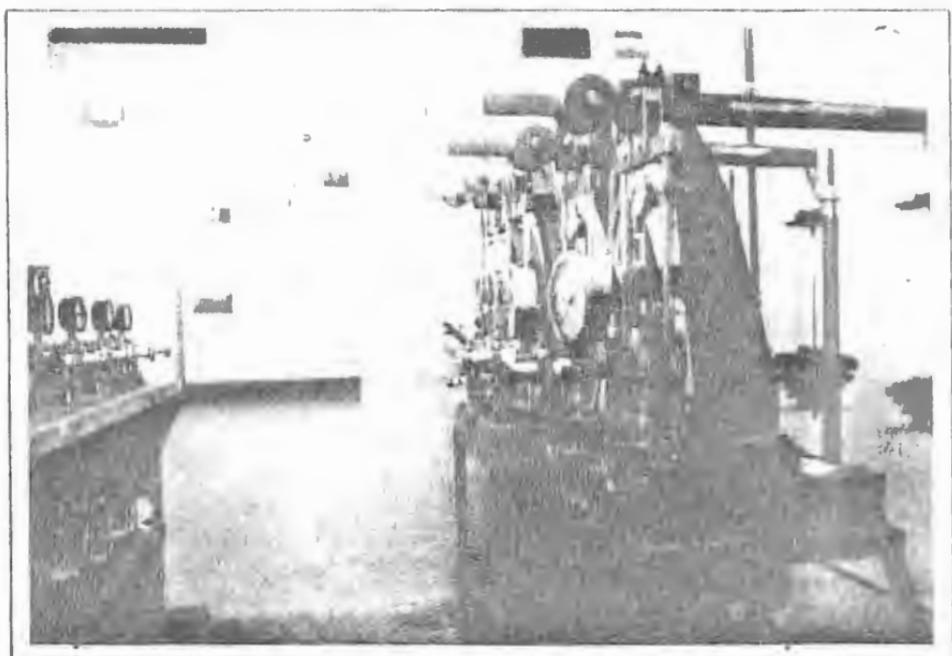


# 2º SIMPÓSIO SOBRE SOLOS NÃO SATURADOS



04 a 05 de abril de 1994  
Centro de Tecnologia-UFPE  
Recife-PE

3.22 00 0 -  
322 - - -

1349695  
0001454  
SYSNO  
PROD

## ANAIIS

AMSF - UFPE / ABMS - NE

## CORRELAÇÃO ENTRE CARGA ÚLTIMA DE ESTACAS À TRAÇÃO E À COMPRESSÃO EM SOLO COLAPSÍVEL

Carneiro, B. J. L. (USP)

Campelo, N. S. (FUA/USP)

Macacari, M. F. (USP)

Cintra, J. C. A. (USP)

### RESUMO :

Este artigo apresenta correlações experimentais entre cargas últimas à tração e à compressão de estacas, obtidas através de provas de carga realizadas no Campo Experimental de Fundações da USP-São Carlos. Foram analisadas estacas apiloadas e escavadas, com comprimentos de 6 m e diâmetros de 20 e 25 cm, respectivamente, embutidas em solo comprovadamente de estrutura colapsável (Vilar, 1979). Também para fins comparativos, estudaram-se duas estacas do tipo Strauss com comprimentos de 9 m e diâmetros de 32 cm, cujos fustes atravessam o sedimento cenozóico, atingindo suas pontas o segundo horizonte de solo (solo residual).

Através de várias provas de carga, para cada tipo de estaca, obteve-se a capacidade de carga à tração e à compressão. De posse destes dados, realizou-se uma análise comparativa visando definir a proporção que a carga última à tração representa em relação à carga última à compressão, na umidade natural do solo. Análise semelhante foi feita para condição de solo inundado durante 48 h, em estágio de carga equivalente à carga de trabalho da estaca.

### 1. INTRODUÇÃO :

Na literatura geotécnica nacional, há uma certa escassez de trabalhos que comparem o percentual correspondente da capacidade de carga à tração em relação à compressão. Os autores têm apenas conhecimento do relatado por Carvalho *et al.* (1991), que abordaram a questão para o caso do atrito lateral total de estacas raiz, encontrando a relação entre tração e compressão da ordem de 84 %. Optou-se então por apresentar neste artigo, os resultados experimentais obtidos em provas de carga em vários tipos de estacas, para propiciar, de uma forma simples, análises comparativas que sirvam como estimativas, quando não se dispõem de informações mais seguras dos valores correspondentes entre as correlações à tração e à compressão das estacas. Os valores das cargas últimas foram ajustados pela equação de Van der Veen (1953).

