

PROVA DE CARGA INSTRUMENTADA EM PROFUNDIDADE EM ESTACA ESCAVADA DE GRANDE DIÂMETRO EM SANTOS, SP

Falconi, Frederico
ZF & Engenheiros Associados

fred@zfsolos.com.br

Caputo, Armando (in memoriam)
Brasfond

Hachich, Waldemar
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

whachich@usp.br

Horta, Cristina
ZF e Engenheiros Associados

RESUMO

Neste trabalho será apresentado o resultado de uma prova de carga estática em estaca escavada de 1 m de diâmetro e 54,10 m de comprimento, estabilizada com polímero, instrumentada em profundidade e sujeita a carregamento misto. Será apresentada a metodologia do ensaio, bem como os resultados obtidos.

ABSTRACT

This paper presents the results of a static load pile test in a bored pile with 1 meter diameter and 54,10 meters length, with stabilizing fluid, with strain gages along the entire length of the pile. The methodology of the test will be presented, along with its results.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é mostrar uma prova de carga estática, executada em estaca escavada de grande diâmetro com utilização de polímero.

Essa estaca foi executada em Santos, com 100 cm de diâmetro e 54,10 m de comprimento, para carga de trabalho de 3900 kN. A viga de reação permitia carregamento de até 11000 kN. Foram instalados extensômetros na armadura da estaca ao longo da profundidade com o objetivo de estimar a distribuição da resistência por atrito lateral da estaca e conseqüentemente a parcela da carga na ponta.

Como reação foram utilizadas duas estacas escavadas com 100 cm de diâmetro do mesmo bloco, armadas com barras “Dywidag” para transmissão dos esforços de tração.

As vigas metálicas, soldas, ligações, etc., foram todas dimensionadas especialmente para esse ensaio, inédito na região.

O EMPREENDIMENTO

A estaca ensaiada é parte das fundações de um edifício comercial com um pavimento de garagem semi-enterrado (cota -1,98), térreo, cinco mezaninos, 22 pavimentos-tipo mais dois áticos e cobertura, com quase 100,00 m de altura.

A estrutura é convencional de concreto armado com fechamento de alvenaria, e as cargas verticais na fundação variam entre 4000 kN e 20000 kN.

PERFIL GEOTÉCNICO

Os perfis de sondagem obtidos são típicos para a região. Até 1 m de profundidade encontra-se uma areia fina marrom, pouco compacta, com N_{SPT} de, em média, 8. Já entre 1 e 11 m de profundidade tem-se uma areia fina pouco siltosa, cinza, que varia de compacta a pouco compacta, com N_{SPT} médio de 16. Tais camadas são seguidas por uma argila marinha pouco arenosa, muito mole, cinza escuro, com N_{SPT} médio de 2, a qual se estende até a profundidade de aproximadamente 29 m. A partir desse ponto observam-se camadas intercaladas de areia fina e de argilas moles e muito moles, com N_{SPT} entre 4 e 9. Aos 49 m encontra-se solo residual: silte pouco arenoso, pouco argiloso, seguido por areia fina e média pouco siltosa, com mica, muito compacta, com N_{SPT} entre 10 e 23.

Segue abaixo (Figura 1) o perfil da sondagem de referência para a prova de carga.

