste causado pelo comportamento da ponte, pelo comportamento dinâmico, sobre-exploração, pressão excessiva do solo e enchimento, variação de rigidez entre elementos estruturais, processo de construção, intervenções anteriores e

pelas ações permanentes, sobrecargas, ações horizontais, ação do vento, ações térmicas, movimentos impostos e as ações dinâmicas, combinam-se para um resultado da degradação global da estrutura, sobre os quais resultam os danos associados a um mau desempenho da estrutura e à redução da capacidade de carga.

O aparecimento de danos e degradações nos materiais que constituem as pontes em arco de alvenaria, como as alterações de superfície, a perda de material e os danos causados pelas ações humanas, são uma consequência dos processos de deterioração e degradação do material e das ações ambientais, biológicas e humanas.

Independentemente dos resultados provocados pelas anomalias e pelos mecanismos de degradação nas pontes em arco de alvenaria de pedra, estas podem considerar-se totalmente válidas, em relação às pontes construídas com outros materiais ou formas estruturais, conforme se pode verificar pelo grande número existente deste tipo de estruturas na rede ferroviária nacional que ainda se encontram em excelentes condições de conservação após dezenas de anos de utilização.

É particularmente importante possuir num viável sistema de gestão de obras de arte, que garanta as atividades de inspeção, manutenção, conservação e reabilitação, no sentido de garantir um bom comportamento da estrutura das pontes e de todos os seus componentes. Para assegurar a gestão das suas pontes, a REFER possui um departamento responsável pela especialidade, a nível nacional, que se encontra dividido em três áreas, nomeadamente Estudos e Projetos, Inspeção e Diagnóstico e Manutenção.

Para além das três áreas de atuação na gestão das pontes, A REFER possui uma base de dados para apoio, designado por SGOA, composta pelo inventário das obras de arte e pelos resultados das inspeções, que permite organizar convenientemente a informação recolhida, efetuar consultas sobre o histórico das pontes inventariadas e analisar essas informações com vista a definir as medidas futuras de manutenção, reparação ou reforço.

A área da Manutenção das Pontes da REFER, defende uma política de manutenção eficaz que contribui para a garantia de um bom desempenho das estruturas, reduzindo significativamente os custos associados a intervenções de reparação e os custos associados às interferências/restrições na exploração. A execução de pequenos

trabalhos de manutenção no dia-a-dia reduz a necessidade de grandes intervenções de reparação no futuro.

A área de Inspeção e Diagnóstico opera ao nível do trabalho de inspeção de pontes, essencialmente visual, através de duas brigadas de inspeção internas da REFER, recorrendo apenas a apoio exterior para trabalhos muito específicos, como por exemplo, campanhas de nivelamento de precisão, levantamentos batimétricos ou inspeções subaquáticas.

Nas campanhas de inspeção do ano de 2012, nas quais foram realizadas inspeções principais em 94 pontes em arco de alvenaria de pedra distribuídas pelas Linhas da Beira Alta e Ramal de Viseu verificou-se que a maior parte destas obras (90% das 94 obras inspecionadas) apresenta índices de avarias $IA_0=0$ ou $IA_0=1$, a que correspondem, respetivamente, um estado normal ou a existência de avarias sem importância, cujo tratamento pode ser feito mais tarde sem inconveniente.

No que respeita ao resultado da inspeção realizada à Ponte do Côa verificou-se que se encontra em bom estado de conservação e que não carece de manutenção a curto ou médio prazo.

A realização do ensaio de vibração ambiental permitiu a determinação das frequências próprias e configuração dos modos de vibração, com base nos registos das medições de aceleração efetuados durante os ensaios dinâmicos. As características dinâmicas medidas na ponte do Côa foram comparadas com idênticos parâmetros determinados numericamente. Atendendo aos resultados obtidos pelas duas vias numérica e experimental, verifica-se existir boa concordância nos valores de frequência e modos de vibração identificados.

Para a avaliação de segurança da Ponte do Côa, através de métodos simplificados, foi utilizado o programa *LimitState Ring 3.0*, vocacionado para avaliar a capacidade (última) de cargas das pontes em arco de alvenaria de pedra. Considerando as limitações geométricas do programa, simulou-se apenas a avaliação do fator de segurança no arco maior (38m) da Ponte do Côa. Tendo em consideração os parâmetros dos materiais, a geometria utilizada e as cargas aplicadas na ponte, obteve-se um fator de segurança mínimo na ordem dos 10.45.

