

# Capacidade de Carga de Estacas Escavadas com Bulbos, em Solo Não Saturado da Formação Barreiras.

Ricardo Figueiredo Marques

Mestrando em Geotecnia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil

Roberto Quental Coutinho

Professor Adjunto, D.Sc., Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil

Alexandre Duarte Gusmão

Professor, D.Sc., Universidade de Pernambuco e CEFET/PE, Recife, Brasil

Abel Galindo Marques

Professor Adjunto, M.Sc., Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta os resultados de quatro ensaios de provas de carga estática em estacas escavadas do tipo rotativas-injetadas, com bulbos, executadas em área compreendida pela Formação Barreiras de Maceió/AL. A caracterização geotécnica do perfil consistiu de sondagens com SPT e coletas de amostras deformadas para ensaios de caracterização em laboratório. Análises da carga de ruptura destas estacas foram feitas com base nas curvas carga-recalque dos ensaios e comparadas com previsões utilizando a metodologia de cálculo proposta por Marques (2004), para terrenos do Quaternário, largamente utilizada em projetos para este tipo de estaca. Os resultados mostraram boa concordância entre os resultados obtidos e os previstos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estacas com Bulbos, Provas de Carga, Capacidade de Carga.

## 1 INTRODUÇÃO

As estacas escavadas de pequeno diâmetro, com bulbos, conhecidas como estacas rotativas-injetadas, são largamente utilizadas na cidade de Maceió e em outras cidades do nordeste brasileiro (Marques e Marques, 2005). O comportamento dessas estacas foi tema de diversos trabalhos científicos. Dentre eles, destacam-se Marques (1997) e Marques (2004). Este último aperfeiçoou a metodologia de cálculo proposta para previsão da capacidade de carga destas estacas, utilizando provas de carga instrumentadas. Contudo, os trabalhos acima citados tomaram como base resultados de provas de carga em estacas executadas nos sedimentos quaternários da região praieira da cidade de Maceió.

Os tabuleiros da Formação Barreiras caracterizam-se por ser uma área de expansão da cidade de Maceió, pelo fato de apresentar os

maiores vazios urbanos e sua topografia plana favorecer à ocupação. Com isso, constatou-se a necessidade de aprofundar o conhecimento do comportamento carga-recalque dessas estacas neste tipo de formação, além do desafio de estudá-las em solos não saturados. O objetivo deste trabalho é comparar as previsões feitas pela metodologia de cálculo proposta por Marques (2004) da capacidade de carga destas estacas com os resultados obtidos pelas provas de carga.

Vale destacar que este estudo faz parte dos trabalhos que estão sendo desenvolvidos em uma dissertação de mestrado na UFPE.

## 2 GEOLOGIA LOCAL

A área em estudo situa-se nos tabuleiros costeiros de sedimentos da Formação Barreiras, na região metropolitana da cidade de Maceió.

Esta formação possui altitudes que variam de 40 metros na borda das encostas a mais de 100 metros na Cidade Universitária, no bairro Tabuleiro do Martins.

Litologicamente, a Formação Barreiras é composta por sedimentos clásticos de origem continental, idade Plio-Pleistocênica (Terciário-Quaternário), inconsolidados, de cor amarelo-avermelhada, constituídos por uma alternância de areias, argilas e siltes, que formam, no conjunto, um pacote de espessura variando entre 60 e 130 metros (Santos et al. 2004). O nível d'água encontra-se geralmente abaixo dos 30 metros de profundidade.

### 3. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

A caracterização geotécnica foi composta de sondagens à percussão com SPT e coleta de amostras deformadas para realização de ensaios de caracterização em laboratório. Os perfis de sondagem são apresentados nas Figuras 4 a 7.

As amostras deformadas foram coletadas no local da obra, até 7 metros de profundidade, para realização de ensaios de granulometria, com e sem defloculante, limites de consistência, além da determinação do perfil de umidade do solo na época das provas de carga. As curvas granulométricas com e sem defloculante são apresentadas nas Figuras 1 e 2.

