

INFLUÊNCIA DA INUNDAÇÃO NO COMPORTAMENTO DE ESTACAS APILOADAS, CARREGADAS LATERALMENTE

Cláudio Vidrih Ferreira⁽¹⁾, Ademar da Silva Lobo⁽²⁾, David de Carvalho⁽³⁾ e Paulo José Rocha Albuquerque⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Unesp Bauru, SP, vidrih@feb.unesp.br

⁽²⁾ Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Unesp Bauru, SP, lobo@feb.unesp.br

⁽³⁾ Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp - Campinas, SP, david@agr.unicamp.br

⁽⁴⁾ Faculdade de Engenharia Civil, Unicamp - Campinas, SP, Facens - Sorocaba, SP, pjra@fec.unicamp.br

ABSTRACT

The region of Bauru, in São Paulo State, is typically underlain by sandstone of Bauru Group. The topmost soil is residual, constituted by clayey fine sand. This type of soil, with high porosity, and normally deep ground water level, allows the execution of a cast-in-place uncased pile where the soil, instead of excavated, is displaced by a free drop of a cylindrical hammer with mass ranging from 300 to 600kg. In order to evaluate the ultimate load capacity of this type of pile, a research program was conducted in the experimental field of São Paulo State University, campus of Bauru, where 250mm diameter and 4, 7 e 10m length pounded piles were tested laterally loads, in full-scale. These tests have been conducted with the soil in the natural condition and after soaking with water. This paper present the results of pile load tests carried out for the 10m length piles. The value of the ultimate load obtained in the tests are presented, in order to evaluate the influence of the soil collapsibility in the results.

1. INTRODUÇÃO

A cidade de Bauru, situada no Estado de São Paulo, dista cerca de 300km da capital. O solo local, representativo de grande área do Estado, é constituído por uma areia fina argilosa, residual de arenito.

Na maioria das sondagens à percussão não é encontrado o nível d'água freático, constatando-se a existência de espessas camadas de solo não saturado, laterizado.

Esse solo, bastante poroso devido ao intenso processo de lixiviação a que foi submetido, apresenta predominância de partículas de areia fina interligadas por cimento argiloso, susceptível a colapso. Esse tipo de solo permite que se execute, facilmente, estacas moldadas *in loco*, sem revestimento, denominadas de apiloadas, nas quais a abertura do fuste é efetuada com a queda livre de um soquete (pilão), que produz uma abertura no terreno, deslocando e compactando o solo ao redor do fuste.

É grande o numero de situações em que estas estacas são submetidas a esforços horizontais, combinado com solicitações de compressão ou tração. Uma aplicação usual é na construção de muros de arrimo.

Visando fornecer parâmetros de projeto para o meio geotécnico, foram realizadas provas de carga horizontais em 3 estacas apiloadas, com 4; 7 e 10m de comprimento. Cada estaca foi submetida a três provas de carga, duas com o solo em sua umidade natural e outra com a pré-inundação do terreno, procurando-se verificar o efeito do colapso no seu comportamento.

Neste trabalho, apresentam-se parâmetros geotécnicos do solo local e os resultados das provas de carga realizadas na estaca apiloadada de 10,0m de comprimento. Os resultados obtidos permitirão um melhor conhecimento do comportamento desse tipo de estaca, quando submetidas a cargas horizontais, visto que as características geológico-geotécnicas desse solo são similares ao de grande área do Estado de São Paulo.

2. CAMPO EXPERIMENTAL

Para a viabilização de projetos de pesquisa, a Unesp/Bauru destinou uma área de 52.000m². Nessa Área implantou-se o campo experimental de fundações. O SPT no local varia de 2 a 6 golpes nos primeiros 6m, crescendo de forma praticamente linear com a profundidade até aproximadamente 10 a 12m. A figura 1 mostra o perfil geotécnico do Campo, típico de solo residual dessa região. Na tabela 1 são indicados os valores médios de propriedades desse solo.

N _{med}	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL	Z (m)
2,7	AREIA	
2,3		
3,0		
4,0	FINA	
3,7		
5,7	ARGILOSA	
7,3		
7,0	FOFA	
8,3		
7,7	A	
11,3		
13,0		
12,3	MEDIANAMENTE COMPACTA	
15,7		
16,3	VERMELHA	
16,0		
21,0		
23,0	Argila siltosa, rija	16,9
21,7	Areia fina argilosa medianamente compacta a compacta,	
21,0		

Figura 1 Perfil geotécnico típico do local.

Tabela 1: Parâmetros Geotécnicos Médios.

PROPRIEDADES	UNIDADE		MÉDIA
Granulometria			
areia média			5
areia fina			69
silte		%	11
argila			15
Índices Físicos			
teor de umidade	(w)	%	10
massa específica	(ρ)	(10^3kg/m^3)	1,77
massa esp. dos sólidos	(ρ_s)	(10^3kg/m^3)	2,68
massa específica seca	(ρ_d)	(10^3kg/m^3)	1,60
índice de vazios	(e)	-	0,67
grau de saturação	(Sr)	%	42
Limites de Consistência			
Limite de Liquidez	(LL)	%	22,3
Índice de Plasticidade	(IP)	%	6,1
Resistência (efetiva)			
Res. Compressão Simples (Rc)		kPa	39
Coesão	(C)	kPa	14
Ângulo de Atrito Interno	(ϕ)	graus	30

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Execução das estacas. Para a realização das provas de carga, foram executadas 3 estacas, de 4, 7 e 10m de comprimento e diâmetro nominal de 0,25m, resultado da abertura do furo efetuada com soquete de ponta plana com uma massa da ordem de 400kg.

