

Reforço de Fundação em Estaca Hélice Contínua Monitorada: Estudo de Caso em São José dos Pinhais – PR

Marcia Regiane Maggi

Engenheira, Maggi Fundações, Curitiba, Brasil, marcia@maggifundacoes.com.br

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Professor Associado, Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br

Francisco Heber Lacerda de Oliveira

Professor Adjunto, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, heber@det.ufc.br

Fernando Feitosa Monteiro

Doutorando, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, engffmonteiro@gmail.com

Renato Pinto da Cunha

Professor Titular, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, rpcunha@unb.br

RESUMO: O elemento de fundação é a estrutura responsável por transmitir as cargas provenientes da superestrutura para o solo. Entretanto, a ocorrência do mau desempenho de fundações profundas em construções devido a utilização de materiais inadequados são comuns na execução de estacas. Tornando necessária a utilização de reforços na fundação destas edificações, intervindo assim, no sistema solo-estrutura existente. O presente trabalho busca analisar uma solução técnica para o reforço de fundação de uma obra que apresentou fck abaixo do requisitado em projeto. Assim, ensaios do tipo SPT e PIT, bem como provas de carga e ensaios de controle tecnológico do concreto foram utilizados para propor soluções para o reforço de fundação da obra. Devido a constatação da falta de resistência do concreto utilizado em algumas das estacas, foi elaborado um projeto de reforço para as situações com problemas. Ocorrendo, assim, um acréscimo de 34 estacas referentes à reforço, das quais 17 estacas possuem diâmetro de 0,4 m, 14 estacas de possuem diâmetro de 0,6 m e 3 estacas possuem diâmetro de 0,7 m com comprimentos variando entre 17 e 24 m. Verifica-se que a recomendação mais assertiva é dada pela obtenção do maior número de informações, com o intuito de garantir uma solução de reforço que vise o bom uso dos materiais de forma otimizada, utilizando ensaios específicos que em conjunto se complementam, trazendo a clareza necessária para um projeto eficiente.

PALAVRAS-CHAVE: Hélice Contínua Monitorada, Reforço de Fundação, Prova de Carga, PIT.

ABSTRACT: The foundation element is the structure responsible for transmitting superstructure loads to the ground. However, poor foundation performance in buildings due to the use of unsuitable materials is common during pile construction. Thus, foundation strengthening execution is necessary in order to reestablish the foundation of these buildings, thus intervening in the existing soil-structure system. The present paper aims to evaluate a technical solution for foundation strengthening at a construction site that presented fck below the required in design. Thus, SPT and PIT tests, as well as load tests and concrete technological control tests were used to propose solutions for foundation strengthening. Due to the lack of concrete strength in some piles, a foundation strengthening project was designed for piles that presented problems. Thus, an increase of 34 piles for foundation strengthening was necessary, of which 17 piles have a diameter of 0.4 m, 14 piles have a diameter of 0.6 m and 3 piles have a diameter of 0.7 m with length varying between 17 and 24 m. It appears that the most assertive recommendation is given by obtaining the greatest amount of information, in order to guarantee a foundation strengthening solution that aims at the good use of materials in an optimized way, using specific tests that together complement each other, bringing the clarity needed for an efficient design.

KEYWORDS: CFA pile, Foundation strengthening, Load test, PIT.

1 Introdução

A engenharia geotécnica está em constante evolução em função das exigências em obras cada vez mais grandiosas, assim, requerendo maiores capacidades de carga nas estacas. Para isso os métodos executivos de fundação precisam ser eficazes a fim de permitir a execução de estacas em situações mais adversas, como por exemplo, nível do lençol freático ao longo do fuste da estaca, solos muito moles, ou ao contrário, com alto índice de resistência à penetração, presença de matacões, etc. Desta forma, um importante avanço na área de fundações, foi o surgimento da estaca hélice contínua monitorada, que muito embora não tenha a capacidade de perfurar rocha, consegue superar diversas condições adversas à execução das estacas, permitindo assim, com o constante avanço da tecnologia de equipamentos, embutir a estaca em solos rijos, mesmo com a presença do lençol freático ao longo do fuste da estaca.

