

TESTE DE CARGA INSTRUMENTADO EM UM PÍER APOIADO SOBRE GRUPO DE ESTACAS

Eric Arthur de Freitas Penedo – Mestrando

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – Departamento de Engenharia Civil – Geotecnia
eric@brascontec.com.br

Pedricto Rocha Filho – Professor Doutor

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – Departamento de Engenharia Civil – Geotecnia
rocha@puc-rio.br

Giuseppe Barbosa Guimarães – Professor Doutor

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – Departamento de Engenharia Civil – Estruturas
giuseppe@puc-rio.br

RESUMO

O trabalho apresenta resultados de um teste de carga em um píer, localizado no Município de Itaguaí, Estado do Rio de Janeiro.

O píer consiste em uma laje de concreto armado com comprimento, largura e espessura de 46 m, 23 m e 80 cm respectivamente, apoiado em 61 estacas pré-moldadas de concreto armado com seção transversal de 54 x 54 cm e 24 m de comprimento. A laje e o topo das estacas são reforçados com fibra de carbono.

A geologia local consiste em uma camada espessa de argila mole, e a fundação trabalha por resistência de ponta.

O carregamento foi realizado utilizando dois *trailers* carregados com chapas de aço e tanques de água. A carga inicial consiste na soma dos pesos dos *trailers* e chapas, e a carga final obtida com o enchimento dos tanques.

Um sistema associando pontos controlados por nivelamento topográfico e dezesseis eletrônicos distribuídos sobre a laje foi utilizado para monitorar os recalques e distorções angulares. Adicionalmente, foram utilizados extensômetros elétricos para obter a distribuição de cargas em quatro estacas distintas.

Os resultados da instrumentação indicaram valores relacionados a distorções angulares, deslocamento vertical e tensão nas estacas inferiores aos limites propostos pelas normas brasileiras.

ABSTRACT

The paper presents the results of a load test in a pier, located in the city of Itaguaí, state of Rio de Janeiro.

The pier consists of a concrete slab with length, width and depth of 46 m, 23 m and 80 cm respectively, supported by 61 precast concrete piles with a cross section of 54 x 54 cm and 24 m long approximately. The slab and the top of the piles are reinforced with carbon fiber.

The local geology consists of a thick soft clay layer, and the piles work by end bearing capacity.

The load was made using two trailers loaded with steel plates and water tanks. The initial load is the sum of the weight of the trailers and the steel plates, and the final load obtained by water-filling the tanks.

A system associating topography leveled points and sixteen electrolevels distributed on the slab of the pier was used to monitor the settlements and angular distortions. Additionally, strain gauges were used to obtain the load distribution in four distinct piles.

The monitoring results indicated that the structure presented values of angular distortion, settlement and stresses on the piles lower than the limits of the Brazilian standards.

INTRODUÇÃO

O objetivo do teste foi de averiguar a capacidade do píer em suportar um módulo de compressão para injeção de gás de 927 tf, transportado por dois *trailers* de 63 tf cada, totalizando 1053 tf.

O teste foi projetado de modo que representasse a situação real do transporte do módulo ao longo do píer. Foram utilizados os mesmo *trailers* que serão utilizados no transporte do módulo, carregados com chapas de aço e tanques de água, totalizando 1207 tf, o que representa 1,15 vezes o peso do módulo mais os *trailers*.

PROCEDIMENTO DO TESTE

Dois *trailers* com 18 eixos carregados com chapas de aço e tanques de água (Figura 1) foram utilizados para aplicar a carga no píer. Os *trailers* foram movidos sobre o píer em baixa velocidade até atingir a posição final. Foram definidos sete estágios de aplicação da carga, descritos na Tabela 1. O estágio 0 corresponde ao píer descarregado. Os estágios 1 a 6 correspondem às posições dos *trailers* mostradas na Figura 2. Entre os estágios 1 a 5 a carga corresponde apenas ao peso das placas metálicas, enquanto no estágio 6 corresponde à carga total, após o enchimento dos tanques. E finalmente, o estágio 7 corresponde à situação após a retirada dos *trailers*. Os valores da carga foram obtidos pelos manômetros dos *trailers*, com precisão de $\pm 10\%$.

Os valores da carga total aplicada mostrados na Tabela 1 foram calculados dividindo a carga total pelo número total de eixos do *trailer* (18), multiplicado pelo número de eixos sobre o píer em cada estágio, como indicado na Figura 2.