Nestas estacas, armadas com quatro barras de aço de 10mm, utilizou-se concreto usinado C-20.

Na cabeça das estacas foram executados blocos cúbicos de concreto armado ($f_{ck} = 20$ MPa), com 0,40m de aresta, com o uso de formas de madeira. A figura 2 mostra uma vista das estacas ensaiadas horizontalmente.

Equipamentos utilizados nas provas de carga. Na realização das provas de carga, com esforço horizontal, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: macaco hidráulico de 500 kN, munido de bomba, rótula; célula de carga de 500kN; chapas e perfis metálicos; relógios comparadores com precisão de 0,01mm; tirantes Dywidag (ϕ 32mm); vigas de referência; bases magnéticas; cronômetros, etc.



Figura 2 Vista geral das estacas ensaiadas.

Provas de carga. As provas de carga realizadas foram do tipo rápida, conforme descreve a NBR12.131/1991, tendo-se ensaiado, dentre outras, a estaca apiloada de 10m de comprimento e 0,25m de diâmetro. Sobre esta estaca foram executadas 3 provas de carga: duas com o solo natural e uma terceira com pré-inundação do terreno por 72 horas. Como reação, utilizou-se outra estaca apiloada ($L=12\text{m}$ e $\phi = 0,25\text{m}$).

O registro dos deslocamentos foi efetuado através de 3 deflectômetros fixados à bases magnéticas e instalados na face do bloco, oposta à da aplicação da carga. A figura 3 ilustra um esquema das provas.

4. RESULTADOS OBTIDOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos na realização das 3 provas de carga na estaca de 10m, com esforço horizontal.

Na tabela 2, apresenta-se um resumo das provas executadas, na qual são destacadas a condição do solo e os valores máximos para carga e deslocamento, obtidos em cada prova realizada. A figura 4 destaca o conjunto das curvas carga x deslocamento das 3 provas realizadas.

5. CONCLUSÕES

A figura 5 representa o conjunto das curvas carga horizontal x deslocamento, superpostas, relativas ao primeiro e segundo carregamentos (pcN1 e pcN2), com o solo natural e após pré-inundação do terreno (pcI3).

Da análise dos 2 primeiros carregamentos, com o solo natural, observa-se que até cerca de 33 mm as curvas são distintas, como era de se esperar, obtendo-se deslocamentos muito superiores no segundo carregamento, para a mesma carga aplicada.

Esse fato realça que o solo tem comportamento próximo do estado elasto-plástico, se deforma e não volta a sua posição inicial quando descarregado; assim, quando da aplicação do segundo carregamentos, não havia o solo se opondo ao deslocamento, no topo da estaca, e esta funcionava como que engastada a uma determinada profundidade.

No segundo carregamento, quando se atinge uma carga próxima de 10kN, ocorre uma inflexão na curva, denotando que daí em diante a estaca encosta no solo ao longo de todo comprimento, reduzindo sensivelmente a taxa de deslocamento, até próximo de 33 kN, sendo que a partir desse ponto o trecho da curva tende a assumir a continuação da curva do 1º ensaio.

Esse comportamento da curva, de tender a continuidade do carregamento anterior, é muito semelhante ao que se obtém quando se recarrega uma estaca com carga vertical pela 2ª vez.

No 3º carregamento, após inundação prévia do terreno ao redor da estaca, fica evidenciado o caráter colapsível do solo, com taxa de deslocamento crescente com a carga, não indicando nenhuma tendência de se aproximar da curva obtida no 2º carregamento, como ocorreu entre o primeiro e segundo ensaio.

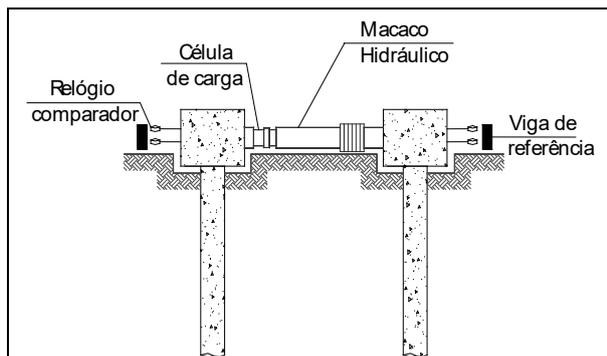


Figura 3 Esquema de uma prova de carga.

Tabela 2. Valores máximos obtidos.

