

SEFE II

2º SEMINÁRIO DE ENGENHARIA
DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS
19-21 NOV. 1991 SÃO PAULO

1

ANAIS

PROVAS DE CARGA À TRAÇÃO E À COMPRESSÃO EM
ESTACAS INSTRUMENTADAS DO TIPO RAIZ

SYSNO	0820809
PROD	001535
ACERVO EESC	

David de Carvalho - FEAGRI/UNICAMP
Judy Norka R. de Mantilla - UFMG
José Henrique Albiero - EESC/USP
José Carlos A. Cintra - EESC/USP

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho uma análise dos resultados obtidos em provas de carga, à tração e à compressão, realizadas em duas estacas do tipo raiz, instrumentadas com "strain gages" em quatro níveis ao longo do fuste. Com comprimento de 16,0 m e diâmetro nominal de 0,25 m, as estacas foram executadas no Campo Experimental de São Carlos, cujo subsolo é constituído de uma camada superficial arenosa de Sedimento Cenozóico, sobrejacente a um extrato de solo residual do Grupo Bauru.

Analisam-se a transferência de carga ao solo lateral e os deslocamentos ocorridos, e determinam-se os parâmetros de CAMBEFORT (1974) para as estacas ensaiadas. Faz-se ainda uma análise da aplicabilidade de fórmulas empíricas à previsão da carga última às estacas raiz.

1. INTRODUÇÃO

Objetivando o estudo do comportamento de estacas instrumentadas, implantou-se um campo experimental de fundações na Escola de Engenharia de São Carlos, campus da USP.

O subsolo local é constituído basicamente de duas camadas bem distintas separadas por uma linha de seixos. A primeira, de Sedimento Cenozóico, com espessura média de 6 m, classificada como areia argilosa fofa, é laterizada e tem comportamento colapsível. Subjacentes, aparecem os arenitos provenientes do Grupo Bauru, geralmente classificados como areia fina a média siltosa. Maiores detalhes desse perfil geológico, representativo de grandes extensões de área no interior do Estado de São Paulo, são encontrados em BORTOLUCCI (1983).

A caracterização geotécnica do solo local foi obtida com a realização de sondagens à percussão (SPT), ensaios de penetração estática (CPT), e ensaios laboratoriais em amostras retiradas a cada metro, de um poço com 10m de profundidade, aberto para este fim. A Figura 1 mostra o perfil típico do subsolo do campo experimental, bem como os resultados médios dos parâmetros obtidos nos ensaios.