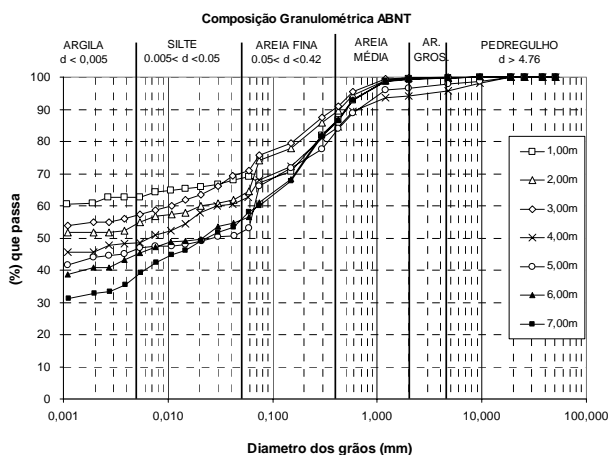


Figura 1. Curvas granulométricas obtidas com defloculante.

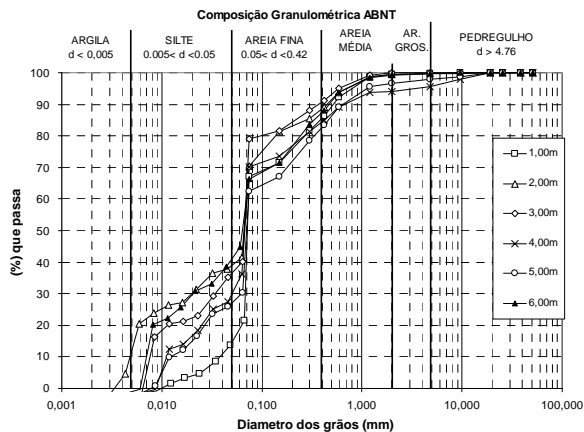


Figura 2. Curvas granulométricas obtidas sem defloculante.

As curvas granulométricas com defloculante, mostraram que até 4 metros, o solo é uma argila arenosa, com pouco silte. De 4 a 7 metros, tem-se areia fina, argilosa, com ocorrência de pedregulhos e concreções ferruginosas. As concreções ferruginosas, bastante comum neste tipo formação, são resultado da concentração de óxidos de ferro devido ao processo de lixiviação.

Nos ensaios de sedimentação sem defloculante, praticamente não houve percentual de argila. A explicação para este fato é que as partículas de argila estão unidas entre si, formando grumos, ou se encontram aderidas nos grãos de areia.

Os teores de umidade do solo determinados no mês de janeiro de 2006 (período seco) situaram-se entre 12 e 25%. O limite de plasticidade variou entre 23 e 30%, e os limites de liquidez entre 36 e 48%.

O peso específico dos grãos variou entre 26,2 e 26,6 kN/m<sup>3</sup> nos primeiros 4 metros, e entre 27,0 e 27,2 kN/m<sup>3</sup> de 5 a 7 metros. O índice de atividade de Skempton apresentou valores de  $I_a < 0,42$ , classificando o solo como inativo.

Resultados mais completos da campanha de investigação de campo e ensaios de laboratório realizados num perfil semelhante da Formação Barreiras são apresentados por Marques et al. (2006).

### 4 ESTACAS ENSAIADAS

As provas de carga das estacas E1 e E3

foram executadas no mês de janeiro, enquanto que os ensaios das estacas E2 e E4 foram realizados no mês de março. Ambos os meses correspondem ao período de estiagem. Na Tabela 1 são apresentadas as características geométricas das estacas, e suas respectivas designações. Nas Figuras 3 a 6, são mostrados os perfis de sondagem mais próximos de cada estaca, com o esboço da provável geometria do fuste.

Tabela 1. Características geométricas das estacas.