A ocorrência do mau desempenho de fundações profundas em construções devido a utilização de materiais inadequados são comuns na execução de estacas. Tornando necessária a utilização de reforços na fundação destas edificações, intervindo assim, no sistema solo-estrutura existente. O emprego de ensaios para a análise do desempenho (PIT e prova de carga estática) de elementos de fundação é de grande relevância para avaliar soluções de reforço utilizando fundações em estacas. A realização de ensaios *a priori* apresenta-se como uma solução econômica pela possibilidade de se trabalhar com menos sobra de materiais e serviços, ou mesmo no caso de evitar uma possível ruptura. O presente trabalho apresenta uma solução de reforço de fundação de uma obra que apresentou f_{ck} (Resistência característica do concreto à compressão) abaixo do requisitado em projeto. Assim, ensaios do tipo SPT (Standard Penetration Test) e PIT (Pile Integrity Test), bem como provas de carga e ensaios de controle tecnológico do concreto foram utilizados para propor a solução para o reforço de fundação da obra. Para a obra analisada, situada no município de São José dos Pinhais, PR, foi disponibilizado um equipamento CZM EM 800/24, com diâmetro máximo de 0,8 m e comprimento de 24 m. Sendo estes os limites para elaboração do reforço da fundação, foram analisados os resultados dos ensaios e assim encontrada a solução para o grave problema de falta de resistência do concreto das estacas.

2 Ensaios para Análise de Desempenho em Fundações Profundas

2.1 Pile Integrity Test (PIT)

O PIT (Pile Integrity Test) é um ensaio não destrutivo que consiste na propagação de ondas acústicas de baixo nível de deformação, com a finalidade de avaliar a integridade estrutural das estacas (Penna *et al.*, 1999). Segundo Penna *et al.* (1999) este ensaio é executado utilizando-se um martelo de mão com as extremidades revestidas de material resiliente, acelerômetro de alta sensibilidade e um coletor de dados PIT desenvolvido especificamente para coletar e armazenar os sinais de aceleração que serão convertidos em sinais de velocidade (Figura 1).



Figura 1. Execução do PIT

Ao bater o martelo no topo da estaca são produzidas ondas compressivas de impacto de baixa deformação. Quando a onda descendente encontra alguma anomalia, seja por variação de seção transversal ou qualidade do concreto, imediatamente é produzida uma onda ascendente refletida do ponto em que foi encontrada a anomalia. As reflexões subsequentes juntamente com os registros de velocidade, são plotados para análise e diagnóstico. O local do dano é verificado a partir da velocidade de onda característica do material da estaca ensaiada contra o tempo e a extensão deste dano por meio da grandeza das amplitudes de velocidades dispostas. O sinal de velocidade em oposição ao comprimento da estaca e tempo de propagação da onda compressiva de baixa intensidade, resulta de forma gráfica, os chamados “reflectogramas”. As estacas que apresentarem anomalia ao longo do fuste resultarão uma reflexão com amplitude de velocidade antecipada no local do suposto dano, enquanto que as estacas íntegras irão resultar apenas amplitudes de velocidade bem definidas de topo e ponta (Penna *et al.*, 1999). O PIT tem apresentado uma boa eficiência ao analisar a integridade de estacas empregadas como fundações de edifícios (Chai *et al.*, 2010; Haddad, 2010; Wang *et al.*, 2017).

Ao contrário da prova de carga estática (PCE), o PIT não é exigido pela ABNT (2019), sequer é normatizado no Brasil, seguindo assim, procedimentos básicos e normas internacionais. Dentre uma das vantagens deste ensaio, pode-se mencionar o baixo custo para a sua execução. Vale mencionar que o PIT deve ser executado em conjunto com outros ensaios de modo que um complemente o outro, pois o mesmo não é conclusivo, apenas indicativo.

2.2 Prova de Carga Estática (PCE)

Vargas (1990) descreve que a prática de abordar fundações por meio de prova de carga estática sobre estacas foi introduzida no Brasil pela Companhia Internacional de Estacas Frankignoul, através do IPT-SP (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo). O autor cita os ensaios históricos realizados pelo IPT em duas obras: em fevereiro de 1936, na Estação de Ferro Noroeste, Bauru e, em abril 1942, no Instituto de Resseguros do Brasil, no Rio de Janeiro. A prova de carga estática (PCE) consiste da aplicação de esforços estáticos à estaca com seu respectivo registro de deslocamentos. Estes esforços podem ser axiais, de compressão ou de tração, ou ainda, transversais. (ABNT, 2006).