BIBLIOGRAFIA

Almeida, J. *Gestão de Pontes Ferroviárias. Um modelo aplicável em Portugal*. Porto: FEUP. Tese de Mestrado, 2003.

Campos, Pedro Marques de. *A conservação das Pontes da Rede Ferroviária Nacional*. REFER, Engenharia e Intervenções Especiais, Estruturas Especiais, Pontes, ASCP'09 - 1º Congresso Nacional sobre Segurança e Conservação de Pontes, Lisboa 1 a 3 de Julho, 2009, 2009.

Catalán, Rafael Ozaeta Garcia, e Jose Antonio Martín-Caro Álamo. *Catalogue of damages for masonry arch bridges*. Paris: International Union of Railways, 2006.

Clemente, José Carlos. *Inspeção e Manutenção de Pontes Ferroviárias*. Seminário sobre Segurança e Reabilitação das Pontes em Portugal, Estruturas e Projectos Especiais - Pontes, REFER - Rede Ferroviária Nacional, FEUP, 2001.

Costa, Cristina. “Análise numérica e experimental do comportamento estrutural de pontes em arco de alvenaria de pedra.” Dissertação, Engenharia Civil, FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

Costa, Vanessa. “Desempenho e Reabilitação de Pontes Rodoviárias. Aplicação a Casos de Estudo.” Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Projecto de Estruturas e Geotecnia, Universidade do Minho - Escola de Engenharia, 2009.

Duratinet. *Maintenance & Repair of Transport Infrastructure - Technical Guide*. Atlantic Area: Duratinet, 2012.

Ferreira, Manuel Lourenço Rosa. *Obras de Arte de Alvenaria em Portugal - Anomalias, Técnicas de Reabilitação e Gestão*. Lisboa: EP - Estradas de Portugal; IST - Instituto Superior Técnico, 2008.

Freire, Luís Manuel Ribeiro. *Sistema de Inspeção e Diagnóstico de Aparelhos de Apoio em Pontes Rodoviárias*. Dissertação para obtenção do Grau Mestre em Construção, EP, Estradas de Portugal, SA, 2008.

Hawk, H. *BRIDGIT: User friendly approach to bridge management*. Denver: International Bridge Management Conference, 1999.

Holmerich, Rosemarie, ed. *Sustainable Bridges - Guideline for Inspection and Condition Assessment of Existing European Railway Bridges*. Sixth Framework Programme - Sustainable Development - Global Change & Ecosystems - Integrated Project, 2007.

Mendonça, T., e M. Villar. *Bridge management system*. Barcelona: IABMAS - 1st International Conference on bridge maintenance, safety and management, 2002.

Patrício, Hugo. *Inspecção de Pontes Ferroviárias*. REFER, Engenharia e Intervenções Especiais, Estruturas Especiais, Pontes, ASCP'09 - 1º Congresso Nacional sobre Segurança e Conservação de Pontes, Lisboa 1 a 3 de Julho, 2009, 2009.

REFER. *Segurança Ferroviária*. Vol. I. REFER - Rede Ferroviária Nacional, 2009.

REFER-EPE. *Rede Ferroviária Nacional*. REFER, www.portal.refer.pt, 2012.

REFER-Pontes. *Estruturas e Projetos Especiais - Pontes*. Engenharia, REFER, www.refer.pt, 2012.

Santos, João António dos. "Patologias em Obras de Arte." Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2008.

SGOARrefer. *Sistema de Gestão de Obras de Arte*. Estruturas Especiais - Pontes, REFER EP, REFER, 2012.

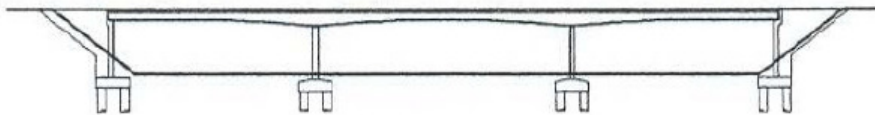
Systematics, Cambridge. *PONTIS Release 4 user's manual*. Washington DC: AASHTO, 2001.

UIC. *Improving assessment, optimization, of maintenance and development of a database for masonry arch bridges - Catalogue of damages for masonry arch bridges*. International Union of railways, 2006.

