

## Previsão e observação da capacidade de carga de estacas tipo hélice contínua em solo arenoso sedimentar

Faily Oliveira Branco

Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande/RS, Brasil,  
failybranco@msn.com

Antonio Marcos de Lima Alves

Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande/RS, Brasil,  
antonioalves@furg.br

**RESUMO:** As estacas do tipo hélice contínua têm sido adotadas como fundação dos mais diversos tipos de estruturas e nos mais variados tipos de terrenos, dadas as suas vantagens em termos de capacidade de carga, produtividade e minimização de impactos em obras vizinhas. O presente trabalho analisa o comportamento de estacas tipo hélice contínua, que compõem as fundações das estruturas do Estaleiro Rio Grande 2 (ERG 2), no Superporto de Rio Grande. O subsolo local é composto por camadas sedimentares alternadas de areia e argila orgânica, uma formação típica da planície costeira do Rio Grande do Sul. As estacas adotadas na obra possuem diâmetro de 60 cm. A metodologia envolveu a previsão de capacidade de carga através de sete métodos semiempíricos baseados em resultados do ensaio SPT: Aoki e Velloso, Decourt e Quaresma, Gotlieb et al., Antunes e Cabral, Kárez e Rocha, Vorcaro e Velloso, e Alonso. As previsões foram confrontadas com observações da capacidade de carga das estacas, a partir de resultados de provas de carga estática. O método de Décourt e Quaresma foi aquele que conduziu às melhores previsões, enquanto que o método de Kárez e Rocha foi o que conduziu às maiores diferenças em relação às capacidades previstas e medidas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fundações, hélice contínua, métodos semiempíricos, Rio Grande.

**ABSTRACT:** Continuous flight auger piles have been adopted as a foundation for the most diverse types of structures and in the most varied types of soils, given their advantages in terms of load capacity, productivity and impact minimization in neighborhood. The present work analyzes the behavior of continuous flight auger piles, which form the foundations of the structures of the Estaleiro Rio Grande 2 (ERG 2) shipyard, at Rio Grande, Brazil. The local subsoil is composed of alternating sedimentary layers of sand and organic clay, a typical formation of the coastal plain of Rio Grande do Sul. The piles adopted for the structures have a diameter of 60 cm. The methodology involved the prediction of load capacity through seven semi-empirical methods based on results from the SPT test: Aoki and Velloso, Decourt and Quaresma, Gotlieb et al., Antunes and Cabral, Kárez and Rocha, Vorcaro and Velloso, and Alonso. The predictions were confronted with observations of the load capacity of the piles, from results of static load tests. The Décourt and Quaresma method was the one that led to the best predictions, while the Kárez and Rocha method showed the greatest differences in relation to predicted and measured capacities.

**KEYWORDS:** Foundations, continuous flight augering, semi-empirical methods, Rio Grande.

## 1 Introdução

A engenharia como um todo vem evoluindo constantemente na busca de novas tecnologias, as quais aumentem a produtividade e diminuam impactos ambientais. Na engenharia de fundações, têm sido buscadas alternativas que possam resultar em ausência de vibrações e ruídos durante sua execução, em aumento da produtividade, em altas capacidades de carga e no controle de qualidade durante o processo de execução.

Diante destas necessidades, surgiram no mercado as estacas tipo hélice contínua, as quais tiveram grande desenvolvimento nas últimas décadas, despertando o interesse comercial nos grandes centros urbanos, onde as vibrações e ruídos devem ser minimizados, e em obras industriais de grande porte, onde altas capacidades e produtividades são uma exigência (Antunes e Tarozzo, 1998).

Podem-se citar algumas vantagens, segundo Albuquerque (2001), do processo executivo das estacas hélice contínua:

- Maior controle no processo de execução, através de monitoramento eletrônico;
- Execução possível na maioria dos tipos de solo;
- Maior produtividade, devido a rapidez da execução;
- Ausência de ruídos e vibrações ao redor da obra;
- Minimização de descompressão do terreno;
- Possibilidade de execução abaixo do nível da água do terreno.

