

# **REABILITAÇÃO DO VIADUTO “E” E ESTACADAS DA BAIXA DO MONDEGO**

## **A1 - AUTO – ESTRADA DO NORTE**

Júlio Appleton

### **SUMÁRIO**

Neste trabalho apresenta-se a metodologia adoptada na inspecção e avaliação do estado de deterioração do Viaduto “E” e Estacadas localizadas na A1 na Baixa do Mondego. Nestas obras foram identificadas reacções expansivas no betão. Apresentam-se também neste documento os trabalhos de reabilitação realizados.

#### **1. DESCRIÇÃO DO VIADUTO E ESTACADAS**

O Viaduto E e o seu prolongamento a Sul por 3 estacadas localiza-se na Auto-Estrada A1 ao Km 193+087 na Baixa do Rio Mondego. Esta obra foi projectada por Edgar Cardoso e Sanches da Gama (1).

O viaduto E tem um desenvolvimento total de 418.5 m e é constituído por 16 tramos com vãos extremos de 20.25 m e vãos intermédios de 27 m. O tabuleiro em betão armado e pré-esforçado tem uma largura total de 30 m e é constituído por uma laje vigada com 8 vigas de 1.2 m de altura e almas de espessura variável. O tabuleiro apoia através de aparelhos fixos em pórticos de betão armado constituídos por uma travessa e quatro pilares (figura 1) e através de apoios fixos no encontro Norte e aparelhos de apoio móveis no pilar de transição para as estacadas.



Figura 1 Viaduto E

As 3 “Estacadas” têm um comprimento de 347.8 m (115.6 m + 116.1 m + 116.1 m) e são constituídas por uma laje fungiforme de betão armado com 0.35 m de espessura, apoiada em fiadas de 7 pilares circulares  $\varnothing$  0.40 m afastados 4.7 m na direcção longitudinal. Os pilares são prolongados por estacas  $\varnothing$  0.50 m.



Figura 2 Estacadas

As várias estruturas estão separadas por juntas de dilatação localizadas sobre pilares especiais (Fig. 3).



Figura 3 Pilar de transição do viaduto E para as estacadas

## 2. Inspeção e ensaios

No decurso da inspeção e trabalhos de manutenção correntes, a Brisa verificou que estes viadutos apresentavam problemas nas juntas de dilatação (as juntas ficavam fortemente comprimidas mesmo no Inverno) e os pilares/estacas apresentavam fendilhação com geometria irregular (Figura 4). Para além dessa fendilhação verificou-se o início do processo de corrosão nalguns pilares em que o recobrimento das armaduras era reduzido ou o betão era de fraca qualidade.



Figura 4 Fendilhação em pilares/estacas e coloração superficial associada aos geles das reacções ASR

Um dos pilares que apresentava significativa corrosão e perda de secção por delaminação do betão (figura 5) foi de imediato reparado (reparação local e encamisamento com mantas de fibra de carbono).

Verificou-se também que as lajes apresentavam fendilhação na direcção transversal, que as juntas estavam novamente sem folga e que os aparelhos de apoio apresentavam algumas anomalias (figura 6).



Figura 5 Pilar com significativa corrosão de armaduras e delaminação do betão



Figura 6 Juntas de dilatação e aparelhos de apoio com danos na zona de fixação

Procedeu-se então a uma inspecção detalhada incluindo ensaios (4), dos quais se concluiu o seguinte:

- O recobrimento das armaduras apresenta uma grande variação e muitos valores inferiores aos mínimos regulamentares.  
Presume-se que o recobrimento mínimo de projecto fosse de 20 mm.  
Os recobrimentos medidos variaram de 0 a 98 mm sendo 80 o número de leituras com valores inferiores a 20 mm num total de 422 leituras (18.9%)

- A profundidade de carbonatação apresentava uma grande variação (desde 5 mm a 18 mm) resultado da heterogeneidade e de diferentes condições de exposição do betão. Comparando, nos mesmos locais, a profundidade de carbonatação com os valores do recobrimento, conclui-se que nalguns elementos já tinha ocorrido a despassivação das armaduras estando, em curso o processo de corrosão.
- Dos ensaios efectuados pelo método fluorescência com acetato de uranilo, com o microscópio electrónico e microanálise de raio X em provetes extraídos de carotes foi possível identificar que quer nas Estacadas quer no Viaduto E as areias utilizadas contêm agregados reactivos e álcalis, e que as reacções álcalis/sílica estão em pleno desenvolvimento {3}.

Nalguns pilares (alinhamento 20 da Estacada 3) identificou-se uma coloração amarelada distinta da maioria, pelo que se extraíram 3 carotes para avaliação da resistência do betão das quais se obtiveram os seguintes resultados 13.1 MPa, 6.7 MPa e 7.3 MPa.

Concluiu-se assim que, além da utilização de agregados reactivos, localmente a obra apresentava deficiências no valor da resistência do betão. Havia então que testar, com ensaios não destrutivos, todos os pilares para identificar as zonas (fase de betonagem) onde tal anomalia ocorria.

