

Diagnóstico e mitigação dos efeitos estruturais das reações expansivas internas do betão nos viadutos do Barranco dos Ribeiros 2 e 3 e no viaduto do Barranco de Brejões

Tomás Faria, Betar Consultores, Lda.



Índice

1. Introdução
2. Descrição geral das obras
3. Principais anomalias identificadas
4. Ensaio de caracterização dos Materiais
5. Interpretação das anomalias nos aparelhos de apoio
(Viadutos 2 e 3 B. Ribeiros)
6. Propostas de intervenção
7. Conclusões

Introdução

Objecto de estudo

**VI DO BARRANCO DOS RIBEIROS 2 (km 212+800 da A2) e
VI DO BARRANCO DOS RIBEIROS 3 (km 213+150 da A2):**

Autoria: COBA, Consultores para Obras, Barragens e
Planeamento S.A. – Set. 2000

VI DO BARRANCO DE BREJÕES (km 204+850 da A2)

Autoria: Triede, Consultoria e Projectos de Engenharia Civil,
S.A. – Ago. 2000.

O traçado da A2, na zona de inserção destes viadutos, desenvolve-se em meia encosta, numa área de morfologia bastante irregular, característica da Serra do Caldeirão.



Introdução

Enquadramento dos projectos

A decisão de lançar o concurso para a elaboração dos projectos de reabilitação teve origem nas observações realizadas no âmbito da campanha de inspecções programadas, das quais resultou a identificação de padrões de fissuração nos elementos em betão, compatíveis com reacções expansivas internas.



Descrição geral das obras

Viadutos 2 e 3 sobre o Barranco dos Ribeiros

Solução estrutural dos tabuleiros

- Tabuleiros bi-viga em betão armado pré-esforçado (altura máxima 2.0m);
- Pilares – Seção circular com ligação monolitica ou através de aparelhos de apoio ao tabuleiro.
- Aparelhos de apoio do tipo neoprene cintado com chapas de guiamento.

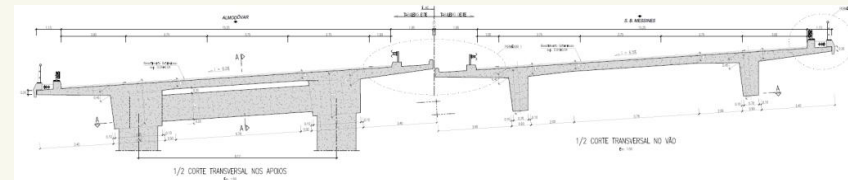
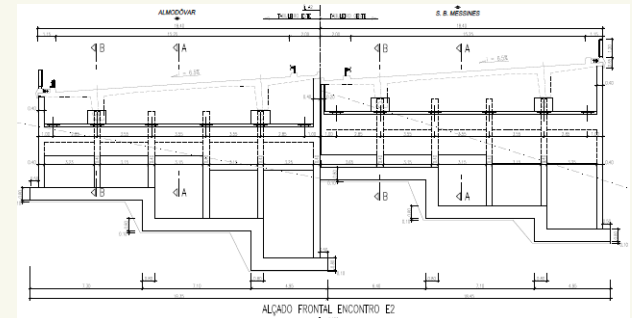
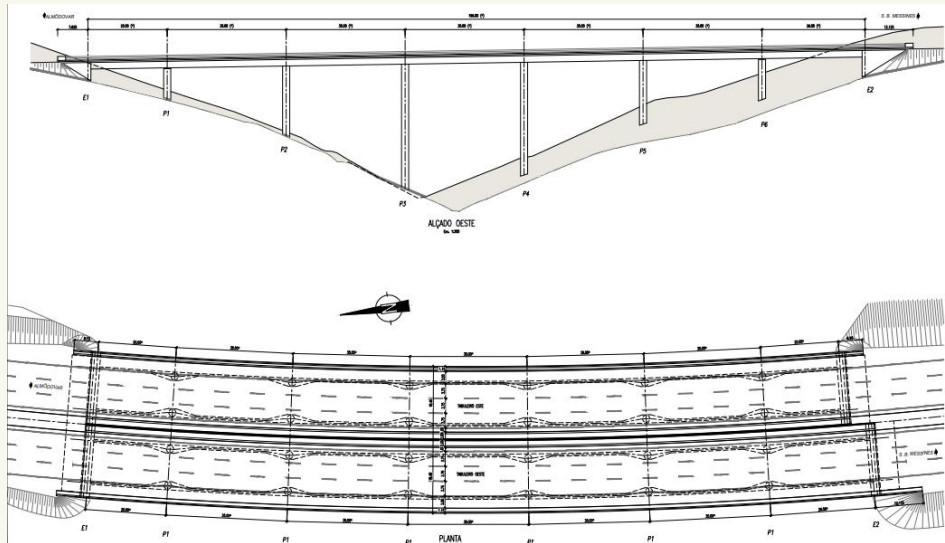
Dimensão dos tabuleiros

Viaduto 2: Tabuleiro Nascente: 190m / vãos: $20+5\times 30+20=190\text{m}$;
 Tabuleiro Poente: 196m / vãos: $20+5\times 30+26=196\text{m}$;

Viaduto 3: Tabuleiro Nascente: 108m / Vãos: $24+2\times 30+24=108\text{m}$;
 Tabuleiro Poente: 124m / Vãos: $24+2\times 30+24+16=124\text{m}$