Também existem algumas desvantagens neste método executivo, como por exemplo a necessidade de um grande espaço para a utilização e movimentação dos equipamentos, dificuldades de execução em terrenos íngremes, necessidade de uma central de concreto próxima ao local, e viabilidade econômica apenas a partir de um número mínimo de estacas executadas (Albuquerque, 2001).

Para a estimativa de capacidade de carga de estacas, os métodos semiempíricos com resultados de SPT são predominantes no Brasil, uma vez que métodos teóricos exigiriam a avaliação das propriedades de resistência ao cisalhamento do solo por meio de correlações (nem sempre confiáveis) com o ensaio SPT. Os métodos semiempíricos para estacas hélice contínua, utilizados neste trabalho, foram desenvolvidos por autores brasileiros e são indispensáveis para tais avaliações. Porém estes métodos precisam ser ajustados de acordo com cada região e com base em provas de carga, pois apresentam, de forma geral, uma dispersão nos resultados.

O presente trabalho analisa as estacas tipo hélice contínua, que compõem as fundações de algumas estruturas do Estaleiro Rio Grande 2 (ERG 2). A metodologia envolveu a previsão de capacidade de carga através de métodos semiempíricos com ensaios de SPT, a interpretação de resultados de provas de carga estática, e a comparação entre previsão e observação da capacidade de carga. Foram avaliados os seguintes métodos semiempíricos: Aoki e Velloso (1975), com contribuições posteriores de Laprovitera (1988), Benegas (1993) e Monteiro (1997); Décourt e Quaresma (1978), com atualizações em Décourt et al. (1998); Antunes e Cabral (1996); Alonso (1996); Kárez e Rocha (2000); Vorcaro e Velloso (2000); e Gotlieb et al. (2000).

## 2 Descrição da Obra

### 2.1 Localização

Situada na zona industrial e portuária da cidade de Rio Grande (RS), a obra em estudo faz parte do Estaleiro Rio Grande 2 – ERG 2. Este local é destinado à complementação das necessidades industriais do Estaleiro Rio Grande 1 – ERG 1, uma instalação que conta com um dique seco para construção e reparo de plataformas petrolíferas e navios. A Figura 1 mostra a localização da obra na cidade de Rio Grande e a Figura 2 apresenta um esquema idealizado de implantação do Estaleiro Rio Grande.

