

Avaliação da Capacidade de Carga à Tração das Estacas Rotativas Injetadas

Luiz Eduardo Diniz Leite
Mestrando, DEC / CCT / UFPB

Raimundo Leidimar Bezerra, D. Sc.
Professor Adjunto, DEC / CCT / UFPB

Abel Galindo Marques, M. Sc.
Professor Adjunto, EES / UFAL

RESUMO: Este trabalho de pesquisa trata do estudo da capacidade de carga à tração das Estacas Rotativas Injetadas. Este tipo de estaca, derivada das estacas raiz, surgiu na segunda metade da década de 80 na cidade de Maceió – AL em decorrência das grandes dificuldades que se tinha na execução de estacas convencionais nos terrenos da orla marítima daquela cidade. Serão feitas análises e discussões quanto ao processo de execução da estaca, e realizadas também comparações com relação ao desempenho de alguns métodos de determinação da capacidade de carga com os resultados obtidos nas provas de carga em 16 estacas, a fim de verificar qual (ou quais) dos métodos melhor se aplica na determinação da capacidade de carga à tração deste tipo de estaca.

PALAVRAS – CHAVES: Fundações profundas, estacas escavadas, estacas escavadas com lama bentonítica, estacas injetadas.

1 INTRODUÇÃO

Na década de 80 na cidade de Maceió – AL, começou a ser desenvolvida um tipo de estaca chamada de “Estaca Rotativa Injetada (ou escavada de pequeno diâmetro)”, em virtude das grandes dificuldades que se tinha, em determinadas situações, para executar estacas convencionais. Essas dificuldades residiam na necessidade que se tinha de atravessar uma camada de areia compacta (SPT superior a 20 golpes) a 2 ou 3 m de profundidade. As estacas pré - moldadas dificilmente conseguiam ultrapassar a tal camada. As do tipo Franki ultrapassavam, mas ocasionavam problemas de rachaduras nas construções vizinhas, e as metálicas eram economicamente inviáveis porque necessitavam de grandes profundidades para atender às cargas de projeto. Diante desses problemas, a estaca raiz foi a solução empregada na época, a qual era desconhecida pela grande maioria dos profissionais de geotecnia e não havia nenhuma empresa de fundação no Nordeste que a executasse. Seus altos custos operacionais de execução,

incompatíveis com o mercado da região, fizeram com que gradativas mudanças fossem implantadas até chegar às estacas Rotativas Injetadas. Esse tipo de estaca caracteriza-se por apresentar sua capacidade de carga predominantemente devido ao aumento da sua resistência pelo efeito do engastamento com o solo ao longo do fuste, por causa de um alargamento do mesmo, engastando-a convenientemente naquelas camadas de maiores resistências e espessuras. Assim, sua capacidade de carga poderá mais que duplicar (Marques, 1997).

2 ESTACAS ROTATIVAS INJETADAS

2.1 Execução e Peculiaridades

As estacas Rotativas Injetadas são executadas por meio de perfuratrizes capazes de perfurar, com diâmetros de 10 a 45 cm, mais de 30 m em terrenos de subsolos em que ocorrem estratos de alta resistência. A execução, cujos detalhes são

mostrados na Figura 1, seguem as seguintes etapas:

- Execução de um furo com diâmetro um pouco maior que o do tubo guia, com profundidade média de 1,5 m;
- Colocação do tubo guia com diâmetro interno um pouco maior que o nominal da estaca;
- Continuação da perfuração, através de sapatas cortantes, com diâmetro igual ao nominal da estaca até a profundidade desejada,

e simultânea circulação de lama bentonítica, injetada por meio de motor bomba, para conter as paredes das escavações quando o solo é arenoso;

- Colocação da armadura;
- Injeção de argamassa através de um tubo de 1 1/2". A argamassa desce pelo tubo, atinge o fundo da escavação e sobe pelo espaço existente entre o tubo e a parede do furo até transbordar na superfície. Ao subir, traz consigo toda lama que existia dentro do furo.

