



Análise da redução do atrito lateral em estacas hélice contínua - executadas em terrenos em corte - a partir do Ensaio Bidirecional - estudo de caso

Alysson Santos Resende
Mestre em Engenharia Civil, Arcos – Engenharia de Solos, Belo Horizonte, Brasil,
alysson@arcos.eng.br

Nilton Andrade Chaves
Engenheiro Civil, Arcos – Engenharia de Solos, Belo Horizonte, Brasil,
nilton.chaves@arcos.eng.br

Edmilson Ney Ferreira de Freitas
Engenheiro Civil, Arcos – Engenharia de Solos, Belo Horizonte, Brasil, edy@arcos.eng.br

Paulo José Rocha de Albuquerque
Engenheiro Civil, Professor Associado FECFAU - UNICAMP, Campinas, Brasil,
pjra@unicamp.br

RESUMO: O trabalho tem como objetivo demonstrar a redução de capacidade de carga por atrito lateral em estacas hélice contínua, executadas em terrenos com corte, diagnosticada por meio de ensaios bidirecionais. A capacidade de carga das estacas foi calculada a partir do perfil de solo estabelecido por ensaios SPT realizados antes da escavação do terreno. A cota de rebaixamento foi de 5,0 m a partir da qual foram executadas estacas com 10,6 m de comprimento com diâmetros de 600 e 700 mm e carga de trabalho de 1500 e 2000 kN. Foram executados ensaios bidirecionais posicionando as células 2,0 m acima da cota de ponta da estaca, posição considerada para equilíbrio de esforços de atrito lateral do trecho superior à célula e resistência de ponta mais atrito lateral do trecho inferior. O subsolo do local era composto basicamente de areia fina e média, de medianamente compacta a compacta. A partir da análise de capacidade de carga, as cargas limites de ruptura superavam em mais de 250% a carga de trabalho. Os resultados dos ensaios mostraram uma capacidade de carga de atrito lateral 64% inferior ao previamente calculado, confirmada pela análise por meio dos valores dos dados resultados SPT executados posteriormente.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio bidirecional, estacas hélice contínua, célula expansiva, atrito lateral.

ABSTRACT: The objective of this work is to demonstrate the reduction of load capacity due to skin friction in continuous CFA piles, executed in cut land, diagnosed through bidirectional tests. The load capacity of the piles was calculated from the soil profile established by SPT tests carried out before the excavation of the land. The lowering quota was 5.0 m from which 10.6 m long piles with diameters of 600 and 700 mm and workload of 1500 and 2000 kN were executed. Bidirectional tests were carried out, positioning the cells 2.0 m above the height of the pile toe, a

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



sefe 10

position considered for the balance of skin friction efforts from the upper section to the cell and toe resistance plus skin friction from the lower section. The subsoil of the site was basically composed of fine and medium sand, from moderately compact to compact. Based on the load capacity analysis, the breaking loads exceeded the working load by more than 250%. The results of the tests showed a skin friction load capacity 64% lower than previously calculated, confirmed by the analysis through the values of the data SPT results performed later.

KEYWORDS: bidirectional load test, CFA Piles, expansive cell, skin friction

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



Realização:



Avenida Rebouças, 353, Sala 74 A
Cerqueira César, São Paulo/SP, 05401-900
Telefone: (11) 3052-1284
E-mail: abef@abef.org.br

Organização:



Avenida T-9, 2310 - Ed. Inove Intelligent Place
Sala B701, Jardim América, Goiânia/GO, 74255-220
E-mail: secretaria@qeeventos.com.br
Site: www.qeeventos.com.br



1 Introdução

As estacas do tipo hélice contínua vêm conquistando muitos adeptos, tanto por parte dos consultores como dos projetistas. Isso se deve ao processo de execução que possui muitas vantagens com relação a outros tipos de fundações como não ser afetado pelo nível do lençol freático, não interferir nas edificações vizinhas por não provocar vibrações e ruídos, grande velocidade na execução, sendo capaz de implicar em redução do cronograma de obra (ALMEIDA NETO, 2002 citado por MASCAGNA COSTA et al., 2021).

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 (BRANCO e ALVES, 2019).

Em solos preponderantemente arenosos 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} , pelo menos no trecho de inserção das estacas e, por consequência, a capacidade de atrito lateral das estacas (BRANCO e ALVES, 2019). Segundo Skempton (1986) citado por Branco e Alves (2019), a escavação de terreno provoca uma redução da tensão vertical efetiva. Caso se conheça a densidade relativa é possível deduzir qual será a redução dos valores do N_{spt} .

