

Análise Comparativa do Método de Previsão de Capacidade de Carga para Estacas de Lobo (2005) com os Métodos Semi-empíricos para Solo do Plano Piloto de Brasília.

Luiz Carlos de Figueiredo
IFMT/UnB, Cuiabá-MT, Brasil, lucafi13@gmail.com

Renato P. Cunha
UnB, Brasília-DF, Brasil, rpcunha.unb@gmail.com

Wilson Conciani
IFB, Brasília-DF, Brasil, wilson.conciani@ifb.edu.br

Silvana Fava Marchezini
IFMT/UnB, Brasília-DF, Brasil, smarchezini@gmail.com

Neusa Maria Mota Bezerra
BMS Engenharia, Brasília-DF, Brasil, neusamota@bmsengenharia.com.br

RESUMO: A prática da engenharia brasileira utiliza, amplamente, de correlações empíricas, relacionando diretamente os resultados do ensaio SPT com o desempenho do elemento de fundação. Lobo (2005) utilizou-se da força dinâmica de reação do solo à cravação do amostrador SPT para estimar a capacidade de carga de estacas, relacionando os mecanismos de mobilização de resistência do amostrador com os da estaca. O presente artigo analisa os resultados obtidos com a aplicação desse método de previsão de capacidade de carga de estacas para locais distintos no plano Piloto de Brasília. Dois grupos de estacas são analisados. O primeiro grupo é constituído de estacas cravadas de concreto protendido e o segundo grupo de estacas escavadas. Do grupo de estacas escavadas todas foram submetidas a prova de carga estática. Os resultados obtidos pelo método de previsão de Lobo (2005) foram comparados com os resultados das provas de carga e com os métodos semi-empíricos de Aoki & Velloso (1975) e Décourt & Quaresma (1978). Para o grupo das estacas cravadas o perfil do SPT foi caracterizado como argila siltosa até 12 metros e argila arenosa de 13 a 20 metros de profundidade. Para o grupo de estacas escavadas o perfil foi considerado como areno siltoso até 5,5 m, silte arenoso de 5,5 a 8,5 m, silte a partir de 8,5 m e para uma estaca como areno siltoso até 9,0 m. Os resultados, mostram que o método de Lobo (2005) tem previsão satisfatória e melhor que os métodos semi-empíricos para estacas cravadas. Em relação às estacas escavadas o método apresentou uma previsão muito além do esperado. A dispersão dos dados para o método Lobo (2005) sugerem que a incerteza é elevada e erros positivos podem conduzir a um elevado grau de risco. Conclui-se que há necessidade de calibração do método para solos tropicais nos quais o processo executivo da estaca seja *in loco*, como as escavadas.

PALAVRAS-CHAVE: Previsão de capacidade de carga, SPT, Prova de carga, Prova de carga dinâmica

1 INTRODUÇÃO

A previsão da capacidade de carga de estacas constitui-se um dos problemas mais instigantes

da Engenharia de Fundações. O trabalho de Lobo (2005) trouxe à luz dos métodos de previsão de capacidade de carga uma nova proposta, a partir das equações desenvolvidas por Odebrecht

(2003), que leva em conta conceitos físicos de conservação de energia e na qual é calculada a força dinâmica de reação do solo à cravação do amostrador. Destaca-se, esse método, por considerar todas as variáveis envolvidas no processo de transferência de energia que ocorre ao evento de um golpe do SPT (*Standard Penetration Test*). Além disso, não há ajuste para o tipo de solo, pois essa variável é absorvida pela formulação (Lobo et al. 2014).

A autora validou a sua proposta com base em um banco de dados, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Banco de Dados de Validação do Método de Lobo (2005).

Provas de carga	Tipos de estacas			
	1	2	3	4
A	132	28	95	70
B	3	-	31	9

A – Provas de carga à compressão;

B – Provas de carga à tração;

1 – Estacas cravadas pré-moldadas de concreto;

2 – Estacas cravadas metálicas;

3 – Estacas hélices contínuas; e

4 – Estacas escavadas.

A análise estatística dos dados possibilitou atribuir à estimativa de capacidade de carga, um intervalo de confiança das previsões. Isso permitiu afastar o leque de incertezas que dificultam a determinação de valores pontuais e que são próprias dos ensaios geotécnicos, cujas fontes de incertezas são definidas por Pacheco e Lima (1996).

