

Estudo Comparativo de Métodos de Previsão de Capacidade de Carga Axial e Prova de Carga Estática em Estacas Hélice Contínua Executadas em Goiânia-GO

Hugo Rodrigo de Oliveira

Instituto Brasileiro de Educação Continuada, Goiânia, Brasil, hugorodrigo93@hotmail.com

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br

Giullia Carolina de Melo Mendes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, giucmendes@gmail.com

Francisco Heber Lacerda de Oliveira

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

RESUMO: O presente trabalho tem por objetivo principal comparar os resultados de previsão de capacidade de carga pelos métodos de Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Antunes e Cabral (1996) e os resultados de provas de carga estáticas realizadas em duas estacas do tipo hélice contínua, executadas na cidade de Goiânia-GO. O método de Aoki-Velloso (1975) foi o que mais se distanciou do valor da carga de ruptura encontrada, obtendo resultados superiores em 140% e 177%, para as estacas. O método Décourt-Quaresma (1978) apresentou resultados superiores em cerca de 65% e 74%. Já o método que atingiu resultados mais próximos ao apresentado pela prova de carga foi o de Antunes e Cabral (1996), alcançando valores superiores a prova de carga em cerca de 36% e 49%. As estimativas determinadas demonstram que as cargas de ruptura reais apresentaram resultados inferiores aos previstos nos métodos semi-empíricos. Dessa forma, conclui-se que, provavelmente, as estacas não foram executadas de maneira apropriada, o que acabou gerando tamanha diferença entre os valores previstos e os apresentados em campo.

PALAVRAS-CHAVE: Métodos Semi-empíricos, Fundações Profundas, Prova de Carga Estática, Estaca Hélice Contínua.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, grande parte dos projetos de fundações profundas, que objetivam a previsão de capacidade de carga das estacas, são baseados principalmente em sondagens do tipo SPT, de onde são obtidos dados como tipo de solo, índice de resistência à penetração (N_{SPT}) e posição do lençol freático (ABNT, 2001). A principal fonte de dúvidas quanto a capacidade de carga são as características do solo, pois suas propriedades de resistência, compressibilidade e permeabilidade são função de diversas

variáveis, todas inerentes a sua localização.

Quando trata-se de previsão de capacidade de carga, as incertezas são muitas, fazendo com que muitos pesquisadores estudassem métodos semi-empíricos para determiná-los. Dentre várias propostas estudadas, estão os métodos de Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Antunes e Cabral (1996), que são amplamente difundidos no Brasil.

O presente trabalho tem por objetivo comparar previsões de capacidade de carga pelos métodos citados com os resultados de provas de carga estáticas realizadas em duas

estacas do tipo hélice contínua executadas em Goiânia-GO.

2 MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS DE PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA EM ESTACAS

2.1 Aoki-Velloso (1975)

O método de Aoki-Velloso (1975) foi desenvolvido a partir de estudo comparativo de resultados de capacidade de carga em estacas e os respectivos dados de CPT. Posteriormente, foi adaptado para correlações com o SPT, resultando na seguinte expressão:

$$R = \frac{kN_p}{F_1} \cdot A_p + \frac{U}{F_2} \cdot \sum_1^n (\alpha \cdot k \cdot N_L \cdot \Delta L) \quad (1)$$

Em que R é a capacidade de carga da estaca, k um coeficiente dependente do tipo de solo, N_p o valor do N_{SPT} na cota de apoio da ponta, F_1 e F_2 são fatores de correção, A_p a área da ponta, U é o perímetro, α o coeficiente dependente do tipo de solo, e N_L valor do N_{SPT} médio referente ao ΔL , que é a altura da camada, por tipo de solo.

2.2 Décourt-Quaresma (1978)

Segundo Velloso e Lopes (2010), o método de Décourt-Quaresma (1978) foi proposto com base na análise de resultados de sondagens à percussão (SPT) e, visando aperfeiçoamento no que tange à resistência lateral, foi proposto um ajuste conforme expressão a seguir:

$$R = \alpha \cdot C \cdot N_p \cdot A_p + \beta \cdot 10 \cdot \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) \cdot U \cdot L \quad (2)$$

Em que R é a capacidade de carga, α e β são coeficientes dependentes do tipo de estaca, C o coeficiente característico do solo, N_p valor do N_{SPT} na cota de apoio da ponta e o imediatamente anterior e posterior, A_p é a área da ponta, N_L o valor do N_{SPT} , U o perímetro do

fuste, e L é a altura da camada por tipo de solo.

