

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



Variabilidade dos Resultados de Dimensionamento de Fundação em Hélice Contínua a Partir de Métodos Semi-empíricos e PCE em Ivaiporã-PR

Eduardo de Castro Bittencourt
Engenheiro civil, UFRN, Cidade de Goiás, Brasil, eng.castrobittencourt@gmail.com

Thaís Karen Arruda Fonseca
Engenheira Civil, IFES, Itajaí, Brasil, thaisarruda102@gmail.com

Roberto Ruani
Engenheiro Civil, UFSM, Mondai, Brasil, ruannimpresa@protonmail.com

RESUMO: O presente trabalho busca comparar resultados de previsão de capacidade de carga de métodos semiempíricos com aqueles obtidos a partir de PCE, a fim de verificar a variabilidade e aplicabilidade dos métodos semiempíricos no local de estudo. Como metodologia foram analisadas duas provas de carga executadas na cidade de Ivaiporã, estado do Paraná. Os métodos semiempíricos utilizados foram os de Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978) e Teixeira (1996), e os a partir de PCE foram os critérios da NBR 6122/19, Davisson (1972) e Décourt (1993). Como resultados foi observado que o critério de Aoki e Velloso (1975) foi o mais conservador, enquanto que o critério de Décourt e Quaresma (1978) apresentou maior convergência com os resultados a partir de PCE.

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

ABSTRACT: The present work seeks to compare the results of predicting the carrying capacity of semi-empirical methods with those obtained from PCE, in order to verify the variability and applicability of semi-empirical methods at the study site. As a methodology, two load tests carried out in the city of Ivaiporã, state of Paraná, were analyzed. The semi-empirical methods used were those of Aoki and Velloso (1975), Décourt and Quaresma (1978) and Teixeira (1996), and those based on PCE were the criteria of NBR 6122/19, Davisson (1972) and Décourt (1993). As a result, it was observed that the criterion of Aoki and Velloso (1975) was the most conservative, while the criterion of Décourt and Quaresma (1978) showed greater convergence with the results from PCE.

KEYWORDS: Static load test, Continuous flight auger pile, Foundation dimensioning.

1 Introdução

O dimensionamento de fundação profunda pode ser realizado de diversas maneiras, entre os métodos destacam-se os critérios semiempíricos baseados a partir de sondagens SPT, além daqueles norteados por prova de carga (PCE). No Brasil os critérios semiempíricos mais utilizados são os de Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978) e Teixeira (1996), enquanto que dimensionamentos baseados em PCE destacam-se os critérios constantes na NBR 6122/19, Davisson (1972) e Décourt (1993).

No que tange a aplicabilidade dos critérios semiempíricos, mesmo sendo usuais a nível nacional é preciso ter cautela na utilização, visto que o desenvolvimento das metodologias foram baseadas em resultados de ensaios geotécnicos em diversas regiões. Danziger e Lopes (2021) inclusive destacam que o método de Aoki e Velloso por exemplo foi criado a partir de correlações com resultados de prova de carga, ensaios de cone (CPT) e sondagens SPT.

Nesta perspectiva, faz-se importante verificar a aplicabilidade das metodologias semiempíricas a depender do local do projeto. Cintra e Aoki (2010) por exemplo citam que novos valores para os parâmetros

intrínsecos às fórmulas vem sendo desenvolvidos para locais específicos, como a proposição de Alonso (1980) para aplicações na região de São Paulo e Danziger e Velloso (1986) para a cidade do Rio de Janeiro.

Além das atualizações com novos valores dos parâmetros nas formulações a fim de melhorar a aplicabilidade dos critérios em determinadas regiões, outra maneira voltada para este fim é a comparação dos resultados semi-empíricos com provas de carga no local do projeto de fundação. Neste aspecto podem ser citados trabalhos de Schulze (2013), Bittencourt (2018), Bittencourt et al. (2018) e Oliveira et al. (2018), com estudos realizados nas cidades de Campinas-SP, Natal-RN, Recife-PE e Goiânia, respectivamente.