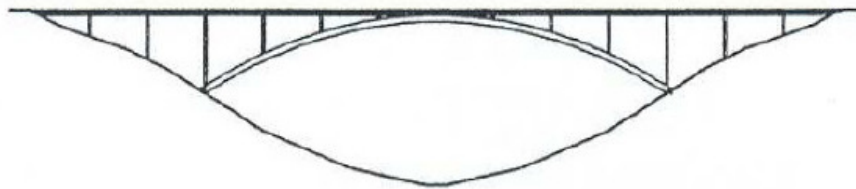
ANEXOS

ANEXO 1 - Tipologias e sistemas estruturais comuns em pontes ferroviárias

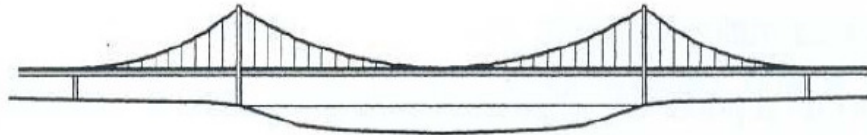
De entre a variedade de sistemas estruturais, poderemos referir a existência de três grandes famílias: as pontes em viga, as pontes em arco e as pontes de cabos.



a) Pontes em Viga



b) Pontes em Arco



c) Pontes de Cabos

Figura 148 – Sistemas estruturais de Pontes

Naturalmente estas três famílias de pontes utilizam-se com os diferentes materiais: pedra, madeira, aço e betão.

As *pontes em viga* (Figura 148a) são o sistema estrutural mais antigo, já usado pelas civilizações primitivas na travessia de rios, através do recurso a troncos de árvores e pedras achatadas. É a partir do comportamento das vigas quando fletidas que se desenvolvem os diversos tipos de sistemas estruturais das pontes.

De uma maneira geral, as pontes em viga, são pontes que se apoiam em dois encontros extremos e numa série de pilares intermédios. De um ponto de vista resistente

poderíamos afirmar que são pontes que utilizam a flexão generalizada (flexão, corte, torção, etc.) como mecanismo fundamental para transmitir as cargas.

Há diferentes tipos de pontes em viga que se distinguem de acordo com o seu comportamento estrutural, a referir a viga simplesmente apoiada (Figura 149a), a viga contínua (pórtico) (Figura 149b), e a viga em treliça (Figura 149c).

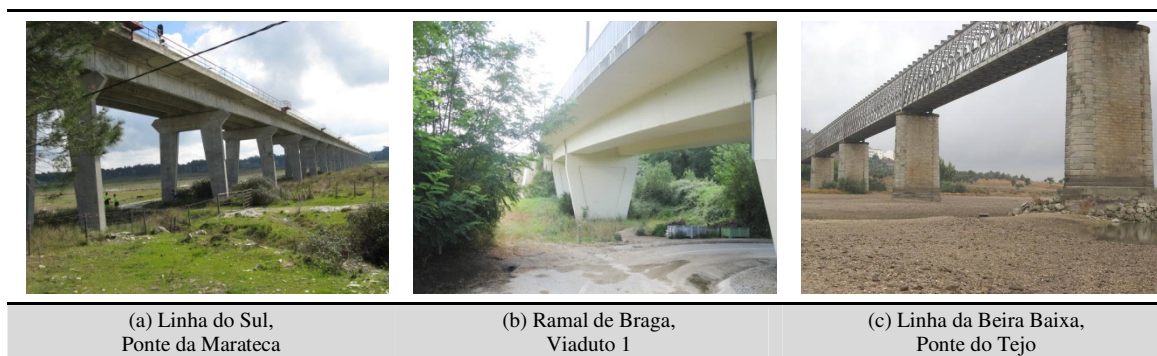


Figura 149 – Exemplos de Pontes em Viga

No que respeita às *pontes em arco* (Figura 148b) foram os romanos os primeiros grandes construtores de pontes em arco. Esta técnica permitia a utilização de materiais com dimensões mais pequenas e a possibilidade de se construir pontes com maiores vãos.

As estruturas em arco, devido à sua forma curvilínea desenvolvida segundo a linha de pressões, funcionam essencialmente à compressão. Este é o tipo estrutural mais apropriado para os materiais de construção como a pedra e o betão. O arco é muitas vezes utilizado como elemento fundamental de suporte do tabuleiro.

As figuras que se seguem pretendem ilustrar alguns tipos de pontes em arco presentes em Portugal.