Estacas	D <sub>f</sub> (mm)	D <sub>b</sub> (mm)	Quant. bulbos	L <sub>f</sub> (m)
E1	300	450	3	8,10
E2	300	450	3	10,00
E3	400	600	3	8,10
E4	400	600	3	10,00

Obs.: D<sub>f</sub> = diâmetro nominal do fuste, D<sub>b</sub> = diâmetro estimado do bulbo, L<sub>f</sub> = comprimento da estaca.

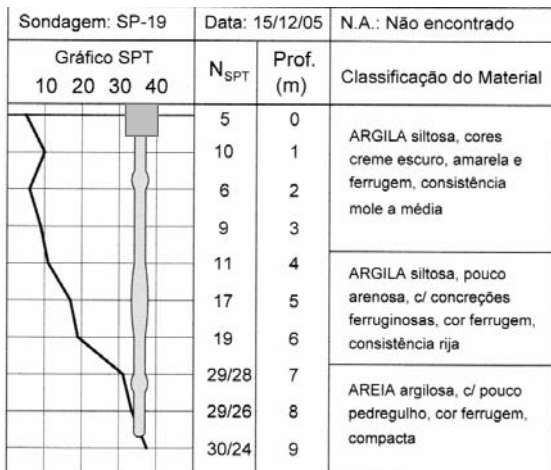


Figura 3. Perfil de sondagem mais próximo e provável formato do fuste da estaca E1.

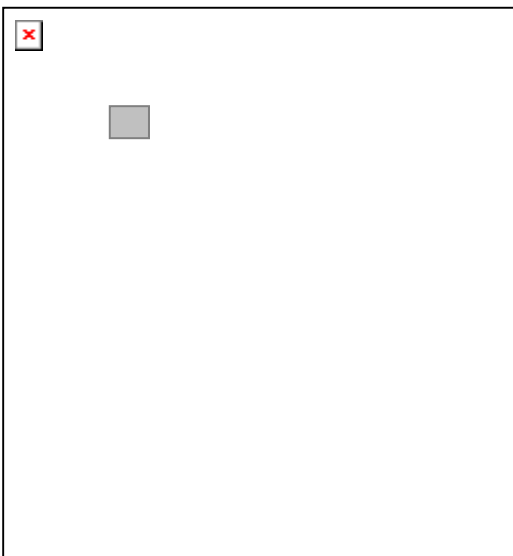


Figura 4. Perfil de sondagem mais próximo e provável

formato do fuste da estaca E2.

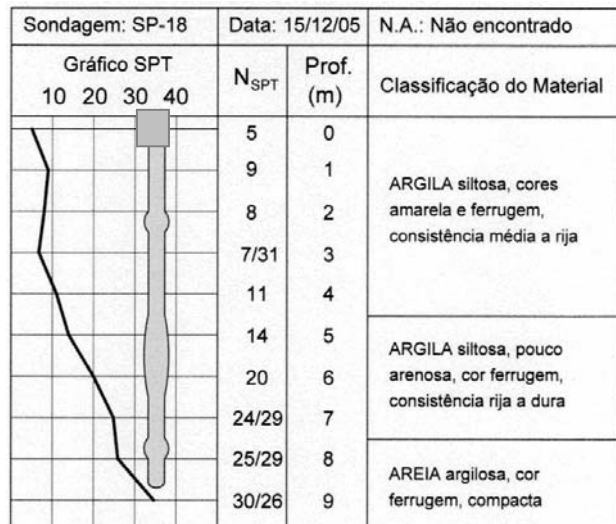


Figura 5. Perfil de sondagem mais próximo e provável formato do fuste da estaca E3.