A prova de carga estática tem grande relevância à engenharia de fundações, pois analisa o complexo conjunto solo-estaca e assim admite uma significativa redução nos coeficientes de segurança no cálculo das cargas admissíveis estabelecidas em projeto, desde que sejam executadas “a priori” e em quantidade suficiente. (Niyama *et al.*, 1998). Os autores ainda descrevem que a prova de carga estática é um ensaio “tensão x deformação” realizado no solo de estudo para receber solicitações, ou em uma estaca utilizada na fundação da obra em questão, ou em uma estaca executada especificamente para ser ensaiada, e neste caso poderá ser testada até a ruptura.

A prova de carga estática é o ensaio de campo que apresenta maior confiabilidade na determinação da capacidade de carga de uma estaca, bem como da avaliação do comportamento carga-recalque deste elemento. Consequentemente, os avanços mais significativos na área de projeto de fundações foram devido aos dados coletados a partir de provas de carga (Russo, 2012; Monteiro *et al.*, 2019).

3 Estudo de Caso

A obra analisada no presente estudo de caso está localizada na Rua Voluntários da Pátria em São José dos Pinhais, PR (Figura 2). A obra consiste da execução de um edifício residencial com 12 pavimentos. Foram realizados 3 ensaios de sondagem a percussão (Figura 3), embora os mesmos tenham sido interrompidos precocemente, sem que os critérios exigidos pela ABNT (2001) fossem atingidos, pode-se observar uma notória homogeneidade entre os ensaios realizados. Nos ensaios de sondagem a percussão, pode-se classificar os solos como silte, alternando entre silte argiloso e silte arenoso. No ensaio SP -02, identificou-se uma camada de argila com espessura de 2 m. O nível do lençol freático foi localizado a 2 m de profundidade. O valores dos índices de resistência a penetração (N_{SPT}) obtidos nos ensaios estão apresentados na Figura 4.



Figura 2. Localização da obra estudada.

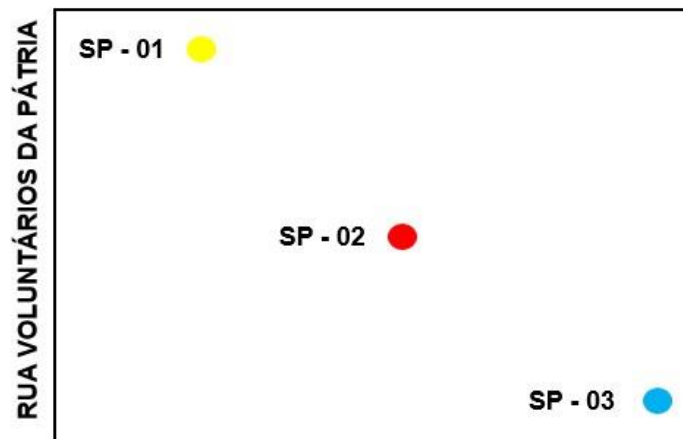


Figura 3. Localização dos ensaios de sondagem a percussão.

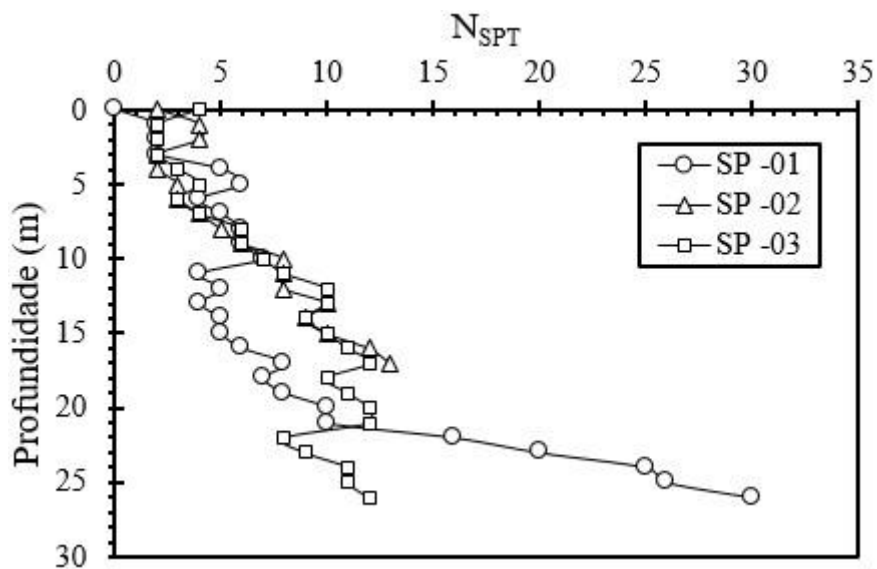


Figura 4. Valores de N_{SPT} ao longo da profundidade.