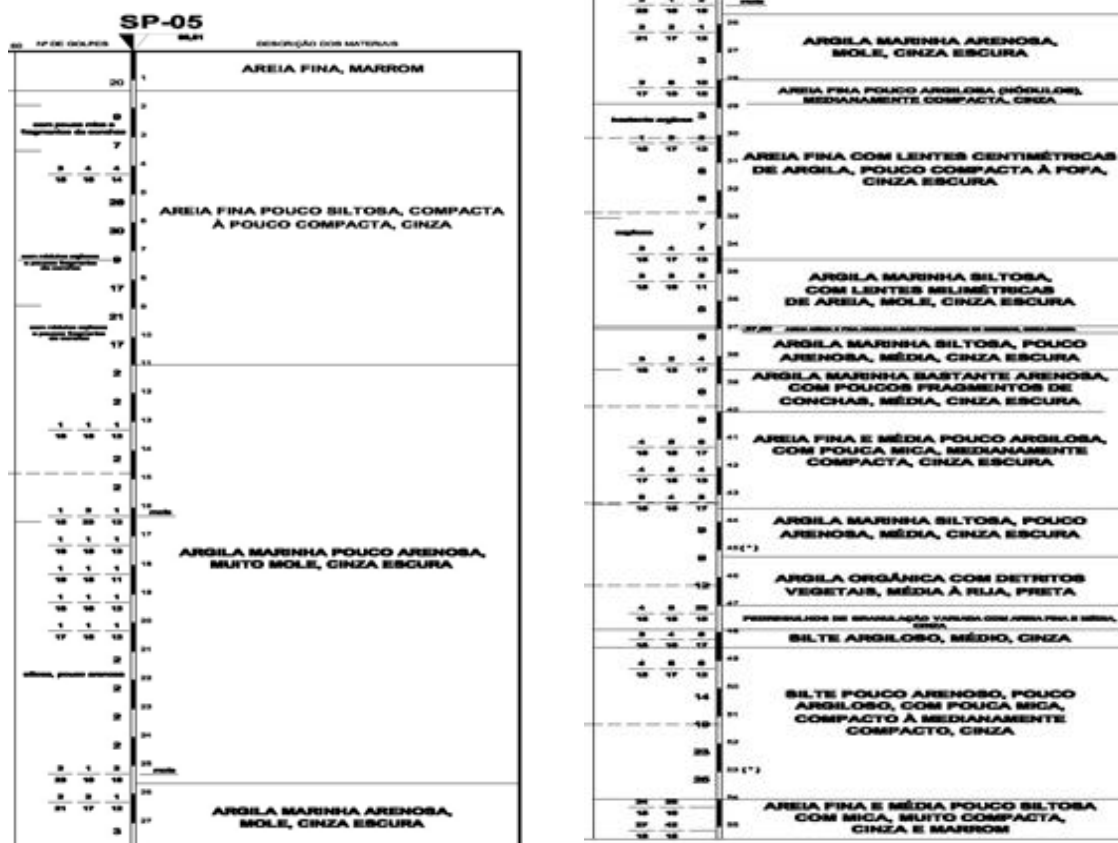


Figura 1. Perfil da sondagem 5.

PROJETO DE FUNDAÇÕES

O projeto previa a execução de estacas escavadas de grande diâmetro, com polímero como fluido estabilizante e comprimentos variando entre 51 e 55 m.

Com essa solução as estacas estão com ponta em areia fina ou silte arenoso, provável solo residual, após interceptar as camadas já bastante conhecidas e estudadas da Baixada Santista.

Foram utilizados diâmetros de 90 a 120 cm para cargas admissíveis de 750 a 6600 kN.

A solução em estacas escavadas tem sido adotada, nesta região, com sucesso nos últimos 20 a 25 anos, eliminando os problemas de recalques que tanto marcaram as edificações da cidade construídas até meados dos anos 80.

A Figura 2 apresenta as linhas gerais do projeto de fundações, executado de acordo com a Norma Brasileira NBR 6122 (2010).

