

Prova de Carga Estática Prévia e Instrumentada em Estaca Escavada de Grande Diâmetro na Baixada Santista

Falconi, Frederico Fernando

ZF & Engenheiros Associados S/S, São Paulo, Brasil, fred@zfsolos.com.br

Corrêa, Celso Nogueira

ZF & Engenheiros Associados S/S, São Paulo, Brasil, celso@zfsolos.com.br

Maset, Virgínia Lucchesi

ZF & Engenheiros Associados S/S, São Paulo, Brasil, virginia@zfsolos.com.br

RESUMO: A realização de provas de carga estática previamente à execução do projeto de fundações ainda é prática pouco usual no Brasil. Este artigo relata caso real de obra em que a prova de carga prévia foi realizada e a estaca foi instrumentada em profundidade. Compara-se o quantitativo das fundações do projeto inicial com o do projeto final, que utilizou o resultado do ensaio, resultando em economia de 14% na perfuração e no volume de concreto das estacas, sem contabilizar a redução dos volumes dos blocos de fundação e do prazo da obra. A estaca foi instrumentada em profundidade com strain gages para se obter a transferência de carga ao longo do fuste. Apresentam-se o projeto da prova de carga estática, as curvas carga x recalque e os gráficos de transferência de carga da estaca ensaiada. Apesar da logística da mobilização de equipe e equipamentos de perfuração, de equipe de apoio para locação, formas, armação e concretagem das peças sem canteiro instalado, o resultado final foi compensador.

PALAVRAS-CHAVE: prova de carga estática, estaca escavada de grande diâmetro, Baixada Santista, prova de carga prévia.

1 INTRODUÇÃO

Em 2010 entrou em vigor a NBR 6122 que tornou obrigatória a execução de provas de carga estática em obras cujo número de estacas seja superior a valor da Tabela 6 do item 9.2.2.1 da norma, variável conforme o tipo de estaca. Desde então, a prática se tornou muito mais corriqueira no Brasil, sendo os ensaios – provas de carga estática, testes bidirecionais ou ensaios de carregamento dinâmico – normalmente realizados durante e após a execução das fundações, com o intuito de comprovar seu desempenho. A realização de provas de carga estática previamente à elaboração do projeto de fundações ainda é prática pouco usual. O objetivo desse artigo é mostrar as vantagens

econômicas, de prazo e de segurança que esta prática permite. Além de possibilitar a redução do fator de segurança à ruptura, a realização do ensaio prévio representa um avanço no conhecimento técnico acerca das longas estacas escavadas de grande diâmetro com fluido estabilizante executadas na Baixada Santista, solução corrente em obras da região.

2 CARACTERÍSTICAS DA OBRA

2.1 O empreendimento

A estaca ensaiada faz parte da fundação de um empreendimento com três torres – um prédio comercial, um hotel e um flat – a ser construído

na cidade de Santos, litoral de SP. O terreno atual encontra-se no nível da rua (aproximadamente cota +0,50) e o empreendimento possui três subsolos. A escavação total chega a 9,10 m.

2.2 Perfil geotécnico

Foram executadas nove sondagens à percussão.

O perfil geológico consiste de uma camada superficial de areia fina pouco siltosa, pouco compacta a compacta, com aproximadamente 11 metros de espessura, sobreposta a camadas de argila marinha muito mole a mole intercaladas com camadas de areia compacta. A

partir de 45 metros de profundidade são encontradas camadas mais resistentes de areia e silte, e atinge-se o impenetrável a aproximadamente 60 metros de profundidade. As particularidades da formação geológica dos solos da cidade de Santos, responsáveis pelos desafios inerentes aos projetos de fundação da região, já foram bastante estudadas e difundidas na literatura por autores como Suguio (1994) e Massad (2009), entre outros.

A sondagem mais próxima à estaca ensaiada, que segue o perfil característico da cidade de Santos, está retratada na Figura 1.

