

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE CAPACIDADE DE CARGA DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS - ESTUDO DE CASO

Heriberto Pagnussatti; Adailton Antonio dos Santos

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
heribertopag@yahoo.com.br; adailtongeo@msn.com

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma análise comparativa entre quatro métodos adotados no Brasil, para estimativa de capacidade de carga de fundações profundas. Empregou-se na análise métodos baseados no N_{SPT} , tais como, Aoki & Velloso (1975), Lobo (2005), e Decourt & Quaresma (1978), no qual também foi aplicado em 1991 o conceito de N equivalente “Neq”. Com base nestes métodos determinou-se a capacidade de carga, de dois tipos de estacas (pré-moldada de concreto e raiz), com as mesmas características geométricas (diâmetro e comprimento), implantadas no mesmo tipo de solo de fundação. A partir destes valores realizou-se a análise comparativa, determinando para o presente caso o método mais adequado para dimensionamento de estacas submetidas a esforços de compressão, tração e para o dimensionamento de estaca flutuante. No presente trabalho ficou evidente que o método de Lobo (2005) é o mais adequado para a estimativa da capacidade de carga por atrito lateral (estaca flutuante) e total (estaca submetida a esforços de compressão axial) de estacas pré-moldadas de concreto. Para o caso de estaca raiz o trabalho demonstrou que o método de Aoki & Velloso (1975) é o mais adequado para a estimativa da capacidade de carga por atrito lateral (estaca flutuante e de tração) e total (estaca submetida a esforços de compressão axial).

Palavras-Chave: SPT, SPT-T, Capacidade de suporte.

1. INTRODUÇÃO

Para a engenharia de fundações o ensaio de SPT (*Standart Penetration Test*) é o ensaio mais usado no Brasil pela sua simplicidade de execução, baixo custo e devido à sua facilidade de aplicação para a estimativa da capacidade de carga. No entanto, apesar da normatização do mesmo, constata-se a falta de uniformidade dos seus resultados. Esta falta de uniformidade se deve a grande variedade de equipamentos e métodos adotados na sua execução, os quais afetam a energia de cravação do amostrador (E).

Nos E.U.A., a energia de cravação do amostrador (E) varia de 40% a 95%, em função da grande variedade de equipamentos empregados no ensaio de SPT. Como nos E.U.A. e na Europa o sistema é geralmente mecanizado, foi estabelecido uma energia padrão de 60% (E_{60}). Atualmente a prática internacional sugere normalizar o número de golpes com base no padrão americano de N_{60} . No Brasil vários pesquisadores quantificaram a energia de cravação variando de 60% a 80%. Decourt et al (1989) em sua pesquisa determina uma energia média de 72%. Cavalcante (2002), em sua tese de doutorado, realizou uma bateria de ensaios de campo instrumentados, em duas cidades, Rio de Janeiro e João Pessoa, com equipamentos e equipes distintas, ao final da pesquisa, sugere que a energia para uma composição de hastes de até 14 m seja de 83%.

Como é do conhecimento no meio técnico brasileiro os métodos de Aoki & Velloso (1975) e Decourt & Quaresma (1978) tomam como base o N_{SPT} para estimativa da capacidade de carga de fundações profundas. Portanto, a eficiência dos mesmos está condicionada a energia de cravação do amostrador aplicada no ensaio de SPT. Logo, surge a necessidade da utilização de métodos de dimensionamento que corrijam ou eliminem a influência da energia de cravação na estimativa da capacidade de carga de fundações profundas. Na linha de correção da energia de cravação temos o método de Lobo (2005), e na linha de eliminação da influencia da energia de cravação temos o Método de Decourt & Quaresma (1991), que aplica o conceito de N equivalente “ N_{eq} ”.

O trabalho tem por objetivo realizar uma análise comparativa, determinando para o presente caso, o método mais adequado para dimensionamento de estacas submetidas a esforços de compressão, tração e de estacas flutuantes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir este objetivo foi feita uma revisão bibliográfica sobre sondagem à percussão e SPT-T, tipos de fundações e métodos de estimativa de capacidade de carga de estaca, em particular dos métodos adotados no presente trabalho. Em seguida, levantou-se dados referentes ao local destinado a implantação das estacas, como sondagens SPT e SPT-T, a partir das quais se traçou o perfil stratigráfico



estimado do mesmo. De posse destas informações partiu-se para aplicação dos métodos de Aoki & Velloso (1975), Lobo (2005) e Decourt & Quaresma (1978 e 1991), através de planilhas eletrônicas, com o intuito de estimar da capacidade de carga das estacas. Por fim, realizou-se a análise comparativa.

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA OBJETO DE ESTUDO

A área objeto de estudo do presente trabalho está localizado no bairro Barreiros, na cidade de São José – SC, nas coordenadas geográficas E – 27°35'09,20", N – 48°36'52".

2.2 GEOLOGIA

Segundo Basei (1985 apud CRUZ, 1998). São José está localizada no complexo geológico Canguçu, englobando complexo metamórfico-migmático que são divididos em três segmentos Pré-Cambriano. A área objeto de estudo está localizada na suíte intrusiva plutônica Pedras Grandes, engloba rochas granitóides (preferencialmente granitos grosseiros e porfiróides) e o ocorre como grandes batólitos intrusivos no complexo granítico-migmático, que data de cerca de 500 milhões de anos.

2.3 DETERMINAÇÃO DO PERFIL ESTRATIGRÁFICO

A empresa SPL – Sondagem realizou cinco furos de sondagem à percussão e SPT-T na área em estudo, fornecendo o laudo dos ensaios. De posse do mesmo, traçou-se o perfil estratigráfico estimado do solo de fundação, selecionou-se o perfil do furo SP01 (Figura 1), por apresentar o menor valor de N_{SPT} .

