

RESULTADOS DE PROVAS DE CARGA EM ESTACAS ESCAVADAS SEM FLUIDO ESTABILIZANTE EM SOLO EVOLUÍDO DE BASALTO

Ewerton Guelssi ¹; Verônica Ricken Marques ²; Jorge Luis Augusto Almada ³ Juliana Azoia Lukiantchuki ⁴; Jeselay Hemetério Cordeiro dos Reis ⁵; Antonio Belincanta ⁶

Resumo – Em obras de pequeno e médio porte, na região de Maringá/PR, é comum a utilização de fundações do tipo estacas escavadas de pequeno diâmetro sem fluido estabilizante apoiadas em solo evoluído de basalto. Nessa camada de solo, como já se sabe, seu comportamento é significativamente modificado com o aumento do teor de umidade, principalmente devido a sua característica de colapsibilidade, o que condiciona os resultados de provas de carga em estacas escavadas. Para avaliar esse comportamento, neste trabalho foram realizadas, em épocas com precipitações diferentes, três provas de carga estática à compressão, seguindo os métodos de ensaio estabelecidos pela ABNT NBR 12131:2006, em três estacas escavadas com diâmetro nominal de 25 cm e comprimento de 8 m, executadas sem a utilização de fluido estabilizante no Campo Experimental de Geotecnia da Universidade Estadual de Maringá (UEM), em solo evoluído de basalto, sob condições de teores de umidade do solo diferentes para cada estaca. Os teores de umidade do solo foram determinados por meio do método da estufa a partir de amostras de solo retiradas de 30 em 30 cm até a profundidade de 3,60m por meio de sondagem a trado, realizada próxima às estacas ensaiadas. Os resultados obtidos mostraram que o aumento do teor de umidade provoca diminuição da capacidade de carga das estacas na ordem de 3,5% a 20,7%.

Abstract – In small and medium-sized constructions, in the Maringá/PR region, it is common to use foundations such as bored small diameter piles without drilling fluid supported on basalt soil. In this soil stratum, as is well known, its behavior is significantly modified by increasing the water content, mainly due to its collapsibility characteristic, which conditions the results of load tests on bored piles. In order to evaluate this behavior, three pile loading tests under compression were performed in different water contents, following the test methods established by ABNT NBR 12131: 2006, in three bored piles with nominal diameter of 25 cm and length of 8 m, performed without drilling fluid in the Experimental Field of Geotechnics of the State University of Maringá (UEM), in an evolved basalt soil, under conditions of different soil water contents for each pile. The soil water content was determined by the drying oven method from soil samples taken at intervals of 30 cm by 30 cm to the depth of 3.60m from the auger borings, carried out near the piles tested. The results showed that the increase of the water content causes a decrease in the bearing capacity of the piles in the order of 3.5% to 20.7%.

Palavras-Chave – Prova de carga; Estaca escavada; Capacidade de carga.

¹ Eng., MSc Student, Universidade Estadual de Maringá: Maringá - PR, (44) 3011-3864, e.guelssi@gmail.com

² Eng., MSc, Universidade Estadual de Maringá: Maringá - PR, (44) 3011-3864, v.ricken.marques@gmail.com

³ Eng., PhD Student, Universidade Estadual de Londrina: Londrina - PR, (44) 99924-0856, almadaeng@gmail.com

⁴ Eng., PhD, Universidade Estadual de Maringá: Maringá - PR, (44) 3011-3864, jazoia@yahoo.com.br

⁵ Eng., PhD, Universidade Estadual de Maringá: Maringá - PR, (44) 3011-3864, jeselay@hotmail.com

⁶ Eng., PhD, Universidade Estadual de Maringá: Maringá - PR, (44) 3011-3864, abelincanta@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

As fundações de pequeno e médio porte geralmente são executadas na camada superficial de solo. Em regiões em que a camada superficial é composta por solo evoluído e poroso tem-se que o comportamento das fundações depende também do teor de umidade do solo, principalmente frente a uma possível característica colapsível desses solos. De acordo com Gutierrez (2005), os solos colapsíveis ou metaestáveis se caracterizam pelo potencial de sofrerem um recalque de grande proporção quando submetidos a um aumento do teor de umidade do solo. Segundo Cintra (1998), a capacidade de carga de uma fundação em solos colapsíveis varia em função do teor de umidade (ou da pressão de sucção) do solo, podendo provocar danos nas estruturas em períodos de chuvas intensas.

Em solos evoluídos de basalto de características colapsíveis, devido a sua baixa resistência geralmente se utilizam fundações por estacas de pequeno diâmetro e sem fluido estabilizante, cujas características de execução e por estarem totalmente embutidas na camada de solo evoluído são as fundações mais sensíveis aos efeitos do colapso do solo quando do seu umedecimento (CINTRA, 1998).

