XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.5/38

Capacidade de carga de estacas do solo da região oeste do Paraná por provas de carga e diferentes métodos de dimensionamento

Décio Lopes Cardoso
Professor Doutor, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Brasil, deciolc@gmail.com

Olavo Emilio Fank
Knaf Engenharia Ltda, Cascavel, Brasil, olavoemiliofank@gmail.com

Marivone Zanella Fank
Professora Doutora, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Brasil, marivonefank@utfpr.edu.br

RESUMO: O fato de o solo ser um material de engenharia que não se pode inspecionar diretamente leva os engenheiros geotécnicos a superdimensionar tais elementos estruturais, elevando os custos das fundações profundas, os quais podem atingir até 20 % do custo total de uma obra. A maneira de solucionar o dilema é aplicar métodos de dimensionamento que conduzam a uma capacidade de carga otimizada, ou seja, real, segura e maximizada. Com esse propósito foi desenvolvida uma pesquisa envolvendo sondagens a percussão SPT, provas de carga em estacas e comparação entre diferentes métodos de dimensionamento. Foram realizadas provas de carga estática em duas estacas escavadas na argila siltosa da cidade de Cascavel, PR. Foram aplicados cinco métodos de cálculo da capacidade de carga que, com suas contribuições, forneceram nove resultados, os quais foram comparados aos resultados da prova de carga obtidos aplicando os métodos da ABNT-NBR 6122 e de van der Veen. Tanto a versão original quanto a versão modificada do método Decourt-Quaresma apresentaram os valores mais elevados e mais próximos ((159,28 kN e 169,03 kN) aos valores das duas provas de carga, os quais pelo método ABNT foram 161,33 kN e 178,80 kN e pelo método van der Veen foram 164,39 kN e 179,12 kN, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: fundações profundas, dimensionamento, capacidade de carga.

ABSTRACT: The fact that soil is an engineering material that cannot be directly inspected leads geotechnical engineers to oversize structural elements, increasing the costs of deep foundations, which can reach up to 20% of the total cost of a project. The way to solve this dilemma is to apply design methods that lead to an optimized load-bearing capacity, that is, a real, safe, and maximized capacity. To this end, research was conducted involving SPT percussion soundings, pile load tests, and a comparison between different design methods. Static load tests were performed on two piles drilled in silty clay in the city of Cascavel, PR. Five methods for calculating load-bearing capacity were applied, which, with their contributions, provided nine results. These results were compared to the load test results obtained using the ABNT-NBR 6122 and van der Veen methods. Both the original and modified versions of the Decourt-Quaresma method presented the highest and closest values (159.28 kN and 169.03 kN) to the values of the two load tests, which according to the ABNT method were 161.33 kN and 178.80 kN and according to the van der Veen method were 164.39 kN and 179.12 kN, respectively.

KEYWORDS: deep foundations, sizing, load bearing capacity.

1 INTRODUÇÃO

O cálculo da capacidade de carga de fundações profundas deve ser feito idealmente por meio de provas de cargas realizadas diretamente no canteiro de obras (HACHICH, 2006). No entanto, o elevado custo de tal procedimento conduz à necessidade de se utilizar métodos empíricos e semi-empíricos, nos quais os parâmetros de resistência do solo são avaliados indiretamente por meio de ensaios de campo, sendo que o mais

utilizado mundialmente é o Standard Penetration Test (LUKIANTCHUKI, 2012). Na literatura especializada existem inúmeros métodos de dimensionamento de fundações profundas, o que permite ao engenheiro geotécnico uma vasta gama de opções para projetar fundações. A escolha do método de dimensionamento dependerá do quanto o cálculo se aproxima do valor real que seria obtido com a realização de provas de carga. Compreender os métodos de previsão, bem como entender corretamente os dados necessários para a sua aplicação, avaliar os tipos de solo, as características das estacas, os recalques ocorridos durante a prova de carga, são de fundamental importância para a compreensão do comportamento da fundação em serviço e consequentemente uma avaliação ao mesmo tempo segura e econômica da capacidade de carga (VELLOSO e LOPES, 2011). Em qualquer circunstância, a referência deverá ser o resultado da prova de carga (ABNT, 1996).