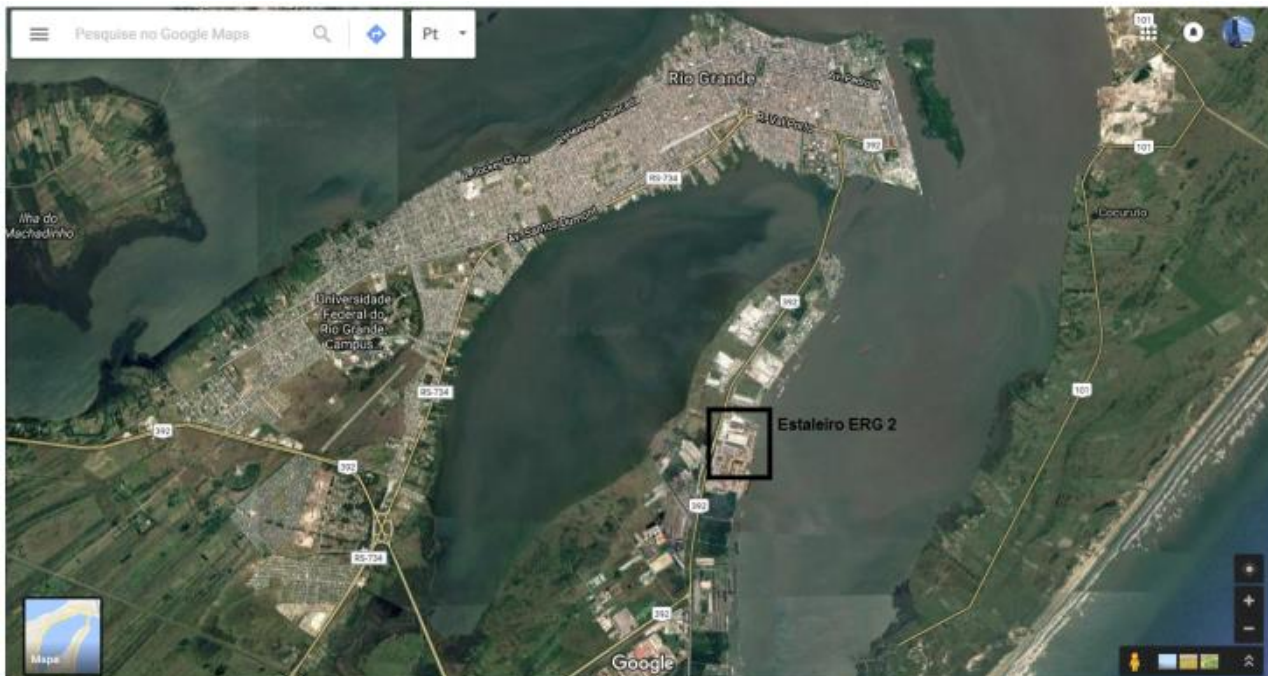


Figura 1. Localização da obra na cidade (Fonte: Google Maps).



Figura 2. Esquema idealizado de implantação do Estaleiro Rio Grande.



### 3 Previsão de Capacidade de Carga

Para o presente estudo, sete diferentes métodos semiempíricos para previsão de capacidade de carga, baseados no ensaio SPT, foram programados em planilha eletrônica. Foram utilizados os valores medidos de  $N_{SPT}$ , sem correção de energia. Para verificação da planilha programada, foi utilizado um estudo de caso relatado por Alledi et al. (2015), sendo que os resultados obtidos com a planilha programada no presente trabalho tiveram boa concordância com os resultados relatados na referência citada.

Algumas sondagens do local da obra foram realizadas bem acima das cotas de piso dos prédios (+4,50 m) e das cotas de arrasamento das estacas (+0,90 m). Isso indica que houve, em alguns locais, uma grande quantidade de solo removido por escavação após as sondagens terem sido realizadas, e antes da execução das estacas. Em se tratando de solo preponderantemente arenoso, pelo menos no trecho de inserção das estacas, é de se esperar que a remoção de camadas superiores do terreno altere as propriedades de resistência do solo, traduzindo-se em uma redução nos valores de  $N_{spt}$ .

Segundo Skempton (1986), a relação entre  $N_{60}$  ( $N_{spt}$  com eficiência de golpe de 60%), densidade relativa ( $D_R$ ) e tensão vertical efetiva ( $\sigma'_{v0}$ ) em terrenos arenosos é dada por:

$$D_R^2 = N_{60} / (0,28 \sigma'_{v0} + 27) \quad (1)$$

Derivando  $N_{60}$  em relação à tensão efetiva ( $\sigma'_{v0}$ ), é possível deduzir qual será a redução nos valores de  $N_{spt}$  de um terreno arenoso (com  $D_R$  conhecida), devido a uma redução em  $\sigma'_{v0}$  (causada por escavação do terreno). Como o perfil do solo estudado mostra frequentemente camada de areia de média a alta compactação no trecho superficial, foi adotada no presente estudo, a favor da segurança, uma redução nos valores de  $N_{spt}$  de dois golpes por metro de solo arenoso removido. Assim, foi admitida em todas as sondagens uma escavação até a cota +0,90 (cota prevista de arrasamento das estacas), associada a uma redução nos valores de  $N_{spt}$ . Esta redução foi considerada até a cota -10,0 m, onde em geral ocorre a transição da camada arenosa superior para camadas argilosas.