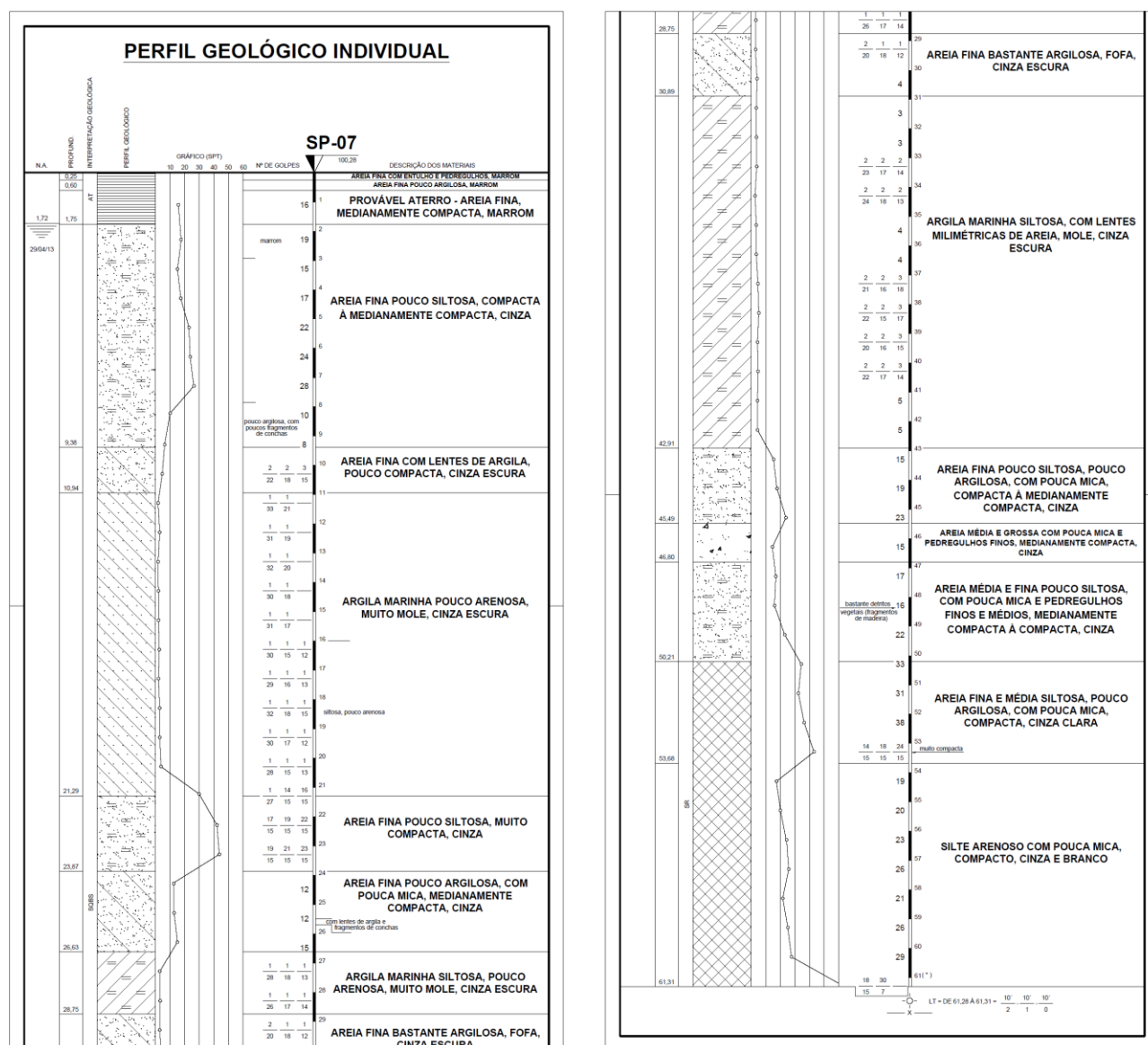


Figura 1. Perfil geológico de acordo com a sondagem SP-07.

2.3 Projeto de fundações e contenções

Devido às condições do subsolo e à grandeza das cargas, foi escolhida estaca escavada de grande diâmetro com fluido estabilizante para as fundações das três torres. O projeto inicial previa estacas com diâmetro de 90 a 150 cm e comprimentos variáveis entre 40,00 e 55,00 m.

Para vencer o desnível de três subsolos, foi projetada contenção em parede diafragma com tirantes provisórios. Devido às condições do subsolo, optou-se pela execução da escavação pelo método semi-invertido, como ilustrado na Figura 2. As estacas serão executadas da cota intermediária -5,73 (2º subsolo).