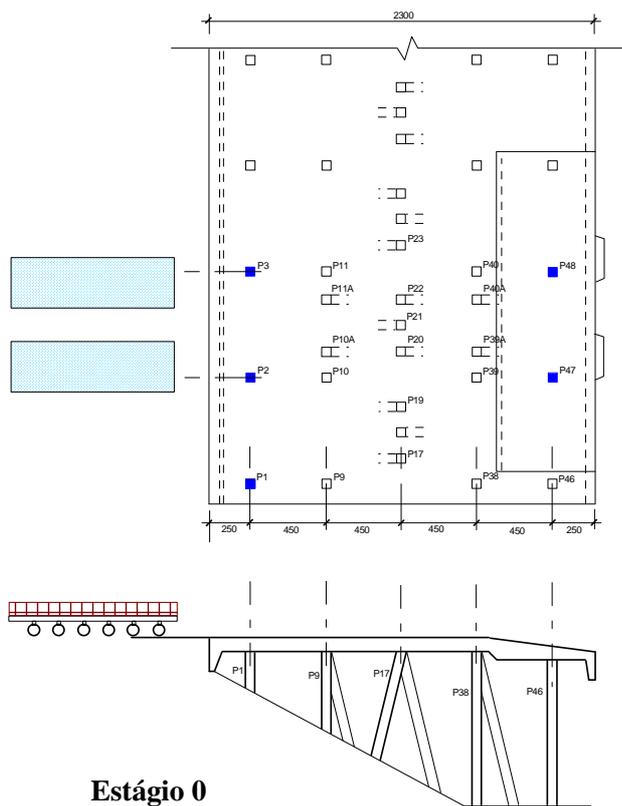
Foi feito o monitoramento de dados referentes a deslocamento vertical, rotação da laje do píer e deformação nas estacas durante todo o teste, de modo a avaliar o comportamento do píer como um todo.

Tabela 1. Estágios e cargas aplicadas.

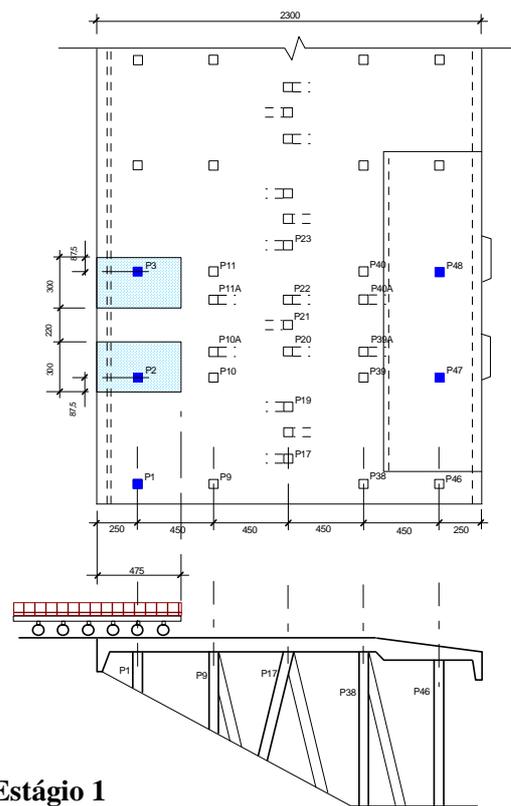
Estágio	Carga total aplicada no píer (tf)	Tempo (hh:mm:ss)	Tempo decorrido (hh:mm:ss)
0	0	18:05:35	0
1	Chapas de aço + <i>trailers</i> = $138 + 22 = \mathbf{160}$	18:06:13	00:00:38
2	Chapas de aço + <i>trailers</i> = $276 + 43 = \mathbf{319}$	18:06:30	00:00:55
3	Chapas de aço + <i>trailers</i> = $414 + 64 = \mathbf{478}$	18:08:20	00:02:45
4	Chapas de aço + <i>trailers</i> = $552 + 85 = \mathbf{637}$	18:09:07	00:03:32
5	Chapas de aço + <i>trailers</i> = $690 + 106 = \mathbf{796}$	18:11:26	00:05:51
6	Chapas de aço + <i>trailers</i> + tanques = $690 + 106 + 210 = \mathbf{1006}$	22:10:15	04:04:40
7	0	22:34:30	04:29:20



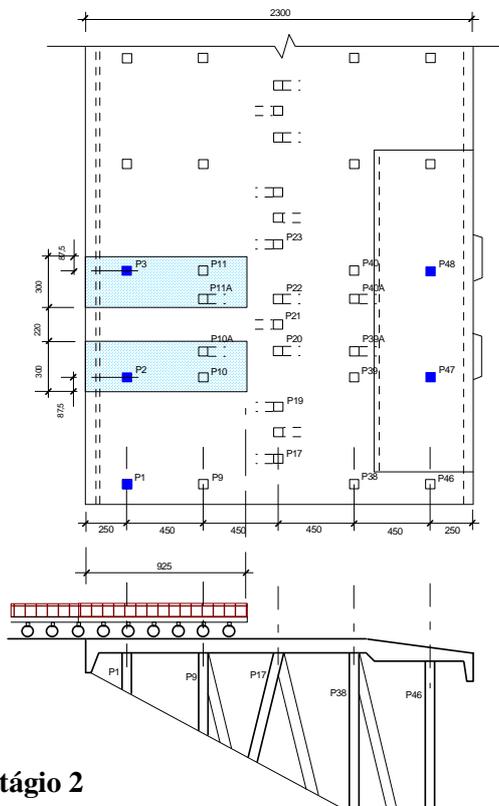
Figura 1. Trailers carregados utilizados no teste de carga.