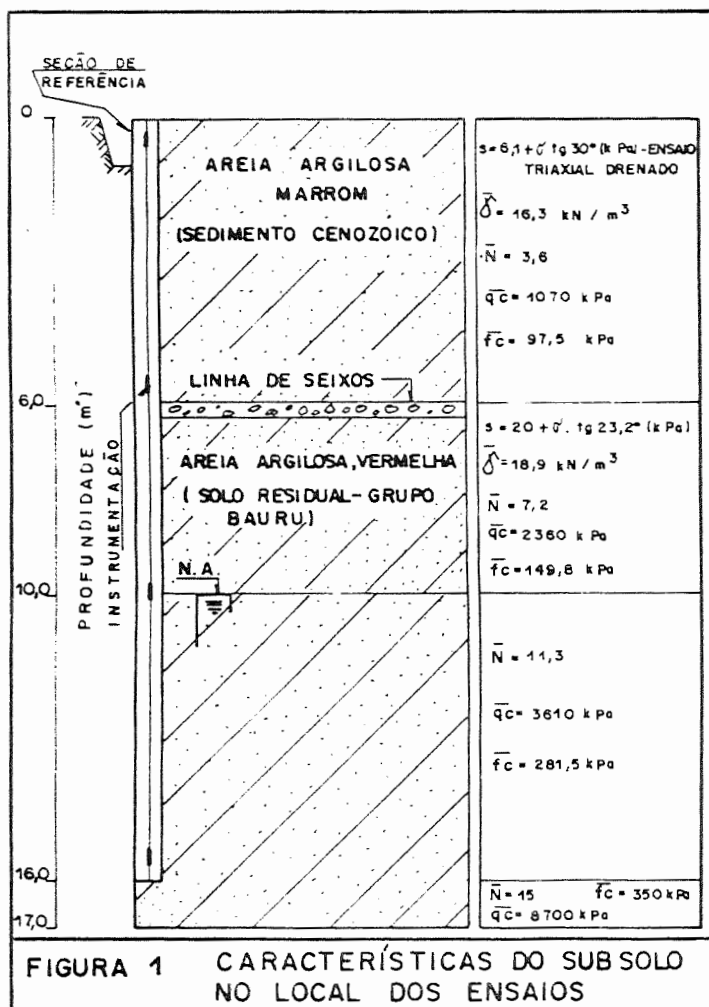
2. CARACTERÍSTICAS DAS ESTACAS RAIZ

As estacas raiz foram executadas com o emprego de uma perfuratriz, utilizando lavagem com circulação externa de água.

Concluída a perfuração, que atingiu 16 m de profundidade, foi posicionada a armadura das estacas, constituída de seis

barras de aço tipo CA-50, com moessa, de diâmetro 19 mm.

Após a limpeza do furo revestido, por meio de lavagem com circulação de água, foi feita a injeção da argamassa, de baixo para cima, até o extravasamento da parcela inicialmente injetada. Depois procedeu-se a retirada do revestimento, em etapas de 1 a 2 m, sendo que, entre cada etapa, completava-se o interior do revestimento com um volume de argamassa suficiente para preenchê-lo até o topo e aplicava-se uma pressão de ar de 0,39 MPa, a fim de adensar a argamassa e comprimi-la contra o solo. A argamassa utilizada tinha um traço correspondente a 50 kg de cimento, 72 litros de areia e 25 litros de água.



3. INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA

Foram utilizadas barras instrumentadas com extensômetros elétricos de resistência para medida das deformações específicas ao longo do fuste, e também uma célula de carga para medida da força aplicada à cabeça da estaca pelo conjunto macaco-bomba. Para medida dos deslocamentos verticais da cabeça da estaca, foram instalados quatro relógios comparadores, com precisão de 0,01 mm e curso de 50 mm.

As barras instrumentadas com "strain gages" eram de aço tipo CA-50 com moosa, diâmetro de 19 mm e comprimento de 0,60 m. Os "strain gages" utilizados foram do tipo KFC-5-D16-11, da Kyowa, tendo sido ligados em ponte completa. Após a colagem e instalação, foi feita uma proteção externa dos "strain gages" com massa asfáltica isolante e resina epóxi. Essas barras instrumentadas, em número de quatro, foram ligadas através de luvas, a outras barras não instrumentadas de mesmo diâmetro e material, de maneira a formar uma barra única de 16 m de comprimento, instalada na parte central do fuste. Assim resultaram quatro níveis instrumentados, correspondentes às profundidades de 0,50 m, 5,70 m, 9,70 m e 15,70 m. Apresenta-se na Figura 1 uma vista lateral de uma estaca, com a localização dessa instrumentação.

4. PROCEDIMENTO DOS ENSAIOS

As duas provas de carga foram realizadas com carregamento do tipo lento, seguindo os procedimentos recomendados pela NBR-6121/86.

A primeira prova de carga realizada foi à tração. Para se obter a reação necessária, as quatro estacas situadas em torno da estaca-teste eram encabeçadas pela viga metálica. Na estaca central era fixada uma barra de aço, que atravessava, de baixo para cima, primeiro a viga, depois o macaco e a célula de carga, para enfim, encontrar uma placa metálica na qual se engastava. O macaco tem capacidade de 2000 kN e a célula de carga estava calibrada para 1500 kN, ambos vazados para permitir a passagem daquela barra-tirante. O esforço de compressão aplicado pelo macaco à viga, fornecia a reação necessária para a extração da estaca central.

O ensaio foi conduzido em sete estágios sucessivos até a carga máxima de 700 kN, próxima da fluagem da barra-tirante, mas sem atingir a ruptura do solo, cada estágio sendo mantido até a estabilização dos deslocamentos. Em cada estágio, a carga aplicada era controlada com precisão pela célula, eram medidos os deslocamentos da cabeça da estaca, e feitas as leituras de deformação dos "strain gages" dispostos nos quatro níveis instrumentados. A carga máxima foi mantida por 12 horas e, em seguida, foi feito o descarregamento em quatro estágios. Doze horas após o descarregamento, foram feitos mais três ciclos de carga-descarga. Na Figura 2 são apresentadas as curvas carga-deslocamento obtidas.