É nesta linha de raciocínio que a presente pesquisa é embasada, na comparação dos dimensionamentos da capacidade de carga a partir de critérios semi-empíricos e prova de carga, a fim de verificar a aplicabilidade dos métodos de Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978) e Teixeira (1996) na cidade de Ivaiporã, estado do Paraná.

2 Estimativa da Capacidade de Carga em Estacas por Meio de Métodos Semi-empíricos Método de Aoki e Velloso

(1975)

2.1

Este método foi inicialmente concebido para dimensionamento com uso dos resultados de ensaio CPT, mas foi ajustado para ser correlacionado com o ensaios SPT. A capacidade de carga da estaca é dada pela soma da resistência lateral e de ponta, em que a primeira é representada pela Equação 1 a seguir.

$$R_l = \frac{\alpha K N_l U \Delta_l}{F_2} \quad (1)$$

Em que α é um coeficiente que expressa a relação entre as resistências de ponta e lateral no local do ensaio de penetração estática; N_l e o valor de golpes existentes em cada camada atravessada pela estaca; F_2 um coeficiente de correção aplicável na resistência lateral da estaca; K e α são em função do tipo de solo e do tipo de estaca e ΔL o comprimento de estaca analisado. A resistência de ponta por sua vez é dada pela Equação 2 abaixo.

$$R_p = \frac{K N_p}{F_1} \cdot A_p \quad (2)$$

Em que K é um coeficiente de conversão da resistência da ponta do cone; F_1 o coeficiente de correção aplicável na resistência de ponta da estaca; N_p o valor médio de golpes aplicável na ponta da estaca e A_p a área da ponta da estaca.

2.2 Método de Décourt e Quaresma (1978)

Este método faz uma estimativa da capacidade de carga baseado exclusivamente em valores de N_{spt} de sondagens à percussão, em que a parcela de atrito lateral é calculada a partir da Equação 3 a seguir.

$$R_l = \beta \cdot (3,33 N_l + 10) \quad (3)$$

Em que β é um coeficiente representativo do tipo de estaca e tipo de solo do local e N_l o índice de resistência a penetração ao longo do fuste da estaca. Enquanto que a resistência de ponta é dada pela Equação 4 abaixo.

$$R_p = \alpha \cdot C \cdot N_p \cdot A_p \quad (4)$$

Onde α é um coeficiente em função do tipo de estaca e do tipo de solo; N_p o valor médio de golpes aplicável na ponta da estaca sendo a média entre os valores de N_{spt} de ponta, do valor imediatamente acima e do valor imediatamente abaixo; C o coeficiente que relaciona a resistência de ponta com o N_{spt} em função do tipo de solo e A_p a área da ponta da estaca.

2.2 Método de Teixeira (1996)

Nesta última metodologia, a resistência total do elemento de fundação é mensurada a partir da Equação 5 a seguir.

$$R_t = \alpha \cdot N_p \cdot A_p + \beta \cdot N_l \cdot U \cdot L \quad (5)$$

Em que α é um parâmetro que se relaciona com o tipo de solo e estaca, N_p é o índice de resistência a penetração médio considerando faixa de valores 4 diâmetros acima da ponta da estaca e um diâmetro abaixo; A_p a área de ponta; β um parâmetro que relaciona com o tipo de estaca, sem distinção de solo; N_l o índice de resistência a penetração médio do fuste; U o perímetro e L o comprimento.

3 Prova de Carga Estática em Estaca (PCE)

Conforme Velloso e Lopes (2012), a realização de PCE tem dois objetivos, dimensionamento da carga admissível do sistema de fundação ou verificar o desempenho do estaqueamento. Neste segundo caso destaca-se que as PCEs podem ser realizadas ao longo da execução do estaqueamento, visto que os resultados das PCEs não serão utilizado para fins de dimensionamento. Destaca-se que nesta metodologia de dimensionamento da carga admissível, o fator de segurança aplicado é menor que aqueles utilizados nos métodos semi-empíricos.

