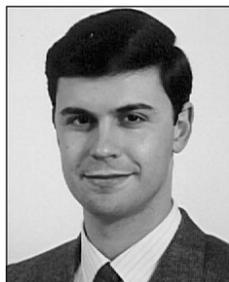


ENSAIOS DE CARGA DA PONTE SALGUEIRO MAIA



L. OLIVEIRA SANTOS

Investigador Auxiliar

LNEC

Lisboa



XU MIN

Doutora em Eng.ª Civil

LNEC

Lisboa



J. ALMEIDA FERNANDES

Investig. Coordenador

LNEC

Lisboa

SUMÁRIO

Descrevem-se, de uma forma geral, os ensaios de carga efectuados na ponte Salgueiro Maia. Caracterizam-se as solicitações a que a estrutura foi sujeita e a instrumentação instalada, apresentando-se alguns dos resultados obtidos considerados mais relevantes.

1. INTRODUÇÃO

A ponte Salgueiro Maia sobre o rio Tejo, em Santarém, é uma ponte atirantada com um comprimento de 570 m, entre juntas, e um vão central de 246 m, suportado por tirantes dispostos num único plano, ancorados no eixo do tabuleiro (Figura 1). A ponte e os viadutos de acesso estão separados por juntas de dilatação e perfazem um comprimento total de 4 308 m⁽¹⁾.

O tabuleiro da ponte, em betão armado pré-esforçado, foi construído pelo método dos avanços sucessivos. Cada aduela foi construída em três fases: à betonagem *in situ* do caixão seguiu-se a colocação das consolas laterais pré-fabricadas e, finalmente, foi betonada, também *in situ*, a laje superior⁽²⁾. Após a construção e antecedendo a sua entrada em serviço a ponte foi sujeita a ensaios estáticos e dinâmicos⁽³⁾.

A presente comunicação descreve os ensaios de carga estáticos realizados em Maio de 2000, durante os quais foram medidos deslocamentos verticais, rotações, extensões e temperaturas no interior do betão e as forças em diversos tirantes. Particularmente inovadora foi a utilização de um sistema de níveis líquidos associado a células de pressão para a observação dos deslocamentos verticais e a medição das forças nos tirantes através de células de carga e pelo método da vibração.

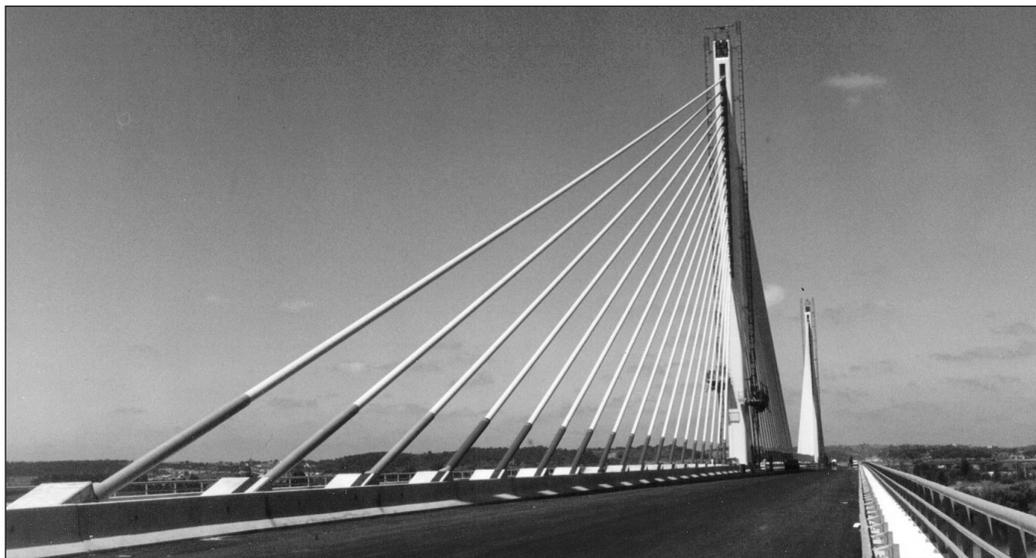


Figura 1: – Vista geral da ponte Salgueiro Maia.