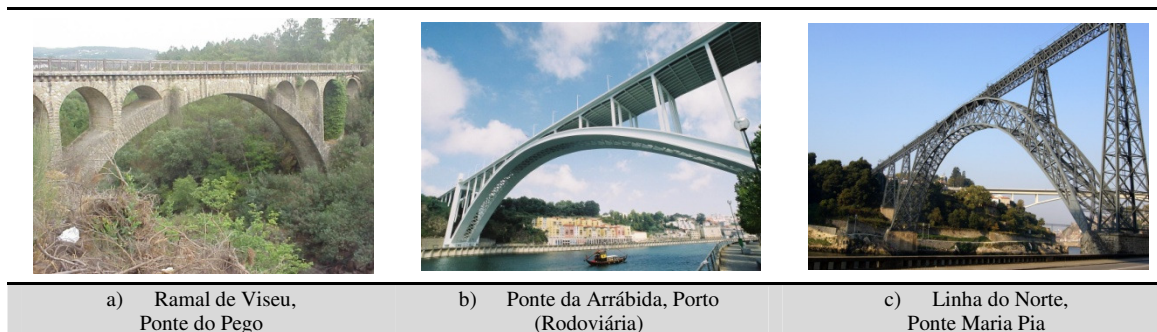


Figura 150 – Exemplos de Pontes em Arco

As *pontes de cabos* (Figura 148c) fazem parte das estruturas que integram elementos tracionados, em que os cabos são os principais elementos de suporte. Normalmente distingue-se dois tipos de pontes com cabos, as pontes suspensas e as pontes atirantadas.

Nas Pontes suspensas, (Figura 151b e Figura 151c) os cabos constituem a principal estrutura de suporte, assumindo uma determinada configuração entre as ancoragens e eventuais pontos de fixação intermédios, que permitem suspender a restante estrutura (tabuleiro). Nas Pontes atirantadas (Figura 151a) o tabuleiro é suspenso por meio de cabos inclinados que são fixados em torres. (V. Costa 2009)



Figura 151 – Exemplos de Pontes de cabos

ANEXO 2 - Relatório de Inspeção da Ponte do Côa, Linha da Beira Alta

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+286-PO-00.00

Ponte do Côa



Nome de obra REFER - Pontes
 Linha/ramal L. Beira Alta
 Troço Pamplhosa - V. Formosa fronteira
 Data da Inspeção 15-04-2012
 Condições Climáticas Céu nublado 11°C
 Responsável pela Inspeção Brigada Inspeção Pontes Norte
 Ano de Reparação - Próxima Inspeção 01-09-2011
 DMS: Documento -
 Tipo - Doc. Parcial - Versão -

Componente	Índice de Classificação de Avarias
OBRA DE ARTE	1
Muros	0
Taludes	0
Encontros	1
Plataes	1
Tabuleiro	1
Via	0
Guarda-Corpos	1
Drenagem	0
Juntas de Dilatação	0
Outras componentes	0



Legenda
 Índice de Classificação de Avarias
 0 - Normal
 4 - Avarias que impõem ação

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+286-PO-00.00

Ponte do Cós



1 - OBRA DE ARTE

Índice de Classificação de Avenas: 1



Vista do lado direito. É constituída por oito arcos múltiplos, fabricados em alvenaria de granito.



Vista do lado esquerdo



Vista de entrada (sentido oeste-este)

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+286-PO-00.00
Ponte do Cós



2 - Muros

Índice de Classificação de Avenidas 0



Vista do muro de avenida à entrada no lado direito. É fabricado em alvenaria de granito.



Vista do muro de avenida à entrada no lado esquerdo. Idem.



Vista de muros de alvenaria no lado direito. São fabricados em alvenaria de granito.

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+286-PO-00.00

Ponte do Cão



2 - Muros

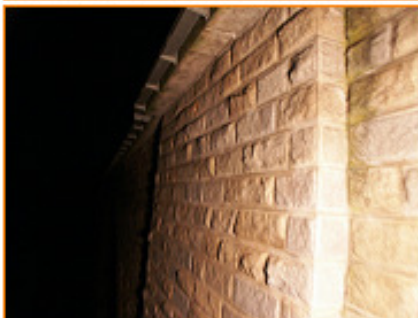
Índice de Classificação de Avidez 0



Outra vista de muro de limpar. Também se avista no lado direito da obra.