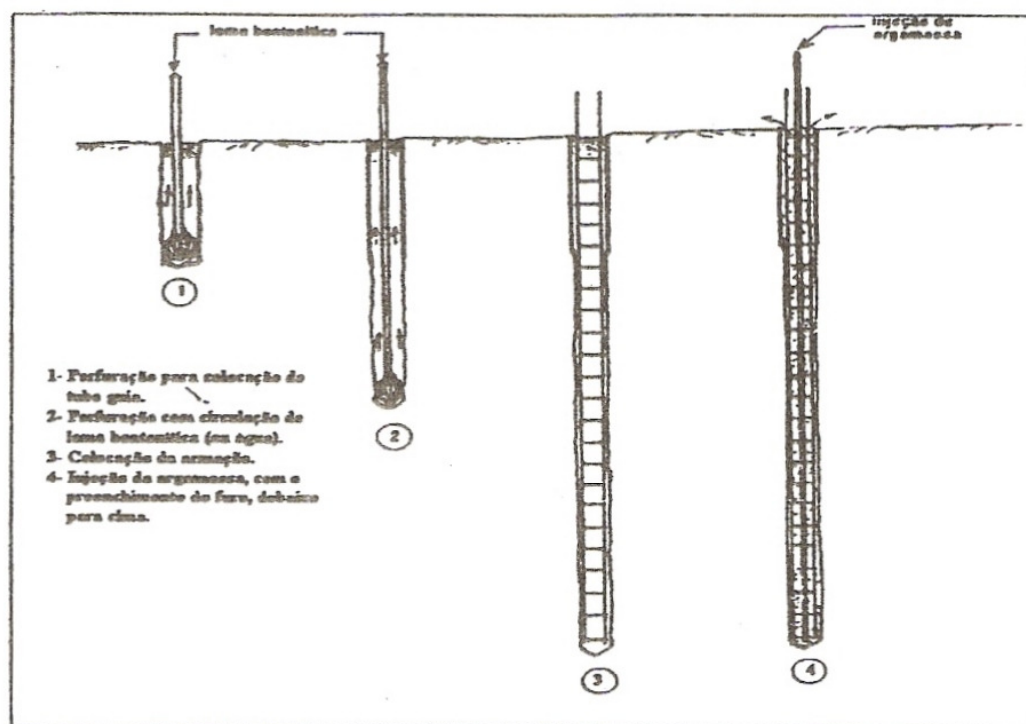


Figura 1. Etapas de execução da estaca Rotativa Injetada.

Quando ao longo da perfuração ocorrem estratos próximos à superfície, de maiores compacidade ou consistências, pode-se, através de um movimento para frente e para trás da base móvel sobre a base fixa da perfuratriz, alargar o fuste da estaca dentro daquelas camadas que oferecem maiores resistências. Com isto, obtém-se uma estaca com maior capacidade de carga. Tem-se aplicado esse procedimento em profundidades de até 4 m. Para profundidades maiores, acredita-se que os resultados não sejam satisfatórios.

Essas estacas têm peculiaridades próprias que são resultantes de seu processo executivo. Quando são executadas em terrenos cujo perfil

do subsolo é composto, por exemplo, de camadas arenosas de compacidade fofas a compactas intercaladas, faz com que seu fuste aumente de diâmetro naqueles estratos de menores resistências, em decorrência dos desmoronamentos naturais provocados pelo processo de perfuração; já nas camadas mais compactas, o diâmetro do fuste é igual ao da peça cortante (ou do revestimento). Assim, fica evidente que quando se passa de uma camada de compacidade baixa (fofa a pouco compacta), para outra de compacidade maior, ocorre um afunilamento do fuste, muito importante na capacidade de carga da estaca.

Durante a perfuração, às vezes, ocorrem bolsões arenosos de baixíssima resistência, vazios (típicos das formações calcárias) ou pequenas falhas, fazendo com que se formem no fuste placas, “joelhos” ou “cotovelos”, que duplicam, triplicam a carga de ruptura prevista. Evidentemente que essas ocorrências são de difícil previsão.

3 ENSAIOS REALIZADOS

Para realizar este trabalho foram utilizados três terrenos de obras em andamento situados na orla marítima da cidade de Maceió, nos quais seriam construídos dois edifícios residenciais e um complexo poliesportivo.

A caracterização do subsolo dos terrenos foi obtida através de sondagens de simples reconhecimento (SPT), onde os perfis típicos indicaram uma camada superficial de areia fofa a pouco compacta, separada por um trecho de areia compacta a medianamente compacta, com espessura média de 4 m, para daí encontrar novamente uma areia fofa de baixa resistência, até chegar numa camada de maior capacidade de suporte.