2. MODELO NUMÉRICO

Com o objectivo de estimar e interpretar os resultados obtidos durante os ensaios foi analisado o comportamento da estrutura através de um modelo numérico tridimensional desenvolvido no Departamento de Estruturas do LNEC⁽⁴⁾, tendo-se efectuado os cálculos correspondentes às diversas situações de ensaio a que a estrutura foi sujeita.

A definição da estrutura foi efectuada com base nas características geométricas definidas no projecto⁽¹⁾. O tabuleiro, as torres e os pilares foram modelados através de elementos de barra, tendo sido devidamente consideradas as armaduras passivas. Os cabos de pré-esforço foram modelados através de elementos finitos desenvolvidos especificamente para esse efeito. Os tirantes foram tratados como elementos de barra biarticulados, tendo-se considerado um módulo de elasticidade equivalente, neste caso o módulo de elasticidade tangente. Os elevados valores de tensão a que, no caso em apreço, os diversos tirantes estão sujeitos, conduz, no entanto a valores do módulo de elasticidade tangente praticamente idênticos ao do módulo de elasticidade do material. Os pilares foram considerados perfeitamente encastrados na base, tendo-se definido como elástica a ligação entre o tabuleiro e os pilares.

3. ENSAIOS REALIZADOS

A realização dos ensaios estáticos foi dividida em duas fases: na primeira fase recorreu-se a uma carga concentrada constituída por uma linha de seis camiões carregados, perfazendo uma carga total de 1 860 kN (Figura 2), com a qual se pretendeu determinar uma linha de influência das diversas grandezas observadas; na segunda fase utilizou-se uma carga distribuída materializada por 20 camiões dispostos em quatro colunas (Figura 3), constituindo uma carga total de 7522 kN (Figura 4). Em ambos os casos foram efectuados carregamentos excêntricos através do carregamento de apenas uma das vias de circulação.

Índice

Índice de Autores

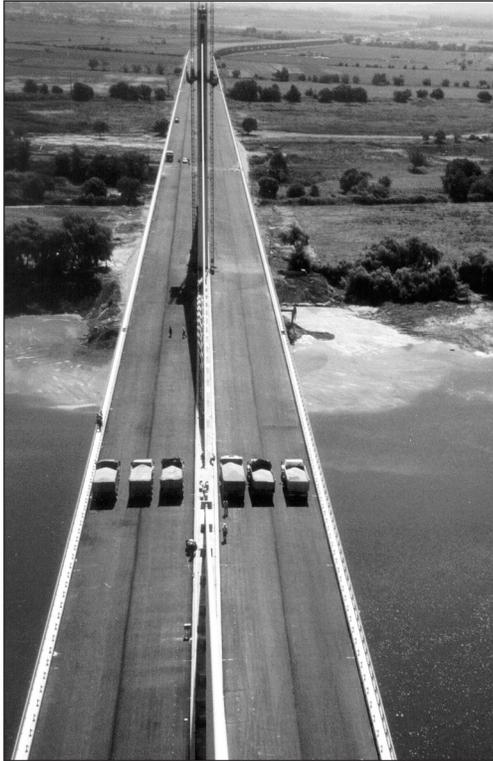


Figura 2: Cargas concentradas.



Figura 3: Comboio de cargas distribuídas.

