

Sistema de monitorização da ponte da Lezíria – A sua utilidade durante a fase construtiva



Helder Sousa¹



Joaquim Figueiras³



João Bento²

RESUMO

Actualmente, na área de estruturas de Engenharia Civil, os designados sistemas de monitorização permanentes são cada vez mais utilizados, principalmente em barragens e obras de arte pela importância socioeconómica que este tipo de estruturas representa.

Com a evolução tecnológica, estes sistemas de monitorização permitem o acompanhamento do comportamento estrutural e durabilidade dos materiais de modo remoto e em tempo real. Isto é conseguido através da medição de um conjunto de grandezas físicas e químicas por intermédio da utilização de sensores apropriados, com recurso a um sistema de aquisição e comunicação que permita a recolha automática, e à distância, das leituras efectuadas pelos sensores.

A base de dados proveniente destes sistemas de monitorização é uma fonte de conhecimento em estado bruto. A aplicação, ou desenvolvimento, de algoritmos de tratamento de dados e de análise de resultados podem permitir a obtenção de um conhecimento de nível superior. Conhecimento este, útil na prevenção de situações de dano e um auxílio na gestão das estruturas monitorizadas.

Neste trabalho é apresentado o caso da Ponte da Lezíria, sobre o rio Tejo, localizada entre as localidades do Carregado e Benavente, na qual foi instalado um sistema de monitorização estrutural e de durabilidade com carácter permanente. Este sistema de monitorização, instalado durante a construção da estrutura, para além da monitorização a longo prazo possibilitou o registo da resposta estrutural de diversos acontecimentos do processo construtivo. Deste modo, e no âmbito do presente trabalho, são apresentados alguns registos obtidos durante a construção, focando a mais valia que este tipo de informação poderá oferecer às entidades e técnicos interessados no acompanhamento dos processos construtivos.

PALAVRAS-CHAVE

Sistemas de monitorização; Tratamento de resultados; Fase construtiva.

¹ LABEST, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 4200-465 Porto, Portugal. hfmsousa@fe.up.pt

² LABEST, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 4200-465 Porto, Portugal. jafig@fe.up.pt

³ BRISA - Auto-estradas de Portugal S. A., 2785-599 São Domingos de Rana, Portugal. jbento@brisa.pt

1. INTRODUÇÃO

Até à presente data tem-se assistido a uma evolução na concepção e arquitectura de sistemas de monitorização permanentemente instalados em estruturas de Engenharia Civil. Essa evolução reflectiu-se, por um lado na racionalização e maximização das potencialidades dos recursos e equipamentos disponíveis no mercado, e por outro lado no constante aparecimento de novos produtos de mercado tecnologicamente inovadores. Deste modo, os actuais sistemas de monitorização permitem o acompanhamento da evolução do comportamento estrutural e durabilidade dos materiais de modo remoto e em tempo real. Isto é conseguido através da medição de um conjunto de grandezas físicas e químicas por intermédio da utilização de sensores apropriados, com recurso a um sistema de aquisição e comunicação que permita a recolha automática e remota das leituras efectuadas pelos sensores numa base de dados acessível via internet.

O sistema de monitorização da ponte da Lezíria é complexo, podendo ser desdobrado na sequência de três etapas elementares: (i) o processo, onde se insere todo o desenvolvimento até à definição do documento para execução; (ii) a instalação, onde se inserem todas as tarefas que permitem a realização concreta do que consta nesse documento de execução; (iii) e os registos, os quais representam o resultado pretendido pela implementação do sistema de monitorização.

O sistema de monitorização da ponte da Lezíria apresenta alguns aspectos inovadores na monitorização em Portugal, desde logo foi parte integrante do projecto da Ponte da Lezíria, cabendo-lhe um volume no caderno de encargos a si destinado e intitulado: “Plano de Monitorização Estrutural e de Durabilidade” [1]. Este volume foi alvo de sucessivas versões e com a intervenção das mais diversas entidades, desde o dono de obra, projectistas, consultores, construtora e especialistas em SHM (“Structural Health Monitoring”). O projecto, na sua versão final, pela sua organização, conteúdos e objectivos demonstraram ser um documento de referência na área da monitorização de estruturas.

Com o projecto definido, seguiu-se a instalação do sistema de monitorização. Foi um longo percurso de aproximadamente 18 meses de instalação, tendo sido uma empreitada de grande dimensão e envolvendo uma equipa altamente especializada. Características como dinamismo, flexibilidade, adaptabilidade e entrosamento revelaram-se fundamentais para o sucesso da instalação do sistema de monitorização.

Os registos obtidos até ao momento têm-se revelado uma fonte de conhecimento em estado bruto, apresentando grandes potencialidades para prevenção de situações de dano e para uma maior eficiência na gestão das estruturas monitorizadas.

Após conclusão da implementação do sistema de monitorização na nona maior ponte do mundo com 11,670m de comprimento total [2], este projecto revelou-se um desafio de alto nível. Nível esse, que exigiu uma alta capacidade de resposta e conhecimento da área, que só foi possível realiza-lo devido ao longo caminho de auto-aprendizagem que o FEUP-LABEST adquiriu ao longo dos últimos anos na área da monitorização de estruturas.