As estacas escavadas são predominantemente utilizadas na região oeste do Paraná (LORENZI, 2012), e suas vantagens, segundo Nienov (2006) são a velocidade, o custo e a praticidade de execução, além da baixa interferência em obras vizinhas. Sua escavação pode ser feita com trado manual ou mecânico, dependendo da profundidsde a ser alcançada. O trado mecânico foi utilizado neste trabalho, por ser um processo rápido e de concretagem imediata, com o cuidado de verificar o lençol freático e a existência de água no espaço a ser concretado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em três etapas. Inicialmente foi feita uma abordagem teórica dos métodos semi-empíricos de dimensionamento de estacas, o estudo do solo da região oeste do Paraná e das fundações comumente utilizadas. A seguir procedeu-se à perfuração e concretagem das estacas e dos blocos de coroamento, e por fim a realização das provas de carga estática.

O solo é de ocorrência predominante na região oeste do Paraná, de textura argilosa, classificado pedologicamente como Latossolo vermelho distroférrico e geotecnicamente como A-7-5 (17) pelo Sistema HRB e como CH pelo Sistema Unificado.

Na execução das provas de carga foram observadas as recomendações de Pousada (2004) apud Lorenzi (2012), como a centralização e alinhamento dos macacos hidráulicos e células de carga, a distância entre os elementos a serem ensaiados em relação aos tirantes e estacas de reação, carga máxima prevista e o tempo de cura do concreto. Outro aspecto importante é a calibração dos equipamentos e sua colocação conforme o projeto, bem como o acompanhamento dos procedimentos preconizados na NBR 12131 (ABNT, 1992). Para a realização dessa etapa foi fundamental a parceria com o Engenheiro Vinicius Lorenzi, na execução das provas de carga pela equipe da Fungeo – Fundações e Geologia Ltda.

Na Figura 1 é apresentada a locação das oito estacas executadas, sendo quatro delas as estacas de reação formando os vértices de um quadrado de 3,00 m de lado e de diâmetro 40 cm; nos pontos médios de cada lado situam-se quatro estacas com diâmetro 30 cm. As estacas nomeadas como E2 e E3 foram as estacas ensaiadas.

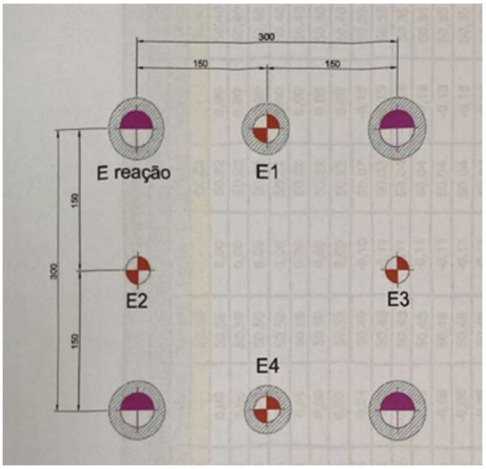


Figura 1. Locação das estacas.

As caracterísitcas das estacas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características das estacas escavadas

Diâmetro D	0,30 m
Profundidade	5,00 m
Área da ponta	0,0707 m²
Área lateral	4,71 m

Foram realizadas sondagens SPT cujos boletins são apresentados como SPT-03 para estimativa da capacidade de carga da estaca E3 e como SPT-04 para a estaca E2, conforme mostrado na Figura 2. Tratam-se de perfis de argila siltosa com baixos valores do índice de resistência à penetração.