2.3 Antunes e Cabral (1996)

Baseados nos dados de nove provas de carga estáticas realizadas em estacas do tipo hélice contínua, Antunes e Cabral (1996), propuseram uma expressão de previsão de capacidade de carga específica para estacas hélice contínua, como segue:

$$Q_u = U \cdot \sum (N \cdot \beta_1) \cdot \Delta L + \beta_2 \cdot N \cdot A_p \quad (3)$$

Em que Q_u é a carga última da estaca, β_1 e β_2 são fatores que dependem do tipo de solo, A_p é a área da seção, N é o índice de resistência à penetração, U é a perímetro e ΔL é a profundidade da camada de solo.

3 PROVA DE CARGA ESTÁTICA

O ensaio de carregamento estático, segundo Andrade (2009), tem por objetivo observar, para aplicações de cargas crescentes, o comportamento da fundação, até o limite de carga ou ruptura geotécnica completa do sistema estaca-solo. Para Velloso e Lopes (2010), as provas de carga estáticas também definem a carga de serviço nos casos em que não se consegue realizar uma previsão do comportamento. Segundo os mesmos autores, como há formas de prever a carga de um determinado tipo de estaca num determinado terreno, esses ensaios são executados principalmente para verificação de comportamento previsto em projeto.

A ABNT (2006) recomenda, para esse tipo de ensaio, a aplicação de carga estática em estágios crescentes, com acréscimos iguais onde em cada estágio, a carga é mantida até a estabilização dos recalques ou por um intervalo mínimo de 30 minutos. A estabilização dos recalques acontece quando a diferença entre as leituras no instante t e t/2 resultar em até 5% do deslocamento ocorrido no estágio anterior.

4 ESTACA HÉLICE CONTÍNUA

A ABNT (2010) descreve a hélice contínua como sendo uma estaca moldada *in loco*, composta por três etapas de execução: perfuração, concretagem e inserção da armadura.

4.1 Perfuração

Conforme especificado pela ABNT (2010), a etapa de perfuração da estaca hélice contínua consiste na introdução do trado através da rotação da hélice contínua até a profundidade estabelecida em projeto, sem a retirada do solo escavado. Hachich *et al.* (1996) dizem que a haste de perfuração é constituída de uma hélice espiral contendo garras capazes de escavar o solo em sua extremidade inferior.

4.2 Concretagem

No momento em que se atinge, na etapa de perfuração, a profundidade estabelecida em projeto, inicia-se o processo de injeção de concreto sob alta pressão através da haste central do trado com a retirada do trado contínuo simultaneamente (NETO, 2002).

4.3 Inserção da Armadura

Após as etapas de perfuração e concretagem, a armadura é inserida manualmente por operários (VELLOSO e LOPES, 2010). Vale salientar que o tempo entre o término na concretagem e início da inserção da armadura deve ser o menor possível, pois o sucesso dessa etapa está diretamente relacionada a esse fato (LÁZARO, 2004).

5 RESULTADOS

Tendo como objetivo comparar as previsões de capacidade de carga por meio dos métodos citados nesse trabalho com os resultados obtidos nas provas de carga estáticas, foram realizados dois furos de sondagens SPT, bem como executadas duas estacas do tipo hélice

contínua monitorada (HCM) de 18,00 m e 19,00 m de profundidades, no Setor Bueno, conforme Figura 1, localizado na região sul da cidade de Goiânia-GO.



Figura 1. Localização geográfica do Setor Bueno, na cidade de Goiânia-GO.

As sondagens, denominadas SPT-01 e SPT-02, apresentaram nível d'água de 1,05m e 1,10m de profundidade, e subsolo em silte arenoso com índice de resistência à penetração (N_{SPT}) variando de 7 a 50 golpes, conforme apresentado nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

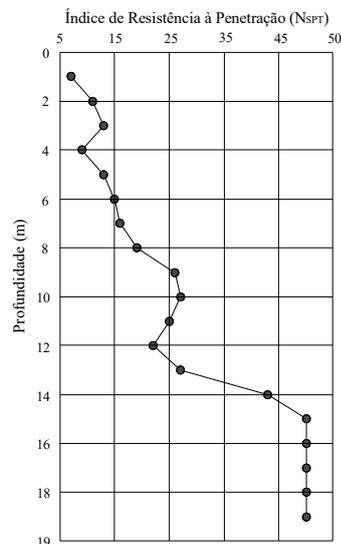


Figura 2. Variação do N_{SPT} ao longo do furo SPT-01, nível d'água à 1,05m.