1.2 Conceito de Energia do SPT

O Teorema da Energia Cinética impõe que: o trabalho total das forças atuantes numa partícula é igual à variação da energia cinética dessa partícula. Desse pressuposto os trabalhos de (Odebrecht, 2003; Odebrecht et al. 2004; Odebrecht, 2005; Lobo, 2005; Lobo et al. 2006; Lobo et al. 2014; Schnaid et al. 2004; Schnaid, 2005 e Schnaid et al., 2006) apresentam um novo método para a interpretação do ensaio SPT, no qual é possível estimar uma força dinâmica (F_d) de penetração do amostrador, obtida em função da energia despendida durante a propagação de ondas na composição de hastes e amostrador.

A variação da energia do SPT, compreendida pelo deslocamento do martelo e haste, (ΔEPG)

assim, pode ser resumida pela Equação 1, como se verifica:

$$\Delta EPG = \eta_3[\eta_1(0,75 + \Delta\rho)M_m g + \eta_2 \Delta M_h g] \quad (1)$$

onde: M_m representa a massa do martelo, g a aceleração da gravidade, M_h a massa da haste e $\Delta\rho$ a penetração por golpe.

Segundo Lobo (2005) a Equação 1 corresponde à variação de energia de um golpe no SPT, onde η_1 representa a eficiência do golpe, η_2 a eficiência das hastes e η_3 a eficiência do sistema. Recomenda-se utilizar os valores de $\eta_1 = 0,761$; $\eta_2 = 1$ e $\eta_3 = 0,907-0,0066l$, valores estimados por Odebrecht (2003) através da retroanálise dos dados de Cavalcante (2002).

O trabalho realizado para a penetração permanente do amostrador, representa a variação da energia do SPT. Pode-se expressar a Equação 2 como produto da força (F_d) pela penetração ($\Delta\rho$) e portanto:

$$F_d = \frac{\eta_3[\eta_1(0,75 + \Delta\rho)M_m g + \eta_2 \Delta M_h g]}{\Delta\rho} \quad (2)$$

1.3 Analogia entre o SPT e Estaca – Hipóteses Assumidas

A autora a partir da formulação de Odebrecht (2003) para definição da eficiência do SPT, estabeleceu para o amostrador do SPT uma analogia com a estaca, isto é, a mobilização de dois mecanismos de reação do solo à cravação do amostrador: atrito lateral ao longo das faces internas e externas e forças normais para a ponta.

A Figura 1(c) mostra o mecanismo de uma estaca submetida à ruptura (Vésic, 1972). A capacidade de carga da estaca pode ser expressa da pela Equação 3 com a supressão do peso próprio do elemento de fundação:

$$QU = A_p q_p + \sum \tau_l \Delta L \quad (3)$$

onde: A_p = área de ponta da estaca;
 q_p = resistência unitária de ponta;
 U = perímetro da estaca;
 τ_l = resistência lateral unitária;

Para o amostrador Lobo (2005) estabeleceu duas hipóteses: ao longo do fuste de estacas os solos são de baixa resistência e, nesse caso, a

penetração do amostrador se dá com o total preenchimento interno deste (Figura 1(a)), a força dinâmica é inteiramente friccional; no nível da ponta de estacas os solos são resistentes e ocorre na ponta do amostrador tensões de cisalhamento nas faces externas e normais à ponta deste, devido à cravação com ponta fechada (Figura 1(b)).

Formulada a hipótese, a força dinâmica total no amostrador do SPT, Equação 2, pode ser decomposta em força da reação de ponta e força oriunda da parcela do atrito como mostrada na Equação 4:

$$F_d = F_{d,p} + F_{d,l} \quad (4)$$

onde: a força dinâmica (F_d), Equação 4, representa a soma das tensões cisalhantes ($F_{d,l}$) e normais à ponta ($F_{d,p}$) descritas pelas Equações 5 e 6 que representam as resistências unitárias mobilizadas pelo amostrador:

$$q_p = \frac{F_{d,p}}{a_p} \quad (5)$$

$$f_l = \frac{F_{d,l}}{a_l} \quad (6)$$

onde: a_p representa a seção transversal do amostrador de 20,40 cm² área (Equação 5); a_l que representa a soma das áreas laterais do amostrador, interna e externa (Equação 6), quantificada em 810,50 cm².