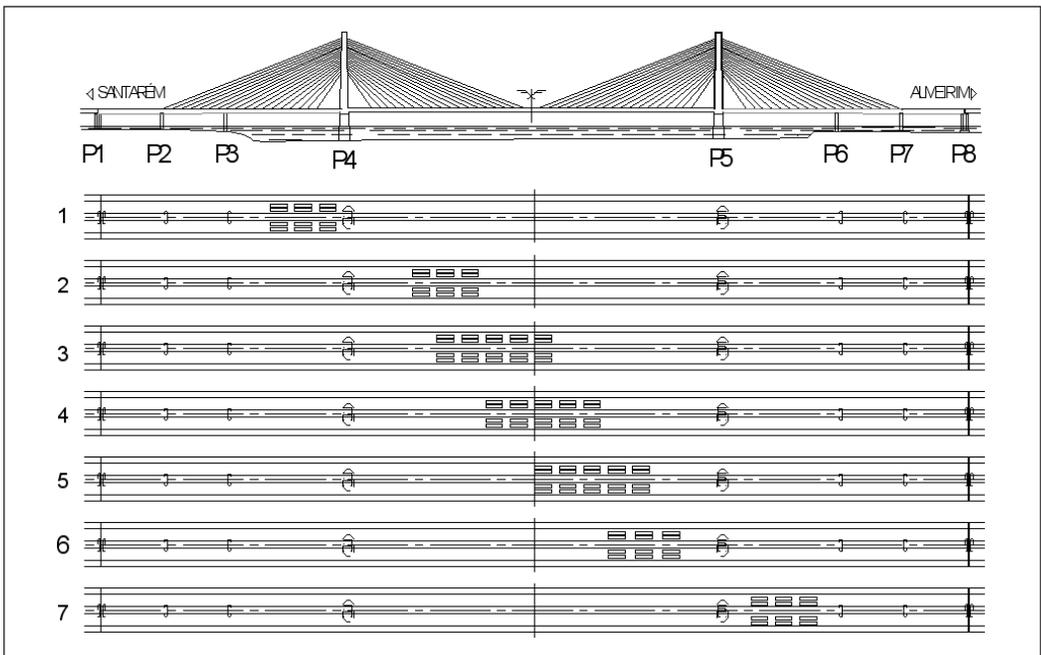


Figura 4: – Posições ocupadas pelo comboio de cargas durante o ensaio da ponte.

4. INSTRUMENTAÇÃO

4.1. Plano geral de observação

O equipamento de observação instalado durante a construção da ponte, tendo em vista a observação a longo prazo⁽⁵⁾, foi utilizado durante o ensaio tendo sido complementado por diversos equipamentos. A localização geral do equipamento utilizado está representada na Figura 5. Como exemplo da disposição do equipamento numa secção apresenta-se na Figura 6 uma das secções instrumentadas do tabuleiro (S10, no meio vão do tramo central).

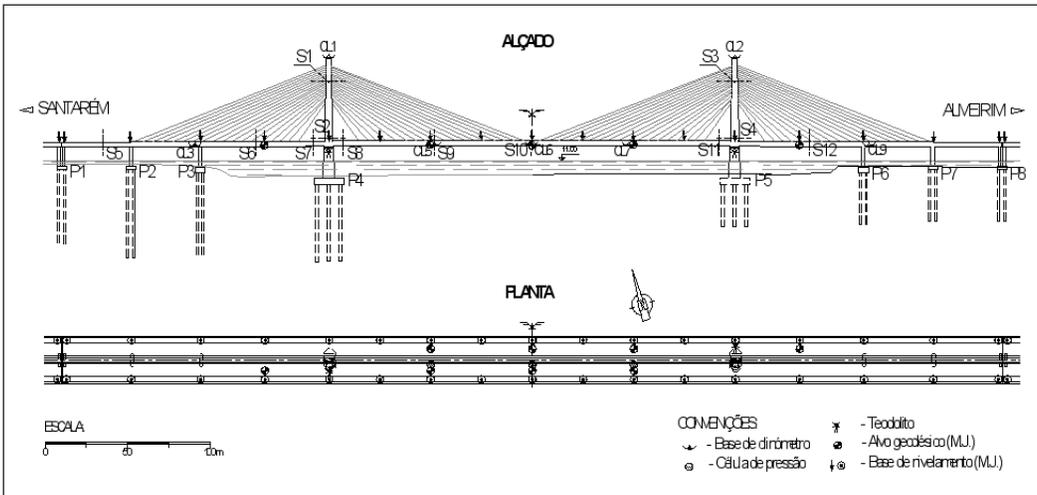


Figura 5: – Plano geral de instrumentação da Ponte Salgueiro Maia.