2. PONTE DA LEZÍRIA

A travessia do Tejo no Carregado insere-se na A10 – Auto-estrada Bucelas/Carregado (A1) / IC3 (A13), com uma extensão total de 39.9km, tendo como principal objectivo a materialização de uma envolvente exterior à Área Metropolitana de Lisboa, funcionando como uma alternativa à A1 – Auto-estrada do Norte, entre Alverca e Vila Franca de Xira, e realizando, ainda, a interligação entre as duas margens do Rio Tejo. Esta via desenvolve-se numa direcção Sudeste, ligando a A9 (CREL) à A1, no Carregado, e à A13 – Auto-estrada Almeirim/Marateca, através de um Nó de “alta-velocidade”, que permitirá que o tráfego proveniente do Norte e Oeste, bem como da área metropolitana de Lisboa, escoe para o Alentejo/Algarve (via A2) e para Espanha (via A6), sem atravessar a capital. Além disso, esta nova travessia permitirá melhorar as acessibilidades entre as zonas de Vila Franca de Xira e de Samora Correia/Benavente, conduzindo consequentemente ao descongestionamento da actual EN10 e da EN118 entre Porto Alto e Benavente [3]. Na Figura 1 apresenta-se um mapa da grande Lisboa com a indicação da localização da Ponte da Lezíria.

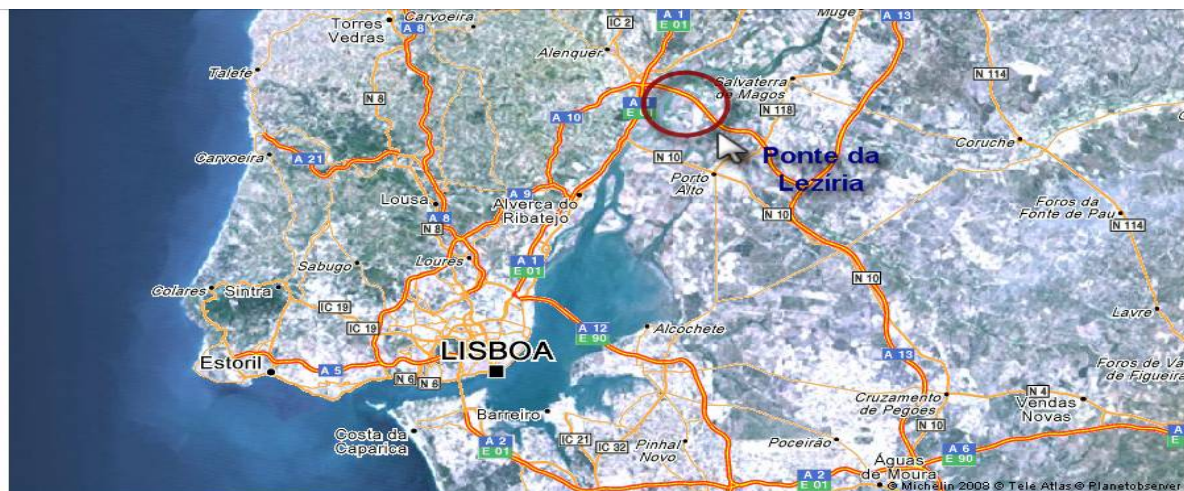


Figura 1. Localização da Ponte da Lezíria.

2.1 A Estrutura

2.1.1 O Viaduto Norte

Das três subestruturas, o Viaduto Norte, com 1700m de extensão, é a que permite a ligação desta travessia ao Nó do Carregado. Mais concretamente, é constituído por 3 viadutos elementares materializados por um tabuleiro vigado, com vãos correntes de 33m, excepto na zona do cruzamento desnivelado com a linha-férrea, na qual o vão maior, em viga-caixão possui 65m. Toda a zona do tabuleiro corrente é suportada por estacas-pilares, onde a profundidade das estacas chegam a ter 40m. Dois aspectos a realçar, e que foram condicionantes de projecto, foram o atravessamento da linha-férrea onde transitam os comboios alfa-pendulares Porto-Lisboa e a existência de uma subestação de energia eléctrica da Rede Eléctrica Nacional (REN) a poucas dezenas de metros.

2.1.2 A Ponte

A Ponte propriamente dita é uma estrutura constituída por 8 vãos que perfazem 970m, e 7 pilares assentes em maciços de encabeçamento de estacas sobre o leito do rio. Os vãos correntes possuem um comprimento de 130m e os 2 vãos extremos possuem um comprimento de 95m. Existem dois vãos que diferem do vão corrente em 5m devido a uma alteração de projecto num pilar da ponte, conduzindo deste modo a dois vãos de 125m e 135m de comprimento. Em termos de solução estrutural, o núcleo do tabuleiro da ponte materializa-se por uma viga-caixão de inércia variável, com uma largura de cerca de 10.0m e altura variável entre 4.0m e 8.0m. A construção do tabuleiro foi feita com recurso ao método de “carros de avanço”. Por sua vez, existem consolas laterais que foram betonadas posteriormente ao caixão e apoiadas neste e em escoras metálicas. O tabuleiro é suportado por pilares assentes sobre maciços de encabeçamento de estacas (8 na generalidade e 10 nos dois maciços que delimitam o canal de navegação).

