

Previsão Da Capacidade de Carga e Recalque de Uma Fundação por Estacas Tipo Hélice Contínua

OSVALDO FREITAS NETO^a, IGOR NATAN SANTANA GUIMARÃES^a,
BRUNO DA MOTA COSTA^a and ERINALDO HILÁRIO CAVALCANTE^a

^a *Universidade Federal de Sergipe, Aracaju- SE, Brazil*

Abstract. This research aims to evaluate the load capacity of two monitored CFA, part of two groups of piles in a building, and compare the values predicted by semi-empirical methods with experimental values determined in two slow static vertical load tests done in E77 and E227 piles. The settlement values were predicted and compared with measures made in the field during its execution. The foundation of the building is composed by 392 CFA with diameters of 0,4 m and 0,5 m and lengths of 8 m and 12 m, however, the piles tested in the field have diameter and length of 0.5m and 12m respectively. Comparing the load capacity values obtained from load tests with each semi-empirical method, it was observed that the Décourt and Quaresma [3] was the most accurate method compared with the values registered experimentally. In relation to the settlements, it was observed that the estimated values were higher than those measured in situ, however, this difference can be attributed to piles grouped into blocks, and the contact of the blocks with the soil is not considered in the settlement calculus.

Keywords. Load capacity, settlements, continuous flight auger piles, vertical load tests.

1. Introdução

Define-se capacidade de carga do elemento isolado de fundação, como sendo a carga que provoca ruptura desse sistema, cujo valor é limitado pela resistência do elemento estrutural, podendo ser obtida através de métodos teóricos, métodos semi-empíricos, métodos dinâmicos e ensaio de carregamento através das provas de carga [1].

O bom desempenho de um sistema de fundação está associado à capacidade de carga e recalques frente às solicitações, durabilidade e segurança sob qualquer condição de subsolo. Para tal conclusão, se faz necessária a obtenção de alguns resultados de ensaios, dos quais, o mais comumente utilizado é o *Standard Penetration Test* (SPT) o

qual fornece informações como: os tipos de solo até a profundidade de interesse de projeto, viabilizando o cálculo da capacidade de carga e previsão do recalque do solo.

Para a elaboração de um projeto de fundação se faz necessário realizar a previsão de capacidade de carga atribuída para as estacas. O estudo da capacidade de carga das estacas pode ser feito a partir de métodos teóricos e/ou por métodos semi-empíricos. Os métodos mais utilizados são os semi-empíricos, mais especificamente os métodos de Aoki e Velloso [2] e Décourt e Quaresma [3], já que os mesmos baseiam-se em ensaios de SPT e CPT. Além destes, outros métodos vêm sendo frequentemente utilizados em estudos de previsão de capacidade de carga das estacas, os quais alguns deles também foram utilizados na previsão das estacas associadas a este trabalho.

Com base em ensaio de prova de carga realizado em duas estacas típicas da obra, foi possível definir a carga de ruptura convencionada para cada estaca analisada. O método de Van der Veen [4], a norma [5] e a norma britânica [6] e [7], auxiliaram no processo de extrapolação da curva carga *versus* recalque para a estimativa da carga de ruptura convencionada das respectivas estacas.

A partir dos resultados obtidos foram analisadas as previsões de capacidade de carga dos métodos com os resultados propostos para a carga de ruptura conforme recomendado por [7].

2. Metodologia

As análises de recalques foram procedidas com base no método de Aoki e Lopes [8] e adaptadas para uma previsão de recalque por efeito de grupo, visto que, na prática, as estacas trabalham em grupo. Os recalques por efeito de grupo foram estimados a partir dos métodos de Skempton [9], Vésic [10] e Fleming *et al.* [11]. Posteriormente, foram comparados aos resultados obtidos a partir de leituras topográficas realizadas em campo com a evolução da obra.

Para elaboração do referido projeto, assim como para realizar as respectivas previsões de comportamento da fundação, foram utilizadas informações extraídas de 09 furos de sondagem tipo SPT, cujas profundidades atingiram até 29 metros. As sondagens apontaram para a presença do lençol freático em cotas próximas à superfície do terreno em uma área composta por depósitos de pântanos e mangues, materiais argilo-siltosos ricos em matéria orgânica, terraços marinhos, além das areias litorâneas, típicas da cidade de Aracaju-SE-Brasil, local de implantação da obra. O projeto final da das fundações dessa edificação foi contemplado com 392 estacas do tipo hélice contínua monitorada, com diâmetros 0,4m e 0,5m e comprimentos de 8m e 12m.