Idem.



Muro de limpar no lado esquerdo sobre o 4º pilar.

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+266-PO-00.00

Ponte do Cês



2 - Muros

Índice de Classificação de Avanço 0



Vista do muro de limpa sobre o 5º pilar (zona de entrada).



Vista do muro de limpa sobre o 5º pilar (zona de saída).

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+288-PO-00.00

Ponte do Cás



3 - Taludes

Índice de Classificação de Armas 0



Vista do talude vegetal, situado à saída no lado direito



Vista do talude tratado, situado à entrada no lado esquerdo, é fabricado com pedras amarradas.

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+286-PD-00.00

Ponte do Cás



4 - Encontros

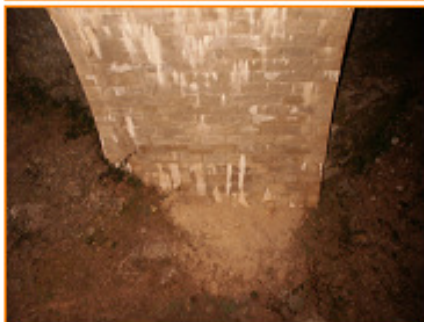
Índice de Classificação de Avenas: 1



Vista do encontro de entrada. É um coifa, fabricado em alvenaria de granito.



Vista do encontro de saída. Idem.



#ANOMALIA...o encontro de entrada tem efflorescências.

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+266-PO-00.00

Ponte do Cós



8 - Pilares

Índice de Classificação de Avarias: 1



Vista do 1º pilar. É fabricado em alvenaria de granito.

Anomalia:
Infiltrações, Sacarências e Eflorescências



Vista do 2º pilar. Idem.

Anomalia:
Infiltrações, Sacarências e Eflorescências



Vista do 3º pilar.

Anomalia:
Infiltrações, Sacarências e Eflorescências

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+266-PO-00.00

Ponte da Cão



8 - Pilares

Índice de Classificação de Avarias: 1



Vista do 4º pilar.

Anomalias:
Infiltrações, Sacarínicas e Florescências



Vista do 5º pilar.

Anomalias:
Infiltrações, Sacarínicas e Florescências



Vista do 6º pilar.

Anomalias:
Infiltrações, Sacarínicas e Florescências

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+286-PO-00.00

Ponte do Cós



8 - Pilares

Índice de Classificação de Avarias 1



Visão do 7º pilar.

Anomalia:
Infiltrações, Sacarínidas e Escorregões



Outra visão do 1º pilar

Anomalia:
Infiltrações, Sacarínidas e Escorregões



Visão da face de entrada do 4º pilar.

Anomalia:
Infiltrações, Sacarínidas e Escorregões

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+286-PO-00.00
Ponte do Cês

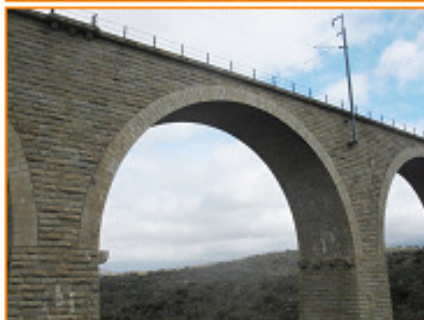


7 - Tabuleiro

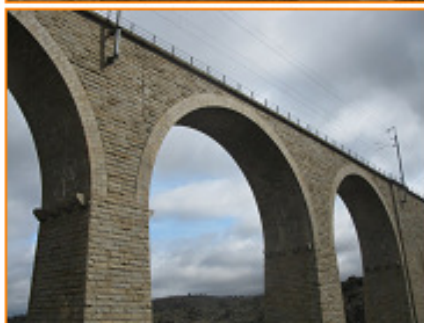
Índice de Classificação de Arco 1



Vista do interior da abóbada do 1º arco. É fabricado em alvenaria de granito.



Vista do interior da abóbada do 2º arco. Idem.



Vista do interior da abóbada do 3º arco. Idem.

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+286-PO-00.00
Ponte do Cás



7 - Tábuleiro

Índice de Classificação de Avarias: 1



Vista do interior da abóbada do 5º arco. Idem.



AVARIA: o interior da abóbada do 5º arco, tem eflorescências.



AVARIA: o interior da abóbada do 1º arco, tem diversas infiltrações, escorrências e eflorescências.

