

Estudo da Parcela de Resistência Lateral em Estacas Escavadas

Enivaldo Minette

UFV – Viçosa – MG – Brasil – eminette@ufv.br

Paulo Roberto Borges

UFSJ – Ouro Branco – MG – Brasil – paroborges@yahoo.com.br

Leandro Neves Duarte

UFSJ – Ouro Branco – MG – Brasil – lnufmt@gmail.com

RESUMO: O presente trabalho estudou o comportamento da parcela referente à resistência lateral, medido ao longo do fuste em 4 estacas escavadas com trado mecanizado e sem o uso de lama bentonítica. O ensaio foi realizado em solo residual maduro com 64% de argila, 33% areia e 3% de silte em média. O campo experimental II se localiza próximo à fábrica de manilhas da Universidade Federal de Viçosa no campus da instituição. Foram realizadas provas de carga com carregamento lento, em 4 estacas escavadas com instrumentação, verificando-se a parcela de carga absorvida pela resistência lateral de cada estaca. São apresentados também o perfil geológico-geotécnico, resultante de investigação realizada através dos ensaios: SPT, SPT-T, PMT, DMT e ensaios de laboratório, tais como: granulometria conjunta, limites de Atterberg, massa específica dos sólidos e ensaios triaxiais. E os dados obtidos foram comparados com os métodos de cálculo de capacidade de carga utilizados correntemente.

PALAVRAS-CHAVE: Fundações profundas, Estacas escavadas, Atrito lateral.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo, contribuir para formação de um banco de dados sobre o comportamento de estacas escavadas com trado mecânico. Devido à verticalização das edificações e o aumento da carga imposta ao subsolo pelas fundações, torna-se necessário ampliar pesquisas visando alcançar melhor desempenho e aproveitamento do tipo de elemento de fundação utilizado.

Após análise dos dados das provas de carga, pode-se compará-los com os métodos de cálculo correntes e mais utilizados para este tipo de elemento de fundação, contribuindo assim, com mais um estudo sobre o assunto e formar-se um banco de dados sobre este tipo de elemento de fundação aplicado ao solo em questão.

Neste trabalho objetiva-se fazer uma abordagem sobre a parcela resistente de atrito lateral em algumas estacas escavadas, executadas com trado mecânico e sem o uso de lama bentonítica. As estacas foram escavadas em um perfil de solo definido via ensaios de campo e laboratório. Não se pretende criar um novo método de cálculo para este tipo de estaca e sim, aprofundar os conhecimentos e entender como os métodos existentes se comportam, comparando os seus resultados com resultados de prova de carga estática com carregamento lento, ao qual serão submetidas às estacas referentes a este trabalho.

Os resultados das provas de carga foram comparados e analisados em relação aos métodos empíricos de Aoki e Velloso, Décourt e Quaresma, Urbano Alonso, utilizando os

valores de coesão e ângulo de atrito, conseguidos nos ensaios triaxiais.

1.1 SPT – Ensaio de Penetração Dinâmica

O ensaio de penetração dinâmica “SPT” é utilizado para se obter a resistência do solo através da profundidade perfurada. No Brasil, este tipo de ensaio foi introduzido em 1939 por Grillo, do IPT de São Paulo. Ao se realizar uma sondagem, o que se pretende é avaliar o tipo de solo atravessado e a resistência oferecida por ele, resistência esta denominada de N_{spt} , também, pode ser obtido com este tipo de ensaio a posição do nível d’água encontrado logo após a perfuração e confirmado na vigésima quarta hora seguinte.

Segundo Schnaid (2000), métodos rotineiros de projeto de fundações diretas e profundas, utilizam sistematicamente os resultados obtidos no ensaio de penetração dinâmica para seus cálculos, especialmente no Brasil.

Este ensaio se popularizou em relação aos demais, devido à simplicidade e robustez do seu equipamento e o baixo custo de execução. É preciso lembrar que existem diferentes técnicas de perfuração, equipamentos e procedimentos de execução em cada país. O resultado desta diferença pode gerar uma não uniformidade nos dados obtidos.