O equipamento utilizado para a execução das estacas do tipo hélice contínua monitorada foi o modelo EM800/24 da marca nacional CZM Foundation Equipment (Figura 5). O equipamento disponível para execução das estacas pesava 4,2 kN e tinha capacidade para executar estacas com até 24 m de profundidade e diâmetro máximo de 0,8 m. O equipamento apresenta uma capacidade de torque de 12.500 kgf.m e força de *pull down* de 20.000 kgf.m.



Figura 5. Equipamento utilizado na execução das estacas.

A concepção do projeto de fundações foi realizada a partir dos resultados de sondagem a percussão e às magnitudes das cargas dos pilares, assim, optou-se pela solução da fundação em estaca hélice contínua monitorada. Devido a presença do lençol freático superficial em conjunto com um solo mole, classificado como silte, apresentando baixos valores de N_{SPT} . A opção de utilizar cravação de estacas pré-moldadas foi descartada, por razão da magnitude das cargas e também porque seria necessária a utilização de emendas nas estacas, situação que tornaria a solução de fundação onerosa. O projeto de fundações consistiu de um total de 116 estacas, das quais 40 estacas com diâmetro de 0,4 m, 8 estacas com diâmetro de 0,5 m, 44 estacas com diâmetro de 0,6 m e 24 estacas com diâmetro de 0,7 m com comprimentos variando entre 11 e 24 m. A máxima carga de trabalho por pilar disposta no projeto estrutural é de 480 toneladas, sendo que devido a uma concentração de pilares com cargas pontuais elevadas em uma área reduzida, mediante à consequente necessidade de um grande número de estacas por pilar, fazendo-se necessária a utilização de um bloco para receber a carga de 9 pilares, definindo assim, um centro de gravidade comum a eles, resultando em uma carga total de 12600 kN, sendo necessário utilizar 12 estacas com diâmetro de 0,7 m e comprimentos de 24 m. O projeto de fundações é apresentado na Figura 6.

Durante a execução das estacas, verificou-se que o concreto de algumas estacas não apresentava um aspecto satisfatório. A cabeça das estacas apresentavam concreto que se segregava com facilidade mediante a contato manual. Tendo em vista a segregação do concreto utilizado nas estacas, uma série de ensaios de resistência a compressão do concreto foram realizados em laboratório (Figura 7). A partir dos resultados, verificou-se que alguns corpos de prova não atingiram a resistência especificada em projeto que era de 20 MPa, sendo esta a resistência mínima designada pela a ABNT (2010), ou seja, a norma vigente no período da obra. Buscando realizar o controle das fundações executadas, ensaios de PIT e prova de carga estática foram realizados.



Figura 6. Projeto de fundações do edifício residencial.

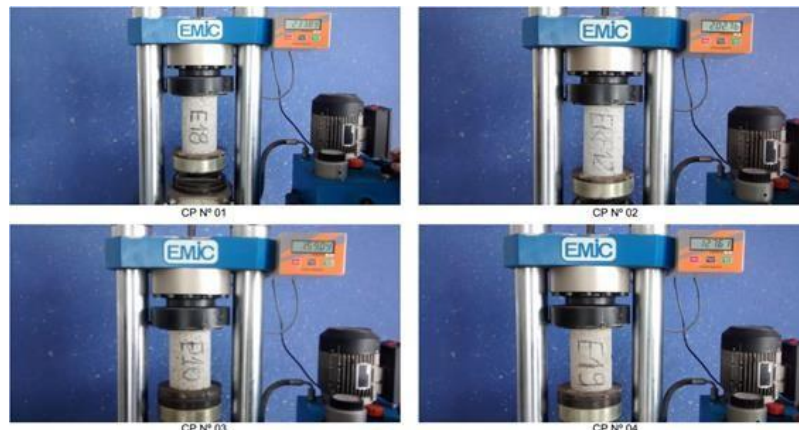


Figura 7. Corpos de prova submetidos a compressão.

Na campanha de ensaios preliminares para a realização do controle das fundações executadas, foram realizados ensaios PIT em 55 das 116 estacas executadas inicialmente na obra. Nas 55 estacas analisadas, observou-se que 14 estacas apresentaram variações de impedância, os demais elementos ensaiados nesta campanha apresentaram-se íntegros, com alargamentos ou pequenas variações de impedância, considerando-se assim que estes elementos apresentavam um desempenho estrutural regular. As Figuras 8 e 9 apresentam exemplos de estacas ensaiadas com fuste íntegro e estacas que apresentam redução de impedância.