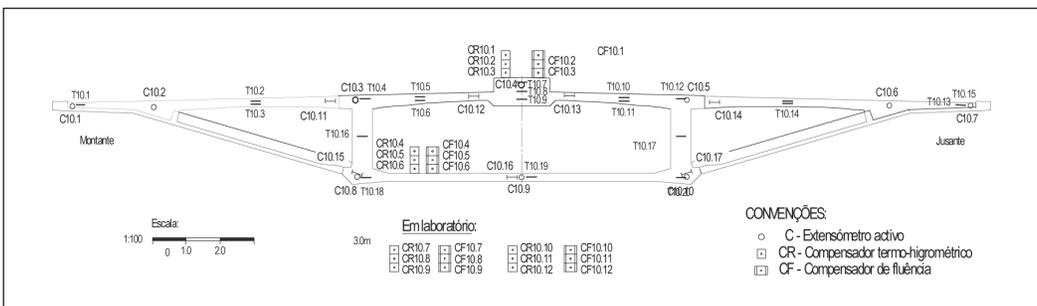


Figura 6: – Secção instrumentada do tabuleiro da ponte Salgueiro Maia (S10).

4.2. Medição de deslocamentos verticais

A medição dos deslocamentos verticais nas secções de meio vão e quartos de vão no tramo central foi efectuada através de um sistema de nivelamento hidrostático, correntemente designado por “sistema de níveis líquidos”, associados a células de pressão. Desta forma o deslocamento vertical não é medido directamente pela variação de altura do líquido, mas sim através da variação de pressão que lhe está associada. O sistema incluía,

para além de um depósito, uma célula de pressão em cada ponto de medida e ainda, duas células em pontos considerados fixos (nos pilares P4 e P5), que, por diferença com os restantes sensores permitiram a determinação dos deslocamentos nos diversos pontos (Figura 7).

Este sistema, pela primeira vez utilizado pelo LNEC neste tipo de ensaios, tem como principais vantagens permitir a automatização da aquisição e, por ser um sistema fechado, facilitar a sua manutenção em obra tendo em vista a observação a longo prazo. O carácter inovador deste sistema implicou que fossem utilizados em paralelo meios geodésicos na medição destes deslocamentos através de dois teodolitos colocados no interior do caixão, sobre os pilares P4 e P5, fazendo cada um leituras dos alvos colocados no tramo central e no tramo adjacente mais próximo.

A concordância que se verificou comparação entre os valores medidos pelas duas vias permitiu validar a utilização deste sistema de nivelamento hidrostático.

4.3. Medição das forças instaladas nos tirantes

Um outro aspecto inovador foi a utilização de células de carga do tipo mono-cordão, instaladas pela Freyssinet (Figura 8), para medição das forças instaladas nos tirantes. Os valores medidos com estes sensores foram verificados através do método da vibração, tendo-se utilizado para este efeito, um acelerómetro de capacitância variável e o adequado condicionador de sinal⁽⁶⁾.

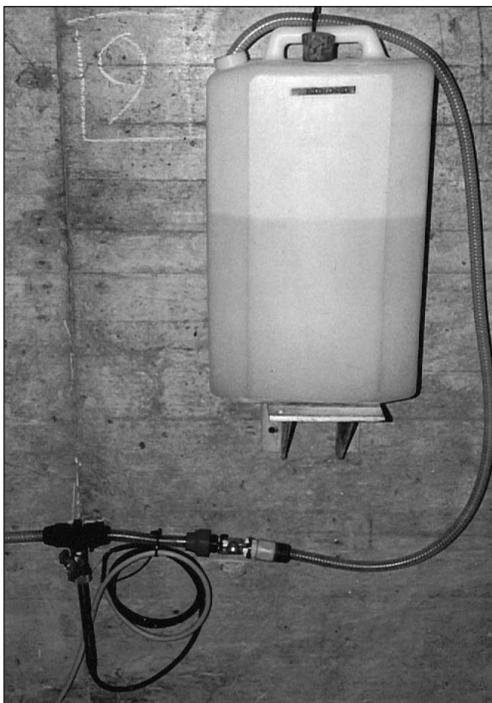


Figura 7: Nivelamento hidrostático: reservatório e célula de pressão.