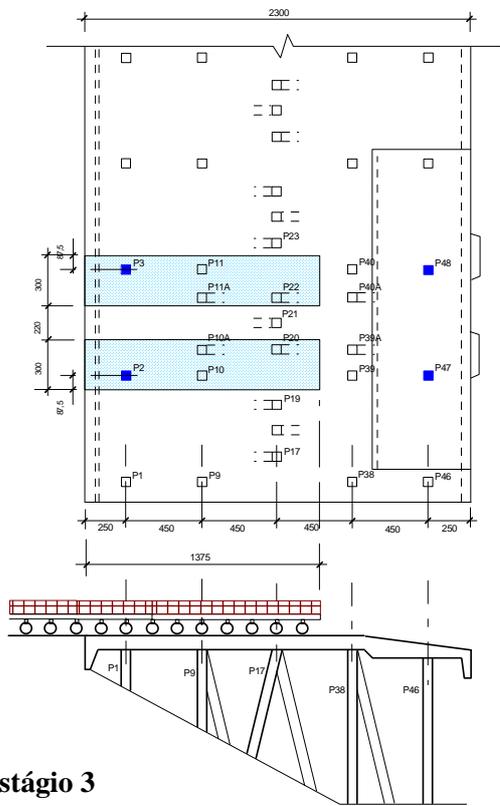
Estágio 0



Estágio 1

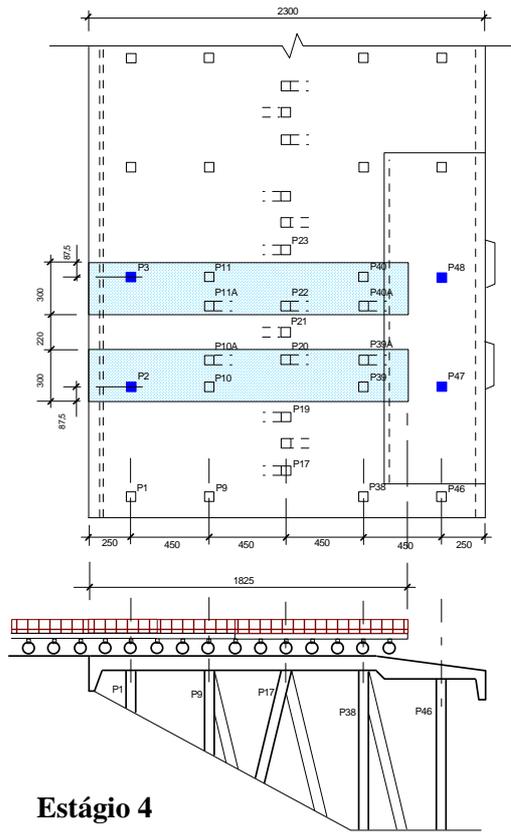


Estágio 2

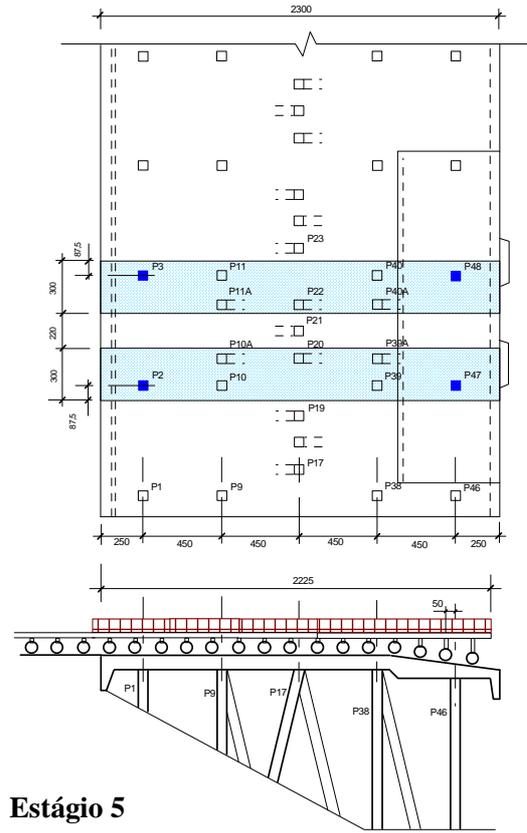


Estágio 3

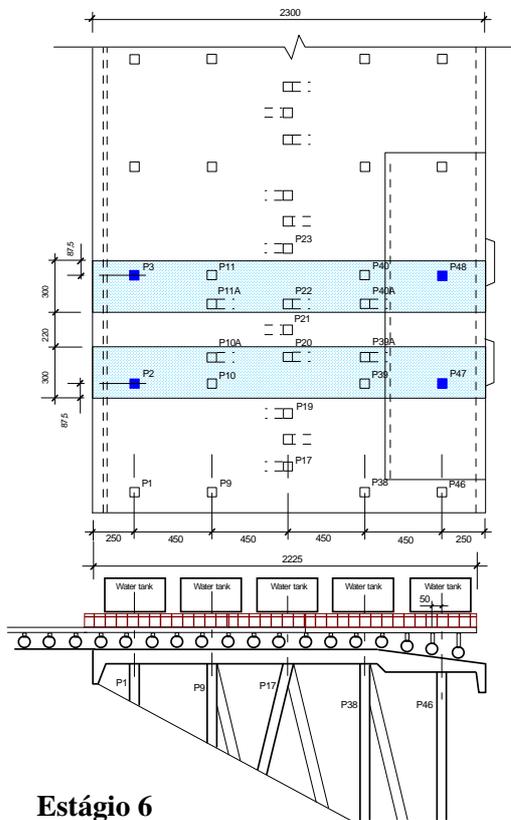
Figura 2. Estágios de aplicação da carga.



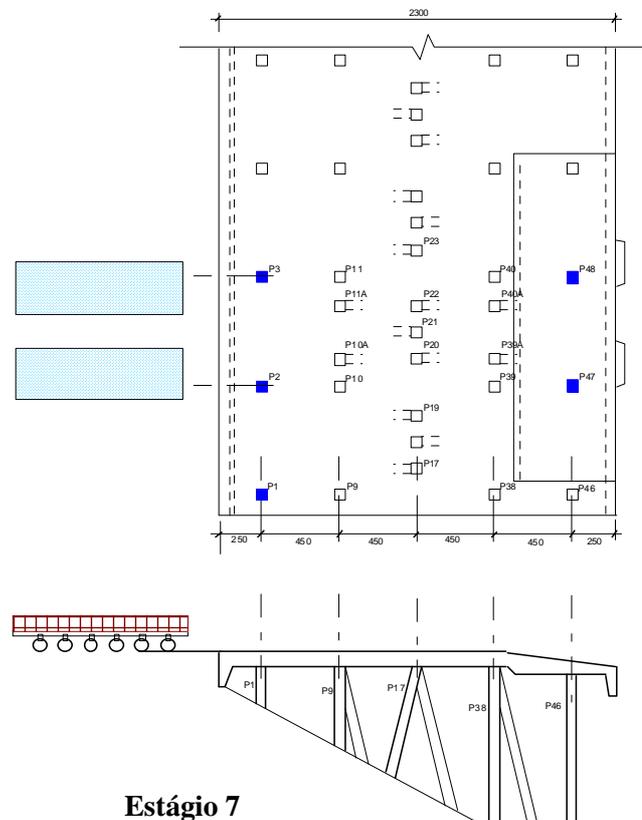
Estágio 4



Estágio 5



Estágio 6



Estágio 7

Figura 2. Estágios de aplicação de carga (continuação).

INSTRUMENTAÇÃO

Deslocamento Vertical

O deslocamento vertical foi medido sobre a laje do píer utilizando um nível digital Leica NA3003 (precisão de 0,01mm) nos pontos PT1, PT2 e PT3 (Figura 3). Foram feitas leituras correspondentes aos estágios 0, 5, 6 e 7. Entre os estágios 1 e 4 não houve tempo necessário para fazer leituras nos três pontos, devido à velocidade em que os *trailers* se movimentaram sobre o píer.

Rotações

As rotações foram medidas por dezesseis eletrônives distribuídos em cinco seções sobre a laje do píer (Figura 3). Considerando que a estrutura se comporta como um corpo rígido, é possível obter os deslocamentos verticais nos demais pontos da laje do píer a partir das rotações, utilizando como referência os pontos controlados pela topografia.

Deformação Específica nas Estacas

Em uma análise estrutural prévia ao teste, foi indicado que as estacas mais solicitadas seriam E2, E3, E47 e E48. Logo, estas foram as estacas escolhidas para a instrumentação (Figura 3). Foram instalados quatro extensômetros elétricos nestas estacas para medir sua respectiva deformação específica, e indiretamente a carga aplicada.