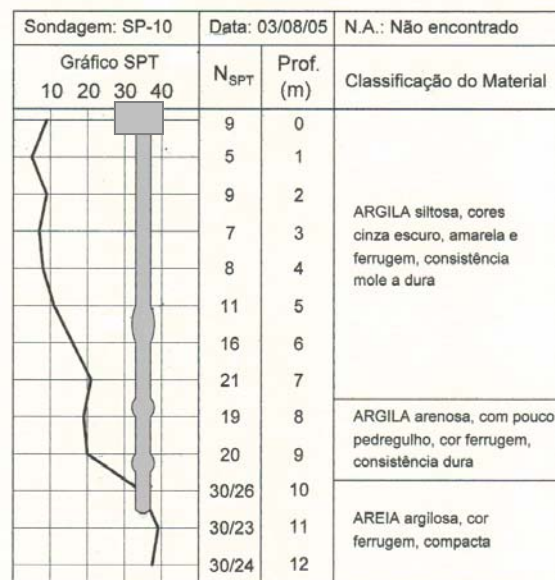


Figura 6. Perfil de sondagem mais próximo e provável formato do fuste da estaca E3.

## 5 PROVAS DE CARGA

As provas de carga foram realizadas em conformidade com a NBR 12.131, de acordo com os procedimentos prescritos para os ensaios de provas de carga estática à compressão, do tipo lenta (SML).

As carga foram aplicadas através de macaco hidráulico com capacidade de 2.000 kN. As leituras dos recalque foram feitas por meio de extensômetros mecânicos instalados no topo dos blocos de coroamento.

O sistema de reação foi composto por duas estacas de reação (tipo rotativas-injetadas) e vigas metálicas fixadas aos blocos de coroamento das estacas de reação por meio de braçadeiras metálicas. As estacas de reação foram projetadas com diâmetros de fuste de 300 mm e 400 mm, comprimentos de 11 e 14 metros, e armação longitudinal de  $14\phi 20$  mm, sendo todas com vários bulbos ao longo do fuste. Estas estacas também foram monitoradas através da medição dos deslocamentos verticais no topo, utilizando-se extensômetros mecânicos.



Figura 7. Detalhe da montagem das provas de carga.

## 6 CARGAS DE RUPTURA OBTIDAS DAS CURVAS CARGA-RECALQUE

A capacidade de carga das estacas foi obtida a partir da curva carga-recalque por meio de três métodos. O primeiro utilizado foi o da NBR 6122, que define a carga máxima da estaca em função do seu diâmetro e do encurtamento elástico devido ao carregamento.

O segundo método utilizado foi o de Van der Veen (1953), visto que a ordem de grandeza dos recalques e a consequente definição das curvas carga-recalque permitiram a aplicação deste método.

O terceiro método é baseado no conceito de rigidez de uma fundação, proposto por Décourt (1996). Segundo o autor, a rigidez de uma fundação é definida pela relação entre a carga “Q” a ela aplicada e o recalque “s” por ela sofrido.

Este método sugere que sejam plotados os valores de R em ordenadas e os valores de Q

em abscissas. O ponto da curva R x Q, onde a mesma se torna sub-horizontal, indica, aproximadamente, quando a transferência de carga da estaca ao solo passa a se fazer apenas por apoio, já tendo ocorrido a mobilização plena do atrito lateral. Uma extrapolação linear ou logarítmica deste trecho irá fornecer boa estimativa da carga de ruptura física da fundação (Décourt 1996).

## 7 RESULTADOS DAS PROVAS DE CARGA

Nas Figuras 9 a 12 são apresentadas as curvas carga-recalque dos quatro ensaios realizados, juntamente com as curvas extrapoladas pelo método de Van der Veen e com a proposta da NBR 6122 para obtenção de  $Q_u$ . Nas Figuras 13 a 16, são apresentados os gráficos de rigidez das quatro estacas estudadas.

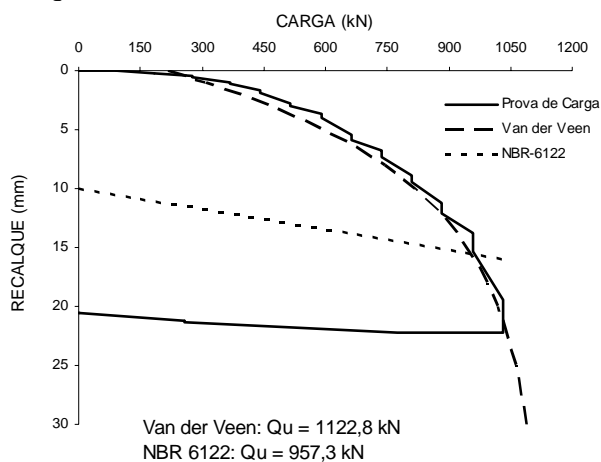


Figura 8. Estimativa da carga de ruptura da estaca E1: Van der Veen e Método da NBR.