Figura 8: Célula de carga para medição da força instalada nos tirantes.

4.3. Outras medições

Para além das medições já referidas foram ainda observadas rotações em diversas secções da estrutura, bem como extensões e temperaturas no interior do betão. A medição das rotações foi efectuada através de 6 clinómetros de bolha de ar colocados no topo dos mastros e ao longo tabuleiro (Figura 5). A medição das extensões no interior do betão foi efectuada através de 98 extensómetros de corda vibrante dispostos em 4 secções dos mastros (S1 a S4) e em 8 secções do tabuleiro (S5 a S12). Finalmente, a medição das temperaturas no interior do betão foi efectuada através de 30 termómetros de resistência.

4.4. O sistema de aquisição

A aquisição das leituras efectuadas pelas células de pressão do sistema de nivelamento hidrostático, dos extensómetros de corda vibrante e dos termómetros de resistência foi efectuada através de 7 *dataloggers*, permitindo centralizar estas medições num computador portátil. A aquisição das células de carga dos tirantes foi efectuada por um sistema autónomo⁽⁷⁾.

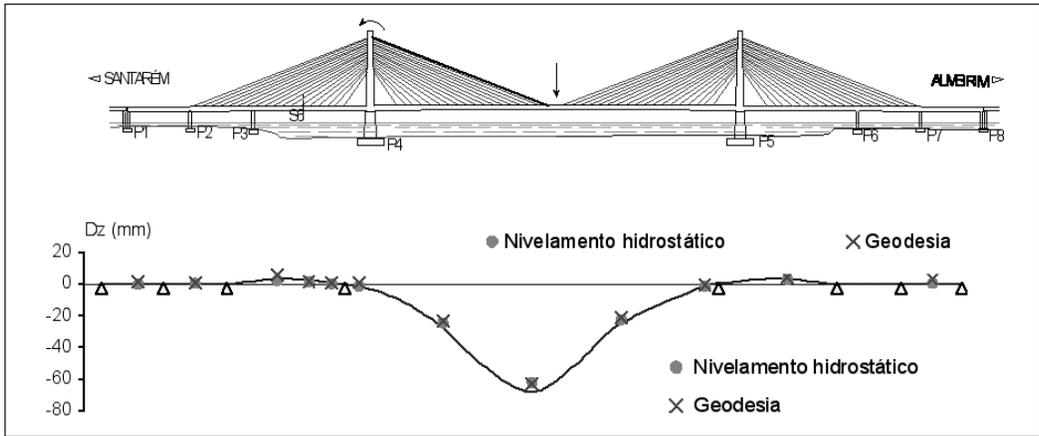
5. RESULTADOS OBTIDOS

Na Figura 9 apresentam-se algumas das linhas de influência obtidas através do posicionamento sucessivo ao longo do tabuleiro da carga de faca constituída por seis camiões. Essas linhas de influência referem-se ao deslocamento vertical na secção de 1/2 vão do tramo central, à rotação no topo do mastro do lado de Santarém, ao esforço normal no tirante SR18 e às extensões no betão das lajes superior e inferior da secção S6 do tabuleiro.