Na Figura 4 são mostrados, como exemplo, os gráficos resultantes de previsão de capacidade de carga para a região da sondagem SPT 01 pelo método de Décourt e Quaresma. Na figura,  $Q_{su}$  é a capacidade de carga por atrito lateral,  $Q_{bu}$  é a capacidade de carga por ponta, e  $Q_u$  é a capacidade de carga total.

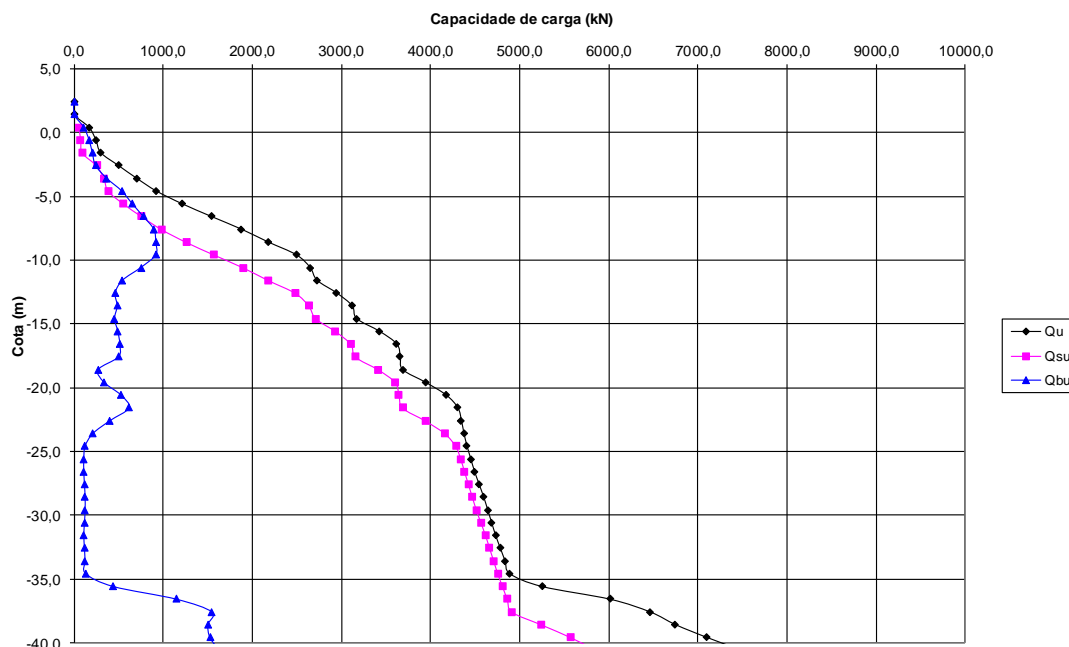


Figura 4. Previsão de capacidade de carga – SPT 01 – Método de Décourt e Quaresma.

#### 4 Previsão versus Medição da Capacidade de Carga

Foram realizadas provas de carga estática (PCE) verticais a compressão em oito estacas da obra, para verificação de capacidade de carga. As normas utilizadas para a execução destes ensaios foram a NBR 6122 (ABNT, 2010) e a NBR 12131 (ABNT, 2006).

As provas de carga estática envolveram a aplicação de cargas em estágios, sendo a aplicação destas cargas realizada através de um conjunto cilíndrico hidráulico (bomba) e manômetro e com utilização de uma célula de carga aferida. A medição dos deslocamentos ocorreu através da instalação de quatro extensômetros para o ensaio vertical, com leitura direta de 0,01mm. Os extensômetros foram posicionados em vigas de referência fixas.

A metodologia adotada foi o ensaio lento recomendado pela norma NBR 12131 (ABNT, 2006). Neste procedimento, os carregamentos são aplicados em estágios de no máximo 20% da carga de trabalho das estacas e o descarregamento em pelo menos três estágios iguais de quinze minutos e um último de 30 minutos. Cada estágio de carregamento ou descarregamento foi mantido até a estabilização dos deslocamentos. O critério de estabilização é um acréscimo de deslocamento entre leituras consecutivas de no máximo 5% do deslocamento verificado entre dois estágios de carga. As leituras foram efetuadas logo após a aplicação da carga e decorridos 2, 4, 8, 15, 30 minutos. Nos estágios de carregamento e descarregamento, a duração mínima de cada estágio deve ser de 15 minutos.

