



Avaliação da Capacidade de Carga de Estacas Escavadas Por Intermédio de Provas de Carga Estática

Mariana Fantinel Cirolini

Discente do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil,
cirolini.mariana@gmail.com

Patricia Rodrigues Falcão

Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFSM, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, falcão.rodrigues.patricia@gmail.com

Magnos Baroni

Professor, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, magnos.baroni@gmail.com

Luiz Henrique Ferrador Ben

Discente do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil,
luizhfb@hotmail.com

Luigi Gomes Tavares

Discente do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil,
goomes_8@hotmail.com

RESUMO: Um estudo abrangente sobre o comportamento de estacas escavadas com trado mecânico, de 30 cm de diâmetro e sem o uso de fluido estabilizante, foi realizado. Essas estacas foram submetidas a ensaios de prova de carga estática em um Campo Experimental de Engenharia Geotécnica localizado no município de Cruz Alta, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Para estimar a capacidade de carga, foram utilizadas sondagens SPT realizadas no local. Nas provas de carga, três estacas idênticas com 0,30 m de diâmetro e 6,00 metros de comprimento foram ensaiadas. A curva carga versus recalque apresentou uma tendência de ruptura física. A determinação da possível carga de ruptura das estacas foi realizada utilizando a média entre os valores encontrados nos ensaios e os valores encontrados pelo Método da rigidez. Em relação aos métodos semiempíricos, o método original proposto por Décourt e Quaresma (1978) foi o que mais se aproximou dos resultados de capacidade de carga total encontrados nos ensaios. No entanto, em relação à capacidade de carga total, todos os métodos foram conservadores. No método de Aoki e Velloso (1975), a correlação entre os fatores de correção que mais se adaptaram aos valores encontrados nos ensaios de PCE seria $F1: 3,58 * F2$. Quanto aos fatores α e β do método de Décourt e Quaresma (1978), resultariam em $\alpha: 0,68$ e $\beta: 1,34$. O estudo demonstrou que os métodos semiempíricos subestimaram a verdadeira resistência do conjunto solo e elemento de fundação. Esse fato teria como consequência projetos mais onerosos.

PALAVRAS-CHAVE: Capacidade de Carga, Estacas escavadas sem fluido estabilizante, Prova de Carga Estática.

ABSTRACT: A comprehensive study on the behavior of auger-cast piles, with a diameter of 30 cm and without the use of stabilizing fluid, was conducted. These piles were subjected to static load tests at an Experimental Geotechnical Engineering Field located in the municipality of Cruz

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





Alta, Rio Grande do Sul, Brazil. To estimate the load-bearing capacity, Standard Penetration Test (SPT) soundings were performed on-site. In the load tests, three identical piles with a diameter of 0.30 m and a length of 6.00 meters were tested. The load versus settlement curve exhibited a tendency towards physical failure. The determination of the possible load at failure of the piles was calculated by taking the average of the values obtained in the tests and those found using the stiffness method. Concerning the semi-empirical methods, the original method proposed by Décourt and Quaresma (1978) was the one that came closest to the total load-bearing capacity results obtained in the tests. However, regarding the total load-bearing capacity, all methods were conservative. In the Aoki and Velloso method (1975), the correlation between the correction factors that best suited the values obtained in the static load tests would be $F1: 3.58 * F2$. As for the α and β factors of the Décourt and Quaresma method (1978), they resulted in $\alpha: 0.68$ and $\beta: 1.34$. The study demonstrated that the semi-empirical methods underestimated the true resistance of the soil and foundation element assembly. This fact would lead to more expensive projects.

KEYWORDS: Load Capacity, Unstable Fluid-Free Excavated Piles, Static Load Test.

1. Introdução

Na prática de fundações brasileiras, a estimativa de capacidade de carga é realizada por intermédio de métodos semiempíricos. Entretanto, apesar da obtenção direta da capacidade de carga de um determinado sistema de fundações mediante ao ensaio de prova de carga, não é frequente a sua realização fora das grandes metrópoles em obras de elevada complexidade. Para isso, utiliza-se métodos semiempíricos, nos quais, no Brasil, os mais utilizados são os métodos Aoki Velloso (1975) e Décourt Quaresma (1978). Tais métodos levam em consideração o ensaio *Standard Penetration Test* (SPT), assim como os parâmetros apresentados pelos autores, como os tipos de solo, estaca e o método executivo.