No presente trabalho serão utilizados os critérios de Davisson (1972), NBR 6122/19 e Décourt (1993) para dimensionamento da carga admissível e comparação com os resultados de critérios semiempíricos. Tais critérios a partir de PCE serão apresentados no próximos itens.

3.1 Método de Davisson (1972)

Nesta metodologia, a carga de ruptura convencionada é aquela referente ao ponto de carga em que uma reta intercepta a curva carga x recalque. Para desenvolvimento desta reta utiliza-se os parâmetros comprimento e diâmetro da estaca, módulo de elasticidade do material da estaca, além da área da seção transversal. A Figura 1 abaixo ilustra de maneira didática a representação desta reta, com destaque para a equação da reta e o ponto que intercepta a curva carga x recalque.

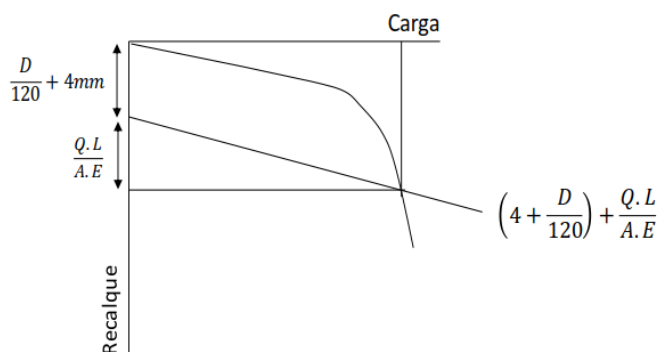


Figura 1. Metodologia de Davisson (1972) para dimensionamento da carga de ruptura. **Método da NBR 6122/19**

3.2

Este critério é similar ao de Davisson (1972) pois também se baseia numa carga de ruptura a qual é mensurada a partir do ponto em que uma reta intercepta a curva carga x recalque. A Figura 2 a seguir, consante na NBR 6122/19, ilustra este método com a respectiva equação da reta.

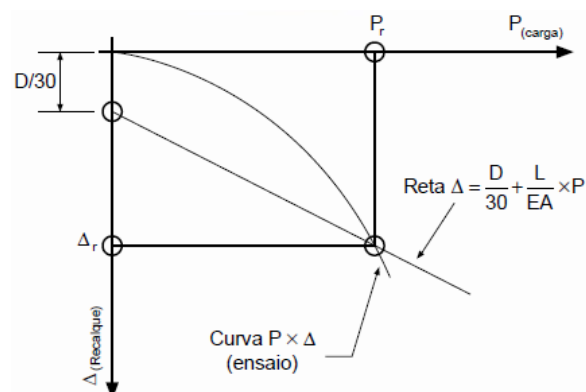


Figura 2. Metodologia constante na NBR 6122/19 para dimensionamento da carga de ruptura. **Método de Décourt (1993)**

3.3

Décourt (1993) cita que a carga de ruptura é dada por um carregamento o qual resulte num recalque correspondente e 10% o valor do diâmetro da estaca. A Figura 3 abaixo apresenta uma aplicação desta metodologia na cidade de Natal, constante em Bittencourt (2018), para fundações em grupo de estacas e radier estaqueado com estacas de 25cm de diâmetro.

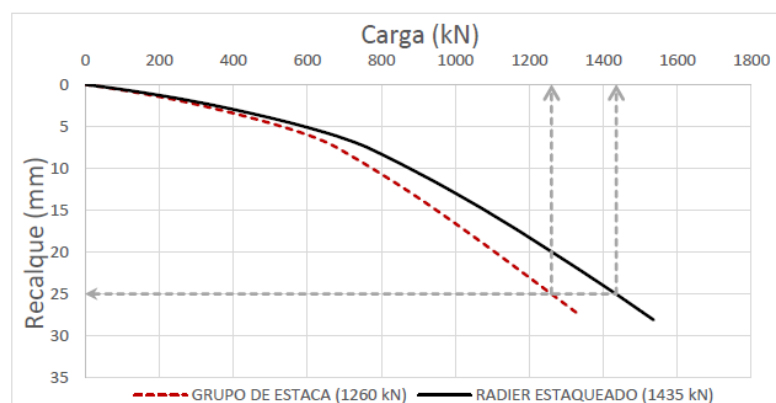


Figura 3. Aplicação do critério de Décourt para cálculo de carga de ruptura (Bittencourt, 2018).