Para determinar a carga de ruptura das estacas ensaiadas, foi utilizado um programa computacional com o método de extrapolação de Van der Veen (modificado por Aoki, 1976) implementado. Na Figura 5 são mostradas, como exemplo, as curvas original e extrapolada da PCE realizada na estaca E-485. Para esta estaca, os parâmetros de ajuste da função de Van der Veen foram:  $Q_u = 2129$  kN,  $\alpha = 0,039$ ,  $\beta = 0,229$ .

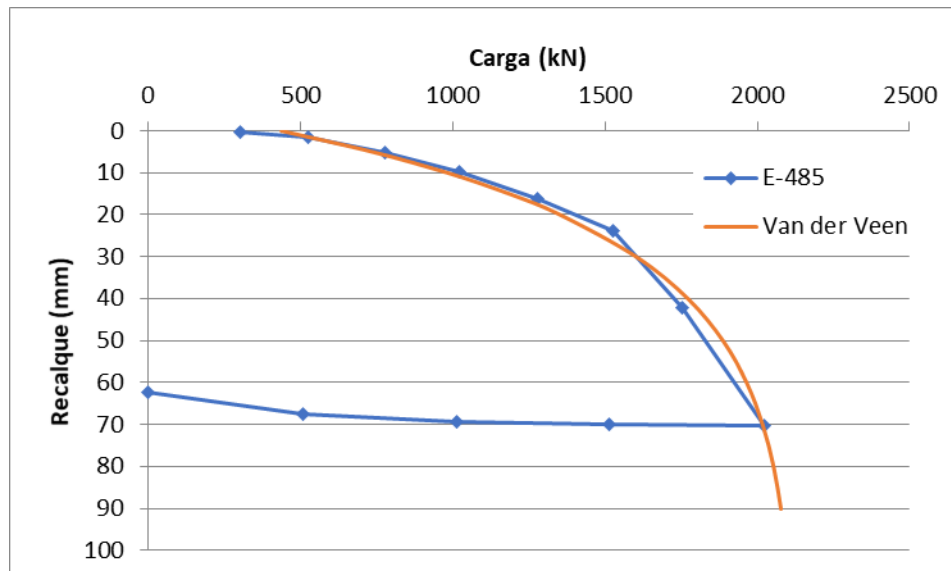


Figura 5. Resultados da PCE na estaca E-485.

Nas Tabelas 1 a 4 encontra-se o confronto entre as cargas de ruptura medidas nas PCE (extrapoladas pelo método de Van der Veen), e as capacidades previstas pelos diversos métodos, utilizando o ensaio SPT mais próximo da estaca ensaiada. As previsões foram tomadas na cota -9,0 m, definida no projeto da obra para assentamento das estacas. Nas tabelas,  $Q_{u,med}$  é a capacidade de carga obtida na PCE (extrapolada pelo método de Van der Veen);  $Q_{u,prev}$  é a capacidade de carga prevista pelo método semiempírico; D.P. é o desvio padrão e C.V. é o coeficiente de variação.

Tabela 1. Capacidade de carga medida e prevista pelos métodos de Aoki e Velloso e Décourt e Quaresma.