De acordo com Scallet (2011), a prova de carga é o método que mais se aproxima da realidade ao avaliar o comportamento de um elemento de fundação. No entanto, apesar de fornecer resultados realistas, ela é raramente utilizada em cidades do interior, onde os métodos semiempíricos são mais comuns sob essas condições (EICHELBERGER, 2022). Isso pode ser atribuído a uma série de fatores, como a disponibilidade de recursos técnicos e financeiros em obras de pequeno porte, tornando os métodos semiempíricos mais práticos e acessíveis para a análise da capacidade de carga em projetos de fundações nesses locais.

É importante destacar que os métodos semiempíricos podem ter tendência a superestimar a quantidade de elementos de fundação, tornando a obra mais onerosa ou podem subestimar a capacidade de carga, resultando em patologias em obras civis. Nesse contexto, torna-se notória a importância da execução de ensaios de prova de carga estática, uma vez que esses ensaios possibilitam a avaliação do recalque sob uma carga específica, bem como a determinação da carga de ruptura. Esses ensaios são preconizados pelas normas NBR 6122 (ABNT, 2022) e NBR 16903 (ABNT, 2020), fornecendo um padrão de referência para a análise e projeto de fundações.

De acordo com Schulze (2013), as estacas escavadas são um tipo de fundação profunda que é executado *in-loco* por meio da perfuração do terreno e remoção do material. O furo proveniente da escavação pode ser revestido ou não, variando em termos de revestimento, com algumas estacas utilizando fluidos para estabilização, como a lama bentonítica. Alguns exemplos incluem estacas tipo broca, Strauss, hélice contínua e estacas injetadas.

Diante do exposto, o presente artigo teve como objetivo comparar os resultados obtidos em ensaios de prova de carga estática com os resultados dos métodos semiempíricos de Aoki Velloso (1975) e o método Décourt Quaresma (1978) para estacas escavadas do tipo trado mecânico, sem

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



fluido estabilizante, com 0,30 cm de diâmetro e 6,00 m de comprimento. Essas estacas foram executadas no Campo Experimental de Engenharia Geotécnica do município de Cruz Alta, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Tal comparação é de suma importância para aferir a confiabilidade de ambos os métodos apresentados.

2. Materiais e Métodos

2.1 Local de ensaio

O Campo Experimental de Engenharia Geotécnica onde foram conduzidos os ensaios de prova de carga em estacas escavadas está situado no município de Cruz Alta, no noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Este campo foi estabelecido por meio de uma colaboração entre a Universidade de Cruz Alta (Unicruz) e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), com o suporte de uma empresa local especializada na prestação de serviços na área de geotecnia.

2.2 Ensaio SPT

O ensaio de SPT (*Standard Penetration Test*) é padronizado de acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2020) e tem como objetivo a obtenção do índice de resistência à penetração (N_{SPT}) do solo a cada metro de perfuração, além de estimar o nível do lençol freático e caracterizar o tipo de solo em relação à profundidade do ensaio. No Brasil, o SPT é o sistema de sondagem amplamente utilizado, devido, principalmente, ao seu baixo custo de execução.

Com a finalidade de obter informações sobre as características do solo onde os ensaios seriam realizados, foram conduzidos quatro ensaios de SPT. O primeiro ensaio, denominado SPT 01, foi realizado a uma distância aproximada de 50 metros do campo experimental. Os três ensaios subsequentes, SPT 02, SPT 03 e SPT 04, foram executados no local onde as estacas foram implantadas. A partir dos resultados desses ensaios, observou-se que a primeira camada de solo, com 7,50 metros de profundidade, consiste em material de baixa resistência. Além disso, constatou-se que o índice de resistência à penetração aumenta com a profundidade, conforme demonstrado na Figura 1.