Quanto à resistência do solo evoluído, a camada superficial do solo de Maringá/PR apresenta, conforme Gutierrez e Belincanta (2004), baixos valores de índice de resistência à penetração do SPT, com valores inferiores a 3, sendo as vezes 1, na parte superior da camada, a qual se limita a 4 ou 5 metros de profundidade, e valores em torno de 7, chegando até 10, na parte inferior da camada, até uma profundidade de 12 metros ou mais.

Essa camada superficial do solo na região de Maringá/PR, segundo Gutierrez (2005), é constituída de solo evoluído, do tipo latossolo vermelho distroférico, que se origina da alteração de basalto, tem textura predominantemente argilosa, porosa, de coloração marrom ou vermelha e tem massa específica dos sólidos na ordem de 3,05 g/cm³. Conta ainda com elevada quantidade de óxidos e hidróxidos de ferro, é composta por estruturas de micro agregados, muito estáveis, possui alto grau de floculação das argilas e é constituída de solo metaestável (solo colapsível) (GUTIERREZ; BELINCANTA, 2004).

As fundações nesse tipo de solo apresentam comportamento dependente do teor de umidade do solo. De acordo com Gutierrez (2005), o colapso é o evento resultante da redução da resistência ao cisalhamento de um solo poroso e não saturado, quando da elevação do teor de umidade do solo sob uma determinada tensão aplicada (GUTIERREZ, 2005).

Nesse contexto, esse trabalho mostra os resultados de três provas de carga estática à compressão, realizadas em conformidade com a norma ABNT NBR 12131:2006, em três estacas escavadas com diâmetro nominal de 25 cm e comprimento de 8 m, sem fluido estabilizante (estacas do tipo broca), executadas no Campo Experimental de Geotecnia da Universidade Estadual de Maringá (UEM), em solo evoluído de basalto, em diferentes condições de umidade do solo. Os teores de umidade do solo foram determinados por meio do método da estufa a partir de amostras de solo retiradas de 30 em 30 cm até a profundidade de 3,60m por meio de sondagens a trado realizadas próximas às estacas ensaiadas.

2. CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO DE SOLOS

O Campo Experimental de Geotecnia da Universidade Estadual de Maringá localiza-se na zona urbana da cidade de Maringá/PR, no bairro Vila Esperança e mais precisamente na latitude 23°25'S e longitude 51°57'W. Seu subsolo é típico da cidade de Maringá.

A área de estudo é composta por uma camada de solo superficial, pedologicamente evoluído do basalto e que, segundo a denominação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), é classificado como Latossolo Vermelho (textura argilosa) e, segundo a posição, de média a alta vertente. Esse tipo de solo, de acordo com a sua classificação pedológica, é típico do Terceiro Planalto Paranaense (GUTIERREZ, 2005).

Na Figura 1, são apresentados, além da identificação dos solos da área de estudo, os valores de N_{SPT} mínimo, médio e máximo, com os respectivos desvios padrão e coeficientes de variação, em função da profundidade, obtidos a partir de quatro sondagens de simples reconhecimento com SPT e torque, realizadas anteriormente no local onde foram executadas as estacas de ensaio. Na Tabela 1 são apresentados, de uma forma geral, os parâmetros de caracterização do solo obtido no Campus Sede da Universidade Estadual de Maringá, em solo situado acima do lençol freático.

Prof.	Descrição do solo	N_{SPT}			
		Médio	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
1m	Argila siltosa marrom avermelhado consistência: de mole à média Solo evoluído	1,99	1,74	2,34	0,29
2m		1,98	1,73	2,17	0,18
3m		2,79	2,31	3,13	0,35
4m		3,48	2,98	4,33	0,64
5m		4,08	3,24	4,75	0,63
6m		4,80	4,16	5,31	0,52
7m		4,97	4,18	5,90	0,78
8m		6,20	5,13	8,13	1,32
9m		6,59	5,90	7,76	0,82
10m		Argila siltosa variegada (de roxo e marrom avermelhado à marrom amarelado) consistência: de média à rija Solo residual de basalto vesicular-amigdaloidal OBS: nível do lençol freático observado na profundidade de 15,70m	8,89	5,59	11,88
11m	10,40		7,71	12,70	2,13
12m	11,14		10,08	12,35	0,94
13m	13,49		11,74	15,27	1,58
14m	13,76		12,19	15,60	1,44
15m	13,07		8,63	23,25	6,90
16m	19,54		18,43	21,19	1,46
17m	35,22	31,00	39,00	4,02	

Figura 1. Perfil do solo no Campo Experimental de Geotecnia da UEM
Fonte: Adaptado de Belincanta (1998)

Tabela 1. Índices físicos e limites de consistência típicos dos solos constituintes do subsolo da cidade de Maringá, para locais de alta e média vertente.