As parcelas quantificadas pela autora para a resistência de ponta e atrito lateral, com base na teoria de expansão da cavidade aplicada ao ensaio SPT, levou a uma primeira conclusão: solos resistentes, em média 70% da força dinâmica, são de forças normais à ponta e 30% da força dinâmica são de tensões cisalhantes.

Contudo, Lobo (2005) observou que há uma redução de 80% da tensão cisalhante mobilizada na estaca, que não pode ser explicada por efeitos de escala, esbeltez ou rigidez da estaca. Assim, as observações experimentais da autora levaram a estabelecer as tensões mobilizadas pela estaca, cisalhantes e normais à ponta, apresentadas nas Equações 7 e 8:

$$f_l = \frac{F_{d,l}}{a_l} = \frac{0,2F_d}{a_l} \quad (7)$$

$$q_p = \frac{F_{d,p}}{a_p} = \frac{0,7F_d}{a_p} \quad (8)$$

Substituindo as equações 7 e 8 em 3 obtém-se a Equação 9.

$$Q_u = \frac{0,2U}{al} \sum F_d \Delta L + 0,7F_d \frac{A_p}{a_p} \quad (9)$$

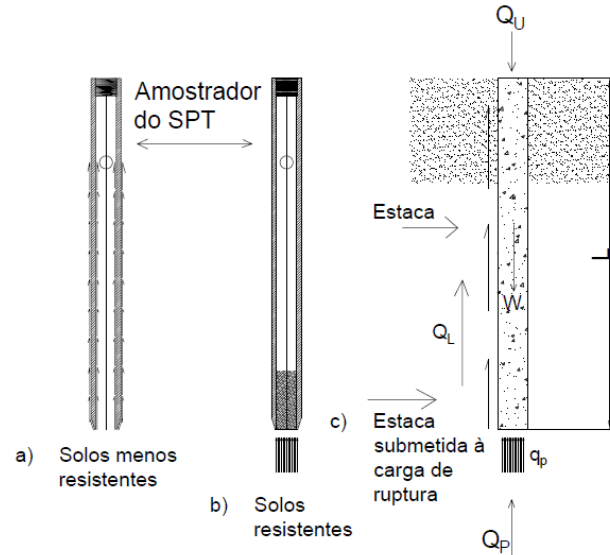


Figura 1. Separação da Força Dinâmica Mobilizada pelo Amostrador e Estaca Submetida à Ruptura (Vésic, 1972).

Lobo (2005) chegou a uma formulação final ao considerar as diferenças entre processos executivos e materiais entre estacas e o amostrador do SPT e estabelecer coeficientes para as cargas lateral e de ponta, através de estatística do banco de dados mencionado na Tabela 2. A Equação 10 apresenta a formulação do método proposto pela autora e a Tabela 2 os valores dos coeficientes de ajuste em relação ao tipo de estaca.

$$Q_u = \alpha \frac{0,2U}{al} \sum F_d \Delta L + \beta 0,7F_d \frac{A_p}{a_p} \quad (10)$$

Tabela 2. Coeficientes α e β

Tipo de estaca	α	β
Cravada pré-moldada	1,5	1,1
Metálica	1,0	1,0
Hélice contínua	1,0	0,6
Escavada	0,7	0,5

Lobo et al. (2014) orientam que conhecendo os valores de N_{spt} ao longo do perfil, é possível estimar a capacidade de carga da estaca conforme o procedimento proposto:

a) com os valores de N_{spt} calcula-se a penetração média do amostrador por golpe ($\Delta \rho = 0,3/N$);

b) com a equação 2, pode-se calcular a força F_d de reação do solo;

c) utiliza-se a equação 8 para calcular f_i ;

d) calcula-se a média das forças F_d 1m acima e 1m abaixo do nível da ponta da estaca e utiliza-se este valor na equação 9, obtendo-se assim q_p ;

e) utilizam-se os valores de f_i , q_p , α e β na equação 10 para calcular a capacidade de carga última da estaca.

2 MÉTODOS UTILIZADOS

A análise global das provas de carga estática e prova de carga dinâmica *versus* os métodos de previsão de capacidade de carga obedeceu aos resultados obtidos para cada grupo de estacas. Foram analisadas 14 estacas cravadas, localizadas na BR-450, 10 foram submetidas a prova de carga dinâmica (PCD) e 4 a prova de carga estática (PCE). As 5 estacas escavadas, localizadas no Campo Experimental da UnB, foram submetidas a prova de carga estática.