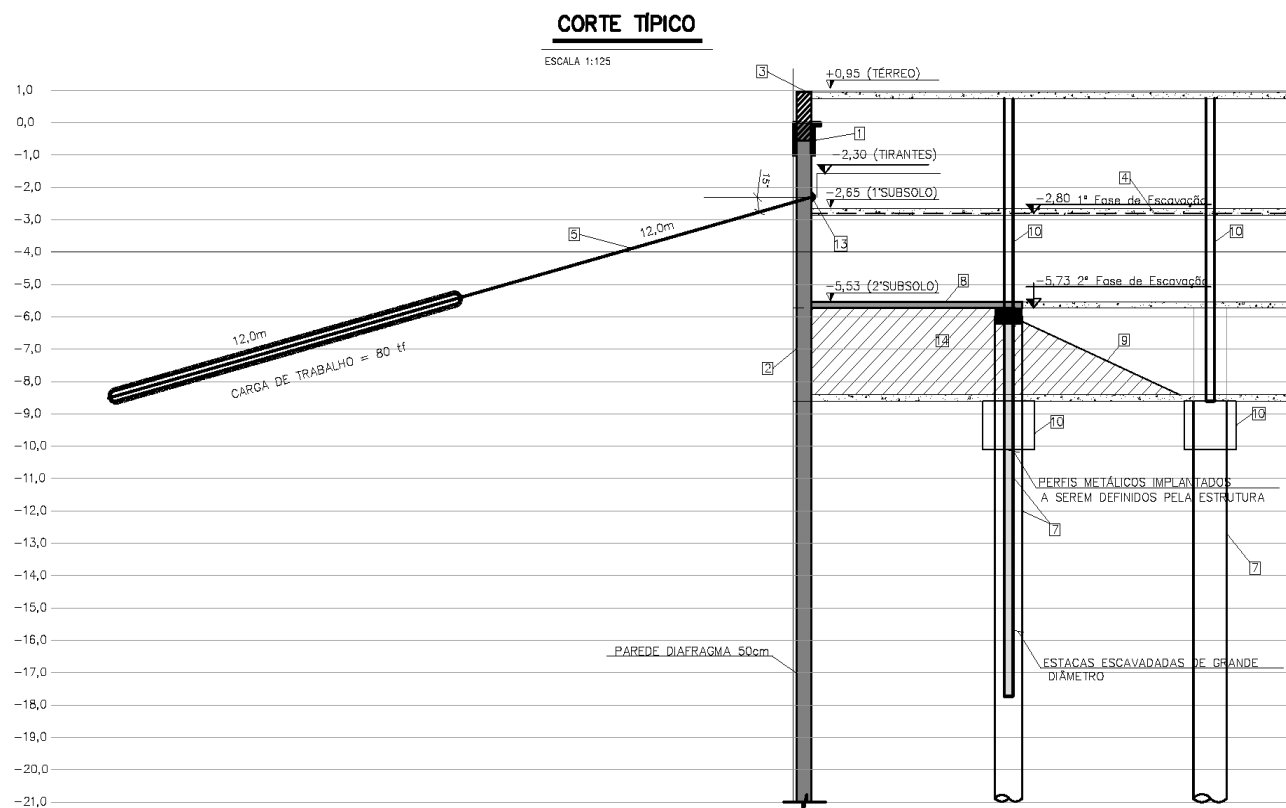


Figura 2. Corte típico da escavação.

3 PROVA DE CARGA

3.1 Características das estacas

Para a prova de carga, foi utilizado o bloco de fundação do pilar P10B, cujas estacas foram executadas com diâmetro de 100 cm e comprimento de 58,00 m a partir da cota de execução da prova de carga (~ +0,50). As estacas A e C foram utilizadas como estacas de reação para o carregamento à compressão da estaca central B, conforme Figura 3.