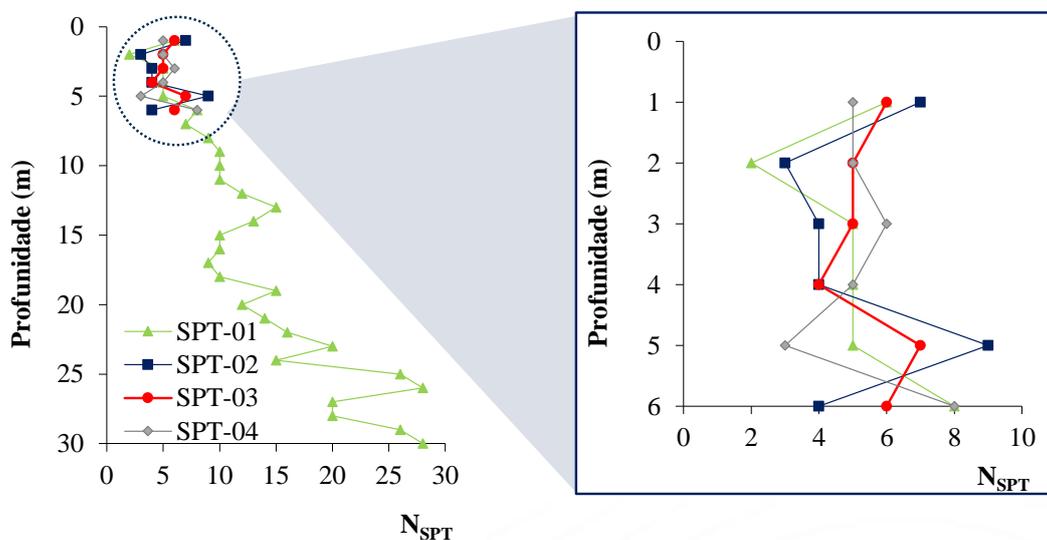


Figura 1. Resultados do ensaio SPT.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



2.3 Execução das Estacas Escavadas com trado mecânico, sem fluido estabilizante

No total, 23 estacas foram implementadas, todas com um diâmetro nominal de 0,30 metros. Dentre essas, dez foram destinadas como estacas de reação, com um comprimento de 6,00 metros, enquanto nove estavam designadas como estacas de teste, com 3,00 metros de comprimento, e três eram estacas de compressão, cada uma com 6,00 metros de comprimento. A escavação das estacas foi realizada com o auxílio de um caminhão equipado com um trado helicoidal que estava conectado a um redutor hidráulico acoplado a um guindaste. A disposição das estacas no campo experimental pode ser observada na Figura 2(a). As provas de carga estática em estacas escavadas de 6,00 metros de comprimento foram conduzidas em conformidade com a NBR 12131 (ABNT, 2019), empregando o método de carregamento lento. Tanto as estacas de reação quanto as de compressão submetidas aos ensaios possuíam 6,0 metros de comprimento. A medição dos deslocamentos das estacas foi realizada por meio de três deflectômetros analógicos. Os incrementos de carga aplicados nas estacas escavadas foram implementados por intermédio de um sistema composto por uma placa de apoio nivelada e um macaco hidráulico. A Figura 2(b) ilustra a representação da execução do ensaio de prova de carga estática.



Figura 2. Disposição das estacas no campo experimental.

2.4 Métodos Semiempíricos

Após a realização dos ensaios SPT e a geração dos relatórios correspondentes, a capacidade de carga das estacas escavadas foi estimada utilizando métodos semiempíricos. No método proposto por Aoki e Velloso (1975), foram aplicados os coeficientes de entrada k e α , conforme sugerido pelos autores em 1975, juntamente com os coeficientes F1 e F2 recomendados por Monteiro (1997). A correlação que resultou na correção mais adequada para os valores obtidos nos ensaios de Prova de Carga Estática (PCE) foi $F1: 3,58 * F2$. Por outro lado, no método Décourt e Quaresma (1978), adaptado por Décourt (1996), os valores de entrada para seguiram $\alpha: 0,68$ e $\beta: 1,34$, conforme as recomendações dos autores originais.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



3 Resultados Obtidos

3.1 Capacidade de Carga – Curva carga *versus* recalque

Através das três estacas, foi gerada a curva carga *versus* recalque, como demonstrado na Figura 3. Estas estacas foram designadas como E1, E2 e E3. Durante a realização do ensaio, os carregamentos aplicados variaram de 0 a 220 kN para as estacas E1 e E2, e de 0 a 240 kN para a estaca E3, com incrementos de 20 kN por estágio. A carga máxima aplicada foi de 240 kN na estaca E3. Como resultado, o recalque médio gerado pelas três estacas ensaiadas foi de 50,16 mm. O processo de descarregamento foi realizado em estágios, incluindo 165 kN, 110 kN, 55 kN e 0 kN para as estacas E1 e E2. Quanto à estaca E3, o descarregamento envolveu cargas de 180 kN, 120 kN, 60 kN e 0 kN.