Uma forma de comprovar as previsões dos métodos semiempíricos e as alterações das propriedades de resistência do solo são as provas de carga pelo método bidirecional. Essa metodologia teve início na década de 1980, onde as primeiras publicações acerca de sua montagem, procedimento executivo e interpretação de seus resultados apareceram nos trabalhos de Silva (1983, 1986), no Brasil, e de Osterberg (1989), nos EUA. À época, os autores procuraram desenvolver um equipamento capaz de solicitar separadamente as parcelas devido ao atrito lateral e a carga de ponta de uma estaca sem a necessidade de instrumentá-la em profundidade. Desta maneira, foi criado um dispositivo capaz mobilizar o fuste (segmento superior) e a ponta ou “ponta fictícia” (segmento inferior), caso este quando o conjunto se encontra acima do nível da ponta (RESENDE et al., 2022).

De maneira geral, o procedimento do ensaio bidirecional se dá pelo acionamento da célula expansiva através de um sistema hidráulico localizado à superfície e leituras dos deslocamentos realizadas por meio de hastes metálicas de medição posicionadas tanto no topo da célula, caracterizando a mobilização do fuste, quanto em sua base, configurando a solicitação da ponta ou ponta fictícia, a depender do caso. Assim, como resultado, obtém-se duas curvas carga-deslocamento como se duas estacas tivessem sido ensaiadas simultaneamente (RESENDE et al., 2022). Apesar de usual, a metodologia ainda não é normatizada no Brasil mesmo após quase 40 anos de existência, ficando seu uso a critério do projetista de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019).

Schmertmann e Hayes (1997) e Schmertmann et al. (1998) citados por Resende et al. (2019) apontam, como uma das principais vantagens, a possibilidade de usar a prova de carga

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



Realização:



Avenida Rebouças, 353, Sala 74 A
Cerqueira César, São Paulo/SP, 05401-900
Telefone: (11) 3052-1284
E-mail: abef@abef.org.br

Organização:



Avenida T-9, 2310 - Ed. Inove Intelligent Place
Sala B701, Jardim América, Goiânia/GO, 74255-220
E-mail: secretaria@qeeventos.com.br
Site: www.qeeventos.com.br

bidirecional para detectar possíveis falhas provenientes do processo executivo em estacas escavadas como efeitos da rugosidade da parede, concretagem inadequada e uso inadequado de ferramentas de perfuração. Outra vantagem dessa metodologia é a separação das parcelas de atrito lateral e resistência de ponta da estaca, principalmente quando a célula está posicionada próximo a ela (SCHMERTMANN; HAYES, 1997; ENGLAND, 2003 citados por RESENDE et al., 2022).

Dessa forma, o presente trabalho tem como principal objetivo demonstrar a interpretação dos resultados de ensaios bidirecionais como meio para comprovação de redução de atrito lateral em estacas hélice contínua executadas em terreno arenoso após corte.

2 Metodologia

Para se executar as provas de carga bidirecionais são realizadas análises do posicionamento das células expansivas com base no perfil de solo obtido através de sondagens de simples reconhecimento (SPT), conforme recomenda a NBR 6484 (ABNT, 2020). Essas sondagens foram realizadas antes do corte de cerca de 5 m do terreno onde as estacas seriam executadas. A fim de se estabelecer um ponto de equilíbrio entre os segmentos inferior, regido pelo atrito lateral acrescido de sua ponta, e superior, que atua puramente por atrito lateral, os resultados da sondagem foram aplicados em um método semiempírico para determinação da capacidade de carga nas estacas (DÉCOURT; QUARESMA, 1978). As características gerais dos dois casos estudados apresentaram variabilidade quanto aos seus diâmetros e comprimentos das estacas, o posicionamento das células foi o mesmo em relação à ponta das estacas uma vez que foi utilizada a mesma sondagem de referência. As cargas de trabalho das estacas ensaiadas eram de 1500 kN e 2000 kN para as estacas de diâmetro igual a 60 cm e 70 cm, respectivamente. As cargas estimadas para ensaio eram de duas vezes a carga de trabalho conforme indicado na NBR 6122 (ABNT, 2019). Na Tabela 1 são apresentadas tais propriedades de cada caso e, de forma resumida, o perfil de solo onde foram executadas. Na Tabela 2 é apresentado o perfil de solo da sondagem (SPT) de referência.