4 Metodologia

O presente trabalho ficou estruturado em 3 etapas: a primeira na interpretação dos resultados de ensaios SPT e PCE; a segunda com foco na aplicação das metodologias semi-empíricas e aquelas baseadas em prova de carga para previsão da carga de ruptura, seguida da aplicação dos fatores de segurança para obtenção das cargas admissíveis.

Por fim, na terceira etapa, os resultados foram comparados a fim de verificar quais dos métodos semi-empíricos apresentavam maior convergência com os de PCE, visto que os baseados em prova de carga são mais realistas. A partir desta metodologia, foi verificado qual método semi-empírico apresenta maior aplicabilidade na região de estudo para o tipo de estaca executada.

4.1 Local da obra e caracterização geotécnica da área

A fundação analisada é referente a um projeto de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) na cidade de Ivaiporã, estado do Paraná. Na Figura 4 a seguir é apresentada a localização do estado, com a referência da cidade.



Figura 4. Localização geográfica do estado do Paraná e cidade de Ivaiporã.

No local da obra foram executados 76 furos de sondagem à percussão (SPT) para obter a estratificação do local. A fim de comparação dos resultados de carga admissível a partir de SPT com aqueles com uso de provas de carga, foram selecionados os furos mais próximos às duas PCEs executadas, que foram os furos de número 22 e 39, referentes às PCEs 1 e 2, respectivamente. A Figura 5 a seguir apresenta a montagem de uma das PCE, seguida das Figuras 6 e 7 que representam os resultados de NSPT dos dois furos utilizados para cálculo da carga admissível pelos métodos semi-empíricos.



Figura 5. Montagem de uma prova de carga da obra.

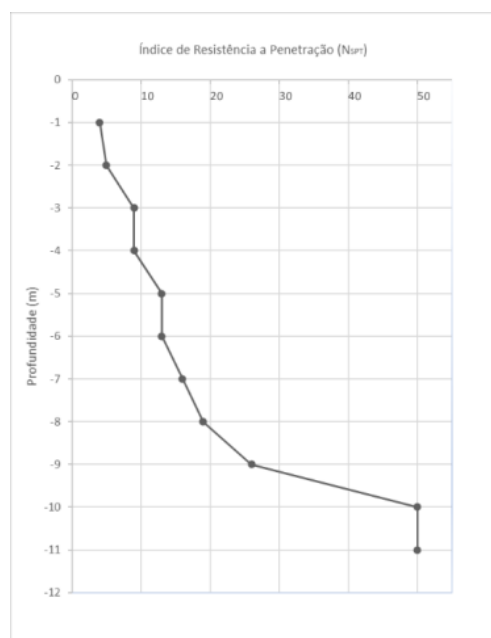


Figura 6. Variação do NSPT do furo de sondagem 22.

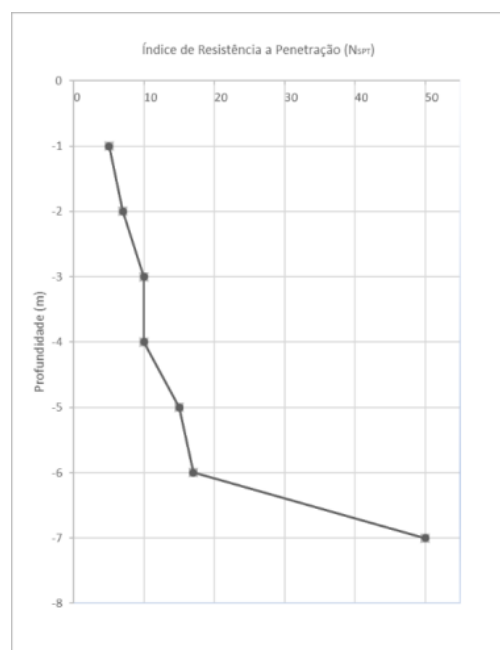


Figura 7. Variação do NSPT do furo de sondagem 39.