As sondagens SP-03 e SP-08 foram tomadas como referências para o cálculo da capacidade de carga e carga de trabalho, a partir das metodologias semi-empíricas de [2] - AV, [3] - DQ, [12] - V, [13] - T e [14] - A, devido à proximidade das mesmas com as estacas E77 e E227, respectivamente, as quais além de fazerem parte da obra, foram utilizadas como estacas teste nas duas provas de carga estáticas que foram realizadas. Vale destacar que ambas as estacas ensaiadas em campo têm diâmetro e comprimento de 0,5m e 12m respectivamente.

Quanto aos recalques, estes podem ser definidos como sendo o movimento vertical causado pelo solo, que como consequência afeta a estrutura. Não há como evitar os deslocamentos nos apoios, já que os mesmos são causados pelo carregamento do peso da estrutura e sobrecargas, onde o solo recebe estas cargas e sofre tais deformações.

Deformações que podem ser tão pequenas ao ponto de não causar danos à estrutura, ou grandes, podendo levar a estrutura ao colapso. Por isso, é necessário, então, definir o recalque admissível, que não cause problemas ao desempenho da estrutura [15]. Quanto às previsões de recalque para as estacas em estudo, foram calculadas a partir do método de Aoki e Lopes [8]. Foram considerados os valores de previsão de recalque devido ao atrito lateral ($\rho_{s,L}$) e na ponta ($\rho_{s,P}$), e para o módulo de deformabilidade do solo (E_0) foi usado o valor proposto pelos autores para estacas do tipo hélice contínua ($E_0 = 4 \cdot K \cdot N_{SPT}$).

3. Previsão da Capacidade de Carga e Recalques nas Estacas E77 e E227

As Tabelas 1 e 2 apresentam os valores de capacidade de carga e carga de trabalho para as estacas E77 e E227 respectivamente, a partir dos métodos de Aoki e Veloso (AV - [2]), Décourt e Quaresma (DQ - [3]), Velloso (V - [12]), Teixeira (T - [13]) e Alonso (A - [14]). Enquanto que nas Tabelas 3 e 4 apresentam-se os parâmetros utilizados nas previsões de recalque realizadas a partir do método de Van der Veen [8], também para as estacas E77 e E227 respectivamente.

Tabela 1 – Resultados de capacidade de carga da estaca E77 para cada método.

Método de Cálculo	Carga de Ponta (tf)	Carga Lateral (tf)	Capacidade de Carga (tf)
AV	314,2	114,6	428,8
DQ	113,4	108,0	221,4
V	115,7	169,6	285,3
T	182,6	135,7	318,3
A	111,4	145,3	256,7
MÉDIA	167,5	134,6	302,1

AV - [2], DQ - [3], V - [12], T - [13] e A - [14]

Tabela 2 – Resultados de capacidade de carga da estaca E227 para cada método.

Método de Cálculo	Carga de Ponta (tf)	Carga Lateral (tf)	Capacidade de Carga (tf)
AV	392,7	170,7	563,4
DQ	157,1	141,8	298,9
V	187	224,8	411,8
T	212,1	194,2	406,3
A	157,1	208,9	366,0
MÉDIA	221,2	188,1	302,1

AV - [2], DQ - [3], V - [12], T - [13] e A - [14]

Tabela 3 – Recalques previstos para cada camada de solo devido ao atrito lateral e ao carregamento na ponta da estaca (estaca E77).

Camada	K (MPa)	N _{SPT}	E ₀ (Mpa)	σ ₀ (kPa)	Es (Mpa)	(Δσ/Es).H (mm)
1	0,22	24	21,1	149,5	50,5	4,94
2	0,22	22	19,4	149,5	43,9	3,79
3	0,22	20	17,6	182,5	38,0	3,19
4	0,80	25	80,0	182,5	170,0	0,55
5	0,80	32	102,4	182,5	215,0	0,34
6	0,80	31	99,2	215,5	205,3	0,3
Recalque (mm) =						13,11

Tabela 4 – Recalques previstos para cada camada de solo devido ao atrito lateral e ao carregamento na ponta da estaca (estaca E77).