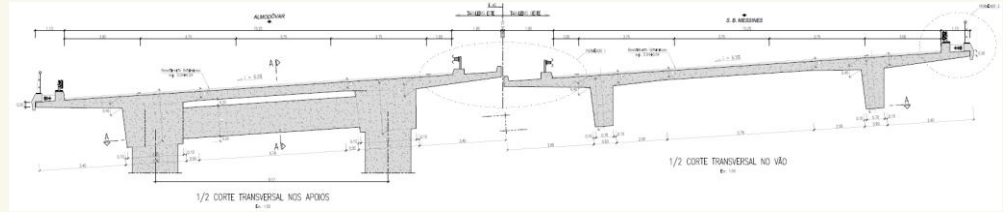
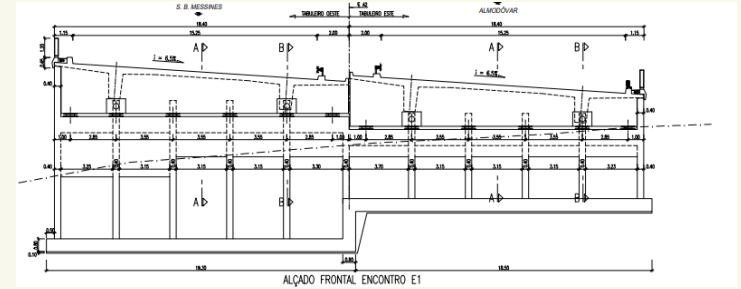
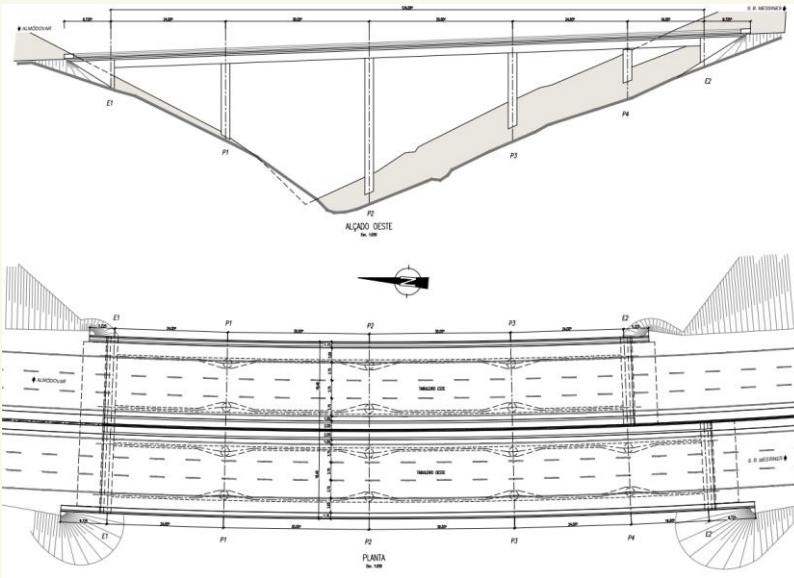
Descrição geral das obras

Viadutos 2 sobre o Barranco dos Ribeiros



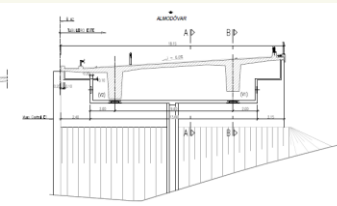
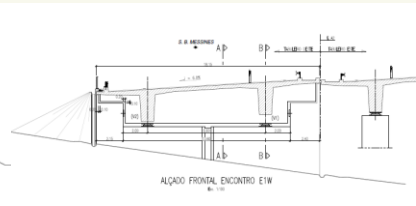
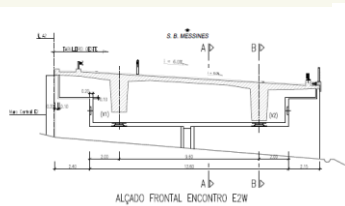
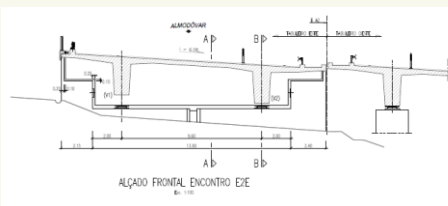
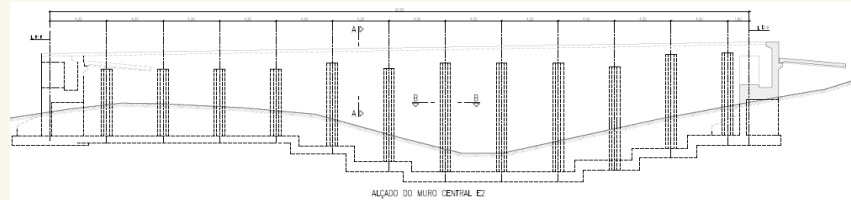
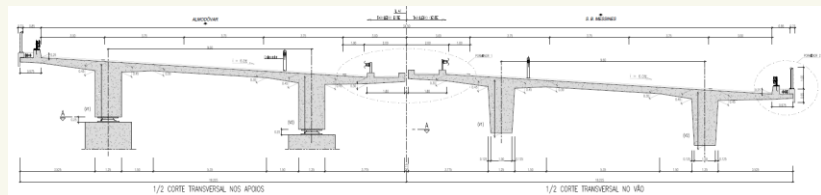
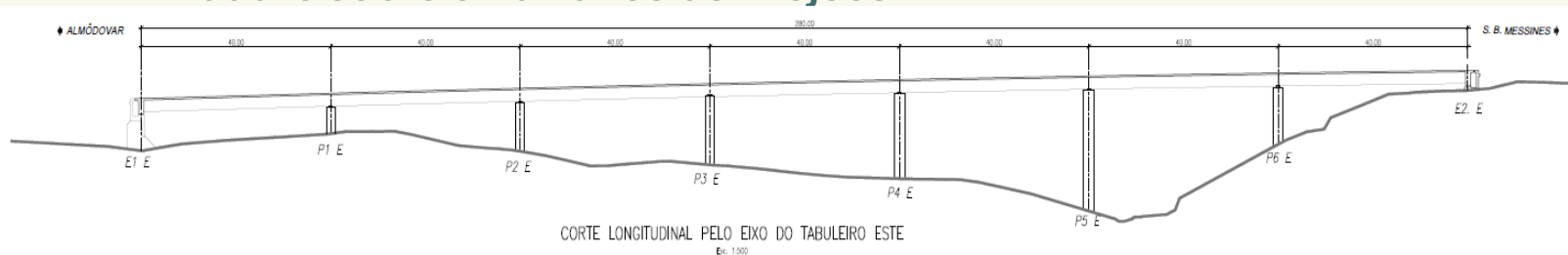
Descrição geral das obras