### 2. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

Para a completa caracterização geotécnica do Campo Experimental, foram realizados diversos ensaios *in situ* e em laboratório. Realizaram-se cinco sondagens de simples reconhecimento (SPT) e cinco ensaios de penetração estática (CPT), até a profundidade de 20 m.

08644<sup>5</sup>

231

O perfil típico obtido a partir das sondagens, indica uma camada superficial de sedimento cenozóico, com 6 m de espessura. Trata-se de areia argilosa, marrom, laterizada, porosa e colapsável. Separado por uma linha de saívas na cota - 6 m, aparece logo abaixo solo residual do Grupo Bauru, descrito como areia argilosa vermelha. O nível d'água foi encontrado a 10 m de profundidade, no inverno (Giachetti *et al.*, 1991).

O perfil geotécnico típico do Campo Experimental e os parâmetros do solo, encontrados a partir de ensaios laboratoriais, estão apresentados na Figura 1 e Tabela 1, respectivamente. Para maiores detalhes, *vide* Cintra *et al.* (1991).

### 3. METODOLOGIAS UTILIZADAS NOS ENSAIOS DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO

Em todas as provas de carga, foram utilizadas a metodologia proposta pela MB-3472/91 da ABNT, para os ensaios do tipo rápido (QML) e lento (SMI).

Nos ensaios do tipo rápido, foram introduzidas modificações nos intervalos de tempo de aplicação da carga, optando-se em utilizar o tempo de 15 minutos sugerido por Fellenius (1975). Nas leituras, utilizaram-se tempos correspondentes a 0, 1, 2, 3, 6, 9, 12 e 15 minutos, sempre no sentido de se aprimorar os resultados. Para ambos os tipos de ensaios, aplicaram-se os decartegamentos em dois estágios apenas, uma vez que o solo de São Carlos apresenta a peculiaridade de baixa recuperação elástica (Carvalho, 1991; Sacilotto, 1992; Mantilla, 1992; Teixeira, 1993).

Para o sistema de reação, foram utilizadas duas vigas metálicas no formato de perfil L, com capacidade de suporte de 2000 kN e 800 kN, e estacas de reação do tipo Strauss, ancoradas com um turante. Quanto à aquisição de dados dos deslocamentos, utilizaram-se extensômetros mecânicos, com curso total de 50 mm e precisão de 0,01 mm, na medição das cargas aplicadas, empregaram-se células de carga de 200 e 500 e 800 kN, devidamente calibradas. Os acréscimos de carga foram obtidos com a utilização de um inacape hidráulico manual, com capacidade de 2000 kN.

As estacas escavadas foram executadas por meio de trado mecânico, de 25 cm de diâmetro, moldadas *in loco*. As estacas apiloadas tiveram os seus furos abertos por apiloamento do solo, prática comum encontrada no Interior paulista. O procedimento das provas de carga consistiu em primeiramente ensaiar a estaca com o solo em sua umidade natural, até se atingir a carga última. Iniciava-se então uma segunda prova de carga, incrementando-se o carregamento até a carga de trabalho ( $F_S = 2,0$ ). Estabilizados os recalques e mantida a carga, introduzia-se água na cava, aberta em torno do topo da estaca e com dimensões em torno de 1,00 x 1,00 x 0,40 m. De acordo com Nadeo & Videla (1981) e Teixeira (1993), essa técnica de inundação conduz a melhores resultados de umedecimento do solo ao longo do fuste da estaca.

### 4. ANÁLISES DOS RESULTADOS

A Tabela 2 mostra os valores médios das cargas máximas de campo e as cargas últimas, obtidas a partir da aplicação da equação de Van der Veen (1953), para as estacas à tração e à compressão.

A Tabela 3 apresenta as percentagens de quanto as cargas últimas ajustadas das estacas à tração, representam em relação às cargas últimas das estacas de compressão, com o solo em estado natural ( $\eta$ ) e inundado ( $\eta'$ ). Observa-se que as relações ( $\eta$ ) aumentam com a diminuição da relação L/D das estacas, de forma praticamente linear. Nos ensaios à tração, com o solo inundado, as estacas escavadas e uma das apiloadas apresentaram colapsabilidade da ligação solo-estaca, na carga de trabalho; entretanto, em uma das apiloadas, a colapsabilidade ocorreu para carga superior à de trabalho.