Para as provas de carga foram utilizadas 16 estacas de 40 cm de diâmetro e comprimentos variando de 16,5 m para as estacas 1 a 4, 10,5 m para as 5 a 8, 14,0 m para as 9 a 12, 14,5 m para as 13 e 15 e 15,0 m para as 14 e 16. A metodologia adotada foi a preconizada pelo MB - 3472 / 91, carregando-se duas estacas simultaneamente em estágios rápidos. Foram utilizados dois extensômetros, colocados diametralmente opostos e equidistantes do eixo da estaca, com precisão de 0,01 mm e curso de 50 mm, para medir os deslocamentos verticais no topo da mesma. A aplicação da carga ficou por conta de um macaco hidráulico dotado de um manômetro e com capacidade para cargas até 2000 kN. Quanto ao sistema de reação, foi usado uma estrutura metálica composta por três perfis I de aço colocados sobrepostos que recebiam o esforço transmitido pelo macaco e repassava para dois outros perfis I justapostos, localizados acima, encarregados da solicitação às estacas através de braçadeiras ligadas ao bloco de coroamento.

4 MÉTODOS DE PREVISÃO DA CAPACIDADE DE CARGA DAS ESTACAS

Os métodos utilizados para calcular a capacidade de carga das estacas foram os métodos semi - empíricos de Aoki - Velloso (1975) e Décourt - Quaresma (1978), e os métodos teóricos do Cilindro de Atrito (1953) e Grenoble (1968), sendo estes métodos voltados para estacas submetidas à tração, conforme Campelo (1995).

A seguir, faz-se um comentário genérico sobre a aplicação dos métodos:

a) Métodos de Aoki - Velloso e Décourt - Quaresma - Considerou-se apenas a parcela relativa à capacidade de carga resistida pelo atrito lateral ao longo do fuste da estaca, tomando como valor da resistência à tração 80% daquela à compressão, visto que Carvalho et al (1991) e Cintra et al (1994) encontraram valores da relação entre os atritos laterais de estacas escavadas tracionadas e comprimidas em torno daquele que foi utilizado.

b) Método do Cilindro de Atrito - De acordo com a proposta do método, considerou-se a superfície de ruptura ocorrendo na interação solo - estaca, aplicando-se a equação encontrada por Poulos & Davis (1980). Para o coeficiente de empuxo horizontal (K_h) foi tomado um valor médio de 0,75 (entre 0,5 e 1,0), já que este pode variar do coeficiente de empuxo no repouso (K_0), utilizado por muitos autores, até o valor unitário sugerido pelo API (1984) para estacas de deslocamento.

c) Método de Grenoble - Utilizou-se o ângulo da superfície de ruptura com a vertical (λ) para os valores de $-\phi / 8$, conforme recomendação do método.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Análise das Curvas “Carga x Recalque”

A forma predominante em todas as curvas “carga x recalque” geradas a partir dos ensaios de provas de carga é típica de curvas fornecidas por ensaios desta natureza. No entanto, a Figura 2 acima apresenta uma curva de uma das