Discriminação	Símbolo e unidade	Solo evoluído (latossolo vermelho distroférico)	Solo residual jovem
Peso específico natural	γ_n (kN/m ³)	12,5 - 16,5	15,5 - 18,0
Peso específico dos grãos	γ_s (kN/m ³)	29,7 - 30,7	28,0 - 30,5
Umidade natural	w (%)	29 - 35	43 - 55
Grau de saturação	S_r (%)	37 - 70	60 - 100
Índice de vazios	e	1,50 - 2,30	1,25 - 2,00
Porosidade	η (%)	60 - 70	55 - 67
Fração argila	%	52 - 78	48 - 60
Fração silte	%	15 - 38	26 - 32
Fração areia	%	5 - 10	13 - 17
Limite de liquidez	LL (%)	53 - 61	60 - 95
Limite de plasticidade	LP (%)	39 - 45	41 - 66
Índice de plasticidade	IP (%)	14 - 22	19 - 40
Atividade coloidal	AC	0,20 - 0,35	0,34 - 0,75

Fonte: Belincanta (1998) e Gutierrez et al.,(2004).

3. PROGRAMA DOS ENSAIOS DE CAMPO

A Tabela 2 apresenta algumas informações e características das estacas ensaiadas, enquanto que a Figura 2 apresenta um esquema geral do sistema utilizado nas provas de carga estática à compressão, do tipo lenta, executadas em conformidade com a ABNT NBR 12131:2006, as quais foram denominadas de E203, E402 e E404.

Tabela 2. Informações gerais das estacas E203, E402 e E404.

Estaca	Diâmetro nominal (cm)	Comprimento nominal (m)	Data da concretagem	Fck do concreto (MPa)	Slump (cm)	Consumo de cimento (kg/m ³)	Data da prova de carga
E203	25	8	18/09/2013	25	13	300	03 à 04/12/2015
E402	25	8	22/01/2016	25	13	300	28 à 29/09/2016
E404	25	8	22/01/2016	25	13	300	03 à 04/05/2016

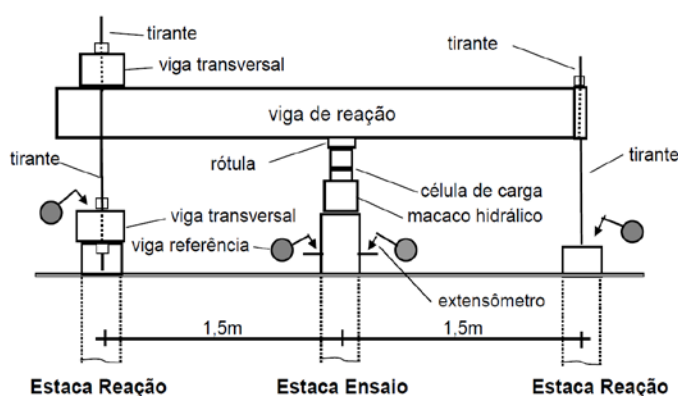


Figura 2. Esquema geral do sistema utilizado nas provas de carga
Fonte: Adaptado de Almada (2016).

Quanto à umidade do solo destacam-se as precipitações diárias ocorridas ao longo do período de 20 dias que antecederam a realização da prova de carga da estaca E203. A partir dos dados da Estação Climatológica da Universidade Estadual de Maringá, constatou-se que no período de 20 dias antecedentes à realização desta prova de carga a precipitação acumulada foi de 341,1 mm, sendo nos 10 dias anteriores de 191,7 mm. Com essa precipitação, relativamente considerável, o teor de umidade médio do solo, verificado no dia de sua realização, resultou em 36,7%. Já para o caso das estacas E402 e E404, para as quais não se observaram precipitações consideráveis nos dias que antecederam a realização das provas de carga, os valores dos teores de umidade médio, até a profundidade de 3,60 m, medidos foram de 33,8% e 34,8%, respectivamente.

4. RESULTADOS

A Figura 3 apresenta as curvas carga-recalque das provas de carga realizadas nas três estacas de ensaio. Nota-se que ao analisar essas curvas, e devido ao acréscimo do teor de umidade do solo, verificou-se uma significativa redução da capacidade de carga da estaca E203 em relação as outras estacas. A Tabela 3 resume a relação entre o teor de umidade do solo e a resistência última da estaca (entendendo resistência última como a máxima reação mobilizada na iminência da ruptura).

