



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Agostinho José Alves Vaz de Matos

Inspeção de Pontes em Arco de  
Alvenaria de Pedra Baseada no Risco

Agostinho José Alves Vaz de Matos  
Inspeção de Pontes em Arco de  
Alvenaria de Pedra Baseada no Risco

UMinho | 2017

outubro de 2017





Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Agostinho José Alves Vaz de Matos

Inspeção de Pontes em Arco de  
Alvenaria de Pedra Baseada no Risco

Dissertação de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação de  
Professor Doutor José Campos e Matos  
Professor Doutor Daniel Oliveira

## DECLARAÇÃO

Nome: Agostinho José Alves Vaz de Matos

Endereço eletrónico: a61860@alunos.uminho.pt      Telefone: 926252508

Cartão do Cidadão: 14135933 1 ZX6

Título da dissertação: Inspeção de Pontes em Arco de Alvenaria de Pedra Baseada no Risco

Orientadores:

Professor Doutor José Campos e Matos

Professor Doutor Daniel Oliveira

Ano de conclusão: 2017

Mestrado em Engenharia Civil

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura: 

## RESUMO

O presente estudo tem como objetivo aprofundar o conhecimento da inspeção baseada no risco, tendo em vista o desenvolvimento de uma nova metodologia de avaliação do estado de condição das obras de arte, principalmente das pontes em arco em alvenaria de pedra.

Neste contexto, é apresentado um estado do conhecimento das pontes em arco em alvenaria, descrevendo o seu sistema estrutural mais comum e os seus elementos, e da área de gestão de risco, com enfoque na norma ISO 31000:2009, na qual se inclui o Guia ISO 73:2009, e na norma IEC/ISO 31010:2009, são abordadas as metodologias usadas para a inspeção e avaliação do estado atual das pontes em arco em alvenaria de pedra, adotadas correntemente em Portugal, e é, também, apresentado um modelo de inspeção baseada no risco desenvolvido por uma entidade Holandesa aplicada em ponte de betão.

De forma a cumprir o objetivo principal, procedeu-se ao desenvolvimento de uma metodologia de inspeção baseada no risco que permite obter o estado de condição das pontes em arco em alvenaria de pedra. As avaliações são feitas com base na probabilidade e consequência das possíveis ocorrências de anomalias para os elementos da ponte. A probabilidade de ocorrência de um evento não desejado é determinado através de fatores baseados nas suas possíveis causas, características da envolvente da ponte, das anomalias registadas e características de projeto da ponte, enquanto a consequência de um evento é baseada no impacto que este terá na segurança estrutural da obra de arte e dos utentes. Ao combinar a probabilidade e a consequência para cada elemento é determinado o nível de risco através do uso de uma matriz de risco e, posteriormente, determinado o estado de condição de cada elemento.

De forma a validar a metodologia desenvolvida, esta foi aplicada a um caso de estudo, a Ponte do Prado sobre o rio Cávado, detalhadamente descrito no trabalho de (Rodrigues N. C., 2008), onde se aplicou a inspeção correntemente utilizada em Portugal e a inspeção, aqui proposta, baseada no risco. Enquanto a inspeção correntemente utilizada é baseada na deteção das anomalias, a inspeção baseada no risco utiliza a análise do risco como base, sendo a inspeção parte do seu processo.

Palavras-Chave: Pontes em arco de alvenaria, Inspeção de pontes, Probabilidade de ocorrência, consequências, Análise de risco.



## ABSTRACT

The current study has as its objective to deepen the knowledge of the risk based inspection, focusing on the development of a new evaluation methodology of the works of art conservation state, mainly on arch stone masonry bridges. In this context, it is presented the state of the current knowledge of arch stone masonry bridges, describing it is more common structural system and elements, and the risk management field with focus on the norm ISO 31000:2009 in which it is present the guide ISO 73:2009 and the norm IEC/ISO 31010:2009, there are addressed the methodologies used for the inspection and evaluation of the current state of arch stone masonry bridges currently adopted in Portugal and it is, also, presented a model of a risk based inspection developed by an Dutch entity applied to a concrete bridge.

In order to fulfill the main objective, it was developed a methodology of the risk based inspection that allows to obtain the conservation state of the arch stone masonry bridges. The evaluations are made based on the probability and consequence of the possible damage on the bridge elements. The occurrence probability of a non desired event it is determined by factors based on its possible causes, the bridge surrounding technical features, the registered damage and the bridge project features, while the consequence of an event it is based on the impact that it will have in the work of art structural and its users safety. By combining the probability and the consequence for each element, it is determined the risk level by using a risk matrix and, thereafter, determined the conservation state of each element.

Aiming to validate the methodology developed it was applied to a case study, the Prado bridge crossing the Cávado river written in detail on the previous work of (Rodrigues N. C., 2008), where it was applied the inspection currently used in Portugal and the risk based inspection here proposed. While the inspection currently used it is based on the damage detection, the risk based inspection uses the risk analysis as its base, being the inspection part of it is process..

Keywords: Arch Stone Masonry Bridges, Bridges Inspection, Likelihood, Consequences, Risk Analysis





## ÍNDICE

Resumo.....	iii
Abstract .....	v
Lista de Figuras .....	ix
Lista de Tabelas.....	1
1. Introdução .....	1
1.1 Considerações Gerais .....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Organização da dissertação .....	3
2. Estado da Arte.....	5
2.1 Pontes em Arco de Alvenaria de Pedra .....	5
2.2 Gestão do Risco: International Standard Organization 31010 .....	8
2.3 Metodologia das Inspeções Principais aplicada nas Infraestruturas de Portugal .....	11
2.4 Inspeção Baseada no Risco pela Rijkswaterstaat .....	17
3. Inspeção Baseada no Risco em Pontes em Arco de Alvenaria de Pedra .....	23
3.1 Identificação dos eventos.....	23
3.1.1 Anomalias estruturais nos arcos .....	30
3.1.2 Anomalias estruturais nos pilares.....	31
3.1.3 Anomalias Estruturais nos Encontros, Muros de Ala e de Avenida .....	31
3.1.4 Anomalias Estruturais nos Tímpanos.....	32
3.1.5 Anomalias Estruturais nas Fundações .....	32
3.1.6 Anomalias de Durabilidade .....	33
3.2 Determinação da Frequência .....	36
3.3 Determinação das consequências .....	44
3.4 Avaliação dos Riscos.....	47
4. Caso de Estudo – Ponte do Prado .....	49
4.1 Descrição da Ponte do Prado sobre o rio Cávado.....	49
4.2 Intervenções Anteriores .....	51
4.3 Levantamento de Pormenor.....	51
4.4 Inspeção Principal.....	53
4.5 Inspeção Subaquática .....	55

4.6	Aplicação do Método da IP .....	56
4.7	Aplicação do Método Baseado no Risco .....	60
4.8	Conclusões .....	69
5.	Considerações Finais e Desenvolvimentos Futuros .....	70
5.1	Considerações Finais .....	70
5.2	Desenvolvimentos Futuros .....	71
	Bibliografia.....	73
	Anexo I – Lista dos Fatores de Cada Anomalia.....	75
	Anexo II –Nível de Frequência dos Elementos da Ponte do Prado .....	102
	Anexo III – Avaliação do Nível do Risco dos Elementos da Ponte do Prado .....	153

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Representação esquemática de uma ponte em arco de alvenaria de pedra.....	5
Figura 2 Processo de Gestão do Risco proposto pela ISO 31010 .....	9
Figura 3 Matriz de risco .....	21
Figura 4 Fluxograma representativo da inspeção baseada no risco .....	23
Figura 5 Anomalias estruturais no arco (García-Catalán & Álamo, 2006).....	30
Figura 6 Anomalias estruturais nos pilares (García-Catalán & Álamo, 2006) .....	31
Figura 7 Anomalias Estruturais nos Encontros (García-Catalán & Álamo, 2006) .....	31
Figura 8 Anomalias Estruturais nos Muros de Ala e de Avenida (García-Catalán & Álamo, 2006).....	31
Figura 9 Fendilhação entre o encontro e o muro de ala (García-Catalán & Álamo, 2006) .....	31
Figura 10 Anomalias Estruturais nos Tímpanos .....	32
Figura 11 Erosão local nas fundações (García-Catalán & Álamo, 2006) .....	32
Figura 12 Infraescavação nas fundações (García-Catalán & Álamo, 2006) .....	33
Figura 13 Manchas negras (García-Catalán & Álamo, 2006).....	33
Figura 14 Alveolização (García-Catalán & Álamo, 2006) .....	33
Figura 15 Vegetação de pequeno e médio porte (Costa, 2009) .....	34
Figura 16 Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água (Costa, 2009).....	34
Figura 17 Delaminação (García-Catalán & Álamo, 2006) .....	34
Figura 18 Perda de argamassa nas juntas (Costa, 2009) .....	35
Figura 19 Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias (García-Catalán & Álamo, 2006).....	35
Figura 20 Eflorescências (García-Catalán & Álamo, 2006) .....	35
Figura 21 Crostas e depósitos superficiais (García-Catalán & Álamo, 2006) .....	36
Figura 22 Desagregação da pedra (Rodrigues N. C., 2008) (Costa, 2009).....	36
Figura 23 Exemplo de fatores que contribuem para um risco.....	38
Figura 24 Fatores de influência da anomalia "Erosão e Infraescavação" do elemento "Fundações" e a respetiva importância relativa de cada um .....	42
Figura 25 Probabilidade de ocorrência de "Erosão e Infraescavação" da Ponte Incógnita (caso fictício) .....	43
Figura 26 Matriz de risco adaptada de (ISO 31000, 2009) .....	48
Figura 27 Obtenção do nível de risco do caso fictício .....	48

Figura 28 Vista geral da ponte do Prado .....	50
Figura 29 Representação esquemática da vista aérea da Ponte - planta.....	52
Figura 30 Representação esquemática montante da ponte.....	52
Figura 31 Vista jusante da ponte .....	52
Figura 32 Vista jusante da Ponte do Prado - Identificação dos Arcos .....	52
Figura 33 Representação esquemática jusante da Ponte do Prado - Identificação dos Pilares	52
Figura 34 Vista montante parcial da ponte.....	53
Figura 35 Escorrências generalizadas nos arcos .....	54
Figura 36 Vegetação infestante generalizada.....	55
Figura 37 Acumulação de detritos numa das margens do rio .....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Constituição da Pontes em arco de alvenaria de pedra (de acordo com a Figura 1) ...	6
Tabela 2 Interpretação da classificação final .....	16
Tabela 3 Classes das consequências relativas à economia.....	21
Tabela 4 Anomalias estruturais dos elementos das pontes em arco de alvenaria de pedra (García-Catalán & Álamo, 2006) .....	25
Tabela 5 Anomalias não estruturais (García-Catalán & Álamo, 2006) .....	26
Tabela 6 Anomalias em pontes em Arco de Alvenaria de Pedra (Rodrigues N. C., 2008) .....	26
Tabela 7 Anomalias comuns em Pontes em Arco de Alvenaria de Pedra (Ferreira, 2008) .....	27
Tabela 8 Anomalias das Pontes em Arco de Alvenaria de Pedra .....	28
Tabela 9 Sugestão de classificação para os fatores (Applebury, 2011) .....	37
Tabela 10 Escala de classificação das frequências.....	39
Tabela 11 Escala de classificação das consequências .....	44
Tabela 12 Consequência estrutural das anomalias estruturais (García-Catalán & Álamo, 2006) .....	45
Tabela 13 Consequência estrutural das anomalias de durabilidade (García-Catalán & Álamo, 2006).....	46
Tabela 14 Nível de consequência de cada anomalia identificada .....	47
Tabela 15 Anomalias dos Pilares da Ponte do Prado .....	57
Tabela 16 Anomalias dos Arcos da Ponte do Prado .....	58
Tabela 17 Anomalias Funcionais da Ponte do Prado .....	58
Tabela 18 Avaliação das anomalias dos pilares da Ponte do Prado.....	59
Tabela 19 Avaliação das anomalias dos arcos da Ponte do Prado .....	59
Tabela 20 Avaliação das anomalias dos elementos funcionais da Ponte do Prado.....	59
Tabela 21 Estado de Condição dos elementos segundo método da IP.....	60
Tabela 22 Determinação do nível de frequência das fundações .....	62
Tabela 23 Determinação do nível de frequência da fendilhação longitudinal no centro da abóbada do arco 1 .....	63
Tabela 24 Determinação do nível de frequência da fendilhação vertical no pilar 1 .....	64
Tabela 25 Determinação do nível de frequência do empolamento do tímpano do arco 1 .....	64
Tabela 26 Determinação do nível de frequência da fendilhação vertical nos encontros .....	65

Tabela 27 Determinação do nível de frequência das manchas de humidade, escorrências e depósitos de água no Arco 1 .....	65
Tabela 28 Obtenção do nível do risco das anomalias dos elementos do arco 1.....	67
Tabela 29 Estado de condição obtido pela inspeção baseada no risco.....	68

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Gerais

Atualmente e de acordo os dados conhecidos do sistema de gestão de obras de arte da rede rodoviária portuguesa, aproximadamente 21% do total das pontes em Portugal são pontes e passagens hidráulicas de alvenaria de pedra, o que corresponde a 1248 pontes. Dessas 1248 pontes e passagens hidráulicas de alvenaria de pedra, é conhecido o ano de construção de 261 delas, constatando-se que 48% têm mais de 100 anos. Relativamente ao comprimento dos vãos vencidos pelos arcos, verifica-se que a grande maioria têm vãos inferiores a 10 m. Assim, as pontes em arco de alvenaria constituem parte vital das infraestruturas de transporte, bem como um legado importante do património histórico e cultural que importa preservar (Costa, 2009). Durante as últimas décadas têm sido desenvolvidos métodos de análise e de condição aplicáveis a pontes de alvenaria, principalmente devido à crescente preocupação da sociedade e das autoridades competentes em preservar o património histórico. Assim, durante os últimos anos a empresa IP – Infraestruturas de Portugal tem desenvolvido consideráveis esforços na implementação de um sistema de gestão de obras de arte, assumindo a gestão das pontes rodoviárias uma relevância cada vez maior em Portugal. Exige-se desta forma o estabelecimento de planos de gestão que acompanhem o aumento da capacidade, tenham em conta questões relacionadas com a economia e a sustentabilidade, e considerem a importância que a segurança e a eficiência das redes rodoviárias e ferroviárias têm no bem-estar e na prosperidade das populações.

A gestão das pontes em arco de alvenaria de pedra tem como base o resultado das inspeções principais que consistem na obtenção do estado de condição e na avaliação da segurança das pontes existentes. Tal é conseguido pelo registo das condições de funcionamento, sendo aí identificadas as anomalias que comprometem o bom desempenho dos diferentes componentes da obra de arte ao nível da sua durabilidade, desempenho estrutural ou segurança (Estradas de Portugal, 2011).

Embora estejam a ser feitos esforços no sentido de implementar um sistema de gestão das obras de arte existentes, no caso particular das pontes em arco de alvenaria de pedra os seus problemas de degradação estão em grande parte ligados à falta de inspeções e manutenções periódicas adequadas, tornando cada vez mais urgente a otimização das ações previstas no planeamento, inspeção, manutenção e reabilitação das pontes (Lopes, 2012).

De forma a otimizar as ações de reabilitação das obras de arte, têm sido desenvolvidos diferentes sistemas de gestão. Muito poucos destes sistemas assentam em inspeções baseadas no risco, com um processo focado na obtenção da informação, pois muitas das vezes existe a ideia de que quanto maior for a quantidade de informação recolhida, maior é o controlo de todos os riscos. Assim a inspeção baseada no risco tem como objetivo tornar-se num processo focado na obtenção de informação certa no momento certo. Este tipo de metodologias têm sido aplicados em alguns países, sendo essas aplicações essencialmente realizadas e desenvolvidas para pontes metálicas e de betão, sendo as pontes em alvenaria de pedra normalmente ignoradas. Assim, durante o desenvolvimento da presente dissertação propõe-se uma metodologia de inspeção baseada no risco para pontes em arco de alvenaria de pedra.

## 1.2 Objetivos

O objetivo principal desta dissertação consiste na apresentação e aplicação de uma metodologia de inspeção baseada no risco, alternativa à atualmente utilizada para a avaliação do estado de condição de pontes em arco de alvenaria de pedra. Neste contexto, este trabalho envolve os seguintes objetivos específicos:

- Descrição da tipologia e sistema construtivo mais comum das pontes em arcos de alvenaria de pedra;
- Descrição do processo da gestão do risco;
- Apresentação de metodologias de inspeção tradicional e baseada no risco;
- Indicação das principais anomalias que afetam as pontes em arco de alvenaria de pedra;
- Descrever sucintamente as fases do processo para a obtenção do risco de uma anomalia, desde a fase da determinação da probabilidade de ocorrência de uma anomalia, até à correlação com as consequências que possam surgir em caso essa anomalia se manifeste;
- Avaliação do estado de condição de um elemento tendo em conta o nível de risco das suas anomalias;
- Aplicação da metodologia desenvolvida a um caso de estudo específico, a Ponte do Prado, sobre o Rio Cávado, classificada como Monumento Nacional desde 1910.



### 1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação está organizada em 5 capítulos, iniciando-se pelo presente capítulo 1, a introdução.

No capítulo 2 é realizada uma breve descrição sobre a tipologia das pontes em arco de alvenaria de pedra, onde são descritos os elementos constituintes desse tipo de obra de arte, bem como cada uma das suas funções. É, também, apresentado um modelo de gestão de risco, assim como a metodologia para realização das inspeções principais em pontes em arco de alvenaria de pedra aplicada pela Estradas de Portugal e é efetuada a descrição da metodologia baseada no risco, utilizada pela Rijkswaterstaat.

No capítulo 3 é feita a apresentação da metodologia desenvolvida que engloba uma compilação das principais anomalias associadas à degradação de cada um dos elementos constituintes das pontes em arco de alvenaria de pedra, tendo um enfoque na sua frequência e respetivas consequências.

No capítulo 4 analisa-se um caso de estudo, a Ponte do Prado sobre o Rio Cávado, onde é avaliado o estado de condição dos elementos da ponte pela metodologia tradicional, utilizada nas Estradas de Portugal, e pela metodologia proposta nesta dissertação. Por fim, é feita a comparação dos resultados obtidos por cada metodologia

No capítulo 5 são tecidas algumas considerações gerais sobre a dissertação, destacando-se os principais aspetos do trabalho, propondo-se também algumas linhas de trabalho a desenvolver em trabalhos futuros.

No anexo I são apresentadas tabelas com a descrição dos fatores que contribuem para o desenvolvimento de cada anomalia que surgem nos elementos das pontes em arco de alvenaria de pedra e no anexo II são apresentadas as tabelas descritivas com os resultados do nível de frequência de cada anomalia de cada elemento do caso de estudo, Ponte do Prado.

No anexo III é dado a conhecer a avaliação do nível do risco de todas as anomalias de todos os elementos que constituem a Ponte do Prado, combinando o nível de frequência de cada anomalia com o seu nível de consequência que serviram como base para a obtenção do estado de condição pela inspeção baseada no risco de todos os elementos.



## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1 Pontes em Arco de Alvenaria de Pedra

As pontes em arco de alvenaria de pedra são, essencialmente, constituídas por elementos estruturais e não estruturais. Dentro dos elementos estruturais temos os principais que contemplam as fundações, os pilares, os arcos, os muros de tímpano, os encontros e as paredes laterais e os secundários formados pelos talha-mares e pelos quebrantes. Dentro dos elementos não estruturais encontram-se o pavimento e as guardas laterais.

Na Figura 1 é apresentado um esquema representativo de uma ponte em arco de alvenaria de pedra. Nos parágrafos seguintes é realizada uma breve descrição dos principais elementos, assim como das funções que cada um desempenha neste tipo de estruturas.

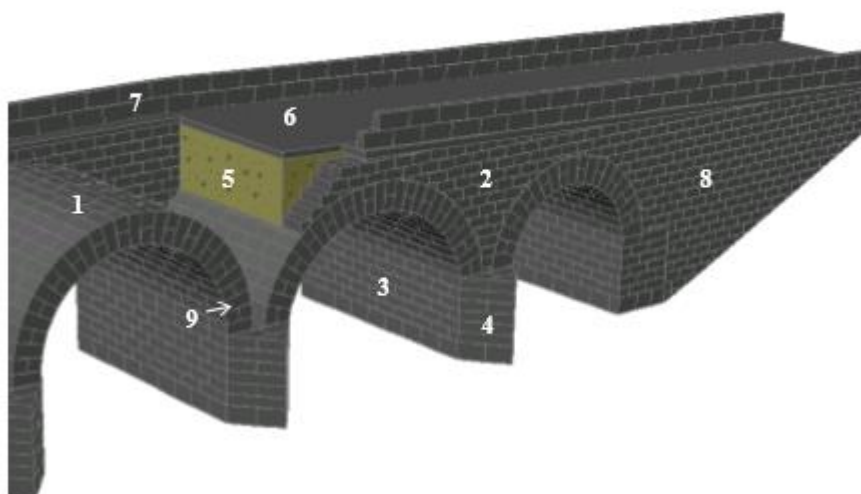


Figura 1 Representação esquemática de uma ponte em arco de alvenaria de pedra

Tabela 1 Constituição da Pontes em arco de alvenaria de pedra (de acordo com a Figura 1)

		Fundações	
Elementos Estruturais	Elementos Principais	Arco	1
		Muro de Tímpano	2
		Pilar	3
	Elementos Secundários	Enchimento	5
		Encontro	8
		Parede Lateral	
Elementos Não Estruturais	Pavimento	Talha-mares	4
		Quebrantes	
	Guarda lateral	6	7

Relativamente às fundações, as mais comuns na construção das pontes em arco de alvenaria de pedra são:

- Fundações diretas materializadas por sapatas isoladas ou sapatas contínuas;
- Fundações diretas do pilar sobre o maciço rochoso;
- Fundações indiretas materializadas através de poços e pegões.

O seu papel nas pontes em arco de alvenaria de pedra consiste na transmissão das cargas da superestrutura para o maciço de fundação (Costa, 2009).

Os pilares formam os apoios dos arcos, sendo constituídos quase sempre por blocos de grandes dimensões de alvenaria e normalmente de secção retangular. A sua principal função consiste em encaminhar as ações provenientes dos arcos para as fundações. Outra função dos pilares é resistir às ações que lhe são diretamente aplicadas, como o vento e a ação do escoamento do rio (Lopes, 2012). De forma a auxiliar os pilares fundados nos leitos dos rios contra as ações que lhe são aplicadas, recorre-se muitas das vezes a talha-mares a montante ou a quebrantes a jusante. A construção dos talha-mares e dos quebrantes é de alvenaria podendo, também, serem constituídos por material de enchimento no seu interior. Têm como função encaminhar o escoamento do rio, diminuindo a erosão localizada junto dos pilares, assim como reduzir a pressão a montante, e proteger da sucção provocada pelos vórtices a jusante (Morais, 2012).

Quanto aos arcos, estes são constituídos por materiais resistentes à compressão sendo formados por pedras talhadas, geralmente em forma de cunha, apoiadas em sequência desde a pedra de arranque até à pedra de fecho, também conhecidas por aduelas e representadas na Figura 1 pelo número 9. Formam, assim, os vãos sobre os quais é feita a ligação entre as duas margens.

Funcionando essencialmente sob compressão, descarrega todo o peso da ponte que lhe é aplicado nos pilares ou nos encontros onde se encontram apoiados. Assim, a sua função principal é encaminhar as cargas provenientes do pavimento, enchimento e tímpanos para os pilares e para as fundações, e formar os vãos entre os pilares (Costa, 2009).

Os muros de tímpano são paramentos verticais exteriores construídos em alvenaria sobre os arcos e os pilares. Têm como principal função resistir aos impulsos ativos do enchimento e do pavimento e transmiti-los para os arcos e pilares, outra da utilidade deste tipo de elementos é a capacidade de servirem de cofragem perdida para o enchimento e para o pavimento (Serra, 2013).

O enchimento é formado na maioria dos casos por materiais soltos com uma extensa granulometria. No entanto, há casos em que isso não acontece e são formados por outro tipo de materiais. Estão colocados no espaço sobre os arcos e entre os muros de tímpano, e têm como função transmitir-lhes as cargas provenientes do pavimento, constituindo assim a via de atravessamento de veículos e pessoas.

Os pavimentos podem ser constituídos por placas de pedra dispostas de forma regular ou irregular. Atualmente é também frequente que os pavimentos sejam constituídos por materiais betuminosos. É o elemento sobre o qual circula o tráfego rodoviário, ferroviário e pedonal, tendo como função facilitar a sua circulação e distribuir as cargas recebidas para o enchimento. Os encontros são elementos estruturais que estabelecem a ligação entre a ponte e a via de comunicação que lhe dá acesso por intermédio de um aterro, fazendo a contenção das terras dos acessos à ponte, do qual nasce o arco.

Quanto às paredes laterais, estas são normalmente formadas por pedra arrumada, alvenaria de pedra e alvenaria de tijolo. Localizam-se no prolongamento da ponte, e são paralelas à via, tendo como função a contenção das terras adjacentes à obra de arte. As guardas laterais usualmente são de pedra, sendo que podem ser metálicas ou de madeira. Têm como função proteger os veículos e as pessoas que utilizam a ponte (Costa, 2009).

## 2.2 Gestão do Risco: International Standard Organization 31010

Ao longo dos últimos anos surgiram várias metodologias para a gestão de projetos, com capítulos exclusivamente dedicados à gestão do risco, permitindo que a gestão do risco tenha evoluído significativamente de uma forma sistemática e estruturada. Uma das mais importantes estruturas para a gestão de projeto é a International Standard Organization 31000 – ISO 31000 – editada em 2009. Para além desta norma, a ISO editou no mesmo ano outras normas de forma a complementar a ISO 31000, entre elas a ISO 31010: Gestão do risco – Técnicas de Avaliação do Risco.

Enquanto a ISO 31000 estabelece um conjunto de princípios e de linhas de orientação com o objetivo de auxiliar as organizações na prática da gestão do risco, a ISO 31010 providencia algumas orientações ao nível da seleção e aplicação das técnicas de avaliação do risco (Silva, 2012). Segundo a (ISO 31000, 2009), o risco é o efeito da incerteza nos objetivos, onde:

- A incerteza é a condição deficitária da informação relacionada com a compreensão ou o conhecimento de um determinado evento, das suas consequências ou probabilidades de ocorrência, que pode fazer com que a organização não atinja os seus objetivos;
- Os objetivos podem ter diferentes aspetos (por exemplo: económicos, segurança) e serem aplicados em diferentes níveis (por exemplo: projeto, produtos, processo);
- As consequências (efeitos) que a organização experimenta, provocadas pelo evento, podem variar de perdas para ganhos.

Assim, o risco é frequentemente expresso pela combinação da probabilidade de ocorrência de um evento e das consequências desse evento, sendo representado pela seguinte equação:

$$R = P \times C,$$

onde:

- P corresponde à probabilidade de um evento ocorrer;
- C são as consequências decorrentes desse evento.

Os parágrafos seguintes terão como base a norma (ISO 31010, 2009) que tem como tema a gestão do risco, nomeadamente as técnicas de avaliação do risco.

A apreciação do risco fornece a quem decide, e a todos intervenientes, uma melhor compreensão dos riscos que podem afetar a concretização dos objetivos, contribuindo para a abordagem mais adequada a ser tomada para tratamento dos riscos. A apreciação do risco é o processo global da identificação, da análise e da avaliação do risco, como se pode verificar na Figura 2

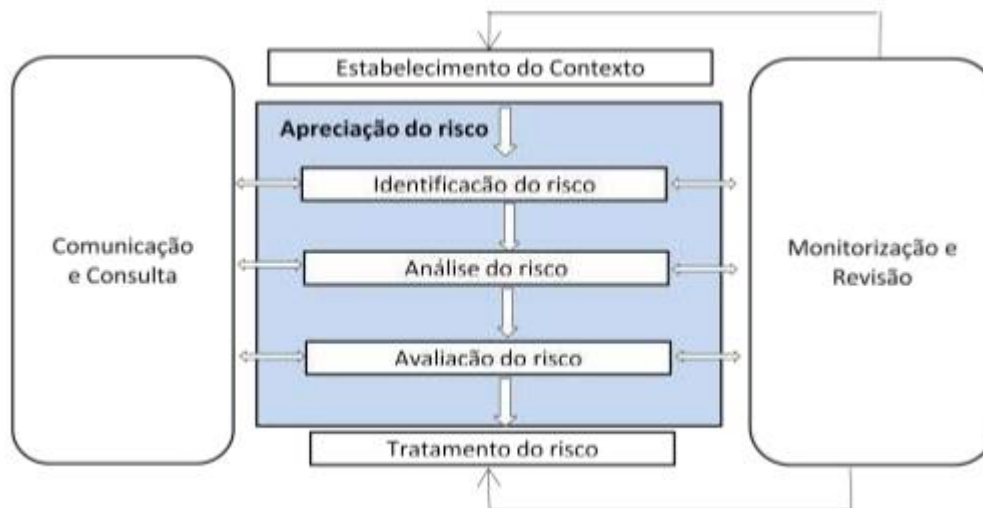


Figura 2 Processo de Gestão do Risco proposto pela ISO 31010

A identificação do risco é o processo de encontrar, reconhecer e registar os riscos. O objetivo desta etapa é a identificação daquilo que pode acontecer e que pode interferir com os objetivos do sistema ou da organização, de forma a responder à seguinte questão “Quais as situações que podem existir, que afetem o objetivo do sistema?”.