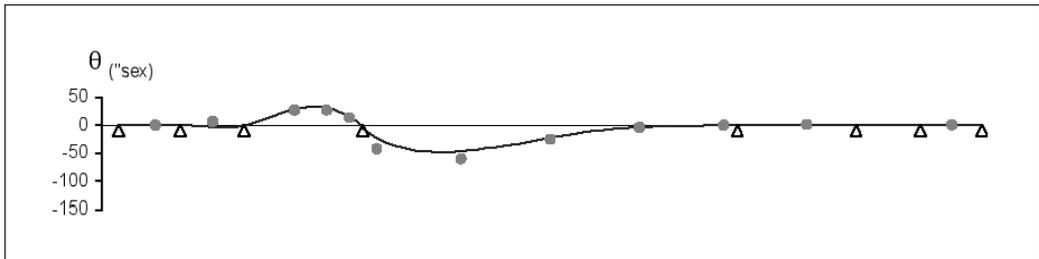
No gráfico que constitui a Figura 9a estão representadas as flechas medidas experimentalmente através de meios geodésicos - 2 teodolitos - bem como através do sistema de nivelamento hidrostático. Está igualmente representada, em contínuo, a linha resultante do modelo de cálculo idealizado. A análise desta figura evidencia a boa concordância entre os valores experimentais obtidos pelas duas vias utilizadas, bem como entre os valores experimentais e de cálculo.

No diagrama relativo à linha de influência do esforço normal do tirante SR18 (Figura 9c), isto é, o tirante que está ancorado ao topo do mastro de Santarém e, no tabuleiro, próximo do meio vão central, estão representados os valores experimentais obtidos através das células de carga bem como os medidos pelo método da vibração, para além da curva obtida por via numérica. Também aqui se constata uma concordância satisfatória entre os valores medidos pelas duas vias experimentais seguidas, validando, desta forma, a utilização de ambas.

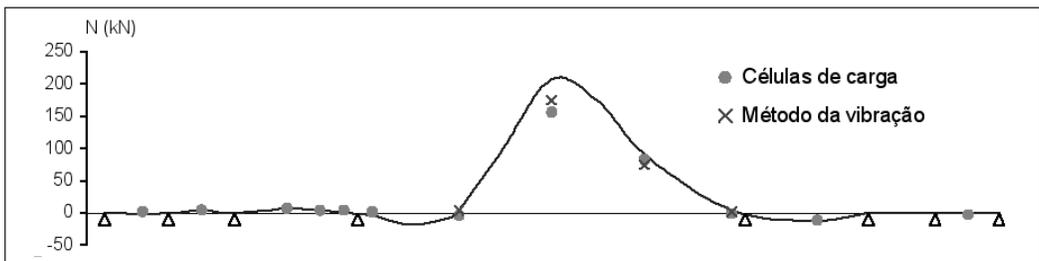
A utilização do comboio de carga constituído por dezasseis camiões induziu esforços e deformações muito significativas na estrutura, apresentando-se na Figura 10 as deformadas de cálculo, bem como os valores medidos quando os camiões estavam posicionados no tramo central. Também nestes gráficos é evidente a boa concordância, por um lado, entre os valores medidos através do sistema de nivelamento hidrostático e com o recurso aos teodolitos, e, por outro lado entre os valores experimentais e as deformadas provenientes do modelo utilizado.



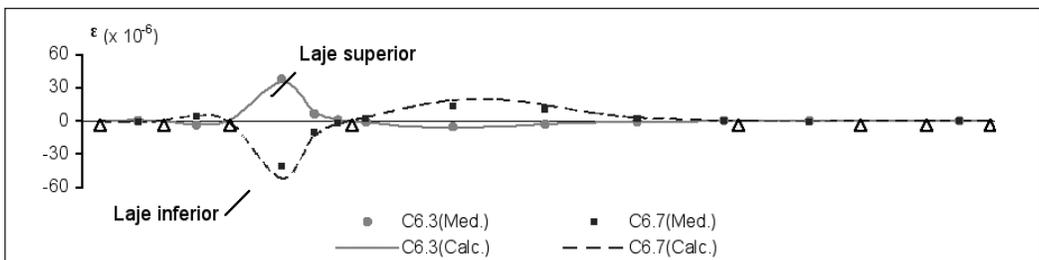
a) Flecha na seção de meio vão do tramo central



b) Rotação no topo do mastro P4



c) Esforço normal no tirante SR18



d) Extensões no betão da seção S6

Figura 9: Linhas de influência.