2.1.3 O Viaduto Sul

O Viaduto Sul é a maior subestrutura com uma extensão total de 9160m, materializada por vãos correntes de 36m, existindo no entanto vãos de outro comprimento devido à necessidade de adaptar a obra ao atravessamento dos canais e diques da Lezíria. Mais concretamente, o Viaduto Sul é constituído por 22 viadutos elementares com extensões que variam de 250m a 530m. Em termos de solução estrutural, o tabuleiro é suportado por vigas pré-fabricadas (executadas no próprio estaleiro da obra, onde foi erguida uma fábrica de pré-fabricação para esse efeito), ligadas monoliticamente aos pilares. Assente sobre as vigas pré-fabricadas, o tabuleiro possui uma camada de pré-lajes que servem de cofragem e cimbra ao mesmo tempo para a betonagem “in-situ” da camada superior do tabuleiro. O tabuleiro é suportado por pilares-estacas e pilares de transição que suportam os vãos extremos dos viadutos elementares. As estacas possuem profundidades que variam desde 35m até 60m, atravessando aluviões de constituição variável.



Figura 2. Vista aérea da Ponte da Lezíria (Novembro de 2006 - ©TACE).

2.1 O sistema de monitorização estrutural e de durabilidade

A monitorização da Ponte da Lezíria consiste num sistema integrado e inovador, que integra toda a componente de equipamentos eléctricos/electrónicos, sensores, sistema de aquisição automática e tratamento/gestão de dados integrados numa rede de comunicação em fibra óptica de acesso remoto. Este sistema disponibiliza ao cliente final, um sistema orientado para a vigilância e prevenção da segurança estrutural e de durabilidade, fornecendo um conjunto de medidas das diversas grandezas em observação, com registos contínuos e simultâneos [4].

Do grupo de sensores instalados, 80% são medições de grandezas estáticas. Por este facto, o sistema de monitorização possui uma grande apetência para o acompanhamento do comportamento estrutural a longo prazo, através do registo de parâmetros como extensão, rotação, deslocamento, corrosão, infra escavação, e parâmetros ambientais.

No entanto, com o intuito de monitorizar acontecimentos de curta duração, tais como sismos ou choques de embarcações na zona do canal de navegação da Ponte, foram instalados um conjunto de acelerómetros tri-axiais criteriosamente posicionados. Uma das potencialidades do sistema dinâmico é a possibilidade de avaliar a energia transmitida à estrutura, a sua dissipação, e avaliar os efeitos produzidos nos elementos estruturais por esses acontecimentos acidentais de curta duração.

Atendendo à importância da estrutura principal, a Ponte, foi adicionalmente considerado um conjunto de sensores ópticos com base em sensores de fibra óptica recorrendo à utilização de redes de Bragg. Os sensores foram desenvolvidos especificamente para o efeito, fazendo parte integrante do sistema de monitorização estrutural e de durabilidade da ponte da Lezíria, e medem três parâmetros: (i) deslocamento vertical; (ii) extensão; (iii) temperatura. O principal objectivo da consideração deste sistema óptico foi a de aumentar a informação relativa ao comportamento estrutural da ponte, a possibilidade de se obter o comportamento dinâmico em termos de deformações, e complementarmente comparar a eficiência nesta obra de dois sistemas de monitorização (de base eléctrica e de base óptica) [5].

Todo o sistema sensorial anteriormente descrito é acedido remotamente a partir da Central de Operações, localizada na BRISA, por intermédio de um sistema de comunicação e um sistema de processamento e gestão de dados especificamente desenvolvido para o efeito [5].

Os referidos sensores e sistemas de aquisição são distribuídos de um modo agrupado. Mais especificamente em nove zonas instrumentadas: (i) duas nos viadutos de acesso da margem norte; (ii) três zonas na estrutura da ponte; (iii) e quatro zonas nos viadutos de acesso da margem sul. Cada zona monitorizada consiste numa série de secções instrumentadas, existindo numa dessas secções um Posto de Observação (PO) que possui um ou mais tipos de sistemas de aquisição. Em cada secção, são instalados sensores para medir os parâmetros pretendidos. A ligação dos sensores aos sistemas de aquisição, localizados no PO, é realizada por intermédio de cablagens, sendo as ligações efectuadas em Caixas de Junção (CJ) e Caixas Concentradoras de Sinal (CCS). Para uma mais fácil interpretação do enunciado, esquematiza-se na Figura 3 a arquitectura da componente sensorial [5].

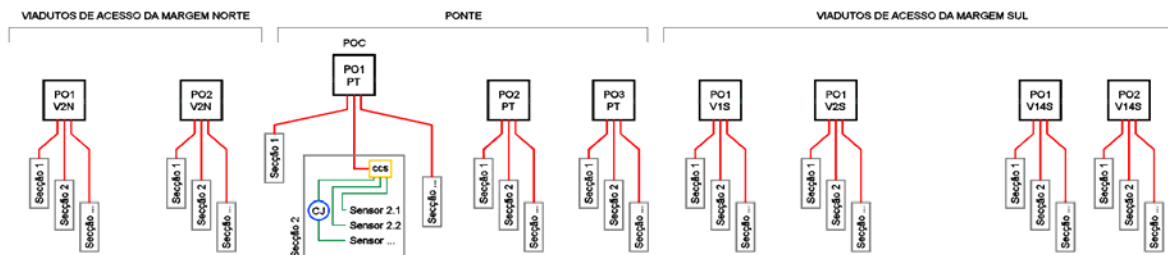


Figura 3. Arquitectura da componente sensorial.