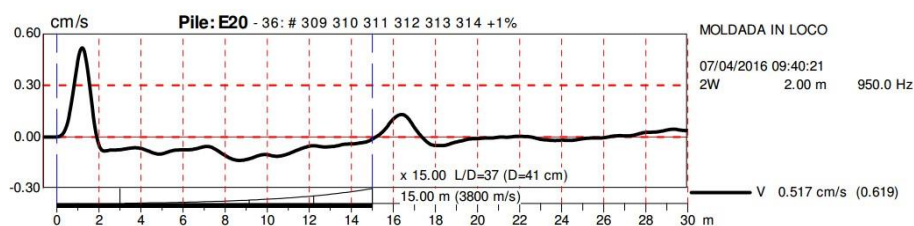


Figura 8. Estaca com fuste íntegro.

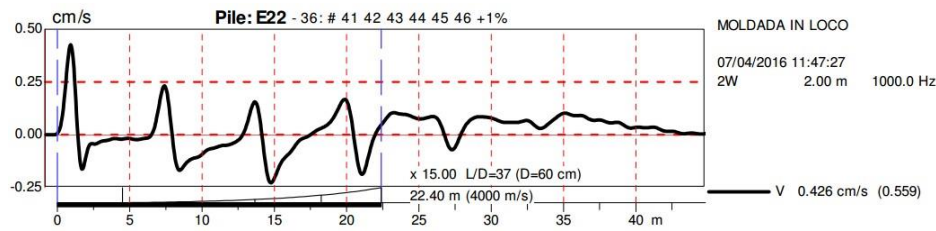


Figura 9. Estaca com redução de impedância.

As curvas representam a média dos sinais monitorados. No eixo horizontal apresenta-se uma escala de comprimento, obtida a partir da multiplicação dos tempos pela velocidade de propagação da onda. A origem de cada curva corresponde ao ponto onde foi instalado o acelerômetro. Os comprimentos totais são constantes. A velocidade de onda foi aferida para algumas das estacas ensaiadas, tendo sido encontrados valores entre 3.700 e 4.400 m/s. Para as demais estacas foi adotada a velocidade média de propagação da onda no concreto igual a 4.000m/s. O sinal de velocidade do ensaio de integridade PIT apresenta reflexões sempre que há variações na impedância da estaca. A impedância consiste na relação entre três características da estaca: área de seção, densidade e módulo de elasticidade. Quando ocorre uma redução de impedância na estaca, há duas possibilidades: uma heterogeneidade de qualidade do concreto ou um estreitamento efetivo da seção. Quando ocorre um aumento de impedância, geralmente está associado a um alargamento da seção da estaca. Os ensaios analisados apresentaram as duas situações descritas anteriormente, exibindo uma redução de impedância na maioria dos casos. Alguns elementos não apresentaram uma identificação da resposta de ponta devido a uma atenuação do sinal decorrente da dissipação de energia. Em seguida, uma prova de carga estática foi realizada para avaliar o comportamento carga x deslocamento das estacas executadas. A estaca (E57) submetida ao maior carregamento da obra foi escolhida para a realização do ensaio. Esta estaca possui um comprimento total de 24 m e diâmetro de 0,7 m. O concreto empregado nesta estaca apresentou uma resistência a compressão de 27,6 MPa. A prova de carga estática foi realizada de acordo com as indicações da ABNT (2006), assim, a mesma foi submetida a uma carga máxima de 2000 kN, pois a sua carga de trabalho é de 1000 kN. A Figura 10 exhibe a curva carga x recalque da estaca E57.

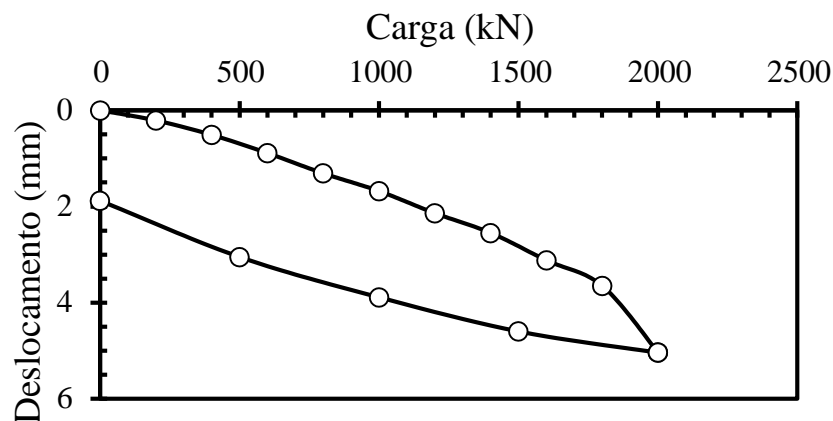


Figura 10. Curva carga x recalque – Estaca E57.