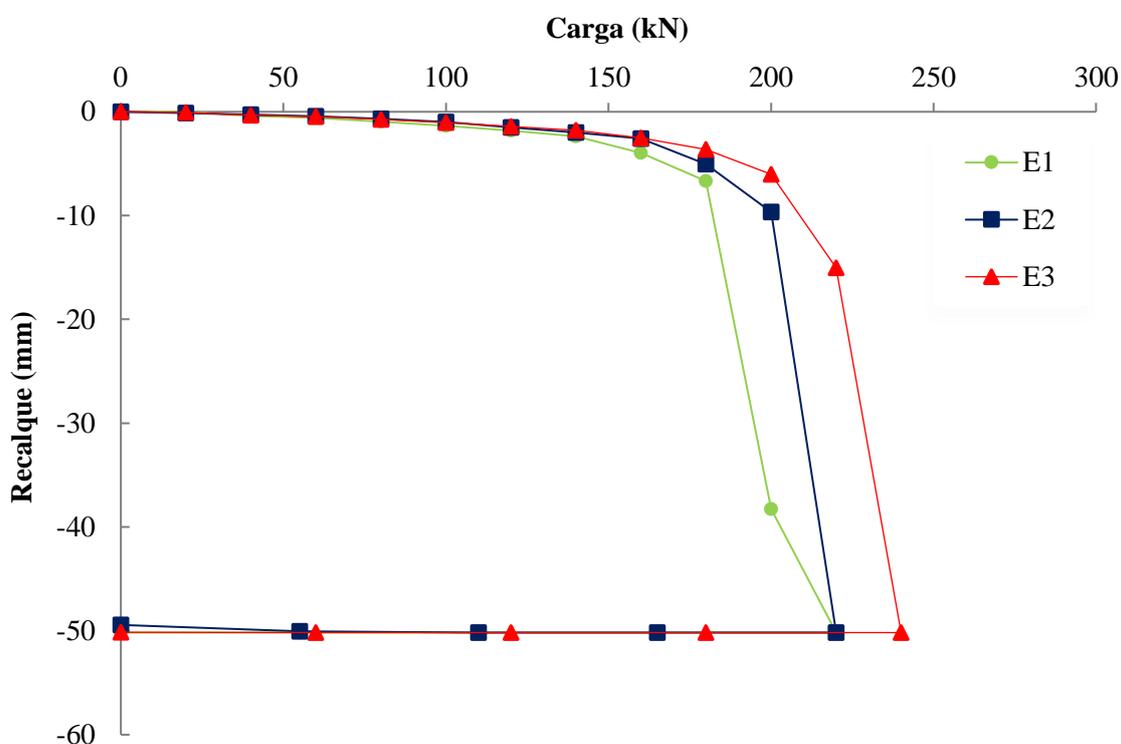


Figura 3. Curva carga *versus* recalque das três estacas ensaiadas.

Através da análise da curva carga *versus* recalque das três estacas ensaiadas, observou-se que o solo exibiu um comportamento elástico com pequenas deformações, aproximadamente 2% do diâmetro da estaca, até a carga de 180 kN. Após o estágio de 180 kN, os recalques tornaram-se mais evidentes, indicando um comportamento plástico do material. Ao comparar os resultados dos três testes de carga, a média dos carregamentos foi de 226,67 kN, conforme pode ser observado mediante a Figura 4 (a).

À luz do método da Rigidez (GR) proposto por Décourt (1998), foi realizada uma avaliação da extrapolação das PCE das três estacas analisadas. A análise dos resultados revelou que, embora as estacas escavadas não sejam normalmente suscetíveis a rupturas físicas, no caso estudado, o gráfico de rigidez indicou uma tendência linear, sugerindo a possibilidade de uma potencial

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



ruptura. O gráfico também indicou que a estaca resistiu puramente por atrito lateral. Os resultados finais compilados são apresentados na Figura 4 (b).

Na Figura 4(c), são apresentados os valores obtidos por meio dos ensaios de PCE, pelo Método GR e a média entre os ensaios e o método citado. Ao comparar os resultados das máximas cargas atingidas nos ensaios com os valores obtidos pelo Método GR, observa-se uma notável semelhança, com uma variação máxima, em módulo, de aproximadamente 4,39%. Essa semelhança na extrapolação sugere que as estacas suportaram carregamentos próximos ao seu limite. Por conseguinte, a média entre os ensaios e o Método GR demonstrou-se bastante próxima para todas as estacas analisadas.