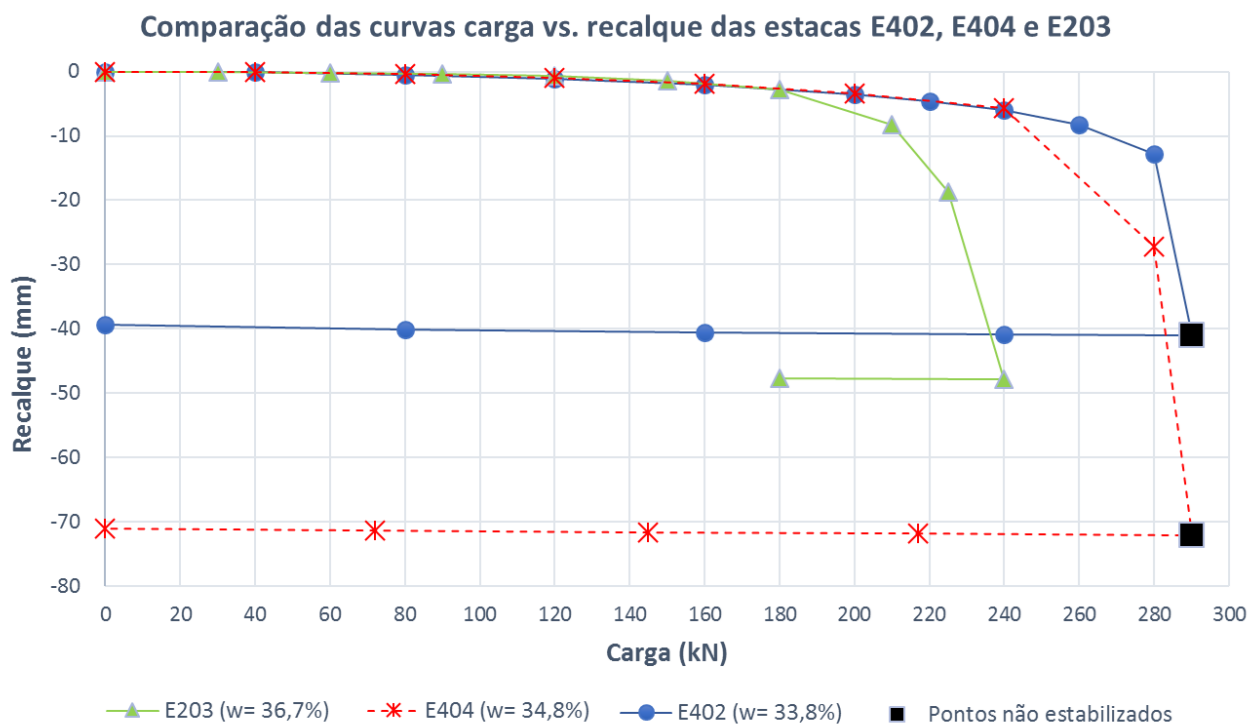


Figura 3. Comparação das curvas carga-recalque das estacas E402, E404 e E203 frente aos efeitos da umidade.

Tabela 3. Relação entre o teor de umidade do solo e a resistência última da estaca.

Estaca	Teor de umidade médio do solo (%)	Máxima carga aplicada (kN)
E402	33,8	290
E404	34,8	290
E203	36,7	240

As Figuras 4, 5 e 6 apresentam os resultados da determinação da capacidade de carga, por diferentes métodos, para as estacas E402, E404 e E203, respectivamente. Dessa forma a aplicação do método de Van der Veen (1953) modificado por Aoki (1976) é mostrado no item (a), método de Chin-Kondner (1970) item (c) e método de Brinch-Hansen (1963) item (e). As curvas carga-recalque idealizadas a partir da aplicação desses métodos, bem como, a estimativa da capacidade de carga pelo método da ABNT NBR 6122:2010 para cada um deles são apresentadas nos itens (b), (d) e (f) respectivamente.

O método de Chin-Kondner (1971) considera a curva carga-recalque como hiperbólica, quando se aproxima da carga de ruptura, e consiste em se ajustar uma reta a partir dos pontos obtidos dos valores de carga e recalque da prova de carga estática. Para tanto, no eixo das ordenadas são colocados os valores da razão entre recalque e carga aplicada e no eixo das abscissas colocados os valores dos recalques medidos no ensaio de carregamento estático. O inverso do coeficiente angular da reta será o valor da capacidade de carga do sistema solo-estaca. (FELLENIUS, 2006).

O método original de Van der Veen (1953) estabelece que a curva carga-recalque se assemelha a uma exponencial, a qual pode ser ajustada à curva carga-recalque real medida. A equação de ajuste do método conduz a uma assíntota (quando o recalque tende ao infinito), a qual coincide com a carga de ruptura do sistema solo-estaca. Utiliza-se processo iterativo para a determinação da carga de ruptura, arbitrando-se vários valores para a carga de ruptura e analisando os resultados num gráfico semi-logarítmico. Isso permite verificar qual dos valores arbitrados para carga de ruptura conduz a uma reta no gráfico. A tensão de ruptura será aquela

que apresentar o melhor ajuste linear, ou seja, $R^2 \approx 1$ (ALONSO, 2003). Esse método foi modificado por Aoki (1976), quando o autor introduziu um fator para descrever curvas que passam pela origem. Neste trabalho utilizou-se o método modificado por Aoki (1976).