Toda a instalação do sistema decorreu desde o início da construção da estrutura, e de acordo com o projecto de monitorização previamente elaborado [5] [6] [7].

4. REGISTOS DURANTE A CONSTRUÇÃO

Como referido, o sistema de monitorização entrou em funcionamento desde que se instalaram os primeiros sensores, ainda que de modo parcial e evolutivo, permitiu o registo de diversos acontecimentos durante a fase de construção da estrutura, tais como: (i) betonagens; (ii) operações de pré-esforço; (iii) retirada de cimbrês e movimentos dos “carros de avanço”; (iv) forças de afastamento nos fechos da ponte; (iv) ensaios de recepção da estrutura para verificação da conformidade do seu comportamento estrutural. Os resultados apresentados são provenientes de relatórios de observação emitidos durante a construção da estrutura, e teve como objectivo o acompanhamento da resposta estrutural das zonas instrumentadas durante a construção [8].

2.1 Monitorização da construção de dois vãos do Viaduto Norte pelo método da “viga de lançamento”

Como primeiro exemplo, apresentam-se os registos obtidos pelo Posto de Observação PO1-V2N localizado no viaduto norte V2N. Mais especificamente, ilustra-se o caso da construção de dois vãos do tabuleiro, pelo método da “viga de lançamento”, consistindo basicamente na sequência de quatro fases: (i) posicionamento da “viga de lançamento” entre os dois pilares consecutivos que delimitam o vão a executar (P_i e P_{i+1}); (ii) montagem de armadura e betonagem do vão; (iii) pré-esforço do vão betonado; (iv) avanço da “viga de lançamento” para o vão seguinte. Na Figura 4 ilustra-se as fases associadas à execução dos vãos V2N-P2P3 e V2N-P3P4, com uma descrição das fases no Quadro 2.

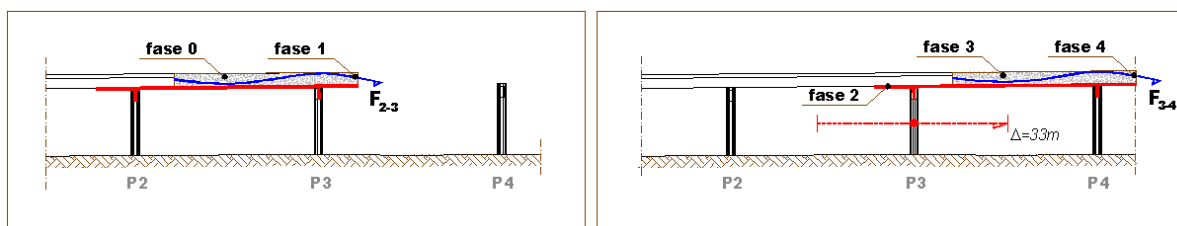
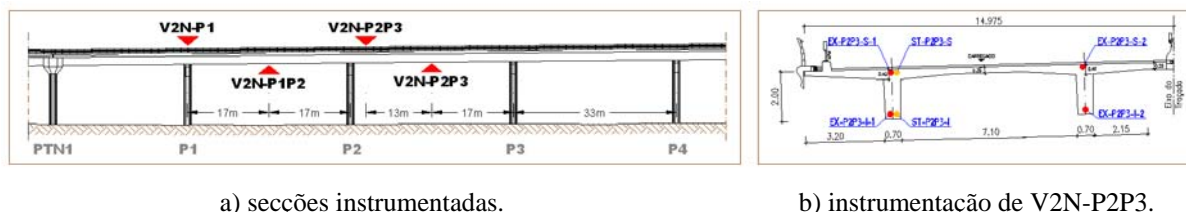


Figura 4. Faseamento construtivo dos vãos V2N-P2P3 e V2N-P3P4.

Quadro 2. Descrição das fases envolvidas na construção dos vãos P2P3 e P3P4.

Fase	Data de ocorrência	Descrição da fase
0	03-08-2006	Betonagem do vão V2N-P2P3
1	07-08-2006	Pré-esforço do vão V2N-P2P3
2	07-08-2006	Avanço da “viga de lançamento”
3	10-08-2006	Betonagem do vão V2N-P3P4
4	13-08-2006	Pré-esforço do vão V2N-P3P4

Como se indica na Figura 5 foram instrumentadas quatro secções com sensores embebidos no betão: (i) uma secção de pilar, junto ao tabuleiro; (ii) três secções no tabuleiro, sendo duas secções de meio vão e uma junto ao apoio. Em todas as secções foram dispostos pares de extensómetros de corda vibrante, junto às faces extremas de modo a captar extensões por flexão. O Posto de Observação localiza-se na secção V2N-P2.



a) secções instrumentadas.

b) instrumentação de V2N-P2P3.

Figura 5. Instrumentação embebida no betão do Viaduto Norte V2N.

De modo a perceber as fases referidas no Quadro 2, é apresentado na Figura 6 os registos obtidos pelos sensores instalados na secção de vão V2N-P2P3 (valores médios de EX-P2P3-S-1 e EX-P2P3-S-2, e de EX-P2P3-I-1 e EX-P2P3-I-2), vão este que é precisamente um dos executados. A selecção deste instante para apresentação de resultados teve em conta o facto de ter sido nesse momento que se completou a instrumentação embebida no betão. Deste modo foi possível acompanhar a evolução de todos os sensores e obter a resposta nas diferentes secções instrumentadas.