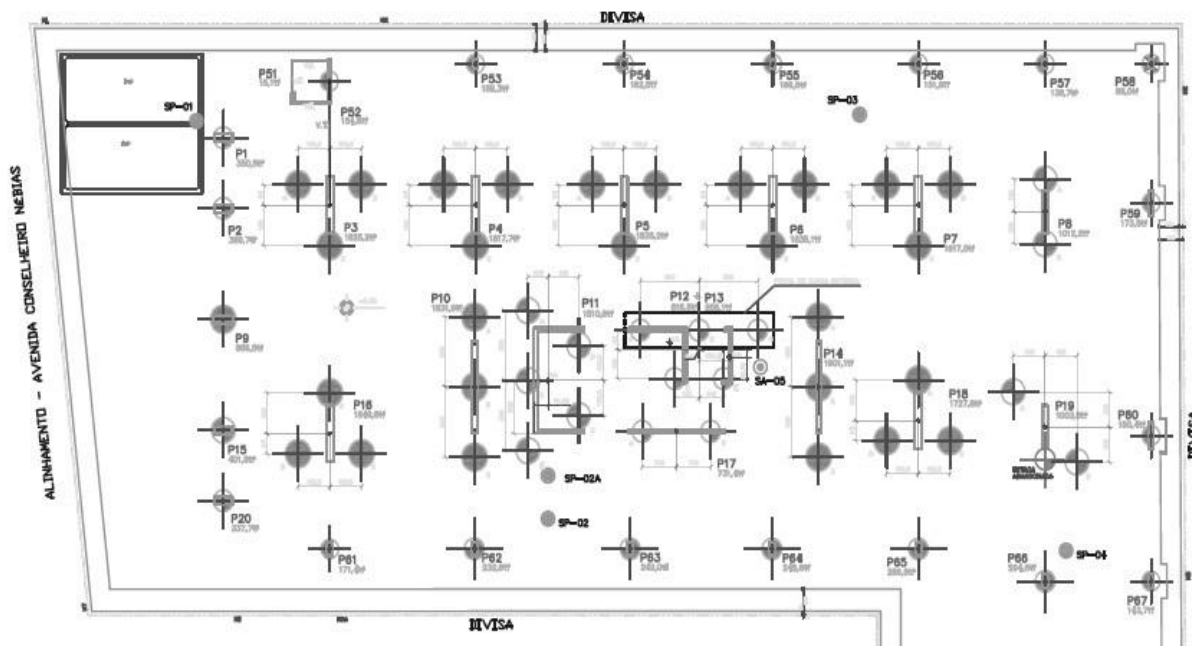


Figura 2. Projeto de fundações.

As Figuras 3 e 4 reúnem as previsões de cargas de ruptura obtidas para o projeto pelos processos de Aoki-Velloso (Aoki e Veloso, 1975), Décourt-Quaresma (Décourt e Quaresma, 1978) e David Cabral (Cabral, 2000).

