

## Reabilitação da Ponte dos Arcos

Este trabalho foi realizado a partir do artigo “Reforço Sísmico de Pontes- soluções alternativas e exemplos de aplicação” de Júlio Appleton, A. Costa, M. Figueiredo e M. Santos, publicado nas actas do 7º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica” em 2007

### Resumo

Este trabalho tem como objectivo apresentar a intervenção de isolamento de base introduzida na Ponte dos Arcos sobre o Rio Sado.

#### 1. Descrição da Ponte

A Ponte dos Arcos sobre o Rio Sado na EN261 data de 1944, sendo o projecto da autoria do Eng. Edgar Cardoso. É uma solução de dois tramos do tipo arco de tabuleiro inferior (Bowstring) realizada em betão armado com um tabuleiro em laje de espessura variável (Figura 1).



Figura 1 Ponte dos Arcos Vista geral

O comprimento total da ponte é de 75.00m, correspondendo 33.00m a cada um dos tramos “Bowstring” e 4.50m aos muros avenida dos encontros. A largura total é de 9.90m, com 6.00m de faixa de rodagem, 0.90m de cada lado para a inserção dos montantes de suspensão do tabuleiro e 1.05m de cada lado para os passeios.

Os arcos, cujo vão teórico é de 31.50m, têm um eixo parabólico com 5.25m de flecha. A secção transversal dos arcos é constante e mede 0.60m de largura por 1.10m de altura. Os tirantes existentes ao nível da laje têm a secção de 0.60x0.80m<sup>2</sup> (figuras 2 e 3).



Figura 2 Vista da face inferior da laje do tabuleiro

Os arcos suportam o tabuleiro por intermédio de oito montantes de suspensão, de 0.50x0.30m<sup>2</sup> articulados nas suas extremidades no plano dos arcos, com excepção dos dois centrais, que formam com as vigas horizontais superiores que os ligam, dois pórticos de contraventamento a fim de resistirem às acções horizontais do vento sobre os arcos (Figura 3).

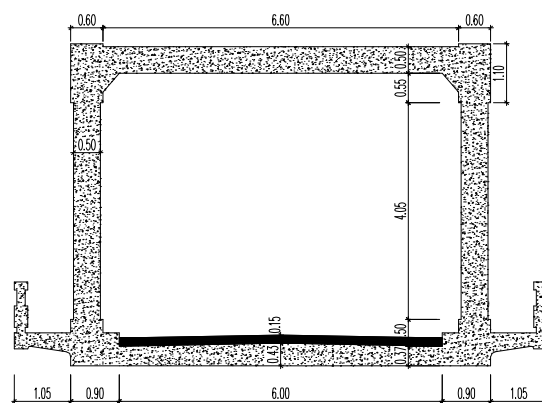


Figura 3 Secção transversal na zona das escoras superiores (dimensões em metros).

O pilar com 5.00m de altura e secção rectangular de dimensão variável em altura é rematado nos topos por talhamares de secção circular. Tem no coroamento uma espessura de 2.50m e um comprimento de 10.00m. Na base, a espessura é de 3.00m e o comprimento de 10.50m. O

pilar é de betão simples e encontra-se fundado por 24 estacas de betão armado, moldadas contra o solo e com um diâmetro de 0.50m. As estacas são encabeçadas por um maciço com 1.50m de altura (figura 4).

Cada um dos encontros é constituído por um muro de testa e por dois muros de avenida, de betão simples, assentes sobre sapatas contínuas do mesmo material, convenientemente ligadas a estacas de betão armado, moldadas no terreno.

Dos aparelhos de apoio metálicos de cada tramo, um par é fixo (no pilar) e outro é de livre dilatação por meio de balanceiros, fazendo-se este segundo um plano inclinado a 5% sobre a horizontal, a fim de favorecer a estabilidade dos encontros.