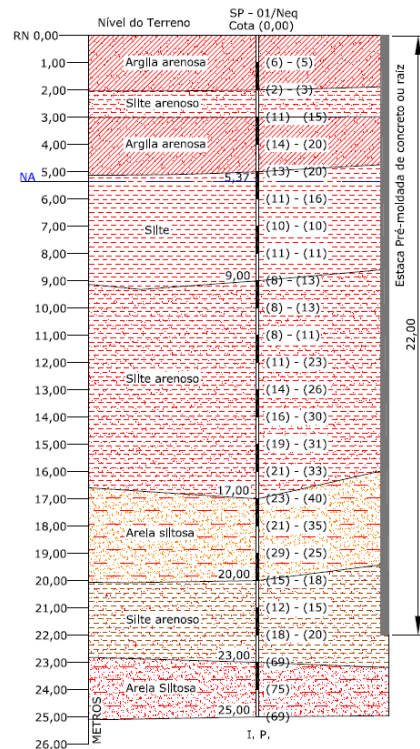


Figura 1 - Perfil estratigráfico estimado de cálculo.

2.4 CARACTERÍSTICAS DAS ESTACAS

Adotou-se para o presente estudo estacas pré-moldadas de concreto e raiz, com diâmetro de 30 cm e comprimento de 22,00 m, implantadas no perfil estratigráfico da Figura 1.

2.5 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE CARGA

As formulações e conceitos básicos dos métodos utilizados no presente trabalho serão apresentados a seguir.

2.5.1 MÉTODO DE AOKI & VELLOSO (1975)

O método de Aoki & Velloso (1975) originou-se a partir de correlações entre os resultados de ensaios de penetração estática (CPT) e dinâmica (SPT). A teoria para estimar a capacidade de carga de estacas é fundamentada no ensaio de penetração estática, mas através da utilização do coeficiente K é possível estimar a capacidade de carga com os resultados do SPT.



A Tabela 1 apresenta os coeficientes K e α em função do tipo de solo, e a Tabela 2 apresenta os coeficientes F_1 e F_2 em função do tipo de estaca.

Tabela 1 – Coeficientes K e α em função do tipo de solo

Tipos de Solo	K (Mpa)	α (%)
Areia	1,00	1,4
Areia siltosa	0,80	2,0
Areia silto-argilosa	0,70	2,4
Areia argilosa	0,60	3,0
Areia argilo-siltosa	0,50	2,8
Silte	0,40	3,0
Silte arenoso	0,55	2,2
Silte areno-argiloso	0,45	2,8
Silte argiloso	0,23	3,4
Silte argilo-arenoso	0,25	3,0
Argila	0,20	6,0
Argila arenosa	0,35	2,4
Argila areno-siltosa	0,30	2,8
Argila siltosa	0,22	4,0
Argila silto-arenosa	0,33	3,0

Fonte: SCHNAID, 2000.

Tabela 2 – Coeficientes F_1 e F_2 em fatores de correção da resistência

Tipo de Estaca	F_1	F_2
Escavada	3,00	6,00
Franki	2,30	3,00
Pré-moldada Concreto	2,50	3,50
Strauss	4,20	3,90
Hélice Contínua	3,00	3,80
Raiz	2,20	2,40

Fonte: Monteiro 1997.

Capacidade de carga total:

$$R_T = R_L + R_P \quad (2.1)$$

$$R_T = \frac{\sum (SPT_{\text{médio } l} \times \alpha \times K \times \Delta l \times U)}{F_2} + \frac{SPT_{\text{Ponta}} \times K \times A_P}{F_1}$$

Onde: R_L = resistência lateral; R_P = resistência de ponta;
 U = Perímetro da estaca; Δl = espessura da camada em análise;
 $N_p = N_{SPT}$ na cota da ponta; A_P = Área de ponta da estaca;
 $SPT_{\text{médio } l} = N_{SPT}$ médio na camada de espessura Δl ;
 F_2 = Coeficiente de correção da resistência lateral;
 F_1 = Coeficiente de correção da resistência de ponta;
 K = coeficiente de conversão da resistência da ponta do cone para N_{SPT} ;
 α = Fator de correção da resistência lateral e ponta do cone no ensaio CPT (Depende do tipo de solo).

Para a obtenção da carga admissível da estaca aplica-se um fator de segurança global na resistência total:



$$R_{adm} = \frac{R_T}{2} \quad (2.2)$$

2.5.2 MÉTODO DE DECOURT & QUARESMA (1978)

O método de Decourt & Quaresma (1978) é um processo expedito para a estimativa da capacidade de carga, fundamentado exclusivamente em resultados de ensaios SPT. Desenvolvido a princípio para estacas pré-moldadas de concreto, e com o passar do tempo estendido para outros tipos de estacas tais como, escavadas em geral, hélice contínua e injetadas. Decourt & Quaresma (1978) apresentam os valores de K (Tabela 3) determinados experimentalmente, considerando os resultados de 41 provas de carga em estacas pré-moldadas de concreto. Os valores atribuídos à variável K relaciona a resistência de ponta com o valor $SPT_{médio P}$ em função do tipo de solo.

Nas Tabelas 4 e 5 apresentam coeficientes β e α respectivamente em função do tipo de solo e estaca.

Em 1991 Decourt apresentou o conceito de N equivalente “Neq”, baseado nos resultados da sondagem SPT-T para determinar a capacidade de carga de estaca.