O processo de identificação do risco contempla a identificação das causas e origem do risco, i.e., de eventos, situações ou circunstâncias que possam ter um impacto sobre os objetivos, e a natureza desse impacto. Os métodos de identificação dos riscos podem incluir:

- Métodos baseados em evidências, alguns dos exemplos são as listas de verificação e revisões de dados históricos;
- Abordagens metódicas em equipa, onde uma equipa de especialista segue um processo sistemático para identificar os riscos através de um conjunto estruturado de perguntas;
- Técnicas de raciocínio indutivo, tal como o HAZOP.

Após a identificação dos riscos, o processo que se segue é a análise desses riscos. A análise dos riscos consiste na determinação das consequências e das suas probabilidades, onde são combinadas para determinar o nível do risco.

Devem ser identificados os fatores que afetam as consequências e as probabilidades, tendo em consideração as causas e as fontes do risco. Normalmente, a análise de risco inclui uma estimativa das possíveis consequências que possam surgir de um evento, assim como das suas probabilidades de ocorrência. No entanto, em alguns casos, como por exemplo onde as consequências serão insignificantes ou a probabilidade de ocorrência é extremamente baixa, a estimativa de um único parâmetro pode ser suficiente para se assumir uma decisão.

Em algumas circunstâncias, uma consequência pode ocorrer como resultado de um conjunto de diferentes eventos ou quando um evento específico não é identificado.

Quanto aos métodos utilizados para a análise dos riscos, estes podem ser qualitativos, semi-quantitativos ou quantitativos.

A avaliação qualitativa define as consequências, probabilidades de ocorrência, e o nível do risco através de níveis como “alto”, “medio” ou “baixo”.

Os métodos semi-quantitativos utilizam escalas de classificação numérica para as consequências e probabilidades de ocorrência, e as combina para obter um nível de risco.

Relativamente às análises quantitativas, estas praticamente estimam valores para as consequências e para as suas probabilidades de ocorrência, e produzem valores do nível do risco em unidades definidas aquando do desenvolvimento do contexto. Uma análise exclusivamente quantitativa nem sempre pode ser possível, ou desenvolvida, devido à insuficiente informação sobre o sistema ou atividade analisada.

A análise das consequências determina o tipo de impacto que poderia provocar, numa situação ou circunstância em que um evento ocorra. A análise das consequências pode variar de uma simples descrição dos resultados até uma modelação quantitativa detalhada ou uma análise de vulnerabilidade.

No que respeita às análises de probabilidade de ocorrência, ou estimativa de probabilidade, existem três abordagens que podem ser usadas individualmente ou em conjunto:

- Utilização de dados históricos relevantes para identificar acontecimentos ou situações ocorridos no passado, e assim poder extrapolar a probabilidade da sua ocorrência no futuro;
- Previsões de probabilidade, utilizando técnicas de previsão como análise de árvore de falhas e análise de árvore de eventos;
- Opinião de especialistas.

Após esta análise, os riscos devem ser rastreados de maneira a identificar os que têm mais significado, ou para excluir os riscos menores. O objetivo é garantir que os recursos são focados nos riscos mais importantes, tendo em atenção para que não se excluam riscos baixos, que ocorrem frequentemente, e têm um efeito acumulativo significativo.

O último processo da apreciação do risco concentra-se na sua avaliação. A avaliação do risco envolve a comparação dos níveis estimados de risco através de critérios definidos quando o contexto estava estabilizado, de forma a determinar o significado do nível e tipo de risco.



A avaliação do risco utilizada a percepção do risco obtida durante a sua análise para tomar decisões sobre futuras ações.

As decisões devem incluir:

- Necessidade de tratamento de um risco;
- Prioridades de tratamento;
- Necessidade de aplicar uma ação;
- Qual dos diferentes caminhos devem ser seguidos.

Uma abordagem comum para a avaliação dos riscos é dividi-los em 3 grupos:

- Um grupo superior em que o nível do risco é considerado intolerável e o seu tratamento é essencial, seja qual for o seu custo;
- Um grupo médio (ou área “cinzenta”), cujo custos e benefícios são levados em conta e são equiparadas as oportunidades contra as possíveis consequências;
- Um grupo inferior que contém os riscos considerados insignificantes ou tão pequenos que não é necessário intervir no seu tratamento.

### **2.3 Metodologia das Inspeções Principais aplicada nas Infraestruturas de Portugal**

As inspeções principais são realizadas em geral com uma periodicidade de 5 anos, podendo ser inferior em casos particulares nomeadamente em obras com características específicas, para acompanhamento da evolução das anomalias, ou para a sua realização em diferentes períodos, tais como de Inverno e de Verão. A realização deste tipo de inspeções tem como principal objetivo registar as anomalias encontradas em cada componente da obra de arte que possam comprometer o seu desempenho ao nível da durabilidade, do desempenho estrutural ou da segurança.

Durante a inspeção principal deve ser feito um registo completo de todas as anomalias visíveis e de todas as situações que tenham um funcionamento desadequado por componente. Assim, pode-se dividir a inspeção principal em três etapas distintas:

- Pré-Inspeção, onde é feita a seleção de todos os equipamentos e elementos que poderão vir a ser necessários no local tendo em conta as limitações impostas pela envolvente e características da obra de arte;

- Inspeção propriamente dita, que consiste na identificação e registo das anomalias detetadas na obra de arte, assim como propostas para a sua correção que podem incluir trabalhos de reparação, ensaios, entre outros;
- Introdução e armazenamento dos dados, durante esta etapa é feita a introdução dos dados no sistema e é realizada a elaboração dos relatórios de inspeção, culminando o trabalho de inspeção da obra de arte.

Tal como mencionado anteriormente, durante a inspeção propriamente dita são registadas as anomalias detetadas em cada componente da obra de arte. Nesse registo, por componente, deve ser feita a descrição de cada anomalia, assim como da sua localização, da sua causa se for conhecida, e para uma melhor compreensão da sua extensão e intensidade devem ser anexadas fotografias ilustrativas de cada anomalia, para que se tenha uma perceção global do anomalia e do seu enquadramento no componente. Caso existam incertezas quanto à causa, extensão ou intensidade das anomalias registadas durante a inspeção principal, deve ser solicitada a realização de uma Inspeção Especial para que o estado do componente seja avaliado com segurança, de modo a propor um trabalho de reparação mais correto. Após reunidas as informações de cada anomalia identificado será efetuada a avaliação do estado de condição e manutenção da obra de arte. Sendo a inspeção realizada por componente, estes devem ser avaliados tendo em consideração o funcionamento estrutural da obra de arte, pois muitas vezes as anomalias encontradas num componente estão associadas a anomalias noutros componentes (Estradas de Portugal, 2011).

Relativamente às estruturas em alvenaria de pedra, normalmente em arco, estas têm uma rotura geralmente frágil importando detetar as anomalias numa fase inicial. Assim, durante a inspeção deste tipo de obras, o inspetor deverá ter em atenção para a existência de (Rodrigues N. , 2011):

- Fissuras ao longo dos vários blocos de pedra, que poderão traduzir zonas com excesso de compressão;
- Fissuras diagonais na face inferior das abóbadas, indiciando assentamentos de fundações;
- Aberturas nas juntas entre pedras, especialmente na face inferior da abóbada, com desenvolvimento longitudinal. Indiciam uma tendência de abertura dos tímpanos;
- Abatimentos nos arcos, que traduzem a existência de carregamentos excessivos;
- Elementos de pedra mais salientes, que se poderão destacar;
- Uma reduzida espessura de enchimento sobre as abóbadas dos arcos, que origina uma menor degradação das cargas que circulam sobre a obra;

- Vegetação na alvenaria, que poderá originar o desaparecimento do material de preenchimento das juntas;
- Erosão dos leitos dos rios junto aos montantes intermédios, que poderão descalçar as fundações;
- Degradação dos blocos de pedra.

No caso particular de alvenaria em calcário a probabilidade de desgaste ou de ataque por ácidos é maior, devendo ser um sinal a acrescentar à lista anteriormente apresentada. Também, nas obras localizadas em maciços calcários deverá ser levado em conta a probabilidade de aparecimento de canais subterrâneos que poderão alterar as condições de fundação (Estradas de Portugal, 2011).

Após a identificação e o registo das anomalias detetadas na obra de arte, é feita a classificação de cada componente de modo a obter a classificação da obra de arte. Assim, é determinado o estado de manutenção e o estado de condição de cada componente. De uma maneira geral, os anomalias menores estão associados a um estado de manutenção mau e afetam principalmente a durabilidade dos materiais e equipamentos a médio e longo prazo, correspondendo os anomalias mais importantes, geralmente, a um estado de degradação mais avançado, podendo comprometer a segurança estrutural e/ou o tráfego a curto ou médio prazo.

Assim, o estado de manutenção pretende refletir o modo como são executados os trabalhos de manutenção sendo classificado de Bom (B) ou de Mau (M). Embora as inspeções principais não proponham trabalhos de manutenção (estes são propostos na inspeção de rotina), é necessário classificar o estado de manutenção de todos os componentes da obra de arte, atribuindo-se a classificação:

- Bom (B), quando não há necessidade de realizar trabalho de manutenção em mais de 50% dos componentes;
- Mau (M), quando mais de 50% dos componentes necessitam de sofrer trabalhos de manutenção.

Relativamente à avaliação do estado de condição de um componente, é definida uma escala de 0 a 5, onde o valor 0 corresponde a um ótimo estado de condição e o valor 5 a um estado de condição muito mau. Essa classificação é obtida com base nos anomalias e defeitos observados em cada componente, do seguinte modo:

- Atribuição de uma pontuação de 0 a 3 à caracterização dos anomalias, sendo atribuído um valor de 0 ou 1 à sua natureza, assim como ao estado de desenvolvimento e à extensão dos anomalias;

- Atribuição de uma pontuação de 0 a 1 à função do componente;
- Atribuição às consequências dos anomalias de 0 a 1.

Na especificação da natureza da anomalia é feita a sua designação e a sua causa, apesar de nem sempre ser conhecida. Nestes casos devem ser referidas as causas mais prováveis. Assim, as anomalias devem ser classificadas relativamente aos efeitos que podem provocar numa obra de arte, nomeadamente, na sua estabilidade estrutural ou na segurança dos utentes devendo-se atribuir:

- Uma pontuação igual a 0, no caso da anomalia ser pouco grave;
- Uma pontuação igual a 1, caso a anomalia seja grave.

Quanto ao estado de desenvolvimento, a pontuação a atribuir deve ter em conta o seu desenvolvimento atual quanto ao desgaste, deterioração, profundidade, etc., e a forma como se espera que evolua a curto prazo, que pode ser de forma exponencial, etc. Assim, pode-se atribuir:

- Para uma anomalia com um desenvolvimento pequeno e que se preveja que tenha pouca ou praticamente nenhuma evolução, uma pontuação de 0;
- Para uma anomalia com um atual desenvolvimento grande (em tamanho, profundida, etc.) ou que se preveja de rápida evolução, uma pontuação igual a 1.

A extensão da anomalia é classificada segundo uma comparação entre a extensão atual da anomalia, ou aquela que é previsível que se atinja a curto prazo, com o seu valor máximo admissível no componente da obra de arte. Assim, deve-se pontuar com:

- Zero (0), para o caso da extensão da anomalia ser inferior a 50% do valor máximo admissível;
- Um (1), quando a extensão da anomalia é superior a 50% do valor máximo admissível.

Para a atribuição da pontuação à função do componente, é necessário quantificar a sua capacidade atual para cumprir convenientemente com as funções para as quais foi concebido. Assim pode-se atribuir:

- A pontuação 0 aos componentes que cumprem convenientemente a função para a qual foram concebidos;
- A pontuação 1 aos componentes que não cumpram a função para a qual foram concebidos.

As consequências da anomalia, também são pontuadas e essa pontuação é feita contabilizando a contribuição que uma anomalia pode ter no aparecimento de outras anomalias noutros componentes. Assim, deve-se atribuir:

- Uma pontuação igual a 0 às anomalias que não têm quaisquer consequências noutros componentes da obra de arte;
- Uma pontuação igual a 1 às anomalias que podem ter consequências noutros componentes da obra de arte.

O estado de condição a atribuir a uma obra de arte está vinculado com os seus componentes estruturais fundamentais tais como os encontros, tabuleiro, e apoios intermédios. O componente muros poderá considerar-se como componente fundamental em determinadas condições, quando está inserido no esquema estrutural principal da obra como no caso dos muros de tímpanos nas obras de alvenaria, ou quando contribui de forma direta nas condições de estabilidade e segurança da estrutura. Assim, o estado de condição (EC) da obra de arte não deve ser inferior ao estado de condição dos componentes fundamentais, no entanto, quando um componente não estrutural põe em causa a segurança estrutural ou o seu mau funcionamento promove a degradação a curto prazo da obra de arte, esses componentes devem ser integrados no estado geral da obra. A classificação final de cada componente é obtida após a realização do somatório das pontuações parciais acima descritas. A interpretação do resultado obtido deve ser feita tendo em conta a Tabela 2 (Estradas de Portugal, 2011).

Tabela 2 Interpretação da classificação final

Estado de Condição	Significado
0	Estado de Condição “Excelente”. Não é necessário efetuar qualquer reparação.
1	Estado de Condição “Muito Bom”. Não é necessário efetuar qualquer reparação.
2	Estado de Condição “Bom”. Podem ser especificadas reparações não prioritárias. Verifica-se que a qualidade dos materiais ou a sua execução são defeituosas. Foram detetadas algumas anomalias com alguma importância no comportamento e durabilidade da obra de arte, mas que pela onerosidade da sua reparação não justificam a intervenção prioritária.
3	Estado de Condição “Razoável”. Verifica-se que a qualidade dos materiais ou a sua execução são más. Funcionamento deficitário, com especial importância na durabilidade da obra de arte. A intervenção poderá ser realizada entre 3 a 5 anos ou caso o inspetor o entenda ser reavaliada na próxima inspeção principal. A opção quanto à data de intervenção ou à data de inspeção deverá ser expressamente indicada e devidamente justificada.
4	Estado de Condição “Deficiente”. Deve ser especificado o início de intervenção a curto prazo (2 anos). Verifica-se que a qualidade dos materiais ou sua execução são más. Funcionamento defeituoso com importância na durabilidade e comportamento da obra de arte. O componente com esta classificação não cumpre os requisitos mínimos para desempenhar a função para a qual foi concebido. Pode ser especificada a necessidade de um projeto de reforço/reabilitação. Se a intervenção não tiver início no final de 2 anos, nas vistorias de acompanhamento anuais seguintes a realizar, pode ser restringida a sua exploração através de condicionamentos ao tráfego, ou despoletadas outras intervenções de carácter preventivo tais como escoramentos ou reforços temporários.
5	Estado de Condição “Mau”, pode estar em causa a segurança estrutural do componente ou mesmo da obra de arte. Deve ser especificado o início de intervenção com urgência ou a curto prazo (aconselhável 1 ano, e no máximo 2 anos). Deve ser especificada a necessidade de um projeto de reforço/reabilitação. Devem ser implementadas medidas restritivas da circulação rodoviária, em termos de carga, velocidade ou modo de circulação ou outras intervenções de carácter preventivo. No caso limite, a circulação rodoviária pode ser interdita. Se a intervenção não tiver início no final de 2 anos, nas vistorias de acompanhamento anuais seguintes poderá ser acrescida a sua exploração através de condicionamentos ao tráfego mais restritivos, ou outras intervenções de carácter preventivo tais como escoramentos ou reforços temporários.

Após a realização da inspeção deve ser elaborado um relatório onde conste (Rodrigues N. , 2011):

- A descrição da obra de arte existente (materiais e elementos/componentes);

- A identificação das anomalias detetadas (localização, extensão e origem provável) com uma reportagem fotográfica de todas;
- Indicação de possíveis trabalhos, de modo a retificar essas anomalias;
- Indicação da realização de uma eventual inspeção subaquática, intervenções de urgência e medidas de restrição à exploração da obra.

## 2.4 Inspeção Baseada no Risco pela Rijkswaterstaat

A Rijkswaterstaat é uma agência executiva do ministério holandês responsável pela gestão das redes das infraestruturas e do meio ambiente holandesas. Neste sentido, é diretamente responsável pela gestão de três redes de infraestruturas que inclui aproximadamente 3300 km de rodovias principais, 1700 km de vias navegáveis e 65250 km<sup>2</sup> de águas à superfície. De forma a gerir todos estes ativos foi desenvolvido um método para relacionar os riscos num objeto com o nível exigido da rede, e definir as tarefas de manutenção prioritárias ao nível da rede. Durante as próximas décadas alguns aspetos irão influenciar a gestão das pontes, entre eles estão (Klanker & L.Klatter, 2012):

- Envelhecimento das infraestruturas, assumindo uma vida útil a rondar os 80 anos, muitas pontes terão de ser substituídas ou renovadas nas próximas décadas;
- Limitação orçamental, os gastos governamentais tal como em muitos países europeus estão sob grande pressão provocada pelas circunstâncias económicas;
- Aumento da utilização, durante as próximas décadas espera-se que o tráfego rodoviário continue a aumentar tal como tem vindo a suceder desde que as pontes foram construídas.

A Rijkswaterstaat tem implementado a inspeção baseada no risco (RBI) desde 2006. A inspeção baseada no risco difere da maioria das inspeções tradicionais, pois o objeto principal não é a estrutura, isto é a deteção das anomalias, mas o desempenho dessa estrutura que é avaliado pela análise dos riscos detetados. Assim, a RBI consiste na recolha e análise de informação destinada à deteção em tempo útil de riscos provocados por eventos indesejados. Neste sentido, considera-se um evento indesejado aquele que causa um efeito negativo sobre o desempenho exigido do objeto.

A determinação do risco não é feita tendo só em conta um defeito, mas também outros fatores como, por exemplo, as condições locais, isto é, as cargas e a intensidade do tráfego na estrutura. Os defeitos presentes são considerados como um indicador de risco, sendo que os riscos nem

sempre são reconhecidos, tendo em conta os defeitos visuais ou mensuráveis. Consequentemente, uma situação sem defeitos pode resultar num risco como, por exemplo, erros de projeto ou alterações no uso podem resultar numa situação potencialmente perigosa. Uma anomalia detetado que não afete o desempenho exigido não é considerado um defeito de acordo com os princípios da RBI. Os riscos estão sempre relacionados com o desempenho exigido de um local específico, isto é, estruturas semelhantes podem muito provavelmente serem avaliadas de forma diferente, devido a diferentes desempenhos locais exigidos. Deste modo, os riscos são definidos pelo produto da probabilidade de um evento indesejado acontecer e das consequências previstas provocadas por esse evento (Bakker & Klatter, 2012).

Relativamente aos eventos indesejados, foram considerados cinco tipos de eventos possíveis:

- Eventos do tipo 1 que podem ser previstos estatisticamente, mas que não podem ser planeados, como os desastres naturais e o vandalismo;
- Eventos do tipo 2 que podem ser moldados e previstos e, assim, parcialmente planeados, isto é, eventos com uma causa conhecida e um comportamento previsível; exemplo disso são as anomalias provocados pela geada nos pavimentos asfálticos durante o Inverno, este é um risco que pode ser controlado pelo estado de condição do elemento;
- Eventos do tipo 3 são aqueles que podem ser moldados, previstos e planeados, estes eventos não necessitam de inspeção uma vez que se sabe quando vão acontecer, são riscos que se controlam tendo em conta o tempo e o uso, embora na prática não existam muitos exemplos deste tipo;
- Eventos do tipo 4 que são provocados pela alteração da utilização ou da mudança de padrão, por exemplo as sobrecargas nas pontes devido a um tráfego mais pesado;
- Eventos do tipo 5, são considerados eventos deste tipo aqueles que são provocados por falha humana, como erros no projeto ou na execução da estrutura.

Estes dois últimos tipos de eventos indesejados necessitam de uma atenção especial na inspeção. Relativamente aos eventos do tipo 4, estes muitas das vezes não são reconhecidos, especialmente se a inspeção for focada nas anomalias. Quanto aos eventos do tipo 5 geralmente criam riscos ocultos. Por exemplo, no caso de as inspeções serem baseadas na condição em vez de no risco, a anomalia em si é considerada como um evento indesejado em vez da falha humana que o provocou, e tal pode levar a uma medida de manutenção errada. O reconhecimento dos indicadores de falha humana deve ser um aspeto importantes nas inspeções baseadas no risco. Assim, a inspeção baseada no risco é mais que um tipo de inspeção, é um sistema integrado de



inspeções com capacidade de controlar os cinco eventos indesejados descritos anteriormente (Bakker & Klatter, 2012).

De modo a recolher todas as informações necessárias à inspeção, foi desenvolvido um “quadro de inspeção” que integra três tipos de inspeções num sistema interligado conduzido pelo conceito da inspeção baseada no risco. Estes três tipos de inspeção estão interligados e, juntos, são os instrumentos necessários para a inspeção baseada no risco, sendo que o seu objetivo passa por prevenir eventos indesejados, assim como atenuar os efeitos e recolher as informações necessárias para implementar medidas de controlo atempadamente. Essas informações não estão apenas relacionadas com a identificação atempada dos riscos, mas também com a capacidade de permitir um planeamento importante para o desenvolvimento do processo. O quadro de inspeção distingue os três tipos de inspeções pelos seus objetivos, assim temos (Bakker & Klatter, 2012):

- Inspeção de rotina que é realizada de forma frequente e é principalmente dirigida para a deteção de eventos indesejado do tipo 1, isto é, verificação das consequências de eventos imprevisíveis como desastres naturais e vandalismo. Este tipo de inspeção é eficaz para a cobertura de riscos de responsabilidade legal, sendo capaz de determinar a necessidade de uma manutenção regular;
- Inspeção geral, este tipo de inspeção é realizada anualmente e destina-se à deteção de eventos indesejados do tipo 1, 2 e 3. Focada essencialmente na condição do objeto e nos eventos previsíveis, esta inspeção verifica os pontos críticos tendo em conta a sua segurança e a funcionalidade. Após a sua realização é determinada a necessidade de uma manutenção regular e é determinado se o plano de manutenção é viável a longo prazo. Durante este processo podem ser feitos testes de desempenho de modo a detetar uma falha oculta;
- Inspeção principal que é feita de 6 em 6 anos e é especialmente dirigida à deteção de eventos do tipo 2, 3, 4 e 5. Aqui é feito o planeamento da manutenção, de modo a serem programadas as manutenções necessárias para um certo período de referência. Desta forma, faz parte deste processo a realização de um estudo sustentado em entrevistas com o gerente da manutenção e numa análise de risco antes e depois da inspeção no local. Com isto, pretende-se registar e verificar a evolução dos riscos, assim como o cumprimento dos requisitos exigidos.

De modo a obter-se uma visão completa dos riscos para cada estrutura, é efetuado um conjunto de quatro etapas para determinar quais aqueles presentes e como é que eles podem ser geridos, deste modo temos (Klanker & L.Klatter, 2012):

1. Identificação dos riscos, que tem como principal objetivo identificar aqueles potencialmente relevantes;
2. Inspeção, onde é feita a avaliação da condição da estrutura e a verificação do cumprimento dos requisitos;
3. Avaliação do risco, que permite determinar o nível do risco com base na probabilidade e nas consequências do evento;
4. Gestão do risco, que tem o papel de definir as tarefas de manutenção que podem ser planeadas para gerir os riscos.

A identificação dos riscos inicia-se com um estudo rigoroso de modo a identificar os riscos que possam estar presentes baseados na condição, idade, tipo de estrutura e uso da ponte. Esta identificação é apoiada por um formato baseado no FMEA, Failure Mode and Effect Analysis, onde é feita a descrição da causa e do efeito de cada falha de forma estruturada e qualitativa. Assim, constrói-se uma matriz onde os elementos da ponte são colocados verticalmente e as informações sobre os riscos na horizontal, dentro dessas informações está descrito:

- Modo de falha, com a descrição dos requisitos que não são cumpridos;
- Causa da falha, com a descrição da causa que levou a esse incumprimento;
- Consequências da falha, com a descrição das consequências que possam resultar da falha.

Durante esta etapa são usados os conhecimentos do inspetor, assim como outras informações tal como uma lista de riscos padrão que está disponível. Os possíveis riscos identificados vão determinar o alcance da inspeção, tendo essa inspeção a função de determinar a existência de um risco e de recolha de informação de modo a avaliar o risco em relação ao desempenho exigido. É possível que durante a inspeção sejam identificados riscos adicionais.

A etapa seguinte é a inspeção que visa determinar a existência de um risco e recolher informação de modo a avaliar esse risco em relação ao desempenho exigido, durante este processo é determinada a condição da ponte. A condição em si não dá informações sobre os riscos relacionados com o desempenho exigido, pois uma boa condição pode resultar num pequeno risco e vice-versa, no entanto a partir do registo da condição dos elementos da ponte é possível obter-se o estado de deterioração da ponte ao longo do tempo. A inspeção além de se focar na condição dos elementos, também tem o cuidado de determinar as causas e os efeitos

dessa condição. Com base no estudo desenvolvido, onde foram identificados possíveis riscos, e na avaliação da condição, realizada na inspeção, pode-se determinar se os requisitos exigidos são cumpridos.

Na etapa posterior à inspeção é realizada a avaliação do risco, que consiste na determinação do nível do risco através da construção de uma matriz de risco (ver Figura 3), onde a probabilidade de um evento é correlacionada com as consequências desse evento. O nível do risco é expresso numa escala de 1 - risco negligenciável - a 5 - risco inaceitável. A matriz de risco vem com a descrição das classes das consequências que são qualitativamente descritas para cada aspeto RAMSSHEEP, isto é, para cada critério definido, de forma a obter o desempenho exigido realizado no estudo. Na Tabela 3 é apresentado um exemplo da descrição de uma dessas classes. A probabilidade de falha é definida por 6 níveis: “tão bom como novo”, “aceitável”, “perto do nível aceitável”, “ultrapassa o nível aceitável”, “ultrapassa o nível aceitável por larga margem”, “inaceitável/calamidade”; enquanto as consequências da falha são definidas por 4 níveis: “controlável”, “séria”, “muito séria” e “catastrófica” (Klanker & L.Klatter, 2012).

Tabela 3 Classes das consequências relativas à economia

Consequência	
Controlável	Falha com um impacto inferior a 2,5% em relação ao cenário ideal
Séria	Falha com um impacto inferior a 5% em relação ao cenário ideal
Muito Séria	Falha com um impacto inferior a 20% em relação ao cenário ideal
Catastrófica	Falha com um impacto superior a 20% em relação ao cenário ideal

Probabilidade de falha	Consequências da falha			
	Controlável	Séria	Muito Séria	Catastrófica
Inaceitável (calamidade)	3 - Elevado	4 - Alto	5 - Inaceitável	5 - Inaceitável
Ultrapassa o nível aceitável por larga margem	3 - Elevado	3 - Elevado	4 - Alto	5 - Inaceitável
Ultrapassa o nível aceitável	2 - Limitado	Nível 3	3 - Elevado	4 - Alto
Perto do nível aceitável	1 - Negligenciável	2 - Limitado	Nível 3	3 - Elevado
Aceitável	1 - Negligenciável	1 - Negligenciável	2 - Limitado	2 - Limitado
Tão bom como novo	1 - Negligenciável	1 - Negligenciável	1 - Negligenciável	1 - Negligenciável

Figura 3 Matriz de risco

Após a avaliação de todos os riscos, há a necessidade de determinar quando e como é que os riscos identificados como inaceitáveis serão geridos. Assim, entramos na última etapa, a da gestão do risco onde é determinado quando é que essa gestão é necessária e quais as tarefas de manutenção que serão planeadas de forma a gerir cada risco. A determinação do momento em que um risco necessita de ser gerido está relacionado com os seguintes pontos:

- Verificação do cumprimento dos requisitos exigidos;

- Nível atual do risco;
- Desenvolvimento esperado do nível do risco.

