

Análise da Capacidade de Carga de Estaca Hélice Contínua Curta em Terraços Marinhos na Cidade de João Pessoa

Fábio Lopes Soares

Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, flseng@uol.com.br

Edson Jorge da Silva Cruz Júnior

Engeobase Engenharia de Fundações Ltda., João Pessoa, Brasil, edsonjorge.cruz@hotmail.com

Jacques Douglas Pereira do Nascimento

Engeobase Engenharia de Fundações Ltda., João Pessoa, Brasil, eng.j.douglas@hotmail.com

RESUMO: O trabalho aborda a análise de prova de carga estática realizada em estaca do tipo hélice contínua, projetada e executada para a construção de um edifício residencial localizado no bairro Cabo Branco, zona leste da cidade de João Pessoa, área composta, principalmente, por sedimentos arenosos do Período Quaternário e uma camada silto-arenosa de baixa resistência, com presença de nível d'água. A solução que apresentou-se mais viável foi em fundação mista, sapatas isoladas apoiadas em estacas tipo hélice contínua de pequeno comprimento. Como parte dos estudos, foi determinada a capacidade carga da estaca hélice contínua com diâmetro de 300 mm e 5 m de comprimento, considerando os métodos semiempíricos: Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1996) e Alonso (1996), a partir de uma campanha de sondagem SPT realizada no início da obra. Após a execução das estacas, optou-se por realizar uma prova de carga estática em estaca, como também uma nova campanha de sondagens SPT, sendo algumas sondagens realizadas em áreas que não continham estacas e outras entre as estacas. A prova de carga foi conduzida até atingir recalques que nos permitisse a obtenção dos parâmetros de ruptura do elemento, através do estudo da curva carga x recalque e da análise dos resultados pelos critérios da NBR 6122 e de Van der Veen (1953). Ao analisar os dados verificou-se um aumento significativo na capacidade de carga da estaca, atingindo um valor de aproximadamente 45 %, sendo a carga de ruptura superior ao valor calculado durante a etapa de projeto e muito próxima a capacidade de carga encontrada considerando a segunda campanha de sondagem, após a execução das estacas. Logo, evidencia-se que o processo executivo das estacas proporcionou o melhoramento do solo, observado desde o aumento do número de golpes nas sondagens SPT, e por consequência o aumento da capacidade de carga da estaca, sendo comprovado com o resultado obtido na prova de carga estática.

PALAVRAS-CHAVE: Estaca Hélice Contínua, Prova de Carga Estática, Capacidade de Carga.

1 INTRODUÇÃO

Há décadas, têm-se desenvolvido novos tipos de fundações. À procura de uma maior produtividade, qualidade e desempenho satisfatórios, novas soluções têm sido estudadas, desenvolvidas e frequentemente introduzidas no mercado. Foi assim, com as estacas de compactação e as estacas hélice

contínua, a primeira muito utilizada em fundações superficiais para o melhoramento do solo, já a segunda utilizada como fundações profundas.

Com grande velocidade de execução, ausência de vibrações e ruídos, as estacas do tipo hélice contínua têm sido utilizadas em larga escala no Brasil.

Devido às vibrações e ruídos ocasionados

pela execução das estacas de compactação, tem-se estudado diferentes soluções para a execução de fundações de edificações de pequeno porte, entre as quais, a utilização de sapatas apoiadas em uma malha de estacas hélice.

Este estudo enfoca o comportamento a compressão de estaca hélice contínua com 300 mm de diâmetro, proposta para a execução da fundação de um edifício residencial na região litorânea da cidade de João Pessoa, cuja solução que se apresentou mais viável foi em fundação mista, sapatas isoladas apoiadas em estacas tipo hélice contínua de pequeno comprimento, dispostas conforme a figura 1.

Executadas em solo sedimentar arenoso, com presença de camada silto-arenosa de baixa resistência, realizou-se a análise e comparativo entre a capacidade de carga calculada antes e após a execução das estacas e o resultado de prova de carga estática.

2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 Caracterização da Edificação

Trata-se de um edifício residencial composto por um semisubsolo, térreo e 7 pavimentos tipo, localizado no bairro do Cabo Branco, na zona leste de João Pessoa.

Projetado em concreto armado convencional, possuindo cargas verticais permanentes que variam entre 350 kN e 5700 kN.