Outro ponto a ser observado neste tipo de ensaio, é a eficiência. A eficiência E_i do SPT, deve ser observado com critério, pois a mesma pode variar de até três vezes entre si, variando-se também os valores de N_{spt} , que variam com o inverso da eficiência. Então se tem, para um SPT com eficiência de 45%, o valor de N_{spt} será o dobro do correspondente a outro SPT cuja eficiência seja de 90%. Ao se fazer correlações estabelecidas em outros países, deve-se sempre procurar saber qual a eficiência do equipamento utilizado para a execução do ensaio e proceder-se aos ajustes necessários em relação à eficiência do mesmo.

Segundo Décourt (1989) a eficiência do SPT brasileiro, quando o mesmo é executado segundo a NBR 6484/79, é em média de 72%.

1.2 SPT – Ensaio de Penetração Dinâmica com Medida de

Ranzini (1988) sugeriu que se medisse o torque após a execução do ensaio SPT. A introdução deste ensaio na rotina dos serviços de sondagem e o estabelecimento de regras básicas para sua interpretação é obra de Décour & Quaresma Filho (1994). Basicamente, o equipamento constitui-se de um torquímetro, uma chave soquete, um pino adaptador e um disco centralizador, que são acoplados às hastes, após a cravação dos 45 cm do amostrador.

A medida do torque é efetuada ao término de cada etapa do ensaio de penetração dinâmica SPT. Depois de cravado o amostrador, seguindo-se as recomendações da NBR 6484/79. Alonso (1994) apresentou correlações entre f_s medido com torquímetro através da fórmula proposta por Ranzini (1988) e a resistência dinâmica à percussão N_{spt} do ensaio tradicional SPT.

O índice de torque TR é a relação entre o valor de torque medido em $\text{kgf} \times \text{m}$ e o valor do N_{spt} (T/N). O estabelecimento de correlações estatísticas entre o valor de torque (T), em $\text{kgf} \times \text{m}$ e o N_{spt} permite enquadrar os solos em um novo tipo de classificação onde sua estrutura desempenha um papel fundamental.

Outro dado que pode ser trabalhado através do ensaio SPT-T, é a relação de N_{eq} (N equivalente). Se para os solos da bacia sedimentar terciária de São Paulo, a relação T/N = 1,2 e sendo esta bacia uma das mais estudadas do país, foi proposto por Décourt (1991b), que para outros solos com valores de TR os mais diversos possíveis, pode-se utilizar a relação $N_{eq} = T/1,2$. A ideia seria utilizar os valores de torque, que são menos suscetíveis a influência causada pela estrutura dos solos, que os valores de N_{spt} . Se o raciocínio estiver correto, poderíamos utilizar este valor de N_{eq} para

comparar o solo estudado com os solos da bacia sedimentar terciária de São Paulo. Embora seja um estudo interessante, muito ainda há que se caminhar para que esta afirmação seja de fato aceita, pois como se sabe, para cada região o melhor é obter um banco de dados local e com isto se definir as correlações pertinentes.

Existem ainda outras propostas para cálculo direto de adesão através do ensaio SPT-T e que serão aqui analisados, tais como: o método desenvolvido por Peixoto (2001) e o método descrito acima proposto por Alonso (1994) para o cálculo direto de r_1 através dos valores de f_s , obtidos da expressão proposta por Ranzini (1988).

1.3 Estacas Escavadas

As estacas escavadas são assim denominadas, pois para a execução das mesmas faz-se uma perfuração no terreno, retirando-se o material terroso e em seguida executando-se sua concretagem. Este tipo de estaca pode vir a ter sua base alargada ou não, dependendo da solicitação aplicada e do tipo de solo onde será instalada.

Segundo a NBR 6122/96, denomina-se como estaca escavada, “tipo de fundação profunda por escavação mecânica, com uso ou não de lama bentonítica, de revestimento total ou parcial, e posterior concretagem”.

Existem vários tipos de estacas escavadas, porém neste trabalho estudaram-se apenas as estacas escavadas com trado mecânico e executadas acima do lençol d’água e, portanto sem o uso de lama bentonítica.

1.4 Método Aoki-Velloso

Este método foi desenvolvido, comparando-se provas de carga em estacas e resultados de ensaio SPT, Aoki e Velloso (1975). Pode-se utilizar o método tanto com os resultados do ensaio SPT, assim como, utilizando-se os resultados do ensaio CPT, relacionando-os com a resistência de ponta e o atrito lateral da estaca. A expressão pode ser escrita como:

$$Q_{ult} = A_b \cdot q_p + U \sum \tau_l \cdot \Delta l = A_b \cdot (q_{cone}/F1) + \sum (\tau_{cone}/F2) \cdot \Delta l \quad (1.1)$$

onde, F1 e F2 são fatores de escala e execução.