Quanto à manutenção, essa deve ser feita atempadamente para evitar que ocorram situações inaceitáveis. No entanto o planeamento de uma medida efetuado de forma precoce irá resultar em custos mais elevados ao longo da vida útil da obra de arte. Assim, para cada risco, é planeado um intervalo de tempo no qual uma medida de prevenção será executada, que está dependente:

- Do momento em que um ou mais requisitos não são cumpridos e é atingido o nível de risco 4, nestes casos é feito um aviso de intervenção;
- Do momento em que o nível de risco 5 se atinge, nestes casos é recomendável uma atuação imediata.

De seguida, será feita uma breve apresentação de um caso prático relativo à gestão de um risco com base nas etapas descritas nos parágrafos anteriores (Klanker & L.Klatter, 2012):

1. Identificação do risco: durante o estudo de uma obra de arte foi definido como um possível risco a dilatação das juntas, sendo identificado através da idade da estrutura e do escoamento de água sob a ponte. Este risco pode estar relacionado com os requisitos exigidos para a segurança estrutural ou para a economia;
2. Inspeção: durante a inspeção verificou-se que uma junta de expansão está danificada e como resultado, a água que contém sais está a penetrar na estrutura de betão, o que provoca anomalias em larga escala e reparações dispendiosas. Isto significa que o requisito de evitar anomalias em larga escala ou irreparáveis não é cumprido – requisito económico - no entanto não há risco para a segurança estrutural;
3. Avaliação do risco: as consequências deste evento indesejado integram-se na classe “muito séria” e a sua probabilidade de ocorrência corresponde a “ultrapassa o nível aceitável por larga margem”, assim e após a correlação destes dois itens na matriz de risco foi obtido um nível igual a 4, isto é, “alto” risco.
4. Gestão do risco: para um nível de risco igual a 4 está definido que a manutenção deve ocorrer a curto prazo, com o objetivo de reduzir o nível de risco para “aceitável”.

### 3. INSPEÇÃO BASEADA NO RISCO EM PONTES EM ARCO DE ALVENARIA DE PEDRA

Durante o desenvolvimento deste capítulo pretende-se apresentar uma metodologia de inspeção baseada no risco para aplicar em pontes em arco de alvenaria de pedra. Tendo como referência a metodologia desenvolvida pela Rijkswaterstaat, apresentada no subcapítulo 2.4, a metodologia proposta foi desenvolvida a partir das seguintes fases:

1. Identificação dos eventos associados às pontes em arco de alvenaria de pedra;
2. Determinação da probabilidade de ocorrência (frequência) de cada evento identificado;
3. Determinação das consequências de cada evento;
4. Avaliação do nível do risco com base na frequência e nas consequências dos eventos.

Na Figura 4 é apresentada uma representação gráfica da sequência a aplicar na metodologia de inspeção baseada no risco proposta, seguindo os pontos acima descritos desde a identificação da anomalia até à determinação do estado de condição.

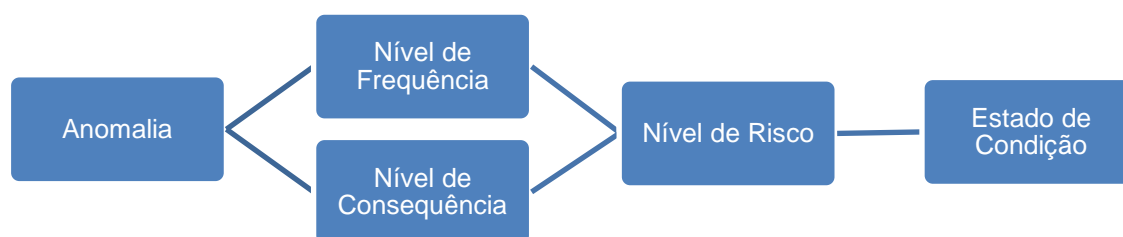


Figura 4 Fluxograma representativo da inspeção baseada no risco

Nos subcapítulos subsequentes é realizada uma descrição detalhada das fases acima indicadas, de forma a permitir ao leitor ter uma visão global da metodologia, bem como da forma que é aplicada, dos princípios que tiveram por detrás da proposta e dos objetivos de cada fase de forma a permitir que seja feita uma avaliação deste tipo de estruturas.

#### 3.1 Identificação dos eventos

A primeira fase do desenvolvimento da metodologia de inspeção baseada no risco em pontes em arco de alvenaria de pedra passou por identificar os possíveis eventos causadores de anomalias, que se podem encontrar neste tipo de pontes. Vários têm sido os trabalhos desenvolvidos sobre os vários tipos de anomalias e degradação das pontes em arco de alvenaria de pedra, tornando-se uma questão essencial em quase todos os países da Europa uma vez que

este tipo de estruturas estão constantemente expostas a inúmeras causas de degradação ao longo da sua vida útil. De entre todos esses trabalhos, é de realçar o que foi publicado pelo *UIC – International Union of Railways* (García-Catalán & Álamo, 2006) no qual é apresentado um catálogo dos defeitos em pontes de alvenaria. Assim, a identificação das anomalias para este tipo de estrutura teve como base esse trabalho, uma vez que todos os problemas já conhecidos até agora estão listados nesse trabalho, incluindo os que foram detetados no estudo por eles realizado, sendo contemplado não só os anomalias por eles identificados como os anomalias detetados em estudos anteriores conferindo um resultado global muito mais completo.

No estudo desenvolvido por (García-Catalán & Álamo, 2006) na classificação das anomalias é feita a distinção entre anomalias estruturais e anomalias de durabilidade. Assim, durante o processo de identificação das anomalias foi adotada essa classificação, sendo acrescentado outro tipo de anomalias. Assim tem-se (Ferreira, 2008):

- Anomalias estruturais: têm consequências no funcionamento estrutural, indiciando perda de segurança estrutural; estas anomalias indiciam situações que podem levar à ruína da obra tendo em conta a sua origem, por isso, há que ter especial atenção à sua evolução, tendo em conta a tipologia estrutural da obra e a sua localização, sendo certo que pela existência deste tipo de anomalia a estrutura já se encontra fragilizada;
- Anomalias de durabilidade: não tendo influência direta na segurança estrutural, têm essencialmente influência na durabilidade da obra, diminuindo a sua vida útil, funcionando algumas dessas anomalias posteriormente como causas diretas ou indiretas de outro tipo de anomalias, criando condições para o aparecimento de anomalias estruturais.
- Anomalias funcionais: afetam essencialmente a utilização e exploração da obra, não colocando em risco o comportamento estrutural da ponte, no entanto podem contribuir para a ocorrência de outros tipos de anomalias.

Neste contexto, na

Tabela 4 é feita a apresentação das anomalias estruturais, aquelas que estão associadas a um mau desempenho da estrutura e à redução da sua capacidade de carga proposta, segundo o trabalho de (García-Catalán & Álamo, 2006) para cada um dos elementos que constituem as pontes em arco de alvenaria de pedra. Na Tabela 5 estão indicadas as anomalias de durabilidade que podem afetar qualquer elemento da estrutural, manifestam-se através de modificações superficiais ou por esmagamento e perda dos materiais, também são apresentados anomalias

resultantes da ação humana, tendo como base o trabalho desenvolvido por (García-Catalán & Álamo, 2006).

De forma a ter mais informação acerca das anomalias que possam surgir nas pontes em arco de alvenaria de pedra para propor a identificação dos riscos das mesmas, foram consultadas mais duas obras desenvolvidas em Portugal e que permitem ter uma visão do que acontece a nível nacional. Dessa forma, são apresentadas na Tabela 6 e na Tabela 7 as anomalias propostas pelos trabalhos desenvolvidos por (Ferreira, 2008) e por (Rodrigues N. C., 2008).

Tabela 4 Anomalias estruturais dos elementos das pontes em arco de alvenaria de pedra (García-Catalán & Álamo, 2006)

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
	Perda ou deslocamento do material constituinte
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 3 rótulas
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 4 rótulas
	Fissuração transversal no arco - mecanismo cisalhamento
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 7 rótulas
	Falha mecânica da alvenaria
Anomalias nos pilares	Fendilhação vertical
	Fendilhação em escada
	Fendilhação na separação entre talha-mares e pilares
Anomalias nos encontros	Fendilhação horizontal
	Fendilhação vertical
	Fendilhação vertical entre o encontro e o muro de ala
Anomalias nos tímpanos	Empolamento
	Deslizamento
	Rotação
	Fendilhação em escada
Anomalias nos muros de ala e de avenida	Rotação e empolamento
	Fendilhação em escada
Anomalias nas fundações	Perda dos elementos de proteção
	Erosão local das fundações
	Abrasão e apodrecimento das estacas de madeira
	Perda de estabilidade da fundação por alterações no leito do rio
	Assentamento diferencial dos pilares
	Assentamento diferencial dos encontros
	Fissuras irregulares nos elementos da fundação
Corrosão do aço nos elementos da fundação	

Tabela 5 Anomalias não estruturais (García-Catalán & Álamo, 2006)

Anomalias comuns dos materiais		
Anomalias de durabilidade	Alterações superficiais	Manchas negras
		Musgo, líquen e outros fungos
		Eflorescência
		Crostras e depósitos superficiais
		Meteorização superficial diferencial
	Esmagamento e perda de material	Destacamento de pedras na alvenaria
		Perda de material nas juntas
		Alveolização
		Delaminação
		Fendas não estruturais
Anomalias resultantes da ação humana	Vandalismo: grafite, fogo, etc	
	Impacto de veículos	
	Intervenções anteriores	

Tabela 6 Anomalias em pontes em Arco de Alvenaria de Pedra (Rodrigues N. C., 2008)

Anomalias registadas em pontes em arco de alvenaria de pedra	
Anomalias estruturais	Abertura de juntas longitudinais e transversais
	Infraescavação e erosão das fundações
	Danos nos tímpanos: fendilhação do arco e destacamento do tímpano, inclinação, empolamento e escorregamento
	Movimento dos apoios
Anomalias de durabilidade	Deslocamento ou destacamento e ruína de elementos
	Vegetação e poluição biológica: desenvolvimento de vegetação de pequeno e médio porte, musgos, depósitos de terra e outros de origem biológica
	Humidade e eflorescências e presença de água no material de enchimento
	Perda de argamassa nas juntas
Anomalias funcionais	Degradação do material pétreo
	Deformação, fissuração ou deterioração global dos pavimentos
	Insuficiente secção transversal da via (reduzida largura dos tabuleiros)
	Obstrução dos sistemas de drenagem
	Existência de detritos e vegetação nos passeios
Anomalias nos guarda-corpos (oxidação, desalinhamentos, deterioração, etc)	



Tabela 7 Anomalias comuns em Pontes em Arco de Alvenaria de Pedra (Ferreira, 2008)

Anomalias registadas em pontes em arco de alvenaria de pedra	
Anomalias estruturais	Fendilhação longitudinal nos arcos, nas zonas centrais
	Fendilhação na interface das aduelas externas
	Fendilhação transversal nos arcos
	Deslocamentos verticais e horizontais do arco
	Fendilhação das cantarias nas aduelas exteriores dos arcos, com delaminação da cantaria
	Deslocamentos verticais de blocos de material constituinte do arco
	Falta de material resistente na constituição dos arcos ou pilares, fundações
	Fendilhação vertical nos pilares
	Fendilhação transversal nos pilares
	Deformações dos pilares
	Deslocamentos horizontais nos muros de tímpano
	Rotação de muros de tímpano ou avenida
	Fendilhação vertical ou horizontal nos muros de tímpano
Anomalias de durabilidade	Degradação acentuada nos rebocos de proteção, nomeadamente desagregação e empolamento com destaque do suporte
	Dissolução das argamassas constituintes da alvenaria e deposição de sais na superfície do arco, encontros ou pilares
	Infiltrações e humidade nos arcos
	Degradação dos tijolos constituintes dos arcos
	Inexistência de argamassa nas juntas da alvenaria
	Erosão dos materiais constituintes dos arcos, encontros ou pilares
	Erosão localizada nas zonas dos pilares levando a que algumas sapatas estejam parcialmente visíveis
	Fendilhação na separação entre talha-mares e pilares
	Falta de pedras constituintes dos talha-mares
	Erosão superficial das sapatas com falta de inertes na sua constituição
Descamação ou erosão nas pedras das cantarias	
Anomalias funcionais	Fendilhação e deformação nos pavimentos sobre as pontes
	Obstrução ou falta de drenagens, degradação de passeios, sinalização, guarda-corpos, etc.
	Existência de vegetação nos elementos resistentes, pilares, encontros
	Existência de sinais de erosão do curso de água e na envolvência da ponte
	Existência de vegetação envolvente, que impede a acessibilidade às vistorias e dificulta a velocidade de erosão

Após a consulta a vários trabalhos sobre as anomalias mais comuns em pontes em arco de alvenaria de pedra, foram identificados os riscos que serão avaliados na metodologia apresentada, sendo concluída desta forma a primeira fase da inspeção baseada no risco aplicada a pontes em arco de alvenaria de pedra. Na Tabela 8 são apresentados os possíveis riscos que podem surgir nas pontes em alvenaria de pedra, que consistem nas anomalias ou anomalias verificados em alguns dos trabalhos consultados.

Tabela 8 Anomalias das Pontes em Arco de Alvenaria de Pedra

Elemento	Anomalia
Fundações	Infraescavação e erosão
	Poluição Biológica
Arcos	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada
	Fendilhação longitudinal entre os tímpanos e o arco
	Fendilhação diagonal
	Perda ou deslocamento do material constituinte
	Fendilhação transversal no arco - mecanismo 3 rótulas
	Fendilhação transversal no arco - mecanismo 4 rótulas
	Fendilhação transversal no arco - mecanismo cisalhamento
	Fendilhação transversal no arco - mecanismo 7 rótulas
	Manchas negras
	Alveolização
	Desenvolvimento de vegetação de médio e grande porte
	Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água
	Delaminação
	Perda de argamassa nas juntas e de pedras na alvenaria
	Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias
	Poluição Biológica
	Eflorescências
	Crosta e depósitos superficiais
	Desagregação da pedra
	Pilares
Fendilhação em escada	
Fendilhação na separação entre talha-mares e pilares	
Manchas negras	
Alveolização	
Desenvolvimento de vegetação de médio e grande porte	
Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	
Delaminação	
Perda de argamassa nas juntas e de pedras na alvenaria	

	Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias
	Poluição Biológica
	Eflorescências
	Crostras e depósitos superficiais
	Desagregação da pedra
Encontros	Fendilhação horizontal
	Fendilhação vertical
Encontros e Muros de ala	Fendilhação vertical entre o encontro e o muro de ala
Muros de ala e de avenida	Rotação e empolamento
	Fendilhação em escada
	Manchas negras
	Alveolização
	Desenvolvimento de vegetação de médio e grande porte
	Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água
Encontros, Muros de ala e de avenida	Delaminação
	Perda de argamassa nas juntas e de pedras na alvenaria
	Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias
	Poluição Biológica
	Eflorescências
	Crostras e depósitos superficiais
	Desagregação da pedra
	Empolamento
	Deslizamento
	Rotação
	Fendilhação em escada
	Manchas negras
	Alveolização
	Desenvolvimento de vegetação de médio e grande porte
	Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água
Tímpanos	Delaminação
	Perda de argamassa nas juntas e de pedras na alvenaria
	Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias
	Poluição Biológica
	Eflorescências
	Crostras e depósitos superficiais
	Desagregação da pedra
Enchimento	Presença de água
Sistema de drenagem	Obstrução do sistema de drenagem
Revestimento da via	Deterioração do pavimento

Guarda-corpos	Anomalias
Passeios	Existência de detritos e vegetação
Talha-Mares e talhantes	Falta de pedras constituintes
Estrutura Global	Danos sísmicos

Para finalizar esta primeira fase de identificação dos riscos associados às pontes em arco de alvenaria de pedra e após a proposta das anomalias que surgem em cada um dos elementos, serão associadas algumas ilustrações e fotografias da manifestação de cada uma das anomalias

### 3.1.1 Anomalias estruturais nos arcos

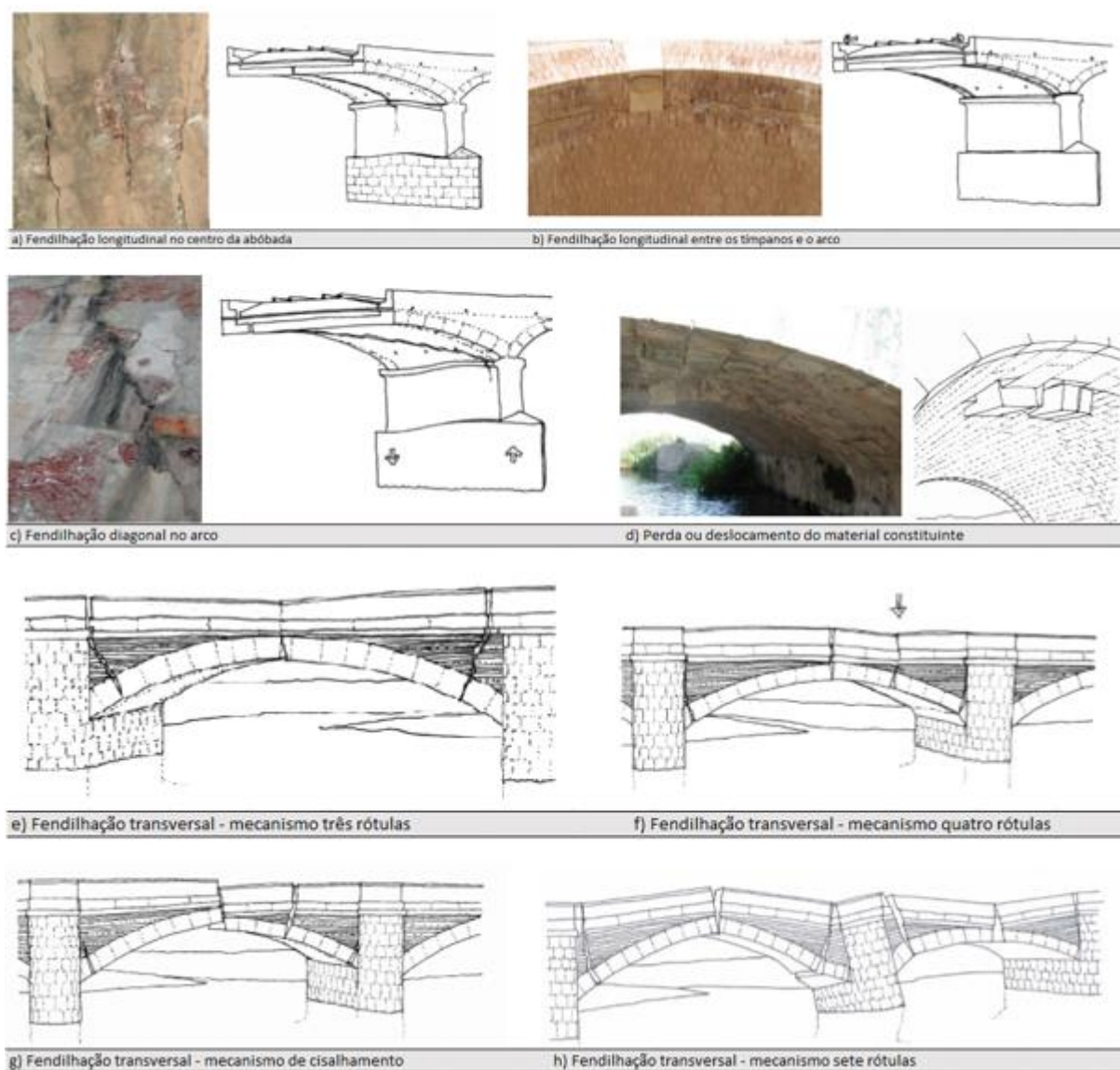


Figura 5 Anomalias estruturais no arco (García-Catalán & Álamo, 2006)

### 3.1.2 Anomalias estruturais nos pilares

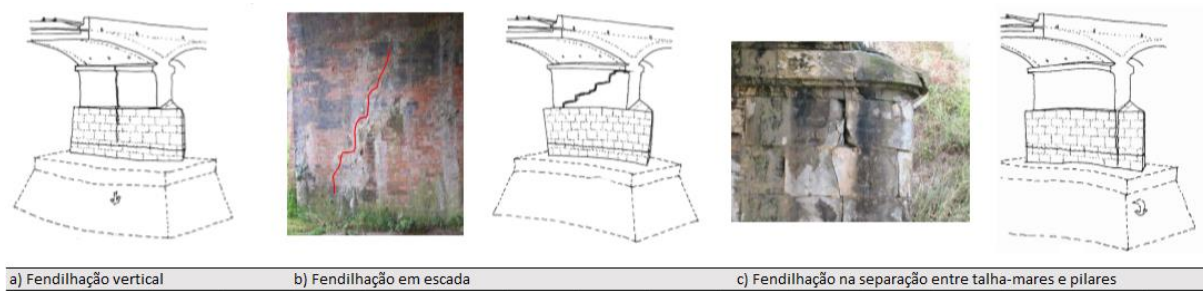


Figura 6 Anomalias estruturais nos pilares (García-Catalán & Álamo, 2006)

### 3.1.3 Anomalias Estruturais nos Encontros, Muros de Ala e de Avenida

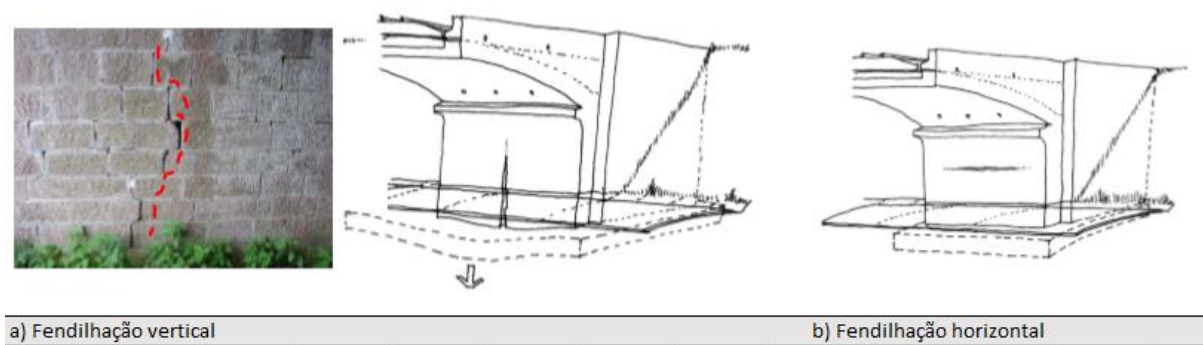


Figura 7 Anomalias Estruturais nos Encontros (García-Catalán & Álamo, 2006)

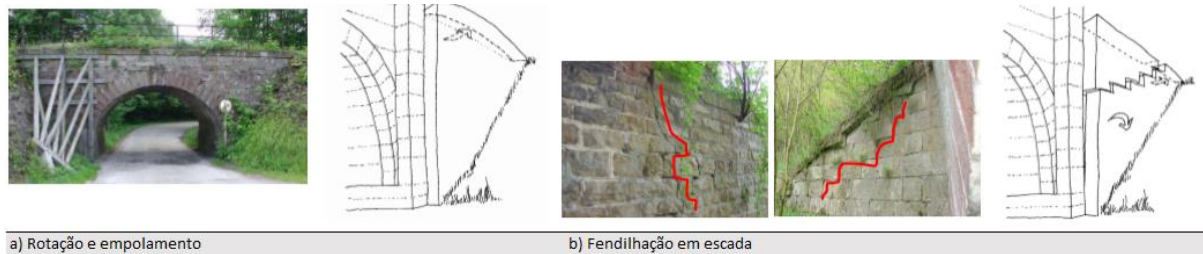


Figura 8 Anomalias Estruturais nos Muros de Ala e de Avenida (García-Catalán & Álamo, 2006)

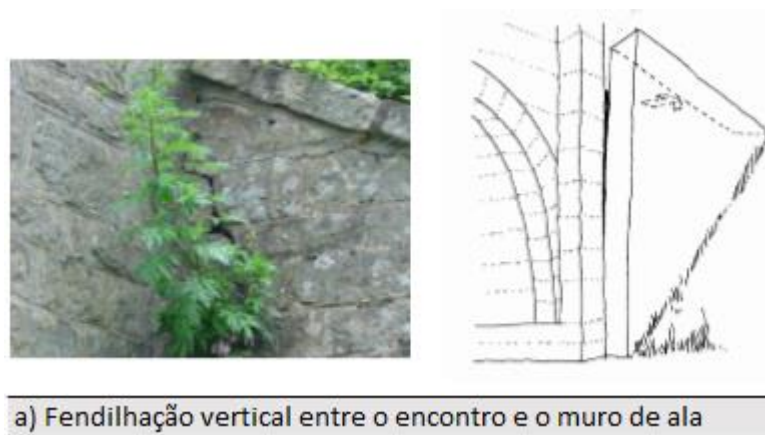


Figura 9 Fendilhação entre o encontro e o muro de ala (García-Catalán & Álamo, 2006)

### 3.1.4 Anomalias Estruturais nos Tímpanos



Figura 10 Anomalias Estruturais nos Tímpanos

### 3.1.5 Anomalias Estruturais nas Fundações



Figura 11 Erosão local nas fundações (García-Catalán & Álamo, 2006)



Figura 12 Infraescavação nas fundações (García-Catalán & Álamo, 2006)

### 3.1.6 Anomalias de Durabilidade



Figura 13 Manchas negras (García-Catalán & Álamo, 2006)



Figura 14 Alveolização (García-Catalán & Álamo, 2006)

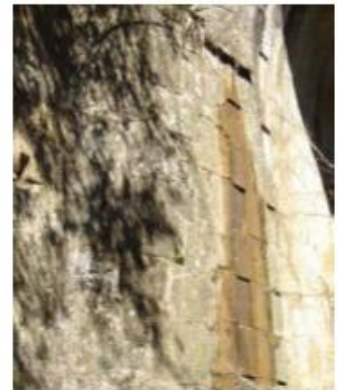


Vegetação de pequeno e médio porte

Figura 15 Vegetação de pequeno e médio porte (Costa, 2009)

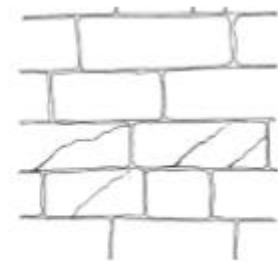
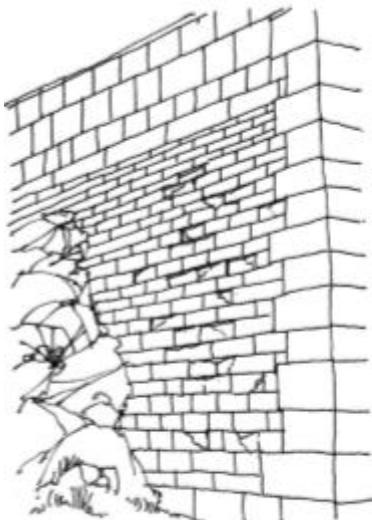


a) Presença de humidade por capilaridade



b) Escorrência de água nos paramentos da alvenaria

Figura 16 Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água (Costa, 2009)



Delaminação

Figura 17 Delaminação (García-Catalán & Álamo, 2006)





Perda de argamassa nas juntas

Figura 18 Perda de argamassa nas juntas (Costa, 2009)



Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias

Figura 19 Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias (García-Catalán & Álamo, 2006)



Eflorescências

Figura 20 Eflorescências (García-Catalán & Álamo, 2006)



Crostas e depósitos superficiais

Figura 21 Crostas e depósitos superficiais (García-Catalán & Álamo, 2006)



Desagregação da pedra

Figura 22 Desagregação da pedra (Rodrigues N. C., 2008) (Costa, 2009)

### 3.2 Determinação da Frequência

Após concluída a primeira fase da metodologia, a identificação dos possíveis eventos que possam surgir nas pontes em arco de alvenaria de pedra, iniciou-se a segunda fase que passou pela construção de um método que permitisse determinar a sua frequência. Uma vez que a probabilidade de ocorrência de uma anomalia varia de estrutura para estrutura, dependendo de diversos fatores, isto é, cada ponte tem características singulares sendo afetadas de diversas formas por diferentes ações, embora sejam construídas de forma geral pelos mesmos princípios e constituídas pelos mesmos elementos. Assim, a determinação da frequência de cada anomalia tem de ser avaliada especificamente para a ponte que esteja a ser analisada e onde será aplicada a metodologia, tal como na metodologia apresentada no subcapítulo 2.4.