2.2 Caracterização Geológico-Geotécnica

A área está situada na região litorânea da cidade de João Pessoa/PB, cujo perfil geotécnico é formado basicamente por sedimentos arenosos do Período Quaternário, conforme apresentado na figura 2.

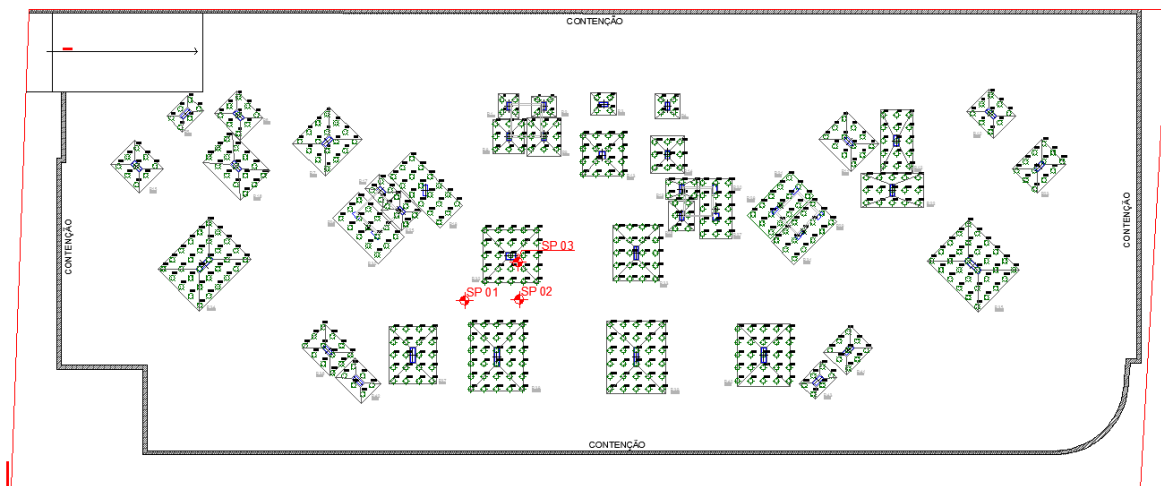


Figura 1: Disposição das Fundações

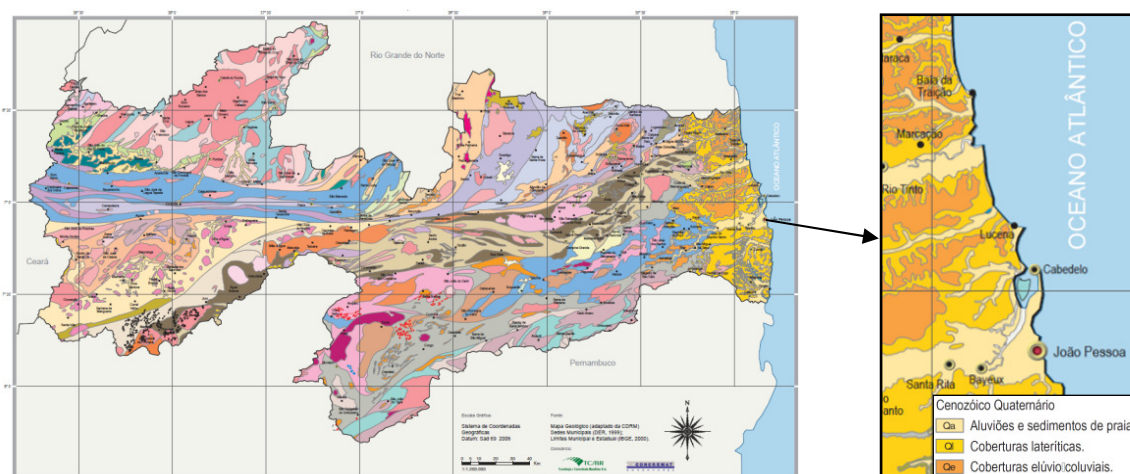


Figura 2: Mapa Geológico da Paraíba – AESA (2016)

O subsolo da localidade é composto por uma camada de aproximadamente 4,00 m de sedimentos de praia areno-siltosos, fofo a medianamente compacto, seguido de uma camada de silte arenoso, pouco compacto a fofo, com cerca de 5,00 m de espessura, com uma posterior camada de silte argilo-arenoso, rijo a médio, com espessura média de 3,00 m, seguido de uma camada de silte areno-argiloso, pouco compacto a muito compacto, com 3,50 m de espessura, possuindo o nível d'água a 2,20 m de profundidade em relação à referência de nível.