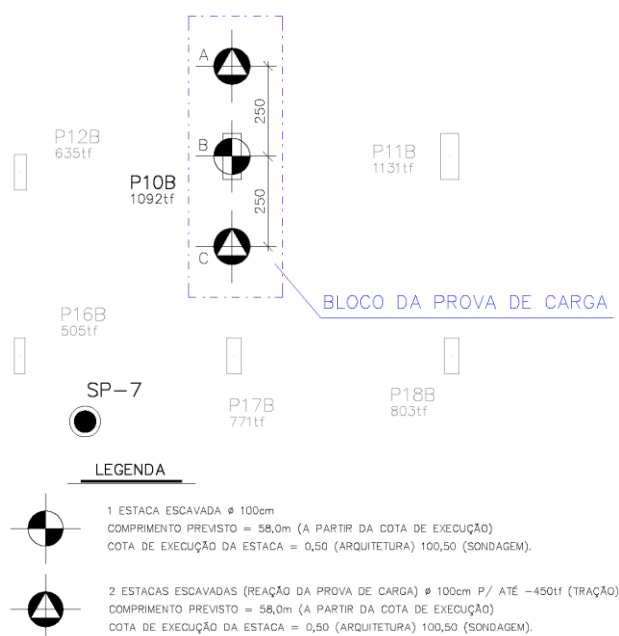


Figura 3. Bloco e estacas da prova de carga.

Para o projeto, as cargas de trabalho e os comprimentos das estacas foram calculadas com base nos métodos semi-empíricos de Décourt-Quaresma (1978), Aoki-Velloso (1975) e David Cabral (1987), bastante difundidos no meio geotécnico para estacas escavadas de grande diâmetro. Para a estaca ensaiada, de 100 cm de diâmetro e carga de trabalho usual de 3.900 kN, foi calculada a capacidade de carga para os três métodos segundo para a sondagem SP-07. As Figuras 3 a 5 ilustram os gráficos, separados em PL (atrito lateral), PP (resistência de ponta) e PR (resistência total); neste último, está indicado o valor da carga de trabalho da estaca com fator de segurança 2.

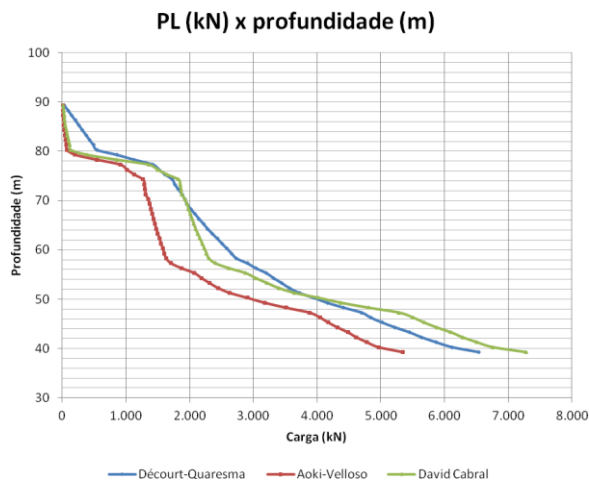


Figura 4. Resistência de atrito lateral ao longo da profundidade.

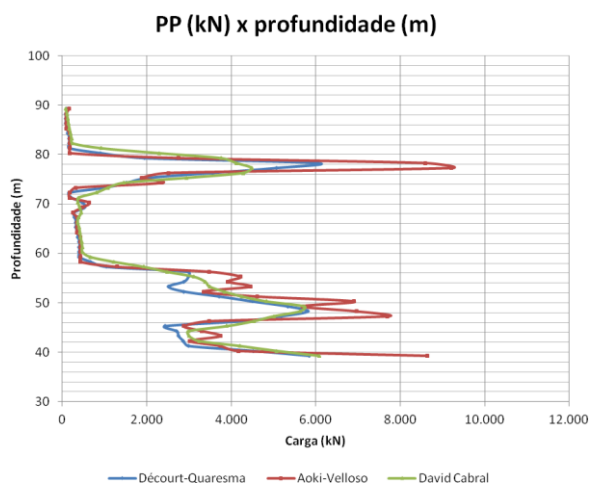


Figura 5. Resistência de ponta ao longo da profundidade.