Como não foi possível saber em pormenor quais os critérios, assim como a forma de determinação da probabilidade de falha apresentada na metodologia descrita no subcapítulo 2.4, surgiu a necessidade de encontrar uma solução que permitisse determinar a probabilidade

de ocorrência de cada anomalia. Durante os próximos parágrafos será descrita a forma encontrada para avaliar este item que foi adaptada e suportada numa metodologia de inspeção para pontes desenvolvida por Applebury (2011).

Para cada anomalia identificada foi feita uma pesquisa de forma a serem obtidas informações sobre as suas possíveis causas, bem como as anomalias normalmente associadas. A partir das causas, características da envolvente da obra e das anomalias associadas a cada uma das anomalias foram definidos diferentes fatores que respondessem à questão “Quais as informações necessárias para avaliar a partir de que momento uma anomalia se torna um problema?”. Assim, foram definidos dois tipos de fatores:

- Possíveis anomalias associadas;
- Possíveis causas.

Os fatores são pontuados com base na sua importância ou contribuição para o desenvolvimento de cada possível risco associado às pontes em arco de alvenaria de pedra. De forma a diferenciar a importância que cada fator para o desenvolvimento de cada risco foi adotada uma classificação com três escalas (Applebury, 2011), como é mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 Sugestão de classificação para os fatores (Applebury, 2011)

Classificação	Total de Pontos
Alta	20
Média	15
Baixa	10

Na Tabela 9 esta representada a classificação a ser feita para cada um dos fatores, assim para cada fator foi atribuída uma importância relativa que pode ser classificada como “Alta”, “Média” ou “Baixa”. Todos os fatores do tipo “possíveis anomalias associadas” foram avaliados com uma importância relativa “Alta”, quanto aos fatores do tipo “possíveis causas” a sua avaliação foi definida segundo a probabilidade desse fator provocar o risco, assim uma causa muito frequente para o desenvolvimento de uma anomalia é atribuída uma classificação “Alta”, uma causa frequente tem uma classificação “Média” e uma causa menos frequente é classificada como “Baixa”. Tal como se verifica na Tabela 9 para cada classificação está atribuído um total de pontos, para um fator classificado com uma importância relativa “Alta” a pontuação máxima a ser atribuída é igual a 20, os fatores classificados com um importância “Média” recebem no máximo 15 pontos e aos que se classificam com uma importância “Baixa” essa pontuação não ultrapassa os 10 pontos.

Após definida a escala de classificação de cada fator surgiu a necessidade de definir quais as condições para ser atribuído a pontuação máxima e quais os critérios para serem atribuídas outras pontuações que não as máximas, pois cada fator não se manifesta sempre da mesma forma e alguns fatores podem mesmo nem se verificarem em algumas pontes. Essa pontuação a ser atribuída a cada fator pode depender:

- Da intensidade com que cada fator se manifesta;
- Da ocorrência ou não ocorrência de cada fator.

Na Figura 23 é apresentado um exemplo prático de dois diferentes fatores que foram identificados como responsáveis para o desenvolvimento de um determinado risco.

Elemento	Arcos			
Modo de dano	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de fissuras longitudinais		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Degradação dos materiais		Média		
	Materiais constituinte bastante degradados		15	
	Materiais constituinte degradados		10	
	Materiais constituintes em boas condições	0		

Figura 23 Exemplo de fatores que contribuem para um risco

Na Figura 23 tem-se um excerto da tabela de fatores que contribuem para um possível desenvolvimento de uma fendilhação longitudinal no centro da abóbada de um arco. Nesta figura vê-se dois fatores classificados de forma distinta, de seguida será feita a descrição que levou a essa classificação e como poderá ser atribuída a pontuação a cada um dos fatores. Quanto ao fator “Presença de fissuras longitudinais” foi classificado com uma importância relativa “Alta” uma vez que é do tipo “possíveis anomalias associadas”, assim a pontuação máxima a ser atribuída é igual a 20 e dependerá da sua ocorrência ou não ocorrência, neste exemplo específico serão atribuídos 20 pontos caso se verifique fissuras longitudinais no arco, caso não haja presença de fissuras longitudinais no arco serão atribuídos 0 (zero) pontos. Quanto ao fator “Degradação dos materiais” é do tipo “possíveis causas”, assim foi atribuída uma importância relativa “Média” uma vez que foi considerado como uma causa frequente para o desenvolvimento de uma fendilhação longitudinal no centro da abóbada; quanto à pontuação a atribuir essa não poderá ultrapassar os 15 pontos e dependerá da intensidade com que se manifesta, sendo atribuídos 15 pontos se o material constituinte do arco estiver bastante degradado, no caso desse material estiver degradado essa pontuação será de 10 pontos e se estiver em boas condições serão atribuídos 0 (zero) pontos.

Após a avaliação e pontuação atribuída a todos os fatores de um risco, será calculada a probabilidade de ocorrência de cada risco numa escala de 1 a 5 através da seguinte equação:

$$P = \frac{\sum \text{Resultado atribuído a cada fator}}{\sum \text{Pontuação máxima de cada fator}} * 5.$$

Quanto maior o valor obtido, maior é a probabilidade de ocorrência de cada risco ou anomalia, assim para os valores que surjam no intervalo:

- 0 – 1: a anomalia terá uma frequência = 1;
- 1 – 2: frequência = 2;
- 2 – 3: frequência = 3;
- 3 – 4: frequência = 4;
- 4 – 5: frequência = 5.

Na Tabela 10 é feita a descrição correspondente a cada valor da escala utilizada para definir o nível de frequência a atribuir a cada anomalia identificada.

Tabela 10 Escala de classificação das frequências

Frequência de ocorrência	
1	Probabilidade de ocorrência muito rara
2	Probabilidade de ocorrência rara
3	Probabilidade de ocorrer com alguma frequência
4	Probabilidade de ocorrer com frequência
5	Probabilidade de ocorrer com muita frequência

Para uma melhor compreensão da determinação da frequência de uma anomalia será apresentado uma simulação de um exemplo fictício. O procedimento que será a seguir apresentado para um dos possíveis riscos presente na deve ser efetuado para cada um dos restantes riscos aí presentes durante o decorrer da metodologia apresentada. Neste caso, será aplicada a metodologia para a determinação da frequência de um risco para a anomalia “Erosão e Infraescavação” do elemento “Fundações”, os fatores dos restantes riscos podem ser consultados no Anexo I – Lista dos Fatores de Cada Anomalia

Na Figura 24 pode-se observar cada um dos fatores associados à anomalia “Erosão e Infraescavação” do elemento “Fundações” com a sua importância relativa e respetiva pontuação máxima possível a atribuir a cada um dos fatores, bem como as possíveis pontuações a ser atribuídas durante a fase de análise da probabilidade de ocorrência da anomalia a preencher na

coluna “Resultado”. Em relação a esta anomalia, os fatores definidos para a determinação da sua frequência foram:

- Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros;
- Erosão local dos elementos da fundação;
- Presença de depósitos de pedras ou de outro tipo de detritos;
- Presença de fissuras irregulares no maciço da fundação;
- Formação de bancos e/ou ilhas de areia;
- Ocorrência de cheias;
- Deterioração com perda de material ou ausência de proteção das fundações;
- Ocorrência de extração de inertes das margens do rio;
- Estacas à vista nos maciços das fundações;
- Presença de fissuras nos pilares e/ou encontros;
- Sapatas parcialmente visíveis;
- Degradação e apodrecimento das estacas de madeira;
- Histórico de intervenções no leito do rio de modo a proceder ao seu rebaixamento;
- Alteração significativa da secção de vazão ao longo do tempo;
- Alteração do perfil longitudinal do rio com a realização de obras (ex: barragens, canais navegáveis, etc.);
- Passagem de infraestruturas enterradas (ex: canalizações, escavações, etc.);
- Extração de água por meio de furos;
- Presença de reparações nos elementos das fundações.

Para o risco associado à anomalia “Erosão e Infraescavação” do elemento “Fundações” o somatório das pontuações máximas a atribuir a cada fator é igual a 340. De modo a descobrir o valor a atribuir à probabilidade desta anomalia falta agora atribuir os respetivos valores da coluna “Resultado”, deste modo será apresentado de seguida um cenário fictício que servirá somente para demonstração da aplicação da metodologia para a determinação da frequência.

No cenário fictício, foi efetuada uma análise à Ponte Incógnita onde se verificou o seguinte em relação a cada um dos fatores associado à anomalia “Erosão e Infraescavação”:

- Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros – “Não”;
- Erosão local dos elementos da fundação – “Não”;
- Presença de depósitos de pedras ou de outro tipo de detritos – “Não”;
- Presença de fissuras irregulares no maciço da fundação - “Não”;
- Formação de bancos e/ou ilhas de areia - “Sim”;

- Ocorrência de cheias – " É frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte";
- Deterioração com perda de material ou ausência de proteção das fundações – “Não”;
- Ocorrência de extração de inertes das margens do rio – “Sim”;
- Estacas à vista nos maciços das fundações – “Não”;
- Presença de fissuras nos pilares e/ou encontros – “Não”;
- Sapatas parcialmente visíveis – “Não”;
- Degradação e apodrecimento das estacas de madeira – “Não”;
- Histórico de intervenções no leito do rio de modo a proceder ao seu rebaixamento – “Sim”;
- Alteração significativa da secção de vazão ao longo do tempo “Não”;
- Alteração do perfil longitudinal do rio com a realização de obras (ex: barragens, canais navegáveis, etc.) “Sim”;
- Passagem de infraestruturas enterradas (ex: canalizações, escavações, etc.) – “Sim”;
- Extração de água por meio de furos – “Sim”;
- Presença de reparações nos elementos das fundações – “Não”.

Após a verificação de todos os fatores procede-se à atribuição dos seus resultados. Na Figura 25 abaixo apresentada é mostrada coluna “Resultados” preenchida após a avaliação de todos os fatores associados à anomalia “Erosão e Infraescavação” das fundações. Neste caso fictício, o nível da probabilidade de ocorrência teve um valor igual a 3.16, que corresponde a uma frequência igual a 3.

Elemento	Fundações			
Modo de dano	Erosão e Infraescavação			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Erosão local dos elementos da fundação		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Presença de depósitos de pedras ou de outro tipo de detritos		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Presença de fissuras irregulares no maciço da fundação		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Formação de bancos e/ou ilhas de areia		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Ocorrência de cheias		Alta		
	É muito frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte causando prejuízos		20	
	É frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte		15	
	Sem conhecimento de cheias		0	
Deterioração com perda de material ou ausência de proteção das fundações		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Ocorrência de extração de inertes das margens do rio		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Estacas à vista nos maciços das fundações		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Presença de fissuras nos pilares e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Sapatas parcialmente visíveis		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Degradação e apodrecimento das estacas de madeira		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Histórico de intervenções no leito do rio de modo a proceder ao seu rebaixamento		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Alteração significativa da secção de vazão ao longo do tempo		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Alteração do perfil longitudinal do rio com a realização de obras (ex: barragens, canais navegáveis, etc.)		Médio		
	Sim		15	
	Não		0	
Passagem de infraestruturas enterradas (ex: canalizações, escavações, etc.)		Médio		
	Sim		15	
	Não		0	
Extração de água por meio de furos		Médio		
	Sim		15	
	Não		0	
Presença de reparações nos elementos das fundações		Médio		
	Sim		15	
	Não		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				0

Figura 24 Fatores de influência da anomalia "Erosão e Infraescavação" do elemento "Fundações" e a respetiva importância relativa de cada um



Elemento	Fundações			
Modo de dano	Erosão e Infraescavação			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Erosão local dos elementos da fundação		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de depósitos de pedras ou de outro tipo de detritos		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras irregulares no maciço da fundação		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Formação de bancos e/ou ilhas de areia		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Ocorrência de cheias		Alta		
	É muito frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte causando prejuízos		20	
	É frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte		15	15
	Sem conhecimento de cheias		0	
Deterioração com perda de material ou ausência de proteção das fundações		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Ocorrência de extração de inertes das margens do rio		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Estacas à vista nos maciços das fundações		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras nos pilares e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Sapatas parcialmente visíveis		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Degradação e apodrecimento das estacas de madeira		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Histórico de intervenções no leito do rio de modo a proceder ao seu rebaixamento		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Alteração significativa da secção de vazão ao longo do tempo		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Alteração do perfil longitudinal do rio com a realização de obras (ex: barragens, canais navegáveis, etc.)		Médio		
	Sim		15	15
	Não		0	
Passagem de infraestruturas enterradas (ex: canalizações, escavações, etc.)		Médio		
	Sim		15	15
	Não		0	
Extração de água por meio de furos		Médio		
	Sim		15	15
	Não		0	
Presença de reparações nos elementos das fundações		Médio		
	Sim		15	
	Não		0	0
Nível da probabilidade de ocorrência				3,16

Figura 25 Probabilidade de ocorrência de "Erosão e Infraescavação" da Ponte Incógnita (caso fictício)

### 3.3 Determinação das consequências

Após realizada a identificação das anomalias das pontes em arco de alvenaria de pedra e a determinação da frequência de uma anomalia, efetuou-se a terceira fase da metodologia correspondente à determinação das consequências de cada evento. Para determinar a consequência foi utilizado um método semi-quantitativo através da utilização de uma escala de classificação numérica que varia de 1 a 5, com a descrição do significado para cada um dos valores da escala. Essa escala pretende expressar o impacto que cada risco ou anomalia poderá provocar supondo uma situação ou circunstância de um evento particular ocorrer. A avaliação das consequências de cada anomalia teve como critério principal o impacto estrutural que cada anomalia tem caso ocorra.

Na Tabela 11 é feita a descrição correspondente a cada valor da escala utilizada para definir o nível de consequência a atribuir a cada anomalia identificada. A descrição baseou-se no impacto estrutural que cada anomalia provocará em caso de ocorrência e teve como referência o trabalho desenvolvido por (García-Catalán & Álamo, 2006).

Tabela 11 Escala de classificação das consequências

Consequências	
1	Afeta a durabilidade e a aparência da alvenaria, mas não a integridade estrutural da ponte
2	Afeta a durabilidade e a aparência da alvenaria, sendo que não afetará a integridade estrutural imediatamente
3	Afeta a durabilidade e não tem efeito imediato sobre a integridade estrutural, no entanto é um sinal que pode resultar em anomalias sérias. Afeta o comportamento resistente da ponte e quando ocorre em simultâneo com fissuras não estabilizadas na superestrutura nos pilares ou arcos há um alto risco de colapso
4	Afeta a integridade estrutural da ponte num curto espaço de tempo se a anomalia não for estabilizada. Afeta a durabilidade e é um sinal de problemas que pode resultar em anomalias sérias ou no colapso estrutural
5	É um sinal eminente de colapso estrutural

Na Tabela 12 e na Tabela 13 são apresentadas as consequências estruturais das anomalias que podem ocorrer nas pontes em arco de alvenaria, após a descrição das consequências estruturais de cada anomalia foi atribuído o nível de consequência de cada anomalia segundo a Tabela 11. O nível da consequência atribuído a cada anomalia está apresentado na Tabela 14.

Tabela 12 Consequência estrutural das anomalias estruturais (García-Catalán & Álamo, 2006)

Elemento	Anomalia	Importância Estrutural
Fundações	Infra-escavação e erosão	Afeta a integridade estrutural da ponte num curto espaço de tempo se o dano não for estabilizado. É um sinal de problemas que pode resultar em danos sérios ou no colapso estrutural
	Perda dos elementos de proteção	Afeta a durabilidade e não tem efeito imediato sobre a integridade estrutural, no entanto é um sinal que pode resultar em danos sérios
Arco	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	Afeta a integridade estrutural da ponte num curto espaço de tempo se o dano não for estabilizado. É um sinal de problemas que pode resultar em danos sérios ou no colapso estrutural
	Fendilhação longitudinal entre os tímpanos e o arco	Afeta o comportamento resistente da ponte e quando ocorre em simultâneo com fissuras não estabilizadas na superestrutura nos pilares ou arcos há um alto risco de colapso
	Fendilhação diagonal	Afeta a integridade estrutural da ponte num curto espaço de tempo se o dano não for estabilizado. É um sinal de problemas que pode resultar em danos sérios ou no colapso estrutural
	Perda ou deslocamento do material constituinte	É um sinal eminente de colapso estrutural
	Fissuração transversal no arco-mecanismo 3 rótulas	Afeta a integridade estrutural da ponte num curto espaço de tempo se o dano não for estabilizado. É um sinal de problemas que pode resultar em danos sérios ou no colapso estrutural
	Fissuração transversal no arco-mecanismo 4 rótulas	É um sinal eminente de colapso estrutural
	Fissuração transversal no arco-mecanismo cisalhamento	É um sinal eminente de colapso estrutural
	Fissuração transversal no arco-mecanismo 7 rótulas	É um sinal eminente de colapso estrutural
Pilares	Fendilhação vertical	Afeta a integridade estrutural da ponte num curto espaço de tempo se o dano não for estabilizado. É um sinal de problemas que pode resultar em danos sérios ou no colapso estrutural
	Fendilhação em escada	Afeta a integridade estrutural da ponte num curto espaço de tempo se o dano não for estabilizado. É um sinal de problemas que pode resultar em danos sérios ou no colapso estrutural
	Fendilhação na separação entre talha-mares e pilares	Afeta a durabilidade e a aparência da alvenaria, sendo que não afetará a integridade estrutural imediatamente
Encontros	Fendilhação horizontal	Afeta a integridade estrutural da ponte num curto espaço de tempo se o dano não for estabilizado. É um sinal de problemas que pode resultar em danos sérios ou no colapso estrutural
	Fendilhação vertical	Afeta a integridade estrutural da ponte num curto espaço de tempo se o dano não for estabilizado. É um sinal de problemas que pode resultar em danos sérios ou no colapso estrutural
Encontros e Muros de ala	Fendilhação vertical entre o encontro e o muro de ala	Afeta a durabilidade e a aparência da alvenaria, sendo que não afetará a integridade estrutural imediatamente
Muros de ala e de avenida	Rotação e empolamento	Afeta a integridade estrutural da ponte num curto espaço de tempo se o dano não for estabilizado. É um sinal de problemas que pode resultar em danos sérios ou no colapso estrutural
	Fendilhação em escada	Afeta a integridade estrutural da ponte num curto espaço de tempo se o dano não for estabilizado. É um sinal de problemas que pode resultar em danos sérios ou no colapso estrutural
Tímpanos	Empolamento	Afeta a integridade estrutural da ponte num curto espaço de tempo se o dano não for estabilizado. É um sinal de problemas que pode resultar em danos sérios ou no colapso estrutural
	Deslizamento	Afeta a integridade estrutural da ponte num curto espaço de tempo se o dano não for estabilizado. É um sinal de problemas que pode resultar em danos sérios ou no colapso estrutural
	Rotação	Afeta a integridade estrutural da ponte num curto espaço de tempo se o dano não for estabilizado. É um sinal de problemas que pode resultar em danos sérios ou no colapso estrutural
	Fendilhação em escada	Afeta o comportamento resistente da ponte e quando ocorre em simultâneo com fissuras não estabilizadas na superestrutura nos arcos há um alto risco de colapso

Tabela 13 Consequência estrutural das anomalias de durabilidade (García-Catalán & Álamo, 2006)

Anomalia	Importância Estrutural
Manchas negras	Afeta a durabilidade e a aparência da alvenaria, sendo que não afetará a integridade estrutural imediatamente
Alveolização	Afeta a durabilidade e não tem efeito imediato sobre a integridade estrutural, no entanto é um sinal que pode resultar em danos sérios.
Desenvolvimento de vegetação de médio e grande porte	Afeta a durabilidade e não tem efeito imediato sobre a integridade estrutural, no entanto é um sinal que pode resultar em danos sérios.
Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Afeta a durabilidade e a aparência da alvenaria, mas não a integridade estrutural da ponte
Delaminação	Afeta a durabilidade e a aparência da alvenaria, sendo que não afetará a integridade estrutural imediatamente
Perda de argamassa nas juntas e de pedras na alvenaria	Afeta o comportamento resistente da ponte e quando ocorre em simultâneo com fissuras não estabilizadas na superestrutura nos pilares ou arcos há um alto risco de colapso
Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias	Afeta o comportamento resistente da ponte e quando ocorre em simultâneo com fissuras não estabilizadas na superestrutura nos pilares ou arcos há um alto risco de colapso
Poluição Biológica	Afeta a durabilidade e a aparência da alvenaria, mas não a integridade estrutural da ponte
Eflorescências	Afeta a durabilidade e a aparência da alvenaria, sendo que não afetará a integridade estrutural imediatamente
Crostas e sedimentos superficiais	Afeta a durabilidade e a aparência da alvenaria, mas não a integridade estrutural da ponte
Desagregação da pedra	Afeta a durabilidade e a aparência da alvenaria, sendo que não afetará a integridade estrutural imediatamente

Tabela 14 Nível de consequência de cada anomalia identificada

Elemento	Anomalia	Nível da Consequência
Fundações	Infra-escavação e erosão	4
	Perda dos elementos de proteção	3
Arco	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	4
	Fendilhação longitudinal entre os tímpanos e o arco	3
	Fendilhação diagonal	4
	Perda ou deslocamento do material constituinte	5
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 3 rótulas	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 4 rótulas	5
	Fissuração transversal no arco - mecanismo cisalhamento	5
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 7 rótulas	5
Pilares	Fendilhação vertical	4
	Fendilhação em escada	4
	Fendilhação na separação entre talha-mares e pilares	2
Encontros	Fendilhação horizontal	4
	Fendilhação vertical	4
Encontros e Muros de ala	Fendilhação vertical entre o encontro e o muro de ala	2
Muros de ala e de avenida	Rotação e empolamento	4
	Fendilhação em escada	4
Tímpanos	Empolamento	4
	Deslizamento	4
	Rotação	4
	Fendilhação em escada	3
Danos de durabilidade	Manchas negras	2
	Alveolização	3
	Desenvolvimento de vegetação de médio e grande porte	3
	Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	1
	Delaminação	2
	Perda de argamassa nas juntas e de pedras nas alvenaria	3
	Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias	3
	Poluição Biológica	1
	Eflorescências	2
	Crostas e sedimentos superficiais	1
	Desagregação da pedra	2
Enchimento	Presença de água	3
Sistema de drenagem	Obstrução do sistema de drenagem	1
Revestimento da via	Deterioração do pavimento	2
Guarda-corpos	Anomalias	1
Passaios	Existência de detritos e vegetação	1
Talha-Mares e talhantes	Falta de pedras constituintes	2
Estrutura Global	Danos sísmicos	4

### 3.4 Avaliação dos Riscos

Depois de identificados os riscos, de desenvolvida a metodologia para a determinação da frequência e a consequência de cada anomalia é necessário efetuar a avaliação dos riscos, isto é atribuir um nível de risco a cada uma das anomalias.

Para determinar o nível de risco de cada anomalia foi construída uma matriz de risco que correlaciona a frequência com a consequência de cada anomalia representada na Figura 26. Como a frequência de uma anomalia pode alterar de ponte para ponte vai ser utilizado o caso fictício apresentado no subcapítulo 3.2 para melhor compreensão de como se pretende que seja realizada a avaliação de uma anomalia.

Frequência	Consequências				
	1	2	3	4	5
5	Nível 3	Nível 4	Nível 4	Nível 5	Nível 5
4	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 4	Nível 5
3	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 4
2	Nível 1	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
1	Nível 1	Nível 1	Nível 1	Nível 2	Nível 3

Figura 26 Matriz de risco adaptada de (ISO 31000, 2009)

Durante o subcapítulo 3.2 foi determinado para o caso fictício da Ponte Incógnita a frequência de ocorrência igual a 3 na anomalia “Erosão e Infraescavação” do elemento “Fundações”. Durante o subcapítulo 3.3 foi atribuído o nível 4 para a consequência dessa anomalia, assim correlacionando a frequência com a consequência da anomalia é obtido um risco de nível 3 para este caso fictício como se pode verificar na Figura 27.

Frequência	Consequências				
	1	2	3	4	5
5	Nível 3	Nível 4	Nível 4	Nível 5	Nível 5
4	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 4	Nível 5
3	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 4
2	Nível 1	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
1	Nível 1	Nível 1	Nível 1	Nível 2	Nível 3

Figura 27 Obtenção do nível de risco do caso fictício

Após a obtenção do nível 4 para este caso, o estado de condição das fundações é igual a 4. Assim, fica definido que o estado de condição de cada elemento nunca poderá ser inferior ao nível de risco mais alto obtido por cada uma das anomalias possíveis de ocorrer em cada elemento.

## **4. CASO DE ESTUDO – PONTE DO PRADO**

No presente capítulo apresenta-se um caso de estudo, a Ponte do Prado sobre o rio Cávado, retirado da dissertação de mestrado da Engenheira Neuza Rodrigues (Rodrigues N. C., 2008), onde será aplicada a metodologia da inspeção baseada no risco para pontes em alvenaria de pedra, descrita no capítulo anterior, para posterior comparação entre os resultados do estado de condição dos elementos da ponte (e da ponte) obtidos na metodologia apresentada e na metodologia descrita nas especificações técnicas das Estradas de Portugal (Estradas de Portugal, 2011).

Deste modo, a partir do levantamento de pormenor, da inspeção principal, da inspeção subaquática, da compilação de todas as anomalias detetadas na ponte em estudo, nas propostas de algumas intervenções tanto a nível de manutenção como de reabilitação e reforço da obra apresentada na dissertação (Rodrigues N. C., 2008) serão recolhidas as informações necessárias para a aplicação tanto da metodologia baseada no risco como da metodologia tradicional utilizada pelas Estradas de Portugal.

### **4.1 Descrição da Ponte do Prado sobre o rio Cávado**

A Ponte do Prado situa-se no km 59+250 da EN201, no concelho de Vila Verde, distrito de Braga e constitui um atravessamento do rio Cávado. O seu perfil transversal atual é reduzido tendo em conta as suas exigências rodoviárias. Sendo uma ponte classificada, esse perfil não poderá ser alargado sendo o conforto rodoviário e a sua segurança estrutural garantidos da melhor forma possível, tendo em conta as exigências atuais. A travessia sobre a ponte é realizada “à vez”, por meio de sinalização por semáforos, e a velocidade de circulação sobre a ponte está limitada a 30 km/h, sendo o trânsito de pesados interdito, apesar do tráfego rodoviário ser relativamente intenso, uma vez que se encontra à entrada da Vila do Prado (Rodrigues N. C., 2008).

Esta travessia sobre o rio Cávado pressupõe-se que remonta ao período romano encontrando-se implantada no traçado da antiga via romana que ligava Braga a Astorga, uma vez que junto da Ponte do Prado (em Rubiães) existem dois marcos miliários do tempo de Augusto (anteriores à nossa era). Porém, a existência dessa ponte apenas é dada como certa no ano de 1176. A Ponte do Prado sobre o rio Cávado atual remonta ao período Filipino e é uma obra típica de arquitetura civil pública da época medieval, substituindo uma antiga ponte medieval que existia no mesmo local e que acabou destruída por uma grande cheia no Cávado em 1510, tornando-se então num

dos mais importantes pontos de passagem na geografia medieval de Entre-o-Douro e Minho, e classificada como Monumento Nacional em 1910 (Decreto de 16 de Junho de 1910, D.F. de 23 de Julho). A sua inauguração foi em 1616 em pleno contexto Filipino, segundo o projeto de António de Castro.