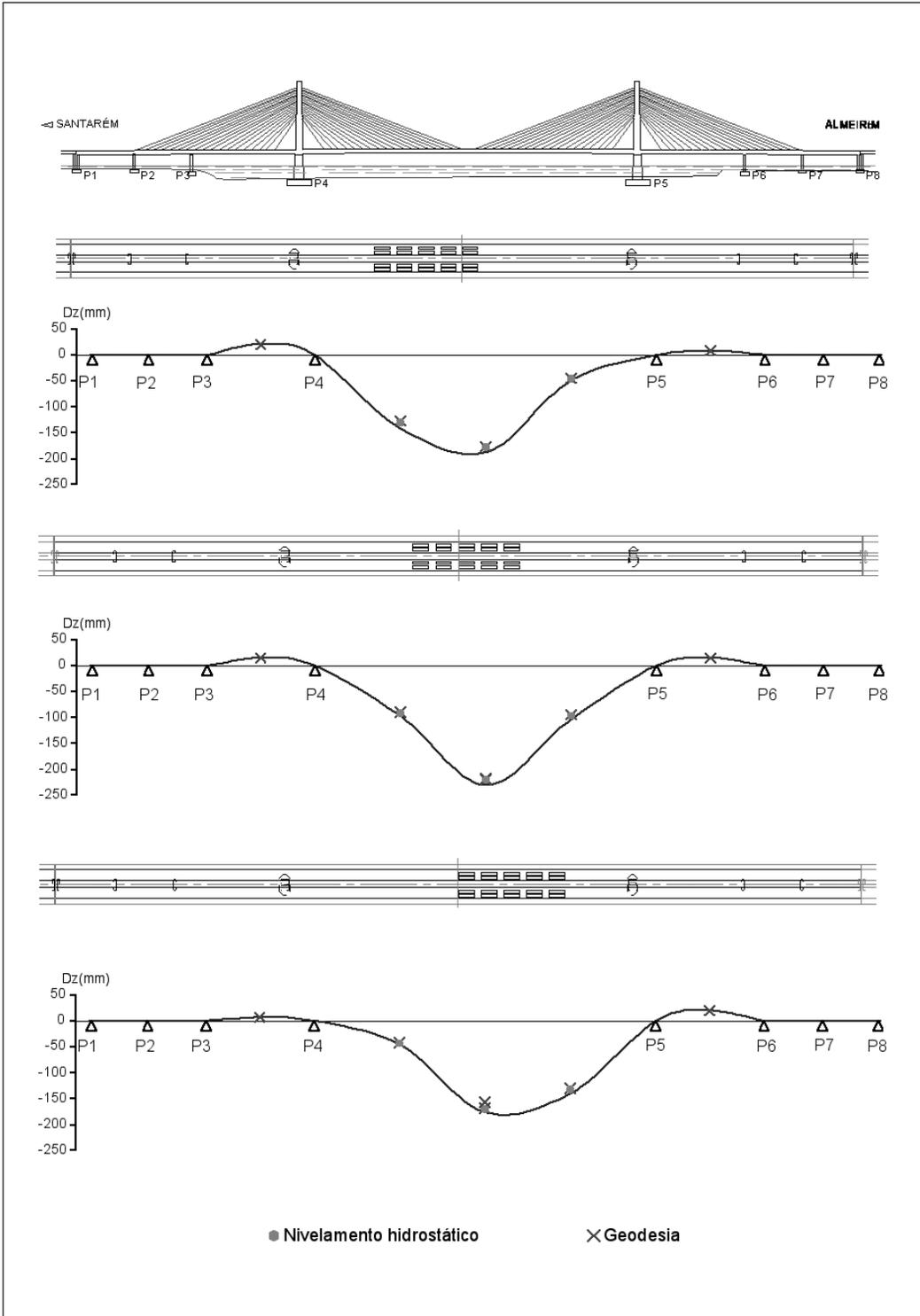


Figura 10: Deformadas do tabuleiro.