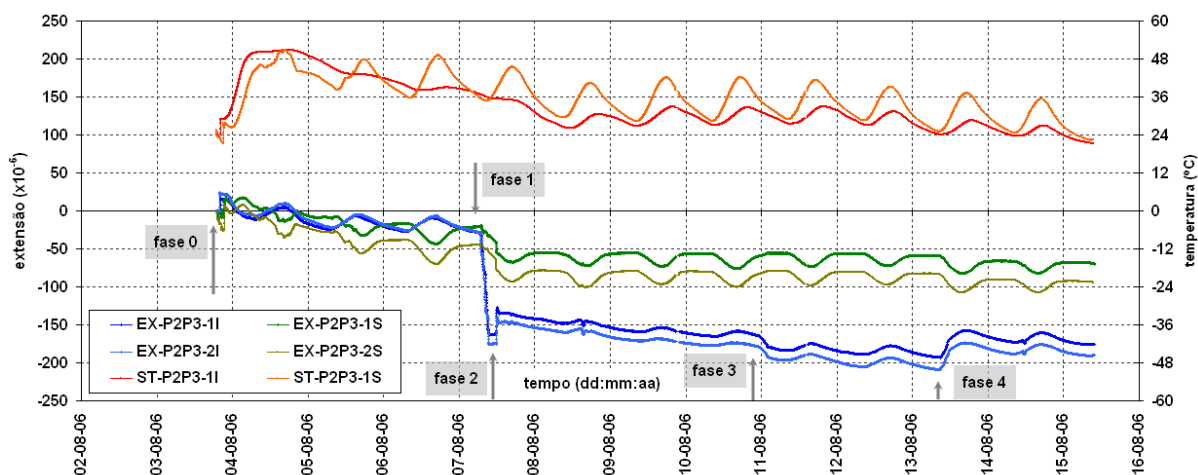


Figura 6. Série temporal registada pelos sensores embebidos na secção P2P3 durante a execução dos vãos V2N-P2P3 e V2N-P3P4.

Dos resultados apresentados, destaca-se a fase 1, na qual é bem evidente o momento positivo introduzido a meio do vão V2N-P2P3, com uma variação de curvatura de cerca de 64m^{-1} . Por outro lado, é ainda possível observar os efeitos das fases 2, 3 e 4 no registo EX-P2P3-I, com variações de deformação de $+29\mu\epsilon$, $-15\mu\epsilon$ e $+28\mu\epsilon$ respectivamente.

Em termos de temperatura do betão, observa-se uma evolução distinta nas faces inferior e superior do tabuleiro. É perceptível que a face superior atinge mais rapidamente o equilíbrio com a temperatura ambiente do que a face inferior, podendo ser explicado pela cofragem existente junto à face inferior durante o processo de cura do betão. Ainda assim, posteriormente à fase 2 as amplitudes térmicas são superiores na face superior devido à incidência directa do sol, ao contrário do que acontece na face inferior, que se encontra sempre à sombra.

Em termos de comportamento diferido, é possível constatar deformações por fluência e retracção em ambos os registos através de uma gradual variação de deformação no tempo no sentido de compressão. Note-se que a deformação por efeitos diferidos é mais acentuada na face inferior (EX-P2P3-I) devido principalmente ao pré-esforço aplicado na fase 1.

2.2 Forças de afastamento nos dois últimos fechos da Ponte

Uma das fases mais marcantes da construção da estrutura corresponde às últimas operações de fecho da estrutura da Ponte. Mais concretamente, tratou-se de duas operações que envolveram a aplicação de forças de afastamento na zona dos fechos P2P3 e P4P5, como se indica na Figura 7 e Quadro 3. O objectivo destas operações foi a introdução de um deslocamento relativo de afastamento entre as duas faces do fecho imediatamente antes da betonagem. Estas operações envolveram um grande aparato, já que envolveram a aplicação de grandes forças com recurso a sistemas hidráulicos e sistemas de controlo de força.

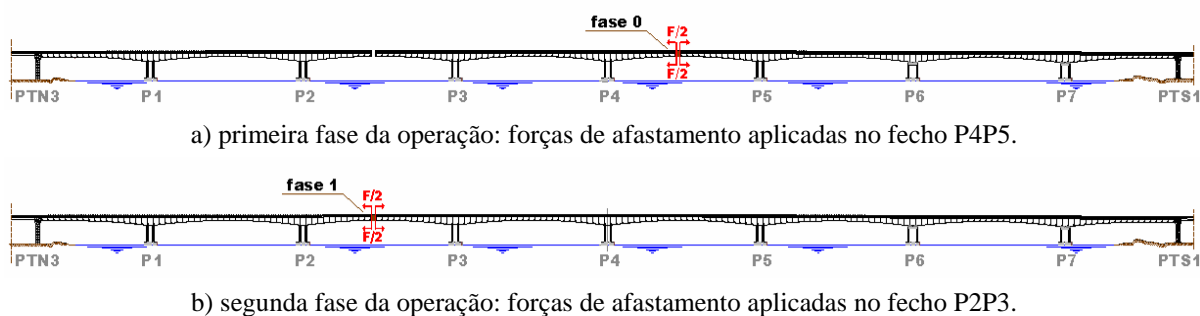


Figura 7. Sequência de aplicação de forças de afastamento nos dois últimos fechos da Ponte.