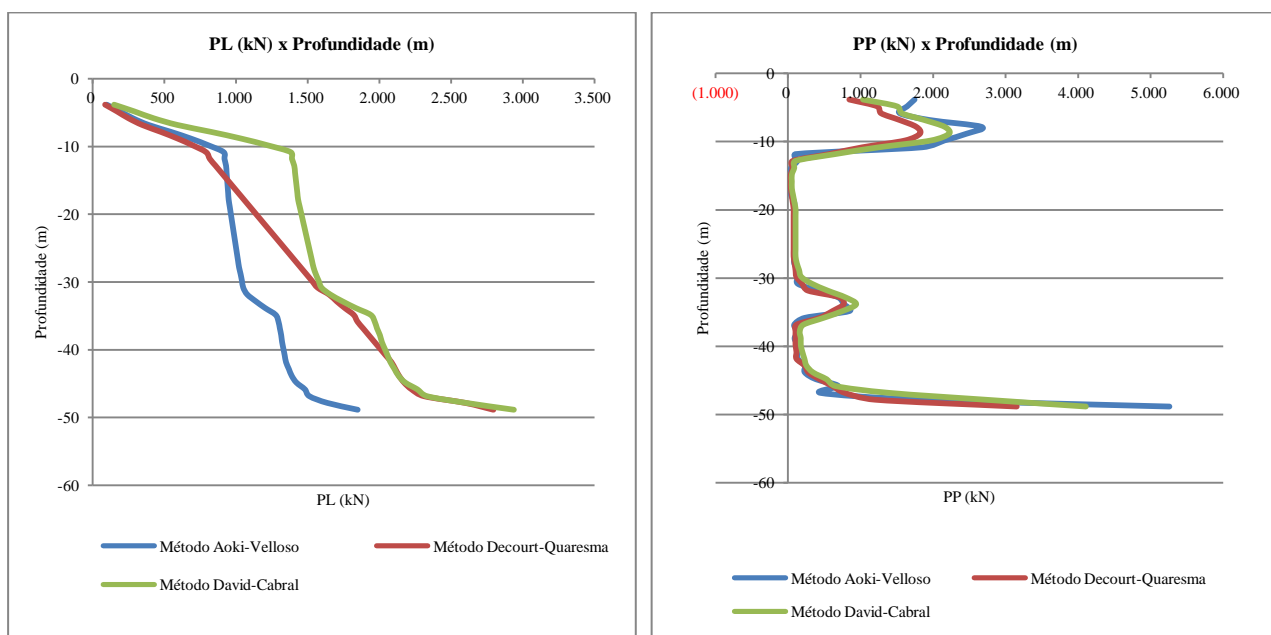


Figura 3. Curvas de resistência por atrito lateral (PL) e de ponta (PP) em função da profundidade.

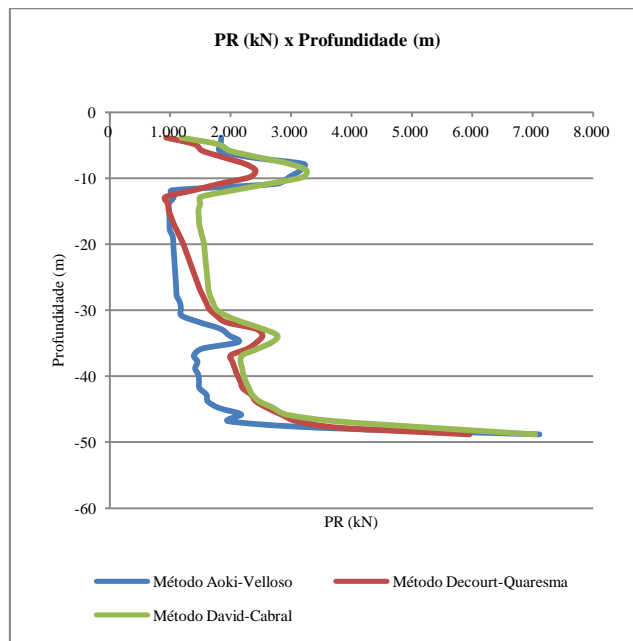


Figura 4. Curva da soma das resistências PL e PP (PR) em função da profundidade.

Execução da estaca para a prova de carga

Com o intuito de melhor conhecer o comportamento dessas estacas foi programada uma prova de carga estática no início da obra.

A estaca escavada escolhida tinha 1 m de diâmetro, atingia 54,10 m de profundidade e pertencia a um conjunto de estacas da obra, conforme croqui da Figura 5.

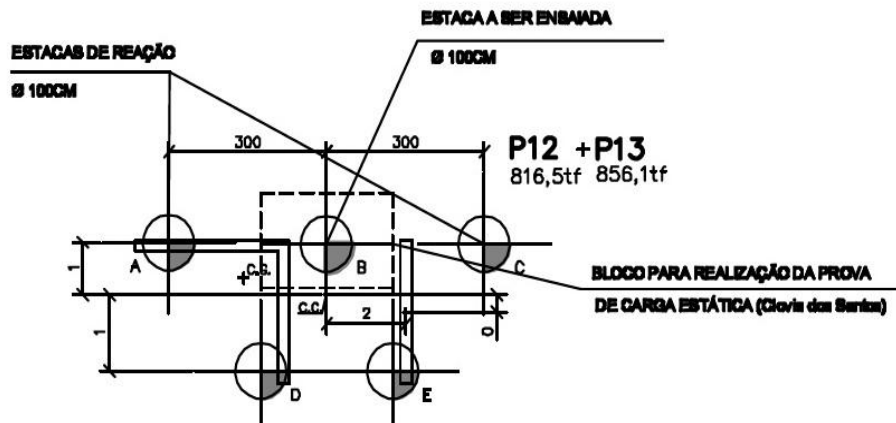


Figura 5. Vista em planta das estacas envolvidas no ensaio.

As estacas de tração e de compressão foram armadas conforme a Figura 6.