Os trabalhos de Mota (2003) e Marchezini (2013) forneceram os dados de capacidade de carga e provas de carga dinâmica e estática para análise do método proposto por Lobo (2005). Em ambos os trabalhos há várias comparações para análise global que levam em conta os métodos de extrapolação das curvas de carga de ruptura *versus* recalque ou deslocamento, além da própria carga aplicada última, no caso das provas de carga à compressão.

O trabalho de Marchezini (2013), além de apresentar provas de carga estática inclui também provas de carga dinâmica para dez estacas cravadas. A estaca ES01B foi ensaiada para os dois tipos de prova de carga.

Marchezini (2013) utilizou para a previsão da capacidade de carga os valores do ensaio de SPT e os métodos de Aoki-Velloso (1975) e de Décourt-Quaresma (1978), além dos métodos dinâmicos tradicionais, enquanto Mota (2003),

além de outros métodos, apresenta dois critérios diferentes para os métodos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978), os propostos por Rodrigues et al. (1998) para esses métodos.

Para as estacas escavadas optou-se, neste artigo, pela análise comparativa da extrapolação de carga de ruptura de Van der Veen (1953) e da carga máxima aplicada na prova de carga estática à compressão em relação aos métodos de estimativa de capacidade carga de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978).

Para as estacas cravadas optou-se pelos métodos CASE e CAPWAP por apresentarem menor variabilidade entre esses métodos.

A análise teve foco no erro calculado em percentagem entre a carga estimada diminuída da carga medida e dividida pela carga medida, vista na Equação 11:

$$Erro(\%) = \frac{Estimado - Medido}{Medido} \times 100 \quad (11)$$

A Tabela 3 apresenta os dados das estacas cravadas: nome da estaca, diâmetro da estaca, cota base, e prova de carga dinâmica (CAPWAP e CASE) para cada estaca; a Tabela 4 apresenta os dados das estacas cravadas: nome da estaca, diâmetro da estaca, cota base, carga última, deslocamento máximo e deslocamento permanente para cada estaca.

Tabela 3. Valores da Capacidade de Carga Última em kN – Prova de Carga Dinâmica

Estaca	Φ (cm)	Cota base (m)	CAPWAP	CASE
CC02	20	13	320,2	320,0
CC03	17	16	276,5	277,0
CC04	24	13	352,2	352,0
CC06	20	16	438,1	438,0
CC07	17	11	244,2	244,0
CC08	17	13	735,0	736,0
ES01B	33	16	676,7	677,0
ES02	20	13	426,1	426,0
ES03	17	12	350,9	351,0
ES04	24	12	340,6	341,0

Para o grupo das estacas cravadas o perfil do SPT foi caracterizado como argila siltosa até 12 metros e argila arenosa de 13 a 20 metros de profundidade. Para o grupo de estacas escavadas o perfil foi considerado como areno siltoso até

5,5 m, silte arenoso de 5,5 a 8,5 m, silte a partir de 8,5 m e para uma estaca como areno siltoso até 9,0 m. A Figura 2 apresenta os perfis dos SPT's com a referência das estacas que serão objetos de análise.

Tabela 4. Valores da Capacidade de Carga Última em kN – Prova de Carga Estática à Compressão

Estaca	ϕ (cm)	Cota base (m)	Carga última (kN)	$\rho_{\text{máx}}$ (mm)	ρ_{per} (mm)
CC01	17	12	199,2	27,2	25,0
CC05	20	16	420,0	28,0	27,0
ES01B	33	16	710,0	56,5	55,0
ES05	24	14	720,0	57,2	55,0
ES06	27	18	710,0	43,5	37,50
E1	30	7,65	270,0	16,10	14,94
E2	30	7,25	300,0	3,82	2,59
E3	30	7,80	270,0	4,85	3,50
E4	30	7,30	210,0	5,72	5,05
E5	30	7,85	270,0	8,92	6,82

$\rho_{\text{máx}}$ – deslocamento máximo alcançado na prova de carga

ρ_{per} – deslocamento permanente, após a prova de carga

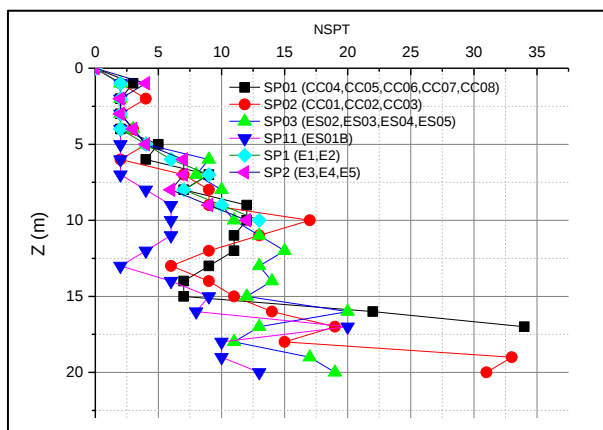


Figura 2 - Perfil dos SPT's com as Respectivas Estacas (Adaptação de Marchezini (2013) e Mota (2003)).