Viadutos 3 sobre o Barranco dos Ribeiros



Descrição geral das obras

Viaduto sobre o Barranco de Brejões



Principais anomalias identificadas

em elementos de Betão

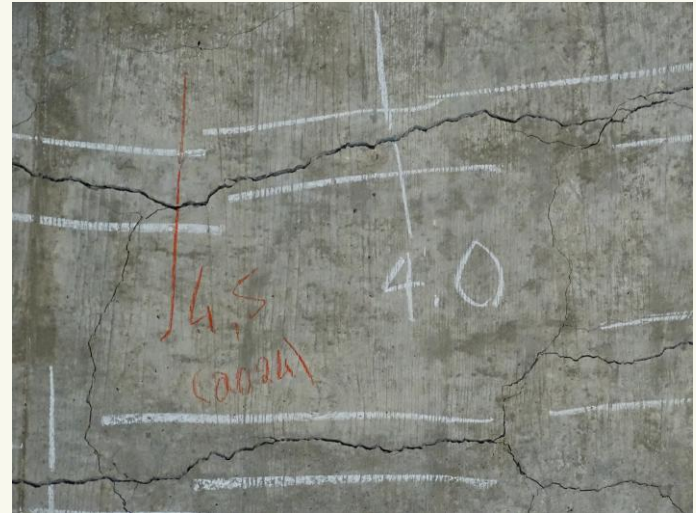
- Fendilhação longitudinal das vigas dos tabuleiros;
- Fendilhação, descasques e segregação do betão dos tabuleiros, e encontros;
- Fendilhação em malha nas almas das viga, pilares e encontros;

Principais anomalias identificadas

em elementos de Betão



Fendas longitudinais nas vigas



Pormenor de fendas nas vigas do tabuleiro, com aberturas até 4.5mm

Principais anomalias identificadas

em elementos de Betão



Fendas em malha nas vigas do tabuleiro



Betão segregado no fundo das vigas

Principais anomalias identificadas em elementos de Betão



Fendas em malha tipo “craquelê” nos encontros



Exposição de armadura nos espelhos dos encontros

Principais anomalias identificadas

em elementos de Betão



Fendas nos cachorros das juntas de dilatação



Exposição de armaduras com corrosão na face superior dos tabuleiros

Principais anomalias identificadas

em elementos de Betão



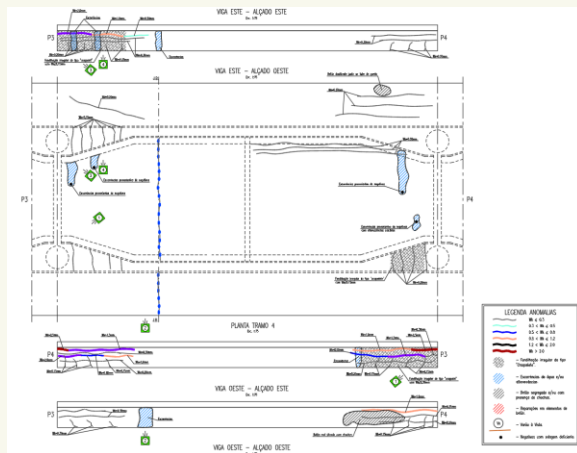
Fendilhação com orientação vertical de abertura reduzida



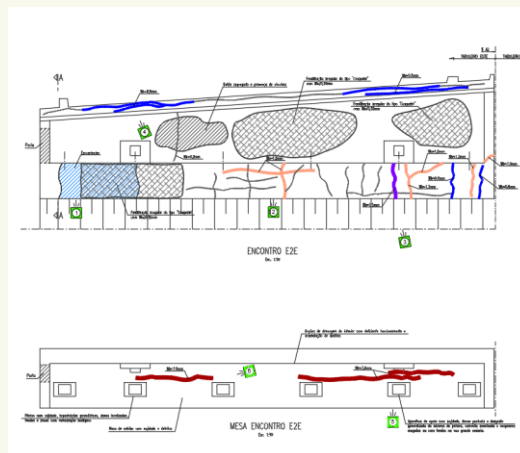
Fendilhação do tipo “craquelê” na base dos pilares