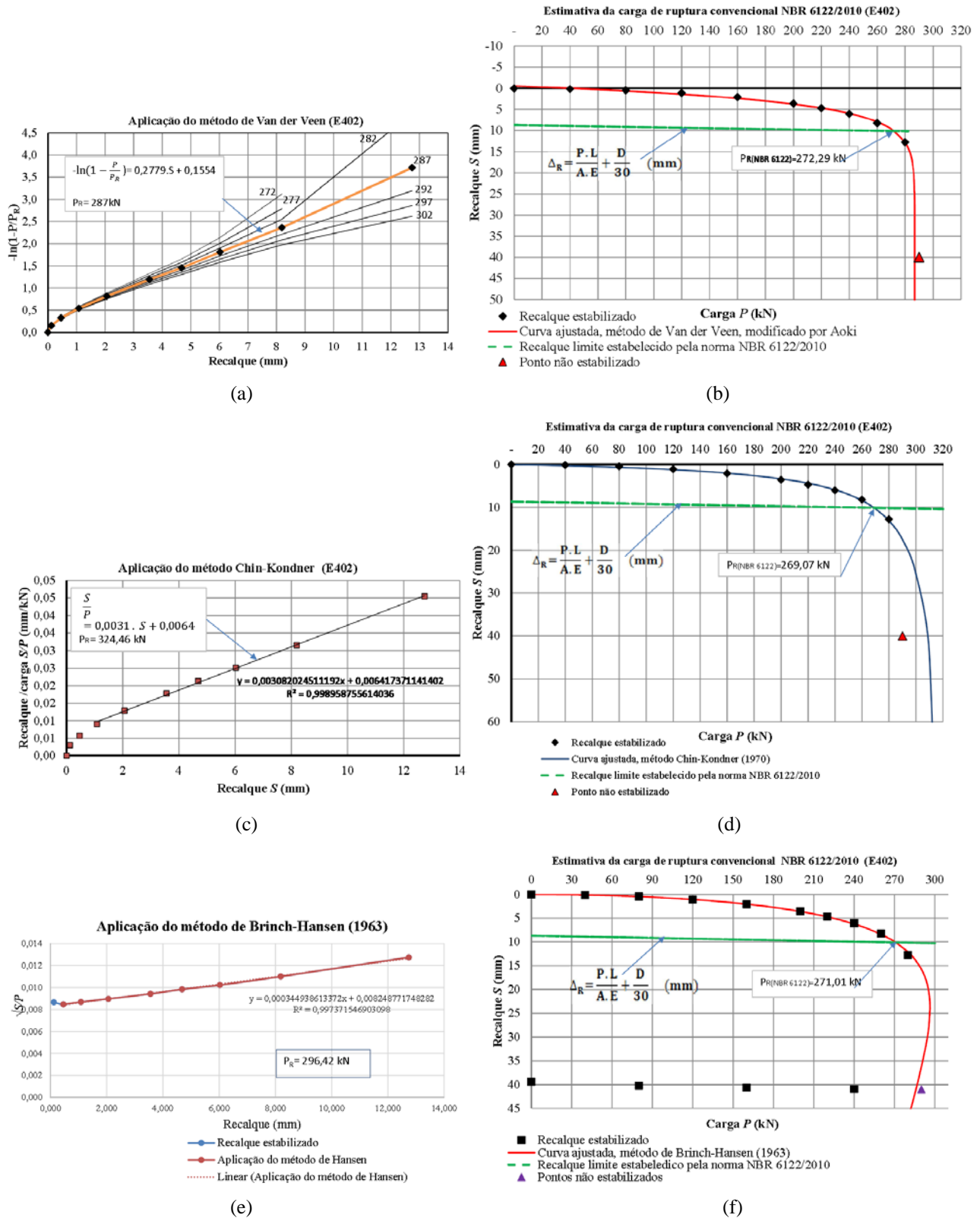


Figura 4. Curvas carga-recalque extrapoladas e estimativa da capacidade de carga da estaca E402 pelos métodos de Van der Veen, Chin-Kondner, Brinch-Hansen e método da NBR 6122/2010.