A segunda prova de carga, realizada à compressão, foi conduzida até a ruptura, em estágios de 100 kN, atingindo-se a carga de 1050 kN. O descarregamento foi feito em estágios de 200

kN. Apresenta-se na Figura 3 a curva carga-deslocamento obtida.

5. ANÁLISE DAS CARGAS ÚLTIMAS

Para a estaca tracionada, conduzida até a carga máxima de 700 kN, determinou-se a carga última pelo processo de VAN DER VEEN (1953), obtendo-se o valor de 803 kN. Já para a estaca comprimida, ensaiada até a ruptura, a carga última obtida diretamente na prova, foi de 1050 kN.

Procurando-se pesquisar a aplicabilidade de fórmulas empíricas na determinação da carga última em estaca raiz, aplicaram-se a essas estacas as fórmulas propostas por LIZZI (1982), CABRAL (1986) e NUNES (1987). Destas fórmulas, a que forneceu valores mais próximos dos "reais" foi a de CABRAL (1986), pela qual se obteve 830 kN para a estaca tracionada (3,4% superior ao valor de Van der Veen) e 1023 kN para a estaca comprimida (2,6% inferior à carga última do ensaio).

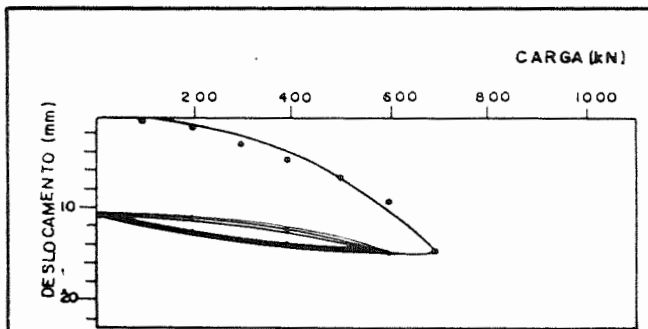


FIGURA 2 Prova de Carga à Tração em Estaca Raiz - Curva Carga x Deslocamento

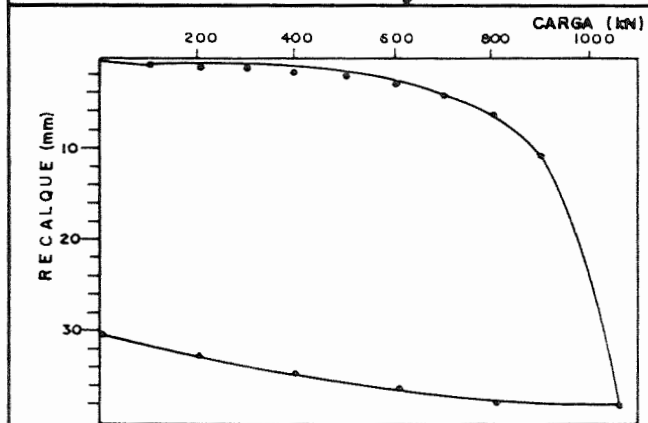


FIGURA 3 Prova de Carga à Compressão em Estaca Raiz - Curva Carga x Recalque

6. DESLOCAMENTOS DA CABEÇA DAS ESTACAS

Para a estaca tracionada, atingiu-se o deslocamento máximo de 15,31 mm, correspondente a carga de 700 kN, a qual representa 87% da carga última de Van der Veen. Doze horas após o descarregamento, foram feitos três ciclos de carga-descarga, obtendo-se um deslocamento permanente de 10,60 mm (Figura 2).