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 3 apresenta as estacas cravadas que foram submetidas a prova de carga dinâmica, métodos CAPWAP e CASE. A análise global mostra que para todas as estimativas o método proposto por Lobo (2005) apresenta resultados menos conservadores dos que os de Aoki-Veloso (1975) e de Décourt-Quaresma (1978), exceto para a estaca CC08. Em algumas estacas a estimativa proposta por Lobo (2005) ultrapassa o valor medido pela prova de carga dinâmica, caso das estacas CC04, CC06 e ES04.

Nota-se, da Figura 3, que o método Lobo (2005) apresenta estimativas mais próximas da

medida da prova de carga dinâmica, embora isso não garanta a eficiência do método sem a análise da dispersão das estimativas.

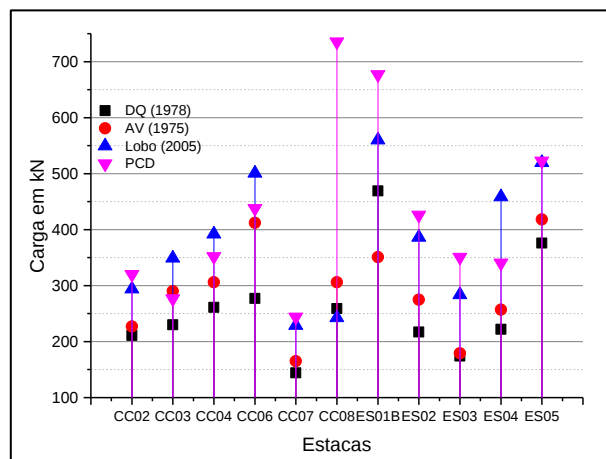


Figura 3 - Previsão da Capacidade Carga das Estacas Cravadas (Marchezini, 2013).

A Tabela 5 apresenta os erros para os métodos abordados na Figura 3 calculados pela Equação 11 relativos ao que foi medido nas provas de carga dinâmica. Nota-se que o valor da média dos erros do método proposto por Lobo (2005) é o que mais se aproxima dos valores da prova de carga dinâmica, confirmada pela mediana.

O desvio padrão, contudo, mostra que o método proposto por Lobo (2005) é menos conservador que os outros dois métodos em relação ao medido na prova de carga dinâmica, embora o maior valor estimado não ultrapasse a 35% da carga apurada.

No exame da variância dos erros de estimativa, o método proposto por Lobo (2005) é o que mais se afasta do resultado esperado. A variância e o coeficiente de variação denotam que o método apresenta maior dispersão que os de Aoki-Veloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978), confirmada pela defasagem entre o máximo e o mínimo dos erros apurados. Isso traz para o método de Lobo (2005) um alto grau de incerteza. Embora o resultado da média dos erros da estimativa pelo método Lobo (2005) esteja mais próximo da prova de carga dinâmica, a dispersão dos dados é preocupante quando se observa o coeficiente de variação. Do mesmo modo os métodos de estimativa Décourt-Qresma (1978) e Aoki-Veloso (1975), também apresentam um alto grau de incerteza, porém muito menor que o método de Lobo (2005). Uma arguição pode ser respondida pelo solo que o

método não leva em conta.

Tabela 5. Percentual de Erro entre Previsão e Medição da Prova de Carga Dinâmica.

Estaca	Erro DQ (1978) (%)	Erro AV (1975) (%)	Lobo (2005) (%)
CC04	-25,87	-13,09	11,33
CC06	-36,77	-5,95	14,31
CC07	-41,01	-32,40	-6,31
CC08	-64,79	-58,40	-67,02
ES01B	-30,71	-48,14	-17,26
ES02	-49,07	-35,45	-9,31
ES03	-50,42	-49,00	-19,17
ES04	-34,86	-24,59	34,53
Média	-38,44	-29,13	-4,08
Mediana	-35,81	-30,74	-7,23
Variância	185,97	403,22	821,39
DP	13,64	20,08	28,66
CV	-0,35	-0,69	-7,23

A Figura 4 apresenta as estacas cravadas e escavadas submetidas a prova de carga estática. A análise global mostra que para todas as estimativas o método proposto por Lobo (2005) apresenta resultados menos conservadores dos que os de Aoki-Veloso (1975) e de Décourt-Quaresma (1978).