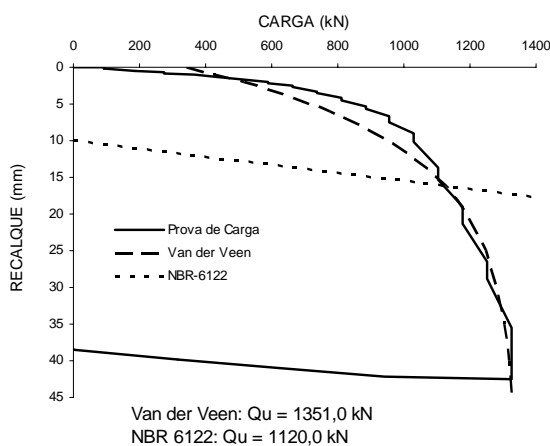


Figura 9. Estimativa da carga de ruptura da estaca E2: Van der Veen e Método da NBR.

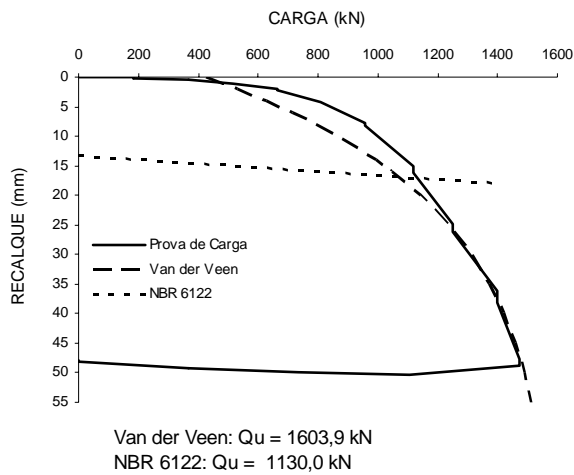


Figura 10. Estimativa da carga de ruptura da estaca E3: Van der Veen e Método da NBR.

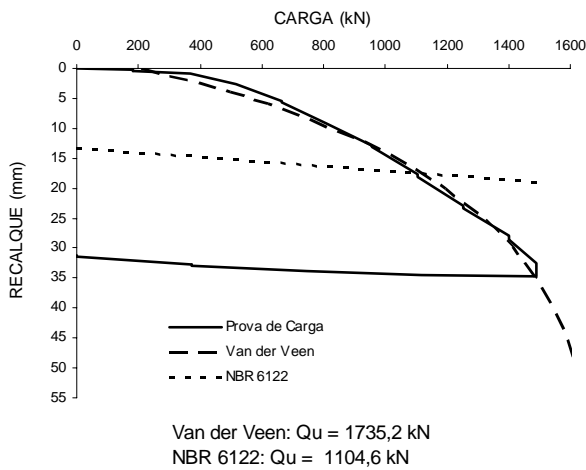


Figura 11. Estimativa da carga de ruptura da estaca E4: Van der Veen e Método da NBR.

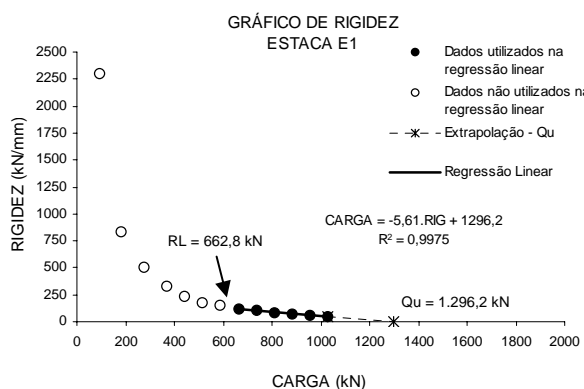


Figura 12. Gráfico de rigidez proposto por Décourt (1996), aplicado à estaca E1.