Assim:

$$N_{eq} = \frac{T}{1,2} \quad (2.3)$$

Onde: N_{eq} = valor de torque equivalente N_{SPT} ; T = valor do torque (kgf.m).

Tabela 3 – Coeficientes K em função do tipo de solo

Tipo de solo	K (kN/m ²)
Argilas	120
Siltos argilosos (solos residuais)	200
Siltos arenosos (solos residuais)	250
Areias	400

Fonte: JOPPERT, 2007.

Tabela 4 – Coeficientes β para correção da resistência lateral

Solo/Estaca	Cravada	Escavada (em geral)	Escavada (com bentonita)	Hélice Contínua	Raiz
Argilas	1,0	0,80	0,90	1,00	1,50
Solos Intermediários	1,0	0,65	0,75	1,00	1,50
Areias	1,0	0,50	0,60	1,00	1,50

Fonte: JOPPERT, 2007.

Tabela 5 – Coeficientes α para correção da resistência de ponta

Solo	Cravada	Escavada (em geral)	Escavada (com bentonita)	Hélice Contínua	Raiz
Argilas	1,0	0,85	0,85	0,30	0,85
Solos Intermediários	1,0	0,60	0,60	0,30	0,60
Areias	1,0	0,50	0,50	0,30	0,50

Fonte: JOPPERT, 2007.

Capacidade de carga na ponta de apoio:

$$R_T = R_L + R_P \quad (2.4)$$

$$R_T = \sum \left(\left(\frac{SPT_{médioL}}{3} + 1 \right) \times 10 \times U \times \Delta_l \times \beta \right) + SPT_{médioP} \times K \times A_P \times \alpha$$

Onde: R_L = resistência lateral; R_P = resistência de ponta;
 $SPT_{médioL}$ = média aritmética dos SPT's que envolvem o fuste da estaca;
 $SPT_{médioP}$ = média aritmética entre os SPT's da ponta, (anterior e posterior);
 β = coeficiente para correção da resistência lateral;
 α = coeficiente para correção da resistência de ponta;
 U = perímetro lateral da estaca; Δ_l = espessura da camada em análise;
 A_P = área da ponta da estaca; K = coeficiente que depende do solo.

Para a obtenção da carga admissível da estaca aplica-se um fator de segurança global ou o especificado por Decourt & Quaresma na resistência total, sempre se adotando o menor valor:

$$R_{adm} = \frac{R_T}{2} \quad \text{ou} \quad R_{adm} = \frac{R_L}{1,3} + \frac{R_P}{4} \quad (2.5)$$

2.5.3 MÉTODO DE LOBO (2005)

Odebrecht (2003), em sua tese de doutorado, estudou os fatores que influenciam a penetração do amostrador. O mesmo realizou uma bateria de ensaios de campo instrumentados, onde utilizou quatro comprimentos de hastes (5,80 m, 11,80 m, 18,18 m, e 35,80 m), e manteve sempre a mesma equipe e equipamentos, de acordo com a NBR 6484/2001. Nesse trabalho Odebrecht (2003) determinou três coeficientes: $n_1 = 0,764$, em cujo valor estão contidas todas as perdas de energia referente ao golpe; $n_2 = 1$ valor que representa as perdas de energia ao longo das hastes; e $n_3 = 1 - 0,0042L$ que representa a eficiência do sistema.

Odebrecht (2003) executou uma análise dos dados da pesquisa de Cavalcante (2002) para uma análise mais realista do cotidiano, onde obteve $n_1 = 0,761$, $n_2 = 1$ e $n_3 = 0,000907 - 0,066L$.

Com base na pesquisa de Odebrecht (2003), Lobo (2005) apresenta em sua tese de mestrado um novo método para estimar a capacidade de carga de estaca. O método proposto por Lobo (2005) consiste em utilizar a força dinâmica (F_d) para estimar a capacidade de carga de estacas, relacionando os mecanismos de mobilização da resistência de ponta e lateral do amostrador, com os mecanismos da estaca. A Tabela 6 apresenta os coeficientes α e β propostos por Lobo.

Tabela 6 – Coeficientes α e β em função do tipo de estaca

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

Fonte: Lobo, 2005.

Força dinâmica de penetração do amostrador:

$$F_d = n_3 \times [n_1 \times (0,75 + \Delta p) M_m \times g + n_2 \times \Delta p \times M_h \times g] \quad (2.6)$$

Onde: n_1 = eficiência do golpe; M_m = massa do martelo;
 n_2 = eficiência das hastes; M_h = massa da haste;
 n_3 = eficiência do sistema; g = aceleração da gravidade.

Capacidade de carga na total:

$$R_T = R_L + R_P \rightarrow R_T = \alpha \times \frac{0,2 \times U}{a_1} \sum F_d \times \Delta L + \beta \times 0,7 \times F_d \times \frac{A_P}{a_P} \quad (2.7)$$

Onde: α = coeficiente de correção da resistência lateral;
 a_1 = área lateral total do amostrador (área lateral externa + interna);
 β = coeficiente de correção da resistência de ponta;
 ΔL = espessura de cada camada de solo considerado;
 U = perímetro da estaca;
 A_P = área da ponta da estaca;
 a_P = área da ponta do amostrador SPT.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente trabalho foram utilizados os métodos Aoki & Velloso (1975), Decourt & Quaresma (1978 e 1991) e Lobo (2005) para a estimativa da capacidade de carga por atrito lateral e total das estacas pré-moldadas de concreto, e raiz com as características especificadas no item 2.4. Salienta-se que, as análises das capacidades de cargas citadas se referem exclusivamente à profundidade de 22,00 m.