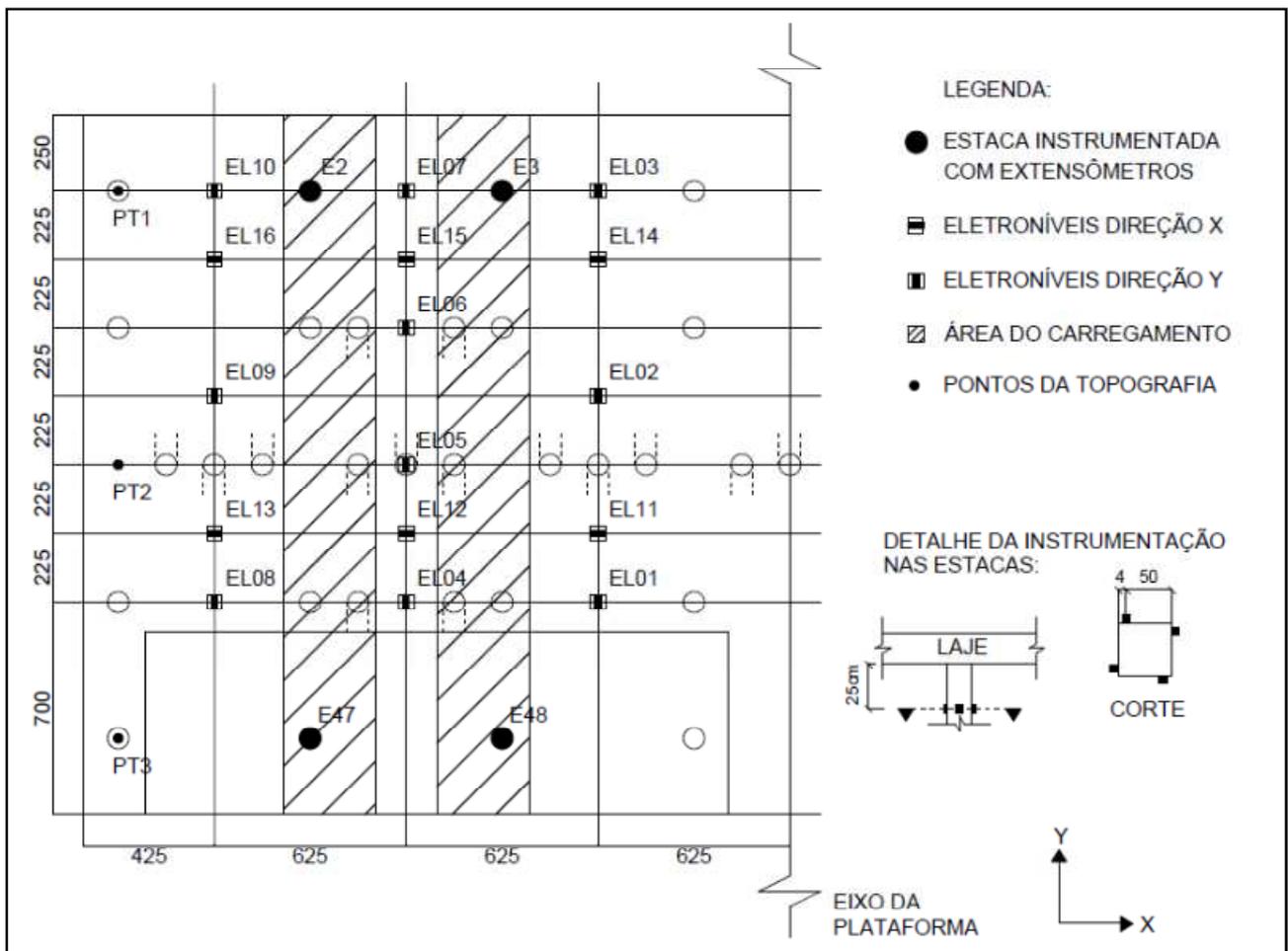


Figura 3. Localização da Instrumentação (eletrônives na direção X medem rotação em torno do eixo Y, e na direção Y medem rotação em torno do eixo X).



Figura 4. Extensômetros elétricos na estaca 47.



Figura 5. Detalhe da instalação dos eletrônicos.

RESULTADOS

Deslocamento Vertical

Os deslocamentos verticais medidos nos pontos PT1, PT2 e PT3 estão mostrados na Figura 6. Os valores correspondentes aos três pontos apresentaram mesma ordem de grandeza, sendo o deslocamento máximo igual a 1,10 mm correspondente ao ponto PT2. Após a remoção da carga do pír, foi obtido deslocamento residual máximo de 0,38 mm correspondente ao ponto PT3.

Os valores do deslocamento vertical incluem o encurtamento elástico e o recalque da estaca. Uma vez que as deformações específicas foram totalmente recuperadas após a descarga, como será mostrado a seguir, o valor residual do deslocamento vertical corresponde ao recalque do pír.