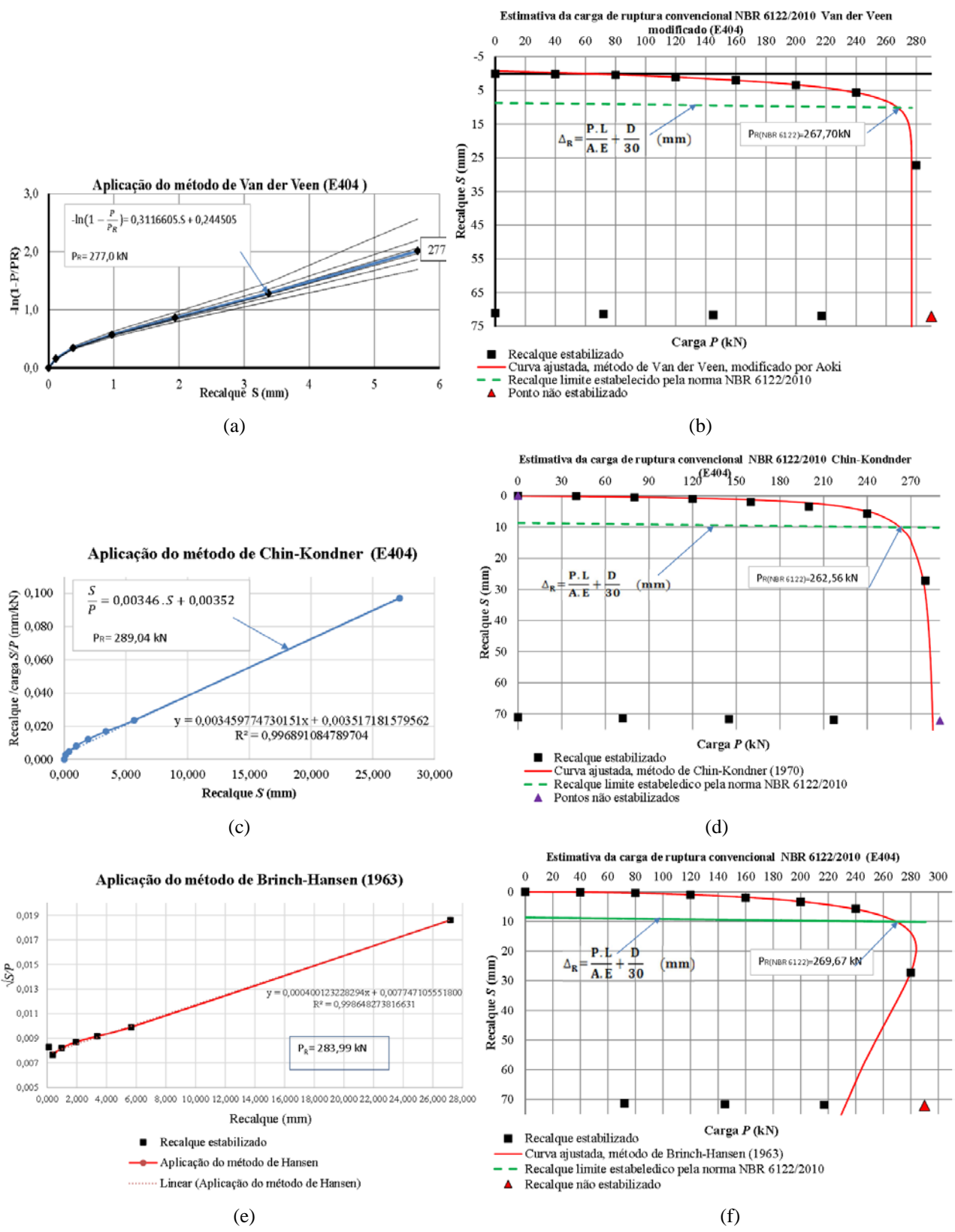


Figura 5. Curvas carga-recalque extrapoladas e estimativa da capacidade de carga da estaca E404 pelos métodos de Van der Veen, Chin-Kondner, Brinch-Hansen e método da NBR 6122/2010.

O método de Brinch-Hansen (1963), também conhecido como método dos 80%, propõe ruptura como sendo a carga que provoca deslocamentos quatro vezes maior que aquele observado com 80% desta carga.