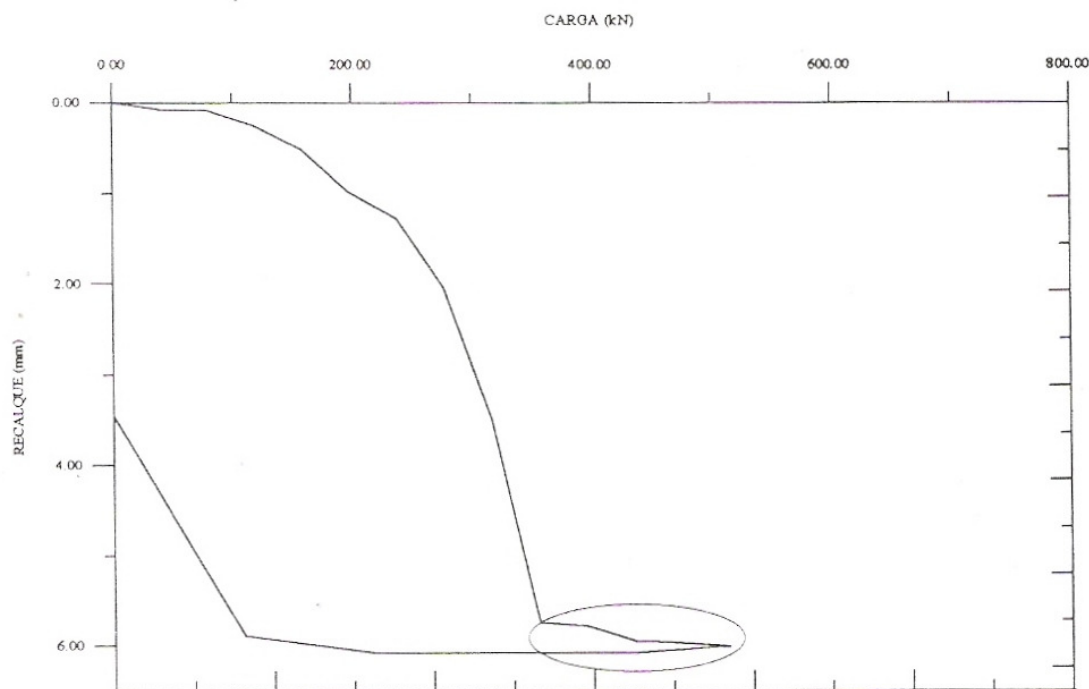


Figura 2 - Curva “carga x recalque de uma das Estacas Rotativas Injetadas.

estacas onde pode ser notado uma característica muito importante devido a uma espécie de “bico” apresentado nos valores finais do recalque, quando os bulbos que se formam naquelas camadas menos resistentes atingem os estratos de maiores resistências. Assim, tem-se um efeito cunha da estaca no solo e um conseqüente aumento na capacidade de carga. Tal fato fornece às estacas um comportamento parecido com aquele verificado à compressão quando a resistência de ponta é mobilizada.

Quando se engasta propositadamente o fuste das estacas naquelas camadas mais resistentes do solo, faz com que se tenha um aumento considerável na capacidade de carga, sem contar com a inconveniência às vezes proporcionada pelos alargamentos naturais verificados, por exemplo, nas camadas de areias fofas em virtude dos desmoronamentos das paredes do furo durante a escavação. Além disso, é bom lembrar sobre a possibilidade de ocorrência de seccionamento do fuste que poderá comprometer a integridade da estaca.

5.2 Análise dos Resultados Previstos pelos Métodos

A Tabela 1 mostra as cargas últimas à tração previstas pelos diferentes métodos e as obtidas das provas de carga para as 16 estacas através do método de Mazurkiewisz. As Figuras 3 a 6 apresentam as dispersões das cargas de ruptura previstas pelos métodos utilizados com relação às obtidas nas provas de carga que servirão de base às comparações realizadas.

5.2.1 Métodos de Aoki – Velloso e Décourt – Quaresma

A Tabela 1 e as Figuras 3 e 4 mostram que os resultados previstos pelo método de Aoki – Velloso variaram ora para mais, ora para menos, no entanto mais próximos dos valores medidos que os obtidos pelo método de Décourt – Quaresma. Estes últimos foram sempre maiores que os obtidos nas provas de carga, caracterizando previsões contra a segurança.

5.2.2 Método do Cilindro de Atrito

Este método forneceu resultados que variaram em torno dos medidos nas provas de carga numa faixa mais ampla que o método de Aoki – Velloso, conforme mostrado na Figura 5.

Tabela 1. Valores das Cargas de Ruptura obtidas nas Provas de Carga, utilizando-se o método de Mazurkiewicz, e previstas pelos métodos de Aoki – Velloso (1975), Décourt – Quaresma (1978), Cilindro de Atrito (1953) e Grenoble (1968), para o diâmetro nominal de 40 cm.

Estaca	Provas de Carga (kN)	Aoki – Velloso (1975) (kN)	Décourt – Quaresma (1978) (kN)	Método do Cilindro de Atrito (1953) (kN)	Método de Grenoble (1968) (kN)
E1	420	660	1040	818	1652
E2	400	660	1040	818	1652
E3	600	660	1040	818	1652
E4	530	660	1040	818	1652
E5	545	420	720	301	550
E6	450	420	720	301	550
E7	325	420	720	301	550
E8	319	420	720	301	550
E9	484	336	650	555	1095
E10	500	336	650	555	1095
E11	457	336	650	555	1095
E12	498	336	650	555	1095
E13	562	538	944	608	1282
E14	590	568	992	665	1400
E15	582	538	944	608	1282
E16	645	568	992	665	1400