Camada	K (MPa)	N _{SPT}	E ₀ (Mpa)	σ ₀ (Mpa)	Es (MPa)	(Δσ/Es).H (mm)
1	1,00	24	96,0	165,2	342	4,17
2	1,00	22	88,0	165,2	250,5	2,69
3	1,00	20	80,0	175,1	200,1	1,96
4	1,00	25	100,0	175,1	234,0	1,1
5	0,22	32	28,2	175,1	63,2	2,88
Recalque (mm) =						12,80

4. Provas de Carga Estática

Conforme supramencionado, foram realizadas duas provas de carga estáticas, nas estacas denominadas por E77 e E227. Para a estaca E77, no carregamento, foram aplicadas 220 tf, em nove estágios, com tempo mínimo de duração de trinta minutos para cada estágio. Em cada um deles, foram medidos os recalques correspondentes aos tempos de 0, 2, 4, 8, 15 e 30 minutos. O ensaio foi interrompido com 220 tf devido a problemas no macaco hidráulico.

O mesmo procedimento foi realizado para o ensaio realizado na estaca E227, na qual foram aplicadas 225 tf, em nove estágios, com tempo mínimo de duração de trinta minutos para cada estágio. Destaca-se que no último estágio de carga, o bloco apresentou trincas e assim o ensaio foi interrompido com 225 tf a pedido do cliente.

Para o sistema de reação foram utilizadas quatro estacas tipo Hélice Contínua com tirantes no seu eixo, diâmetro de 500 mm e comprimento de 12,00m. Esta estaca também foi monitorada através da medição dos deslocamentos verticais em cada estágio, na qual proporcionou o estudo da curva carga-recalque.

As curvas carga versus recalque estão apresentadas nas Figuras 1 e 2. Destaca-se que nessas figuras estão apresentadas as curvas obtidas experimentalmente, assim como o trecho extrapolado de cada uma das curvas obtidas pelo método de Van der Veen [4]. Aponta-se também nas curvas os valores de capacidade de carga convencionada obtidas tanto pelo método da norma [5], quanto pela norma britânica [6] e por [7].

De acordo com os resultados pode-se observar que a diferença entre os métodos da norma [5], quanto pela norma britânica [6] e por [7], não supera 3,0%. Já ao comparar

os métodos de previsão com os resultados obtidos nas provas de carga foi possível observar que método de Décourt e Quaresma [3] foi o método o qual os resultados obtidos foram mais próximos aos definidos nas provas de carga, sobretudo no que diz respeito à estaca E77, quando o valor da previsão foi de 221,4 tf e o valor convencionado na prova de carga foi de 224 tf e 230 tf para os métodos da norma [5] e pela norma britânica [6], respectivamente.

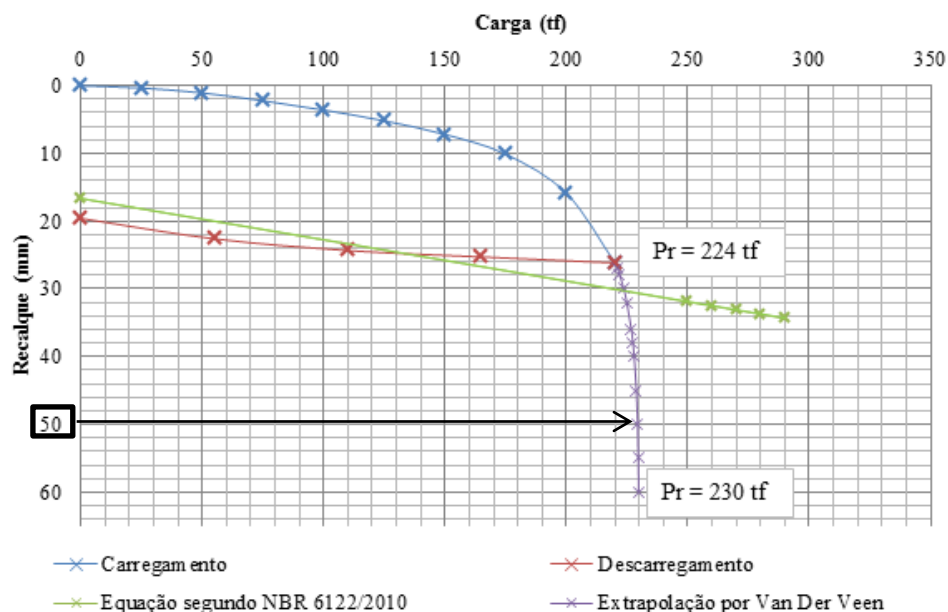


Figura 1 – Carga de ruptura da estaca E77.