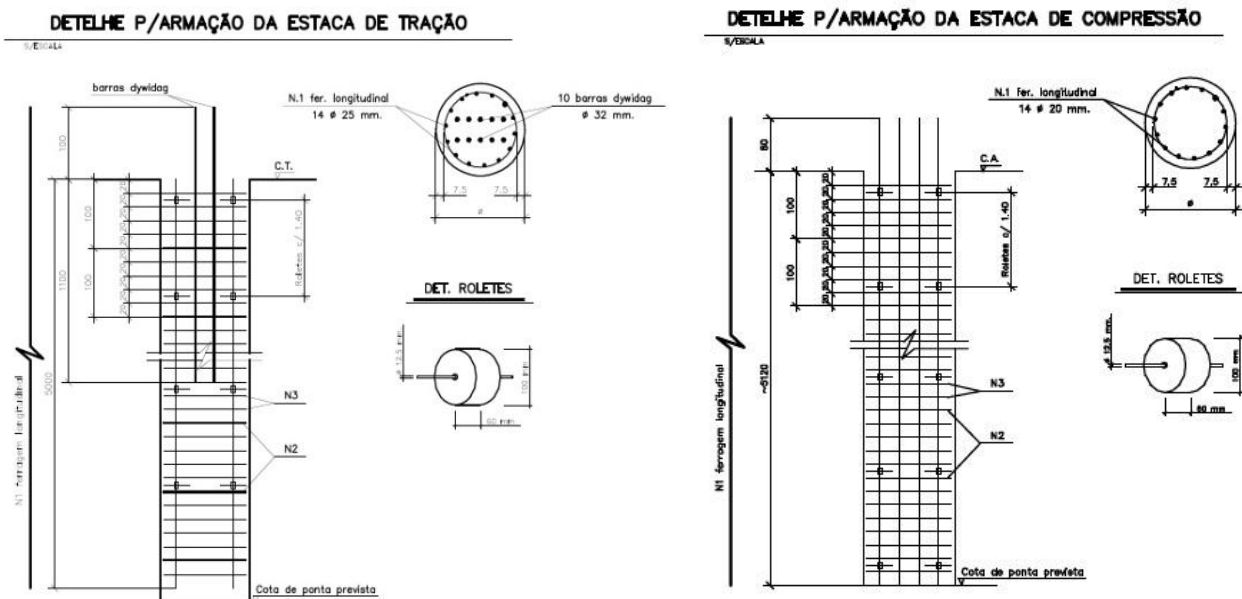


Figura 6. Detalhamento das armaduras de tração e compressão.

Tabela 1. Armaduras de tração e de compressão.

Diâmetro (cm)	Longitud.	Estribos		Peso do Aço CA50 (kg/m)		
		N1	N2	Peso por m de estaca armada		
ϕ	N1 ϕ 25mm (quant.)	N2 ϕ 12,5mm (m)	N3 ϕ 8 mm (m)	N1	N2	N3
100	14	3,22	3,22	34,52	3,1	6,36

A estaca de compressão foi totalmente armada unicamente para suportar os *strain gages*.

PROVA DE CARGA

Montagem da Instrumentação

A fim de se medir a tensão na armadura da estaca, foram utilizados extensômetros elétricos (*strain gages*) instalados aos pares na própria armadura (Figura 7) e em profundidades pré-definidas em projeto: 11, 28, 34,5, 40, 43,5, 47 e 51 m. Contudo, as profundidades reais em que foram instalados os *strain gages*, determinadas pelas condições de campo, foram: 14,8, 30,1, 32,8, 39,8, 43,3, 46,3, 51,3 m (Figura 8).



Figura 7. Detalhe do *strain gage*; instalação do *strain gage* na armadura.