As PCEs foram executadas conforme NBR 16903/2020, em que a prova de carga 1, com estaca de 11m de comprimento, teve carga máxima aplicada no ensaio de 80tf e a segunda, com 7,5m de comprimento, teve carregamento máximo de 60tf. Na Figura 9 são apresentados os resultados das PCEs 1 e 2, respectivamente ao lado esquerdo e direito.

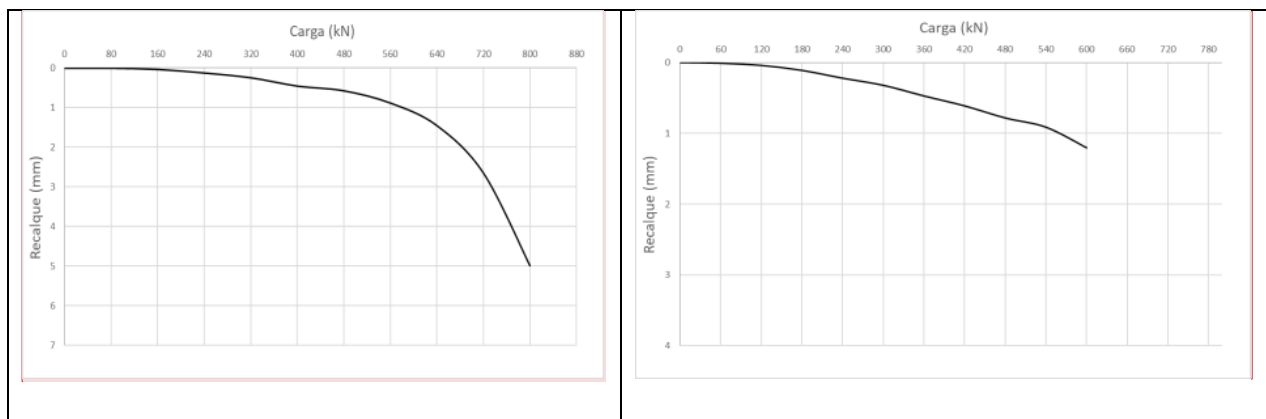


Figura 8. Resultados PCEs 1(a esquerda) e 2 (a direita).

Conforme pode ser observado a Partir das Figuras 8 e 9, na PCE 1, a carga máxima de 800kN resultou num recalque de 4,99mm; enquanto que ns PCE 2, com carga máxima de 600 kN, apresentou máximo recalque de 1,2mm. Em vista do comportamento apresentado por ambas PCES, a aplicação dos critérios da NBR 6122/19, Davisson (1972) e Décourt (1993) necessitam da extrapolação de Van der Veen (1953). Tal critério de extrapolação para as duas provas de carga está apresentado a seguir nas Figuras 10 e 11.

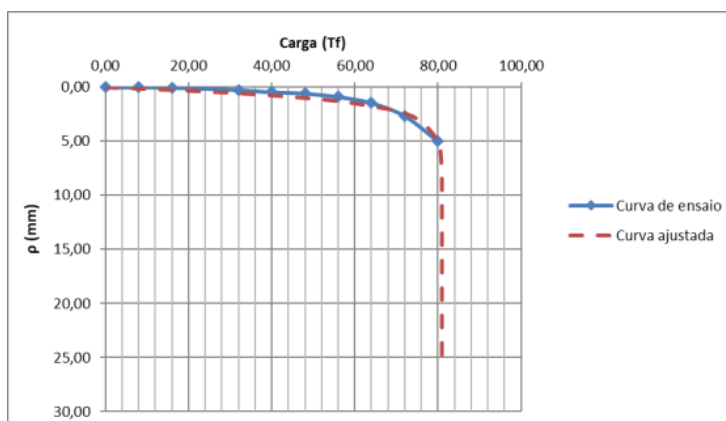


Figura 10. Extrapolação de Vam der Veen (1953) na PCE 1.