2.3 Investigação geotécnica

Foram realizadas duas campanhas de sondagem, a primeira durante a etapa de planejamento da obra, já estando o terreno escavado cerca de 1,00 m (representada pelo SP 01), e a segunda após a escavação do terreno e execução das estacas de fundação (representada pelo SP 02 e SP 03), dispostos conforme a figura 3.

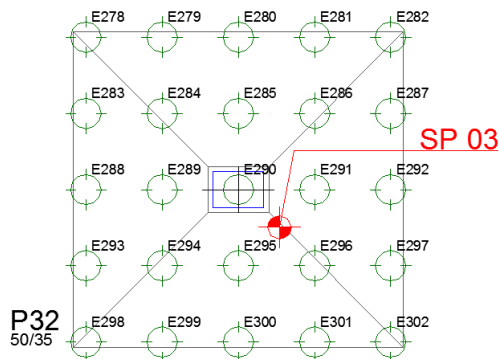


Figura 3. Localização dos ensaios SPT.

O SP-01 (Figura 4) foi o furo realizado na primeira campanha mais próximo à estaca ensaiada (E290 / P32).

O SP-02 (Figura 5) foi realizado próximo, porém fora da projeção das estacas pertencentes ao P32. Já o SP-03 (Figura 6) foi realizado entre as estacas que compõem a fundação do referido pilar.

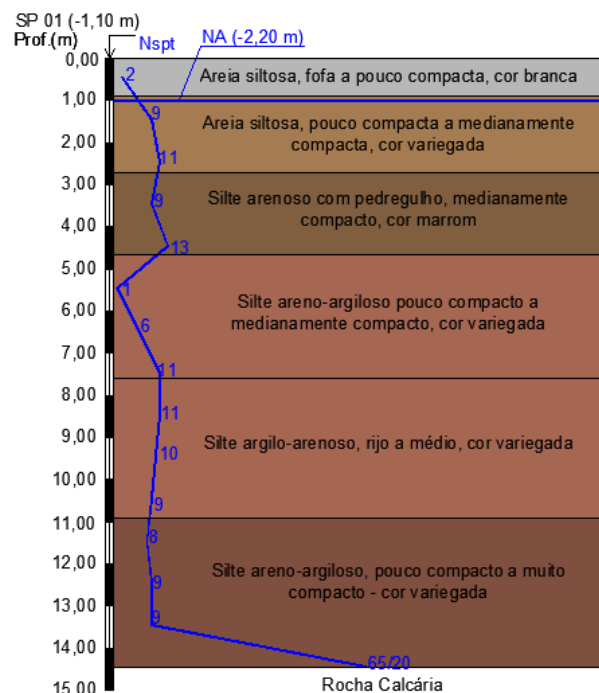


Figura 4. Perfil Geotécnico individual do SP-01.

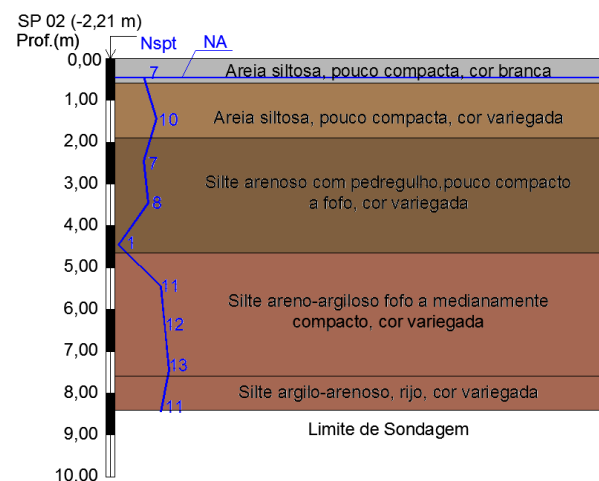


Figura 5. Perfil Geotécnico individual do SP-02.