Na Figura 28 é apresentada uma imagem da vista geral da Ponte do Prado, onde se observam os 9 arcos da ponte, com um comprimento que varia entre os 7.15 e os 17.00 metros, apresentando tamanhos crescentes no sentido do centro, sendo o arco central o mais comprimido, totalizando um comprimento total da ponte de 202 metros. A largura dos arcos é igual a 5.64 metros, sendo estes desiguais entre si, uns têm uma forma ogival e outros são redondos. Considerando-se o arco 1 o mais à esquerda apresentado na Figura 28, o comprimento de cada arco da esquerda para a direita é o seguinte: 7.15m, 11.15m, 13.40m, 16.50m, 17.00m, 16.70m, 15.50m, 12.40m, 8.20m. A altura do coroamento de cada arco até à sua base é, também, variável, atingindo um mínimo de 3.90 metros e um máximo de 10.00 metros, não sendo diretamente proporcional aos seus vãos.



Figura 28 Vista geral da ponte do Prado

O tabuleiro é sinuoso e tem um perfil longitudinal em forma de cavalete com o ponto máximo de cota a situar-se sensivelmente a meio da ponte. Encontra-se assente em nove arcos, constituídos por muros de tímpanos, que suportam o aterro de enchimento sobre o qual está a estrada, apoiando-se em pilares dotados de talha-mares com uma configuração triangular a montante e trapezoidal a jusante, rematado nas extremidades por encontros em cofre.

O pavimento da faixa de rodagem é constituído por paralelepípedos de granito, existindo pinos metálicos com uma altura a rondar os 30 centímetros de altura e afastados entre si cerca de 1.50 metros, com o objetivo de delimitar a largura para a circulação rodoviária e de proteção dos passeios. Os guarda-corpos da ponte são em ferro e a drenagem do tabuleiro é realizada por intermédio de sumidouros junto aos passeios, que terminam em pingadeiras de pedra (Rodrigues N. C., 2008).



## **4.2 Intervenções Anteriores**

A ponte foi alvo de algumas intervenções ao longo dos anos, realizadas em 1710, 1963, 1976 e 1992. Relativamente à reabilitação efetuada em 1710, um século após a sua inauguração, sabe-se que consistiu numa intervenção de restauro. Pressupõe-se assim que existiu uma pequena deficiência no projeto original, no entanto não há conhecimento dos detalhes dessa intervenção. As principais obras de reabilitação foram efetuadas no século XX devido às iminentes ameaças de ruína provocadas pelo tráfego intenso a que durante muitos anos a ponte foi sujeita.

No ano de 1963 os trabalhos realizados consistiram principalmente no refechamento de juntas, arranjo do passeio, reparação do passeio, arranjo de um pegão em ruínas, pintura geral das guardas metálicas e substituição de gatos apodrecidos.

Durante o ano de 1976 foi detetada uma cavidade no interior da ponte que podia levar à derrocada da obra de arte e, para fazer face a esse problema, foi realizado o enchimento da cavidade com betão, assim como de outras duas cavidades localizadas nas fundações dos pilares.

A intervenção realizada em 1992 teve em conta uma vistoria feita em 1979 e as principais anomalias detetadas foram a falta de pedras na aduela exterior do arco, e uma degradação avançada dos gatos de ferro, que tinham sido colocados em trabalhos anteriores, e que sustentavam a estrutura de alguma forma. Devido a este problema foi proposta uma análise mais cuidada, acabando por ser feita uma outra intervenção que consistiu no preenchimento de vazios existentes com betão, enchimento dos cofres e tímpanos dos pilares e colocação dos tirantes transversais, sendo o conhecimento desta intervenção baseada em relatos orais.

Além destas três grandes intervenções abordadas anteriormente, foram realizadas outras de menor notabilidade como em 1977 com a colocação de cabos de comunicação suspensos através de grampos, e em 1974 onde foi colocado no interior do tabuleiro da ponte do Prado um cabo coaxial (Rodrigues N. C., 2008).

## **4.3 Levantamento de Pormenor**

Como na grande maioria dos casos, não existe um projeto original das pontes em arco de alvenaria de pedra, sendo necessário realizar uma inspeção visual da obra que se inicia com um levantamento geométrico. Nos casos em que já exista um levantamento geométrico disponível de projetos de intervenções anteriores, quando se inicia um novo processo de intervenção deve ser feito novamente esse levantamento com o objetivo de confirmar os dados recolhidos

disponíveis. Neste caso, são apresentadas algumas representações esquemáticas e fotografias das várias vistas da ponte, sendo apresentadas nas Figura 29-Figura 34.

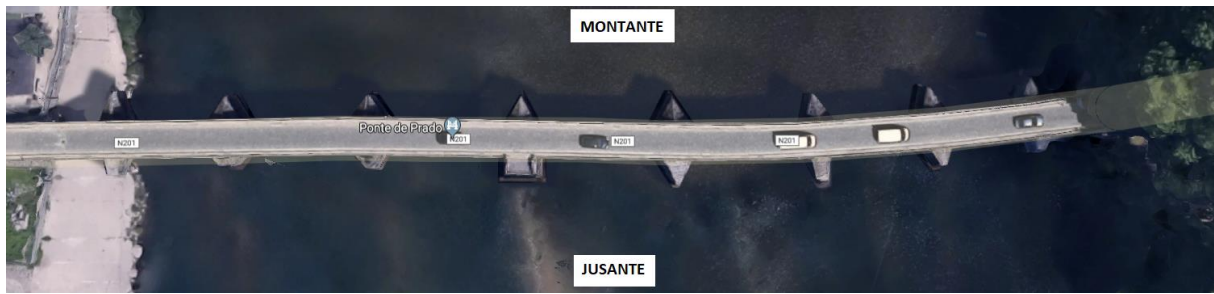


Figura 29 Representação esquemática da vista aérea da Ponte - planta



Figura 30 Representação esquemática montante da ponte



Figura 31 Vista jusante da ponte



Figura 32 Vista jusante da Ponte do Prado - Identificação dos Arcos



Figura 33 Representação esquemática jusante da Ponte do Prado - Identificação dos Pilares



Figura 34 Vista montante parcial da ponte

#### 4.4 Inspeção Principal

De forma a avaliar o estado de condição da obra de arte no geral e em particular de cada um dos seus elementos, foi realizada uma observação minuciosa à ponte e registadas as condições de funcionamento (e dos seus componentes) para detetar quaisquer anomalias não visíveis em inspeções anteriores. Após efetuada a inspeção principal à obra de arte, foram registadas as seguintes anomalias (Rodrigues N. C., 2008):

- Fendas na ligação entre os talha-mares e os pilares, e juntas abertas nos talha-mares, sendo as suas possíveis causas a ação erosiva das águas do rio, especialmente em regime de cheias com transporte de elementos sólidos, falta de manutenção e deslocamento relativo das fundações dos talha-mares/pilares;
- Buraco no talha-mar de montante do pilar P4, provavelmente, por razões idênticas às enunciadas anteriormente;
- Em geral, escorrências e passagem de água através das pedras dos arcos, possivelmente devido a uma permeabilidade excessiva do revestimento do pavimento e a um sistema de drenagem ineficiente, permitindo a circulação de água no interior dos tímpanos como se pode observar na Figura 35;



Figura 35 Escorrências generalizadas nos arcos

- Fendas e pedras partidas no intradorso dos arcos 3, 4, 5, 6, 7 e 8, pelas mesmas razões enunciadas anteriormente, e ao efeito dinâmico do tráfego rodoviário;
- Pedras partidas na extremidade de montante do talha-mar do pilar P8, possivelmente devido a embate de veículos ou excesso de carga transversal resultante do impulso de terras do pavimento adjacente;
- Oxidação nos gatos de aço nos arcos 3 e 4, devido à falta de manutenção;
- Gatos de aço partidos no arco 4, possivelmente devido à redução da capacidade de carga resultante da elevada corrosão que apresentam;
- Tímpano destacado no arco 7, possivelmente devido à circulação de água no interior dos tímpanos e excesso de vegetação;
- Pedras partidas e deslocadas no miradouro, provavelmente causado pelo assentamento da base de fundação do talha-mar;
- Guarda corpos deteriorado por falta de manutenção;
- Falta de argamassa nas juntas do lajeado dos passeios por falta de manutenção;
- Falta de preenchimento nas juntas entre os paralelepípedos no pavimento por falta de manutenção;
- Cachorros e pedras da extremidade dos passeios degradados, devido a excesso de vegetação, falta de preenchimento das juntas de argamassa e deficiente drenagem;
- Placas de ancoragem a descoberto no arco 9, possivelmente devido à deficiente fixação do elemento de proteção;
- Irregularidade no alinhamento longitudinal do passeio e guarda corpos, devido a deformações localizadas na parte superior dos arcos;
- Bueiros obstruídos, por falta de manutenção;
- Guarda corpos oxidados e desalinhados devido à falta de manutenção;

- Crescimento abundante de vegetação e musgo generalizado em todos os elementos da obra devido à falta de manutenção. Na Figura 36 é apresentada um exemplo encontrado desse problema.



Figura 36 Vegetação infestante generalizada

- Deficiente limpeza do rio, com acumulação de troncos e ramos junto dos talha-mares., na Figura 37 é possível ver a acumulação de alguns detritos junto a uma das margens do rio.



Figura 37 Acumulação de detritos numa das margens do rio

## 4.5 Inspeção Subaquática

De modo a aferir com maior pormenor o estado de condição dos elementos submersos da ponte do Prado, assim como as características da sua zona envolvente, foi realizada uma inspeção

subaquática a esta obra de arte, sendo as principais anomalias detetadas as seguintes (Rodrigues N. C., 2008):

- Falta de enrocamento em volta do pilar P4, nomeadamente no lado de montante e existência de uma fissura;
- Existência de muitas juntas abertas e/ou desguarnecidas no pilar P8;
- Existência de duas cavidades no pilar P5, na zona de contacto da face voltada a Sul, tendo a primeira 1.50m de largura por 0.70m de altura e 1.00m de profundidade, e a segunda 1.00m de largura por 0.70m de altura e 0.70m de profundidade;
- Existência de uma cavidade no pilar P7, no lado de montante da face voltada a Norte com 1.50m de largura por 1.00m de altura e 1.50m de profundidade;
- Existência de uma pequena cavidade nos pilares P3 e P6;
- O leito revela fundos relativamente planos, com profundidades entre 1.30m no arco 2 e 3, 6.00m no arco 5, apresentando uma certa erosão, que se revela nas patologias descritas para o pilar P5 e P7.

#### **4.6 Aplicação do Método da IP**

Após a apresentação do caso de estudo e das anomalias identificadas durante a inspeção principal e subaquática, é necessário fazer a avaliação do estado de condição da obra de arte quer pela metodologia utilizada pela IP assente nas Especificações Técnicas das (Estradas de Portugal, 2011), apresentada no capítulo 2.3, quer pela metodologia de inspeção baseada no risco, apresentada no capítulo 3, de forma a poder comparar os resultados de cada um dos métodos.

Tendo como base as anomalias registadas e a sua descrição quer pela inspeção principal, quer pela inspeção subaquática, apresentadas, respetivamente, nos capítulos 4.4 e 4.5, foi realizada a correspondência com as anomalias apresentadas durante o capítulo 3.1, e dessa forma foram elaboradas as Tabela 15, Tabela 16 e Tabela 17.

Tabela 15 Anomalias dos Pilares da Ponte do Prado

Elemento	Número	Anomalia	Tipo
Pilares/Apoios Intermediários	1	Fendilhação na separação entre talha-mar e pilar	Estrutural
		Poluição Biológica	Durabilidade
	2	Infraescavação	Estrutural
		Fendilhação na separação entre talha-mar e pilar	Estrutural
		Poluição Biológica	Durabilidade
	3	Infraescavação	Estrutural
		Fendilhação na separação entre talha-mar e pilar	Estrutural
		Perda de argamassa nas juntas e de pedras nas alvenaria	Durabilidade
		Poluição Biológica	Durabilidade
	4	Fendilhação Vertical	Estrutural
		Fendilhação na separação entre talha-mar e pilar	Estrutural
		Perda dos elementos de proteção	Estrutural
		Falta de pedras constituintes no talha-mar	Estrutural
		Poluição Biológica	Durabilidade
	5	Fendilhação na separação entre talha-mar e pilar	Estrutural
		Infraescavação e erosão	Estrutural
		Perda de argamassa nas juntas e de pedras nas alvenaria	Durabilidade
		Poluição Biológica	Durabilidade
	6	Fendilhação na separação entre talha-mar e pilar	Estrutural
		Perda de argamassa nas juntas e de pedras nas alvenaria	Durabilidade
		Poluição Biológica	Durabilidade
	7	Fendilhação na separação entre talha-mar e pilar	Estrutural
		Erosão na base	Durabilidade
		Perda de argamassa nas juntas e de pedras nas alvenaria	Durabilidade
		Poluição Biológica	Durabilidade
	8	Falta de pedras constituintes no talha-mar	Estrutural
		Fendilhação na separação entre talha-mar e pilar	Estrutural
		Poluição Biológica	Durabilidade

Tabela 16 Anomalias dos Arcos da Ponte do Prado

Elemento	Número	Anomalia	Tipo
Arcos/Tabuleiro	1	Poluição Biológica	Durabilidade
		Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Durabilidade
	2	Poluição Biológica	Durabilidade
		Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Durabilidade
	3	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	Estrutural
		Perda ou deslocamento do material constituinte	Estrutural
		Poluição Biológica	Durabilidade
		Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Durabilidade
	4	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	Estrutural
		Perda ou deslocamento do material constituinte	Estrutural
		Poluição Biológica	Durabilidade
		Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Durabilidade
	5	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	Estrutural
		Perda ou deslocamento do material constituinte	Durabilidade
		Poluição Biológica	Durabilidade
		Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Durabilidade
	6	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	Estrutural
		Perda ou deslocamento do material constituinte	Estrutural
		Poluição Biológica	Durabilidade
		Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Durabilidade
	7	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	Estrutural
		Perda ou deslocamento do material constituinte	Estrutural
		Fendilhação longitudinal entre o tímpano e o arco	Estrutural
		Poluição Biológica	Durabilidade
		Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Durabilidade
	8	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	Estrutural
		Perda ou deslocamento do material constituinte	Estrutural
		Perda de argamassa nas juntas e de pedras nas alvenaria	Durabilidade
		Poluição Biológica	Durabilidade
		Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Durabilidade
9	Poluição Biológica	Durabilidade	
	Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Durabilidade	

Tabela 17 Anomalias Funcionais da Ponte do Prado

Elemento	Número	Anomalia	Tipo
Guarda-corpos	Geral	Anomalias	Funcional
Passeio	Geral	Existência de detritos e vegetação	Funcional
Revestimento da via	Geral	Deterioração do pavimento	Funcional
Sistema de drenagem	Geral	Obstrução do sistema de drenagem	Funcional

Após a realização das tabelas acima apresentadas, foi avaliado o estado de condição de cada elemento tendo em conta as informações obtidas na dissertação de mestrado de (Rodrigues N.



C., 2008) e as especificações técnicas das Estradas de Portugal (Estradas de Portugal, 2011). Deste modo, os resultados obtidos são apresentados nas Tabela 18 Tabela 19 e Tabela 20.

Tabela 18 Avaliação das anomalias dos pilares da Ponte do Prado

Elemento	Número	Anomalia	Tipo	Caraterização do dano			Função do componente	Consequência do dano
				Natureza	Estado de desenvolvimento	Extensão do dano		
Pilares/Apoios Intermediários	1	Fendilhação na separação entre talha-mar e pilar	Estrutural	0	1	1	0	0
		Poluição Biológica	Durabilidade	0	1	1		
	2	Infraescavação	Estrutural	1	1	0	1	1
		Fendilhação na separação entre talha-mar e pilar	Estrutural	0	1	1		
	3	Poluição Biológica	Durabilidade	0	1	1	1	1
		Infraescavação	Estrutural	1	1	0		
	4	Fendilhação na separação entre talha-mar e pilar	Estrutural	0	1	1	0	1
		Perda de argamassa nas juntas e de pedras nas alvenaria	Durabilidade	1	1	0		
	5	Poluição Biológica	Durabilidade	0	1	1	1	1
		Fendilhação Vertical	Estrutural	1	1	0		
	6	Fendilhação na separação entre talha-mar e pilar	Estrutural	0	1	1	0	1
		Perda dos elementos de proteção	Estrutural	1	1	0		
	7	Falta de pedras constituintes no talha-mar	Estrutural	0	1	0	1	1
		Poluição Biológica	Durabilidade	0	1	1		
	8	Fendilhação na separação entre talha-mar e pilar	Estrutural	0	1	1	0	1
		Poluição Biológica	Durabilidade	0	1	1		

Tabela 19 Avaliação das anomalias dos arcos da Ponte do Prado

Elemento	Número	Anomalia	Tipo	Caraterização do dano			Função do componente	Consequência do dano
				Natureza	Estado de desenvolvimento	Extensão do dano		
Arcos/Tabuleiro	1	Poluição Biológica	Durabilidade	0	1	1	0	1
		Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Durabilidade	0	1	1		
	2	Poluição Biológica	Durabilidade	0	1	1	0	1
		Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Durabilidade	0	1	1		
	3	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	Estrutural	1	1	1	1	1
		Perda ou deslocamento do material constituinte	Estrutural	1	1	1		
	4	Poluição Biológica	Durabilidade	0	1	1	1	1
		Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Durabilidade	0	1	1		
	5	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	Estrutural	1	1	1	1	1
		Perda ou deslocamento do material constituinte	Durabilidade	1	1	1		
	6	Poluição Biológica	Durabilidade	0	1	1	1	1
		Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Durabilidade	0	1	1		
	7	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	Estrutural	1	1	1	1	1
		Perda ou deslocamento do material constituinte	Estrutural	1	1	1		
	8	Fendilhação longitudinal entre o tímpano e o arco	Estrutural	1	1	0	1	1
		Poluição Biológica	Durabilidade	0	1	1		
	9	Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Durabilidade	0	1	1	1	1
		Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	Estrutural	1	1	1		
	10	Perda ou deslocamento do material constituinte	Estrutural	1	1	1	1	1
		Perda de argamassa nas juntas e de pedras nas alvenaria	Durabilidade	1	1	1		
	11	Poluição Biológica	Durabilidade	0	1	1	0	1
		Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Durabilidade	0	1	1		

Tabela 20 Avaliação das anomalias dos elementos funcionais da Ponte do Prado

Elemento	Número	Anomalia	Tipo	Caraterização do dano			Função do componente	Consequência do dano
				Natureza	Estado de desenvolvimento	Extensão do dano		
Guarda-corpos	Geral	Anomalias	Funcional	0	1	1	1	0
Passoio	Geral	Existência de detritos e vegetação	Funcional	0	1	1	0	0
Revestimento da via	Geral	Deterioração do pavimento	Funcional	0	1	1	0	1
Sistema de drenagem	Geral	Obstrução do sistema de drenagem	Funcional	0	1	1	1	1

Tal como referido nas Especificações Técnicas das (Estradas de Portugal, 2011), foi realizada a avaliação da natureza, do estado de desenvolvimento e da extensão de cada anomalia, assim

como a função do componente afetado pela(s) anomalia(s), e a consequência da(s) anomalia(s) registadas em cada elemento de forma a obter o estado de condição de cada elemento. Os critérios para a avaliação de cada um dos itens referidos tiveram como base a descrição realizada no capítulo 2.3.

Na Tabela 21 é apresentado o resultado atribuído do estado de condição de cada elemento com registo de anomalias durante a inspeção principal e subaquática.

Tabela 21 Estado de Condição dos elementos segundo método da IP

Elemento	Estado de Condição
Pilar 1	2
Pilar 2	4
Pilar 3	4
Pilar 4	3
Pilar 5	5
Pilar 6	3
Pilar 7	5
Pilar 8	3
Arco 1	3
Arco 2	3
Arco 3	5
Arco 4	5
Arco 5	5
Arco 6	5
Arco 7	5
Arco 8	5
Arco 9	3
Guarda-corpos	3
Passeio	2
Revestimento da via	3
Sistema de drenagem	4
Ponte	4

## 4.7 Aplicação do Método Baseado no Risco

Este capítulo mostrará como foi aplicada a metodologia para determinar o nível de frequência, o nível de consequência e os níveis de riscos para a Ponte do Prado. A determinação do estado de condição de cada elemento da ponte foi determinado com base numa matriz de risco, que

está representada na Figura 26. Foi considerado individualmente cada possível risco que possa surgir numa ponte em arco em alvenaria de pedra, apresentados na , com uma frequência e consequência distintos. Após a colocação do nível de frequência e do nível de consequência de cada anomalia na matriz de risco, é determinado o nível de risco de cada uma das anomalias. Após a avaliação do nível de risco de cada uma das anomalias de um elemento é obtido o estado de condição desse elemento, que será igual ao nível de risco mais elevado atribuído a cada uma das anomalias do elemento.

Tal como explicado no capítulo 3 para determinar a frequência de ocorrência de um possível risco foram estabelecidos para cada elemento as possíveis anomalias que possam surgir. Em seguida, foram associados para cada um desses possíveis riscos vários fatores que contribuem para o seu aparecimento e atribuídos valores segundo a sua importância relativa, quanto maior o número de pontos atribuídos maior o nível de frequência. Foram desenvolvidas várias folhas de Excel para este caso de estudo, que podem ser consultadas no Anexo II –Nível de Frequência dos Elementos da Ponte do Prado e no Anexo III – Avaliação do Nível do Risco dos Elementos da Ponte do Prado, de forma a facilitar a realização das várias avaliações de risco. Desta forma, os possíveis riscos e os fatores considerados foram organizados ao longo do lado esquerdo na folha, e no lado direito os valores dos pontos para os vários fatores foram introduzidos. Uma vez inseridos, é calculado de uma forma automática o nível de frequência.

Como o caso de estudo foi retirado de outra dissertação de mestrado realizada em 2008, não foi possível visitar nem ter acesso a fotos da ponte e dos elementos da ponte, bem como a algumas informações aquando da inspeção, de forma a serem preenchidos todos os fatores. Deste modo, a determinação do nível de frequência de todos os elementos foi realizada tendo em conta as informações disponíveis. Alguns dos exemplos da falta de informação de fatores que não foram considerados são a “presença de fissuras reparadas” nos vários elementos que constituem a ponte e a “presença de fissuras nos encontros”, não se verificando um impacto muito significativo no resultado final, um vez que o peso relativo dos fatores em falta na obtenção do resultado final é diminuto.

Nas Tabela 22-Tabela 27 são mostrados exemplos da determinação do nível de frequência de cada elemento que constitui a ponte do Prado. Neste sentido, é apresentado a forma como foi obtido o nível de frequência das anomalias estruturais e de durabilidade para as fundações, um arco, um pilar, um tímpano, os encontros, muros de ala e de avenida.

Tabela 22 Determinação do nível de frequência das fundações

Elemento	Fundações			
Modo de dano	Erosão e Infraescavação			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros	Sim	Alta	20	20
	Não		0	
Erosão local dos elementos da fundação	Sim	Alta	20	20
	Não		0	
Presença de depósitos de pedras ou de outro tipo de detritos	Sim	Alta	20	20
	Não		0	
Presença de fissuras irregulares no maciço da fundação	Sim	Alta	20	0
	Não		0	
Formação de bancos e/ou ilhas de areia	Sim	Alta	20	20
	Não		0	
Ocorrência de cheias	É muito frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgaram a ponte causando prejuízos	Alta	20	15
	É frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte		15	
	Sem conhecimento de cheias		0	
Deterioração com perda de material ou ausência de proteção das fundações	Sim	Alta	20	20
	Não		0	
Ocorrência de extração de inertes das margens do rio	Sim	Alta	20	0
	Não		0	
Estacas à vista nos maciços das fundações	Sim	Alta	20	0
	Não		0	
Presença de fissuras nos pilares e/ou encontros	Sim	Alta	20	20
	Não		0	
Sapatas parcialmente visíveis	Sim	Alta	20	0
	Não		0	
Degradação e apodrecimento das estacas de madeira	Sim	Alta	20	0
	Não		0	
Histórico de intervenções no leito do rio de modo a proceder ao seu rebaixamento	Sim	Alta	20	0
	Não		0	
Alteração significativa da secção de vazão ao longo do tempo	Sim	Alta	20	0
	Não		0	
Alteração do perfil longitudinal do rio com a realização de obras (ex: barragens, canais navegáveis, etc.)	Sim	Médio	15	0
	Não		0	
Passagem de infraestruturas enterradas (ex: canalizações, escavações, etc.)	Sim	Médio	15	0
	Não		0	
Extração de água por meio de furos	Sim	Médio	15	0
	Não		0	
Presença de reparações nos elementos das fundações	Sim	Médio	15	15
	Não		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Tabela 23 Determinação do nível de frequência da fendilhação longitudinal no centro da abóbada do arco 1

Elemento	Arcos			
Modo de dano	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Probabilidade de dano nas fundações		Alta		
	ver ficha "Fundações - Probabilidade"		340	150
Presença de fissuras longitudinais		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras reparadas		Alta		
	Sim			
	Não		0	0
Presença de fissuras nos pilares e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Probabilidade de sobrecarga		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Presença de fissuras diagonais nos arcos		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Falha mecânica na alvenaria do arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Perda ou deslocamento de material do arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Degradação dos materiais		Média		
	Materiais constituinte bastante degradados		15	
	Materiais constituinte degradados		10	
	Materiais constituintes em boas condições		0	0
Circulação de tráfego que provoca cargas assimétricas		Média		
	Sim		15	
	Não		0	0
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Tabela 24 Determinação do nível de frequência da fendilhação vertical no pilar 1

Elemento	Pilares			
Modo de dano	Fendilhação vertical nos pilares			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de fissuras verticais no pilar		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de dano nas fundações		Alta		
	ver ficha "Fundações - Probabilidade"		340	150
Presença de fissuras reparadas		Alta		
	Sim			
	Não		0	0
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras longitudinais e/ou diagonais nos arcos		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras em escada nos pilares		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras nos encontros		Alta		
	Sim			
	Não		0	0
Probabilidade de assentamento diferencial local do pilar		Alta		
	Alta probabilidade		20	
	Baixa probabilidade		5	5
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Tabela 25 Determinação do nível de frequência do empolamento do tímpano do arco 1

Elemento	Tímpanos			
Modo de dano	Empolamento dos tímpanos			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Empolamento ativo no tímpano		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras entre os tímpanos e o arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Deslizamento e/ou rotação do tímpano		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de águas de infiltração no material de enchimento		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Sistema de drenagem ineficiente ou inexistente		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Probabilidade de sobrecarga		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Arcos profundos e não muito largos com uma grande profundidade de material de enchimento sobre o arco		Média		
	Sim		15	
	Não		0	0
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Tabela 26 Determinação do nível de frequência da fendilhação vertical nos encontros

Elemento	Encontros			
Modo de dano	Fendilhação vertical nos encontros			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de fissuras verticais no encontro	Sim	Alta	20	
	Não		0	
Probabilidade de dano nas fundações	ver ficha "Fundações - Probabilidade"	Alta	340	150
Presença de fissuras reparadas	Sim	Alta		
	Não		0	
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros	Sim	Alta	20	20
	Não		0	
Presença de fissuras longitudinais e/ou diagonais nos arcos	Sim	Alta	20	20
	Não		0	
Presença de fissuras nos pilares	Sim	Alta	20	20
	Não		0	
Presença de fissuras horizontais nos encontros	Sim	Alta	20	
	Não		0	
Probabilidade de assentamento diferencial local do encontro	Alta probabilidade	Alta	20	
	Baixa probabilidade		5	
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Tabela 27 Determinação do nível de frequência das manchas de humidade, escorrências e depósitos de água no Arco 1

Elemento	Arco 1			
Modo de dano	Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	Sim	Alta	20	20
	Não		0	
Zona próxima do leito do rio	Sim	Alta	20	
	Não		0	
Probabilidade de presença de água nos tímpanos	Alta probabilidade	Alta	20	20
	Baixa probabilidade		5	
Variação cíclica do nível da água	Alta	Alta	20	20
	Baixa		5	
Superfície com alta humidade	Sim	Alta	20	20
	Não		0	
Porosidade do material pétreo	Elevada	Alta	20	
	Baixa		5	
			5	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro	Sim	Alta	20	20
	Não		0	
Ciclos de manutenção	Sem manutenção	Alta	20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				4

Na atribuição do nível de consequência de cada possível risco que possa surgir nos vários elementos da ponte foi considerada a Tabela 14, tendo como base as possíveis consequências ao nível da segurança estrutural. Assim, após a determinação dos diferentes níveis de frequência e de consequência, foram correlacionados todos os possíveis riscos e determinados os níveis de risco de cada um deles. Foi desenvolvido um ficheiro de Excel de forma a cruzar os dados do nível de frequência e do nível de consequência, automatizando, assim, a obtenção do nível de risco tendo como base a matriz de risco representada na Figura 26, onde ao longo do eixo dos x se encontram os diferentes níveis de consequência, e ao longo do eixo dos y os diferentes níveis de frequência.