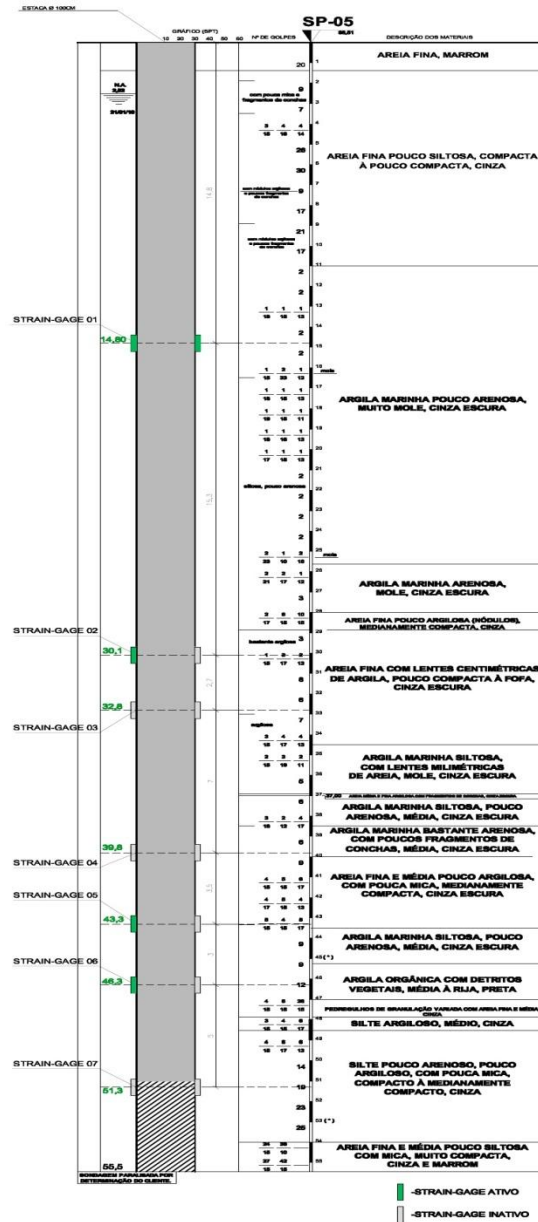


Figura 8. Posicionamento final dos *strain gages*.

Devido a danos causados aos cabos dos extensômetros (Figura 9) ao longo da concretagem da estaca, apenas aqueles instalados às profundidades de 14.8, 30.1, 43.3 e 46.3 m forneceram dados.



Figura 9. Detalhe do cabo do *strain gage* danificado.

Foram utilizadas duas estacas de reação no ensaio (Figura 10). A fim de se medirem deslocamentos do topo da estaca ensaiada, foram instalados seis relógios comparadores: quatro na estaca ensaiada e um em cada uma das estacas vizinhas (Figura 11).

Para o sistema de reação foi montado um pórtico metálico apoiado no centro no macaco hidráulico e na estaca a ser ensaiada, e ligado às duas estacas de tração por barras “Dywidag” (Figuras 10 a 13). A viga de reação foi monitorada em sete pontos diferentes com nível topográfico provido de micrômetro que permite leituras com precisão (0,01 mm).

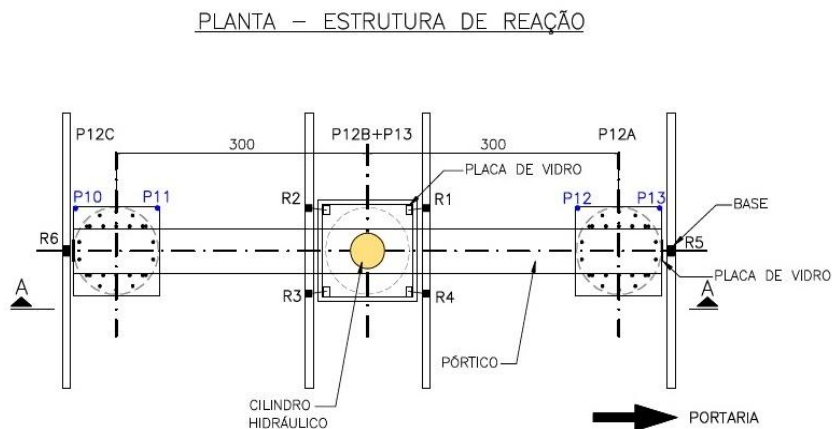


Figura 10. Planta da estrutura de reação.