Nº da prova	Condição do Solo	Carga (kN)	Deslocamento (mm)
pc N1	Natural	36	29,54
pc N2	Natural	39	46,52
pc I3	Inundado	27	53,50

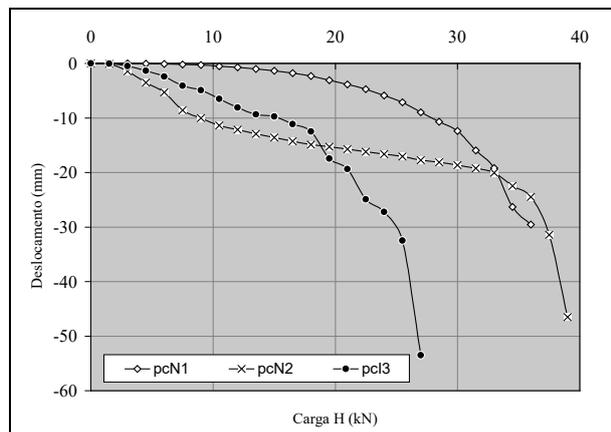


Figura 4 - Curvas carga horizontal x deslocamento.

Os menores deslocamentos, obtidos no início do 3º carregamento, para a mesma carga aplicada, quando comparado com o 2º carregamento, pode ser devido ao preenchimento parcial, do espaço livre entre a estaca e o terreno, quando do descarregamento do 2º ensaio. A água de inundação do solo acabou carregando material para o espaço existente entre a estaca e o solo.

A determinação das capacidades de carga das 3 provas indicaram, usando o método de Van der Veen, uma redução de 31%, devido a inundação do terreno.

Em conformidade com Matlock & Reese (1961), destaca-se, na tabela 3, os valores do coeficiente de reação horizontal do solo (n_h) para as 3 provas efetuadas, obtidas como valor médio no intervalo 6 mm e 12 mm para o deslocamento da estaca, admitindo-se que o módulo de reação horizontal do solo varia linearmente com a profundidade, como acontece em solos tipicamente arenosos.

O valor de n_h obtido no 2º carregamento não tem qualquer aplicação prática, pois nesse ensaio o solo não estava reagindo contra a estaca no trecho superior, onde o seu efeito é mais significativo)

O valor obtido no primeiro ensaio é coerente com Davisson (1970) que cita como típicos para areais, valores de n_h entre 2,8 e 28 MN/m³.

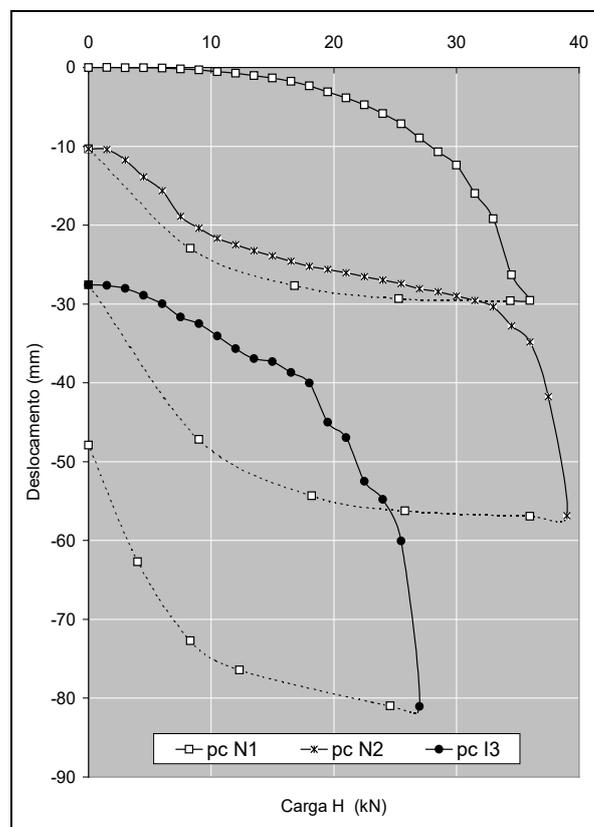


Figura 5 Conjunto de curvas obtidas, superpostas.

Tabela 3. Coeficiente de reação horizontal.

Nº da prova	Condição do Solo	n_h (MN/m ³)
1ª prova	Natural	11
2ª prova	Natural	2,5
3ª prova	Inundada	3,1

REFERÊNCIAS

DAVISSON, M. T. (1970). Estimating buckling loads for piles, Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, 2., S.P., vol 1, p 351-369.

FERREIRA, C.V. (1998). Efeito da Inundação do Solo no Comportamento de Estacas Moldadas *in loco*, Instrumentadas, em Campo Experimental de Bauru-SP. São Carlos/SP. Tese - doutorado - EESC/USP, Universidade de São Paulo. São Carlos. 160p.

MATLOCK H. AND REESE, L. C. (1961). *Generalized solutions for laterally loaded piles*, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, vol. 86, nº SM5, p. 63-91.

Control Number (leave it blank):

Name of the author for correspondence:

CLÁUDIO VIDRIH FERREIRA

E-mail address: vidrih@feb.unesp.br

Phone number (área code + number): (0xx14) 234 3194 ou 227 6985

Subject category: Agronomical Sciences Biological Sciences
 Engineering Exact and Earth Sciences
 Human Sciences Medical Sciences