Na Tabela 28 são apresentados os diferentes níveis de riscos para as diferentes anomalias para cada um dos elementos constituintes do arco 1. O resultado obtido para os restantes arcos estão colocados no Anexo III – Avaliação do Nível do Risco dos Elementos da Ponte do Prado. Após a obtenção dos diferentes níveis de risco será determinado o estado de condição para todos os elementos da ponte. Relativamente aos elementos que percorrem toda a obra de arte como os guarda-corpos, passeios, revestimento da via e sistema de drenagem será considerado o estado de condição obtido pelo método aplicado pela IP.



Tabela 28 Obtenção do nível do risco das anomalias dos elementos do arco 1

Elemento	Anomalia	Nível de Frequência	Nível da Consequência	Nível do Risco
Fundações	Infra-escavação e erosão	3	4	4
Arco 1	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	3	4	4
	Fendilhação longitudinal entre os tímpanos e o arco	3	3	3
	Fendilhação diagonal	3	4	4
	Perda ou deslocamento do material constituinte	2	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 3 rótulas	3	4	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 4 rótulas	2	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo cisalhamento	3	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 7 rótulas	3	5	4
	Manchas negras	2	2	1
	Alveolização	2	3	2
	Desenvolvimento de vegetação de médio e grande porte	5	3	4
	Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	4	1	2
	Delaminação	3	2	2
	Perda de argamassa nas juntas e de pedras nas alvenaria	4	3	4
	Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias	2	3	2
	Poluição Biológica	5	1	3
	Eflorescências	3	2	2
Crostras e sedimentos superficiais	3	1	1	
Desagregação da pedra	2	2	1	
Pilar 1	Fendilhação vertical	2	4	3
	Fendilhação em escada	2	4	3
	Fendilhação na separação entre talha-mares e pilares	5	2	4
	Manchas negras	2	2	1
	Alveolização	2	3	2
	Desenvolvimento de vegetação de médio e grande porte	5	3	4
	Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	5	1	3
	Delaminação	3	2	2
	Perda de argamassa nas juntas e de pedras nas alvenaria	4	3	4
	Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias	2	3	2
	Poluição Biológica	5	1	3
	Eflorescências	2	2	1
	Crostras e sedimentos superficiais	2	1	1
Desagregação da pedra	2	2	1	
Encontro	Fendilhação horizontal	3	4	4
	Fendilhação vertical	3	4	4
Encontro e Muro de ala	Fendilhação vertical entre o encontro e o muro de ala	2	2	1
Muros de ala e de avenida	Rotação e empolamento	3	4	4
	Fendilhação em escada	3	4	4
Encontro, Muro de ala e avenida	Manchas negras	2	2	1
	Alveolização	2	3	2
	Desenvolvimento de vegetação de médio e grande porte	5	3	4
	Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	4	1	2
	Delaminação	3	2	2
	Perda de argamassa nas juntas e de pedras nas alvenaria	4	3	4
	Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias	2	3	2
	Poluição Biológica	5	1	3
	Eflorescências	2	2	1
	Crostras e sedimentos superficiais	2	1	1
Desagregação da pedra	2	2	1	
Tímpano 1	Empolamento	3	4	4
	Deslizamento	2	4	3
	Rotação	2	4	3
	Fendilhação em escada	3	3	3
	Manchas negras	2	2	1
	Alveolização	2	3	2
	Desenvolvimento de vegetação de médio e grande porte	5	3	4
	Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	4	1	2
	Delaminação	3	2	2
	Perda de argamassa nas juntas e de pedras nas alvenaria	4	3	4
	Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias	2	3	2
	Poluição Biológica	5	1	3
	Eflorescências	3	2	2
	Crostras e sedimentos superficiais	3	1	1
	Desagregação da pedra	2	2	1

Tendo em conta os vários níveis de risco para os diferentes elementos constituintes da Ponte do Prado é apresentado na Tabela 29 a avaliação obtida para o estado de condição de cada um deles. Deste modo, e tal como descrito no capítulo 3.4, o estado de condição de cada elemento tem de ser igual ao nível de risco máximo obtido.

Tabela 29 Estado de condição obtido pela inspeção baseada no risco

Elemento	Estado de Condição
Fundações	4
Arco 1	4
Arco 2	4
Arco 3	4
Arco 4	4
Arco 5	4
Arco 6	4
Arco 7	4
Arco 8	4
Arco 9	4
Pilar 1	4
Pilar 2	4
Pilar 3	4
Pilar 4	4
Pilar 5	4
Pilar 6	4
Pilar 7	4
Pilar 8	4
Tímpano 1	4
Tímpano 2	4
Tímpano 3	4
Tímpano 4	4
Tímpano 5	4
Tímpano 6	4
Tímpano 7	4
Tímpano 8	4
Tímpano 9	4
Encontros	4
Muros de ala	4
Muros de avenida	4
Sistema de drenagem	4
Revestimento da via	3
Guarda-corpos	3
Passeios	2
Ponte	4

## 4.8 Conclusões

No presente capítulo aplicaram-se dois tipos de metodologia para avaliar o estado de condição da ponte em estudo, Ponte do Prado. Em ambas as metodologias para determinar o estado de condição da obra de arte foi determinado o estado de condição dos diferentes elementos que constituem a ponte em arco em alvenaria de pedra em estudo.

Comparando a Tabela 21, que apresenta os resultados obtidos pela metodologia baseada nas especificações técnicas da IP, e a Tabela 29, que apresenta o resultado obtido pela metodologia baseada no risco, verifica-se que o estado de condição atribuído à ponte em ambos os casos foi igual a 4. Embora se tenha obtido o mesmo resultado global, é facilmente constatável uma grande diferença na avaliação dos dois métodos: enquanto na metodologia baseada nas especificações da IP apenas foram avaliados os elementos onde foram registadas anomalias, na metodologia baseada no risco foram avaliados todos os elementos, mesmo aqueles para os quais não foram registadas anomalias.

Isto acontece pois na metodologia tradicional apenas se tem em conta as anomalias registadas, enquanto na metodologia proposta essa avaliação é baseada em fatores que possam contribuir para o surgimento de cada uma das anomalias. Sendo assim, mesmo que um elemento não tenha registo de qualquer anomalia, poderá ter um estado de condição igual ou superior a um elemento com várias anomalias. Assim, um elemento que não apresente qualquer anomalia e que tenha um estado de condição elevado está na iminência de vir a registar anomalias, necessitando de intervenção antes que essas anomalias surjam, precavendo com maior antecedência problemas estruturais da obra de arte, o que permite uma maior poupança orçamental.

Na metodologia baseada no risco a avaliação da anomalia não se foca essencialmente na sua manifestação, e possíveis riscos com uma manifestação elevada podem ter um nível de risco inferior a uma anomalia que não se tenha manifestado, uma vez que as consequências da anomalia que pouco se manifestou é superior à anomalia com uma maior manifestação. Esta é outra da diferença entre as duas metodologias, uma vez que no método baseado nas especificações da IP se dá uma maior importância ao grau de manifestação com que uma anomalia aparece, e a intervenção será focada no controlo dessa anomalia, mesmo que não provoque grande desconforto ao nível da segurança estrutural.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

### 5.1 Considerações Finais

Nesta tese, desenvolveu-se e aplicou-se um método de inspeção baseado no risco para avaliação do estado de condição de pontes em arco de alvenaria. A obra de arte analisada é a Ponte do Prado sobre o Rio Cávado.

A metodologia apresentada divide-se, essencialmente, em três fases:

1. Identificação dos possíveis riscos que possam ocorrer;
2. Determinação da probabilidade de ocorrência de cada um desses riscos;
3. Determinação das consequências em caso de ocorrência de cada risco.

É reconhecido de forma geral que as entidades responsáveis pelas obras de arte mantêm em bom estado de condição o seu património, de forma a garantir a segurança dos seus utilizadores e a sua durabilidade de forma racional e o mais económica possível. Tendo em conta a atual importância que as pontes têm nas redes rodoviárias, pretendeu-se com este estudo mostrar uma alternativa que permita a deteção em tempo útil de riscos provocados por eventos não desejados, pois a degradação das pontes em arco de alvenaria de pedra está na grande maioria das vezes relacionada com a ausência de inspeção, manutenção e condição destas estruturas.

Verifica-se que a metodologia de inspeção utilizada para a determinação do estado de condição dos diferentes elementos que constituem as pontes em arco de alvenaria de pedra concentra-se principalmente na deteção e identificação das anomalias presentes nos diferentes elementos da obra de arte. Sendo assim, um elemento que não apresente anomalias não sofrerá uma avaliação do seu estado de condição.

A metodologia proposta de inspeção baseada no risco não se restringe, apenas, à determinação do estado de condição dos elementos que apresentam anomalias, mas de todos os elementos que constituem a obra de arte. Desta forma, um elemento que não apresente nenhuma anomalia pode ter um estado de condição igual a um elemento com evidentes anomalias. Na inspeção baseada no risco os defeitos presentes são considerados como um indicador de risco. Desta forma pretende-se detetar em tempo útil possíveis eventos indesejáveis, utilizando a informação obtida na inspeção principal, mas também outras ferramentas, não se restringindo unicamente às anomalias detetadas.

As principais limitações que podem ser apresentadas a esta dissertação são:

- O facto da inspeção baseada no risco ainda estar numa fase muito inicial e ainda não ser vista como uma ferramenta importante e vantajosa na aplicação da gestão das obras de arte;
- A subjetividade que está sempre inerente às metodologias de gestão do risco e, conseqüentemente, também está patente na metodologia apresentada e na sua aplicação prática;
- A inexistência prática de aplicação deste tipo de metodologia em pontes em arco de alvenaria.

Conclui-se esta dissertação com a aplicação da metodologia de inspeção baseada no risco na Ponte do Prado sobre o rio Cávado. Esta tarefa foi importante para perceber o funcionamento da metodologia desenvolvida, permitindo ao autor ganhar competências na análise e decisão dos parâmetros a considerar para a avaliação do risco. Para além disso, ajudou a constatar que cada obra de arte tem as suas particularidades e, por isso, é necessário efetuar análises individuais para conseguir atingir os objetivos propostos.

## **5.2 Desenvolvimentos Futuros**

Com a realização desta dissertação ficou evidenciada a grande necessidade de se efetuarem mais trabalhos nesta área, trabalhos que investiguem mais aprofundadamente técnicas de inspeção baseada no risco para este tipo de estruturas.

Apesar da existência de algumas causas e fatores generalistas que influenciam cada uma das anomalias, seria de todo o interesse a criação de uma base de dados que relacione a ocorrência de possíveis anomalias nas pontes em arco em alvenaria de pedra com cada um dos fatores que contribuem para o seu aparecimento, de forma a auxiliar futuros casos de estudo semelhantes. Aconselha-se, ainda, o desenvolvimento de uma investigação mais aprofundada e pormenorizada com o objetivo de aferir de maneira mais precisa o peso que cada fator tem na ocorrência de cada uma das anomalias de cada elemento. Além disto, seria interessante o desenvolvimento de estudos que tivessem em consideração outros critérios de avaliação dos riscos além da segurança estrutural e dos utentes, como por exemplo, o impacto no meio ambiente e na saúde, riscos indiretos para os utentes e impacto a nível económico.

Outro desenvolvimento futuro seria a criação de um software de gestão que permitisse simplificar o processo da obtenção dos resultados da inspeção baseada no risco com uma abordagem generalizada para a aplicação em pontes em arco em alvenaria de pedra, bem como

o estudo de implementação e aplicação desta metodologia nas várias tipologias de pontes existentes e alargar para outras infraestruturas além das pontes.

## BIBLIOGRAFIA

- Applebury, C. R. (2011). *Reliability-Based Methodology For Bridge Inspection Planning*. Missouri - Columbia: Tese de Mestrado, Universidade do Missouri.
- Bakker, J., & Klatter, L. (2012). *Risk Based Inspection (RBI) at Rijkswaterstaat*. Utrecht, Holanda: Rijkswaterstaat, Ministry of Infrastructure and the Environment.
- Costa, C. M. (2009). *Análise numérica e experimental do comportamento estrutural de pontes em arco de alvenaria de pedra*. Porto: Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Porto.
- Estradas de Portugal. (2011). *Inspecções Principais - Especificações Técnicas*. Lisboa: Estradas de Portugal, S.A.
- Ferreira, M. L. (2008). *Obras de Arte de Alvenaria em Portugal - Anomalias, Técnicas de Reabilitação e Gestão*. Lisboa: Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa.
- García-Catalán, R. O., & Álamo, J. A.-C. (2006). *Catalogue of Damages for Masonry Arch Bridges*. Paris: International Union of Railways.
- ISO 31000. (2009). *Risk Management - Principles and Guidelines*. Genebra, Suíça: International Organization for Standardization.
- ISO 31010. (2009). *Risk Management - Risk Assessment Techniques*. Genebra, Suíça: International Organization for Standardization.
- Klanker, G., & L.Klatter. (2012). *Assessment and management of risks at bridge and network levels*. Utrecht, Holanda: Rijkswaterstaat, Ministry of Infrastructure and the Environment.
- Lopes, N. A. (2012). *Inspecção de Pontes Ferroviárias em Arcos de Alvenaria*. Tomar: Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Tomar: Tomar.
- Morais, M. J. (2012). *Pontes em Arco de Alvenaria - Estudo de um Caso Prático*. Viseu: Tese de Mestrado, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu: Viseu.
- Rodrigues, N. (2011). *Directrizes para o diagnóstico, condição, manutenção e reabilitação de pontes de alvenaria*. Lisboa: Estradas de Portugal.
- Rodrigues, N. C. (2008). *Reabilitação de pontes Históricas de Alvenaria*. Lisboa: Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa.
- Serra, M. C. (2013). *Modelação Numérica de Pontes de Alvenaria de Pedra*. Lisboa: Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia: Universidade Nova de Lisboa.
- Silva, V. F. (2012). *Análise de Risco na Construção - Guia de Procedimentos Para Gestão*. Porto: Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.





## ANEXO I – LISTA DOS FATORES DE CADA ANOMALIA

Nas tabelas em anexo que se seguem, podem ser consultados todos os fatores que contribuem para cada um dos possíveis eventos que foram considerados para cada um dos elementos das ponte em arco de alvenaria de pedra,

Elemento	Arcos	
Modo de dano	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	
	Fatores	Importância Relativa
Probabilidade de dano nas fundações		Alta
	ver ficha "Fundações - Probabilidade"	
Presença de fissuras longitudinais		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras reparadas		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras nos pilares e/ou encontros		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de sobrecarga		Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras diagonais nos arcos		Alta
	Sim	
	Não	
Falha mecânica na alvenaria do arco		Alta
	Sim	
	Não	
Perda ou deslocamento de material do arco		Alta
	Sim	
	Não	
Degradação dos materiais		Média
	Materiais constituinte bastante degradados	
	Materiais constituinte degradados	
	Materiais constituintes em boas condições	
Circulação de tráfego que provoca cargas assimétricas		Média
	Sim	
	Não	

Elemento	Arcos	
Modo de dano	Fendilhação longitudinal entre os tímpanos e o arco	
	Fatores	Importância Relativa
Presença de fissuras entre os tímpanos e o arco		Alta
	Sim	
	Não	
Rotação, empolamento e/ou deslizamento do tímpano		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras reparadas		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de sobrecarga		Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	
Danos na junta entre os tímpanos e o arco		Alta
	Sim	
	Não	
Deficiências no sistema de drenagem da ponte		Alta
	Sim	
	Não	
Tráfego a circular perto dos tímpanos		Média
	Sim	
	Não	

Elemento	Arcos	
Modo de dano	Fendilhação diagonal	
	Fatores	Importância Relativa
Probabilidade de dano nas fundações		Alta
	ver ficha "Fundações - Probabilidade"	
Presença de fissuras diagonais no arco		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras reparadas		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras nos pilares e/ou encontros		Alta
	Sim	
	Não	
Perda ou deslocamento de material do arco		Alta
	Sim	
	Não	
Falha mecânica na alvenaria do arco		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras longitudinais no arco		Alta
	Sim	
	Não	
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta
	Sim	
	Não	
Circulação de tráfego que provoca cargas assimétricas		Média
	Sim	
	Não	
Ponte enviesada		Média
	Sim	
	Não	

Elemento	Arcos	
Modo de dano	Perda ou deslocamento do material constituinte	
	Fatores	Importância Relativa
Perda ou deslocamento de material do arco		Alta
	Sim	
	Não	
Ocorrência de cheias		Alta
	É muito frequente a ocorrência de cheias com as água ultrapassarem o leito do rio e galgaram a ponte	
	É frequente a ocorrência cheias as águas ultrapasarem o leito do rio e galgarem a ponte	
	Sem conhecimento de cheias	
Probabilidade de dano nas fundações		Alta
	ver ficha "Fundações - Probabilidade"	
Presença de fissuras longitudinais e/ou diagonais no arco		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras em escada nos tímpanos		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras transversais no arco		Alta
	Sim	
	Não	
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta
	Sim	
	Não	
Profundidade do enchimento		Baixa
	Profundidade < 0.40 m	
	Profundidade > 0.40 m	
Arco pouco esbelto ( $c/l > 1/20$ ) e profundo ( $h/l = 1/2$ )		Baixa
	Sim	
	Não	
Ponte enviesada		Baixa
	Sim	
	Não	

Elemento	Arcos	
Modo de dano	Fissuração transversal no arco - mecanismo 3 rótulas	
Fatores		Importância Relativa
Presença de fissuras transversais nos arcos		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de dano nas fundações		Alta
	ver ficha "Fundações - Probabilidade"	
Evidência de assentamento diferencial dos encontros		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras em escada nos tímpanos e/ou encontros		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras reparadas		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de sobrecarga		Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	
Evidência de mau funcionamento do material de enchimento		Alta
	Sim	
	Não	
Falha mecânica na alvenaria do arco		Alta
	Sim	
	Não	
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta
	Sim	
	Não	
Perda ou deslocamento de material do arco		Alta
	Sim	
	Não	
Pilares esbeltos ( $c/L < 1/5$ ) e cofres rasos ( $h/L < 1/6$ )		Baixa
	Sim	
	Não	

Elemento	Arcos	
Modo de dano	Fissuração transversal no arco - mecanismo 4 rótulas	
	Fatores	Importância Relativa
	Presença de fissuras transversais nos arcos	Alta
	Sim	
	Não	
	Presença de fissuras em escada nos tímpanos e/ou encontros	Alta
	Sim	
	Não	
	Presença de fissuras reparadas	Alta
	Sim	
	Não	
	Probabilidade de sobrecarga	Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	
	Falha mecânica na alvenaria do arco	Alta
	Sim	
	Não	
	Arcos esbeltos ( $c/L < 1/20$ ) e rasos ( $h/L < 1/6$ ) com alvenaria deteriorada	Baixa
	Sim	
	Não	

//

Elemento	Arcos	
Modo de dano	Fissuração transversal no arco - mecanismo cisalhamento	
	Fatores	Importância Relativa
Presença de fissuras transversais nos arcos		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de dano nas fundações		Alta
	ver ficha "Fundações - Probabilidade"	
Evidência de assentamento diferencial de um pilar em relação ao pilares ou encontro adjacente		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras reparadas		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de sobrecarga		Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	
Falha mecânica na alvenaria do arco		Alta
	Sim	
	Não	
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta
	Sim	
	Não	
Perda ou deslocamento de material do arco		Alta
	Sim	
	Não	
Arcos rasos ( $h/L < 1/6$ )		Baixa
	Sim	
	Não	

Elemento	Arcos	
Modo de dano	Fissuração transversal no arco - mecanismo 7 rótulas	
Fatores		Importância Relativa
Presença de fissuras transversais nos arcos		Alta
Sim		
Não		
Probabilidade de dano nas fundações		Alta
ver ficha "Fundações - Probabilidade"		
Evidência de assentamento diferencial dos pilares intermédios		Alta
Sim		
Não		
Presença de fissuras em escada nos tímpanos		Alta
Sim		
Não		
Presença de fissuras reparadas		Alta
Sim		
Não		
Probabilidade de sobrecarga		Alta
Alta probabilidade		
Baixa probabilidade		
Falha mecânica na alvenaria do arco		Alta
Sim		
Não		
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta
Sim		
Não		
Perda ou deslocamento de material do arco		Alta
Sim		
Não		
Inclinação longitudinal dos pilares intermédios		Alta
Sim		
Não		
Pilares esbeltos ( $c/L < 1/5$ ) e arcos rasos ( $h/L < 1/6$ )		Baixa
Sim		
Não		



Elemento	Pilares	
Modo de dano	Fendilhação em escada no pilar	
	Fatores	Importância Relativa
Presença de fissuras em escada no pilar		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de dano nas fundações		Alta
	ver ficha "Fundações - Probabilidade"	
Presença de fissuras reparadas		Alta
	Sim	
	Não	
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras longitudinais e/ou diagonais nos arcos		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras verticais nos pilares		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras nos encontros		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de assentamento diferencial local do pilar		Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	
Rotação do pilar		Alta
	Sim	
	Não	

Elemento	Pilares	
Modo de dano	Fendilhação vertical nos pilares	
	Fatores	Importância Relativa
Presença de fissuras verticais no pilar		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de dano nas fundações		Alta
	ver ficha "Fundações - Probabilidade"	
Presença de fissuras reparadas		Alta
	Sim	
	Não	
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras longitudinais e/ou diagonais nos arcos		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras em escada nos pilares		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras nos encontros		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de assentamento diferencial local do pilar		Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	

Elemento	Pilares	
Modo de dano	Fendilhação na separação entre talha-mares e pilares	
Fatores		Importância Relativa
Presença de fissuras verticais na ligação talha-mar e pilar		Alta
Sim		
Não		
Presença de fissuras reparadas		Alta
Sim		
Não		
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta
Sim		
Não		
Presença de fissuras em escada nos pilares		Alta
Sim		
Não		
Erosão nos pilares		Alta
Sim		
Não		
Probabilidade de ocorrência de cheias		Alta
Alta probabilidade		
Baixa probabilidade		
Falta de material constituinte no talha-mar		Médio
Sim		
Não		
Presença de vegetação de médio e/ou grande porte no talha-mar		Médio
Sim		
Não		

Elemento	Tímpanos	
Modo de dano	Empolamento dos tímpanos	
Fatores		Importância Relativa
Empolamento ativo no tímpano		Alta
Sim		
Não		
Presença de fissuras entre os tímpanos e o arco		Alta
Sim		
Não		
Deslizamento e/ou rotação do tímpano		Alta
Sim		
Não		
Probabilidade de águas de infiltração no material de enchimento		Alta
Alta probabilidade		
Baixa probabilidade		
Sistema de drenagem ineficiente ou inexistente		Alta
Sim		
Não		
Probabilidade de sobrecarga		Alta
Alta probabilidade		
Baixa probabilidade		
Arcos profundos e não muito largos com uma grande profundidade de material de enchimento sobre o arco		Média
Sim		
Não		

Elemento	Tímpanos	
Modo de dano	Deslizamento dos tímpanos	
	Fatores	Importância Relativa
Deslizamento ativo do tímpano		Alta
	Sim	
	Não	
Fissuração longitudinal entre os tímpanos e o arco		Alta
	Sim	
	Não	
Empolamento e/ou rotação do tímpano		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de águas de infiltração no material de enchimento		Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	
Sistema de drenagem ineficiente ou inexistente		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de sobrecarga		Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	
Tráfego a circular perto dos tímpanos		Média
	Sim	
	Não	
Arcos profundos e não muito largos com uma grande profundidade de material de enchimento sobre o arco		Média
	Sim	
	Não	

Elemento	Tímpanos	
Modo de dano	Rotação dos tímpanos	
	Fatores	Importância Relativa
Rotação ativa do tímpano		Alta
	Sim	
	Não	
Fissuração longitudinal entre os tímpanos e o arco		Alta
	Sim	
	Não	
Empolamento e/ou deslizamento do tímpano		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de águas de infiltração no material de enchimento		Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	
Sistema de drenagem ineficiente ou inexistente		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de sobrecarga		Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	
Tráfego a circular perto dos tímpanos		Média
	Sim	
	Não	
Arcos profundos e não muito largos com uma grande profundidade de material de enchimento sobre o arco		Média
	Sim	
	Não	

Elemento	Tímpanos	
Modo de dano	Fendilhação em escada nos tímpanos	
	Fatores	Importância Relativa
Presença de fissuras em escada nos tímpanos		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras reparadas		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras transversais nos arcos		Alta
	Sim	
	Não	
Perda ou deslocamento de material nos tímpanos e/ou arcos		Alta
	Sim	
	Não	
Sistema de drenagem ineficiente ou inexistente		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de dano nas fundações		Alta
	ver ficha "Fundações - Probabilidade"	

Elemento	Encontros		
Modo de dano	Fendilhação vertical nos encontros		
		Fatores	Importância Relativa
Presença de fissuras verticais no encontro			Alta
		Sim	
		Não	
Probabilidade de dano nas fundações			Alta
		ver ficha "Fundações - Probabilidade"	
Presença de fissuras reparadas			Alta
		Sim	
		Não	
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros			Alta
		Sim	
		Não	
Presença de fissuras longitudinais e/ou diagonais nos arcos			Alta
		Sim	
		Não	
Presença de fissuras nos pilares			Alta
		Sim	
		Não	
Presença de fissuras horizontais nos encontros			Alta
		Sim	
		Não	
Probabilidade de assentamento diferencial local do encontro			Alta
		Alta probabilidade	
		Baixa probabilidade	

Elemento	Encontros		
Modo de dano	Fendilhação horizontal nos encontros		
		Fatores	Importância Relativa
Presença de fissuras horizontais no encontro			Alta
		Sim	
		Não	
Presença de fissuras reparadas			Alta
		Sim	
		Não	
Presença de fissuras transversais nos arcos			Alta
		Sim	
		Não	
Probabilidade de incapacidade resistente do encontro ao impulso horizontal transmitido através dos arcos			Alta
		Alta probabilidade	
		Baixa probabilidade	
Probabilidade de falha do material de enchimento localizado por detrás do encontro			Alta
		Alta probabilidade	
		Baixa probabilidade	
Arco baixo ( $h/L < 1/6$ )			Média
		Sim	
		Não	

Elemento	Encontros e Muros de ala	
Modo de dano	Fendilhação vertical entre o encontro e o muro de ala	
Fatores		Importância Relativa
Presença de fissuração vertical entre o encontro e o muro de ala		Alta
Sim		
Não		
Presença de fissuras reparadas		Alta
Sim		
Não		
Presença de fissuras verticais nos encontros		Alta
Sim		
Não		
Formação de fossas em forma de cone a montante do encontro		Alta
Sim		
Não		
Probabilidade de incapacidade resistente da junta do encontro e do muro de ala às forças horizontais do enchimento		Alta
Alta probabilidade		
Baixa probabilidade		
Instabilidade do talude onde o muro de ala está localizado		Alta
Sim		
Não		
Probabilidade de deslizamento de terras		Média
Alta probabilidade		
Baixa probabilidade		
Elementos demasiado altos		Baixa
Sim		
Não		

Elemento	Muros de ala e muros de avenida	
Modo de dano	Rotação e empolamento nos muros de ala e de avenida	
Fatores		Importância Relativa
Rotação e empolamento activo do muro de ala e de avenida		Alta
Sim		
Não		
Presença de fissuras horizontais nos encontros		Alta
Sim		
Não		
Presença de fissuras verticais nos encontros		Alta
Sim		
Não		
Probabilidade de águas de infiltração no material de enchimento		Alta
Alta probabilidade		
Baixa probabilidade		
Sistema de drenagem ineficiente ou inexistente		Média
Sim		
Não		
Presença de vegetação no muro de ala e avenida		Média
Sim		
Não		