Relacionando o ensaio de cone holandês (CPT mecânico) e o SPT, tem-se:

$$q_c = KN \quad (1.2)$$

$$\tau_c = \alpha q_c = \alpha KN \quad (1.3)$$

Resultando na expressão que utiliza dados do SPT:

$$Q_{ult} = A q_{p,ult} + U \sum \tau_{l,ult} \Delta L \quad (1.4)$$

$$Q_{ult} = A \frac{KN}{F1} + U \sum \frac{\alpha KN}{F2} \Delta L \quad (1.5)$$

Os valores de K e α utilizados por Aoki-Velloso (1975) são tabelados.

1.5 Método Décourt-Quaresma

Décourt e Quaresma (1978) apresentaram um método para o cálculo de capacidade de carga de estacas, com base em dados do SPT. O método apresenta as seguintes características.

Para resistência de ponta, adota-se a média entre os valores de N_{spt} correspondente a região da ponta da estaca e os valores de N_{spt} imediatamente anterior e posterior a ela. Em kN/m^2 , a resistência de ponta é dada por:

$$q_{p,ult} = CN, \quad (1.6)$$

onde C é um dado tabelado.

Já para a resistência do atrito lateral, os valores de N_{spt} serão considerados ao longo do fuste da estaca, desprezando-se os valores de N_{spt} já computados no cálculo da estimativa da resistência de ponta. Tirando-se a média obtém-se através dos dados da Tabela 2.6 o atrito médio ao longo do fuste em kN/m^2 . Neste cálculo, não é fator importante o tipo de solo em que está trabalhando.

Uma segunda versão foi desenvolvida por Décourt-Quaresma (1982), visando aprimorar o

método. Passando então a resistência lateral a ser calculada através da expressão:

$$\tau_{l,ult} = \frac{\bar{N}}{3} + 1, \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (1.7)$$

Onde $\bar{N}$ continua sendo a média dos valores de N_{spt} ao longo do fuste e independe do tipo de solo atravessado. Uma ressalva importante é que o valor de N , se menor que 3, utilizar igual a 3 e se maior que 50 utilizar igual a 50.

Como este método foi originalmente concebido para estacas de deslocamentos, propõem-se alguns coeficientes para o uso em estacas gerais. Sugerindo que sejam considerados os coeficientes de α e β , que nada mais são que coeficientes de majoração ou minoração.

O cálculo a partir de então para outros tipos de estacas será:

$$Q_{ult} = \alpha \cdot q_p \cdot A_p \cdot \beta \cdot \tau_l \cdot A_s \quad (1.8)$$

$$Q_{ult} = \alpha \cdot K \cdot N_p \cdot A_p + 10\beta \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \text{ kN/m}^2 \quad (1.9)$$

Os valores de α e β são dispostos em tabelas.

1.6 Métodos semi-empíricos que utilizam o SPT-T

A partir dos estudos idealizados por Ranzini (1988), utilizando-se um equipamento que simulasse o atrito lateral em uma estaca, outros autores começaram a utilizar dados deste ensaio, para o cálculo de capacidade de carga.

1.7 Método Alonso

Alonso (1994) apresenta um método onde a utilização do valor de f_s é calculado através da fórmula de Ranzini (1988). Neste, partindo de f_s calcula-se a parcela referente ao atrito lateral levando em conta que f_s é a adesão calculada a partir dos valores de torque máximo (kgf.m) e a penetração (cm) do amostrador no ensaio convencional de SPT. O torque é então aplicado após a penetração dos 45 cm e obtém-se um dos

fatores que serão utilizados para o cálculo de f_s , podendo ser expresso por:

$$f_s = \frac{100T_{máx}}{0.41h - 0.032} \text{ (kPa)} \quad (2.0)$$

Depois ter sido obtido o valor de f_s através da equação acima, calcula-se o r_l , conforme a expressão abaixo: término.

$$r_l = 0.65 \cdot f_s \quad (2.1)$$

Já para o cálculo de r_p , Alonso (1994) utiliza o modelo que já foi utilizado por Velloso (1981), conforme expressão abaixo:

$$r_p = \beta \frac{T_{(mín)}^{(1)} + T_{(mín)}^{(2)}}{2} \quad (2.2)$$

onde: $T_{mín}^{(1)}$ é a média aritmética dos valores do torque mínimo (kgf.m) no trecho 8D, medido para cima, a partir da ponta da estaca, adotando-se nulos os $T_{mín}$, acima do nível do terreno, quando o comprimento da estaca for menor que 8D. Já o $T_{mín}^{(2)}$ é a média aritmética dos valores do torque mínimo (kgf.m) no trecho 3D, medido para baixo, a partir da ponta da estaca.