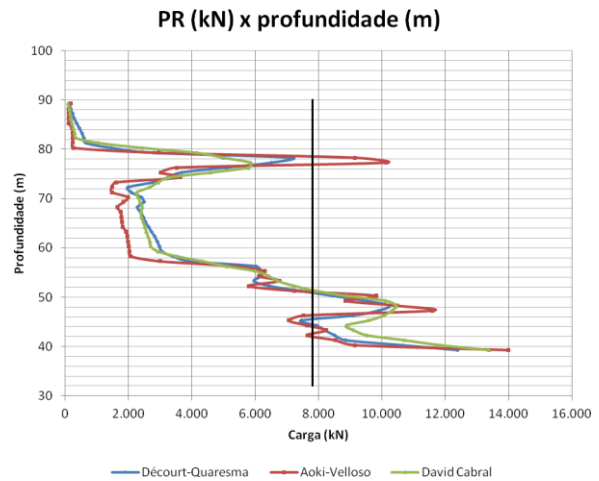


Figura 6. Resistência total ao longo da profundidade.

As Figuras 7 a 9 mostram a montagem e o sistema de reação da prova de carga estática.



Figura 7. Prova de carga.



Figura 8. Vista do sistema de reação.



Figura 9. Sistema de aplicação de carga.

3.2 Armação das estacas

3.2.1 Estaca ensaiada

A estaca ensaiada foi armada com a mesma configuração que o restante das estacas de 100 cm do projeto. Apenas o comprimento da armação foi aumentado em função de o arrasamento definitivo da estaca ser na cota final de escavação.

Em obra, ainda, este comprimento foi aumentado para possibilitar a instalação dos strain gages em profundidade.

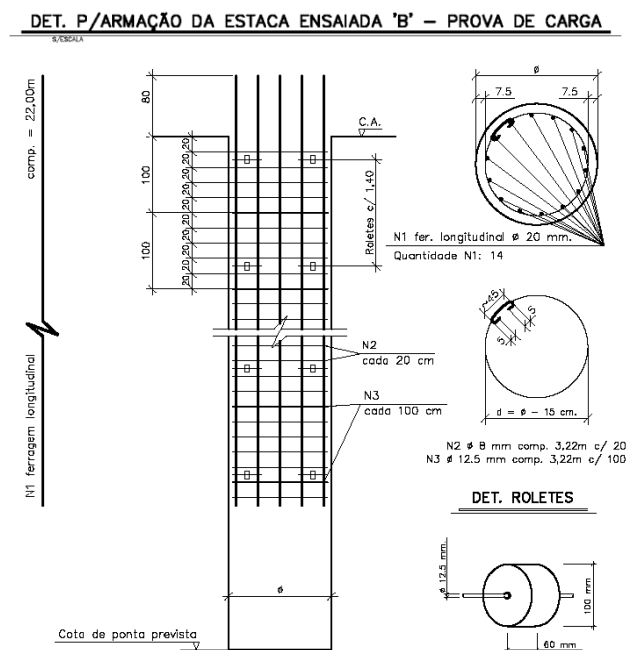


Figura 10. Armação da estaca ensaiada.

Tabela 1. Armadura da estaca ensaiada.

Longitudinal		Estribos	
N1 ϕ 20mm	N2 ϕ 8mm	N3 ϕ 12,5mm	
Quant.	Comp. [m]	Quant.	Comp. [m]
14	22,00	85	3,22

Tabela 2. Peso de aço da estaca ensaiada.

Peso de aço CA-50 [kg]			
N1	N2	N3	Total
759,57	108,00	65,14	932,71

3.2.2 Estacas de reação

Para armação das estacas de reação, foi considerada a carga máxima do ensaio de 9.000 kN. Sendo o sistema de reação composto por duas estacas, cada uma delas seria submetida a 4.500 kN de tração pura.

A armadura longitudinal foi composta por 12 barras Dywidag ϕ 32 mm até 18,00 m de profundidade ligadas ao sistema de reação da prova de carga, e 12 barras CA-50 ϕ 25 mm, para fazer a ligação com o restante da gaiola. Dos 18,00 aos 36,00 m, a gaiola foi composta por 24 barras de ϕ 25 mm, transpassadas às 12 barras CA-50 existentes e às 12 barras Dywidag com o uso de cliques. Na profundidade de 36,00 m, a armadura foi reduzida para 12 barras de ϕ 25 mm, que seguem até a ponta da estaca. A armação está detalhada na Figura 11 e nas Tabelas 3 a 5.