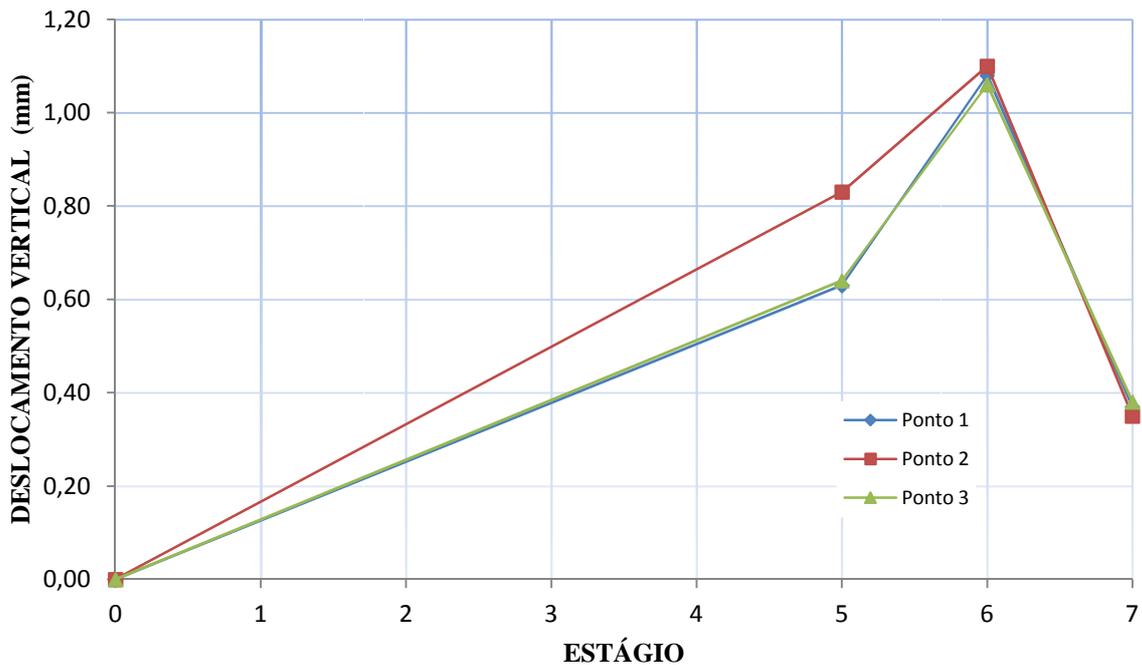


Figura 6. Deslocamento Vertical x Estágios.

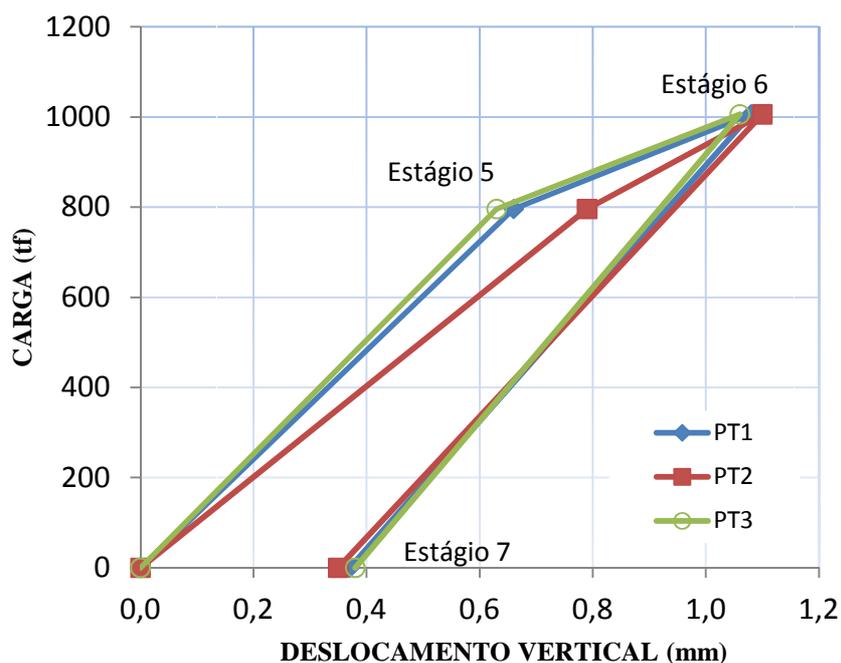


Figura 7. Carga x Deslocamento Vertical.

Rotações

Os ângulos de rotação foram monitorados durante todo o teste com leituras feitas a cada dez segundos. As leituras foram transformadas em ângulos de acordo com o fator de calibração de cada eletrônível.

A Figura 8 mostra os ângulos obtidos por cada eletrônível durante todos os estágios do teste. Há um aumento aparente entre os estágios 5 e 6, porque foram necessárias quatro horas no processo de enchimento dos tanques com água (estágio 6), enquanto a entrada dos *trailers* (estágios 1 a 5) levou apenas cinco minutos.

A distorção angular máxima foi da ordem de 1:6000. De acordo com a NBR 6122/10, as restrições quanto à distorção angular se iniciam a partir da ordem de 1:750. Portanto, os valores medidos não apresentam nenhum risco à estrutura do píer.