A estimativa proposta por Lobo (2005) ultrapassa o valor medido pela prova de carga estática à compressão e a extrapolação de carga de ruptura de Van der Veen (1953) para as estacas cravadas CC01 e CC05 e para todas as escavadas, exceto a E1. No caso das estacas escavadas os valores estimados dessas estacas apontam para a insegurança da aplicação do método de Lobo (2005).

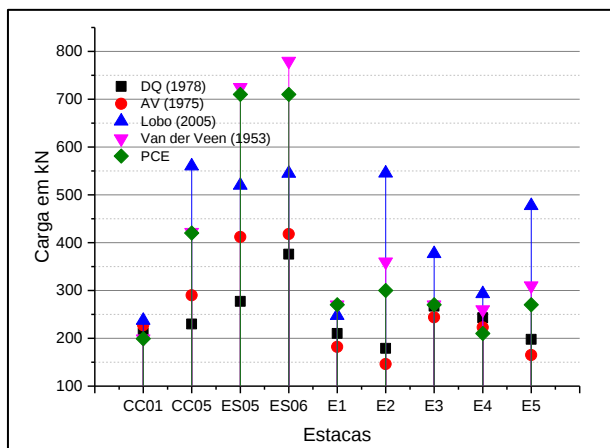


Figura 4 - Previsão da Capacidade Carga das Estacas Cravadas (Marchezini, 2013) e Escavadas (Mota, 2003).

A Tabela 6 apresenta os erros para os métodos abordados na Figura 4 calculados pela Equação 12 relativos ao que foi medido nas extrapolações de carga de ruptura pelo método de Van der Veen (1953).

O valor da média dos erros do método proposto por Lobo (2005) é o que mais se aproxima dos valores da extrapolação de carga de ruptura de Van der Veen (1953), em relação às estacas cravadas. Entretanto, em relação às estacas escavadas o método de Décourt-Quaresma (1978) é mais ajustado ao valor da extrapolação de carga de ruptura analisada.

A mediana é coerente com a média para as estacas cravadas e escavadas e, além disso, evidencia a baixa confiabilidade em relação aos três métodos de estimativa. Observa-se para o método Lobo (2005), para as estacas escavadas, a distribuição das estimativas muito acima da extrapolação de carga de ruptura de Van der Veen (1953). Isso, na prática de engenharia é um fator de risco acentuado porque demanda da parte do engenheiro uma confiabilidade que não se confirma com o método.

A variância é acentuada tanto para Décourt-Quaresma (1978) quanto para Lobo (2005) para as estacas cravadas. Para as estacas escavadas a variância tem valores pouco discrepantes entre os métodos de Décourt-Quaresma (1978) e Aoki-Veloso (1975) e muito relevante para Lobo (2005), confirmando que esse método para as estacas escavadas apresenta resultados além da extrapolação de carga de ruptura de Van der Veen (1953).

O desvio padrão dos erros não apresenta discrepâncias entre os três métodos, em relação aos dois tipos de estacas, embora o método de Lobo (2005) apresente valor ligeiramente superior aos outros dois métodos.

O coeficiente de variação dos erros mostra que há maior variabilidade no método de Lobo (2005) para as estacas cravadas. Para as estacas escavadas a discrepância do coeficiente de variação é pequena entre os três métodos analisados. Embora a incerteza se apresenta alta para os métodos de Décourt-Quaresma (1978) e Aoki-Veloso (1975), para o método de Lobo (2005) é muito maior quando se detém no coeficiente de variação.

Tabela 6. Percentual de Erro entre Previsão e Medição da Prova de Carga Estática (A).