3.1 CAPACIDADE DE CARGA POR ATRITO LATERAL DA ESTACA PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO

A Tabela 7 apresenta um resumo dos resultados da capacidade de carga por atrito lateral da estaca pré-moldada de concreto, obtidos no presente trabalho. O gráfico da Figura 2 apresenta a capacidade de carga por atrito lateral da estaca pré-moldada de concreto ao longo da profundidade obtida para cada método. O referido gráfico também apresenta a capacidade de carga por atrito lateral média ao longo da profundidade, obtida a partir dos valores alcançados pelos métodos em questão.

A análise dos dados da Tabela 7 demonstra que no presente caso o método mais conservador é o de Aoki & Velloso (1975), e que o mais arrojado é o método de Decourt & Quaresma (1991). Fato que pode ser confirmado pela diferença percentual obtida para capacidade de carga por atrito lateral, que é de 52%.

Os métodos de Decourt & Quaresma (1978) e Lobo (2005) apresentaram capacidade de carga por atrito lateral muito parecido, com uma diferença percentual entre eles de 5%.

Tabela 7 - Valores da capacidade de carga por atrito lateral da estaca pré-moldada de concreto.

Prof. (m)	Tipo de Solo	N _{SPT}	Aoki. R _L (KN)	Média	Lobo. R _L (KN)	Média	Decourt N _{SPT} R _L (KN)	Média	Neq	Decourt Neq R _L (KN)	Média	Média R _L (KN)
1	Argila arenosa	6	0,00	6,79	0,00	12,25	0,00	14,14	5	0,00	12,57	0,00
2	Argila arenosa	2	13,57		24,50		28,27		25,13	22,07		
3	Silte arenoso	11	18,10	18,10	33,78	33,78	43,98	43,98	15	43,98	43,98	34,25
4	Argila arenosa	14	53,94	69,77	76,91	103,95	87,96	114,67	20	100,53	136,66	80,20
5	Argila siltosa	13	85,60		130,99		141,37		172,79	135,68		
6	Silte	11	116,41	168,11	181,07	242,69	191,64	256,04	16	245,04	321,23	189,56
7	Silte	10	151,95		223,52		235,62		304,73	237,20		
8	Silte	11	184,27		262,10		276,46		345,58	274,63		
9	Silte	8	219,81		304,09		320,44		389,56	315,90		
10	Silte arenoso	8	245,66	376,81	335,08	484,26	355,00	514,44	13	439,82	693,11	353,03
11	Silte arenoso	8	271,73		365,93		389,56		490,09	390,17		
12	Silte arenoso	11	297,80		396,62		424,12		534,07	425,40		
13	Silte arenoso	14	333,64		437,68		468,10		615,75	480,99		
14	Silte arenoso	16	379,25		488,94		521,50		706,86	546,86		
15	Silte arenoso	19	431,39		546,77		581,19		810,53	621,00		
16	Silte arenoso	21	493,29		614,49		650,31		917,35	702,85		
17	Silte arenoso	23	561,72		688,53		725,71		1030,44	790,40		
18	Areia siltosa	21	636,66	768,79	807,39	1165,53	890,56					
19	Areia siltosa	29	736,18	748,82	841,78	882,79	891,17	25	1284,91	1274,44	986,64	
20	Areia siltosa	15	873,62	964,26	940,73	1014,05	983,32	1063,43	18	1372,88	1467,12	1087,95
21	Silte arenoso	12	944,71		992,99		1039,87		1438,85	1149,06		
22	Silte arenoso	18	983,81		1035,12		1086,99		1495,40	1196,10		

A análise do gráfico da Figura 2 demonstra que o método de Decourt & Quaresma (1978) é o que apresenta os valores de capacidade de carga por atrito lateral mais equilibrados, uma vez que a diferença percentual entre ele e a capacidade de carga

média é de 10%. Logo, conclui-se que para o presente caso que o método mais adequado para o dimensionamento de estacas por atrito lateral é o método de Decout & Quaresma (1978), sendo que muito próximo desse encontra-se o método de Lobo (2005).

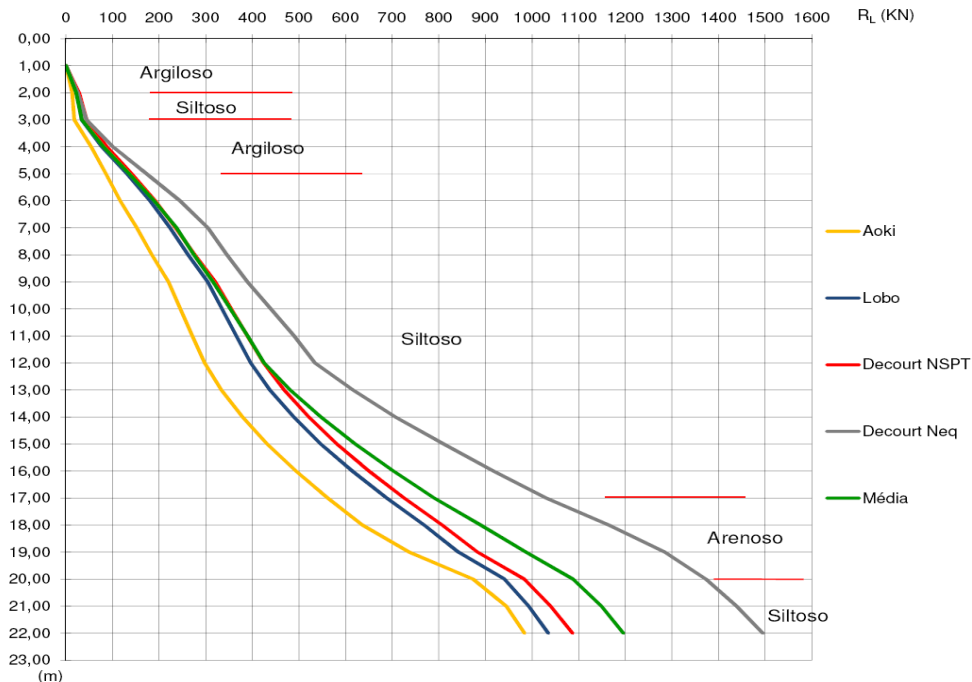


Figura 2 - Gráfico da capacidade de carga por atrito lateral da estaca pré-moldada de concreto