Principais anomalias identificadas em elementos de Betão

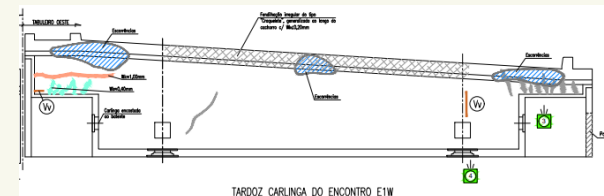
- Extrato do Mapeamento de fissuras e outras anomalias realizado pela Betar:



Exemplo do Viaduto B. Ribeiros 2, tabuleiro Poente, Tramo 4



Exemplo do Viaduto B. Ribeiros 2, tabuleiro Nascente, Encontro Sul



Exemplo do Viaduto B. Brejões, tabuleiro Nascente, Carlinga do encontro Norte

Principais anomalias identificadas

Drenagem das águas pluviais nas obras de arte

- Escorrências pelas faces das consolas dos passeios;
- Escorrências pelas junta construtivas e zona dos negativos de apoio das vigas de lançamento;
- Escorrências através das juntas de dilatação nos encontros por degradação da manga de recolha das águas;

Principais anomalias identificadas

Drenagem das águas pluviais na obra de arte



Escorrências através das juntas
construtivas



Escorrências nas faces
das consolas

Principais anomalias identificadas

Drenagem das águas pluviais na obra de arte



Escorrências na frente
dos encontros



Escorrências nos cachorros
das juntas de dilatação

Principais anomalias identificadas

em aparelhos de apoio nos encontros (VI 2 e 3 sobre os Barranco dos Ribeiros)

- Degradação da protecção anti-corrosiva dos aparelhos de apoio;
- Batentes transversais encostados e/ou com deformação das chapas inferiores devido ao contacto entre batentes;
- Há evidências de danos nas mesas dos encontros devido à restrição dos movimentos longitudinais dos aparelhos de apoio;
- Blocos de neoprene desposicionados;
- Verifica-se a falta de curso disponível em caso de acção sísmica.

Principais anomalias identificadas

em aparelhos de apoio nos encontros (VI 2 e 3 sobre os Barranco dos Ribeiros)



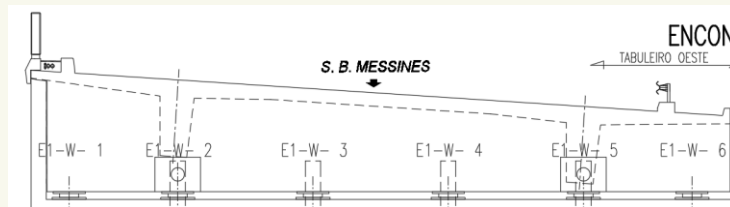
Degração da protecção anticorrosiva



Evolução 2017-2024 – ap. de apoio E1-1 Tabuleiro W (VI2)



Bloco desposicionado nos encontros



Principais anomalias identificadas

em aparelhos de apoio nos encontros (VI 2 e 3 sobre os Barranco dos Ribeiros)

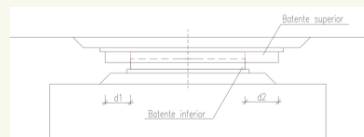


Chapa inferior deformada devido ao contacto entre os batentes.



Bloco de neoprene posicionado junto à extremidade da chapa superior – sem curso disponível para os deslocamentos sísmicos de projecto

Posicionamento dos ap. de apoio nos encontros - Avaliação do curso disponível para a acção sísmica								
Obra	Encontro	Tabuleiro						Deslocamento Sísmico de projecto
		E (sentido Sul/Norte)			W (Sentido Norte/Sul)			
		d = min (d1,d2)	Curso disponível	Conclusão	d = min (d1,d2)	Curso disponível	Conclusão	
V2	E1	var. entre 175 e 205 mm	min. 175	Com curso disponível	var. entre 160 e 180 mm(*)	min. 160	Com curso disponível	115 mm
	E2	var. entre 60 e 95 mm	min 60	Sem curso disponível	var. entre 110 e 115 mm	min. 110	no limite	115 mm
V3	E1	var. entre 160 e 170 mm	min. 140	Com curso disponível	var. entre 70 e 90 mm	min 70	Sem curso disponível	95 mm
	E2	var. entre 110 e 140 mm	min. 110	Com curso disponível	aprox. 90 mm	min 90	no limite	95 mm



Conclusão: Os movimentos longitudinais nos aparelhos de apoio estão restringidos

Principais anomalias identificadas

em aparelhos de apoio nos pilares (VI 2 e 3 sobre os Barranco dos Ribeiros)

- Degradação da protecção anti-corrosiva dos aparelhos de apoio;
- Blocos de neoprene apresentam rasgos e deformação excessiva;
- Blocos de neoprene desposicionados;
- Há evidências do esmagamento das laminas de neoprene (possivelmente devido a compressão excessiva);
- Deformação das chapas inferiores devido ao contacto entre batentes;
- Plintos superior e inferior não estão perfeitamente horizontais;
- Verifica-se a falta de curso disponível em caso de acção sísmica de projecto;

Principais anomalias identificadas

em aparelhos de apoio nos pilares (VI 2 e 3 sobre os Barranco dos Ribeiros)



Degradação da protecção anticorrosiva



Chapa inferior deformada devido ao contacto entre os batentes.