Decidiu-se assim ensaiar todas as fases de betonagem de todos os 462 pilares/estacas por método não destrutivo (esclerómetro e ultra sons) e realizar mais dez carotes cujos provetes foram ensaiados à compressão e assim foi possível estabelecer correlações que apoiassem a decisão das zonas a reforçar (figura 7).

Muito embora essas correlações apresentassem grande dispersão foi possível estabelecer um critério para a decisão de reforçar pilares/estacas (ou parte deles, correspondentes a uma fase de betonagem).

Na figura 7 as correlações entre a velocidade de propagação dos ultra-sons e a resistência à compressão obtidas em ensaios de carotes correspondem a 2 conjuntos de ensaios – nas 10 carotes e em 6 ensaios in situ (nos pilares/estacas) junto ao local onde se extraíram as carotes.

A correlação entre o índice do esclerómetro e a resistência à compressão obtida em ensaios de carotes refere-se a 15 ensaios do esclerómetro realizados insitu na zona onde se extraíram as carotes.

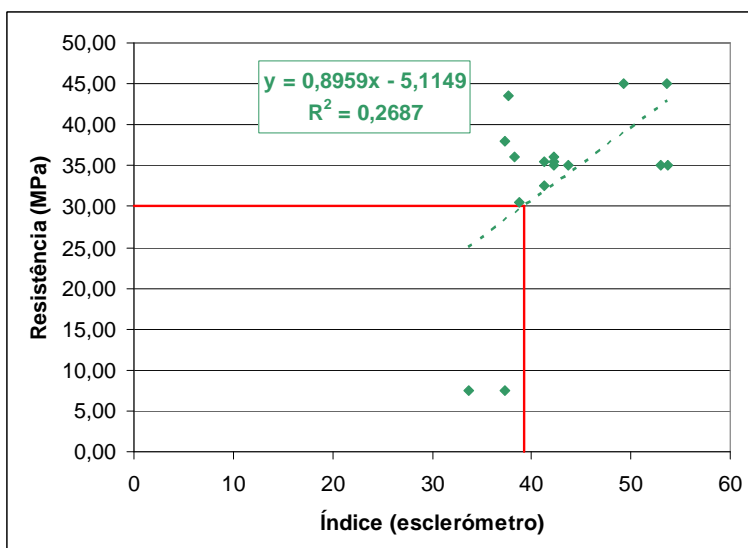
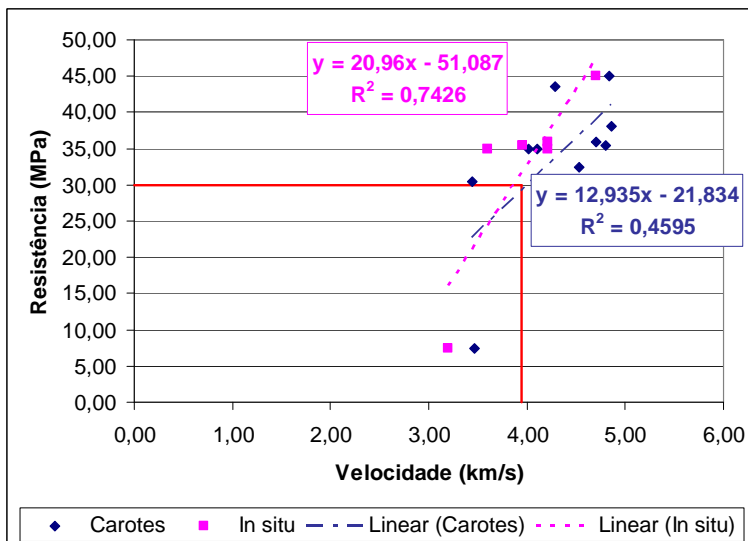


Figura 7 Correlação entre os resultados dos ensaios não destrutivos com os ensaios de resistência do betão obtidos em ensaios de compressão simples de carotes extraídas obra.

O critério para a decisão de escolher os pilares onde foi introduzido o confinamento do betão com mantas de CFRP foi o seguinte:

- Zonas com resultados de resistência à compressão inferior a 30 MPa (ensaios de carotes de 75mm de diâmetro e igual altura)
- Zonas onde os resultados dos ensaios não destrutivos correspondem a resistências à compressão inferiores a 30 MPa (velocidade de ultra-sons inferior a 3,8 Km/s ou índice esclerométrico inferior a 40).

Felizmente concluiu-se que os troços a reforçar tinham uma extensão reduzida no contexto da obra. O reforço consistiu no encamisamento com mantas de fibras de carbono. Decidiu-se igualmente reforçar todas as juntas de betonagem dos pilares/estacas por apresentarem em geral defeitos de execução.

Na zona enterrada dos pilares estacas a fendilhação não se verificava pelo que a intervenção de reabilitação não envolveu essas zonas.