3.2 CAPACIDADE DE CARGA POR ATRITO LATERAL DA ESTACA RAIZ

A Tabela 8 apresenta um resumo dos resultados da capacidade de carga por atrito lateral da estaca raiz, obtidos no presente trabalho. O gráfico da Figura 3 apresenta a capacidade de carga por atrito lateral da estaca raiz ao longo da profundidade obtida para cada método. O referido gráfico também apresenta a capacidade de carga por atrito lateral média ao longo da profundidade, obtida a partir dos valores alcançados pelos métodos em questão.

A análise dos dados da Tabela 8 apresenta para o presente caso o método de Aoki & Velloso (1975) como o mais conservador e o método de Decout & Quaresma (1991) como o mais arrojado. Fato que pode ser confirmado pela diferença percentual obtida para capacidade de carga por atrito lateral, que foi de 56,34%.

Apesar do método de Lobo (2005) apresentar o menor valor de capacidade de carga por atrito lateral, não se considerou o mesmo na análise comparativa. Isto se justifica



UNESC pelo fato de que o mesmo não apresenta coeficientes que permitam a estimativa da capacidade de carga para estaca

raiz. Cabe ressaltar que para cálculo foi adotado coeficientes determinados por Lobo (2005) para a estaca escavada.

Tabela 8 - Valores da capacidade de carga por atrito lateral da estaca raiz

Prof. (m)	Tipo de Solo	N _{SPT}	Aoki. R _L (KN)	Média	Lobo. R _L (KN)	Média	Decourt N _{SPT} R _L (KN)	Média	Neq	Decourt Neq R _L (KN)	Média	Média R _L (KN)
1	Argila arenosa	6	0,00	9,90	0,00	5,72	0,00	21,21	5	0,00	18,85	0,00
2	Argila arenosa	2	19,79		11,43		42,41		3	37,70		27,83
3	Silte arenoso	11	26,39	26,39	15,77	15,77	65,97	65,97	15	65,97	65,97	43,53
4	Argila arenosa	14	78,66	101,75	35,89	48,51	131,95	172,00	20	150,80	204,99	99,32
5	Argila siltosa	13	124,84		61,13		212,06		20	259,18		164,30
6	Silte	11	169,76	245,16	84,50	113,3	287,46	384,06	16	367,57	481,84	227,32
7	Silte	10	221,60		104,31		353,43		10	457,10		284,11
8	Silte	11	268,72		122,31		414,69		11	518,36		331,02
9	Silte	8	320,56		141,91		480,66		13	584,34		381,87
10	Silte arenoso	8	358,26	549,51	156,37	225,99	532,50	771,65	13	659,73	1039,67	426,72
11	Silte arenoso	8	396,27		170,77		584,34		11	735,13		471,63
12	Silte arenoso	11	434,29		185,09		636,17		23	801,11		514,16
13	Silte arenoso	14	486,55		204,25		702,15		26	923,63		579,15
14	Silte arenoso	16	553,08		228,17		782,26		30	1060,29		655,95
15	Silte arenoso	19	629,10		255,16		871,79		31	1215,80		742,96
16	Silte arenoso	21	719,39		286,76		975,46		33	1376,02		839,41
17	Silte arenoso	23	819,17		321,32		1088,56		40	1545,66		943,68
18	Areia siltosa	21	928,46	1092,03	358,77	396,87	1211,08	1336,75	35	1748,30	1911,66	1061,65
19	Areia siltosa	29	1073,60		392,83		1324,18		25	1927,37		1179,50
20	Areia siltosa	15	1274,03		439,01		1474,98		18	2059,31		1311,83
21	Silte arenoso	12	1377,71	1406,22	463,39	473,22	1559,80	1595,14	15	2158,27	2200,69	1389,79
22	Silte arenoso	18	1434,73		483,06		1630,49		20	2243,10		1447,84

A análise do gráfico da Figura 3 demonstra que o método de Aoki & Velloso (1975) apesar de se mostrar conservador, quando comparado com os métodos de Decourt & Quaresma (1978) e (1991) é o que apresenta os valores de capacidade de carga por atrito lateral mais equilibrado, uma vez que a diferença percentual entre ele e a capacidade de carga média é de 0,9%. Logo, conclui-se que para o presente caso o método mais adequado para o dimensionamento de estacas por atrito lateral é o método de Aoki & Velloso (1975).