1.8 Método Peixoto

Também Peixoto (2002) utilizou como base a proposta de Ranzini (2000) com algumas modificações elaboradas a partir do desenvolvimento de um torquímetro elétrico, que possibilita uma análise mais elaborada na determinação da resistência lateral em estacas.

Peixoto (2002) introduz um coeficiente F_l que é função do torque máximo em relação ao N , do ensaio SPT e o tipo da estaca.

$$PL = F_l \cdot s_l \cdot f_{T_{máx}} \cdot A_l \quad (2.3)$$

Sendo:

F_l = fator de correção

s_l = coeficiente do tipo de estaca

A_l = área da superfície lateral da estaca

$$fT_{\max} = \Sigma \Delta l_i fT_{\max_i} / \Sigma \Delta l_i$$

em que:

Δl_i = comprimento do trecho elementar de ordem “i” do fuste

$fT_{\max_i}$ = tensão de atrito lateral máxima medida pelo torquímetro na altura do trecho elementar de ordem “i” do fuste.

Para resistência de ponta, Peixoto (2002), sugere que seja utilizado o método Décourt (1996), já que o método de Ranzini (2000) conduz a valores muito conservadores para esta parcela da capacidade de carga.

2 PROVA DE CARGA

O método utilizado neste trabalho, foi o ensaio do tipo, prova de carga estática com carregamento lento, seguindo-se todas as prescrições da norma que rege o mesmo.

2.1 Prova de carga com carregamento lento

A norma NBR 12.131/92 estabelece que neste ensaio, caso a ruptura não seja atingida, a prova de carga deve ser levada, pelo menos até que se obtenha um recalque de 25 mm ou até duas vezes o valor da carga de trabalho.

O carregamento é feito em estágios iguais e sucessivos, observando-se que:

- A carga aplicada por estágio não ultrapasse 20% da carga de trabalho
- A cada estágio, a carga deve ser mantida até a estabilização dos deslocamentos por no mínimo 30 minutos.

Os demais procedimentos são descritos na norma citada acima e não se faz necessário descrevê-los por completo no corpo deste trabalho.

2.2 Instrumentação para prova de carga estática

Inicialmente foram executadas as hastes metálicas e soldadas as chapas que foram utilizadas para medição dos deslocamentos impostos a estaca através da aplicação da carga axial. Instalaram-se três extensômetros para acompanhamento dos deslocamentos ocorridos. Instalados nas vigas de referência e posicionados na sequência como se segue: o primeiro na chapa metálica que serviu de base para a transferência da carga aplicada pelo macaco, o segundo instalado na haste metálica que mede o deslocamento do topo da estaca e o terceiro, também instalado em outra haste que media o deslocamento da ponta da estaca, conforme mostra a Figura 1.

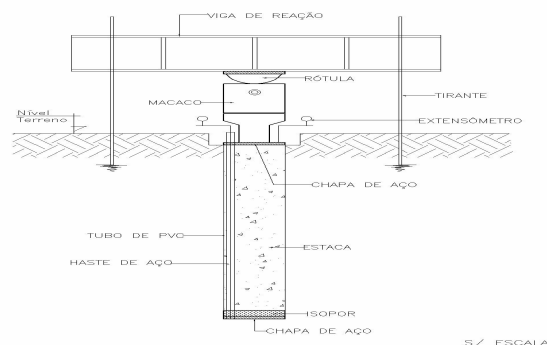


Figura 1 – Montagem da Prova de Carga

2.3 Resultados das provas de carga

São apresentados os gráficos com os resultados das quatro provas de carga que foram executadas no Campo Experimental II, os valores dos deslocamentos e as cargas necessárias para que se atingissem tais deslocamentos. Estes resultados foram baseados, admitindo-se que um deslocamento de 1% do valor do fuste da estaca (2,5 mm), seria suficiente para que fosse considerado o ponto de ruptura da resistência lateral do solo. As Tabelas 1, 2, 3 e 4 apresentam os estágios de aplicação dos carregamentos para cada estaca.