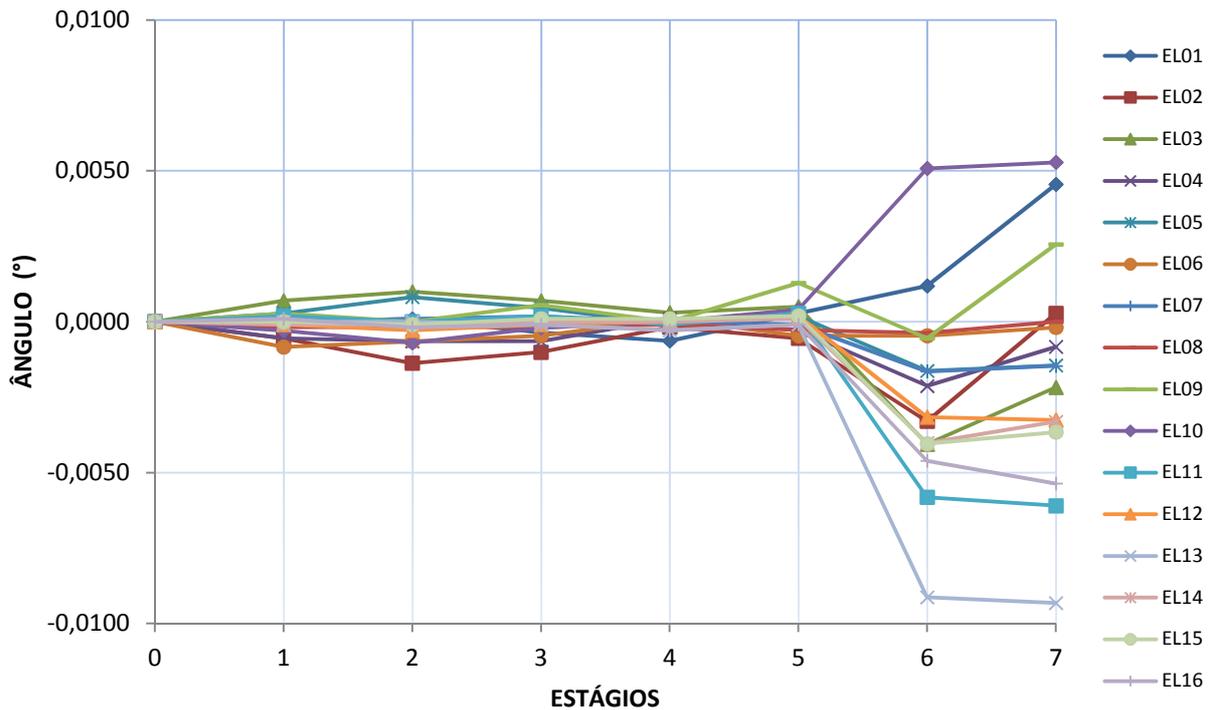


Figura 8. Ângulo de rotação medido pelos eletrôníveis.

Deformação Específica nas Estacas

As deformações específicas medidas durante o teste nas estacas E2, E3, E47 e E48 são mostradas na Figura 9. Os valores máximos foram obtidos nas estacas E2 e E3, como esperado. O valor máximo obtido na estaca E2 foi de 0,10 mm/m.

Com a finalidade de verificar o comportamento das estacas, foi necessário estimar as propriedades mecânicas do concreto. A resistência característica (f_{ck}) das estacas é de 25,0 MPa. Uma vez que o píer foi construído na década de 1980, as propriedades mecânicas foram atualizadas para um tempo de 20 anos. De acordo com o Eurocode 2, as propriedades mecânicas do concreto podem ser atualizadas como mostrado a seguir.

Resistência média à compressão com 28 dias:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 25 + 8 = 33 \text{ MPa}$$

Resistência média à compressão com t dias:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{0,5} \right] \right\} \quad (\text{Equação 2})$$

$s = 0,25$ (normal hardening cement)
 $t = 20 \times 365 = 7300$ dias

Substituindo s e t na Equação 2:

$$\beta_{cc}(7300) = 1,26$$

Substituindo β_{cc} na Equação 1:

$$f_{cm}(7300) = 1,26 \times 33 = 41,6 \text{ MPa}$$

Módulo de Elasticidade:

$$E_{cm} = 22 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3} = 22 \left(\frac{33}{10} \right)^{0,3} = 31500 \text{ MPa}$$

Módulo de Elasticidade com t dias:

$$E_{cm}(t) = \left(\frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}} \right)^{0,3} E_{cm} \quad (\text{Equação 3})$$

$$E_{cm}(t) = (1,26)^{0,3} 31500 = 33800 \text{ MPa}$$

Para obter a deformação total das estacas, a deformação causada pelo peso próprio da estrutura deve ser inclusa. A análise estrutural prévia, mencionada anteriormente, havia indicado forças nas estacas conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Força, tensão e deformação nas estacas obtidas na análise estrutural.