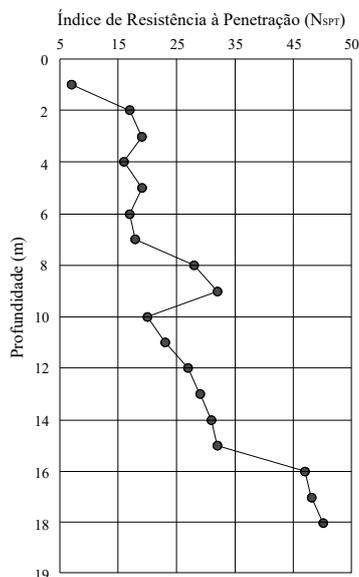


Figura 3. Variação do N_{SPT} ao longo do furo SPT-02, nível d'água à 1,10m.

A partir dos dados apresentados, pôde-se realizar a previsão da capacidade de carga de ponta e do fuste da estaca A, partindo dos resultados de SPT-01 e estaca B partindo dos resultados de SPT-02, pelos métodos de Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Antunes e Cabral (1996), apresentados na Tabela 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Previsão das capacidades de carga de ponta e lateral pelos métodos semi-empíricos para a estaca A, partindo dos resultados de SPT-01.

Método Utilizado	Capacidade de Carga (tf)	
	SPT-01	
	Carga de Ponta	Carga Lateral
Aoki-Velloso (1975)	388,78	298,21
Décourt-Quaresma (1978)	106,03	364,84
Antunes e Cabral (1996)	141,37	246,46

Tabela 2. Previsão das capacidades de carga de ponta e lateral pelos métodos semi-empíricos para a estaca B, partindo dos resultados de SPT-02.

Método Utilizado	Capacidade de Carga (tf)	
	SPT-02	
	Carga de Ponta	Carga Lateral
Aoki-Velloso (1975)	529,16	319,31
Décourt-Quaresma (1978)	141,43	392,42
Antunes e Cabral (1996)	192,43	263,89

Na Tabela 3, é apresentado as previsões de capacidade de carga totais pelos métodos anteriormente descritos.

Tabela 3. Previsão das capacidades de carga totais pelos métodos semi-empíricos.

Método Utilizado	Capacidade de Carga (tf)	
	Estaca A	Estaca B
Aoki-Velloso (1975)	686,99	848,47
Décourt-Quaresma (1978)	470,87	533,85
Antunes e Cabral (1996)	387,83	456,32

Posteriormente, foram executadas duas estacas do tipo hélice contínua com profundidades de 19,00 metros e 18,00 metros, e diâmetros de 0,60 metros e 0,70 metros, respectivamente. Ambas foram submetidas à provas de carga estática, resultando nas curvas “carga versus recalque” apresentados nas Figuras 4 e 5, bem como os resultados de carga de extrapolação, apresentados na Tabela 4. Além disso, a Tabela 5 apresenta as cargas máximas de ensaio e os recalques correspondentes.

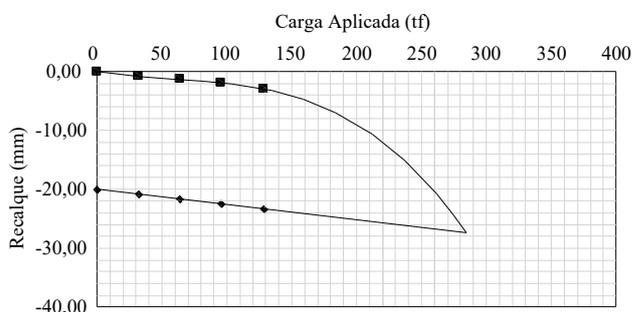


Figura 4. Gráfico da curva “carga versus deslocamento” para a estaca A.

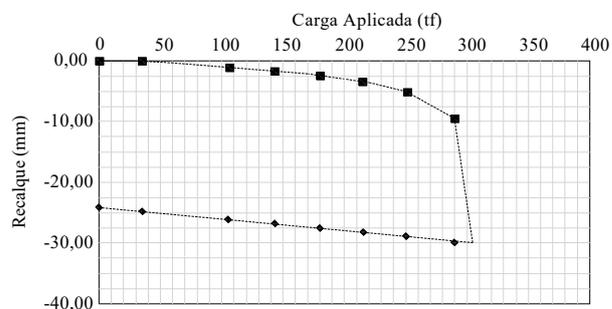


Figura 5. Gráfico da curva “carga versus deslocamento” para a estaca B.