Estacas	Tipo	Erro DQ (1978) (%)	Erro AV (1975) (%)	Erro Lobo (2005) (%)
CC01	Cravadas	6,03	14,07	19,32
CC05		-45,50	-31,28	32,73
ES05		-61,79	-43,17	-28,31
ES06		-51,80	-46,41	-30,15
E1	Escavadas	-22,22	-32,60	-8,40
E2		-50,28	-59,44	51,46
E3		-1,11	-9,63	39,47
E4		-6,54	-14,23	12,76
E5		-36,13	-46,77	53,99

	Média	Mediana	Variância	DP	CV
1	-38,26	-48,65	917,00	30,28	-0,79
2	-26,70	-37,22	781,01	27,95	-1,05
3	-1,60	-4,49	1048,17	32,76	-20,24
4	-23,26	-22,22	416,71	20,41	-0,88
5	-32,53	-32,59	446,55	21,13	-0,65
6	29,86	39,47	724,55	26,92	-0,9

Cravadas=1 – DQ (1978); 2 – AV (1975); 3 – Lobo (2005)
Escavadas=4 – DQ (1978); 5 – AV (1975); 6 – Lobo (2005)

Mota (2003) aplicou aos métodos de Décourt-Quaresma (1978) e Aoki-Veloso (1975) a proposição de Rodrigues et al. (1998).

A Figura 5 mostra os resultados para essas estimativas confrontadas com as provas de carga estática à compressão, o método de Lobo (2005) e a extrapolação de carga de ruptura de Van der Veen (1953).

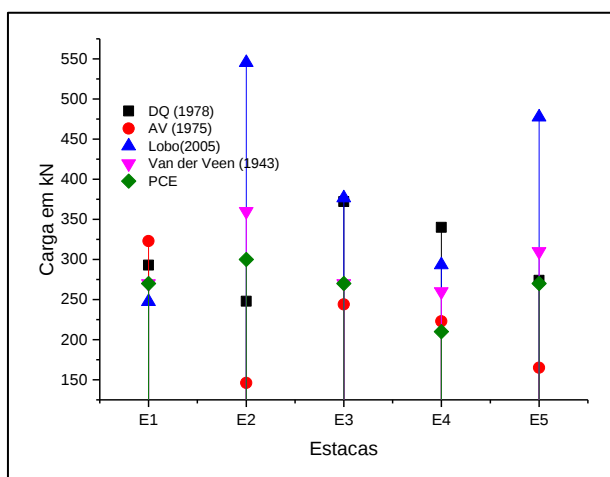


Figura 5 - Previsão da Capacidade Carga das Estacas Escavadas (Mota, 2003).

A Tabela 7 apresenta os erros para os métodos abordados na Figura 5 calculados pela Equação 11 relativos ao que foi medido nas extrapolações de carga de ruptura pelo método de Van der

Veen (1953) e a considerar a proposta de Rodrigues et al. (1998) para os métodos mencionados.

A média dos erros de estimativa de capacidade de carga aproxima do valor esperado para os métodos de Décourt-Quaresma (1978) e Aoki-Veloso; a distribuição dos dados também é favorável a esses métodos como mostra a mediana. Porém, a medida de dispersão (variância) aumenta para o valor esperado com valores acima do método Lobo (2005). Não há discrepâncias entre os métodos para o desvio padrão e o coeficiente de variação para o método de Décourt-Quaresma é amplamente superior aos outros métodos analisados. Observa-se que o método Lobo (2005) apresenta o percentual de erros positivos elevado todas as estacas, exceto a E1 que demonstra que a estimativa calculada está além da extrapolação de carga de ruptura pelo método de Van der Veen (1953), que denota baixa confiabilidade do método.

Tabela 7. Percentual de Erro entre Previsão e Medição da Prova de Carga Estática (B).

Estacas	DQ* (1978) (%)	AV* (1975) (%)	Lobo (2005) (%)
E1	8,52	19,63	-8,40
E2	-31,11	-59,44	51,46
E3	37,78	-9,63	39,47
E4	30,77	-14,23	12,76
E5	-11,61	-46,77	53,99
Média	6,87	-22,08	29,86
Mediana	8,52	-14,23	39,47
Variância	828,34	990,41	724,55
DP	28,78	31,47	26,92
CV	4,19	-1,42	0,9

DQ* (1978)= método de Décourt-Quaresma com critérios de Rodrigues et al. (1998);

AV* (1975)= método de Aoki-Veloso com critérios de Rodrigues et al. (1998);