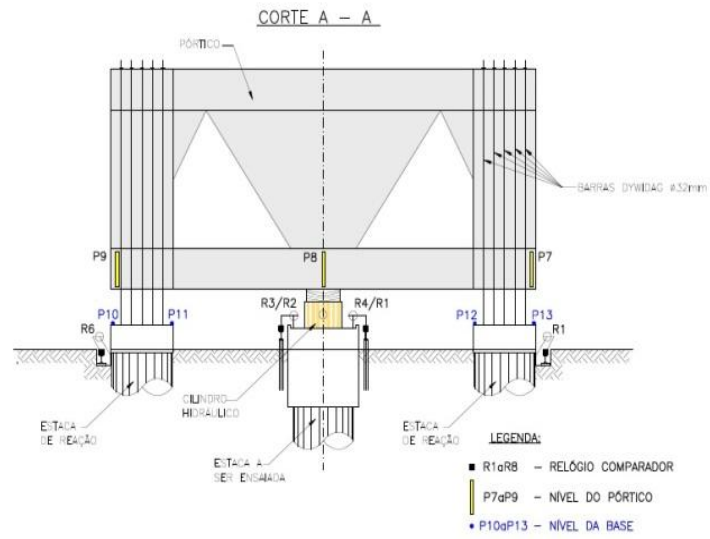


Figura 11. Estrutura de reação em corte.



Figura 12. Montagem da estrutura de reação.



Figura 13. Montagem da estrutura de reação.

Para realização do ensaio foi utilizado um conjunto bomba elétrica e cilindro hidráulico com capacidade de 11300 kN (Figura 14). Todo o ensaio seguiu os parâmetros estipulados pela Norma Brasileira NBR 12131 (2006).



Figura 14. Montagem do macaco hidráulico.

RESULTADOS

A partir do ensaio descrito anteriormente, obtiveram-se as curvas apresentadas nas Figuras 15 e 16.

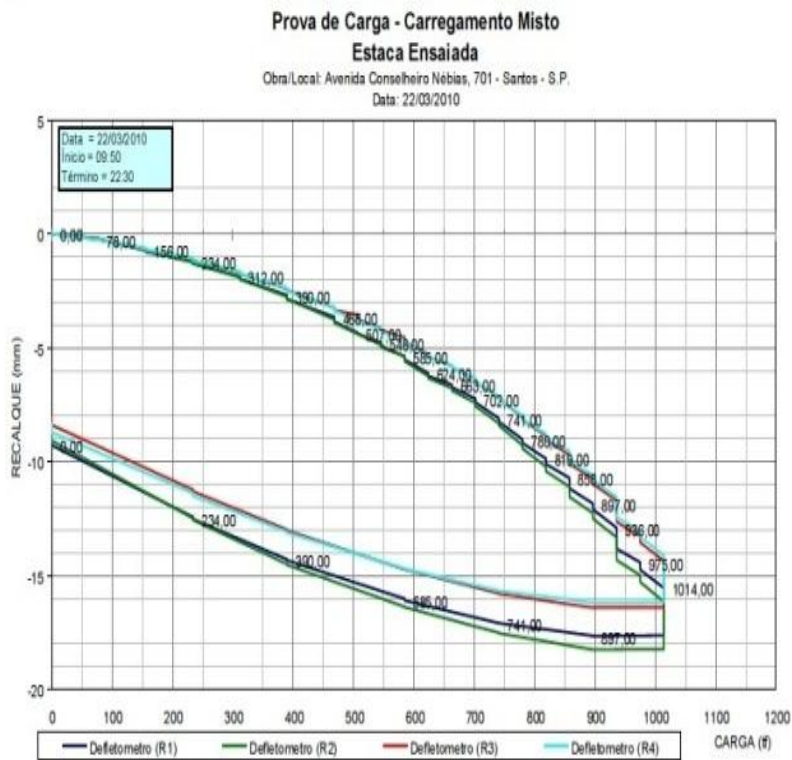


Figura 15. Curvas de recalque em função da carga obtidas no ensaio.