Quadro 3. Descrição das fases envolvidas nas operações de forças afastamento.

Fase	Data de ocorrência	Descrição da fase
0	17-05-2007	Forças de afastamento no fecho P4P5
1	22-05-2007	Forças de afastamento no fecho P2P3

Para além da realização de um controlo topográfico, o sistema de monitorização instalado forneceu, em tempo real, os deslocamentos relativos nos aparelhos de apoio deslizantes localizados nos pilares PTN3, P1, P7 e PTS1, bem como as rotações do tabuleiro sobre os pilares P1, P2 e P7 (Figura 8). Mais especificamente, foram instalados transdutores de deslocamentos nos aparelhos de apoio existentes no topo dos pilares PTN3, P7 e PTS1 (incluindo os aparelhos de apoio dos viadutos de acesso V3N e V1S), e inclinómetros no tabuleiro sobre os pilares P1, P2 e P7.

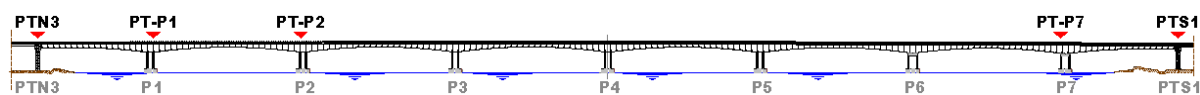


Figura 8. Secções monitorizadas durante as operações de asfatamento.

Para ilustrar o tipo de resultados obtidos, apresenta-se na Figura 9 os registos obtidos pelos sensores instalados nas secções P7 e PTS1 para a fase 0, e nas secções PTN3 e P1 para a fase 1. No Quadro 4 é feito um resumo de todas as variações obtidas pelos sensores referidos nas duas fases das operações de afastamento.

Destaca-se desde logo a qualidade dos resultados obtidos, sendo bem perceptível o efeito dos sucessivos patamares de carga aplicados nos fechos da ponte. Por outro lado, é interessante comprovar que a rotação do tabuleiro é praticamente nula sobre o pilar P7, ao contrário do que sucede nas secções do tabuleiro sobre os pilares P1 e P2 onde apresentam valores semelhantes entre si. Isto deve-se à existência de aparelhos de apoio sob o pilar P7 que suportam o tabuleiro, permitindo o deslizamento deste. Um outro aspecto relevante é a comparação dos deslocamentos obtidos nos aparelhos de apoio P7 e PTS1 da Ponte. Como seria de esperar, estes são semelhantes na fase 0, mas na fase 1 verificou-se uma diferença. A justificação desta diferença pode ser, em parte, explicada por um movimento conjunto do tabuleiro e pilar na secção P7, por atrito do aparelho de apoio. Uma outra questão relevante foi avaliar se os pilares de transição, onde assentam as secções extremas da Ponte se comportaram como referência fixa durante a aplicação das forças. Ou seja, se por atrito nos aparelhos de apoio a aplicação das forças de afastamento provocariam flexão desses mesmos pilares. Pelos

resultados obtidos, e por análise de um período mais alargado ao que é apresentado na Figura 9, constatou-se que o efeito da temperatura é o dominante. Os registos apresentados demonstram a correlação dos movimentos dos aparelhos de apoio dos viadutos com as variações de temperatura ocorridas durante as fases consideradas (última coluna do Quadro 4).

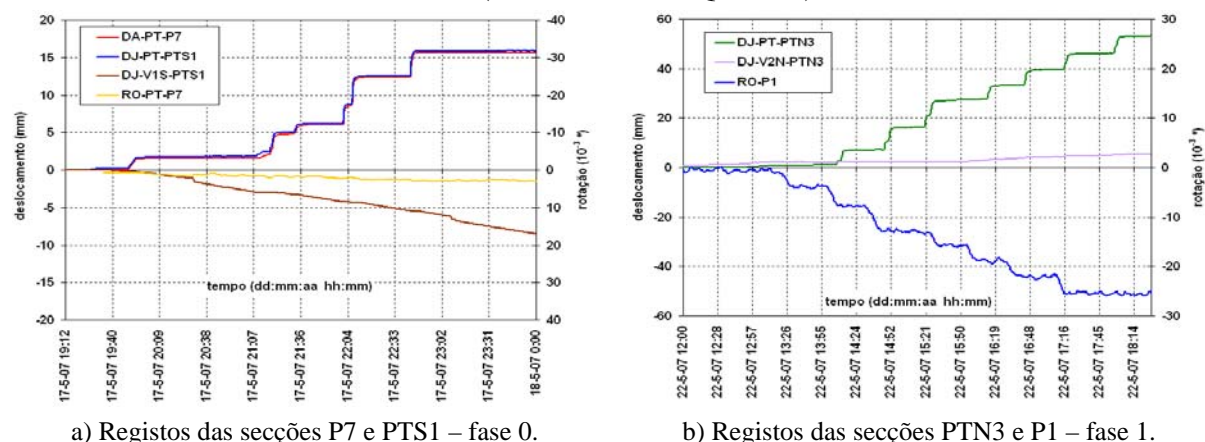


Figura 9. Registos obtidos durante a aplicação das forças de afastamento.