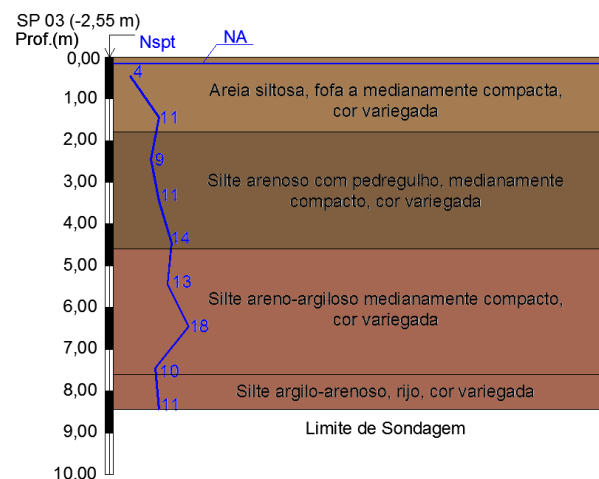


Figura 6. Perfil Geotécnico individual do SP-03.

3 CAPACIDADE DE CARGA

Considerando os métodos semiempíricos: Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1996) e Alonso (1996), analisou-se a capacidade de carga das estacas hélice contínua com diâmetro de 300 mm e 5 m de comprimento.

Para o primeiro método, cuja fórmula semiempírica representa-se conforme a equação 1, foram considerados os valores de K e de α propostos pelos autores, apresentados em Cintra (2010), sendo para estacas hélice contínua os fatores de correção $F_1 = 2$ e $F_2 = 4$, conforme remendado por Velloso e Lopes (2002).

$$R = \frac{KN_p}{F_1} A_p + \frac{U}{F_2} \sum_1^n (\alpha KN_L \Delta_L) \quad (1)$$

Para o segundo método, cuja fórmula é representada conforme a equação 2, foram considerados os valores dos fatores $\alpha = 0,3$ e $\beta = 1,0$, conforme as orientações de Décourt (1996), apresentadas em Cintra (2010)

$$R = \alpha CN_p A_p + \beta \left(\frac{10N_L}{3} + 10 \right) UL \quad (2)$$

Para o terceiro método Alonso (1996), cuja fórmula é representada conforme a equação 3, foram considerados os valores dos fatores τ ($\alpha \cdot f$) ≤ 200 kPa, $\alpha = 0,65$ e $\beta' = 200$ kPa/kgf.m, além de correções entre o ensaio SPT e o SPT-T, conforme indicações do autor:

$$R = \beta \frac{T_{min}^{(1)} + T_{min}^{(2)}}{2} + U \sum \tau_{l,ult} \Delta l \quad (3)$$

Assim, considerando as sondagens SP-01, SP-02 e SP-03, obteve-se os valores da capacidade de carga da estaca hélice contínua, conforme a tabela 1.

Tabela 1: Capacidade de carga das estacas

Métodos	SP 01	SP 02	SP 03
Aoki-Velloso (1975)	287,67 kN	270,66 kN	436,77 kN
Décourt-Quaresma (1996)	245,83 kN	230,12 kN	318,48 kN
Alonso (1996)	262,62 kN	267,51 kN	375,51 kN
Média	265,37 kN	256,10 kN	376,92 kN

Considerando a situação inicial representada pelo SP 01 o valor médio encontrado para a capacidade de carga foi de 265,37 kN, próximo ao valor de 256,10 kN encontrado para o SP 02, sondagem realizada após a escavação do terreno, em um local que não continha estacas. Já para o SP 03, sondagem realizada após a escavação do terreno entre as estacas do bloco P32, o valor médio foi de 376,92 kN, o que representa um acréscimo médio de 45% na capacidade de carga com relação as anteriores.

Este ganho na capacidade de carga pode ser observado no gráfico comparativo entres os resultados dos ensaios SPT, Figura 7.