Elemento	Muros de ala e muros de avenida	
Modo de dano	Fendilhação em escada nos muros de ala e de avenida	
	Fatores	Importância Relativa
Presença de fissuras em escada no muro de ala e de avenida		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras reparadas		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras verticais nos encontros		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de fissuras horizontais nos encontros		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de incapacidade resistente do muro de ala e avenida ao impulso do enchimento		Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	
Sistema de drenagem ineficiente ou inexistente		Média
	Sim	
	Não	
Presença de vegetação no muro de ala e avenida		Média
	Sim	
	Não	



Elemento	Fundações	
Modo de dano	Erosão e Infraescavação	
Fatores		Importância Relativa
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros	Sim Não	Alta
Erosão local dos elementos da fundação	Sim Não	Alta
Presença de depósitos de pedras ou de outro tipo de detritos	Sim Não	Alta
Presença de fissuras irregulares no maciço da fundação	Sim Não	Alta
Formação de bancos e/ou ilhas de areia	Sim Não	Alta
Ocorrência de cheias	É muito frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte causando prejuízos É frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte Sem conhecimento de cheias	Alta
Deterioração com perda de material ou ausência de proteção das fundações	Sim Não	Alta
Ocorrência de extração de inertes das margens do rio	Sim Não	Alta
Estacas à vista nos maciços das fundações	Sim Não	Alta
Presença de fissuras nos pilares e/ou encontros	Sim Não	Alta
Sapatas parcialmente visíveis	Sim Não	Alta
Degradação e apodrecimento das estacas de madeira	Sim Não	Alta
Histórico de intervenções no leito do rio de modo a proceder ao seu rebaixamento	Sim Não	Alta
Alteração significativa da secção de vazão ao longo do tempo	Sim Não	Alta
Alteração do perfil longitudinal do rio com a realização de obras (ex: barragens, canais navegáveis, etc.)	Sim Não	Médio
Passagem de infraestruturas enterradas (ex: canalizações, escavações, etc.)	Sim Não	Médio
Extração de água por meio de furos	Sim Não	Médio
Presença de reparações nos elementos das fundações	Sim Não	Médio

Modo de dano	Manchas Negras	
Fatores		Importância Relativa
Manchas negras		Alta
	Sim	
	Não	
Exposição ambiental		Alta
	Severa/Marítima	
	Moderado/Industrial	
	Benigno/Seco	
Ataque de chuvas ácidas		Alta
	Sim	
	Não	
Zona húmida e escondida, não submetida a lixiviação das águas de escorrência		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	
Eflorescências		Alta
	Sim	
	Não	
Perda de material nas juntas e alvenaria		Alta
	Sim	
	Não	
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento		Alta
	Sim	
	Não	
Sem exposição direta às águas da chuva		Alta
	Sim	
	Não	
Ciclos de manutenção		Alta
	Sem manutenção	
	Atividade de manutenção limitada	
	Manutenção regular	

Modo de dano	Alveolização	
Fatores		Importância Relativa
Alveolização		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de manchas		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de eflorescências		Alta
	Sim	
	Não	
Perda de material na junta e alvenaria		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de ocorrência de ventos fortes		Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	
Superfície com alta humidade		Alta
	Sim	
	Não	
Alvenaria com poros pequenos e juntas estreitas		Alta
	Sim	
	Não	
Superfície exposta ao vento		Alta
	Sim	
	Não	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta
	Sim	
	Não	
Ciclos de manutenção		Alta
	Sem manutenção	
	Atividade de manutenção limitada	
	Manutenção regular	

Modo de dano	Desenvolvimento de vegetação de médio e grande porte	
Fatores		Importância Relativa
Local de humidade natural e/ou suscetível a águas de drenagem		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de árvores e outras vegetações		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de manchas de humidade, escorrências e/ou depósitos de água		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	
Local com grande exposição à chuva		Alta
	Sim	
	Não	
Superfície com alta humidade		Alta
	Sim	
	Não	
Tímpanos, muros de ala e avenida		Baixa
	Sim	
	Não	
Porosidade do material pétreo		Baixa
	Elevada	
	Baixa	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta
	Sim	
	Não	
Ciclos de manutenção		Alta
	Sem manutenção	
	Atividade de manutenção limitada	
	Manutenção regular	

Modo de dano	Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água	
Fatores		Importância Relativa
Presença de manchas de humidade, escorrências e depósitos de água		Alta
Sim		
Não		
Zona próxima do leito do rio		Alta
Sim		
Não		
Probabilidade de presença de água nos tímpanos		Alta
Alta probabilidade		
Baixa probabilidade		
Variação cíclica do nível da água		Alta
Alta		
Baixa		
Superfície com alta humidade		Alta
Sim		
Não		
Porosidade do material pétreo		Alta
Elevada		
Baixa		
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta
Sim		
Não		
Ciclos de manutenção		Alta
Sem manutenção		
Atividade de manutenção limitada		
Manutenção regular		

Modo de dano	Delaminação	
Fatores		Importância Relativa
Presença de delaminação nas alvenarias		Alta
Sim		
Não		
Zona com alta exposição à radiação solar		Alta
Sim		
Não		
Alvenaria com baixa condutividade térmica		Alta
Sim		
Não		
Presença de eflorescências		Alta
Sim		
Não		
Probabilidade de ciclos de gelo/degelo		Alta
Alta		
Baixa		
Superfície exposta a radiação solar e geada		Alta
Sim		
Não		

Modo de dano	Fatores	Importância Relativa
Perda de argamassa nas juntas	Sim	Alta
	Não	
Utilização de argamassa desadequada a exposições agressivas do meio envolvente	Sim	Alta
	Não	
Probabilidade de ocorrência de chuvas e ventos fortes	Alta probabilidade	Alta
	Baixa probabilidade	
Probabilidade de presença de água no interior da ponte	Alta probabilidade	Alta
	Baixa probabilidade	
Presença de vegetação nas juntas	Sim	Alta
	Não	
Superfície com alta humidade	Sim	Alta
	Não	
Porosidade do material pétreo	Elevada	Baixa
	Baixa	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro	Sim	Alta
	Não	
Ocorrência de cheias	É muito frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte causando prejuízos	Alta
	É frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte	
	Sem conhecimento de cheias	

Modo de dano	Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias	
Fatores		Importância Relativa
Perda de material nas juntas e alvenaria		Alta
	Sim	
	Não	
Alveolização		Alta
	Sim	
	Não	
Perda ou deslocamento de material no arco		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de eflorescências		Alta
	Sim	
	Não	
Desenvolvimento de raízes no interior da ponte		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de vibrações excessivas do trânsito		Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	
Falta de argamassa nas juntas		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de ocorrência de chuvas e ventos fortes		Alta
	Sim	
	Não	
Ocorrência de cheias		Alta
	É muito frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte causando prejuízos	
	É frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte	
	Sem conhecimento de cheias	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta
	Sim	
	Não	

Modo de dano	Poluição biológica	
Fatores		Importância Relativa
Presença de musgos, líquen, fungos e/ou bactérias		Alta
Sim		
Não		
Exposição da ponte a condições agrestes de temperatura e humidade		Alta
Sim		
Não		
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta
Alta probabilidade		
Baixa probabilidade		
Presença de excremento de aves		Alta
Sim		
Não		
Presença de depósitos de terra		Alta
Sim		
Não		
Ciclos de manutenção		Alta
Sem manutenção		
Atividade de manutenção limitada		
Manutenção regular		
Ocorrência de chuvas (clima húmido)		Alta
Intensa		
Moderada		
Baixa		
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Baixa
Sim		
Não		
Porosidade do material pétreo		Baixa
Elevada		
Baixa		



Modo de dano	Eflorescências	
		Fatores
		Importância Relativa
Presença de eflorescências		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de manchas		Alta
	Sim	
	Não	
Presença de crostas e sedimentos superficiais		Alta
	Sim	
	Não	
Alveolização		Alta
	Sim	
	Não	
Exposição ambiental		Alta
	Severa/Marítima	
	Moderado/Industrial	
	Benigno/Seco	
Ciclos de manutenção		Alta
	Sem manutenção	
	Atividade de manutenção limitada	
	Manutenção regular	
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento		Alta
	Sim	
	Não	
Probabilidade de água no interior da ponte		Alta
	Alta probabilidade	
	Baixa probabilidade	
Sem exposição direta às águas da chuva		Alta
	Sim	
	Não	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Baixa
	Sim	
	Não	
Porosidade do material pétreo		Baixa
	Elevada	
	Baixa	

Modo de dano	Fatores	Importância Relativa
Crostras e sedimentos superficiais	Presença de crostras e sedimentos superficiais	Alta
	Sim	
	Não	
Presença de manchas	Presença de manchas	Alta
	Sim	
	Não	
Presença de eflorescências	Presença de eflorescências	Alta
	Sim	
	Não	
Alvenaria com argamassa de cal, blocos de pedra calcária e/ou betão	Alvenaria com argamassa de cal, blocos de pedra calcária e/ou betão	Alta
	Sim	
	Não	
Exposição ambiental	Exposição ambiental	Alta
	Severa/Marítima	
	Moderado/Industrial	
	Benigno/Seco	
Ciclos de manutenção	Ciclos de manutenção	Alta
	Sem manutenção	
	Atividade de manutenção limitada	
	Manutenção regular	
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento	Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento	Alta
	Sim	
	Não	
Ocorrência de chuvas (clima húmido)	Ocorrência de chuvas (clima húmido)	Alta
	Intensa	
	Moderada	
	Baixa	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro	Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro	Alta
	Sim	
	Não	
Porosidade do material pétreo	Porosidade do material pétreo	Baixa
	Elevada	
	Baixa	

Modo de dano	Desagregação da pedra	
Fatores		Importância Relativa
Presença de pequenas fendas e lascas na superfície da pedra	Sim Não	Alta
Presença de manchas	Sim Não	Alta
Presença de eflorescências	Sim Não	Alta
Perda de material nas juntas e na alvenaria	Sim Não	Alta
Exposição ambiental	Severa/Marítima Moderado/Industrial Benigno/Seco	Alta
Probabilidade de ciclos de gelo/degelo	Alta probabilidade Baixa probabilidade	Alta
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento	Sim Não	Alta
Sem exposição direta às águas da chuva	Sim Não	Alta
Probabilidade de ocorrência de ventos fortes	Alta probabilidade Baixa probabilidade	Alta
Ocorrência de descargas industriais no rio	Sim Não	Alta
Intervenção de reabilitação e reforço desajustado	Sim Não	Alta
Utilização de tijolos macios, arenitos e/ou calcário poroso	Sim Não	Alta
Probabilidade de ocorrência de temperatura extremas	Alta probabilidade Baixa probabilidade	Alta
Utilização de argamassas incompatíveis	Sim Não	Média
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro	Sim Não	Baixa
Porosidade do material pétreo	Elevada Baixa	Baixa

## ANEXO II –NÍVEL DE FREQUÊNCIA DOS ELEMENTOS DA PONTE DO PRADO

No decorrer das páginas que compõem o Anexo II será possível verificar como foram avaliados e obtidos os níveis de frequência de cada evento de cada elemento da Ponte do Prado.

Elemento	Arcos			
Modo de dano	Fendilhação longitudinal entre os tímpanos e o arco			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de fissuras entre os tímpanos e o arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Rotação, empolamento e/ou deslizamento do tímpano		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras reparadas		Alta		
	Sim			
	Não		0	0
Probabilidade de sobrecarga		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Danos na junta entre os tímpanos e o arco		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Deficiências no sistema de drenagem da ponte		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Tráfego a circular perto dos tímpanos		Média		
	Sim		15	
	Não		0	0
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Elemento	Arcos			
Modo de dano	Fendilhação diagonal			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Probabilidade de dano nas fundações		Alta		
	ver ficha "Fundações - Probabilidade"		340	150
Presença de fissuras diagonais no arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras reparadas		Alta		
	Sim			
	Não		0	0
Presença de fissuras nos pilares e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Perda ou deslocamento de material do arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Falha mecânica na alvenaria do arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras longitudinais no arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Circulação de tráfego que provoca cargas assimétricas		Média		
	Sim		15	
	Não		0	0
Ponte enviesada		Média		
	Sim		15	15
	Não		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Elemento	Arcos			
Modo de dano	Perda ou deslocamento do material constituinte			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Perda ou deslocamento de material do arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Ocorrência de cheias		Alta		
	É muito frequente a ocorrência de cheias com as água ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte		20	
	É frequente a ocorrência cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte		15	15
	Sem conhecimento de cheias		0	
Probabilidade de dano nas fundações		Alta		
	ver ficha "Fundações - Probabilidade"		340	150
Presença de fissuras longitudinais e/ou diagonais no arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras em escada nos tímpanos		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras transversais no arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Profundidade do enchimento		Baixa		
	Profundidade < 0.40 m		10	
	Profundidade > 0.40 m		0	0
Arco pouco esbelto ( $c/l > 1/20$ ) e profundo ( $h/l = 1/2$ )		Baixa		
	Sim		10	
	Não		0	0
Ponte enviesada		Baixa		
	Sim		10	10
	Não		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Arcos			
Modo de dano	Fissuração transversal no arco - mecanismo 3 rótulas			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de fissuras transversais nos arcos		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de dano nas fundações		Alta		
	ver ficha "Fundações - Probabilidade"		340	150
Evidência de assentamento diferencial dos encontros		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras em escada nos tímpanos e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras reparadas		Alta		
	Sim			
	Não		0	0
Probabilidade de sobrecarga		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Evidência de mau funcionamento do material de enchimento		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Falha mecânica na alvenaria do arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Perda ou deslocamento de material do arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Pilares esbeltos ( $c/L < 1/5$ ) e cofres rasos ( $h/L < 1/6$ )		Baixa		
	Sim		10	
	Não		0	0
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Elemento	Arcos			
Modo de dano	Fissuração transversal no arco - mecanismo 4 rótulas			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de fissuras transversais nos arcos		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras em escada nos tímpanos e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras reparadas		Alta		
	Sim			
	Não		0	0
Probabilidade de sobrecarga		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Falha mecânica na alvenaria do arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Arcos esbeltos ( $c/L < 1/20$ ) e rasos ( $h/L < 1/6$ ) com alvenaria deteriorada		Baixa		
	Sim		10	
	Não		0	0
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de fissuras transversais nos arcos		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de dano nas fundações		Alta		
	ver ficha "Fundações - Probabilidade"		340	150
Evidência de assentamento diferencial de um pilar em relação ao pilares ou encontro adjacente		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras reparadas		Alta		
	Sim			
	Não		0	0
Probabilidade de sobrecarga		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Falha mecânica na alvenaria do arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Perda ou deslocamento de material do arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Arcos rasos ( $h/L < 1/6$ )		Baixa		
	Sim		10	
	Não		0	0
Nível da probabilidade de ocorrência				3



Elemento	Arcos			
Modo de dano	Fissuração transversal no arco - mecanismo 7 rótulas			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de fissuras transversais nos arcos		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de dano nas fundações		Alta		
	ver ficha "Fundações - Probabilidade"		340	150
Evidência de assentamento diferencial dos pilares intermédios		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Presença de fissuras em escada nos tímpanos		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras reparadas		Alta		
	Sim			
	Não		0	0
Probabilidade de sobrecarga		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Falha mecânica na alvenaria do arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Perda ou deslocamento de material do arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Inclinação longitudinal dos pilares intermédios		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Pilares esbeltos ( $c/L < 1/5$ ) e arcos rasos ( $h/L < 1/6$ )		Baixa		
	Sim		10	
	Não		0	0
Nível da probabilidade de ocorrência				3

\

Elemento	Arco 1			
Modo de dano	Manchas Negras			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Manchas negras		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Exposição ambiental		Alta		
	Severa/Marítima		20	
	Moderado/Industrial		15	15
	Benigno/Seco		5	
Ataque de chuvas ácidas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Zona húmida e escondida, não submetida a lixiviação das águas de escorrência		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Perda de material nas juntas e alvenaria		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Sem exposição direta às águas da chuva		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Ciclos de manutenção		Alta		
	Sem manutenção		20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Arco 1			
Modo de dano	Alveolização			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Alveolização		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de manchas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Perda de material na junta e alvenaria		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de ventos fortes		Alta		
	Alta probabilidade		20	
	Baixa probabilidade		5	5
Superfície com alta humidade		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Alvenaria com poros pequenos e juntas estreitas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Superfície exposta ao vento		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Ciclos de manutenção		Alta		
	Sem manutenção		20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Arco 1		
Modo de dano	Desenvolvimento de vegetação de médio e grande porte		
Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Local de humidade natural e/ou suscetível a águas de drenagem	Alta		
Sim		20	20
Não		0	
Presença de árvores e outras vegetações	Alta		
Sim		20	20
Não		0	
Presença de manchas de humidade, escorrências e/ou depósitos de água	Alta		
Sim		20	20
Não		0	
Probabilidade de presença de água no interior da ponte	Alta		
Alta probabilidade		20	20
Baixa probabilidade		5	
Local com grande exposição à chuva	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Superfície com alta humidade	Alta		
Sim		20	20
Não		0	
Tímpanos, muros de ala e avenida	Baixa		
Sim		10	
Não		0	0
Porosidade do material pétreo	Baixa		
Elevada		10	
Baixa		5	5
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro	Alta		
Sim		20	20
Não		0	
Ciclos de manutenção	Alta		
Sem manutenção		20	20
Atividade de manutenção limitada		15	
Manutenção regular		0	
Nível da probabilidade de ocorrência			5

Elemento	Arco 1			
Modo de dano	Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de manchas de humidade, escorrências e depósitos de água		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Zona próxima do leito do rio		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Probabilidade de presença de água nos tímpanos		Alta		
Alta probabilidade			20	20
Baixa probabilidade			5	
Variação cíclica do nível da água		Alta		
Alta			20	20
Baixa			5	
Superfície com alta humidade		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Porosidade do material pétreo		Alta		
Elevada			20	
Baixa			5	5
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Ciclos de manutenção		Alta		
Sem manutenção			20	20
Atividade de manutenção limitada			15	
Manutenção regular			0	
Nível da probabilidade de ocorrência				4

Elemento	Arco 1			
Modo de dano	Delaminação			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de delaminação nas alvenarias		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Zona com alta exposição à radiação solar		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Alvenaria com baixa condutividade térmica		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Presença de eflorescências		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Probabilidade de ciclos de gelo/degelo		Alta		
Alta			20	20
Baixa			5	
Superfície exposta a radiação solar e geada		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Elemento	Arco 1			
Modo de dano	Perda de argamassa nas juntas			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Perda de argamassa nas juntas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Utilização de argamassa desaquada a exposições agrestes do meio envolvente		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de chuvas e ventos fortes		Alta		
	Alta probabilidade		20	
	Baixa probabilidade		5	5
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Presença de vegetação nas juntas		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Superfície com alta humidade		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
	Elevada		10	
	Baixa		5	5
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Ocorrência de cheias		Alta		
	É muito frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte causando prejuízos		20	
	É frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte		15	15
	Sem conhecimento de cheias		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				4

Elemento	Arco 1			
Modo de dano	Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Perda de material nas juntas e alvenaria		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Alveolização		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Perda ou deslocamento de material no arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Desenvolvimento de raízes no interior da ponte		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de vibrações excessivas do trânsito		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Falta de argamassa nas juntas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de chuvas e ventos fortes		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Ocorrência de cheias		Alta		
	É muito frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte causando prejuízos		20	
	É frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte		15	15
	Sem conhecimento de cheias		0	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Arco 1			
Modo de dano	Poluição biológica			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de musgos, líquen, fungos e/ou bactérias		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Exposição da ponte a condições agrestes de temperatura e humidade		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta		
Alta probabilidade			20	20
Baixa probabilidade			5	
Presença de excremento de aves		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Presença de depósitos de terra		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Ciclos de manutenção		Alta		
Sem manutenção			20	20
Atividade de manutenção limitada			15	
Manutenção regular			0	
Ocorrência de chuvas (clima húmido)		Alta		
Intensa			20	
Moderada			15	15
Baixa			5	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Baixa		
Sim			10	10
Não			0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
Elevada			10	
Baixa			5	5
Nível da probabilidade de ocorrência				5



Elemento	Arco 1			
Modo de dano	Eflorescências			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de eflorescências		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Presença de manchas		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Presença de crostas e sedimentos superficiais		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Alveolização		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Exposição ambiental		Alta		
Severa/Marítima			20	
Moderado/Industrial			15	15
Benigno/Seco			5	
Ciclos de manutenção		Alta		
Sem manutenção			20	20
Atividade de manutenção limitada			15	
Manutenção regular			0	
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Probabilidade de água no interior da ponte		Alta		
Alta probabilidade			20	20
Baixa probabilidade			5	
Sem exposição direta às águas da chuva		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Baixa		
Sim			10	10
Não			0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
Elevada			10	
Baixa			5	5
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Elemento	Arco 1			
Modo de dano	Crostras e sedimentos superficiais			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de crostras e sedimentos superficiais		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de manchas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Alvenaria com argamassa de cal, blocos de pedra calcária e/ou betão		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Exposição ambiental		Alta		
	Severa/Marítima		20	
	Moderado/Industrial		15	15
	Benigno/Seco		5	
Ciclos de manutenção		Alta		
	Sem manutenção		20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Ocorrência de chuvas (clima húmido)		Alta		
	Intensa		20	
	Moderada		15	15
	Baixa		5	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
	Elevada		10	
	Baixa		5	5
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Elemento	Arco 1		
Modo de dano	Desagregação da pedra		
Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de pequenas fendas e lascas na superfície da pedra	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Presença de manchas	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Presença de eflorescências	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Perda de material nas juntas e na alvenaria	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Exposição ambiental	Alta		
Severa/Marítima		20	
Moderado/Industrial		15	15
Benigno/Seco		5	
Probabilidade de ciclos de gelo/degelo	Alta		
Alta probabilidade		20	20
Baixa probabilidade		5	
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento	Alta		
Sim		20	20
Não		0	
Sem exposição direta às águas da chuva	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de ventos fortes	Alta		
Alta probabilidade		20	
Baixa probabilidade		0	0
Ocorrência de descargas industriais no rio	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Intervenção de reabilitação e reforço desajudado	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Utilização de tijolos macios, arenitos e/ou calcário poroso	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de temperatura extremas	Alta		
Alta probabilidade		20	20
Baixa probabilidade		5	
Utilização de argamassas incompatíveis	Média		
Sim		15	
Não		0	0
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro	Baixa		
Sim		10	10
Não		0	
Porosidade do material pétreo	Baixa		
Elevada		10	
Baixa		5	5
Nível da probabilidade de ocorrência			2

Elemento	Encontros			
Modo de dano	Fendilhação horizontal nos encontros			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de fissuras horizontais no encontro	Sim	Alta	20	0
	Não		0	
Presença de fissuras reparadas	Sim	Alta	0	
	Não			
Presença de fissuras transversais nos arcos	Sim	Alta	20	0
	Não		0	
Probabilidade de incapacidade resistente do encontro ao impulso horizontal transmitido através dos arcos	Alta probabilidade	Alta	20	20
	Baixa probabilidade		5	
Probabilidade de falha do material de enchimento localizado por detrás do encontro	Alta probabilidade	Alta	20	20
	Baixa probabilidade		5	
Arco baixo ( $h/L < 1/6$ )	Sim	Média	15	0
	Não		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Elemento	Encontros e Muros de ala			
Modo de dano	Fendilhação vertical entre o encontro e o muro de ala			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de fissuração vertical entre o encontro e o muro de ala	Sim	Alta	20	0
	Não		0	
Presença de fissuras reparadas	Sim	Alta	0	
	Não			
Presença de fissuras verticais nos encontros	Sim	Alta	20	0
	Não		0	
Formação de fossas em forma de cone a montante do encontro	Sim	Alta	20	20
	Não		0	
Probabilidade de incapacidade resistente da junta do encontro e do muro de ala às forças horizontais do enchimento	Alta probabilidade	Alta	20	20
	Baixa probabilidade		5	
Instabilidade do talude onde o muro de ala está localizado	Sim	Alta	20	0
	Não		0	
Probabilidade de deslizamento de terras	Alta probabilidade	Média	15	0
	Baixa probabilidade		0	
Elementos demasiado altos	Sim	Baixa	10	0
	Não		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Muros de ala e muros de avenida			
Modo de dano	Rotação e empolamento nos muros de ala e de avenida			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Rotação e empolamento activo do muro de ala e de avenida		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Presença de fissuras horizontais nos encontros		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Presença de fissuras verticais nos encontros		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Probabilidade de águas de infiltração no material de enchimento		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Sistema de drenagem ineficiente ou inexistente		Média		
	Sim		15	15
	Não		0	
Presença de vegetação no muro de ala e avenida		Média		
	Sim		15	15
	Não		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Elemento	Muros de ala e muros de avenida			
Modo de dano	Fendilhação em escada nos muros de ala e de avenida			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de fissuras em escada no muro de ala e de avenida		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Presença de fissuras reparadas		Alta		
	Sim		0	
	Não			
Presença de fissuras verticais nos encontros		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Presença de fissuras horizontais nos encontros		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	
Probabilidade de incapacidade resistente do muro de ala e avenida ao impulso do enchimento		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Sistema de drenagem ineficiente ou inexistente		Média		
	Sim		15	15
	Não		0	
Presença de vegetação no muro de ala e avenida		Média		
	Sim		15	15
	Não		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Elemento	Encontro			
Modo de dano	Manchas Negras			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Manchas negras		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Exposição ambiental		Alta		
	Severa/Marítima		20	
	Moderado/Industrial		15	15
	Benigno/Seco		5	
Ataque de chuvas ácidas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Zona húmida e escondida, não submetida a lixiviação das águas de escorrência		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Perda de material nas juntas e alvenaria		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Sem exposição direta às águas da chuva		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Ciclos de manutenção		Alta		
	Sem manutenção		20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Encontro			
Modo de dano	Alveolização			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Alveolização		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de manchas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Perda de material na junta e alvenaria		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de ventos fortes		Alta		
	Alta probabilidade		20	
	Baixa probabilidade		5	5
Superfície com alta humidade		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Alvenaria com poros pequenos e juntas estreitas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Superfície exposta ao vento		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Ciclos de manutenção		Alta		
	Sem manutenção		20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Encontro			
Modo de dano	Desenvolvimento de vegetação de médio e grande porte			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Local de humidade natural e/ou suscetível a águas de drenagem		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Presença de árvores e outras vegetações		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Presença de manchas de humidade, escorrências e/ou depósitos de água		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Local com grande exposição à chuva		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Superfície com alta humidade		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Tímpanos, muros de ala e avenida		Baixa		
	Sim		10	10
	Não		0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
	Elevada		10	
	Baixa		5	5
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Ciclos de manutenção		Alta		
	Sem manutenção		20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				5



Elemento	Encontro			
Modo de dano	Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de manchas de humidade, escorrências e depósitos de água		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Zona próxima do leito do rio		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Probabilidade de presença de água nos tímpanos		Alta		
Alta probabilidade			20	20
Baixa probabilidade			5	
Variação cíclica do nível da água		Alta		
Alta			20	20
Baixa			5	
Superfície com alta humidade		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Porosidade do material pétreo		Alta		
Elevada			20	
Baixa			5	5
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Ciclos de manutenção		Alta		
Sem manutenção			20	20
Atividade de manutenção limitada			15	
Manutenção regular			0	
Nível da probabilidade de ocorrência				4

Elemento	Encontro			
Modo de dano	Delaminação			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de delaminação nas alvenarias		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Zona com alta exposição à radiação solar		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Alvenaria com baixa condutividade térmica		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Presença de eflorescências		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Probabilidade de ciclos de gelo/degelo		Alta		
Alta			20	20
Baixa			5	
Superfície exposta a radiação solar e geada		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Elemento	Encontro			
Modo de dano	Perda de argamassa nas juntas			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Perda de argamassa nas juntas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Utilização de argamassa desaquada a exposições agrestes do meio envolvente		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de chuvas e ventos fortes		Alta		
	Alta probabilidade		20	
	Baixa probabilidade		5	5
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Presença de vegetação nas juntas		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Superfície com alta humidade		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
	Elevada		10	
	Baixa		5	5
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Ocorrência de cheias		Alta		
	É muito frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte causando prejuízos		20	
	É frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte		15	15
	Sem conhecimento de cheias		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				4