Na Figura 11 apresentam-se as variações de esforço normal ocorridas nos diversos tirantes instrumentados durante a posição de carga 4 (Figura 4). Constata-se nesta figura a concordância satisfatória que se verifica entre os valores experimentais, medidos através das células de carga, e os valores obtidos através do modelo de cálculo.

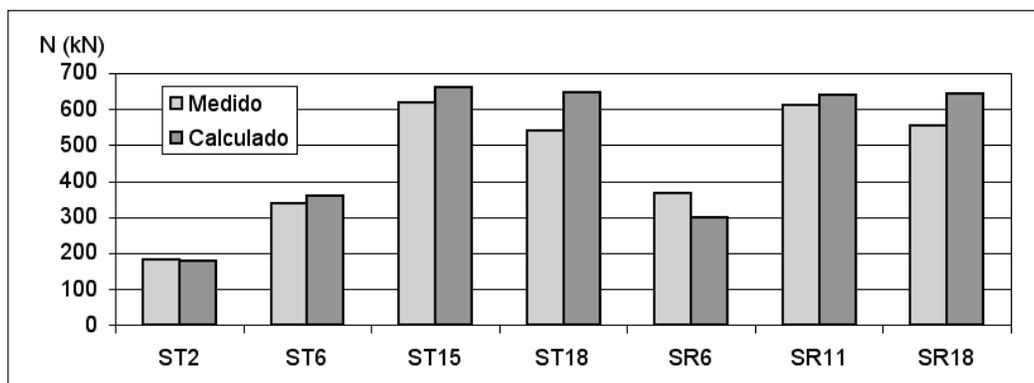


Figura 11: Esforço normal induzido nos tirantes durante a posição de carga 4.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nos ensaios de carga da ponte Salgueiro Maia apresentaram uma boa correlação com os valores calculados a partir do modelo de análise.

A utilização pela primeira vez pelo LNEC de técnicas como o sistema de nivelamento hidrostático associado a células de pressão para a medição de flechas e de células de carga para medição de forças nos tirantes revelou tratarem-se de técnicas fiáveis, cujos resultados foram corroborados por técnicas anteriormente utilizadas.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os apoios recebidos para a realização deste trabalho, nomeadamente por parte do Instituto das Estradas de Portugal.

8. REFERÊNCIAS

- (1) Martins, J. L. Cândia – *IC10: Ponte sobre o rio Tejo e viadutos de acesso. Projecto de execução*, 1998.
- (2) Martins, J. L. Cândia; Silveira, J. Pacheco – “Nova ponte sobre o rio Tejo em Santarém e Viadutos de acesso”, *Betão Estrutural 2000*, FEUP, 2000, pp. 889-898.
- (3) Rodrigues, J. – *Ensaio de caracterização dinâmica da Ponte Salgueiro Maia sobre o Rio Tejo em Santarém*, Relatório 271/2000– NOE/NAE, LNEC, 2000.
- (4) Santos, L. Oliveira – *Observação e análise do comportamento diferido de pontes de betão*, Dissertação de doutoramento, IST, 2001.

Índice

Índice de Autores

- ⁽⁵⁾ Santos, Teresa O.; Fernandes, J. Almeida – *Plano Geral de Observação da Ponte Rodoviária sobre o rio Tejo em Santarém*, Relatório 115/98 – NOE, LNEC, 1998.
- ⁽⁶⁾ Rodrigues, J. – *Avaliação Experimental das Frequências dos Tirantes da Ponte Rodoviária sobre o Rio Tejo em Santarém*, Relatório 107/2000– NOE/NAE, LNEC, 2000.
- ⁽⁷⁾ Calçada, R.; Cunha, A.; Delgado R. – “Avaliação experimental e numérica dos efeitos dinâmicos de cargas de tráfego na Ponte Salgueiro Maia”, *Congresso Nacional da Engenharia de Estruturas – Estruturas 2002*, LNEC, 2002, pp.323-332.