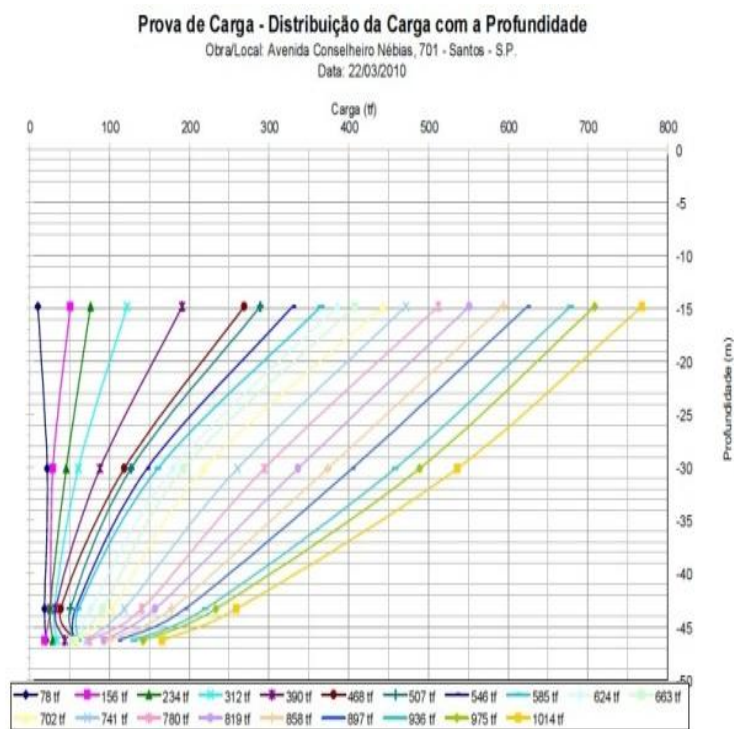


Figura 16. Curvas de distribuição de carga em função da profundidade obtidas no ensaio.

INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Pode-se observar (Figura 15) que, quando foi atingida a carga de 10140 kN, obteve-se um recalque da ordem de 18 mm (1,8% do diâmetro). Após o descarregamento permaneceu um recalque da ordem de 9 mm (0,9% do diâmetro).

As curvas de recalque em função da carga (Figura 15) mostram que as estacas suportam cargas muito superiores às calculadas, sugerindo que os métodos semi-empíricos utilizados (Figuras 3 e 4), pelo menos na região estudada, são muito conservadores para esse tipo de estaca.

Tendo em vista as curvas de distribuição de carga em função da profundidade (Figura 16), observa-se que, como esperado, há uma menor sensibilização dos *strain gages* localizados a maiores profundidades. O valor da sollicitação a 48 m de profundidade, ou seja, 6m acima da ponta da estaca, é da ordem de 5% na carga de trabalho da estaca e de 15% na máxima carga de ensaio, sugerindo que a carga na ponta da estaca seja desprezível.

CONCLUSÕES

A execução da prova de carga teve como principal benefício o de provar que os valores máximos admissíveis de carga nessas estacas estão seguramente dentro dos limites reais de segurança, tanto contra estados limites últimos (resistência), quanto contra estados limites de serviço (recalques). Na verdade, há uma considerável subestimação das cargas de ruptura pelas fórmulas de capacidade de carga de estacas escavadas.

Extrapolando os limites da obra, vale lembrar que não são usuais estacas escavadas com diâmetros e comprimentos elevados, tais como os apresentados no projeto ao qual este trabalho faz referência. Tampouco

é usual a realização de prova de carga estática instrumentada em profundidade, mormente em fundações desse porte. Os dados obtidos podem servir de material auxiliar àqueles que forem realizar obras semelhantes em regiões com características de solo semelhantes às da Baixada Santista,.

BIBLIOGRAFIA

Aoki, N., Velloso, D. (1975). “An approximate method to estimate the bearing capacity of piles”, *Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*, Buenos Aires, vol.1, p. 367-376.

Cabral, D. (1987). Método para a determinação da capacidade de carga de estacas escavadas. *Catálogo da Fundesp*.

Décourt, L., Quaresma, A. R. (1978). Capacidade de Carga de Estacas a partir de valores de SPT. *Anais, VI COBRAMSEG*, Rio de Janeiro, vol. 1, pp. 45-53.

Norma Técnica NBR 6122 (2010) – *Projeto e Execução de Fundações*.

Norma Técnica NBR 12131 (2006) – *Estaca, Prova de Carga Estática*.