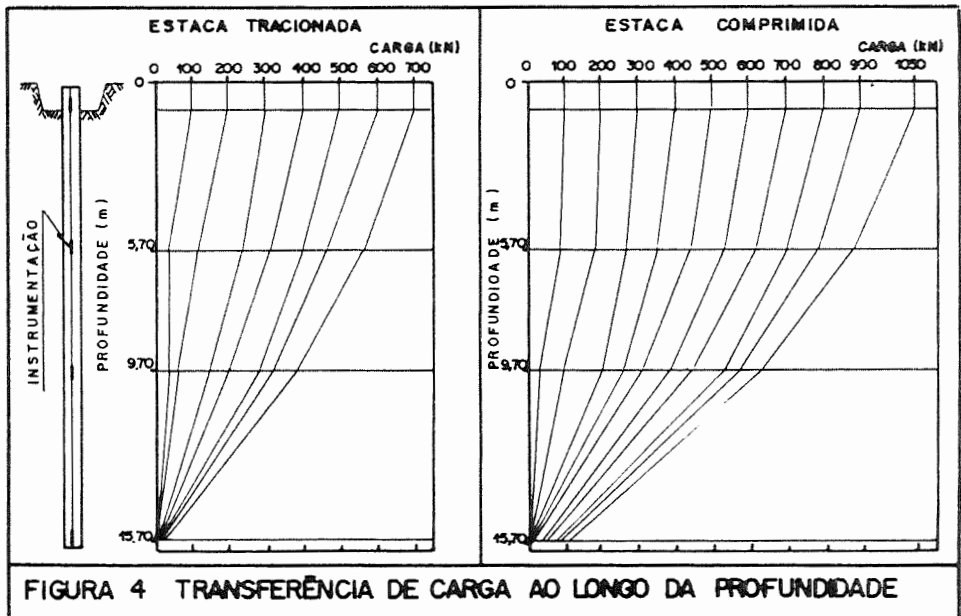
Para a estaca comprimida, o deslocamento atingiu 11,22 mm para a carga de 900 kN, último estágio antes de se atingir a ruptura com 1050 kN. Manteve-se essa carga até se encontrar um deslocamento de 38,12 mm, resultando, após o descarregamento, o deslocamento permanente de 30,22 mm (Figura 3).

7. TRANFERÊNCIA DE CARGA

7.1. Carga nos Níveis Instrumentados

O módulo de deformação da estaca foi determinado através da seção de referência, e admitido constante para toda a estaca. O valor obtido foi 24,8 GPa para a estaca comprimida, e 16,2 GPa para a estaca tracionada.

A partir desse módulo, da área da seção homogeneizada, e das deformações específicas sofridas pelos "strain gages", determinou-se a carga nos níveis instrumentados, em cada estágio do ensaio, resultando as curvas de transferência de carga mostradas na Figura 4, para ambas as estacas.



7.2 Resistência de Ponta e Resistência Lateral

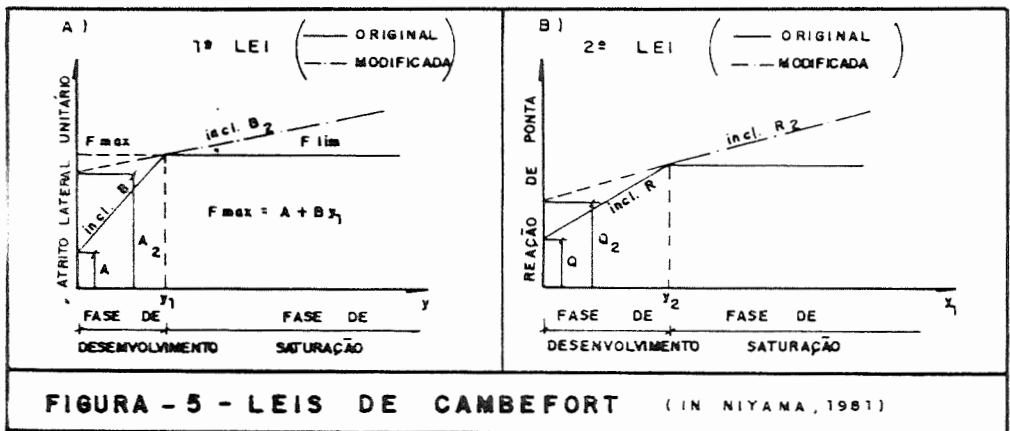
A análise dos dados apresentados na Figura 4 indica que a resistência de ponta começou a ser mobilizada somente a partir da aplicação de 500 kN na cabeça da estaca, atingindo o valor máximo de 115 kN, ou seja, 11% da carga máxima última.

Comparando-se a resistência por atrito lateral total, mobilizada na ruptura, em ambas as estacas, constata-se um valor de 16% superior no ensaio à compressão em relação ao ensaio de tração.

7.3. Análise Teórica

Considerou-se o modelo de BAGUELIN (1971), estudado por CASSAN (1978), baseado nas leis de interação entre o solo e a estaca, propostas por CAMBEFORT (1974). Estas leis prevêem relações do tipo rígido-elástico-plástico, tanto para o atrito lateral quanto para a ponta das estacas, conforme se indica na Figura 5, onde estão apresentados os parâmetros mais importantes. MASSAD (1981), NIYAMA (1981) e ROCHA (1985) apresentam os conceitos básicos desse modelo.