Estaca	P_p (tf)	P_q (tf)	σ_m (MPa)	ε_m (mm/m)
E2	111,0	99,5	7,2	0,213
E3	100,0	83,8	6,3	0,186
E47	108,0	62,1	5,8	0,172
E48	104,0	67,0	5,9	0,175

P_p = Força teórica na estaca devido ao peso próprio;
 P_q = Força medida na estaca devido ao carregamento;
 σ_m = Tensão normal média na seção transversal da estaca;
 ε_m = Deformação específica média = $\sigma_m/E_{cm}(7300)$

Adicionando os valores de ε_g da Tabela 2 aos valores medidos pelos extensômetros elétricos durante o teste, a deformação específica máxima seria de aproximadamente 0,20 mm/m. Um elemento de concreto reforçado submetido à compressão, tal como as estacas aqui tratadas, atinge sua capacidade de carga quando a deformação específica em sua seção transversal é da ordem de 2,0 mm/m. Portanto, o nível de carga observado no teste de carga foi abaixo da capacidade de carga das estacas.

CONCLUSÕES

A distorção angular máxima medida na laje do píer foi da ordem de 1:6000, muito inferior às restrições impostas pela NBR 6122/10, mostrando que a deformação do píer não apresenta risco à sua estrutura.

O deslocamento vertical máximo obtido (1,10 mm) é um valor muito pequeno, considerando-se um teste de carga da magnitude deste presente.

A deformação medida nas estacas mais solicitadas indicou que a solicitação foi muito inferior à sua capacidade.

Todas as respostas da instrumentação montada indicaram comportamento satisfatório da estrutura do píer para uma carga 15% maior do que a carga aplicada pelo módulo a ser transportado.

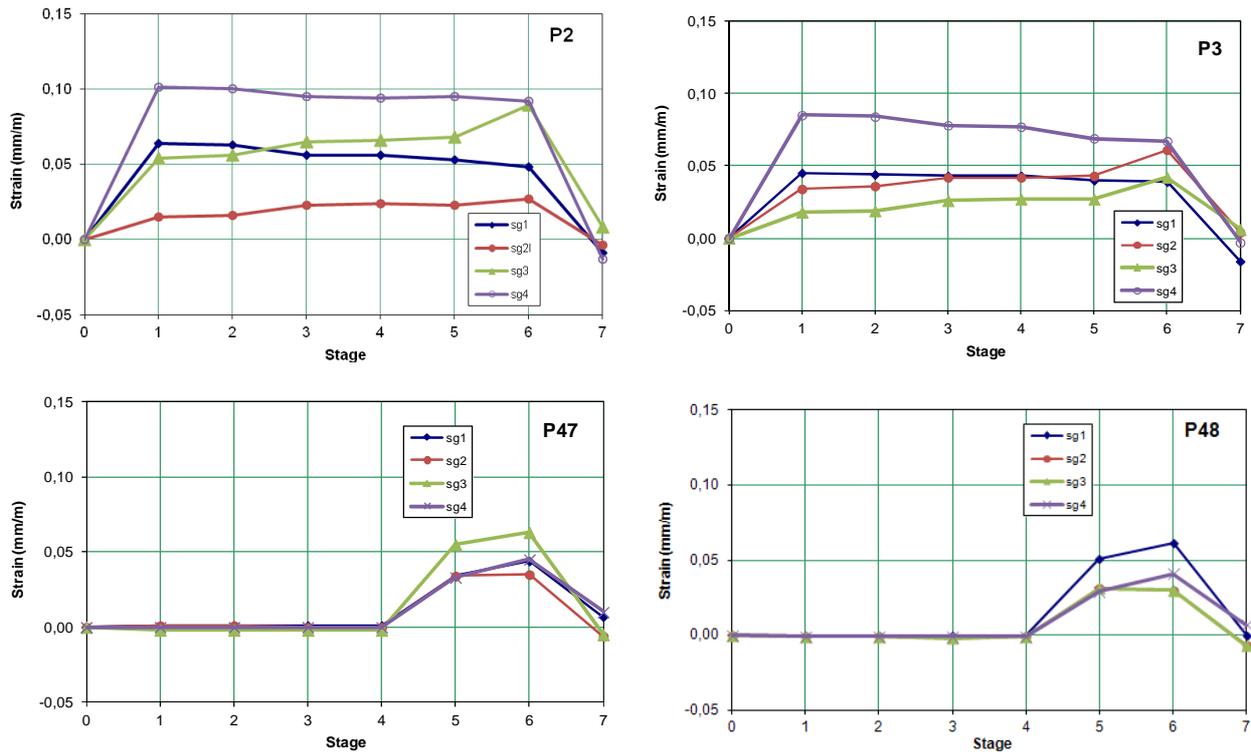


Figura 9. Deformações Específicas medidas nas estacas E2, E3, E47 e E48.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PMMR – Full-scale load test of the nuclep pier. Rio de Janeiro, 26 de setembro de 2011. 15p
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – NBR 6122; Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 91p
- [3] BS EM 1992, EUROCODE 2: Design of concrete structures