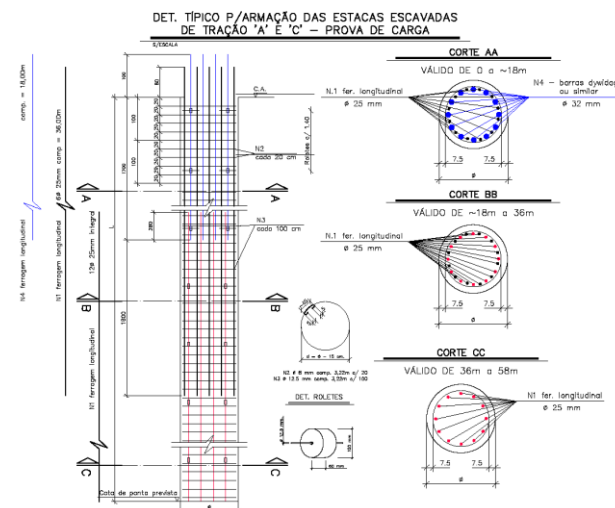


Figura 11. Armação das estacas de reação.

Tabela 3. Armadura longitudinal por estaca de reação.

Longitudinal			
N1 ϕ 25mm		N4 ϕ 32mm	
Quant.	Comp. [m]	Quant.	Comp. [m]
12	36,00	12	18,00
12	58,00		

Tabela 4. Armadura transversal por estaca de reação.

Estribos			
N2 ϕ 8mm		N3 ϕ 12,5mm	
Quant.	Comp. [m]	Quant.	Comp. [m]
229	3,22	57	3,22

Tabela 5. Peso de aço por estaca de reação.

Peso de aço [kg]				
Aço CA-50				Aço ST85/105
N1	N2	N3	Total	N4
4.346,59	290,96	176,81	4.814,36	1.360,8

4 INSTRUMENTAÇÃO

Para medir a transferência de carga por atrito lateral ao longo do fuste com precisão, a estaca ensaiada foi instrumentada em profundidade com strain gages. A profundidade em que cada strain gage foi instalado está explicitada na Tabela 6.

Tabela 6. Profundidade dos strain gages.

Nível	Profundidade [m]
01	1,50
02	11,00
03	19,50
04	31,50

Na ocasião da execução da prova de carga prévia, o terreno ainda não havia sido escavado. Para atestar o desempenho das fundações nas condições reais de carregamento, ou seja, com a estaca arrasada na cota do 3º subsolo, o atrito lateral mobilizado pela primeira camada de

areia deveria ser desconsiderado – por isso o nível de instrumentação aos 11,00 m de profundidade.

5 RESULTADOS DO ENSAIO

5.1 Curvas carga x recalque

Ao atingir 8.120 kN, o ensaio foi interrompido e descarregado por determinação do cliente. Foi solicitado o recarregamento da estaca e, neste novo carregamento, atingiu-se 9.370 kN. Apenas o primeiro ensaio forneceu dados de instrumentação. Ambas as curvas estão retratadas na Figura 12.

Na carga máxima de ensaio (9.370 kN), a estaca apresentou recalque da ordem de 19 mm, ou seja, 1,9% do diâmetro.