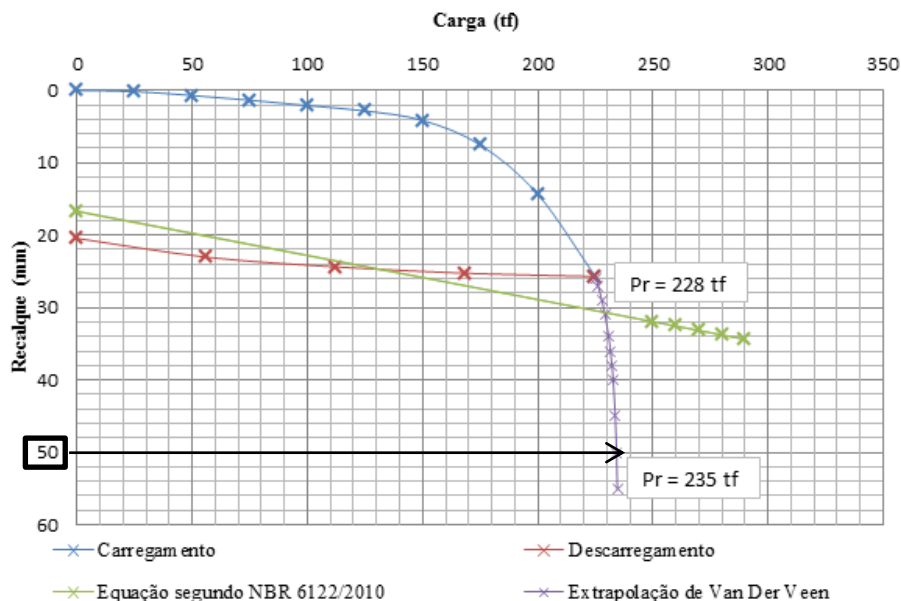


Figura 2 – Carga de ruptura da estaca E227.

Na Figura 3 apresentam-se as curvas carga *versus* recalque obtidas experimentalmente para as duas estacas, onde é possível observar considerável semelhança entre as respectivas curvas.

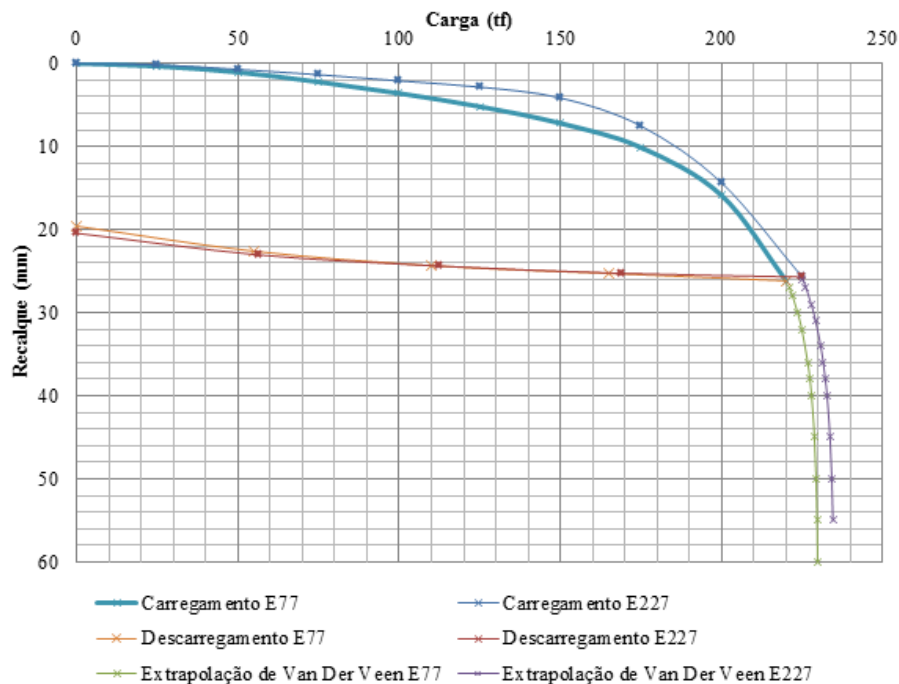


Figura 3 – Comparativo das curvas carga-recalque das estacas E77e E227.