Deformação do bloco de neoprene



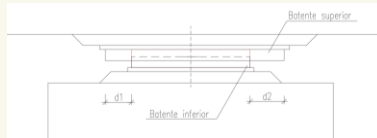
Rasgos no bloco de neoprene

Principais anomalias identificadas

em aparelhos de apoio nos pilares (VI 2 e 3 sobre os Barranco dos Ribeiros)



Bloco de neoprene desposicionado.



Aparelho de apoio descentrado

Posicionamento dos ap. de apoio nos pilares - Avaliação do curso disponível para a acção sísmica								
Viaduto	Pilares	Tabuleiro					Deslocamento Sísmico de projecto	
		E (sentido Sul/Norte)			W (Sentido Norte/Sul)			
		$d = \min(d1, d2)$	Curso disponível	Conclusão	$d = \min(d1, d2)$	Curso disponível		Conclusão
2	P1W	aprox. 170 mm	160 mm	Com curso disponível	aprox. 170 mm	175 mm	Com curso disponível	115 mm
	P1E	aprox. 170 mm	160 mm	Com curso disponível	aprox. 170 mm	175 mm	Com curso disponível	115 mm
	P6W	aprox. 150 mm	160 mm	Com curso disponível	aprox. 70 mm	80 mm	Sem curso disponível*	115 mm
	P6E	aprox. 150 mm	160 mm	Com curso disponível	aprox. 70 mm	80 mm	Sem curso disponível	115 mm
3	P4W	-	-	-	aprox. 90 mm	140 mm	no limite	95 mm
	P4E	-	-	-	aprox. 90 mm	140 mm	no limite	95 mm

Conclusão: Os movimentos longitudinais nos aparelhos de apoio estão restringidos

Interpretação das anomalias nos aparelhos de apoio (viadutos B. Ribeiros)

Aspectos que poderão ter contribuído para esta situação:

- No mesmo alinhamento de apoio, estão dispostos paralelamente vários batentes transversais sendo muito pequena a tolerância a movimentos que não ocorram de acordo com a orientação dos guiamentos, sendo:
 - Os tabuleiros estão dispostos, em planta, segundo uma curva circular;
 - Os pilares, no mesmo alinhamento tem alturas diferente (obras em meia-encosta). Ou seja, o centro de rigidez da estrutura não está centrado com o eixo do tabuleiro.
- As reacções expansivas, impõem dilatações aos elementos da estrutura, que poderão ter contribuído para a supressão das folgas entre batentes dos aparelhos de apoio restringindo assim o seu movimento.

Interpretação das anomalias nos aparelhos de apoio (viadutos B. Ribeiros)

Consequências:

- Ao nível dos pilares, a restrição aos livres movimentos dos aparelhos de apoio conduz a que estes se comportem como “pilares fixos” em vez de “pilares móveis” na direcção longitudinal, alterando o comportamento estrutural face ao projectado.
- Pelo reduzida extensão das obras, os pilares agora “fixos” acomodaram os deslocamentos devido as acções diferidas sem aparentes danos relevantes;
- No caso dos encontros, tratando-se de elementos muito rígidos, esta restrição dos movimentos conduziu ao aparecimento de fendas de grande abertura ao nível da face superior da mesa de um dos encontros (E2 do Viaduto 2 tabuleiro Oeste).



Fenda de abertura expressiva
no topo da mesa do encontro
V2 E2 Oeste

Ensaio de caracterização dos Materiais

Conclusões dos ensaios

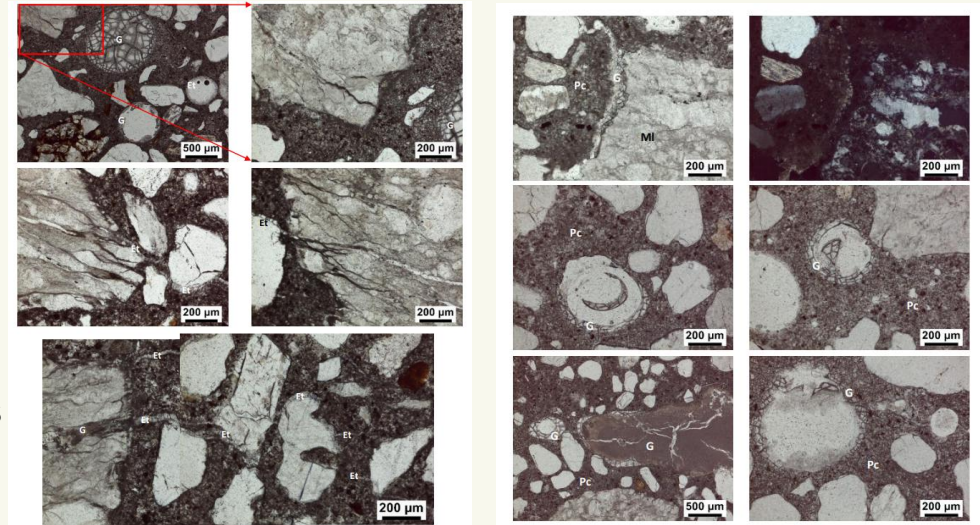
- Espessura de recobrimentos apresentam uma variação moderada a elevada, sendo que em 20 dos 30 locais avaliados esta era inferior ao regulamentar;
- Profundidade de carbonatação é, em geral, inferior ao recobrimento (entre 10 e 20mm);
- Teor de cloretos muito inferior ao limite crítico;
- Teor de alcális no betão superiores ao limite crítico recomendado (0.6%)
- Teor de sulfatos superior ao limite crítico de 2.5% (admitindo C3A sup. 3%)
- Resistência média do betão à compressão elevada > 62 MPa;