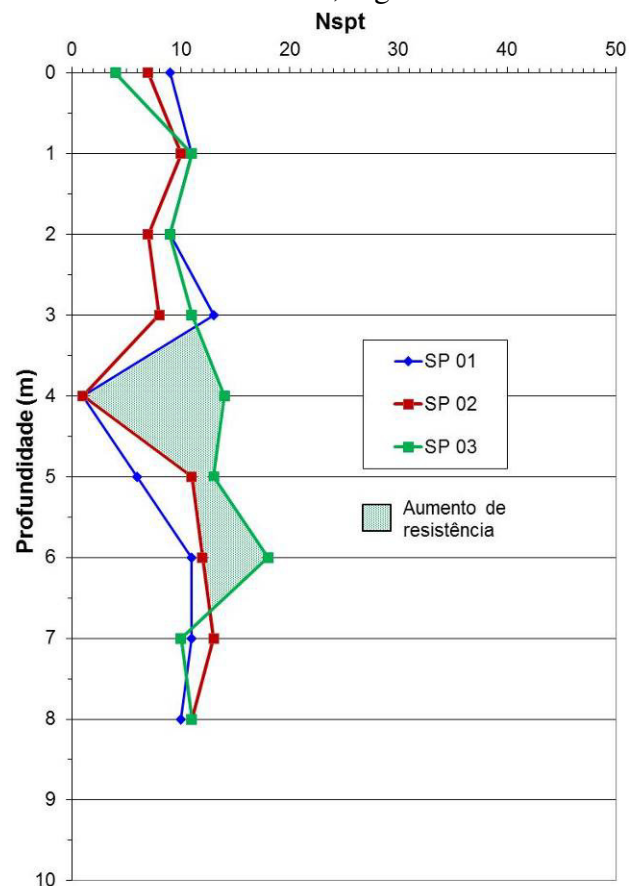


Figura 7: Comparativo dos ensaios SPT.

4 PROVA DE CARGA ESTÁTICA

4.1 Características das estacas

Foram utilizadas 5 estacas hélice contínua de 300 mm de diâmetro e 5 m de comprimento, pertencentes ao pilar P32, sendo a estaca central (E290) a receber o carregamento no ensaio e as

demaís utilizadas como reação.

4.2 Montagem da prova de carga

O sistema de reação foi constituído de duas vigas metálicas de alta rigidez, dispostas de forma cruzada, utilizando-se de 4 tirantes.

Foram adotados tirantes de 32 mm de diâmetro, utilizados como apoio para as vigas metálicas através de 8 conjuntos de placas e porcas, 2 para cada tirante, além do auxílio de cavaletes de aço, conforme pode ser observado na Figura 8.



Figura 8: Montagem do sistema de reação.

4.3 Equipamentos utilizados

O dispositivo de aplicação de carga era composto por um macaco hidráulico simples, com acionamento por bomba manual e manômetro analógico, com divisão de 10 kN, conforme as figuras 9 e 10.



Figura 9: Bomba Hidráulica



Figura 10: Macaco Hidráulico

O sistema de medição de deslocamento da estaca teste foi formado por quatro extensômetros, com precisão de 10-2 mm, dispostos ortogonalmente, fixado em vigas de referência, através de garras magnéticas. Para o controle das reações durante a realização do ensaio, foram instalados extensômetros idênticos nas estacas de reação, sendo um para cada estaca, de acordo com as Figuras 11 e 12.



Figura 11: Disposição dos extensômetros na estaca teste.



Figura 12: Disposição dos extensômetros nas estacas de reação.

4.4 Procedimento dos Ensaios

A prova de carga estática (PCE) foi realizada na estaca E290 do bloco P32, com diâmetro de 300 mm e comprimento de 5,00 m. Diante da capacidade de carga calculada após a execução das estacas, baseada no SP-03, optou-se por considerar uma carga de trabalho de 200 kN, conduzindo o ensaio até a carga de 400 kN.

Procedendo o carregamento lento, conforme a NBR 12131 (2006), a carga foi aplicada gradativamente, através de 10 (dez) estágios iguais e sucessivos, de carga acrescida de 40,0 kN e 30 minutos de duração cada, sendo realizadas as medições de deslocamentos referentes aos tempos de 0, 2, 4, 8, 15 e 30 minutos. Esta fase de carregamento lento foi iniciada com carga nula e finalizada com a carga máxima de 400 kN. Após este estágio, a carga máxima foi mantida por no mínimo 12 horas, sendo realizadas as medições referentes aos tempos de 0, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480, 540, 600, 660 e 720 minutos.

Em seguida foi iniciada a fase de descarregamento, sendo realizada em 5 (cinco) estágios iguais e sucessivos de 15 minutos de duração, sendo realizadas medições de deslocamentos referentes aos tempos de 0 e 15 minutos. Em todas as fases e níveis de carga os deslocamentos foram considerados finais após a estabilização das leituras, não apresentando variações acima de 5%.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base nos dados obtidos dos ensaios, determinaram-se os recalques total, permanente e elástico, além da curva carga x recalque.