### **3. REABILITAÇÃO DO VIADUTO “E” E ESTACADAS (2)**

A reabilitação das Estacadas envolveu essencialmente os seguintes trabalhos:

#### **3.1 Reforço Local dos Pilares/Estacas**

O reforço consistiu no encamisamento com compósito de fibra de carbono (mantas impregnadas in situ) com as seguintes diferenciações (figura 8):

- Pilares do alinhamento 20 da Estacada 3 – encamisamento com 4 voltas de CFRP
- Juntas de betonagem e restantes troços de pilares a reforçar encamisamento com 2 voltas de CFRP

O efeito da cintagem no aumento da resistência à compressão ( $f'_c$  em vez de  $f_c$ ) pode ser expresso por:

$$f'_c = f_c + 4\sigma$$

Sendo  $\sigma$  a tensão de confinamento que é dada por:

$$\sigma = \frac{f_{CFRP} t}{r}$$

em que

$f_{CFRP}$  representa a tensão de cálculo adoptado para o CFRP

$t$  a espessura da fibra de carbono (0.117 m por camada) e

$r$  o raio do pilar

Para os pilares de 40 cm de diâmetro, o encamisamento com 2 voltas permite adicionar uma resistência à compressão de 5,6 MPa e com 4 voltas uma resistência adicional de 11,2 MPa .

Este acréscimo de capacidade foi verificado experimentalmente {5}.



Figura 8 Encamisamento de pilares/estacas com mantes de CFRP

### 3.2 Reparação/substituição de aparelhos de apoio no encontro das estacadas

As chapas metálicas dos aparelhos de apoio foram reabilitados e as placas de elastômero substituídas em dois apoios (figura 9).





Figura 9 Reabilitação dos aparelhos de apoio no encontro Sul das estacadas

### 3.3 Reabilitação dos aparelhos de apoio do viaduto “E”

Tendo-se verificado que a placa de elastômero do apoio da 2ª viga a contar de Nascente, no alinhamento do pilar de transição se tinha deslocado para fora do apoio e que a viga estava apoiada apenas nas chapas metálicas, foi decidido não só reparar essa situação mas também proceder-se a uma reabilitação geral dos apoios e introdução de novas placas de neoprene (algumas das quais estavam anormalmente deformadas). Para tal foi necessário conceber um sistema para levantamento do tabuleiro. Os topos das vigas foram reforçados com CFRP dada a excentricidade do ponto de aplicação dos macacos, conforme se ilustra na Fig. 10.



Figura 10 Reabilitação dos apoios do tabuleiro do viaduto “E” no pilar de transição

Devido a uma deficiente localização dos pernos dos apoios fixos das vigas do tabuleiro no Encontro Norte exteriormente aos estribos da viga (ver figura 6), o apoio foi modificado estabelecendo a fixação na alma da viga conforme ilustrado na figura 11.



Figura 11 Substituição da fixação das vigas do tabuleiro à viga de estribo do encontro

### 3.4 Outras intervenções

A reabilitação do Viaduto E e Estacadas envolveu ainda a protecção geral da estrutura de betão por meio de pintura. Atendendo a que no desenvolvimento das reacções expansivas apenas podemos intervir no teor de humidade do betão retardando assim a sua velocidade decidiu-se adoptar uma pintura com uma espessura não inferior a 500  $\mu\text{m}$  (com uma camada com elevada capacidade de deformação para não fendilhar se tal suceder no betão) e com o duplo objectivo de protecção em relação à penetração do anidrido carbónico e de protecção em relação à penetração de água para o interior do betão. Localmente foi realizada uma reparação repondo o betão de recobrimento quando a corrosão de armaduras se havia manifestado (expondo as armaduras ou delaminando o betão).

As juntas de dilatação foram todas substituídas, ampliando o movimento admissível, quer para permitir a expansão associada às reacções ASR quer para permitir os movimentos devidos à acção da temperatura e à acção sísmica. Para tal foi necessário refazer o sistema de fixação das juntas e aumentar o espaço disponível entre o tabuleiro e o encontro.

As Estacadas foram objecto de um plano de monitorização que contempla os seguintes aspectos (figura 12):

- Medição dos movimentos longitudinais e transversais das juntas de dilatação
- Medição dos movimentos longitudinais da estrutura no topo dos pilares próximos das juntas
- Introdução de sensores de resistividade (multiring - electrodes)
- Introdução de alongâmetros para medição da extensão nas vigas de bordo com uma base de medida de 1 m .



Figura 12 Alongâmetros e sensores de resistividade instalados nas “Estacadas”

#### Referências:

- (1) - Edgar Cardoso, Sanches da Gama – Projecto de Execução do Viaduto E e prolongamento em Estacada da A1 na Baixa do Mondego, 1979
- (2) - A2P - Projecto de Reabilitação dos Viadutos da Baixa do Mondego, 2003
- (3) - LNEC – Estudo das Causas de Degradação de Betão dos Viadutos da Baixa do Mondego, Relatório NQ, Julho 2002
- (4) - Belbetões – Relatório de Inspecção e Ensaios, 2002 e 2003
- (5) – Braga, Ana – Reforço de pilares circulares de betão simples com mantas de CFRP, dissertação de mestrado, IST 2006