Tabela 4. Carga de extrapolação pela critério da ABNT (2010) das estacas A e B, resultante das provas de carga estáticas.

Estaca de Realização da Prova de Carga	Carga de extrapolação (tf)
Estaca A	285
Estaca B	306

Tabela 5. Cargas máximas de ensaio e recalques correspondentes para as provas de carga realizadas.

Estaca de Realização da Prova de Carga	Carregamento máximo (tf)	Recalque (mm)
Estaca A	128	2,92
Estaca B	288	8,73

4.1 Análise dos Resultados

Apresenta-se, a seguir, nas Figuras 6 e 7, os resultados de previsões de capacidade de carga e provas de carga, das estacas A e B, respectivamente.

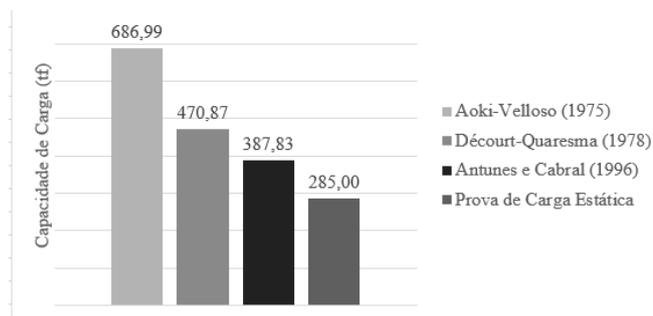


Figura 6. Gráfico dos valores de capacidade de carga pelos métodos semi-empíricos e da prova de carga para a estaca A.

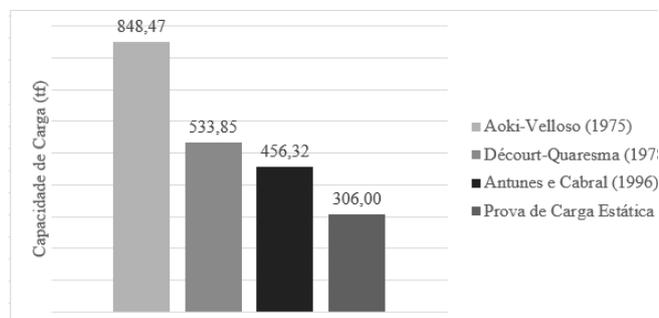


Figura 7. Gráfico dos valores de capacidade de carga pelos métodos semi-empíricos e da prova de carga para a estaca B.

As Tabelas 6 e 7, apresentam as diferenças percentuais entre o resultado de cada método e da prova de carga estática, para as estacas A e B, respectivamente:

Tabela 6. Diferença percentual entre a carga última indicada pela prova de carga e as previsões pelos métodos semi-empíricos para a estaca A.

Método	Diferença Percentual (%)
Aoki-Velloso (1975)	+141,05
Décourt-Quaresma (1978)	+65,22
Antunes e Cabral (1996)	+36,08

Tabela 7. Diferença percentual entre a carga última indicada pela prova de carga e as previsões pelos métodos semi-empíricos para a estaca B.

Método	Diferença Percentual (%)
Aoki-Velloso (1975)	+177,28
Décourt-Quaresma (1978)	+74,46
Antunes e Cabral (1996)	+49,12

4.1.1 Estaca A

Ao se comparar os valores previstos pelos métodos semiempíricos de estimativa de capacidade de carga com os valores provenientes da extrapolação da curva “carga versus deslocamento”, pelo critério da ABNT (2010), sendo esse, o que obteve o resultado mais conservador, pôde-se concluir que todos os métodos semiempíricos apresentaram valores superiores aos obtidos na prova de carga. O método de Aoki-Velloso (1975) foi o que mais se distanciou do valor da carga de ruptura encontrada, obtendo resultado superior a 140%.

O método Decourt-Quaresma (1978) apresentou resultado superior em cerca de 65%. O método que atingiu resultado mais próximo ao apresentado pela prova de carga foi o de Antunes e Cabral (1996) alcançando valor superior a prova de carga em cerca de 36%.

Na Tabela 8 são apresentadas as diferenças percentuais entre os métodos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) com o método de Antunes e Cabral (1996).

Tabela 8. Diferença percentual entre o método de Antunes e Cabral (1996) e as previsões de capacidade de carga por Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978), para a estaca A.

Método	Diferença Percentual (%)
Aoki-Velloso (1975)	+77,14
Décourt-Quaresma (1978)	+21,41

Comparando-se as previsões de capacidade de carga, pôde-se perceber que a variação apresentou-se, consideravelmente maior para o método de Aoki-Velloso (1975) do que pelo método de Décourt-Quaresma (1978).