Ensaio de caracterização dos Materiais

Conclusões dos ensaios

- Análise petrográfica e de microscopia electrónica

Foram detectados os produtos resultantes de reacções expansivas nomeadamente gel expansivo associado a reacções álcalis-sílica (RAS), e de cristas de etringite associada a reacções sulfáticas internas (RSI).



Figuras - Imagens ao microscópio óptico de polarização mostrando as fissuras que cortam as partículas de agregado e se propagam para a pasta de cimento: a) com preenchimento total de um poro por gel sílico alcalino (G); b) e c) com preenchimento por etringite (Et) nas fissuras que cortam a pasta de cimento e são subparalelas entre si. Imagens obtidas em luz natural (nicóis paralelos). Esq. - Amostra do Viaduto Barranco dos Brejões; Dir. - Amostra do Viaduto Barranco dos Brejões

Proposta de intervenção

Cenários de intervenção:

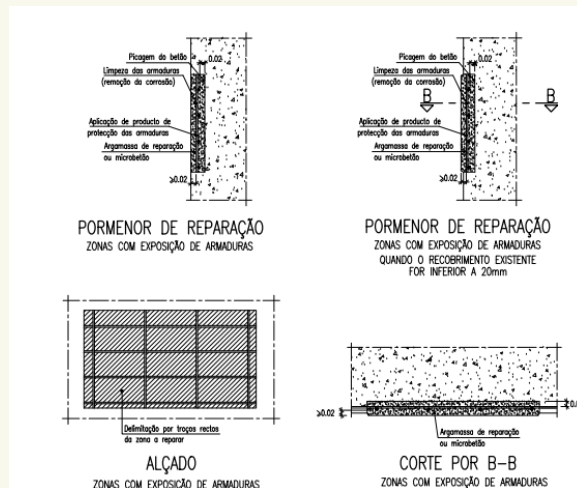
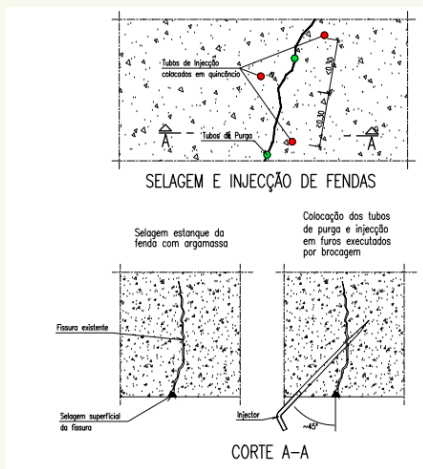
Foram definidos e quantificados vários cenários de intervenção que tiveram em consideração diferentes aspectos, nomeadamente:

- Reposição da integridade dos elementos estruturais;
- Implementação de medidas para o controlo da evolução das reacções expansivas (controlo do ingresso/contacto com água);
- Reposição do comportamento estrutural da infra-estrutura (aparelhos de apoio);
- Aumento da durabilidade da estrutura;

Proposta de intervenção

Actividades de reparação

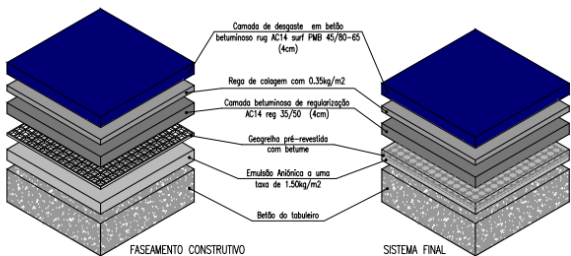
- Reparação de elementos de betão;
- Injecção das fendas com resina epóxi com abertura igual ou superior a 0.4mm



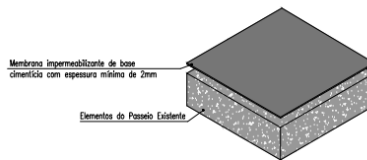
Proposta de intervenção

Actividades de reparação

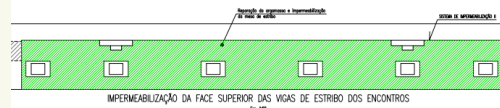
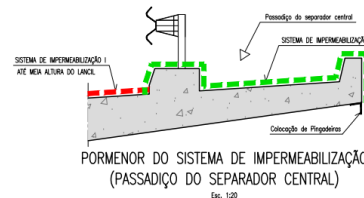
- Impermeabilização da face superior do tabuleiro, plena via e passeios;
- Impermeabilização da face superior das vigas de estribo nos encontros.



PORMENOR DO SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO I (FAIXA DE RODAGEM E SEPARADOR CENTRAL)



PORMENOR DO SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO II (PASSEIOS E SEPARADOR CENTRAL)



Proposta de intervenção

Actividades de reparação

- Melhoramento dos órgãos de drenagem.