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+286-PO-00.00
Ponte do Cês



7 - Tabuleiro

Índice de Classificação de Avarias 1



ANOMALIA: Idem para o 2º arco.



ANOMALIA: Idem para o 4º arco.



ANOMALIA: Idem para o 5º arco.

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+286-PO-00.00
Ponte do Cás

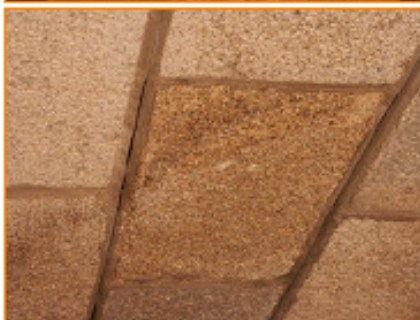


7 - Tabuleiro

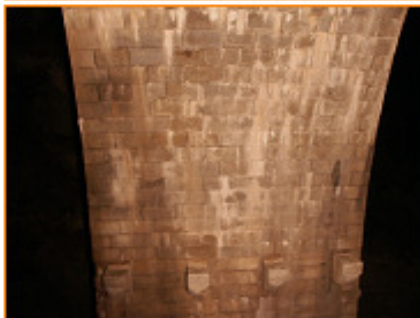
Índice de Classificação de Avarias: 1



#ANOMALIA: Idem para o 6º arco.



#ANOMALIA: o intradoso da abóbada do 7º arco, tem pedras arredadas.



#ANOMALIA: o intradoso da abóbada do 7º arco, tem diversas aflorescências.

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+286-PO-00.00
 Ponte do Cás



9 - Vão

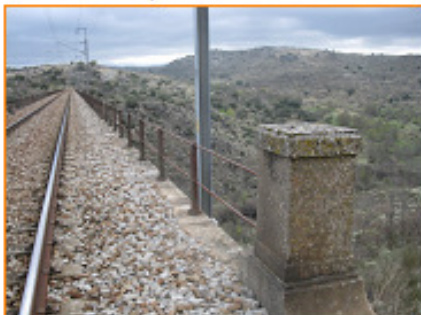
Índice de Classificação de Avarias: 0



Aspeto de via sobre a obra de arte

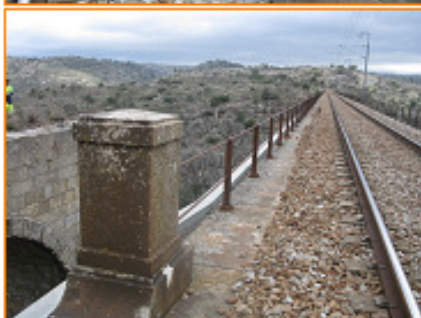
12 - Guarda-Corpos

Índice de Classificação de Avarias: 1



Vista do guarda-corpos do lado direito. É fabricado em ferro fundido.

#Anomalia:
 Os elementos metálicos encontram-se com oxidação e pequenas pontas de corrosão.



Vista do guarda-corpos do lado esquerdo. Idem.

#Anomalia:
 Os elementos metálicos encontram-se com oxidação e pequenas pontas de corrosão.

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+286-PO-00.00

Ponte do Cês



13 - Drenagem

Índice de Classificação de Avarias 0



Wala de um boeiro de drenagem do tabuleiro. Este boeiro situa-se no 5º arco.



Wala de um boeiro de drenagem do tabuleiro. Este boeiro situa-se no 6º arco.



Wala de um boeiro de drenagem do tabuleiro. Este boeiro situa-se no 7º arco.

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PRINCIPAL

20-01-238+286-PO-00.00

Ponte do Cês



14 - Juntas de Dilatação

Índice de Classificação de Avarias 0



Vista parcial da junta de dilatação no lado esquerdo, sobre o 4º pilar.



Vista parcial da junta de dilatação no lado esquerdo, sobre o 7º pilar.

18 - Outros componentes

Índice de Classificação de Avarias 0



Vista parcial do gótiu de alvenaria, foz do abutimento à entrada no lado direito.