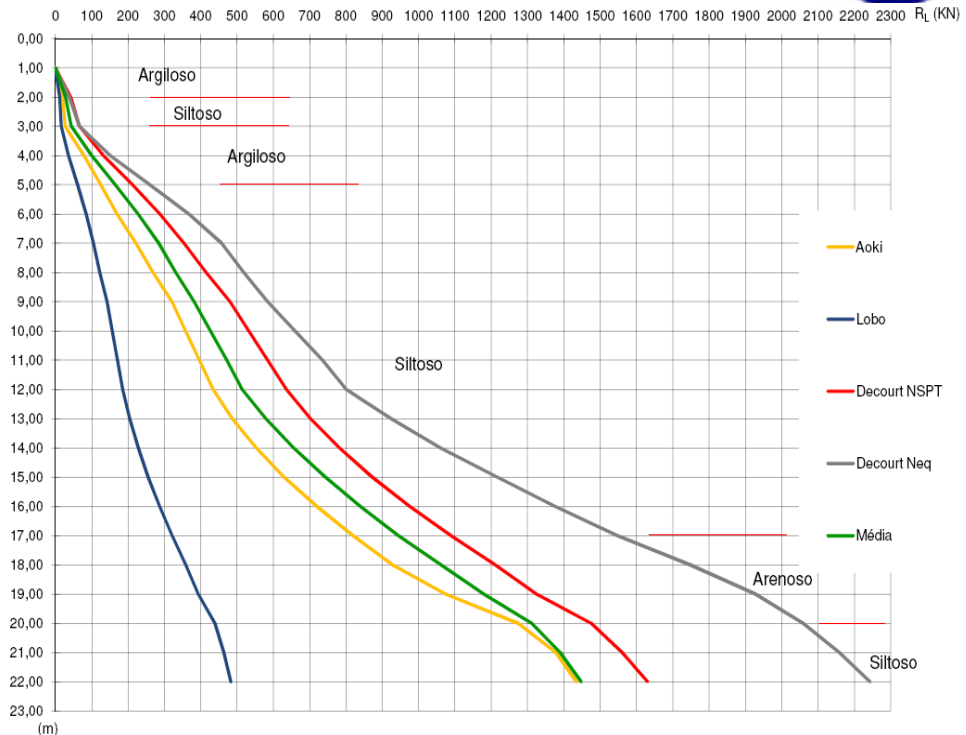


Figura 3 - Gráfico da capacidade de carga por atrito lateral da estaca raiz

3.3 CAPACIDADE DE CARGA TOTAL DA ESTACA PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO

A Tabela 9 apresenta um resumo dos resultados da capacidade de carga total da estaca pré-moldada de concreto, obtidos no presente trabalho.

Tabela 9 - Valores da capacidade de carga total da estaca pré-moldada de concreto

Prof. (m)	Tipo de Solo	N _{SPT}	Aoki. R _T (KN)	Média	Lobo. R _T (KN)	Média	Decourt N _{SPT} R _T (KN)	Média	Neq	Decourt Neq R _T (KN)	Média	Média R _T (KN)
1	Argila arenosa	6	59,38	46,37	187,28	141,36	50,89	66,44	5	42,41	66,29	73,08
2	Argila arenosa	2	33,36		95,44		82,00		3	90,16		73,58
3	Silte arenoso	11	189,16	189,16	363,39	363,39	203,03	203,03	15	267,82	267,82	248,66
4	Argila arenosa	14	192,48	179,47	490,32	502,04	195,41	222,11	20	256,04	293,58	270,89
5	Argila siltosa	13	166,47		513,76		248,81		20	331,12		310,40
6	Silte	11	240,82	281,21	505,53	536,99	391,91	435,70	16	516,01	548,01	421,88
7	Silte	10	265,05		518,37		424,12		10	522,68		438,96
8	Silte	11	308,67		583,06		447,28		11	545,85		472,09
9	Silte	8	310,29	610,07	540,98	898,63	479,49	778,04	13	607,51	1146,68	494,47
10	Silte arenoso	8	370,07		570,84		496,37		13	657,77		534,62
11	Silte arenoso	8	396,14		600,55		548,60		11	766,94		598,63
12	Silte arenoso	11	468,86		710,46		618,50		23	887,50		697,91
13	Silte arenoso	14	551,35	610,07	829,46	898,63	709,61	778,04	26	1081,10	1146,68	831,44
14	Silte arenoso	16	628,07		930,98		810,14		30	1219,33		943,03
15	Silte arenoso	19	726,85		1064,38		911,06		31	1364,24		1065,18
16	Silte arenoso	21	819,86		1180,42		1021,41		33	1529,96		1194,72
17	Silte arenoso	23	919,39		1301,93		1108,59		40	1666,61		1308,59
18	Areia siltosa	21	1111,67	1238,91	1326,73	1421,65	1495,40	1500,63	35	2108,01	2015,86	1600,43
19	Areia siltosa	29	1392,15		1598,10		1495,40		25	2020,04		1674,36
20	Areia siltosa	15	1212,92	1197,53	1340,13	1409,00	1511,11	1284,32	18	1919,51	1726,31	1548,59
21	Silte arenoso	12	1131,32		1315,03		1304,94		15	1751,05		1421,62
22	Silte arenoso	18	1263,73		1502,98		1263,71		20	1701,57		1458,75

A análise dos dados da Tabela 9 demonstra que no presente caso o método mais conservador é o de Aoki & Velloso (1975), e que o mais arrojado é o método de Decourt & Quaresma (1991). Fato que pode ser confirmado pela diferença percentual entre eles obtida para capacidade de carga total, que foi de 34,65%.

Os métodos de Aoki & Velloso (1975) e Decourt & Quaresma (1978) apresentaram capacidade de carga total muito próximas, com uma diferença percentual entre eles de 0%.

O gráfico da Figura 4 apresenta a capacidade de carga total da estaca pré-moldada de concreto ao longo da profundidade obtida para cada método. O referido gráfico também apresenta a capacidade de carga total média ao longo da profundidade, obtida a partir dos valores alcançados pelos métodos em questão.