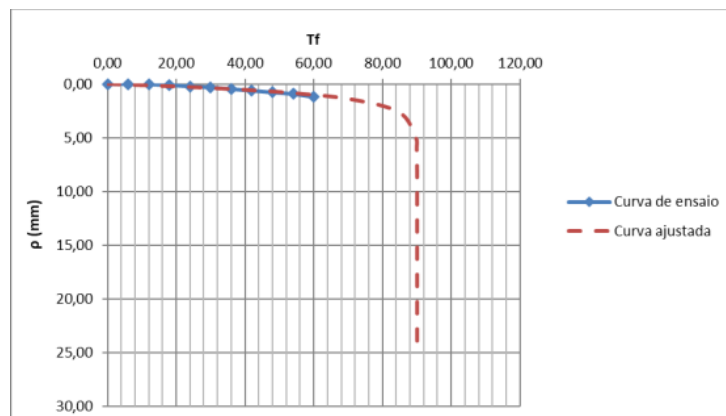


Figura 10. Extrapolação de Vam der Veen (1953) na PCE 1.

5 Resultados e conclusões

Após calcular as cargas de ruptura, seguida das cargas admissíveis pelos métodos semi-empírico e a partir de PCE, todos os resultados foram plotados nas tabela 1 e 2 a seguir, que apresenta os critérios de Aoki

e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978) e Teixeira (1996) como métodos semi-empíricos; e os a partir de PCE da NBR 6122/19, Davisson (1975) e Décourt (1993).

Tabela 1. Resultados carga de ruptura e carga admissível métodos semiempíricos e a partir de PCE para PCE 1.

Método	Carga de ruptura (tf)	Cargas admissível (tf)
Aoki e Velloso (1975) Décourt e Quaresma (1978) Teixeira (1996)	68	34
NBR 6122/19	75,6	37,8
Davisson (1978)	58,5	29,25
Décourt (1993)	81	50,6
	81	50,6
	81	50,6

Tabela 2. Resultados carga de ruptura e carga admissível métodos semiempíricos e a partir de PCE para PCE 2.

Método	Carga de ruptura (tf)	Cargas admissível (tf)
Aoki e Velloso (1975) Décourt e Quaresma (1978) Teixeira (1996)	125	62,8
NBR 6122/19	110,6	55,3
Davisson (1978)	116,8	58,4
Décourt (1993)	81	56,25
	81	56,25
	81	56,25

A partir da análise dos resultados, pode-se concluir que o método de Aoki e Velloso (1975) foi o método mais conservador, tendo mais divergência com os resultados a partir de PCE, em ambas análises. A metodologia de Décourt e Quaresma (1978) por sua vez foi o que teve maior convergência com os resultados a partir de PCE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122. *Projeto e Execução de Fundações*. Rio de Janeiro.
- Bittencourt, E. C. (2018) *Comportamento de Radiais Estaqueados Assentes em Solos Arenosos*. Dissertação

de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 160 p.

Batista, I.B.S.; Dourado, K. C. A.; Severo, R. N. F.; Bittencourt, E.C; (2007). Análise do Comportamento de Prova de Carga Estática em Estaca Mista (metálica e concreto) Executada em Recife. XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Campinas 2018.

Cintra, J. C. A.; Aoki, N.; Fundações por estacas projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. Danziger, b. r.; Lopes, F. R.; Fundações em Estacas. 1ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

Oliveira, H. R.; Aguiar, M. F. P.; Mendes, G. C. M.; Oliveira, F. H.L.; (2018). Estudo Comparativo de Métodos de Previsão de Capacidade de Carga Axial e Prova de Carga Estática em Estacas Hélice Contínua Executadas em Goiânia-GO. Artigo apresentado no XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica.

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 da Unicamp, 119 p.