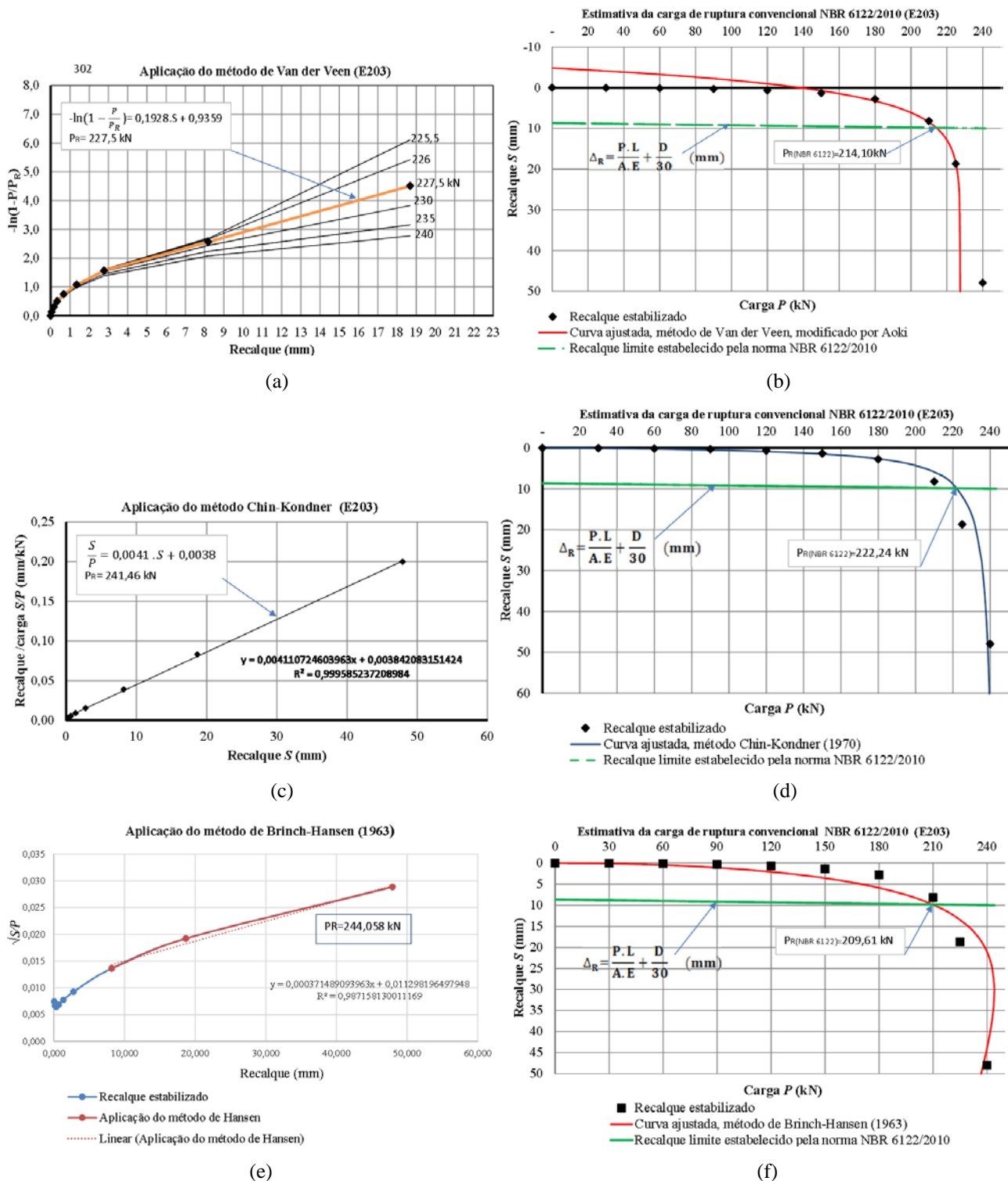


Figura 6. Curvas carga-recalque extrapoladas e estimativa da capacidade de carga da estaca E203 pelos métodos de Van der Veen, Chin-Kondner, Brinch-Hansen e método da NBR 6122/2010.

O método da ABNT NBR 6122:2010 estabelece um recalque limite (deslocamento limite), o qual é determinado a partir de uma equação linear constituída de duas parcelas: uma relacionada a um encurtamento elástico do elemento estrutural e a outra relacionada ao diâmetro da seção transversal da estaca. Ao plotar em um mesmo gráfico a reta gerada a partir dessa equação linear juntamente com a curva carga-recalque medida ou extrapolada por algum método de extrapolação, tem-se no ponto de interseção a carga de ruptura convencional, estabelecido pelo método da ABNT NBR 6122:2010.

Cabe destacar que os ensaios das estacas E402 e E404, Figuras 4 e 5 respectivamente, apresentaram pontos de carga-recalque não estabilizados. Estes pontos estão representados por triângulos nos itens (b), (d) e (f) dessas figuras, conforme suas legendas. A estabilização, segundo a ABNT NBR 12131:2006, é atendida quando na execução do ensaio a diferença entre duas leituras consecutivas do recalque corresponder a no máximo 5% do recalque havido no mesmo estágio (entre o recalque estabilizado do estágio anterior e o atual). Quanto à estaca E203, todos os seus pontos de carga -recalque foram estabilizados.

Na Tabela 4 apresentam-se as características gerais das estacas e das provas de carga, bem como, um resumo das capacidades de carga determinadas por todos os métodos já discutidos ao longo deste trabalho, bem como, também pelo método de Terzaghi (1943).

Tabela 4. Características das estacas ensaiadas e das provas de carga realizadas, capacidades de carga estimadas e medidas em provas de carga.