ANEXO 2 - Avaliação do Fator de Segurança do Viaduto de Durrães, utilizando o programa LimitState RING 3.0

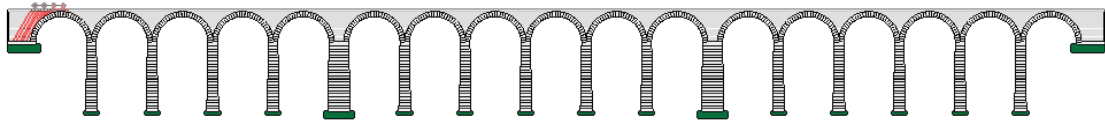
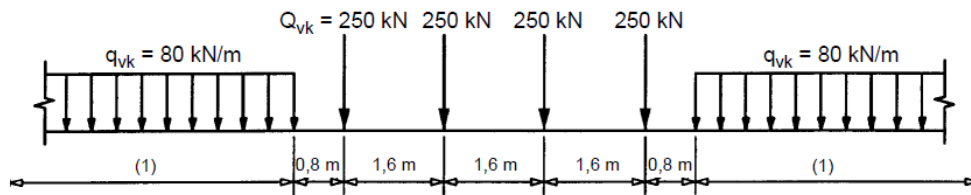


Figura 152 – Modelação do Viaduto de Durrães, do programa LimiteState Ring 3.0

Material	Propriedade	Unidades
Alvenaria	Peso específico	25 KN/m ³
	Tensão de compressão	5 N/mm ²
	Coefficiente de atrito	0,6
Enchimento	Peso específico	13 KN/m ³
	Ângulo de atrito	30°
	Coesão	10 KN/m ²
Balastro	Peso específico	18 KN/m ²
	Ângulo de dispersão das cargas	30°

Tabela 33 – Propriedades dos materiais



Modelo de carga 71

Figura 153 – Modelo de carga e valores característicos para cargas verticais

Distância(m)	Fator de Segurança	Observações
29	5.06571	
30	3.70652	
31	2.94261	
32	2.51529	
33	2.3428	
34	2.36164	
35	2.61017	Fs menor (entrada)
36	3.11778	
37	4.07672	
38	5.73887	
39	6.08741	Fs menor (saída)
40	4.23292	
41	3.48926	
42	2.92461	
43	2.51414	
44	2.49514	
45	2.50077	
46	2.8947	
47	3.61555	
48	4.93025	
49	8.67541	
50	15.8558	

Tabela 34 – Resumo dos resultados obtidos para o fator de segurança do Viaduto de Durrães

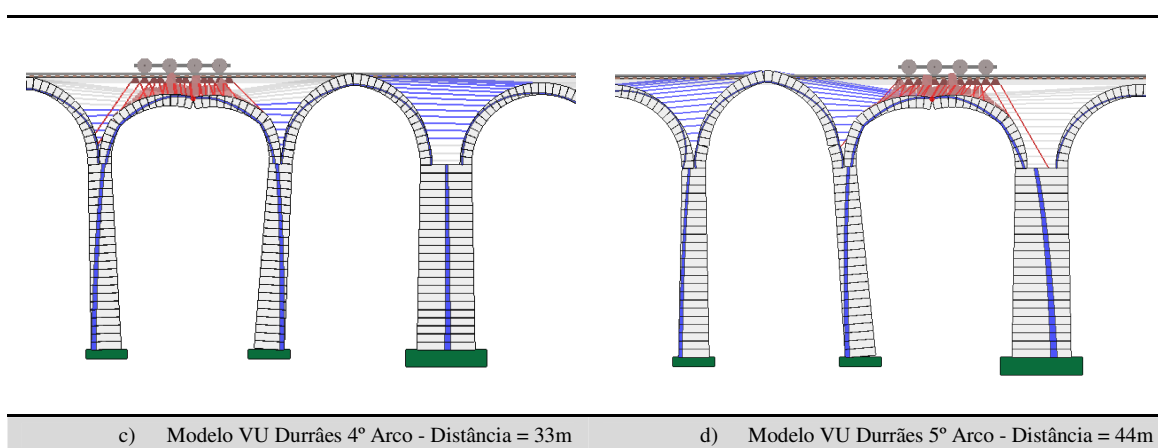


Figura 154 – Resultados da avaliação do fator de segurança, do Viaduto de Durrães, no programa LimiteState Ring 3.0

Verifica-se que a situação desfavorável no Viaduto de Durrães ocorre quando o veículo se encontra na zona do coroamento do 4º arco (33m), associado a um mecanismo de 5 rótulas no arco, para a qual se obteve o menor fator de segurança que corresponde a 2.3428.