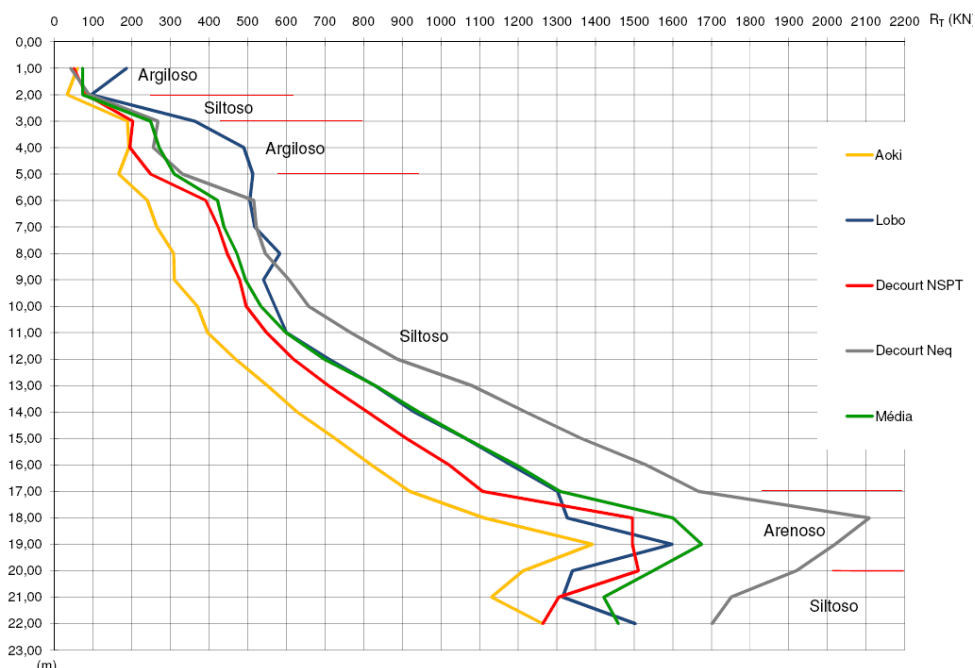


Figura 4 - Gráfico da capacidade de carga total da estaca pré-moldada de concreto

A análise do gráfico da Figura 4 demonstra que o método de Lobo (2005) é o que apresenta os valores de capacidade de carga total mais equilibrado, uma vez que a diferença percentual entre ele e a capacidade de carga média é de 3,03%. Logo, conclui-se que para o presente caso o método mais adequado para o dimensionamento de estacas submetidas a esforços de compressão axial é o método de Lobo (2005). Cabe ressaltar que o mesmo originalmente foi desenvolvido para estimativa da capacidade de carga de estacas pré-moldadas de concreto.

3.4 CAPACIDADE DE CARGA TOTAL DA ESTACA RAIZ

A Tabela 10 apresenta um resumo dos resultados da capacidade de carga total da estaca raiz, obtidos no presente trabalho.

Tabela 10 - Valores da capacidade de carga total da estaca raiz

Prof. (m)	Tipo de Solo	N _{SPT}	Aoki. R _T (KN)	Média	Lobo. R _T (KN)	Média	Decourt N _{SPT} R _T (KN)	Média	Neq	Decourt Neq R _T (KN)	Média	Média R _T (KN)
1	Argila arenosa	6	67,47	54,88	85,13	64,40	43,26	65,67	5	36,05	64,51	57,98
2	Argila arenosa	2	42,28		43,68		88,07		3	92,98		66,75
3	Silte arenoso	11	220,78	220,78	165,59	165,59	161,40	161,40	15	200,28	200,28	187,01
4	Argila arenosa	14	236,09	226,41	223,80	229,46	223,27	263,33	20	282,98	338,37	241,54
5	Argila siltosa	13	216,73		235,11		303,38		20	393,77		287,25
6	Silte	11	311,14	373,68	231,98	247	407,62	491,86	16	530,14	617,91	370,22
7	Silte	10	350,12		238,33		466,53		10	587,87		410,71
8	Silte	11	410,10		268,20		517,18		11	638,53		458,50
9	Silte	8	423,38		249,59		576,09		13	715,11		491,04
10	Silte arenoso	8	499,63	814,59	263,54	414,34	617,32	929,81	13	790,50	1311,81	542,75
11	Silte arenoso	8	537,64		277,41		679,76		11	901,24		599,02
12	Silte arenoso	11	628,67		327,75		752,80		23	1013,16		680,60
13	Silte arenoso	14	733,95		382,33		847,05		26	1202,84		791,54
14	Silte arenoso	16	835,82		429,10		955,44		30	1367,77		897,03
15	Silte arenoso	19	964,86		490,43		1069,71		31	1548,02		1018,26
16	Silte arenoso	21	1090,49		544,00		1198,12		33	1743,58		1144,05
17	Silte arenoso	23	1225,61		600,13		1318,29		40	1927,37		1267,85
18	Areia siltosa	21	1468,24	1648,95	612,38	656,51	1555,09	1641,48	35	2219,54	2282,37	1463,81
19	Areia siltosa	29	1819,01		736,61		1630,49		25	2294,93		1620,26
20	Areia siltosa	15	1659,59		620,55		1738,87		18	2332,63		1587,91
21	Silte arenoso	12	1589,76	1671,29	609,77	652,75	1718,84	1727,68	15	2345,59	2356,19	1565,99
22	Silte arenoso	18	1752,81		695,72		1736,52		20	2366,80		1637,96

A análise dos dados da Tabela 10 deixa claro que para o presente caso o método de Decourt & Quaresma (1978) como o mais conservador e o método de Decourt & Quaresma (1991) como o mais arrojado. Fato que pode ser confirmado pela diferença percentual obtida para capacidade de carga total, que foi de 36,3%. Apesar do método de Lobo (2005) apresentar o menor valor de capacidade de carga total, não se considerou o mesmo na análise comparativa. Isto se justifica pelo fato de que o mesmo não apresenta coeficientes que permitam a estimativa da capacidade de carga para estaca raiz. Cabe lembrar que para cálculo foi adotado coeficientes determinados por Lobo (2005) para a estaca escavada.