5. Recalque em Estacas Isoladas e Grupo de Estacas

A Tabela 5 apresenta as previsões de recalque do grupo de estacas correspondentes ao bloco sobre o qual atuam as cargas do Pilar P20 da Torre 1 e sob o qual está instalada a Estaca E77. Conforme mencionado na Tabela 3 o recalque previsto para a estaca E77, é de 13,11mm. Este valor foi utilizado para realizar as previsões de recalque do grupo de estacas constituinte do referido bloco.

Quanto às previsões de recalque do grupo de estacas observa-se que o recalque do grupo variou entre 18,53mm e 29,30mm entre os métodos utilizados.

Em campo foram realizadas quatro leituras em estágios diferentes para a torre 1, onde está posicionada a estaca E77, considerando para cada leitura, um nível de carregamento referente ao andamento da obra. O pilar P20 da torre 1, é o pilar sob o qual a estaca E77 está localizada e neste pilar o recalque máximo acumulado na 4ª leitura foi de 3,10mm. Ou seja, os recalques previstos foram sensivelmente superiores aos recalques registrados em campo. Destaca-se também que os recalques totais registrados foram semelhantes aos recalques previstos derivados das cargas laterais.

Outro fator que é importante destacar refere-se ao fato de que o recalque máximo medido para a torre 1 foi no pilar P15, com um valor correspondente a 12,80mm e vale destacar que a distância do pilar P15 ao P20 é de 24,64m.

Tabela 5 – Recalques previstos para o Bloco 1 (P20 – Torre 1).

	[9]	[10]	[11]
Recalque (carga lateral)	3,45mm	5,45mm	4,15mm
Recalque (carga ponta)	15,08mm	23,85mm	18,14mm
Recalque Total do grupo	18,53mm	29,30mm	22,29mm

A Tabela 6 apresenta as previsões de recalque do grupo de estacas correspondentes ao bloco sobre o qual atuam as cargas do Pilar P20 da Torre 2 e sob o qual está instalada a Estaca E227. Conforme mencionado na Tabela 4 o recalque previsto para a estaca E227, é de 12,8mm. Este valor foi utilizado para realizar as previsões de recalque do grupo de estacas constituinte do referido bloco.

Quanto às previsões de recalque do grupo de estacas observa-se que o recalque do grupo variou entre 18,82mm e 33,87mm entre os métodos utilizados.

Em campo foram realizadas cinco leituras em estágios diferentes para a torre 5, onde está posicionada a estaca E227, considerando para cada leitura, um nível de carregamento referente ao andamento da obra. O pilar P20, é o pilar sob o qual a estaca E227 está localizada e neste pilar o recalque máximo acumulado na 5ª leitura foi de 4,30mm. Ou seja, os recalques previstos novamente foram superiores aos recalques registrados em campo.

Nesse caso destaca-se o fato de que o recalque máximo medido para a torre 2 foi no pilar P23, com um valor correspondente a 14,20mm e vale destacar que a distância do pilar P20 ao P23, na torre 2 é de 7,39m.

As diferenças nos valores estimados podem estar associadas aos parâmetros adotados para realizar as respectivas previsões e também ao aumento da rigidez do sistema proporcionado pelas estacas adjacentes em outros blocos e ao travamento da fundação com as vigas de rigidez.

Tabela 6 – Recalques previstos para o Bloco 2 (P20 – Torre 2).

	[9]	[10]	[11]
Recalque (carga lateral)	7,04mm	13,18mm	8,47mm
Recalque (carga ponta)	11,77mm	20,69mm	13,30mm
Recalque Total do grupo	18,82mm	33,87mm	21,77mm

6. Conclusão

Neste trabalho foram apresentados resultados das previsões de capacidade de carga e de recalque de uma fundação por estacas de edifício em Aracaju, cujo solo é composto basicamente por areia de compactidade mediantemente compacta a compacta. Os resultados obtidos nas sondagens SPT, foram aplicados aos métodos de [2], [3], [13], [12] e [14], para previsão de capacidade de carga. Para a previsão de recalques, foi aplicado o método de [8] com o auxílio do método de [3], onde foram calculadas as capacidades de carga por atrito lateral e na ponta da estaca metro a metro.