A partir dos resultados obtidos nas provas de carga, determinaram-se os parâmetros para esse modelo.



Apresenta-se na Figura 6 o desenvolvimento do atrito lateral unitário da estaca comprimida em função do deslocamento médio do fuste, e na Figura 7 o desenvolvimento da pressão na ponta da estaca em função do seu deslocamento. Para a estaca tracionada, na Figura 8 apresenta-se o desenvolvimento do atrito lateral unitário em função do deslocamento do fuste.

Observa-se nas figuras 6, 7 e 8 as fases de mobilização e de saturação da resistência do solo em função do deslocamento médio do fuste e da ponta. A partir dessas figuras, determinaram-se os parâmetros de Cambefort para ambas as estacas, os quais são apresentados nas Tabelas I e II. Eles se situam dentro dos intervalos de variação preconizados por CASSAN (1978).

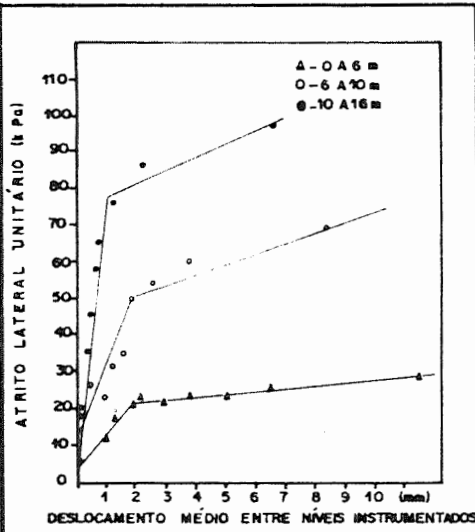


FIGURA 6 DESENVOLVIMENTO DO ATRITO LATERAL UNITÁRIO DO FUSTE EM FUNÇÃO DO SEU DESLOCAMENTO - ESTACA À COMPRESSÃO

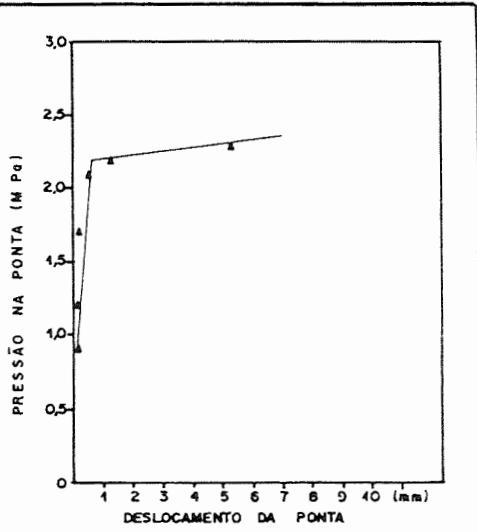


FIGURA 7 DESENVOLVIMENTO DA RESISTÊNCIA DE PONTA EM FUNÇÃO DO SEU DESLOCAMENTO - ESTACA A COMPRESSÃO

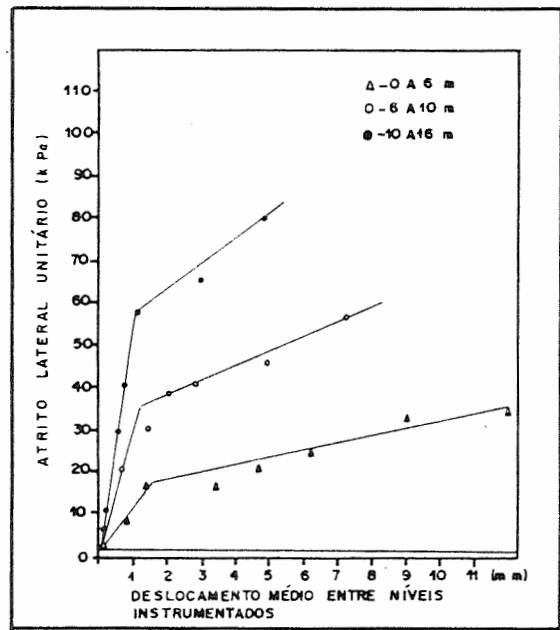


FIGURA 8 DESENVOLVIMENTO DO ATRITO LATERAL UNITÁRIO DO FUSTE EM FUNÇÃO DO SEU DESLOCAMENTO - ESTACA A TRAÇÃO

Tabela I: Parâmetros de Cambefort para Atrito e Ponta
(Estaca à Compressão)