O gráfico da Figura 5 apresenta a capacidade de carga total da raiz ao longo da profundidade obtida para cada método. O referido gráfico também apresenta a capacidade de carga total ao longo da profundidade, obtida da média dos valores alcançados pelos métodos em questão.

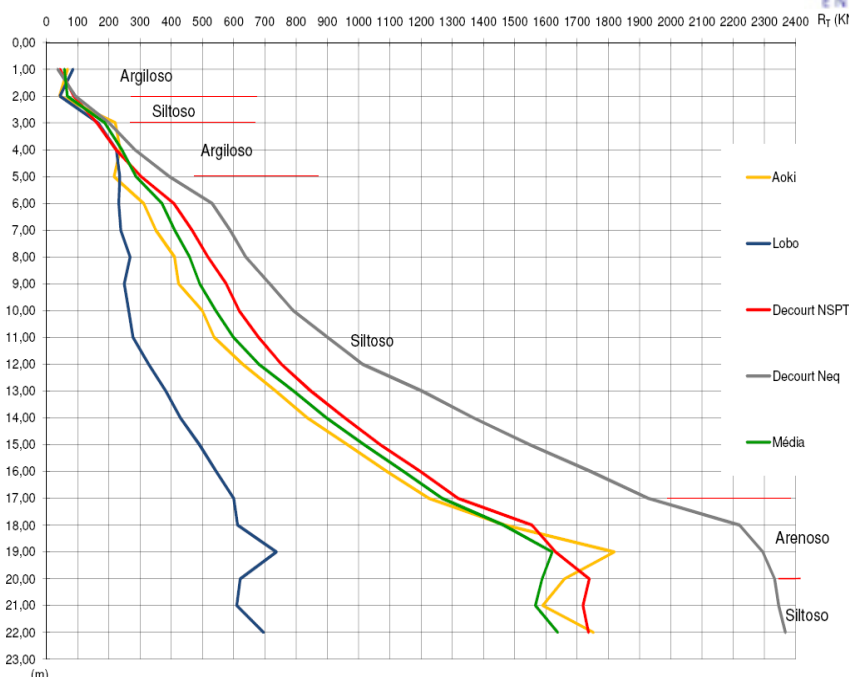


Figura 5 - Gráfico da capacidade de carga total da estaca raiz

A análise do gráfico da Figura 5 demonstra que o método de Decourt & Quaresma (1978), apesar de se mostrar conservador, quando comparado com o método de Decourt & Quaresma (1991) é o que apresenta os valores de capacidade total mais equilibrado, uma vez que a diferença percentual entre ele e a capacidade de carga média é de 6%. Logo, conclui-se que para o presente caso o método mais adequado para o dimensionamento de estacas submetidas a esforços de compressão é o método Decourt & Quaresma (1978), sendo que muito próximo desse encontra-se o método de Aoki & Velloso (1975). A diferença percentual entre eles é de 0,9%.

4. CONCLUSÕES

No presente trabalho ficou evidente que o método de Lobo (2005) é o mais adequado para a estimativa da capacidade de carga por atrito lateral (estaca flutuante) e total (estaca submetida a esforços de compressão axial) de estacas pré-moldadas de concreto.

Para o caso de estaca raiz o trabalho demonstrou que o método de Aoki & Velloso (1975) é o mais adequado para a estimativa da capacidade de carga por atrito lateral (estaca flutuante e de tração) e total (estaca submetida a esforços de compressão axial).

Os valores de capacidade de carga por atrito lateral e total obtidos neste trabalho, para estaca pré-moldada de concreto e para estaca raiz, através do método de Decourt & Quaresma (1991), encontram-se super estimados quando comparado com os outros métodos estudados. Logo a aplicação do mesmo, em obras importantes, deve ser feita com muita cautela. Cabe lembrar que o ensaio de SPT-T, que é a base do referido método, ainda não se encontra normatizado.

Para futuros trabalhos que sejam determinados os coeficientes, que possibilitem a aplicação do método de Lobo (2005), para a estimativa da capacidade de carga para estaca raiz.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e execução de fundações**: NBR 6122. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sondagens de simples reconhecimento com SPT**: NBR 6484. Rio de Janeiro, 2001.

CAVALCANTE, H, Erinaldo. **Investigação Teórico-Experimental Sobre o SPT**. 2002. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Univ. Fed. Do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

JOPPERT JÚNIOR, Ivan de Oliveira. **Fundações e contenções de edifícios**. Pini, São Paulo, 2007.

LOBO, O, Bianca. **Método de Previsão de Capacidade de Carga de Estacas: Aplicando os conceitos de energia do ensaio SPT**. 2005. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Univ. Fed. do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MONTEIRO, P. F. (1997) **Capacidade de carga de estaca** – Método de Aoki-Velloso, Relatório interno de estacas Franki Ltda., citado por Velloso e Lopes (2002).

ODEBRECHT, Edgar. **Medidas de Energia no Ensaio SPT**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Univ. Fed. do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHNAID, Fernando. **Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. Oficina de textos, São Paulo, 2000.