4 CONCLUSÕES

Os métodos analisados, inclusive os Décourt-Quaresma (1978) e Aoki-Veloso (1975) apresentaram alta dispersão das estimativas. O método proposto por Lobo (2005) mostrou-se coerente para as estacas cravadas com a média dos erros menor que 10%, quando comparadas com a prova de carga dinâmica e menor que 2% quando comparada com a extrapolação de carga de ruptura pelo método de Van der Veen (1953). Contudo, a dispersão dos dados leva um grau de

incerteza elevado. Para as estacas escavadas o erro encontrado para a média das estimativas de Lobo (2005) foi elevada com a agravante de ser positivo o que leva ao comprometimento do fator de segurança. Embora o método de Lobo (2005) negligencie o solo, a análise conduz a interpretar que para solos de baixa resistência, caso da argila porosa não saturada de Brasília, há necessidade de ajustes dos fatores α e β da formulação de Lobo (2005).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a UnB, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia do Departamento de Engenharia da Faculdade Tecnológica e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Campus Cel. Octayde Jorge da Silva, em especial ao Departamento de Área de Construção Civil.

REFERÊNCIAS

- Aoki, N. & Velloso, D.A. (1975). *An Approximate Method to Estimate the Bearing Capacity of Piles*. V PACSMFE, Bueno Aires.
- Cavalcante, E. H. (2002) *Investigação teórico-experimental sobre o SPT*. 2002. Tese de Doutorado, Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, UFRJ.
- Décourt, L. & Quaresma, A. R. *Capacidade de Carga de estacas a Partir de Valores de SPT*. VI Congresso Brasileiro de Mecânica dos solos e Engenharia de Fundações, Rio de Janeiro, anais, v. 1, pp 45-53, 1978.
- Lobo, B. O. (2005) *Método de previsão de capacidade de carga de estacas: aplicação dos conceitos de energia do ensaio SPT*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, 121p.
- Lobo, B. O.; Odebrecht, E.; Rocha, M. M. & Schnaid, F. (2006). *Previsão de capacidade de carga de estaca através dos conceitos de energia do ensaio SPT*, GEOSUL 2006.
- Lobo, B. O.; Odebrecht, E.; Schnaid, F. (2014). *Prática de Uso do SPT na Previsão de Capacidade de Carga de Estacas através dos Conceitos de Energia*, COBRAMSEG 2014.
- Marchezini, S. F. (2013). *Comparação entre Métodos Estáticos e Dinâmicos de Previsão de Capacidade de Carga em Estacas Assentes em Solo Tropical*. Dissertação de Mestrado, Publicação Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 171p
- Mota, N.M.B. (2003) (no prelo). *Ensaio avançado de campo na argila porosa não saturada do Brasil: Interpretação e aplicação em projetos de fundação*. Tese de Doutouramento – Departamento de Engenharia Civil/Geotecnia/UnB.
- Odebrecht, E. (2003) *Medidas de energia no ensaio SPT*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, 230 p.
- Odebrecht, E.; Rocha, M. M.; Schnaid, F.; Bernardes, G. P. (2004) *Transferência de energia do ensaio SPT: efeito do comprimento das hastes e da magnitude de deslocamentos*. Solos & Rochas, v 27:1, p.69-82.
- Odebrecht, E.; Rocha, M. M.; Schnaid, F.; Bernardes, G. P. (2005) *Energy Efficiency for Standard Penetration Tests*. ASCE, v 131:10, p.1252- 1263.
- Rodrigues, A.A., Camapum de Carvalho, J., Cortopassi, R.S. & Silva, C.M. (1998). *Avaliação da Adaptabilidade de Métodos de Previsão de Capacidade de Carga a Diferentes Tipos de Estacas*. XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, ABMS, Brasília, DF, 3: 1591-1598.
- Schnaid, F. (2005) *Geocharacterization and properties of natural soils by in situ tests*. Proceedings of the 16nd International conference on Soils Mechanics and Geotechnical Engineering. v.1, p 3-46.
- Schnaid, F.; Lehane, B;M. & Fahey, M. (2004) *In situ test characterization of unusual geomaterials*; Proceedings of the 2nd International Conference on Site Characterization, ISC'2, Porto Portugal, Vol. 1, pp 49-73.
- Schnaid, F.; Odebrecht, E.; Lobo, B. O. (2006) *Novos métodos de interpretação do ensaio SPT baseados em conceitos de energia*, GEOSUL 2006.
- Vésic, A. S. (1972) *Expansion of cavities in infinite soil mass*. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, v98:SM 3.
- Van Der Veen, C. (1953). *The bearing capacity of pile*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS ENGINEERING, 3., Zurich, 1953.