COLOCAÇÃO DE PINGADEIRAS NOS TABULEIROS

- AS PINGADEIRAS SERÃO COLOCADAS NAS EXTREMIDADES DOS TABULEIROS DO LADO DO SEPARADOR CENTRAL, DO LADO DOS PASSEIOS, SO SERÃO COLOCADAS PINGADEIRAS NOS TROCIS EM QUE AS FACES INFERIORES DAS CORNANAS NÃO ESTIVEREM PELO MENOS 5CM ABAXO DA FACE INFERIOR DA LAJE DO TABULEIRO.

- AS PINGADEIRAS SERÃO COLOCADAS SOBRE UM LETO CONTÍNUO DE ARGAMASSA CIMENTÍCIA PRÉ-DOSADA, E LIGADAS À LAJE DO TABULEIRO ATRAVÉS DE PARAFUSOS SELADOS COM BUCHAS QUÍMICAS.



PORMENOR DA PINGADEIRA



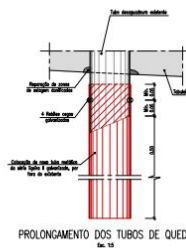
ESCORENCIAS DE ÁGUA NAS LAJES DOS TABULEIROS

PROLONGAMENTO DOS TUBOS DE QUEDA DOS SUMIDOUROS DOS TABULEIROS

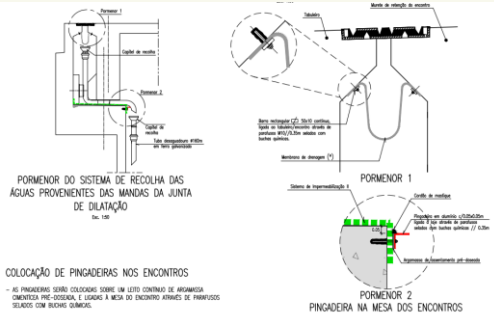
- LEVANTAMENTO GEOMÉTRICO DO COMPRIMENTO DOS TUBOS DE QUEDA SALENTE QUE APRESENTAR RELATIVAMENTE À FACE INFERIOR DOS TABULEIROS.
- PODEEM PARA REPOZIÇÃO DE ZONAS DE SELAGEM DANIFICADAS DOS TUBOS DE QUEDA E APLICAÇÃO DE ARGAMASSA DE REPARAÇÃO.
- EXECUÇÃO DE FURANÇOS NAS EXTREMIDADES DOS TUBOS DE QUEDA EXISTENTES, COM DIÂMETRO DE 100mm, DE MODO A POSSIBILITAR A LIGAÇÃO REQUERIDA AOS NOVOS TUBOS.
- COLOCAÇÃO DE UM TUBO DE AÇO GALVANIZADO, COM DIÂMETRO INTERIOR IGUAL À MDC TIRAR 0,5mm DO QUE O DIÂMETRO EXTERIOR DO TUBO DE QUEDA EXISTENTE.
- EXECUÇÃO DAS LIGAÇÕES REQUERIDAS DOS NOVOS TUBOS AOS TUBOS EXISTENTES, UTILIZANDO REBITES CEGOS GALVANIZADOS.



TUBO DE QUEDA COM COMPRIMENTO REDUZIDO



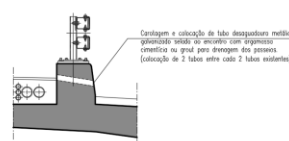
PROLONGAMENTO DOS TUBOS DE QUEDA



COLOCAÇÃO DE PINGADEIRAS NOS ENCONTROS

criação de novos sumidouros para drenagem dos passeios.

- EXECUÇÃO DE FURTO NO LANÇIL COM CARTEADORA;
- SELAGEM DE TUBO METÁLICO GALVANIZADO COM GROUT OU ARGAMASSA CIMENTÍCIA.



ALÇADO FRONTAL PARCIAL DOS ENCONTROS

Proposta de intervenção

Intervenção nos aparelhos de apoio nos Viadutos sobre o Barranco dos Ribeiros 2 e 3

Objectivo: Reposição do comportamento estrutural da infra-estrutura

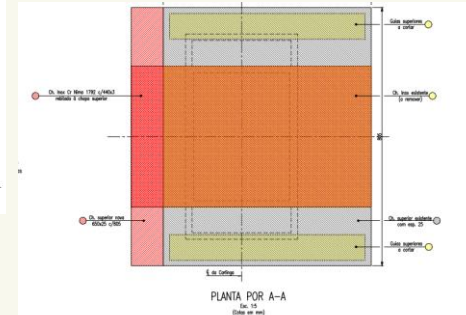
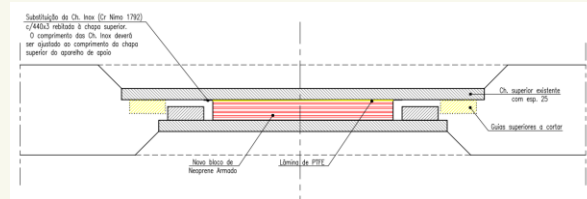
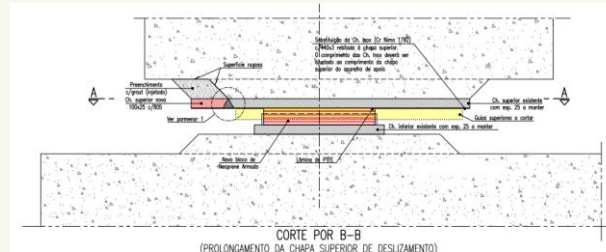
- Encontros: intervenção nos aparelhos de apoio existentes incluindo o corte das guias existentes e instalação de um “shear key” para transferência da reacção sísmica transversal;
- Pilares: Substituição de todos os aparelhos de apoio existentes por aparelhos de apoio esféricos unidireccionais.