Descrição		E402	E404	E203
Diâmetro efetivo (mm)		260	260	260
Comprimento do fuste (m)		8	8	8
Tipo de carregamento		Lento	Lento	Lento
Duração do ensaio (h)		26,2	19,3	27,75
Umidade média do solo (%)		33,8	34,8	36,7
Deslocamento máximo medido (mm)		41,0	72,1	47,9
Ruptura prova de carga (kN)	Resistência última (Carga de Ruptura)	290,0	290,0	240,0
	Método Van der Veen, modificado por Aoki	287,0	277,0	227,5
	Método Chin-Kondner	324,5	289,0	243,3
	Brinch-Hansen	296,4	284,0	244,1
	Método NBR 6122/2010 (Van der Veen)	272,3	267,7	214,1
	Método NBR 6122/2010 (Chin-Kondner)	269,1	262,6	222,2
	Método NBR 6122/2010 (Brinch-Hansen)	271,0	269,7	209,6
	Método Terzaghi (Van der Veen)	286,8	276,9	226,9
	Método Terzaghi (Chin-Kondner)	300,4	278,2	234,8

5. CONCLUSÕES

As cargas de ruptura estimadas pelos diversos métodos, na maior parte dos casos e para todas as estacas, resultaram em valores abaixo da carga máxima aplicada no ensaio. Isto pode ser um indicativo de que a capacidade de carga da estaca possa ser entendida como a máxima reação mobilizada na iminência da ruptura, denominada de resistência última da estaca, mesmo que não tenham sido verificados os critérios de ruptura estabelecidos pela ABNT NBR 12131:2006. O valor da carga de ruptura estimada mais discrepante em relação à máxima carga aplicada trata-se da estimativa feita pelo método de Chin-Kondner (1970) para o caso da estaca E402, a qual foi superior a observada na prova de carga. Sendo recomendado, para esse caso, o uso da carga máxima aplicada na estaca como a capacidade de carga (FELLENIOUS, 2006).

Na análise dos efeitos da umidade do solo estudado (solo colapsível), ao tomar como referência os valores de carga de ruptura obtidos com o emprego do método de Van der Veen (1953) modificado por Aoki (1976), apresentados na Tabela 4, em relação às estacas E402 e E404, ao se verificar a umidade cerca de 1% maior, constatou-se que houve um decréscimo de cerca de 3,5% na capacidade de carga. Ao analisar de forma análoga as estacas E402 e E203, notou-se que um acréscimo de cerca de 2,9% no teor de umidade, provocou um decréscimo de cerca de 20,7% na capacidade de carga. Por outro lado, ao tomar a máxima carga aplicada no ensaio (resistência última da estaca) como referência, ao se verificar a umidade cerca de 1% maior, para o caso das estacas E402 e E404, não se registrou alteração na capacidade de carga. Já para o caso das estacas E402 e E203, um acréscimo de cerca de 2,9% no teor de umidade,

levou a um decréscimo em torno de 17,2% na capacidade de carga. Não se pode esquecer, entretanto, que, para ambos os cenários, o aumento do teor de umidade do solo conduziu a uma mudança de comportamento da curva carga-recalque. Por fim, destaca-se que, para todos os métodos, as cargas de ruptura unitárias (por metro de fuste) diminuíram com o aumento do teor de umidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Estadual de Maringá (UEM) pelo fomento à pesquisa e pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

ALMADA, J. L. A. “Avaliação de capacidade de carga de estacas escavadas com trado mecânico, sem fluido estabilizante, na cidade de Maringá/PR”. 2016. 1f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

ALONSO, U. R. *Previsão da carga admissível a partir da segurança à ruptura*. In: Previsão e controle das fundações. 3ª reimpr. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2003.

AOKI, N. *Considerações sobre a capacidade de carga de estacas isoladas*. In: Curso de extensão universitária em Engenharia de Fundações - Coordenação Central de Pós-graduação, 1976, Rio de Janeiro - RJ Universidade Gama Filho.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 6122: Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro, 2010.

_____. *ABNT NBR 12131: Estacas – Prova de carga estática – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 2006.

BELINCANTA, A. “Avaliação de fatores intervenientes no índice de resistência à penetração SPT”. São Carlos, 1998 (Doctoral Thesis in) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Vol. 1 e 2.361p

CHIN, F. K. *Estimation of the ultimate load of piles not carried to failure*. In: Proceedings of the 2nd Southeast Asian Conference on Soil Engineering, 1970, Singapore.

CINTRA, Jose Carlos A. *Fundações em solos colapsíveis*. EESC/USP, 1998.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (1999). Rio de Janeiro. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Produção de Informação e Embrapa Solos, Brasília, 412 p.

FELLENIOUS, Bengt H. Results from long-term measurement in piles of drag load and downdrag. *Canadian Geotechnical Journal*, v. 43, n. 4, p. 409-430, 2006.

GUTIERREZ, N. H. M.; BELINCANTA, Antônio. *Características básicas dos solos constituintes do subsolo da cidade de Maringá: locais de alta e média vertente*. In: IV SIMPOSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTECNICA DA REGIAO SUL, GEOSUL 2004, Curitiba – Pr. ABMS. Vol. 1, P. 39 – 46.

GUTIERREZ, N. H. M. *Influências de aspectos estruturais no colapso de solos do norte do Paraná*. 2005. 325p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

VAN DER VEEN, C. *The bearing capacity of a pile*. In: 3rd international conference on soil mechanics and foundation engineering, Zurich, 1953.