Na Tabela 4, são apresentados os percentuais de perda de capacidade de carga das estacas à tração ( $\eta_T$ ), e à compressão ( $\eta_C$ ), devido ao processo de umedecimento do solo. As perdas ocorridas nas estacas escavadas e uma das apiloadas, ensaiadas à tração, foram de 100 e 40%, respectivamente, na carga de trabalho. O fato de uma das apiloadas não ter apresentado colapsabilidade da ligação solo-estaca, na carga de trabalho, talvez possa ser explicado pelo eficiente apiloamento do solo ao longo do seu fuste (FORO, 1991). A reduzida perda de carga ultima observada nas estacas Strauss pode ser atribuída ao embutimento de 3 m de seu fuste no solo residual, que possivelmente não apresenta comportamento colapsável.

Na Tabela 5, são mostradas as comparações entre as cargas líquidas de atrito lateral, à tração e à compressão, bem como as parcelas de resistência de ponta. Descontando-se o peso próprio da estaca escavada, do valor da carga última à tração obtida, obteve-se o valor líquido do atrito lateral de tração. Na estaca escavada de compressão, a carga de ponta foi admitida igual a zero, por hipótese, no primeiro carregamento. Determinou-se, então, o percentual entre tração e compressão, para essa estaca, que foi da ordem de 83%, ou seja, uma redução de 17%. Essa mesma redução foi estendida às cargas últimas de tração das demais estacas, determinando-se o atrito lateral líquido de tração. Carvalho *et al.* (1991) obtiveram um valor de 16% para essa mesma relação, em estacas tipo raiz, instrumentadas, com 16 m de comprimento e 0,25 m de diâmetro, situadas no mesmo Campo Experimental.

Carvalho & Souza (1990) realizaram no Campus da Unesp, na cidade de Ilha Solteira, ensaios à compressão e à tração, em estacas do tipo escavada com 6 m de comprimento e 0,25 m de diâmetro. Pela análise dos resultados obtidos por esses autores, constatou-se que o valor obtido da carga de tração, em relação à de compressão, é da ordem de 83%, isto é, uma redução também de 17%. Os autores estudaram ainda os efeitos do umedecimento do solo em estacas escavadas à tração e à compressão, observando a ocorrência de colapso da ligação solo-estaca, para 1/3 da carga máxima, em tempos que variaram de 1,5 a 10 h para estacas tracionadas e comprimidas, respectivamente.

## 5. CONCLUSÕES

Do exposto, pode-se concluir o seguinte:

1. Não é recomendável a execução de estacas escavadas embutidas totalmente em solo colapsível (estaca flutuante), principalmente para sistemas que solicitem a estaca à tração, pois estas apresentaram-se mais suscetíveis ao fenômeno de colapsabilidade da ligação solo-estaca.

2. As estacas que tiveram parte de seus fustes e pontas embutidas em solo residual, tanto à tração quanto à compressão, apresentaram perdas menores de cargas últimas, devida a inundação do solo, talvez isto indique que a camada residual não seja colapsável, sendo a carga de trabalho insuficiente para provocar a colapsabilidade.

3. As cargas de colapso nas estacas escavadas à tração poderiam ter sido menores, uma vez que os colapsos ocorreram na carga de trabalho ( $F_S = 2$ ), e em tempos de inundação bastante reduzidos, a exemplo do que constataram Carvalho & Souza (1990).

4. As estacas apiloadas apresentaram, no geral, melhor performance ao colapso, se comparadas com as escavadas. As perdas observadas nas estacas apiloadas à compressão estão situadas na faixa de 20%, enquanto que as escavadas situam-se na faixa de 35%.

5. Os coeficientes de segurança necessitam de majoração, principalmente para projeto de fundações tracionadas, em solo colapsável.

6. As correlações entre cargas últimas de estacas à tração e compressão ( $\eta$ ) mostram que, dependendo do tipo de estaca ensaiada, variam da ordem aproximada de 50% a 90%.

7. O apiloamento do solo não foi suficiente para eliminar a propensão ao colapso da estacas quando inundadas, mas serviu para prorrogar a ocorrência da colapsabilidade da ligação solo-estaca, pois, nas estacas escavadas, os tempos de colapsos foram bem menores.