Estaca	PCE	SPT	Aoki e Velloso		Décourt e Quaresma	
	Q <sub>u,med</sub> (kN)		Q <sub>u,prev</sub> (kN)	Q <sub>u,prev</sub> /Q <sub>u,med</sub>	Q <sub>u,prev</sub> (kN)	Q <sub>u,prev</sub> /Q <sub>u,med</sub>
E485	2129,0	7	1349,6	0,6	1260,9	0,6
E365	2765,0	2	3785,4	1,4	3583,5	1,3
E32	2851,0	1	3840,1	1,3	2178,1	0,8
E809	2109,0	11	2449,3	1,2	2615,1	1,2
E692	2547,0	10	2481,0	1,0	2500,8	1,0
E1123	2154,0	12	2385,8	1,1	2201,6	1,0
E761	2399,0	10	2481,0	1,0	2500,8	1,0
E641	2399,0	9	2941,0	1,2	2286,9	1,0
MÉDIA	2419,1	-	2714,2	1,1	2391,0	1,0
D. P.	286,3	-	812,0	0,2	639,8	0,2
C.V.	12%	-	30%	21%	27%	23%

Tabela 2. Capacidade de carga medida e prevista pelos métodos de Gotlieb et al. e Antunes e Cabral.

Estaca	PCE	SPT	Gotlieb et al.		Antunes e Cabral	
	Q <sub>u,med</sub> (kN)		Q <sub>u,prev</sub> (kN)	Q <sub>u,prev</sub> /Q <sub>u,med</sub>	Q <sub>u,prev</sub> (kN)	Q <sub>u,prev</sub> /Q <sub>u,med</sub>
E485	2129,0	7	1573,0	0,7	1193,2	0,6
E365	2765,0	2	3994,2	1,4	4040,4	1,5
E32	2851,0	1	2852,0	1,0	2654,7	0,9
E809	2109,0	11	2751,6	1,3	3200,7	1,5
E692	2547,0	10	2621,6	1,0	3073,4	1,2
E1123	2154,0	12	2185,2	1,0	2649,3	1,2
E761	2399,0	10	2621,6	1,1	3073,4	1,3
E641	2399,0	9	2745,0	1,1	2299,1	1,0
MÉDIA	2419,1	-	2668,0	1,1	2773,0	1,1
D. P.	286,3	-	680,5	0,2	821,1	0,3
C.V.	12%	-	26%	19%	30%	27%

Tabela 3. Capacidade de carga medida e prevista pelos métodos de Vorcaro e Velloso e Alonso.

Estaca	PCE	SPT	Vorcaro e Velloso		Alonso	
	Q <sub>u,med</sub> (kN)		Q <sub>u,prev</sub> (kN)	Q <sub>u,prev</sub> /Q <sub>u,med</sub>	Q <sub>u,prev</sub> (kN)	Q <sub>u,prev</sub> /Q <sub>u,med</sub>
E485	2129,0	7	1878,7	0,9	1674,8	0,8
E365	2765,0	2	3665,3	1,3	5000,0	1,8
E32	2851,0	1	2918,9	1,0	3317,6	1,2
E809	2109,0	11	3276,9	1,6	3502,9	1,7
E692	2547,0	10	3099,1	1,2	3312,5	1,3
E1123	2154,0	12	2628,0	1,2	2988,7	1,4
E761	2399,0	10	3099,1	1,3	3312,5	1,4
E641	2399,0	9	3528,3	1,5	3020,4	1,3
MÉDIA	2419,1	-	3011,8	1,2	3266,2	1,3
D. P.	286,3	-	563,1	0,2	905,5	0,3
C.V.	12%	-	19%	18%	28%	23%

Tabela 4. Capacidade de carga medida e prevista pelo método de Kárez e Rocha.

Estaca	PCE		SPT	Kárez e Rocha	
	$Q_{u,med}$ (kN)			$Q_{u,prev}$ (kN)	$Q_{u,prev}/Q_{u,med}$
E485	2129,0		7	1634,1	0,8
E365	2765,0		2	6611,9	2,4
E32	2851,0		1	5169,9	1,8
E809	2109,0		11	4303,5	2,0
E692	2547,0		10	4411,0	1,7
E1123	2154,0		12	4359,1	2,0
E761	2399,0		10	4411,0	1,8
E641	2399,0		9	3154,1	1,3
MÉDIA	2419,1		-	4256,8	1,7
D. P.	286,3		-	1441,0	0,5
C.V.	2%		-	34%	29%

Os resultados mostrados nas Tabelas 1 a 4 evidenciam que todos os métodos, à exceção de Décourt e Quaresma, tiveram uma tendência média de superestimativa da capacidade de carga medida na PCE. Esta tendência de superestimativa é leve na maioria dos métodos, sendo mais pronunciada no método de Kárez e Rocha. Os dados também indicam que os métodos sujeitos à menor dispersão de resultados (menores C.V.) foram os de Gotlieb et al. e Vorcaro e Velloso.