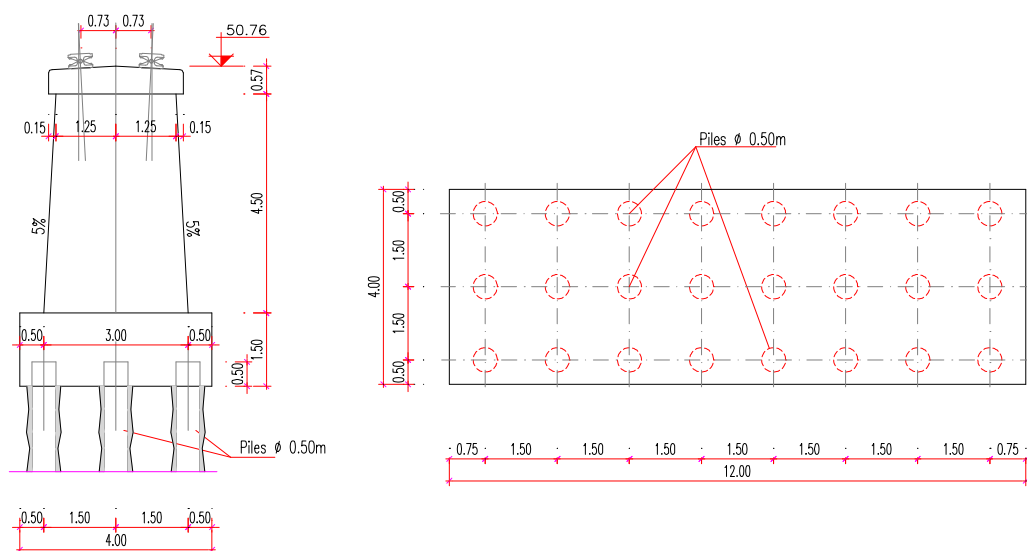


Figura 4 – Geometria do pilar e planta do maciço de fundação

## 2. Inspeção

A ponte teve uma manutenção mínima durante os seus 60 anos em serviço. Em 2005 o EP decidiu realizar uma inspeção geral da ponte e avaliar as suas condições de segurança de acordo com os actuais critérios regulamentares.

A inspeção da ponte mostrou as seguintes anomalias:

- Corrosão local de armaduras nos arcos, montantes e guarda corpos (figura 5) e uma ligeira oxidação nos aparelhos de apoio metálicos (figura 6)



Figura 5 – Corrosão local de armaduras



Figura 6 Aparelhos de apoio , fixos no pilar e móveis nos encontros

- Deterioração das juntas de dilatação e do pavimento betuminoso (figura 7).



Figura 7 Deterioração das cobrejuntas e do pavimento rodoviário

- Lacunas no betão resultantes de impactos de veículos (figura 8)



Figura 8 Danos na travessa dos pórticos transversais provocados por embate de veículos

### **3 . Avaliação da resistência sísmica da Ponte**

Na Figura 9 apresenta-se o modelo adoptado para realizar a avaliação da segurança sísmica da ponte.

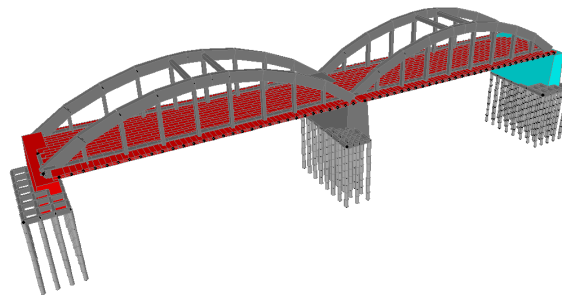


Figura 9 Modelo de elementos finitos utilizado.

O pilar foi modelado por uma barra de secção variável. O maciço foi modelado por meio de uma grelha rígida e as estacas correspondem a barras com a secção circular correspondente. Para simular o solo de fundação considerou-se, de acordo com o estudo geotécnico realizado, uma camada de argila muito mole no primeiro 1.50m de estaca, seguindo-se 3.0m de argila mole, 1.0m de argila média e 2.50m de argila muito compacta.

O primeiro modo de vibração da estrutura é longitudinal e tem uma frequência de 0.686Hz.

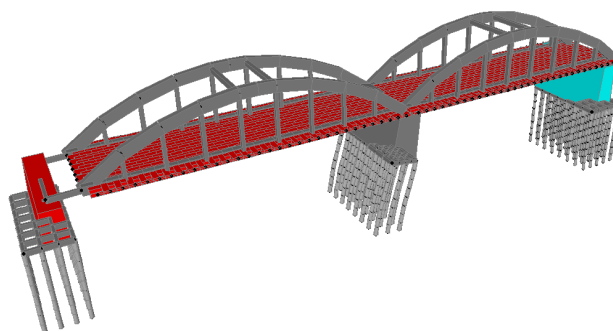


Figura 10 Configuração da deformada para o primeiro modo de vibração.