Pode-se notar, pelo apresentado na Tabela 1, que o fator que contribuiu diretamente para essa diferença foi o valor elevado da carga de ponta encontrada pelo método Aoki-Velloso (1975).

4.1.2 Estaca B

Assim como na estaca A, na estaca B foi utilizada a carga de ruptura obtida pela extrapolação da curva “carga versus deslocamento”, pelo critério da ABNT (2010). Todos os métodos semiempíricos apresentaram valores de carga de ruptura total superiores ao indicado pela prova de carga estática. O método de Aoki-Velloso (1975) obteve carga de ruptura superior em 177% à obtida na prova de carga, já os métodos de Decourt-Quaresma (1978) e Antunes e Cabral (1996) apresentaram valores superiores em 74% e 49%, respectivamente.

Na Tabela 9 são apresentadas as diferenças percentuais entre os métodos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) com o método de Antunes e Cabral (1996).

Tabela 9. Diferença percentual entre o método de Antunes e Cabral (1996) e as previsões de capacidade de carga por Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978), para a estaca B.

Método	Diferença Percentual (%)
Aoki-Velloso (1975)	+85,94
Décourt-Quaresma (1978)	+16,99

Nesse caso, assim como na estaca A, pôde-se perceber uma variação mais elevada do método Aoki-Velloso (1975), podendo ser explicada pelo elevado valor da carga de ponta encontrada por esse método.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os dados apresentados nesse trabalho, notou-se que todos os métodos semiempíricos apresentaram previsões superiores ao determinado em campo. O método que apresentou maior disparidade quando comparado aos resultados de prova de carga foi o de Aoki-Velloso (1975) e o que apresentou menor disparidade foi o de Antunes e Cabral (1996), sendo esse o único, entre os três métodos apresentados, que foi desenvolvido exclusivamente para estacas hélice contínua.

O fato das estacas não alcançarem a carga de ruptura prevista nos cálculos semiempíricos levantam a hipótese de que as estacas não foram executadas de maneira apropriada, o que acabou gerando tamanha diferença entre os valores previstos e os apresentados em campo, uma vez que o desempenho das estacas hélice é severamente influenciado pelo processo executivo.

Além disso, as diferenças apresentadas pelos métodos entre si, reforçam a premissa de que a precisão de cada método está diretamente ligada à experiência local e tipo de fundação para qual ele foi inicialmente proposto. Recomenda-se que mais estudos sejam realizados com outros métodos semiempíricos difundidos na literatura, afim de avaliar as disparidades de previsões entre os mesmos. Ademais, vale salientar a importância do cuidado na execução de estacas, afim de evitar as anomalias durante o processo.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa do autor³.

REFERÊNCIAS

- Andrade, G. M. (2009). Fundação em estaca hélice contínua: Estudo de caso em obra de viaduto no município de Feira de Santana – BA. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana.
- Antunes, W.R e Cabral, D.A. (1996). Capacidade de carga em estacas hélice contínua. 3º Seminário de

- Engenharia de Fundações e Geotecnia. São Paulo, 2: 105 - 109.
- Aoki, N. e Velloso, D. A. (1975) An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. Proceedings of Panamerican CSMFE. Buenos Aires, ARG. v. 1, p. 367 – 376.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 12131. (2006). Estacas – Prova de carga estática: método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). NBR 6122. (2010). Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, RJ.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). NBR 6484. (2001). Sondagens de simples reconhecimento com SPT. Rio de Janeiro, RJ.
- Décourt, L., Quaresma, R. (1978) Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: Anais do CBMSEF. Rio de Janeiro, RJ. v. 1, p. 45 – 53.
- Hachich, W., Falconi, F.F., Saes, J.L., Frota, R.G.Q., Carvalho, C.S. & Niyama, S. (1996). Fundações Teórica e Prática. 1 edição, Ed. PINI, São Paulo, SP.
- Lázaro, A. A., Wolle, C. M. (2004). Estacas Hélice contínua: correlações entre a monitoração e características do solo. In: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia. São Paulo: ABMS.
- Neto, J. A. A. (2002). Análise do Desempenho de Estacas Hélice Contínua e Ômega – Aspectos Executivos. Dissertação de Mestrado. EPUSP, São Paulo, SP.
- Velloso, D. A.; Lopes, F. R. (2010). Fundações: Volume 2 – Fundações Profundas. São Paulo: Editora Oficina de Textos.