Tabela 1. Características gerais para cada caso analisado

Caso	Estaca	L (m)	$L_{inf}^{[1]}$ (m)	\varnothing (m)	$Q_{L\ rup}$ (kN)	$Q_{P\ rup}$ (kN)	$Q_{T\ rup}$ (kN)	Perfil de solo característico
01	Hélice Contínua	10,64	2,00	0,60	2110	2250	4360	Areia fina a média, medianamente compacta a compacta
02	Hélice Contínua	10,56	2,00	0,70	2460	2960	5420	Areia fina a média, medianamente compacta a compacta

[1] Comprimento do segmento inferior, distância a partir da ponta referente ao ponto de instalação da célula

Sendo:

$Q_{L\ rup}$ = Carga de ruptura prevista para atrito lateral do segmento acima da célula, fuste.

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



$Q_{p\text{ rup}}$ = Carga de ruptura prevista para a ponta fictícia (atrito lateral do segmento inferior mais resistência de ponta da estaca).

$Q_{T\text{ rup}}$ = Carga de ruptura prevista para toda estaca ($Q_{L\text{ rup}} + Q_{p\text{ rup}}$).

Tabela 2. Perfil de solo da sondagem de referência (SPT).

DADOS DA SONDAGEM SPT								
LIMITE DE SONDAGEM (m):		13,00			(1) ATERRO (3) SILTE		(2) ARGILA (4) AREIA	
ENTRADA DE DADOS PARA O TIPO DE SOLO:				PROFUNDIDADE	COD.1	COD.2	COD.3	
TIPO DE SOLO		SPT						
AREIA			22	1	4			
AREIA			26	2	4			
AREIA			36	3	4			
AREIA			50	4	4			
AREIA			50	5	4			
AREIA			50	6	4			
AREIA			50	7	4			
AREIA			50	8	4			
AREIA			50	9	4			
AREIA			50	10	4			
AREIA			50	11	4			
AREIA			50	12	4			

3 Resultados e discussões

Na Tabela 3 são apresentados, resumidamente, os valores encontrados para a carga máxima total aplicada e os deslocamentos máximo e residuais tanto para a ponta fictícia quanto para o fuste dos dois casos. Em seguida, nas Figuras 1 e 2 são apresentadas as curvas carga-recalque obtidas dos ensaios analisados, onde os valores de deslocamentos positivos são referentes ao trecho superior da estaca (fuste) e os negativos relacionados ao segmento inferior (ponta fictícia).

Tabela 3. Resumo dos resultados obtidos

Caso	Ø (m)	Carga máxima aplicada (kN)	Deslocamentos máximos (mm)		Deslocamentos Residuais (mm)	
			Ponta fictícia	Fuste	Ponta fictícia	Fuste
1	0,6	1452,00	23,55	88,3	20,56	84,41
2	0,7	1789,92	23,08	93,3	20,15	87,21