A acção sísmica foi caracterizada, de acordo com o RSA, para a região A e solo tipo III. Adoptou-se um coeficiente de amortecimento  $\xi = 0.05$  e um coeficiente de comportamento  $\eta = 1.50$  para o pilar e para as estacas e de  $\eta = 1.00$  para os aparelhos de apoio.

As combinações de acções cuja acção variável base é o sismo originam nas estacas flexão composta desviada a que estes elementos não têm capacidade para resistir.

Devido aos efeitos de flexão, as estacas têm apenas uma resistência da ordem dos 22% da resistência necessária para o sismo regulamentar.

#### **4. Concepção do reforço sísmico e avaliação do comportamento após reforço**

Concebeu-se uma solução que reduzirá significativamente os esforços transmitidos ao pilar, muito embora ainda fosse necessário reforçar as fundações existentes.

A solução que se concebeu consistiu no seguinte:

- Substituição dos aparelhos de apoio actuais por aparelhos de elastómero de alta distorção e amortecimento;
- Reforço das fundações do pilar central, introduzindo micro-estacas.

Utilizou-se o mesmo modelo que serviu de base à verificação da segurança da estrutura actual, acrescentando os elementos que constituem o reforço e que são as micro-estacas no pilar central, os novos aparelhos de apoio e a nova ligação de continuidade axial entre tabuleiros.

Do modelo obteve-se a rigidez longitudinal dos pilares e encontros. A rigidez total é  $k = 177\,945,5\text{kN/m}$ . Obteve-se também a massa total do tabuleiro, que é de 1176,9ton.



Com estes dados, se a estrutura do tabuleiro estivesse fixada aos encontros e pilares, a frequência do 1º modo, na direcção longitudinal, seria igual a:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} = 1.95 \text{ Hz}$$

Realizando o pré-dimensionando dos aparelhos de apoio para a carga vertical e para reduzir o valor da frequência para cerca de 1/3, dever-se-á ter em cada um dos 8 aparelhos uma rigidez horizontal de 1230kN/m. A frequência que se espera obter é de:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{8 \times 1230}{1176.9}} = 0.46 \text{ Hz}$$

Para esta frequência, o sismo tipo 2 é condicionante, originando uma aceleração de  $0.786 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . O deslocamento expectável é de:

$$d = \frac{a}{(2\pi f)^2} = 0,094 \text{ m}$$

O deslocamento devido à combinação sísmica de cálculo (majorando a acção sísmica por 1,5, de acordo com o RSA) é de  $0.094 \times 1.50 = 0.141 \text{ m}$

Os novos apoios de elastómero foram modelados da seguinte forma:

- Para ter em conta a sua rigidez (1230kN/m) introduziu-se um elemento de ligação, entre o tabuleiro e as superfícies de apoio (pilar e encontros), com rigidez equivalente à do apoio;
- O amortecimento conferido por estes apoios é de 10% e foi tido em conta ao nível da acção, tendo-se utilizado os espectros de resposta do RSA para o terreno tipo III e amortecimento de 10%.

As novas micro-estacas foram modeladas por meio de molas, correspondentes à rigidez elástica e interacção com o terreno. Executaram-se 14 micro-estacas compostas por tubo ROR 95x10 + 1φ32, com 10m de comprimento sob o maciço de encabeçamento existente e uma inclinação de 25°.

Após esta intervenção o pilar não fendilhará, permanecendo em regime elástico durante a ocorrência de um sismo, e as estacas verificam as condições de segurança.

O deslocamento máximo do tabuleiro (combinação sísmica e  $\eta=1.00$ ) obtido no modelo é de 157mm em ambas as direcções.

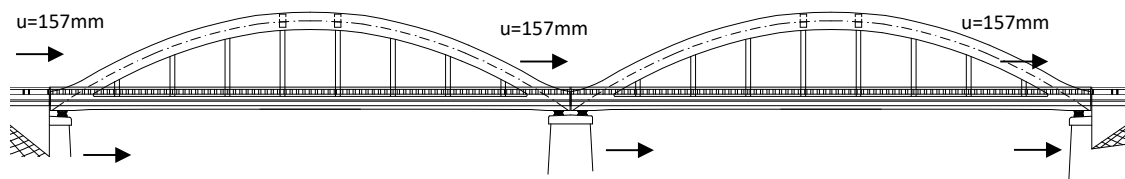


Figura 11 Deslocamentos e forças transmitidas às infra-estruturas na direcção longitudinal.