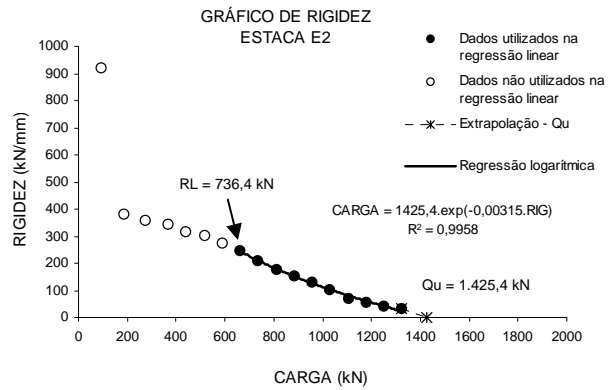


Figura 13. Gráfico de rigidez proposto por Décourt (1996), aplicado à estaca E2.

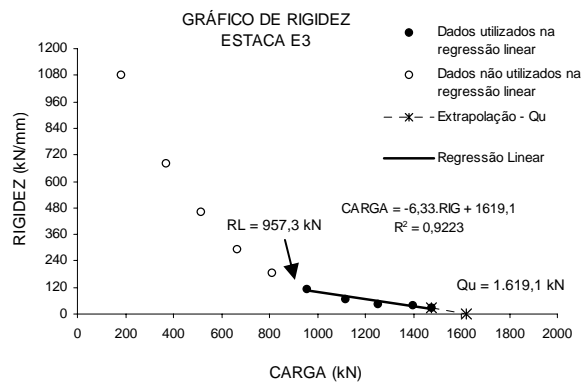


Figura 14. Gráfico de rigidez proposto por Décourt (1996), aplicado à estaca E3.

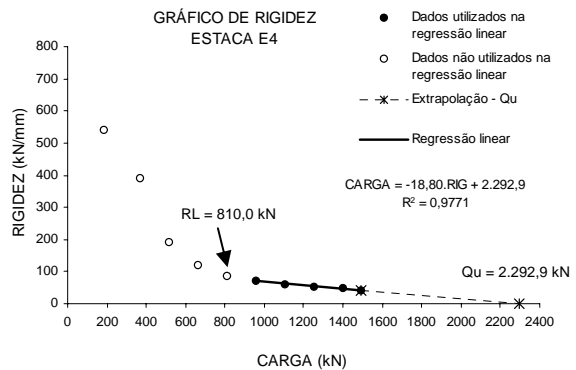


Figura 15. Gráfico de rigidez proposto por Décourt (1996), aplicado à estaca E4.

Os resultados obtidos pelos métodos utilizados e os previstos pela metodologia de cálculo proposta por Marques (2004), a MCP/04, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores da carga de ruptura  $Q_u$  (kN).

Estaca	NBR 6122	Mét. da Rigidez	Van de Veen	MCP/04
E1	957,3	1296,2	1122,8	973,8
E2	1120,0	1425,4	1351,0	1116,4
E3	1130,0	1619,1	1603,9	1536,1
E4	1104,6	2292,9	1735,2	1846,9

Dos resultados apresentados nas Figuras 8 a 15 e resumidos na Tabela 2, observa-se que o método de Van der Veen apresentou boa concordância com a forma das curvas obtidas dos ensaios, podendo-se dizer que as cargas de ruptura encontradas por este método são bastante realistas.

Portanto, tomando-se como referência as cargas de rupturas encontradas por Van der Veen, nota-se a boa concordância com as cargas previstas pela MCP/04 (Fig. 16).