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



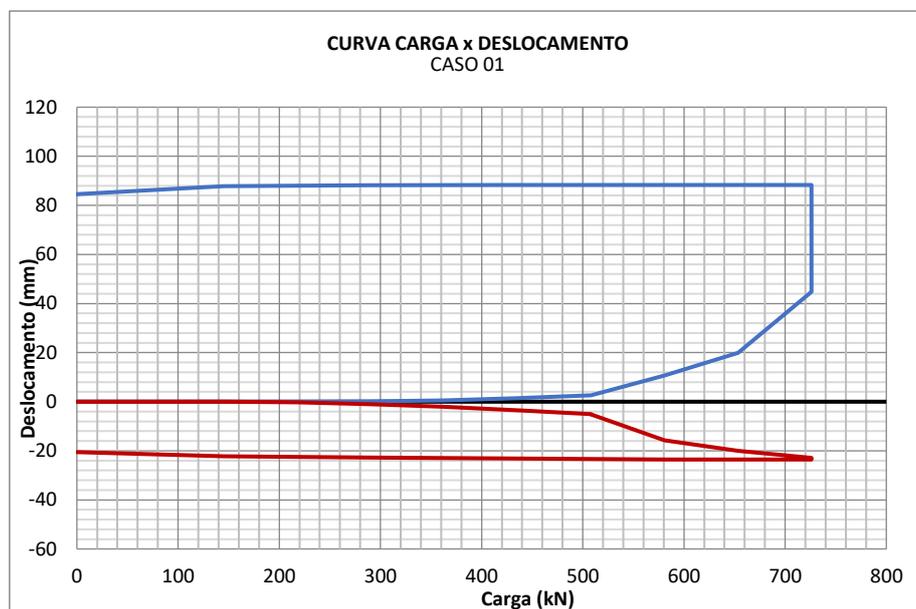


Figura 1. Curva carga-deslocamento do Caso 01

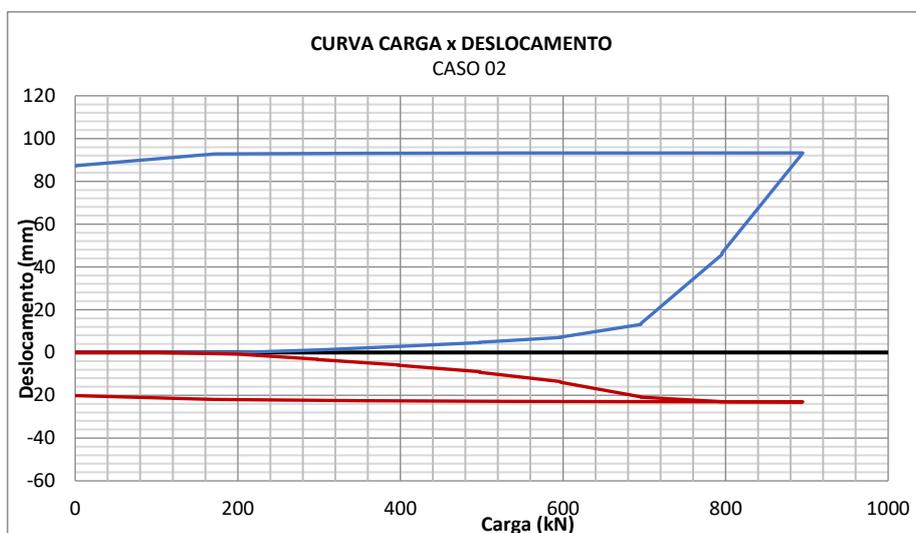


Figura 2. Curva carga-deslocamento do Caso 02

Os resultados dos dois casos mostraram um desempenho muito diferente do previsto pelo estudo inicial. As curvas da ponta fictícia apresentaram anormalidades características de deposição de material solto na ponta da estaca e foi observado uma alteração da curva caracterizada pela redução da taxa de deslocamentos para um mesmo acréscimo de carga, o que indica que o material depositado em seu interior foi comprimido, aumentando assim sua rigidez, semelhante ao indicado por Resende et al. (2022).

Após a mobilização do atrito lateral da ponta fictícia em ambos os casos, 580 kN no caso 01 e 700 kN no caso 02, há uma transferência de solicitação dos esforços para o fuste levando a

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



deslocamentos próximos de 20 mm seguido de curva característica de ruptura em ambos os casos. O caso 01 a ruptura ocorreu com 726 kN aplicados ao fuste e o caso 02 com 895 kN. Os valores foram 64,25 % em média abaixo do esperado.

Diante desse resultado foi executado uma nova pesquisa geotécnica com sondagem conforme a NBR 6484 (ABNT, 2020). Com os índices SPT obtidos, foi elaborada uma nova análise por metodologia semiempírica (Décourt, Quaresma, 1978) que indicou um desempenho divergente da primeira análise. Os resultados estão apresentados na Tabela 4 e o perfil na Tabela 5.

Tabela 4. Resultados

Caso	Estaca	L (m)	$L_{inf}^{[1]}$ (m)	\emptyset (m)	$Q_{L\ rup}$ (kN)	$Q_{P\ rup}$ (kN)	$Q_{T\ rup}$ (kN)	Perfil de solo característico
01	Hélice Contínua	10,64	2,00	0,60	940	1410	2350	Areia fina a média, medianamente compacta a compacta
02	Hélice Contínua	10,56	2,00	0,70	1100	1870	2970	Areia fina a média, medianamente compacta a compacta

[1] Comprimento do segmento inferior, distância a partir da ponta referente ao ponto de instalação da célula

Sendo:

$Q_{L\ rup}$ = Carga de ruptura prevista para atrito lateral do segmento acima da célula, fuste.

$Q_{P\ rup}$ = Carga de ruptura prevista para a ponta fictícia (atrito lateral do segmento inferior mais resistência de ponta da estaca).

$Q_{T\ rup}$ = Carga de ruptura prevista para toda estaca ($Q_{L\ rup} + Q_{P\ rup}$).

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



Tabela 5. Perfil de solo da nova sondagem de referência (SPT).