Proposta de intervenção

Intervenção nos aparelhos de apoio nos Viadutos sobre o Barranco dos Ribeiros 2 e 3

Intervenção nos encontros:

- Intervenção dos aparelhos existentes, corte das guias superiores, intervenção nas chapas, e com substituição dos blocos de neoprene;



INTERVENÇÕES NOS APARELHOS DE APOIO DO ENCONTRO (A) (VIA ENCONTROS)			
Viaduto	ENCONTRO	Tabela:	
		# (quantidade/Valor)	M (Quantidade/Valor)
VI	E1	R	R
	E2	RP	R
VI	E1	R	RP
	E2	R	R

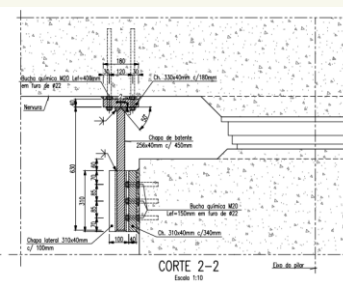
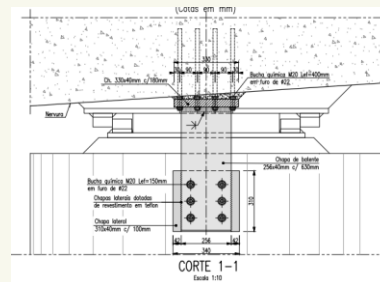
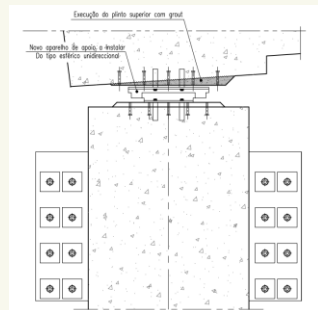
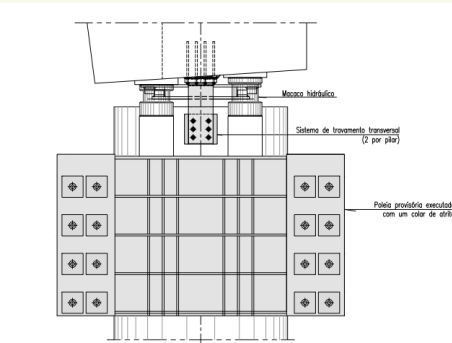
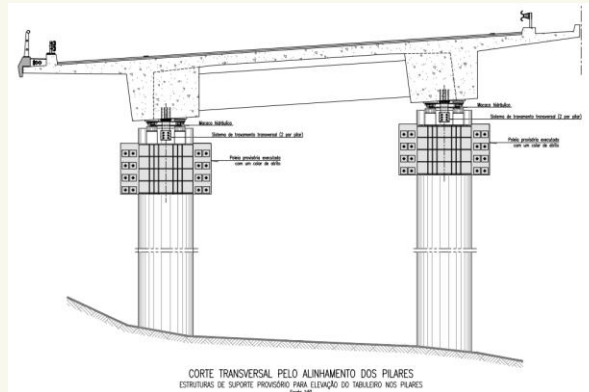
Legenda:
 Realização dos aparelhos de apoio existentes
 Realização dos aparelhos de apoio existentes com prolongamento da chapa superior de deslizamento

Proposta de intervenção

Intervenção nos aparelhos de apoio nos Viadutos sobre o Barranco dos Ribeiros 2 e 3

Intervenção nos pilares

- Substituição dos aparelhos de apoio existentes por aparelhos de apoio do tipo esféricos unidireccionais



Conclusões

As intervenções definidas no âmbito do desenvolvimento destes projectos visaram, por um lado, a reposição do monolitismo e funcionamento estrutural, e ainda o controlo e mitigação do desenvolvimento das reacções expansivas.

Em particular, no que se refere aos Viadutos do Barranco dos Ribeiros 2 e 3, foi possível constatar o impacto das reacções expansivas nas estruturas, não apenas ao nível da durabilidade, evidenciado pela elevada fissuração observada, mas também pela alteração do comportamento estrutural face ao previsto em projecto, com potenciais riscos para a segurança da estrutura.

O controlo do ingresso da água, através da melhoria dos órgãos de drenagem das águas pluviais e a impermeabilização das faces superiores dos tabuleiros representam um aspecto crucial para o desenvolvimento destas reacções.

Embora a aplicação de revestimentos superficiais seja uma medida comum para mitigar a evolução das reacções expansivas internas (REI) e limitar a penetração de CO₂, no caso em análise optou-se por não a aplicar. Tal decisão deve-se à incerteza quanto ao estado evolutivo das reacções expansivas, uma vez que o revestimento poderia dificultar o acompanhamento da patologia em futuras inspeções.

OBRIGADO!

CONTACTOS

tfaria@Betar.pt

+351 914660333