Tabela 1 – Aplicação dos carregamentos e deslocamento de Topo e Ponta – estacas E 1

Estaca E - 1			
Estágio	Carga (kN)	Deslocamento Topo (mm)	Deslocamento Ponta (mm)
0	0	0	0
1	15	0	0
2	30	0	0
3	45	0	0
4	60	0	0
5	75	0,26	0,07
6	90	0,71	0,29
7	105	1,72	0,97
8	120	3,41	2,44
9	135	6,16	4,9
10	150	12,9	8,92
11	165	16,9	12,94
12	180	27,8	22,54
13	195	34,5	27,6
Desc. 1	181	34,5	27,6
Desc. 2	108	34,5	27,58
Desc. 3	58	34,5	27,58
Desc. 4	0	34,5	27,58

Tabela 2 – Aplicação dos carregamentos e deslocamento de Topo e Ponta – estacas E 2

Estaca E - 2			
Estágio	Carga (kN)	Deslocamento Topo (mm)	Deslocamento Ponta (mm)
0	0	0	0
1	15	0	0
2	30	0	0
3	45	0	0
4	60	0	0
5	75	0,34	0,02
6	90	1,02	0,18
7	105	1,81	0,48
8	120	2,79	0,5
9	135	4,09	2,9
10	150	6,39	5,43
11	165	9,08	6,84
12	180	13,09	8,9
13	195	15,38	8,9
14	210	17,93	12,62
Desc. 1	150	17,85	12,54
Desc. 2	100	17,42	12,51
Desc. 3	50	16,8	12,35
Desc. 4	0	16,12	12,04

Tabela 3 – Aplicação dos carregamentos e deslocamento de Topo e Ponta – estacas E 3

Estaca E - 3			
Estágio	Carga (kN)	Deslocamento Topo (mm)	Deslocamento Ponta (mm)
0	0	0	0
1	15	0	0
2	30	0	0
3	45	0	0
4	60	0	0
5	75	0,32	0,32
6	90	0,79	0,52
7	105	1,54	1,27
8	120	2,47	2,19
9	135	3,53	3,12
10	150	4,89	4,14
11	165	6,72	5,85
12	180	9,25	7,71
13	195	12,20	8,75
14	210	16,58	9,94
15	225	14,82	11,08
Desc. 1	150	14,80	11,05
Desc. 2	100	14,80	11,03
Desc. 3	50	14,75	11,01
Desc. 4	0	14,70	11,01

Tabela 4 – Aplicação dos carregamentos e deslocamento de Topo e Ponta – estacas E 4

Estaca E - 4			
Estágio	Carga (kN)	Deslocamento Topo (mm)	Deslocamento Ponta (mm)
0	0	0	0
1	40	0	0
2	89	0,21	0,07
3	127	0,28	0,09
4	165	0,37	0,12
5	202	0,42	0,15
Desc.1	150	0,40	0,14
Desc.2	100	0,38	0,13
Desc.3	50	0,35	0,07
Desc.4	0	0,33	0
1	89	0,38	0,09
2	127	0,41	0,12
3	165	0,47	0,17
4	202	1,35	0,23
5	240	0,59	0,49
6	277	6,80	0,87
7	315	8,70	1,59
8	353	10,80	2,63
9	390	12,60	3,87
10	428	13,50	5,02
Desc. 1	334	13,20	5,00
Desc. 2	240	13,05	4,50
Desc. 3	146	12,90	4,10
Desc. 4	0	12,15	3,95

A Tabela 5 apresenta os valores de resistência de atrito lateral, calculado pelos métodos de Aoki & Velloso, Décourt & Quaresma, Urbano Alonso, Peixoto e ainda o resultado obtido com as provas de carga.