8. Nas estacas apiloadas à compressão, apesar de não ter havido a ocorrência de carga de colapso, na carga de serviço, houve colapso quando se atingiu cargas maiores, após passadas as 48 h de inundação.

9. Os atritos laterais à tração situam-se na faixa de 16 e 17% dos atritos laterais à compressão, tanto para as estacas escavadas, quanto para as do tipo raiz.

Estaca	P <sub>l</sub> ut (kN)	P <sub>l</sub> uc (kN)	P <sub>puc</sub> (kN)	$\eta_1$ (%)
Apilosa	88	103	93	47
Escavada	123	149	-	-
Strauss	393	460	194	30
Obs.				
1. P <sub>l</sub> ut = Carga lateral última à tração				
2. P <sub>l</sub> uc = Carga lateral última à compressão				
3. P <sub>puc</sub> = Carga de ponta última à compressão				
4. $\eta_1 = (P_{puc}/P_{uc}) \cdot 100$ (%)				

Tabela 5 - Relação entre os atritos laterais à tração e à compressão

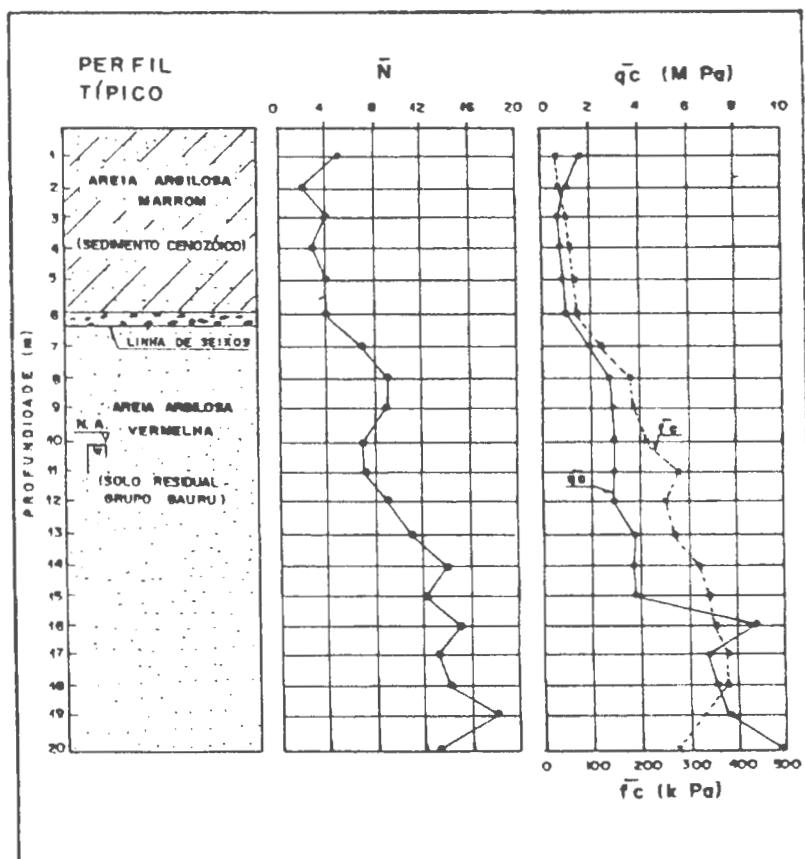


Figura 1 - Perfil típico do Campo Experimental de Fundações da USP-São Carlos (Cintra *et al.*, 1991)

## 6. TABELAS E FIGURAS

Estaca	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
Apilada	16,4	9,3	29,2
Escavada	16,4	9,3	29,2
Strauss	17,5	9,7	28,0

Tabela 1 - Valores médios dos parâmetros do solo do campo experimental, às cotas 0 - 6,3 m e 6,3 - 9,3 m (Menezes, 1990)

Estacas	Carga à Tração		Carga à Compressão	
	Máxima (kN)	Ajustada (kN)	Máxima (kN)	Ajustada (kN)
Apil.	84	93	191	196
Esc.	123	130	143	149
Strauss	390	410	629	654

Tabela 2 - Cargas médias máximas de campo e ajustadas pela equação de Van der Veen (1953)

Estaca	Solo Natural			Solo Inundado		
	Put	Puc	$\eta$ (%)	Put'	Puc'	$\eta'$ (%)
Apil.	93	196	47	63 (*)	159	40
Esc.	130	149	87	(**)	99	--
Strauss	410	654	63	320	630	51

Obs:

(\*) - Dados de uma estaca que não apresentou colapso da ligação solo-estaca, na carga de trabalho, com 48 h de inundação.