Para os resultados da previsão de capacidade de carga, ficou perceptível que, o método de [3] apresentou valores que mais se aproximaram da carga de ruptura

convencionada. Os outros métodos apresentaram resultados satisfatórios para a estaca E77, porém para a estaca E227, os resultados obtiveram somente até 16% da carga de ruptura.

Desta forma, conclui-se que o método de [3] seria o escolhido para aplicar a capacidade de carga por estacas para um determinado projeto. Porém, os outros métodos serviram como comparativo, auxiliando na escolha do resultado da capacidade de carga a ser utilizada.

Quanto à análise do recalque, foram avaliados os métodos de [9], [10] e [11]. Os resultados apresentados para a previsão de recalque possuem valores acima do medido *in loco*. Porém os valores medidos não estavam com a carga máxima para o empreendimento, pois faltava a conclusão de alguns serviços como também a carga correspondente à habitação como um todo. Vale salientar que o conjunto formado por grupos de estacas interligados por vigas de travamento e a superfície do bloco de fundação permitem que o recalque atribuído ao grupo seja menor que o previsto pelos métodos estudados. Com isso, os valores propostos se distanciam da realidade da última medição.

Referências

- [1] CINTRA, José Carlos Ângelo; AOKI, Nelson. **Carga Admissível em Fundações Profunda**. 1ª Edição. São Carlos-SP. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.
- [2] AOKI, N.; VELLOSO, D.A. **An approximate method to estimate the bearing capacity of piles**. V Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Buenos Aires, Argentina, 1975.
- [3] DÉCOURT, L.; QUARESMA, A.R. **Capacidade de carga de estacas a partir de valores de PT**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 6., 1978. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS, 1978. p. 45-54.
- [4] VAN DER VEEN, C. **The bearing capacity of pile**. In: International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, 3., Zurich, 1953.
- [5] ABNT. (2010). **“NBR6122:2010 Projeto e execução de fundações”**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 33p.
- [6] BS – British Standard – **BS 8004:1986** – Code of Practice for Foundations.
- [7] Décourt, L. (1993/1995). On the load-settlement behavior of piles. **III Conferência Odair Grillo**, Proferida em 1993 e Publicada em 1995 na **Revista Solos e Rochas**, v. 18, nº 2, PP. 93-112.
- [8] AOKI, N. & LOPES, F.R., **Estimating stresses and settlements due to deep foundations by the theory of elasticity**. Proc, V PanAm CSMFE, Buenos Aires, 1975.
- [9] SKEMPTON, A. W. **The Bearing Capacity of Clay**. In: Building Research Congress, 1953, Inglaterra, v. 1, p. 180-189 apud SIMONS, Noel E. ; MENZIES, Bruce K. **Introdução à Engenharia de Fundações**. Rio de Janeiro, RJ. Editora Interciência Ltda, 1981.
- [10] VESIC, A.S. **Experiments with instrumented pile groups in sand, Performance of Deep Foundations**, ASTM. STP, n. 444, p. 171-222, 1969.
- [11] FLEMING, W.G.K.; WELTMAN, A.J.; RANDOLPH, M.F.; ELSON, W.K. **Piling Engineering**. Glasgow: Surrey University Press, 1985.
- [12] VELLOSO, P.P.C. **Fundações: aspectos geotécnicos**. 3.ed. Rio de Janeiro: PUC – RJ, 1981. v.3.
- [13] TEIXEIRA, A.H. **Projeto e Execução de Fundações**. In: Seminário de Fundações Especiais e Geotecnia – SEFE III, 1996. Anais... São Paulo: ABMS, 1996, v.1.
- [14] ALONSO, Urbano R., **Estacas Hélice Contínua com Monitoração Eletrônica – Previsão da capacidade de carga através do ensaio SPT-T**. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, 3., 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABEF/ABMS, v.2, 1996, p. 141-151.
- [15] GUSMÃO FILHO, J. A. **Fundações de Pontes**. Recife, PE, Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, 2003.