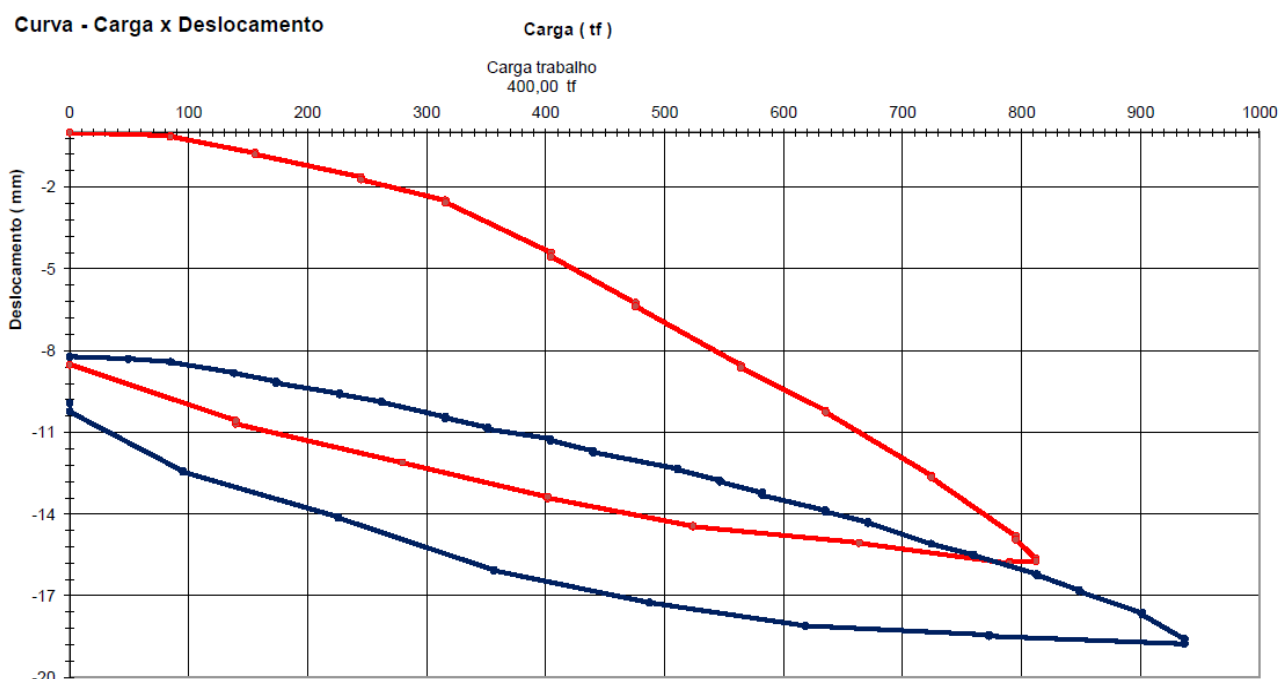


Figura 12. Curvas carga x recalque da prova de carga.

5.2 Curvas carga x profundidade

As curvas carga x profundidade para cada estágio da prova de carga estática, com

medições no topo da estaca e nos quatro níveis de strain gages instalados em profundidade, estão ilustradas na Figura 13.

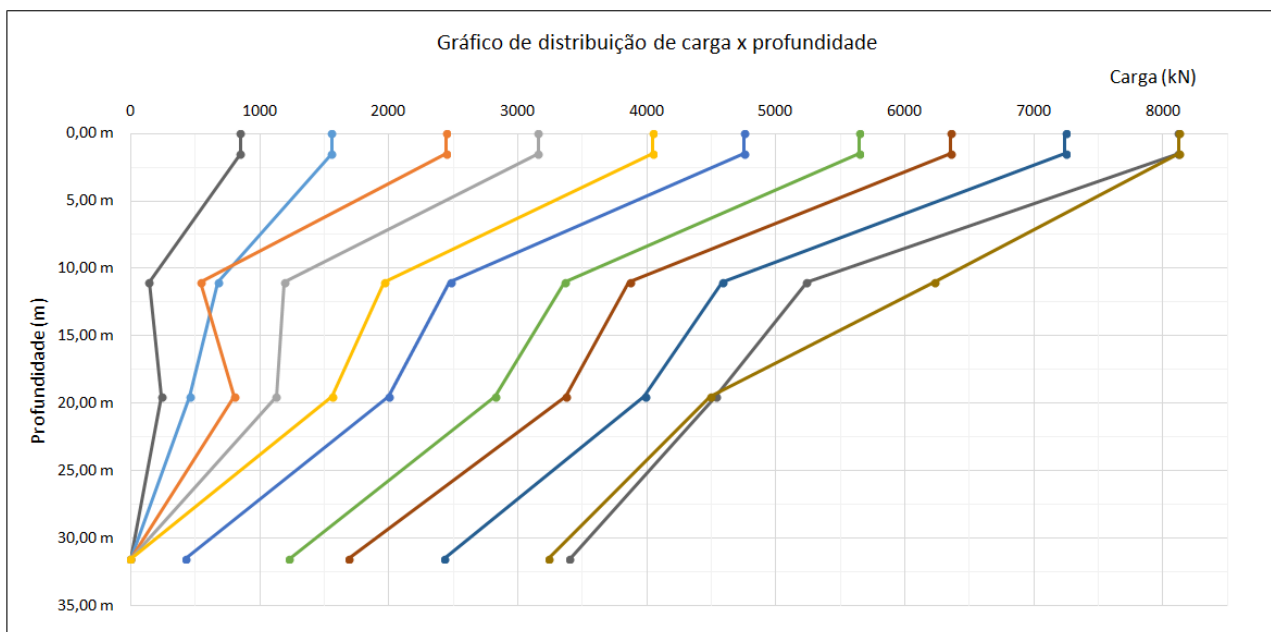


Figura 13. Curvas carga x profundidade por estágio de carregamento.