Após a constatação da falta de resistência do concreto utilizado em algumas das estacas, foi elaborado um projeto de reforço para as situações com problemas. Ocorrendo, assim, um acréscimo de 34 estacas referentes à reforço, das quais 17 estacas possuem diâmetro de 0,4 m, 14 estacas possuem diâmetro de 0,6 m e 3 estacas possuem diâmetro de 0,7 m com comprimentos variando entre 17 e 24 m. Uma segunda campanha de ensaios de PIT foi realizada nas 34 estacas executadas para o reforço das fundações, e mesmo com todo o critério aplicado neste momento com a qualidade do concreto e execução, 14 estacas apresentaram alguma anomalia. O reforço de fundações só foi elaborado após execução da prova de carga estática devido a interpretação de dados. Desta forma, foi possível aumentar em torno de 25% a carga admissível da estaca através da extrapolação de dados, o que possibilitou a otimização do projeto e sua consequente economia.

4 Conclusões

Mediante uma situação indesejada, como, neste caso, a constatação da falta de resistência no concreto das estacas, a recomendação mais assertiva é se prover do maior número de informações com o intuito de garantir uma solução de reforço que vise o bom uso dos materiais sem excessos, nem escassez. Para alcançar esse objetivo, é necessária a realização de ensaios específicos que em conjunto se complementam e trazem a clareza necessária para um projeto eficiente. De posse de todas as informações, tornou-se possível realizar o mapeamento das estacas que apresentam resistência característica do concreto insatisfatória, promovendo o acréscimo da carga admissível nas estacas a partir da inclusão do reforço de fundações e assim, garantindo um projeto de reforço das estacas de maneira otimizada. Sendo a redução das incertezas, o principal benefício, possibilitando a utilização de uma fundação segura. Além disso, verifica-se a importância da realização de ensaios de desempenho de fundações como o PIT e prova de carga estática, pois os mesmos, foram essenciais para a tomada de decisão na elaboração do projeto de reforço de fundações.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro na concessão de bolsa de doutorado (GM / GD-140423 / 2017-6).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 12131. *Estacas- Prova de carga estática: método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001). NBR 6484. *Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Chai, H. Y., Phoon, K. K., Zhang, D. J. (2010). Effects of the Source on Wave Propagation in Pile Integrity Testing. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(9), p.1200–1208.
- Haddad, A. (2010). Numerical Simulation for Wave Propagation in Pile Integrity Test. In: GeoShanghai International Conference, Shanghai. Proceedings... ASCE. V.1, p. 224-231.
- Monteiro, F. F., Moura, A. S., Aguiar, M. F. P. (2019). An Alternative Approach to the Executive Control of Root Piles. *Soils & Rocks*, 42(3), p. 289-299.
- Niyama, S., Aoki, N., Chamecki, P. R., (1998) Verificação de desempenho. In: *HACHICH, W. et al. Fundações: teoria e prática*. São Paulo: Pini, p. 723-751.
- Penna, A. S. D., Caputo, A. N., Maia, C. Palermo, G. Gotlieb, M. Paraíso, S.C. Alonso, U.R. (1999) *A estaca hélice contínua – a experiência atual*. 1ª ed., ABMS/ABEF/IE, São Paulo, SP, 162p.
- Russo, G. (2012). Experimental investigations and analysis on different pile load testing procedures. *Acta Geotechnica*, 8(1), p. 17-31.
- Vargas, M. (1990) Provas de carga em estacas: uma apreciação histórica. *Revista Solos e Rochas*, São Paulo, v.13, n. único, p. 3-12.
- Wang, W. D., Li, Q., Hu, Y., Shi, J. W., Ng, C. W. W. (2017) Field Investigation of Collapse of a 13-Story High-Rise Residential Building in Shanghai. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 31(4), doi:10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001005.