(\*\*) - As escavadas à tração, apresentaram colapso da ligação solo-estaca na carga de trab

1. Put = Carga última média ajustada à tração (kN). Put' idem p/ solo inundado
2. Puc = Carga última média ajustada à compressão (kN). Puc' idem p/ solo inundado
3.  $\eta = (Put/Puc) \cdot 100$  (%),  $\eta'$  idem p/ solo inundado

Tabela 3 - Relações entre as cargas últimas à tração e à compressão, em porcentagens

Estaca	Put	Put'	$\eta_1$	Puc	Puc'	$\eta_2$ (%)
Apil.	105	63 (*)	40	196	159	19
Esc.	130	62	100,52	149	99	34
Strauss	410	320	22	654	630	04

Obs:

(\*) - Dados de uma estaca que não apresentou colapsabilidade da ligação solo-estaca, na carga de trabalho, com 48h de inundação.

1. Put = Carga última média ajustada à tração (kN). Put' idem p/ solo inundado
2. Puc = Carga última média ajustada à compressão (kN). Puc' idem p/ solo inundado
3.  $\eta_1 = [(Put - Put')/Put] \cdot 100$  (%);  $\eta_2 = [(Puc - Puc')/Puc] \cdot 100$  (%)

Tabela 4 - Perdas das cargas últimas à tração e à compressão, devido à inundação do solo

## 7. BIBLIOGRAFIA

- ABNT/MB-3472. (1991). Estacas - Prova de carga estática.
- CARVALHO, D. (1991). Análise de cargas últimas à tração de estacas escavadas, instrumentadas, em campo experimental de São Carlos - SP. Tese de Doutoramento, USP/São Carlos, 204 p.
- CARVALHO, D.; MANTILLA, J.N.R.; ALBIERO, J.H. & CINTRA, J.C.A. : Provas de carga à tração e à compressão em estacas instrumentadas da tipo raiz. In : SEFE II. São Paulo. v.1 : 79-87.
- CARVALHO, D. & SOUZA, A. (1990) Análise do efeito do umedecimento do solo em fundações rasas e profundas, em solos porosos. In: 6º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Salvador-Ba. v.2 : 107-114.
- CINTRA, J.C.A., (1991). Campo experimental de fundações em São Carlos. In: SEFE II. São Paulo. v.1 : 96-105.
- CINTRA, J.C.A; CARVALHO, D.; GIACHETI, H.L.; BORTOLUCCI, A.A. & ALBIERO, J.H. (1991) Campo experimental de fundações de São Carlos. In : SEFE II São Paulo. v.1 : 96-105.
- FELLENIUS, B.H. (1975): Teste load of piles and new proof test procedure. ASCE. Journal of Geotechnical Engineering Division, nº 101. GT9 : 855-869.
- GIACHETI, H.L.; RÖHM, S.A.; NOGUEIRA, J.B. & Cintra, J.C.A. (1993): Propriedades geotécnicas do Sedimento cenozóico. In: Solos do Interior de São Paulo. ABMS/USP-São Carlos. p.143-175.
- LORO, A.S (1991): Colapsividade do solo de Bauru e sua influência em estaca de pequeno porte. Tese de Doutoramento. São Carlos. EESC/USP. 216p
- MANTILLA, J.N.R. (1992): Comportamento de estacas escavadas, instrumentadas, à compressão. Tese de Doutoramento. São Carlos. EESC/USP. 251p
- MENEZES, S.M (1990): Correlações entre os ensaios de penetração (SPT; CPT) e os resultados de ensaios de laboratório para a região de São Carlos - SP. Dissertação de Mestrado. São Carlos. EESC/USP. 106p.
- SACILOTO, A.C. (1992). Comportamento de estacas escavadas instrumentadas, submetidas à provas de carga lentas e rápidas. Dissertação de mestrado, USP/São Carlos, 163 p
- TEIXEIRA, C.Z. (1993). Comportamento de estacas escavadas em solos colapsíveis. Dissertação de Mestrado, EESC/USP. 157 p
- VAN DER VEEN (1953) The bearing capacity of a pile. In: International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. J., Zürich, (2): 84-90
- VILAR, O.M. (1979) Estudo da compressão unidirecional do sedimento moderno (solo superficial) da cidade de São Carlos. Dissertação de Mestrado. São Carlos. EESC/USP. 110p.