Tabela 5 – Resistência de Atrito Lateral – estacas E 1; E 2; E 3; E 4

Método	Resistência de Atrito Lateral			
	Estaca			
	E1 (kN)	E2 (kN)	E3 (kN)	E4 (kN)
Aoki & Velloso	33	46	71	121
Décourt & Quaresma	89	126	188	338
Urbano Alonso	40	182	156	253
Peixoto	50	66	72	146
Prova de Carga	112	116	121	216

A Figura 2 é uma representação gráfica dos valores obtidos para resistência de atrito lateral

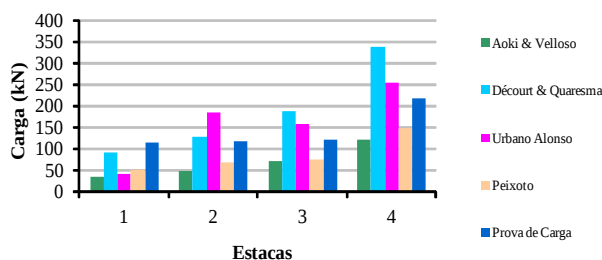


Figura 2 – Gráfico comparativo entre os métodos e prova de carga

3 CONCLUSÕES

Como foi visto nos resultados das provas de cargas e comparando estes resultados com os métodos de cálculos utilizados correntemente na engenharia, podemos observar que é possível através de um estudo e acompanhamento do comportamento do solo, redimensionar os elementos de fundação, aproveitando toda a capacidade que o solo estudado pode nos disponibilizar.

O que se pretende com este trabalho então é colocar a importância de um estudo criterioso do comportamento solo-estrutura e a partir daí, conseguir um melhor aproveitamento e utilização dos métodos de cálculo, adicionando a estes cálculos todo o ganho que se pode obter com a utilização da tecnologia presente nos ensaios de campo e laboratório.

Ressaltamos ainda a importância da prova de carga estática que nos permite acompanhar com fidelidade o comportamento do solo-estrutura, nos permitindo mensurar a capacidade real do elemento estudado, para o tipo de solo em que o mesmo foi instalado.

BIBLIOGRAFIA

- Alonso, U. R. Correlações entre os resultados de ensaios de penetração estática e dinâmica para a cidade de São Paulo. Solos e Rochas, Rio de Janeiro, vl. 3, p. 19-25, ABMS 1980.
- _____. Estimativa de transferência de carga de estacas escavadas a partir do SPT. Solos e Rochas, Rio de Janeiro, v. 6, pp. 21-27 ABMS, 1983.
- Aoki, N.; Velloso, D. A. An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. Proceedings, 5th. Pan American CSMFE, Buenos Aires, v. 1, p. 367-376, 1975.
- Bowles, J. E. Foundation analysis and desing. New york: McGraw-Hill, 1968.
- Carvalho, D. Análises de cargas últimas à tração de estacas escavadas, instrumentadas, em campo experimental de São Carlos – SP. 1991. Tese - EESC – USP, São Carlos, 1991.
- Carvalho, D. et al. Comparação entre atritos laterais obtidos no ensaios SPT-T, CPT e Provas de Carga em Estacas. Solos e Rochas, Rio de Janeiro, v. 22 , n. 2, p. 113-123 ABMS, 1999.
- Décourt, L.; Quaresma, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: CBMSEF, 6., 1978, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: CBMSEF, 1978. v. 1, p. 45-53.
- Décourt, L.; Quaresma Filho, A. R. Practical Applications of the Standard Penetration Test Complemented by Torque Measurements, SPT-T; Present Stage and Future Trends. In: ICSMFE, 13., 1994, Nova Delhi. Anais...Nova Delhi: ICSMFE, 1994. v. 1, p. 143-146.
- Ranzine, S. M. T. SPTF. Revista Solos e Rochas, V. 11, p. 29 – 30, 1988.
- Schnaid, Fernando Ensaios de campo e suas aplicações à engenharia de fundações. São Paulo: Oficina de textos, 2000.
- Ranzine, S. M. T.; Rocha Filho, P. Experiência de aplicação do ensaio pressiométrico em solos estruturados parcialmente saturados. In: Congresso Brasileiro Mecânica Solos e Eng. Fundações. 2., 1994, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: ABMS, 1994. p. 475-482.
- Terzaghi, K. Theoretical Soil Mechanics. New York: Jonh Eiley and Sons, 1943.
- Velloso, Dirceu A. Encarte técnico. Periódico, Viçosa, v.8 , n. 5, 1999.
- Velloso, Dirceu A.; Lopes, F. R. Fundações: Fundações profundas. Rio de Janeiro: COPPE-UFRJ, 2002. v. 2.