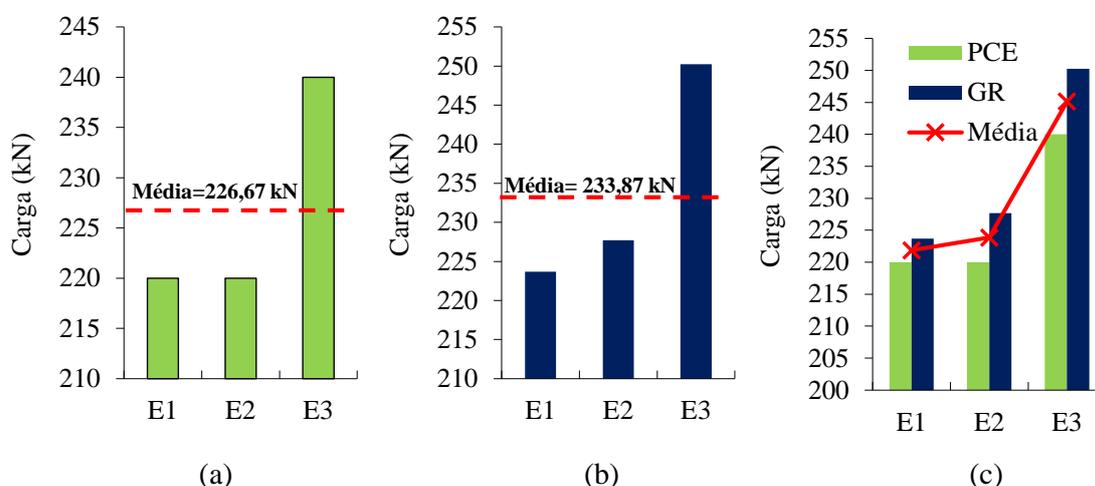


Figura 4. Máximas cargas admissíveis provenientes das provas de cargas estáticas.

3.2 Capacidade de Carga - Métodos Semiempíricos

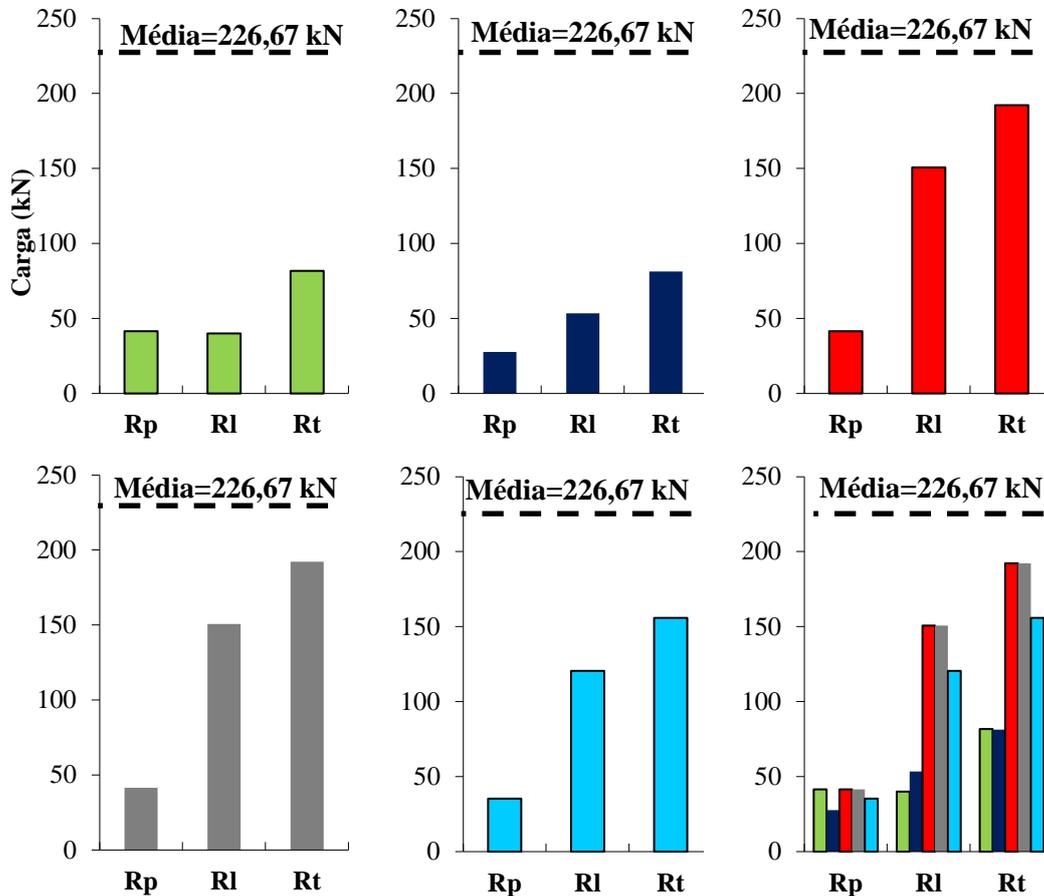
A capacidade de carga foi estimada para as estacas de 6,00 metros de comprimento por meio dos métodos semiempíricos de Aoki e Velloso (1975) e de Décourt e Quaresma (1978), conforme apresentado na Figura 5. Para isso, analisou-se a média dos valores de N_{SPT} provenientes dos relatórios de sondagem anteriormente citados (Figura 1).