DADOS DA SONDAAGEM SPT								
LIMITE DE SONDAAGEM (m):		13,00			(1) ATERRO (3) SILTE		(2) ARGILA (4) AREIA	
ENTRADA DE DADOS PARA O TIPO DE SOLO:				PROFUNDIDADE	COD.1	COD.2	COD.3	
TIPO DE SOLO		SPT						
AREIA			11	1	4			
AREIA			9	2	4			
AREIA			10	3	4			
AREIA			20	4	4			
AREIA			16	5	4			
AREIA			29	6	4			
AREIA			33	7	4			
AREIA			38	8	4			
AREIA			43	9	4			
AREIA			28	10	4			
AREIA			28	11	4			
AREIA			37	12	4			

Os valores estimados de ruptura de atrito lateral das novas análises foram 55 % inferiores aos resultados da primeira análise e confirmam os resultados obtidos na prova de carga. Os resultados comprovam a afirmação de Branco e Alves (2019) que solos preponderantemente arenosos, 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} e, por consequência, redução do atrito lateral das estacas.

4 Conclusão

No presente trabalho foram analisadas provas de carga bidirecionais em estacas hélice contínua executadas em terreno arenoso após corte de 5 m visando comprovar a redução de atrito lateral provocada pela remoção de camadas superiores do terreno nos locais de execução das estacas. A análise das curvas carga-recalque permitiu identificar, além da presença de material solto na ponta de estacas hélice contínua, que há uma redução superior a 60% do atrito lateral para esse tipo de estaca em terrenos arenosos. Além disso, a comparação dos resultados com a análise por metodologia semiempírica realizada com sondagens executadas após o corte comprova a afirmação de Branco e Alves (2019) que as capacidades de carga das estacas tipo hélice contínua, previstas por métodos semiempíricos, são superestimadas pelo menos no comportamento de solos arenosos.

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





REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 6484. Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro.
- Branco, F. O.; Alves, A. M. L. Previsão e observação da capacidade de carga de estacas tipo hélice contínua em solo arenoso sedimentar. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, 9., São Paulo, 2019. [Anais...]. São Paulo: ABEF, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333666401_Previsao_e_observacao_da_capacidade_e_de_carga_de_estacas_tipo_helice_continua_em_solo_arenoso_sedimentar
- 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 – COBRAMSEF, Rio de Janeiro. Anais... ABMS. v. 6, p. 45-53.
- Mascagna Costa, W., Quaresma, J. E., & Florian, F. (2021). VIABILIDADE DA HÉLICE CONTÍNUA NA CONSTRUÇÃO CIVIL. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218, 2(10), e210807. <https://doi.org/10.47820/recima21.v2i10.807>
- Osterberg, J. O. (1989) New device for load testing driven piles and drilled shafts separates friction and end bearing. In. 14th International Conference of Piling and Deep Foundation, Londres. Proceedings... CRC Press. p. 421-427.
- Resende, A.S.; Barbosa, Y; Chaves, N.A. e Albuquerque, P.J.R. AVALIACAO DE DESEMPENHO DE ESTACAS ESCAVADAS EM ENSAIOS BIDIRECIONAIS – ANALISE DE RESULTADOS. In: ANAIS DO XX COBRAMSEG, 2022, Campinas. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2022. Disponível em: <https://proceedings.science/cobramseg-2022/trabalhos/avaliacao-de-desempenho-de-estacas-escavadas-em-ensaios-bidirecionais-analise-de?lang=pt-br> Acesso em: 26 jul. 2023.
- Schmertmann, J. H., Hayes, J. A. (1997) The osterberg cell and bored pile testing – a symbiosis. In: 3rd International Geotechnical Engineering Conference, Cairo. Proceedings... p. 3-12.
- Schmertmann, J. H., Hayes, J. A.; Molnit, T.; Osterberg, L. O. (1998) O-cell testings case histories demonstrate the importance of bored pile (drilled shaft) construction technique. In: 4th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Missouri. Proceedings... University of Missouri. p. 1103-1115.
- Silva, P. E. C. A. F. (1983) Célula expansiva hidrodinâmica: Uma nova maneira de executar provas de carga, ARCOS, Belo Horizonte, Brasil.
- Silva, P. E. C. A. F. (1986) Célula expansiva hidrodinâmica: Uma nova maneira de executar provas de carga. In: 8º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações – COBRAMSEF, Porto Alegre. Anais... ABMS. v. 6, p. 223-241.

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