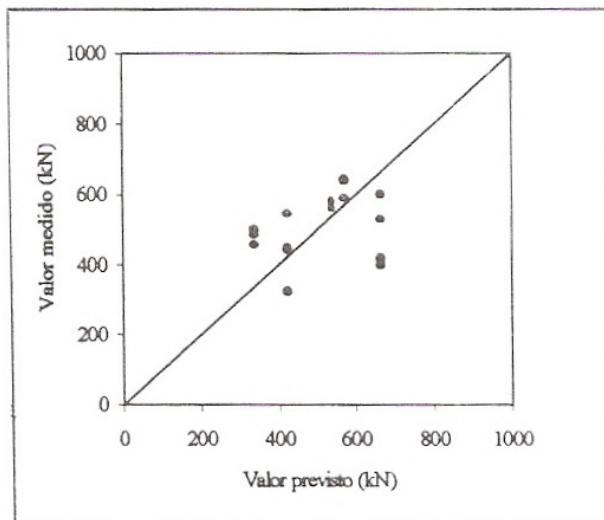


Figura 3. Dispersões das cargas de ruptura previstas pelo método de Aoki – Velloso (1975).

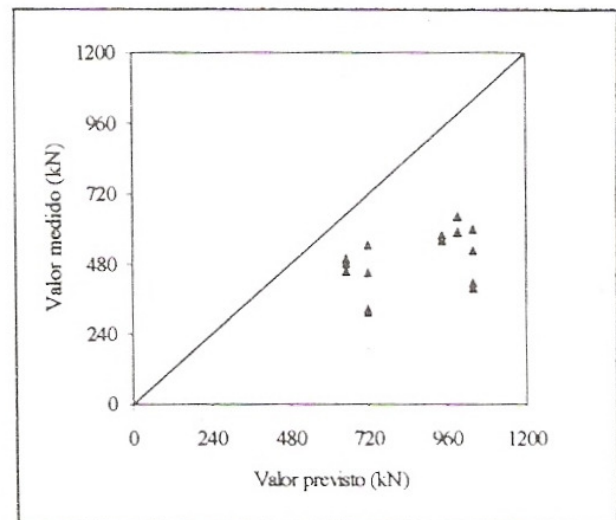


Figura 4. Dispersões das cargas de ruptura previstas pelo método de Décourt – Quaresma (1978).

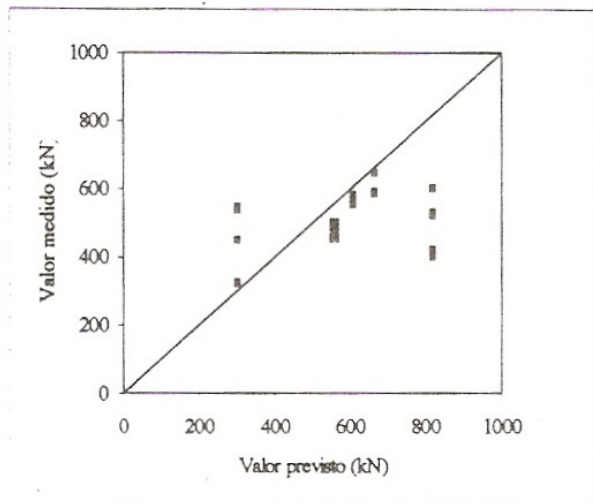


Figura 5. Dispersões das cargas de ruptura pelo método do Cilindro de Atrito (1953).

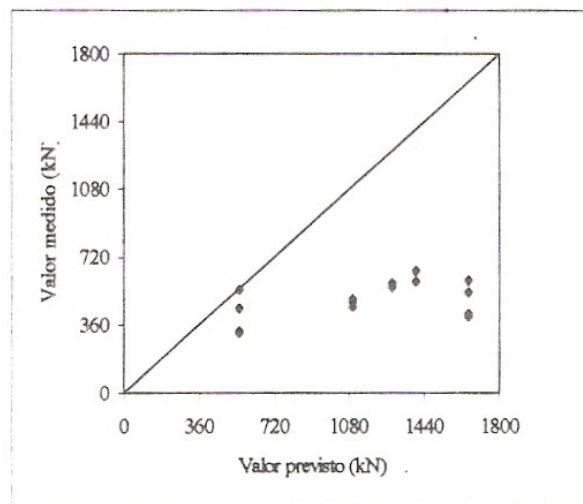


Figura 6. Dispersões das cargas de ruptura previstas pelo método de Grenoble (1968).