Na tabela 2 encontram-se os valores dos recalques para a PCE.

Tabela 2: Recalques obtidos.

DADO	LEITURA
Recalque Total	8,375 mm
Recalque Permanente	4,448 mm
Recalque Elástico	3,928 mm

Para a carga máxima de ensaio correspondente ao dobro da carga de trabalho temos que os recalques das estacas foram de 8,375 mm, 2,79 % do diâmetro da estaca.

Através das curvas carga x recalque e da extrapolação gráfica pelo método de Van der Veen (1953) e da NBR 6122 (2010), conforme a Figura 13, determinou-se a carga de ruptura do elemento de fundação e seu respectivo deslocamento.

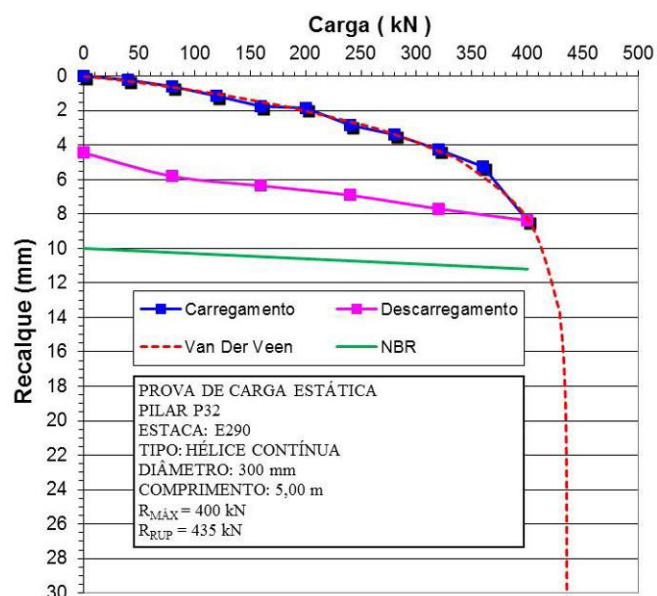


Figura 13: Curva carga x recalque

Pelo método de Van der Veen, a carga de ruptura foi de 435 kN, fornecendo fator de segurança de 2,18.

6 CONCLUSÕES

O cálculo da capacidade de carga determinado pelos três métodos semiempíricos demonstrou um ganho na ordem de 45%, ao considerar-se o SP 03, executado entre as estacas.

A curva carga x recalque não apresentou uma ruptura nítida, sendo a carga de ruptura definida pelo método matemático de Van der Veen, com valor de 435 kN, o que comprova um aumento significativo na capacidade de carga com relação ao valor determinado na etapa de projeto.

Assim, como observado em estudo semelhante (Soares et al. 2015), evidencia-se que o processo executivo das estacas hélice

promoveu o melhoramento do solo, observado através dos ensaios SPT, cálculo da capacidade de carga e confirmado com a prova de carga estática.

REFERÊNCIAS

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, “Mapa Geológico da Paraíba (adaptado da CDRM) – Geologia do Estado da Paraíba”; Site: www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/download.php?file=mapas_perh/Geologia_do_Estado_da_Paraiba.pdf – Acesso: 15/04/2016.
- 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, 1975.
- ALONSO, U. R. “Estacas hélice contínua com monitoração eletrônica – Previsão da capacidade de carga através do ensaio SPT-T” In: Sefe 3, São Paulo, 1996 v. 2 P. 141 – 151.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 6122 (2010) – Projeto e Execução de Fundações.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 12131 (2006) – Estaca - Prova de Carga Estática.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. “Fundações por estacas: projeto geotécnico”. São Paulo, Oficina de Textos, 2010.
- SOARES, F.L.; CRUZ JR, J.S.; NASCIMENTO, J.D.P. “Comportamento de Estaca Hélice Contínua de Pequeno Diâmetro em Terraços Marinhos com Presença de Depósitos Argilosos” In: 8º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, São Paulo, 2015.
- VAN DER VEEN, C.. “The Bearing Capacity of a Pile”. 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Zurich, 1953, 2: 84-90.
- VELLOSO, D. A. ; LOPES, F. R. “Fundações”, Vol. 2, Editora UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.