Quadro 4. Resumo dos registos mais significativos.

Secção	V3N	PT	PT	PT	PT	PT	PT	V1S	ΔT
/	PTN3	PTN3	P1	P2	P7	PTS1	PTS1	PTS1	Amb.
Fase	(mm)	(mm)	(10^{-3}°)	(10^{-3} rad)	(10^{-3}°)	(mm)	(mm)	(mm)	($^{\circ}C$)
0	/	/	/	/	+2	+16	+16	-9	-5
1	+3	+53	-23	-20	0	+13	+20	+8	+2

2.3 Construção de dois vãos do Viaduto Sul com recurso a vigas pré-fabricadas

Como último exemplo, apresenta-se um conjunto de registos obtidos pelo Posto de Observação PO1-V14S localizado no V14S. Mais especificamente, ilustra-se o caso da construção de dois vãos do tabuleiro, que basicamente consistiu na sequência das seguintes fases de construção: (i) execução das vigas pré-fabricadas; (ii) colocação “in-situ” das vigas pré-fabricadas e pré-lajes; (iii) execução de nós de ligação; (v) betonagem dos vãos. Na Figura 10 ilustra-se o caso da construção dos vãos V14S-PTS14P1 e V14S-P1P2 do viaduto V14S, com descrição no Quadro 6 das fases de construção.

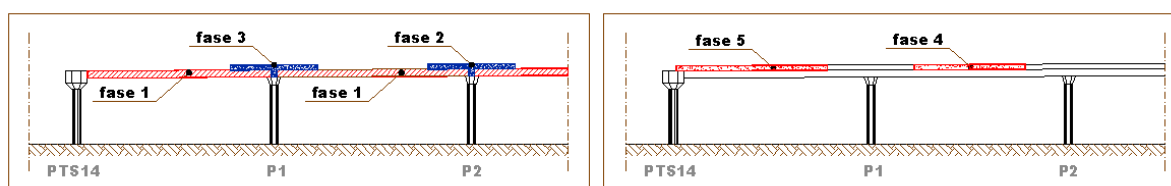


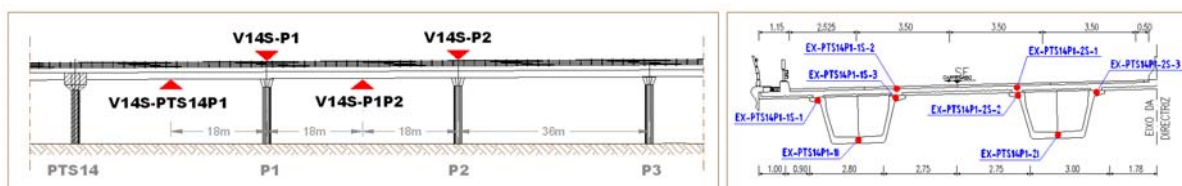
Figura 10. Faseamento construtivo dos vãos V14S-PTS14P1 e V14S-P1P2.

Quadro 6. Descrição das fases envolvidas na execução dos vãos V14S-PT14P12 e V14S-P1P2.

Fase	Data de ocorrência	Descrição da fase
0	10-08-2006	Fabrico das vigas pré-fabricadas
1	27-09-2006	Colocação “in-situ” das vigas e das pré-lajes
2	04-10-2006	Execução do nó de ligação P2
3	19-10-2006	Execução do nó de ligação P1
4	26-10-2006	Betonagem do vão P1P2
5	11-12-2006	Betonagem do vão PTS14P1

Como se indica na Figura 11 foram instrumentadas quatro secções com sensores embebidos no betão. Em todas as secções foram dispostos extensómetros de corda vibrante, junto às faces extremas de

modo a captar extensões por flexão nos elementos estruturais. O Posto de Observação localiza-se na secção V14S-P1.



a) secções instrumentadas.

b) instrumentação de V14S-PTS14P1.

Figura 11. Instrumentação embecida no betão do Viaduto Sul V14S.

Na Figura 12 ilustram-se os registos obtidos pelos sensores instalados na secção PTS14P1, mais precisamente a meio vão da viga pré-fabricada (valor médio de EX-PTS14P1-S-1 e EX-PTS14P1-S-3, e valor de EX-PTS14P1-I). A razão pela qual se selecciona esta viga pré-fabricada para apresentação de resultados, deve-se ao facto desta mesma viga ter sido instrumentada e monitorizada desde a sua fabricação. Deste modo foi possível acompanhar a evolução das extensões ocorridas nesse elemento ao longo de todas as fases referidas no Quadro 6.