5.2.3 Método de Grenoble

Os valores das cargas de ruptura calculadas por este método indicam valores contra a segurança, conforme mostrado na Figura 6. Assim, conclui-se que este método, empregado neste tipo de estaca e executada neste tipo de solo, superestima seu desempenho à medida que a profundidade de assentamento vai aumentando.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho levou-nos às seguintes conclusões:

1. As discrepâncias verificadas nos métodos semi-empíricos era de se esperar em virtude dos mesmos terem sido destinados originalmente para análise de estacas submetidas a esforços de compressão. Por outro lado, a relação usada de 80% entre a resistência lateral de estacas tracionadas e comprimidas varia largamente na opinião dos pesquisadores - 60% a 100%. Mesmo assim, o método de Aoki - Velloso apresentou uma dispersão menor que o de Décourt - Quaresma.
2. O método do Cilindro de Atrito forneceu resultados com uma faixa de dispersão em torno dos valores medidos nas provas de carga mais ampla que no método de Aoki - Velloso. Acredita-se que esses resultados estão associados às características de

execução deste tipo de estaca, quando realizada neste tipo de solo. Como o método adota uma superfície de ruptura cilíndrica ocorrendo no contato estaca - solo, ele não incorpora as características do formato do fuste nos valores das cargas de ruptura, como é o caso das estacas ensaiadas.

3. Os resultados encontrados pelo método de Grenoble mostrou que com $\lambda = - \phi / 8$ conduz a valores de cargas de ruptura contra a segurança que aumenta à medida que a profundidade de assentamento cresce.
4. Um pré-dimensionamento dessas estacas pode resultar em valores muito conservadores quando não se dispõe de um conhecimento detalhado do subsolo, que poderá indicar a possibilidade de ocorrer um aumento natural no diâmetro das estacas naquelas camadas fofas do subsolo, e com isso obter-se resultados mais racionais para a capacidade de carga das estacas através de uma metodologia mais apropriada de cálculo.
5. Deve-se chamar a atenção quanto a utilização destes métodos no cálculo da capacidade de carga deste tipo de estaca. Os métodos semi-empíricos sempre demonstraram que, mesmo para estacas convencionais, devem ser utilizados com cautela, visto que eles são estabelecidos para determinados tipos de estacas e

regiões geotécnicas. A aplicação desses métodos para outros tipos de estacas ou regiões deve ser feita com cuidado e ressalvas. Isso também se aplica para os métodos de previsão de capacidade de carga de fundações tracionadas, já que surgiram de pesquisas em modelos voltados para solos específicos de outros locais.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a Deus por ter dado condições do mesmo ser realizado, à CAPES pelo financiamento, à AGM Geotécnica Ltda e às Universidades Federais da Paraíba – UFPB, campus II, Campina Grande e de Alagoas – UFAL.

REFERÊNCIAS

- ABNT, MB – 3472 / 91 Estacas – Prova de Carga Estática.
- Carvalho, D.; Mantilla, J. N. R.; Albiero, J. H. & Cintra, J. C. A. (1991) *Provas de Carga à Tração e à Compressão em Estacas Instrumentadas do Tipo Raiz*, Seminário de Engenharia de Fundações Especiais, 2, 1991, São Paulo. Anais. São Paulo, ABMS, (1): p.79 – 87.
- Campelo, N. S. (1995) *Capacidade de Carga de Fundações Tracionadas*, Monografia Geotécnica nº 6, São Carlos – SP. Publicação 008/95.
- Cintra, J. C. A.; Carneiro, B. J. I.; Campelo, N. S. & Macacari, M. F. (1994) *Correlação entre Carga Última de Estacas à Tração e à Compressão em Solo Colapsível*, 2º Simpósio Sobre Solos Não Saturados, 1994. Recife – PE.
- Marques, J. A. F. (1997) *Estacas Escavadas: Projeto, Execução e Capacidade de Carga*, Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, São Carlos – SP.
- Poulos, H. G. & Davis, E. H. (1980) *Pile Foundation Analysis and Design*. New York, Wiley & Sons.