Na Figura 6 são mostrados os gráficos de capacidade medida versus prevista, para todos os métodos utilizados no presente trabalho. No gráfico, a linha reta cheia corresponde à igualdade entre as capacidades de carga prevista e medida; as linhas tracejadas indicam diferenças relativas de 20% entre as capacidades prevista e medida.

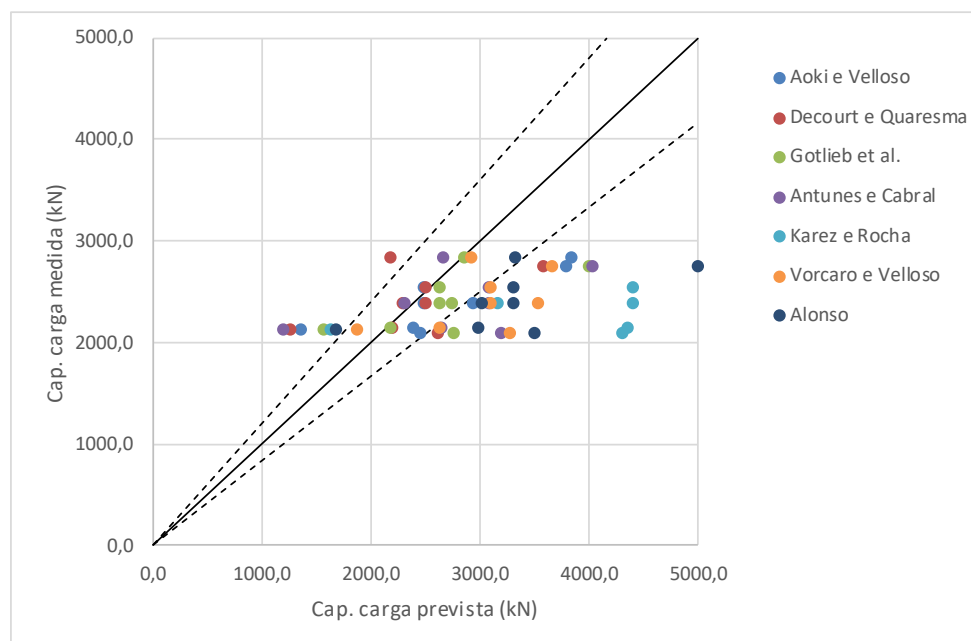


Figura 6. Capacidades de carga medidas e previstas por métodos semiempíricos.

A maioria dos métodos conduziram à previsões com diferenças relativas (médias) de até 20% em relação às capacidades medidas nas PCEs. Porém, fica nítida a tendência de superestimativa das capacidades de carga, especialmente através do método de Kárez e Rocha.



## 5 Conclusões

As seguintes conclusões podem ser apontadas a partir deste estudo:

- 1) A grande maioria dos métodos semiempíricos de previsão tendeu, em média, a superestimar as capacidades de carga das estacas tipo hélice contínua da obra em apreço. Isto pode indicar uma inadequação dos métodos de previsão, em relação ao comportamento de estacas tipo hélice contínua em depósitos arenosos sedimentares. Estudos específicos de provas de carga realizadas em solos deste tipo poderão esclarecer esta questão.
- 2) O método de Décourt e Quaresma conduziu às melhores previsões (em média), na comparação com as capacidades medidas nas PCEs. O método de Káez e Rocha, por outro lado, foi o que mostrou as maiores diferenças em relação às capacidades previstas e medidas, tendendo sempre à superestimativa das capacidades de carga. Esta observação já foi ressaltada anteriormente por diversos autores, como Magalhães (2005) e Mantuano (2013).
- 3) Os dados analisados também indicam que os métodos sujeitos à menor dispersão de resultados foram os de Gotlieb et al. e Vorcaro e Velloso.
- 4) Ressalta-se a importância da utilização prudente de métodos semiempíricos de previsão, atentando-se sempre para o seu domínio de validade, traduzido pelos tipos geológicos e estratigráficos abrangidos no banco de dados que originou o método.