Os esforços de corte máximos actuantes nos elementos que simulam a ligação entre os dois tabuleiros (combinação sísmica e  $\eta=1.00$ ) são de 309kN, pelo que se dimensionaram 4 Parafusos M36 atravessantes para estabelecer essa ligação.

Para colocar os novos aparelhos de apoio (figura 12) foi necessário elevar o tabuleiro na zona dos tirantes inferiores (laje) por meio de macacos hidráulicos, fixar chapas de nivelamento, colocar os aparelhos de apoio, voltar a apoiar o tabuleiro nos novos apoios e estabelecer a ligação de continuidade dos dois arcos.

Dado que o isolamento de base conduzirá ao aumento dos deslocamentos, foi necessário demolir parcialmente e substituir o espelho dos encontros para aumentar a amplitude de deslocamentos permitida pela estrutura.

A ponte foi dotada de fusíveis materializados por parafusos metálicos que impedirão o deslocamento do tabuleiro para as acções do vento, temperatura e frenagem mas que não resistem aos esforços sísmicos no caso de ocorrência do sismo de projecto. Mantém-se assim o comportamento actual em serviço da Ponte.

No Quadro 1 compara-se o comportamento sísmico da Ponte antes e após a intervenção proposta, para a combinação PP + RCP + 1.50 x E.

		Antes da intervenção	Após a intervenção
Deslocamento máximo (mm)	Do tabuleiro	121	157
	Do topo do pilar	121	11
Força longitudinal máxima transmitida (KN)	No topo do encontro	0	372
	No topo do pilar	6640	732

Quadro 1 – Comparação entre a situação anterior à intervenção e após a intervenção.





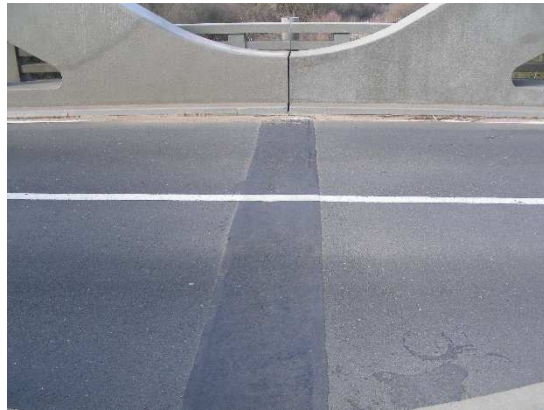
Figura 12 Novos aparelhos HDRB instalados na ponte

### **5. Reabilitação geral da ponte**

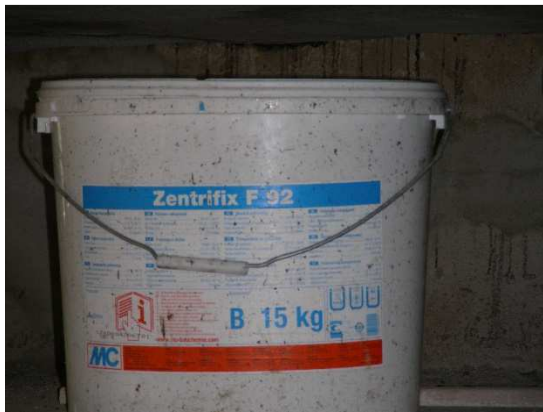
A reabilitação geral da obra decorreu em 2008

Foram executados os seguintes trabalhos (figura 13):

- Reparação local do betão
- Reforço sísmico
- Introdução de novas cobre-juntas nos alinhamentos dos encontros , as quais permitem os novos deslocamentos do tabuleiro para a acção sísmica
- Introdução de novas cobre-juntas em betume modificado com elastómero nas juntas sobre o pilar
- Protecção geral das superfícies de betão com um revestimento espesso ( Zentrifix)



Novas cobrejuntas nos encontros e sobre o pilar



Protecção superficial do betão com revestimento espesso

Figura 13 Ilustração de trabalhos de reabilitação geral da ponte

### **REFERÊNCIAS**

- [1] – Edgar Cardoso (1944) – Projecto da Ponte dos Arcos na EN261, JAE.