Pode-se observar que, no estágio final de aplicação de carga (8.120 kN), o último nível de strain gages detectou 3.237 kN. Em 31,50 m, cerca de 60% da carga aplicada foi dissipada por atrito lateral – e ainda há 26,50 m de estaca até se atingir a ponta. Isso reforça a suspeita corrente de que as estacas em Santos, dimensionadas pelos métodos convencionais, estão superdimensionadas (Falconi et al, 2015).

Como se trata de medida indireta, já que os strain gages medem tensão, alguma pequena diferença de cálculo pode ter ocorrido no nível 03 de strain gages no 3º estágio de carregamento (2.500 kN) e no nível 04 de strain gages no carregamento máximo (8.120 kN).

para bota-fora e o volume de fluido estabilizante; reduziu também o volume de concreto das estacas, além do volume e armação dos blocos de coroamento. Do projeto inicial para o final houve uma economia de 14% em volume de concreto e 9% em peso de aço, apenas nas estacas.

Além da grande redução do custo direto dos serviços de mão-de-obra e dos materiais empregados, é importante ressaltar que a realização do ensaio resultou em redução do prazo da obra em mais de 30 dias – talvez o maior benefício ao se considerar o custo mensal de toda a infraestrutura de um canteiro de obras, ou seja, os custos indiretos da obra.

6 NOVO PROJETO

Inicialmente, o projeto de fundações foi concebido para as cargas de trabalho usuais, considerando-se tensão de 5 MPa no concreto das estacas. Após análise do resultado da prova de carga estática prévia, a carga admissível para a estaca de 100 cm de diâmetro foi aumentada de 3.900 kN para 5.100 kN. Assim, o projeto de fundações foi repensado considerando-se novas cargas de trabalho para todas as estacas.

Esse acréscimo de 30% na carga admissível das estacas reduziu o volume de perfuração e, conseqüentemente, o volume de solo descartado

7 CONCLUSÃO

A prova de carga estática prévia em estacas escavadas longas de grande diâmetro na Baixada Santista confirma, em primeiro lugar, que os métodos semi-empíricos usuais de cálculo de capacidade de carga mostram-se bastante conservativos.

Em segundo lugar, mostra-se que a execução de prova de carga estática prévia é poderosa ferramenta de projeto, levando a resultados satisfatórios tanto no aspecto técnico – aumento das cargas de trabalho das estacas em aproximadamente 30% – quanto no econômico

– redução significativa de custos diretos e indiretos da obra.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). *NBR 12131: Estacas – Prova de carga estática – Método de ensaio*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). *NBR 6122: Projeto e execução de fundações*.
- Aoki, N. e Velloso, D. (1975). An approximate method to estimate the bearing capacity of piles, *Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*, Vol. 1, p. 367-376.
- Cabral, D. (1987). Método para a determinação da capacidade de carga de estacas escavadas, *Catálogo da Fundesp*.
- Décourt, L. e Quaresma, A.R. (1978). Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT, *VI COBRAMSEG*, Vol. 1, p. 45-53.
- Falconi, F.F., Hachich, W.C. e Maset, V.L. (2015). Provas de carga em estacões na Baixada Santista e sua interpretação, *VIII SEFE*, Arquivo eletrônico.
- Massad, F. (2009) *Solos marinhos da Baixada Santista – Características e propriedades geotécnicas*, 1a ed., Oficina de Textos, São Paulo, SP, 247 p.
- Suguio, K. e Martin, L. (1994) *Geologia do Quaternário*. In: Falconi, F. F. e Negro Jr., A. Solos do litoral de São Paulo, ABMS-ASSECOB, Santos, SP, p. 69-97.