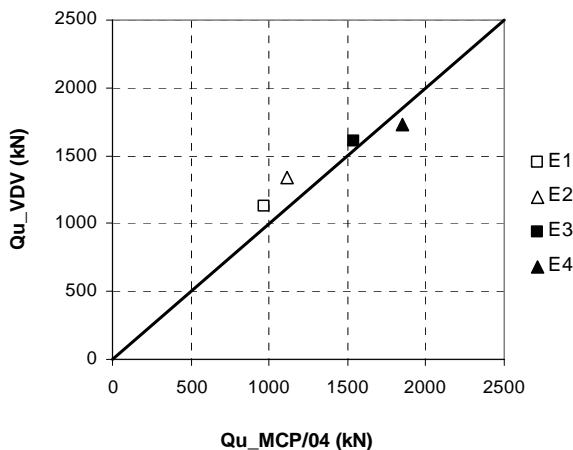


Figura 16. Cargas de ruptura obtidas por Van der Veen versus previstas pela MCP/04.

## 8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O método da NBR 6122 mostrou-se conservador na obtenção da carga de ruptura, principalmente para as estacas E3 e E4.

O Método da Rigidez proposto por Décourt (1996) mostrou coerência na previsão da carga última destas estacas, resultando em valores ligeiramente superiores aos obtidos pelas provas de carga.

A metodologia de cálculo proposta por Marques (2004) para previsão da carga de ruptura destas estacas, a MCP/04, apresentou boas previsões de capacidade de carga, com cargas variando entre 0,87 e 1,06 vezes das obtidas por Van der Veen.

## 9 CONCLUSÕES

O método da NBR 6122 mostrou ser conservador na obtenção das cargas de ruptura das estacas, enquanto que o Método da Rigidez

superestima a capacidade de carga. A MCP/04 apresentou bons resultados de previsão, sendo, na maioria dos casos, a favor da segurança.

Devido ao pequeno número de dados estudados e à escassez de outros resultados de provas de carga para análises mais conclusivas, a presente pesquisa pretende obter as medidas geométricas reais das estacas, principalmente dos bulbos, bem como realizar mais ensaios para avaliação do método proposto por Marques (2004) para estas estacas neste tipo de formação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelo suporte financeiro através da bolsa de estudos e ao projeto PRONEX/CNPq/FACEPE. À empresa AGM Geotécnica Ltda pelo apoio dado aos trabalhos de campo.

## REFERÊNCIAS

- Décourt, L. (1996) A Ruptura de Fundações Avaliada com Base no Conceito de Rigidez, *SEFE III*, São Paulo, SP, Brasil, Vol. I, p. 215-224.
- Marques, J. A. F. (2004) *Estudo de Estacas Escavadas de Pequeno Diâmetro, com Bulbos, Instrumentadas em Profundidade, em Terrenos Sedimentares*, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 319p.
- Marques, J. A. F. (1997) *Execução e Previsão de Capacidade de Carga de Estacas Rotativas-Injetadas*, Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos/SP, 124p.
- Marques, A. G. e Marques, J. A. F. (2005) *Prática de Fundações no Estado de Alagoas*, em Gusmão, A. D.; Gusmão Filho, J. A.; Oliveira, J. T. R. E Maia, G. B. (2005) *Geotecnia no Nordeste*, Cap. 5, pp.247-264, Editora UFPE, 543p.
- Marques, R. F., Coutinho, R. Q., Marques, A. G. (2006) *Caracterização Geotécnica de um Perfil de Solo Não Saturado da Formação Barreiras da Cidade de Maceió-AL*, XIII COBRAMSEG, Curitiba, PR, Brasil, (no prelo).
- Santos, R. J. Q., Lima, R. C. A., Ferreira Neto, J. V. (2004). A Geomorfologia do Tabuleiro Como Consequência do Neotectonismo, *Geografia – Espaço, Tempo e Planejamento*, Edufal, Maceió, AL, p. 255-268.
- Van der Veen (1953) The Bearing Capacity of a Pile, *Proc. Third Int. Conference Soil Mechanics Foundation Engineering*, Zurich, Vol. II, p. 84-90.