Elemento	Encontro			
Modo de dano	Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Perda de material nas juntas e alvenaria		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Alveolização		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Perda ou deslocamento de material no arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Desenvolvimento de raízes no interior da ponte		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de vibrações excessivas do trânsito		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Falta de argamassa nas juntas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de chuvas e ventos fortes		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Ocorrência de cheias		Alta		
	É muito frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte causando prejuízos		20	
	É frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte		15	15
	Sem conhecimento de cheias		0	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Encontro			
Modo de dano	Poluição biológica			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de musgos, líquen, fungos e/ou bactérias		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Exposição da ponte a condições agrestes de temperatura e humidade		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta		
Alta probabilidade			20	20
Baixa probabilidade			5	
Presença de excremento de aves		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Presença de depósitos de terra		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Ciclos de manutenção		Alta		
Sem manutenção			20	20
Atividade de manutenção limitada			15	
Manutenção regular			0	
Ocorrência de chuvas (clima húmido)		Alta		
Intensa			20	
Moderada			15	15
Baixa			5	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Baixa		
Sim			10	10
Não			0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
Elevada			10	
Baixa			5	5
Nível da probabilidade de ocorrência				5

Elemento	Encontro			
Modo de dano	Eflorescências			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de manchas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de crostas e sedimentos superficiais		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Alveolização		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Exposição ambiental		Alta		
	Severa/Marítima		20	
	Moderado/Industrial		15	15
	Benigno/Seco		5	
Ciclos de manutenção		Alta		
	Sem manutenção		20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de água no interior da ponte		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Sem exposição direta às águas da chuva		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Baixa		
	Sim		10	10
	Não		0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
	Elevada		10	
	Baixa		5	5
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Encontro			
Modo de dano	Crostras e sedimentos superficiais			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de crostras e sedimentos superficiais		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de manchas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Alvenaria com argamassa de cal, blocos de pedra calcária e/ou betão		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Exposição ambiental		Alta		
	Severa/Marítima		20	
	Moderado/Industrial		15	15
	Benigno/Seco		5	
Ciclos de manutenção		Alta		
	Sem manutenção		20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Ocorrência de chuvas (clima húmido)		Alta		
	Intensa		20	
	Moderada		15	15
	Baixa		5	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
	Elevada		10	
	Baixa		5	5
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Encontro		
Modo de dano	Desagregação da pedra		
Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de pequenas fendas e lascas na superfície da pedra	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Presença de manchas	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Presença de eflorescências	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Perda de material nas juntas e na alvenaria	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Exposição ambiental	Alta		
Severa/Marítima		20	
Moderado/Industrial		15	15
Benigno/Seco		5	
Probabilidade de ciclos de gelo/degelo	Alta		
Alta probabilidade		20	20
Baixa probabilidade		5	
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Sem exposição direta às águas da chuva	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de ventos fortes	Alta		
Alta probabilidade		20	
Baixa probabilidade		0	0
Ocorrência de descargas industriais no rio	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Intervenção de reabilitação e reforço desajudado	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Utilização de tijolos macios, arenitos e/ou calcário poroso	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de temperatura extremas	Alta		
Alta probabilidade		20	20
Baixa probabilidade		5	
Utilização de argamassas incompatíveis	Média		
Sim		15	
Não		0	0
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro	Baixa		
Sim		10	10
Não		0	
Porosidade do material pétreo	Baixa		
Elevada		10	
Baixa		5	5
Nível da probabilidade de ocorrência			2

Elemento	Pilar 1			
Modo de dano	Fendilhação em escada no pilar			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de fissuras em escada no pilar		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de dano nas fundações		Alta		
	ver ficha "Fundações - Probabilidade"		340	150
Presença de fissuras reparadas		Alta		
	Sim			
	Não		0	0
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras longitudinais e/ou diagonais nos arcos		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras verticais nos pilares		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras nos encontros		Alta		
	Sim			
	Não		0	0
Probabilidade de assentamento diferencial local do pilar		Alta		
	Alta probabilidade		20	
	Baixa probabilidade		5	5
Rotação do pilar		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Pilar 1			
Modo de dano	Fendilhação na separação entre talha-mares e pilares			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de fissuras verticais na ligação talha-mar e pilar		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Presença de fissuras reparadas		Alta		
	Sim			
	Não		0	0
Formação de fossas em forma de cone a montante dos pilares e/ou encontros		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Presença de fissuras em escada nos pilares		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Erosão nos pilares		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Probabilidade de ocorrência de cheias		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Falta de material constituinte no talha-mar		Médio		
	Sim		15	15
	Não		0	
Presença de vegetação de médio e/ou grande porte no talha-mar		Médio		
	Sim		15	15
	Não		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				5



Elemento	Pilar 1			
Modo de dano	Manchas Negras			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Manchas negras		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Exposição ambiental		Alta		
	Severa/Marítima		20	
	Moderado/Industrial		15	15
	Benigno/Seco		5	
Ataque de chuvas ácidas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Zona húmida e escondida, não submetida a lixiviação das águas de escorrência		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Perda de material nas juntas e alvenaria		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Sem exposição direta às águas da chuva		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Ciclos de manutenção		Alta		
	Sem manutenção		20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Pilar 1			
Modo de dano	Alveolização			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Alveolização		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de manchas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Perda de material na junta e alvenaria		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de ventos fortes		Alta		
	Alta probabilidade		20	
	Baixa probabilidade		5	5
Superfície com alta humidade		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Alvenaria com poros pequenos e juntas estreitas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Superfície exposta ao vento		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Ciclos de manutenção		Alta		
	Sem manutenção		20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Pilar 1			
Modo de dano	Desenvolvimento de vegetação de médio e grande porte			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Local de humidade natural e/ou suscetível a águas de drenagem		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Presença de árvores e outras vegetações		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Presença de manchas de humidade, escorrências e/ou depósitos de água		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Local com grande exposição à chuva		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Superfície com alta humidade		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Tímpanos, muros de ala e avenida		Baixa		
	Sim		10	
	Não		0	0
Porosidade do material pétreo		Baixa		
	Elevada		10	
	Baixa		5	5
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Ciclos de manutenção		Alta		
	Sem manutenção		20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				5

Elemento	Pilar 1			
Modo de dano	Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de manchas de humidade, escorrências e depósitos de água		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Zona próxima do leito do rio		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Probabilidade de presença de água nos tímpanos		Alta		
Alta probabilidade			20	20
Baixa probabilidade			5	
Variação cíclica do nível da água		Alta		
Alta			20	20
Baixa			5	
Superfície com alta humidade		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Porosidade do material pétreo		Alta		
Elevada			20	
Baixa			5	5
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Ciclos de manutenção		Alta		
Sem manutenção			20	20
Atividade de manutenção limitada			15	
Manutenção regular			0	
Nível da probabilidade de ocorrência				5

Elemento	Pilar 1			
Modo de dano	Delaminação			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de delaminação nas alvenarias		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Zona com alta exposição à radiação solar		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Alvenaria com baixa condutividade térmica		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Presença de eflorescências		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Probabilidade de ciclos de gelo/degelo		Alta		
Alta			20	20
Baixa			5	
Superfície exposta a radiação solar e geada		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Elemento	Pilar 1			
Modo de dano	Perda de argamassa nas juntas			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Perda de argamassa nas juntas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Utilização de argamassa desadequada a exposições agressivas do meio envolvente		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de chuvas e ventos fortes		Alta		
	Alta probabilidade		20	
	Baixa probabilidade		5	5
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Presença de vegetação nas juntas		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Superfície com alta humidade		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
	Elevada		10	
	Baixa		5	5
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Ocorrência de cheias		Alta		
	É muito frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte causando prejuízos		20	
	É frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte		15	15
	Sem conhecimento de cheias		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				4

Elemento	Pilar 1			
Modo de dano	Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Perda de material nas juntas e alvenaria		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Alveolização		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Perda ou deslocamento de material no arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Desenvolvimento de raízes no interior da ponte		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de vibrações excessivas do trânsito		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Falta de argamassa nas juntas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de chuvas e ventos fortes		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Ocorrência de cheias		Alta		
	É muito frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte causando prejuízos		20	
	É frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte		15	15
	Sem conhecimento de cheias		0	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Pilar 1			
Modo de dano	Poluição biológica			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de musgos, líquen, fungos e/ou bactérias		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Exposição da ponte a condições agrestes de temperatura e humidade		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta		
Alta probabilidade			20	20
Baixa probabilidade			5	
Presença de excremento de aves		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Presença de depósitos de terra		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Ciclos de manutenção		Alta		
Sem manutenção			20	20
Atividade de manutenção limitada			15	
Manutenção regular			0	
Ocorrência de chuvas (clima húmido)		Alta		
Intensa			20	
Moderada			15	15
Baixa			5	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Baixa		
Sim			10	10
Não			0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
Elevada			10	
Baixa			5	5
Nível da probabilidade de ocorrência				5

Elemento	Pilar 1			
Modo de dano	Eflorescências			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de eflorescências		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Presença de manchas		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Presença de crostas e sedimentos superficiais		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Alveolização		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Exposição ambiental		Alta		
Severa/Marítima			20	
Moderado/Industrial			15	15
Benigno/Seco			5	
Ciclos de manutenção		Alta		
Sem manutenção			20	20
Atividade de manutenção limitada			15	
Manutenção regular			0	
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Probabilidade de água no interior da ponte		Alta		
Alta probabilidade			20	20
Baixa probabilidade			5	
Sem exposição direta às águas da chuva		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Baixa		
Sim			10	10
Não			0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
Elevada			10	
Baixa			5	5
Nível da probabilidade de ocorrência				2



Elemento	Pilar 1			
Modo de dano	Crostras e sedimentos superficiais			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de crostras e sedimentos superficiais		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de manchas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Alvenaria com argamassa de cal, blocos de pedra calcária e/ou betão		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Exposição ambiental		Alta		
	Severa/Marítima		20	
	Moderado/Industrial		15	15
	Benigno/Seco		5	
Ciclos de manutenção		Alta		
	Sem manutenção		20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Ocorrência de chuvas (clima húmido)		Alta		
	Intensa		20	
	Moderada		15	15
	Baixa		5	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
	Elevada		10	
	Baixa		5	5
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Pilar 1			
Modo de dano	Desagregação da pedra			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de pequenas fendas e lascas na superfície da pedra		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Presença de manchas		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Presença de eflorescências		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Perda de material nas juntas e na alvenaria		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Exposição ambiental		Alta		
Severa/Marítima			20	
Moderado/Industrial			15	15
Benigno/Seco			5	
Probabilidade de ciclos de gelo/degelo		Alta		
Alta probabilidade			20	20
Baixa probabilidade			5	
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Sem exposição direta às águas da chuva		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Probabilidade de ocorrência de ventos fortes		Alta		
Alta probabilidade			20	
Baixa probabilidade			0	0
Ocorrência de descargas industriais no rio		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Intervenção de reabilitação e reforço desajudado		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Utilização de tijolos macios, arenitos e/ou calcário poroso		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Probabilidade de ocorrência de temperatura extremas		Alta		
Alta probabilidade			20	20
Baixa probabilidade			5	
Utilização de argamassas incompatíveis		Média		
Sim			15	
Não			0	0
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Baixa		
Sim			10	10
Não			0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
Elevada			10	
Baixa			5	5
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Tímpano 1			
Modo de dano	Empolamento dos tímpanos			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Empolamento ativo no tímpano		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de fissuras entre os tímpanos e o arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Deslizamento e/ou rotação do tímpano		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de águas de infiltração no material de enchimento		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Sistema de drenagem ineficiente ou inexistente		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Probabilidade de sobrecarga		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Arcos profundos e não muito largos com uma grande profundidade de material de enchimento sobre o arco		Média		
	Sim		15	
	Não		0	0
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Elemento	Tímpano 1			
Modo de dano	Deslizamento dos tímpanos			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Deslizamento ativo do tímpano		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Fissuração longitudinal entre os tímpanos e o arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Empolamento e/ou rotação do tímpano		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de águas de infiltração no material de enchimento		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Sistema de drenagem ineficiente ou inexistente		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Probabilidade de sobrecarga		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Tráfego a circular perto dos tímpanos		Média		
	Sim		15	
	Não		0	0
Arcos profundos e não muito largos com uma grande profundidade de material de enchimento sobre o arco		Média		
	Sim		15	
	Não		0	0
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Tímpano 1			
Modo de dano	Rotação dos tímpanos			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Rotação ativa do tímpano		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Fissuração longitudinal entre os tímpanos e o arco		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Empolamento e/ou deslizamento do tímpano		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Probabilidade de águas de infiltração no material de enchimento		Alta		
Alta probabilidade			20	20
Baixa probabilidade			5	
Sistema de drenagem ineficiente ou inexistente		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Probabilidade de sobrecarga		Alta		
Alta probabilidade			20	20
Baixa probabilidade			5	
Tráfego a circular perto dos tímpanos		Média		
Sim			15	
Não			0	0
Arcos profundos e não muito largos com uma grande profundidade de material de enchimento sobre o arco		Média		
Sim			15	
Não			0	0
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Tímpano 1			
Modo de dano	Fendilhação em escada nos tímpanos			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de fissuras em escada nos tímpanos		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Presença de fissuras reparadas		Alta		
Sim				
Não			0	0
Presença de fissuras transversais nos arcos		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Perda ou deslocamento de material nos tímpanos e/ou arcos		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Sistema de drenagem ineficiente ou inexistente		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Probabilidade de dano nas fundações		Alta		
ver ficha "Fundações - Probabilidade"			340	150
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Elemento	Tímpano 1			
Modo de dano	Manchas Negras			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Manchas negras		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Exposição ambiental		Alta		
	Severa/Marítima		20	
	Moderado/Industrial		15	15
	Benigno/Seco		5	
Ataque de chuvas ácidas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Zona húmida e escondida, não submetida a lixiviação das águas de escorrência		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Perda de material nas juntas e alvenaria		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Sem exposição direta às águas da chuva		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Ciclos de manutenção		Alta		
	Sem manutenção		20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Tímpano 1			
Modo de dano	Alveolização			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Alveolização		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de manchas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Perda de material na junta e alvenaria		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de ventos fortes		Alta		
	Alta probabilidade		20	
	Baixa probabilidade		5	5
Superfície com alta humidade		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Alvenaria com poros pequenos e juntas estreitas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Superfície exposta ao vento		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Ciclos de manutenção		Alta		
	Sem manutenção		20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Tímpano 1			
Modo de dano	Desenvolvimento de vegetação de médio e grande porte			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Local de humidade natural e/ou suscetível a águas de drenagem		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Presença de árvores e outras vegetações		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Presença de manchas de humidade, escorrências e/ou depósitos de água		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Local com grande exposição à chuva		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Superfície com alta humidade		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Tímpanos, muros de ala e avenida		Baixa		
	Sim		10	10
	Não		0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
	Elevada		10	
	Baixa		5	5
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Ciclos de manutenção		Alta		
	Sem manutenção		20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				5

Elemento	Tímpano 1			
Modo de dano	Manchas de humidade, escorrências e depósitos de água			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de manchas de humidade, escorrências e depósitos de água		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Zona próxima do leito do rio		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Probabilidade de presença de água nos tímpanos		Alta		
Alta probabilidade			20	20
Baixa probabilidade			5	
Variação cíclica do nível da água		Alta		
Alta			20	20
Baixa			5	
Superfície com alta humidade		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Porosidade do material pétreo		Alta		
Elevada			20	
Baixa			5	5
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Ciclos de manutenção		Alta		
Sem manutenção			20	20
Atividade de manutenção limitada			15	
Manutenção regular			0	
Nível da probabilidade de ocorrência				4

Elemento	Tímpano 1			
Modo de dano	Delaminação			
Fatores		Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de delaminação nas alvenarias		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Zona com alta exposição à radiação solar		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Alvenaria com baixa condutividade térmica		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Presença de eflorescências		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Probabilidade de ciclos de gelo/degelo		Alta		
Alta			20	20
Baixa			5	
Superfície exposta a radiação solar e geada		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Nível da probabilidade de ocorrência				3



Elemento	Tímpano 1		
Modo de dano	Perda de argamassa nas juntas		
	Fatores	Importância Relativa	Pontos
			Resultado
Perda de argamassa nas juntas		Alta	
Sim			20
Não			0
			0
Utilização de argamassa desadequada a exposições agressivas do meio envolvente		Alta	
Sim			20
Não			0
			0
Probabilidade de ocorrência de chuvas e ventos fortes		Alta	
Alta probabilidade			20
Baixa probabilidade			5
			5
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta	
Alta probabilidade			20
Baixa probabilidade			5
			20
Presença de vegetação nas juntas		Alta	
Sim			20
Não			0
			20
Superfície com alta humidade		Alta	
Sim			20
Não			0
			20
Porosidade do material pétreo		Baixa	
Elevada			10
Baixa			5
			5
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta	
Sim			20
Não			0
			20
Ocorrência de cheias		Alta	
É muito frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte causando prejuízos			20
É frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte			15
Sem conhecimento de cheias			0
			15
Nível da probabilidade de ocorrência			4

Elemento	Tímpano 1			
Modo de dano	Desalinhamento e destacamento de pedras nas alvenarias			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Perda de material nas juntas e alvenaria		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Alveolização		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Perda ou deslocamento de material no arco		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Desenvolvimento de raízes no interior da ponte		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de vibrações excessivas do trânsito		Alta		
	Alta probabilidade		20	20
	Baixa probabilidade		5	
Falta de argamassa nas juntas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de chuvas e ventos fortes		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Ocorrência de cheias		Alta		
	É muito frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte causando prejuízos		20	
	É frequente em cheias as águas ultrapassarem o leito do rio e galgarem a ponte		15	15
	Sem conhecimento de cheias		0	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Nível da probabilidade de ocorrência				2

Elemento	Tímpano 1			
Modo de dano	Poluição biológica			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de musgos, líquen, fungos e/ou bactérias		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Exposição da ponte a condições agrestes de temperatura e humidade		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Probabilidade de presença de água no interior da ponte		Alta		
Alta probabilidade			20	20
Baixa probabilidade			5	
Presença de excremento de aves		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Presença de depósitos de terra		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Ciclos de manutenção		Alta		
Sem manutenção			20	20
Atividade de manutenção limitada			15	
Manutenção regular			0	
Ocorrência de chuvas (clima húmido)		Alta		
Intensa			20	
Moderada			15	15
Baixa			5	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Baixa		
Sim			10	10
Não			0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
Elevada			10	
Baixa			5	5
Nível da probabilidade de ocorrência				5

Elemento	Tímpano 1			
Modo de dano	Eflorescências			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de eflorescências		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Presença de manchas		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Presença de crostas e sedimentos superficiais		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Alveolização		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Exposição ambiental		Alta		
Severa/Marítima			20	
Moderado/Industrial			15	15
Benigno/Seco			5	
Ciclos de manutenção		Alta		
Sem manutenção			20	20
Atividade de manutenção limitada			15	
Manutenção regular			0	
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento		Alta		
Sim			20	20
Não			0	
Probabilidade de água no interior da ponte		Alta		
Alta probabilidade			20	20
Baixa probabilidade			5	
Sem exposição direta às águas da chuva		Alta		
Sim			20	
Não			0	0
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Baixa		
Sim			10	10
Não			0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
Elevada			10	
Baixa			5	5
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Elemento	Tímpano 1			
Modo de dano	Crostras e sedimentos superficiais			
	Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de crostras e sedimentos superficiais		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de manchas		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Presença de eflorescências		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Alvenaria com argamassa de cal, blocos de pedra calcária e/ou betão		Alta		
	Sim		20	
	Não		0	0
Exposição ambiental		Alta		
	Severa/Marítima		20	
	Moderado/Industrial		15	15
	Benigno/Seco		5	
Ciclos de manutenção		Alta		
	Sem manutenção		20	20
	Atividade de manutenção limitada		15	
	Manutenção regular		0	
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Ocorrência de chuvas (clima húmido)		Alta		
	Intensa		20	
	Moderada		15	15
	Baixa		5	
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro		Alta		
	Sim		20	20
	Não		0	
Porosidade do material pétreo		Baixa		
	Elevada		10	
	Baixa		5	5
Nível da probabilidade de ocorrência				3

Elemento	Tímpano 1		
Modo de dano	Desagregação da pedra		
Fatores	Importância Relativa	Pontos	Resultado
Presença de pequenas fendas e lascas na superfície da pedra	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Presença de manchas	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Presença de eflorescências	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Perda de material nas juntas e na alvenaria	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Exposição ambiental	Alta		
Severa/Marítima		20	
Moderado/Industrial		15	15
Benigno/Seco		5	
Probabilidade de ciclos de gelo/degelo	Alta		
Alta probabilidade		20	20
Baixa probabilidade		5	
Local suscetível a humidade de drenagem e/ou gotejamento	Alta		
Sim		20	20
Não		0	
Sem exposição direta às águas da chuva	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de ventos fortes	Alta		
Alta probabilidade		20	
Baixa probabilidade		0	0
Ocorrência de descargas industriais no rio	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Intervenção de reabilitação e reforço desajudado	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Utilização de tijolos macios, arenitos e/ou calcário poroso	Alta		
Sim		20	
Não		0	0
Probabilidade de ocorrência de temperatura extremas	Alta		
Alta probabilidade		20	20
Baixa probabilidade		5	
Utilização de argamassas incompatíveis	Média		
Sim		15	
Não		0	0
Falta ou ineficiente sistema de impermeabilização ou de drenagem do tabuleiro	Baixa		
Sim		10	10
Não		0	
Porosidade do material pétreo	Baixa		
Elevada		10	
Baixa		5	5
Nível da probabilidade de ocorrência			2

## ANEXO III – AVALIAÇÃO DO NÍVEL DO RISCO DOS ELEMENTOS DA PONTE DO PRADO

Neste anexo é dado a conhecer a avaliação do nível do risco de todos os eventos de todos os elementos que constituem a Ponte do Prado, combinando o nível de frequência de cada evento com o seu nível de consequência que serviram como base para a obtenção do estado de condição pela inspeção baseada no risco de todos os elementos.

Elemento	Dano	Nível de Frequência	Nível da Consequência	Nível do Risco
Fundações	Infra-escavação e erosão	3	4	4
Arco 2	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	3	4	4
	Fendilhação longitudinal entre os tímpanos e o arco	3	3	3
	Fendilhação diagonal	3	4	4
	Perda ou deslocamento do material constituinte	2	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 3 rótulas	3	4	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 4 rótulas	2	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo cisalhamento	3	5	4
Pilar 2	Fissuração transversal no arco - mecanismo 7 rótulas	3	5	4
	Fendilhação vertical	2	4	3
	Fendilhação em escada	3	4	4
Tímpano 2	Fendilhação na separação entre talha-mares e pilares	5	2	4
	Empolamento	3	4	4
	Deslizamento	2	4	3
	Rotação	2	4	3
	Fendilhação em escada	3	3	3

Elemento	Dano	Nível de Frequência	Nível da Consequência	Nível do Risco
Fundações	Infra-escavação e erosão	3	4	4
Arco 3	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	4	4	4
	Fendilhação longitudinal entre os tímpanos e o arco	3	3	3
	Fendilhação diagonal	3	4	4
	Perda ou deslocamento do material constituinte	3	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 3 rótulas	3	4	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 4 rótulas	2	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo cisalhamento	3	5	4
Pilar 3	Fissuração transversal no arco - mecanismo 7 rótulas	3	5	4
	Fendilhação vertical	3	4	4
	Fendilhação em escada	3	4	4
Tímpano 3	Fendilhação na separação entre talha-mares e pilares	5	2	4
	Empolamento	3	4	4
	Deslizamento	2	4	3
	Rotação	2	4	3
	Fendilhação em escada	3	3	3

Elemento	Dano	Nível de Frequência	Nível da Consequência	Nível do Risco
Fundações	Infra-escavação e erosão	3	4	4
Arco 4	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	4	4	4
	Fendilhação longitudinal entre os tímpanos e o arco	3	3	3
	Fendilhação diagonal	3	4	4
	Perda ou deslocamento do material constituinte	3	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 3 rótulas	3	4	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 4 rótulas	2	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo cisalhamento	3	5	4
Pilar 4	Fissuração transversal no arco - mecanismo 7 rótulas	3	5	4
	Fendilhação vertical	4	4	4
	Fendilhação em escada	3	4	4
Tímpano 4	Fendilhação na separação entre talha-mares e pilares	5	2	4
	Empolamento	3	4	4
	Deslizamento	2	4	3
	Rotação	2	4	3
	Fendilhação em escada	3	3	3

Elemento	Dano	Nível de Frequência	Nível da Consequência	Nível do Risco
Fundações	Infra-escavação e erosão	3	4	4
Arco 5	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	4	4	4
	Fendilhação longitudinal entre os tímpanos e o arco	3	3	3
	Fendilhação diagonal	3	4	4
	Perda ou deslocamento do material constituinte	3	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 3 rótulas	3	4	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 4 rótulas	2	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo cisalhamento	3	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 7 rótulas	3	5	4
Pilar 5	Fendilhação vertical	3	4	4
	Fendilhação em escada	3	4	4
	Fendilhação na separação entre talha-mares e pilares	5	2	4
Tímpano 5	Empolamento	3	4	4
	Deslizamento	2	4	3
	Rotação	2	4	3
	Fendilhação em escada	3	3	3

Elemento	Dano	Nível de Frequência	Nível da Consequência	Nível do Risco
Fundações	Infra-escavação e erosão	3	4	4
Arco 6	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	4	4	4
	Fendilhação longitudinal entre os tímpanos e o arco	3	3	3
	Fendilhação diagonal	3	4	4
	Perda ou deslocamento do material constituinte	3	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 3 rótulas	3	4	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 4 rótulas	2	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo cisalhamento	3	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 7 rótulas	3	5	4
Pilar 6	Fendilhação vertical	2	4	3
	Fendilhação em escada	2	4	3
	Fendilhação na separação entre talha-mares e pilares	5	2	4
Tímpano 6	Empolamento	3	4	4
	Deslizamento	2	4	3
	Rotação	2	4	3
	Fendilhação em escada	3	3	3

Elemento	Dano	Nível de Frequência	Nível da Consequência	Nível do Risco
Fundações	Infra-escavação e erosão	3	4	4
Arco 7	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	4	4	4
	Fendilhação longitudinal entre os tímpanos e o arco	4	3	4
	Fendilhação diagonal	3	4	4
	Perda ou deslocamento do material constituinte	3	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 3 rótulas	3	4	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 4 rótulas	2	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo cisalhamento	3	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 7 rótulas	3	5	4
Pilar 7	Fendilhação vertical	3	4	4
	Fendilhação em escada	3	4	4
	Fendilhação na separação entre talha-mares e pilares	5	2	4
Tímpano 7	Empolamento	3	4	4
	Deslizamento	3	4	4
	Rotação	3	4	4
	Fendilhação em escada	3	3	3



Elemento	Dano	Nível de Frequência	Nível da Consequência	Nível do Risco
Fundações	Infra-escavação e erosão	3	4	4
Arco 8	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	4	4	4
	Fendilhação longitudinal entre os tímpanos e o arco	3	3	3
	Fendilhação diagonal	3	4	4
	Perda ou deslocamento do material constituinte	3	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 3 rótulas	3	4	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 4 rótulas	2	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo cisalhamento	3	5	4
Pilar 8	Fendilhação vertical	2	4	3
	Fendilhação em escada	2	4	3
	Fendilhação na separação entre talha-mares e pilares	5	2	4
Tímpano 8	Empolamento	3	4	4
	Deslizamento	2	4	3
	Rotação	2	4	3
	Fendilhação em escada	3	3	3

Elemento	Dano	Nível de Frequência	Nível da Consequência	Nível do Risco
Fundações	Infra-escavação e erosão	3	4	4
Arco 9	Fendilhação longitudinal no centro da abóbada	3	4	4
	Fendilhação longitudinal entre os tímpanos e o arco	3	3	3
	Fendilhação diagonal	3	4	4
	Perda ou deslocamento do material constituinte	2	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 3 rótulas	3	4	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo 4 rótulas	2	5	4
	Fissuração transversal no arco - mecanismo cisalhamento	3	5	4
Encontro	Fendilhação horizontal	3	4	4
	Fendilhação vertical	3	4	4
Encontro e Muro de ala	Fendilhação vertical entre o encontro e o muro de ala	2	2	1
Muro de ala e de avenida	Rotação e empolamento	3	4	4
	Fendilhação em escada	3	4	4
Tímpano 9	Empolamento	3	4	4
	Deslizamento	2	4	3
	Rotação	2	4	3
	Fendilhação em escada	3	3	3