A partir dos cálculos propostos por cada método semiempírico, os valores encontrados para a resistência total (R_t), que corresponde à soma das resistências de ponta (R_p) e lateral (R_l), são apresentados na Figura 5. A análise dos resultados permitiu observar que o método de Décourt e Quaresma (1978) foi o que mais se aproximou dos valores encontrados nas provas de carga estática, apresentando uma diferença de 16,49% em relação aos valores das PCE.

Para o método de Aoki e Velloso (1975), a resistência total obtida por este método, quando comparada aos resultados das provas de carga estática, foi 64,52% menor. No caso do método de Aoki e Velloso (1975) adaptado por Laprovitera (1988) e Benegas (1993), os resultados foram 64,73% menores do que os obtidos nas PCE. Por fim, no método de Décourt e Quaresma (1978) adaptado por Décourt (1996), os resultados foram 32,29% menores do que os obtidos nas provas de carga estática.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.





- Aoki e Velloso (1975): adaptado por Aoki e Alonso (1991)
- Aoki e Velloso (1975): adaptado por Laprovitera (1988) e Benegas (1993)
- Décourt e Quaresma (1978)
- Décourt e Quaresma (1978)
- Décourt e Quaresma (1978): adaptado por Décourt (1996)
- Média PCE

Figura 5. Capacidades de carga estimadas pelos métodos semiempíricos.

4 Considerações finais

O presente artigo teve como objetivo comparar os resultados obtidos em ensaios de prova de carga estática com os resultados dos métodos semiempíricos aplicados a estacas escavadas com trado mecânico sem uso de fluido estabilizante. A comparação dos resultados obtidos em três estacas do campo experimental revelou divergências notáveis, destacando, sobretudo, o fato de que os métodos semiempíricos apresentaram resultados mais conservadores.

O método de Décourt e Quaresma (1978) foi o que mais se aproximou dos resultados das provas de carga estática. Enquanto isso, os demais métodos, incluindo o método Aoki e Velloso (1975), o método Aoki e Velloso (1975) adaptado por Laprovitera (1988) e Benegas (1993), e o

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.





método Décourt e Quaresma (1978) adaptado por Décourt (1996), obtiveram resultados drasticamente diferentes quando comparados às PCE.

Isso ressalta que, na geotecnia brasileira, é comum o uso de métodos semiempíricos para estimar a capacidade de carga de fundações de estacas. Portanto, enfatiza-se a importância da realização de ensaios de prova de carga a fim de avaliar a verdadeira resistência das estacas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) pela bolsa de estudos da primeira autora, a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos da segunda autora, ao Fundo de Incentivo à Extensão (FIEEX) a bolsa de estudos do quarto autor, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) pela bolsa de estudos do quinto autor, e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) pelo suporte para o desenvolvimento das pesquisas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 12131. *Estacas - Prova de carga estática: método de ensaio*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 6484. *Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio*. Rio de Janeiro.

Danziger, B. R., Lopes, F. R. (2021) *Fundações em Estacas*, 1. Ed., LTC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 215 p.

Eichelberger, L. V. (2022) *Avaliação da Capacidade de Carga Geotécnica em Estacas a partir dos Métodos Semiempíricos e Provas de Carga Estáticas*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, 108 p.

Scallet, M. M. (2011) *Comportamento de Estacas Escavadas de Pequeno Diâmetro em Solo Laterítico e Colapsível da Região de Campinas/SP*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 166 p.

Schulze, T. (2013) *Análise da Capacidade de Carga de Estaca Escavada Instrumentada de Pequeno Diâmetro por Meio de Métodos Semi-Empíricos*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo 168 p.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.