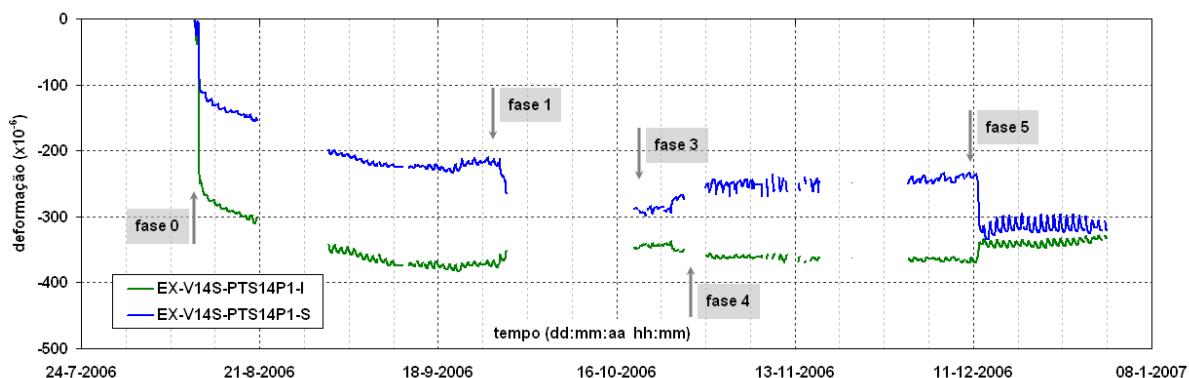


Figura 12. Série temporal registada pelos sensores embecidos na viga pré-fabricada do vão PT14P1.

Dos resultados apresentados destaca-se a compressão de toda a secção da viga pré-fabricada monitorizada desde a sua execução até à conclusão do tabuleiro. É interessante verificar que no final da construção do tabuleiro a viga pré-fabricada ficou sujeita praticamente a esforços de compressão, com deformações finais nas faces inferior e superior na ordem dos $300\mu\epsilon$.

Por outro lado, é notória a fluência do betão da viga pré-fabricada após a sua execução, sendo perceptível que a grande parcela de deformação se deu no primeiro mês (em que esteve armazenada em stock), com variações a rondarem os $150\mu\epsilon$ em ambas as faces nesse primeiro mês (deformações apenas devidas a retracção e fluência).

Por outro lado, para além de ser visível o efeito hiperestático da não uniformidade da temperatura ao nível da secção, é possível observar a alteração do efeito hiperestático da variação diária da temperatura ao longo da construção. Por outras palavras, as amplitudes diárias das deformações, visíveis ao longo de todo o registo, vão aumentando de valor à medida que a viga pré-fabricada vai sendo “ligada” aos restantes elementos do tabuleiro, aumentando assim o grau de rigidez global da estrutura e, consequentemente, aumentando o efeito hiperestático da temperatura nas deformações do betão das vigas pré-fabricadas.

5. CONCLUSÕES

Os registos apresentados demonstram a capacidade que estes sistemas possuem para o acompanhamento, em tempo real, do comportamento das estruturas ao longo da sua construção. A

diversidade de acontecimentos aqui apresentados solidifica a utilidade da monitorização estrutural durante a fase de construção.

Refere-se ainda a importância dos efeitos diferidos do betão (retração e fluência) na leitura e interpretação dos registos obtidos designadamente nos casos apresentados para os viadutos de acesso. Por fim, constata-se também que a influência da temperatura nos registos apresentados é apreciável, devendo a interpretação de resultados ser devidamente ponderada para atender a este efeito.

AGRADECIMENTOS

Como em todos os trabalhos de campo, existe sempre pessoas que deixam a sua marca pelo modo como contribuíram. Nesse sentido, os autores agradecem a todos os que contribuíram para o sucesso da implementação deste sistema, designadamente à BRISA, à construtora TACE, à equipa LABEST, e à NewMENSUS.

O primeiro autor agradece ainda à FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, como bolseiro de doutoramento.

REFERÊNCIAS

- [1] COBA-PC&A-CIVILSER-ARCADIS - *Construção da Travessia do Tejo no Carregado Sublanço A1/Benavente, da A10 Auto-Estrada Bucelas/Carregado/IC3* 2006.
- [2] Janberg, Nicolas - <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0035463>. 2008.
- [3] Engenheiros, Ordem dos - *A Nova Travessia do Tejo Do Carregado à Lezíria pela A10*. 2006.
- [4] Figueiras, Joaquim, et al. - *Construção da Travessia do Tejo no Carregado Sublanço A1/Benavente, da A10 Auto-Estrada Bucelas/Carregado/IC3: Projecto Executivo Monitorização Estrutural e de Durabilidade 0 – Apresentação*. LABEST, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
- [5] Figueiras, Joaquim, et al. - *Construção da Travessia do Tejo no Carregado Sublanço A1/Benavente, da A10 Auto-Estrada Bucelas/Carregado/IC3: Projecto Executivo Monitorização Estrutural e de Durabilidade A – Memória Descritiva*. LABEST, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
- [6] Figueiras, Joaquim, et al. - *Construção da Travessia do Tejo no Carregado Sublanço A1/Benavente, da A10 Auto-Estrada Bucelas/Carregado/IC3: Projecto Executivo Monitorização Estrutural e de Durabilidade B – Peças Desenhadas*. LABEST, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
- [7] Figueiras, Joaquim, et al. - *Construção da Travessia do Tejo no Carregado Sublanço A1/Benavente, da A10 Auto-Estrada Bucelas/Carregado/IC3: Projecto Executivo Monitorização Estrutural e de Durabilidade C – Caderno de Especificações e Procedimentos*. LABEST, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
- [8] Sousa, Helder, et al. - *Construção da Travessia do Tejo no Carregado Sublanço A1/Benavente, da A10 Auto-Estrada Bucelas/Carregado/IC3: Projecto Executivo Monitorização Estrutural e de Durabilidade D.17 – Relatório de Observação Fase de Construção 31 de Julho a 7 de Julho de 2007*. LABEST, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.