Prof. (m)	A (kPa)	B (kN/m ³)	Y ₁ (mm)	B ₂ (kN/m ³)
0 a 6	4	1100	1,8	760
6 0 10	11	2200	1,9	2790
10 a 16	4	7400	1,0	3680

Ponta	Q (kPa)	R (kN/m ³)	Y ₂ (mm)	R (kN/m ³)
	30	204000	0,6	24000

Tabela II: Parâmetros de Cambefort para Atrito
(Estaca à Tração)

Prof. (m)	A (kPa)	B (kN/m ³)	Y ₁ (mm)	B ₂ (kN/m ³)
0 a 6	4	1500	1,3	170
6 0 10	4	3900	1,1	330
10 a 16	4	7000	1,0	600

8. CONCLUSÕES

Apresentaram-se os resultados de provas de carga à tração e à compressão em duas estacas instrumentadas do tipo raiz. Analisaram-se a transferência de carga ao solo e os deslocamentos no topo da estaca e ao longo da profundidade, e fez-se uma análise da aplicabilidade de fórmulas empíricas à determinação da carga última das estacas ensaiadas.

Determinaram-se ainda os parâmetros de CAMBEFORT (1974) para ambas as estacas.

Considerando-se que os ensaios foram realizados em local cujo perfil típico do subsolo é representativo de extensa região do Estado de São Paulo, os dados e análises apresentados poderão ser úteis na previsão do comportamento de estacas raiz nessa região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Engo. Ariovaldo Viscaino de Barros e a empresa Nacional Engenharia de Fundações Ltda. pelo apoio dado na execução das estacas de reação e instrumentação das duas estacas raiz.

Agradecem também à FAPESP pelo auxílio financeiro concedido

para a implantação do campo experimental e desenvolvimento das pesquisas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAGUELIN, F. & VENON, V.P. (1971): Influence de la Compressibilité des Pieux sur la Mobilisation des Efforts Résistants - Le Comportement des Sols avant la Rupture. Journées Nationales, Bulletin de Liaison, LCPC, Paris, maio.
- BORTOLUCCI, A.A. (1983): Caracterização Geológico-Geotécnica da Região Urbana de São Carlos - SP, a partir de Sondagens de Simples Reconhecimento. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 64p.
- CABRAL, D.A. (1986): O uso de estaca raiz como fundação de obras normais. Anais do VII Cong. Bras. de Mec. dos Solos e Eng. de Fundações, Porto Alegre - RS, v. 6, pp. 71-77.
- CAMBEFORT, M. (1974): Essai sur le Comportement en Terrain Homogène des Pieux Isolés et des Groupes de Pieux. Annales de l'Inst. Tech. du Bat. et des Travaux Publics, No. 204, dezembro.
- CARVALHO, D. (1991): Análise de Cargas Últimas à Tração de Estacas Escavadas, Instrumentadas, em Campo Experimental de São Carlos - SP. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 204 p.
- CASSAN, M. (1978): Les Essais in situ en Mécanique des Sols. Tome II, Editions Eyrolles, Paris.
- LIZZI, F. (1982): The Static Restoration of Monuments. Sagesp Publisher, Genova.
- MASSAD, F.; NIYAMA, S. & ROCHA, R. (1981): Vertical Load Test on Instrumented Root Piles. X Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Estocolmo, v. 2, pp. 771-775.
- NIYAMA, S.; MASSAD, F. & ROCHA, R. (1981): Análise de Provas de Carga em Micro-Estacas Injetadas num Solo de Alteração. Anais do Simp. Bras. de Solos Tropicais em Engenharia, Rio de Janeiro, pp. 683-705.
- NUNES, A.J.C. (1987): Soil-Anchor Interaction and Anchoredwall. Acts du Colloque organisé par l'ENPC, Paris, maio.
- ROCHA, R.; YASSUDA, A.J. & MASSAD, E. (1985): Provas de Carga em Estacas Tipo Raiz Instrumentadas. Seminário de Engenharia de Fundações Especiais, v. 1, pp. 179-193.
- VAN DER VEEN (1953): The Bearing Capacity of a Pile. Proc. Third Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Zurique, vol. 2, pp. 84-90.