## AGRADECIMENTOS

À empresa ECOVIX Construções Oceânicas S.A., pela autorização do uso dos dados da obra em estudos acadêmicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, P.J.R. (2001) *Estacas escavadas, hélice contínua e ômega: estudo do comportamento à compressão em solo residual de diabásio, através de provas de carga instrumentadas em profundidade*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 297 p.
- Alledi, C.T.D.B., Minette, E., Albuquerque, P.J.R., Polido, U.F. (2015) Estaca hélice contínua instrumentada: previsão de carga de ruptura por métodos semi-empíricos vs. prova de carga. *Geotecnia*, 135, p. 115-127.
- Alonso, U.R. (1996) Estacas hélice contínua com monitoração eletrônica: previsão da capacidade de carga através do ensaio SPT-T. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE 3, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABMS, v. 2, p. 141-151.
- Antunes, W.R., Cabral, D.A. (1996) Capacidade de carga de estacas hélice contínua. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE 3, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABMS, v. 2, p. 105-110.
- Antunes, W.R., Tarozzo, H. (1998) Execução de fundações profundas: estacas tipo hélice contínua. In: FUNDAÇÕES: TEORIA E PRÁTICA, Ed. PINI, São Paulo, p. 345-347.

- Aoki, N. (1976) *Considerações sobre a capacidade de carga de estacas isoladas*. Notas de aula. Universidade Gama Filho, Rio de Janeiro, 44 p.
- Aoki, N., Velloso, D.A. (1975) An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In: 5th PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, Buenos Aires. *Anais...* Buenos Aires, v. 5, p. 367-374.
- 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.
- Benegas, H.Q. (1993) *Previsão para a curva carga-recalque de estacas a partir de SPT*. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 93 p.
- Décourt, L., Quaresma, A.R. (1978) Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, v. 1, p. 45-53.
- Décourt, L., Albiero, J.H., Cintra, J.C.A. (1998) Análise e Projeto de Fundações Profundas. In: FUNDAÇÕES: TEORIA E PRÁTICA, Ed. PINI, São Paulo, p. 265-328.
- Gotlieb, M., Penna, A.S.D., Romano Jr., R., Rodrigues, L.H.B. (2000) Um método simples para avaliação da tensão admissível no topo de estacas tipo hélice contínua. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE 4, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABMS, v. 1, p. 312-319.
- Kárez, M.B., Rocha, E.A.C. (2000) Estacas hélice contínua – previsão da capacidade de carga. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE 4, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABMS, v. 1, p. 274-278.
- Laprovitera, H. (1998) *Reavaliação do método semi-empírico de previsão de capacidade de carga de estacas a partir do banco de dados*. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 231 p.
- Magalhães, P.H.L. (2005) *Avaliação dos métodos de capacidade de carga e recalque das estacas hélice contínua via provas de carga*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília, 270 p.
- Mantuano, R.M. (2013) *Comparação entre métodos de dimensionamento e influência do processo executivo no comportamento de estacas hélice*. Projeto de Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 99 p.
- Monteiro, P.F. (1997) *Capacidade de carga de estacas – método Aoki-Velloso*. Relatório interno de Estacas Franki Ltda.
- Skempton, A.W. (1986) Standard Penetration Test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation. *Géotechnique*, 36 (3), p. 425-447.
- Vorcaro, M.C., Velloso, D.A. (2000) Avaliação de carga última em estacas hélice contínua por regressão linear múltipla. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE 4, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABMS, v. 2, p. 315-330.