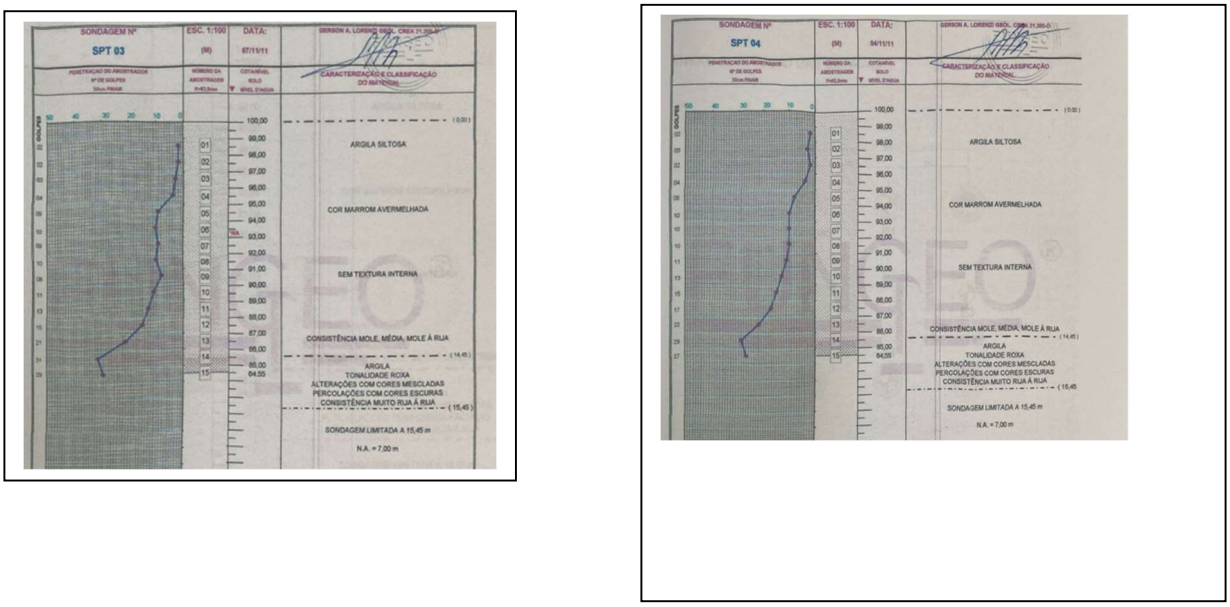


Figura 2. Boletins de sondagens SPT.

Foram realizadas duas provas de carga estática nas estacas E2 e E3, conforme preconiza a NBR 12131 (ABNT, 1992), com anotação da data, hora de aplicação dos carregamentos e as leituras dos recalques fornecidas por quatro deflectômetros.

A previsão da capacidade de carga foi realizada por meio de cinco métodos, os quais, com suas contribuições e variações forneceram nove resultados.

A análise das curvas carga-recalque foi feita pelos métodos de van der Veen, da NBR 6122 e da interseção das tangentes, com o objetivo de definir a carga de ruptura da estaca.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Métodos semi-empíricos de capacidade de carga

São apresentados na Tabela 2 os resultados de resistência de ponta, resistência lateral e capacidade de carga da estaca E2 para os métodos semi-empiricos utilizados na pesquisa.

Tabela 2. Resultados do dimensionamento para a estaca E2

Método	Resistência de ponta (kN)	Resistência lateral (kN)	Capacidade de carga (kN)
Aoki-Velloso	42,30	26,78	69,08
Laprovitera & Benegas	32,04	55,79	87,83
Monteiro	42,85	47,48	90,33
Décourt-Quaresma	62,20	94,25	156,45
Décourt-Quaresma modificado	62,20	106,83	169,03
Alonso	-	59,69	59,69
Alonso modificado	48,31	66,39	114,70
Teixeira	42,41	71,63	114,04
Amaral/Benapar	71,87	29,21	101,08

São apresentados na Tabela 3 os resultados de resistência de ponta, resistência lateral e capacidade de carga da estaca E3 para os métodos semi-empiricos utilizados na pesquisa.

Tabela 3. Resultados do dimensionamento para a estaca E3

Método	Resistência de ponta (kN)	Resistência lateral (kN)	Capacidade de carga (kN)
Aoki-Velloso	47,58	28,19	75,77
Laprovitera & Benegas	36,05	58,73	94,78
Monteiro	48,20	49,98	98,18
Décourt-Quaresma	43,94	45,63	89,58
Décourt-Quaresma modificado	65,03	94,25	159,28
Alonso	-	62,83	62,83
Alonso modificado	52,43	69,88	122,31
Teixeira	45,95	75,40	121,35
Amaral/Benapar	75,15	30,74	105,89

3.2 Provas de carga

A curva carga-reclaque fornecida por uma prova de carga fornece uma leitura do comportamento mecânico do conjunto solo-fundação, mas em rupturas locais ela não fornece uma carga de ruptura típica, bem definida por um ponto de pico como ocorre nas rupturas generalizadas. Por isso é necessário utilizar métodos de interpretação da curva para obter o valor da carga de ruptura.

3.3 Método de van der Veen

O método ajusta a curva carga-recalque a uma função exponencial (van der VEEN, 1953). A curva ajustada passa a ser aquela a ser utilizada pelas demais metodologias, que no caso da presente pesquisa corresponde aos métodos da norma brasileira e da intersecção das tangentes. Vale salientar que a opção pelo método não somente altera a apresentação da curva carga-recalque, como também altera a sua interpretação. Na Figura 3 é apresentada a curva carga-recalque da prova de carga e as curvas do método van der Veen para as estacas E2 e E3.

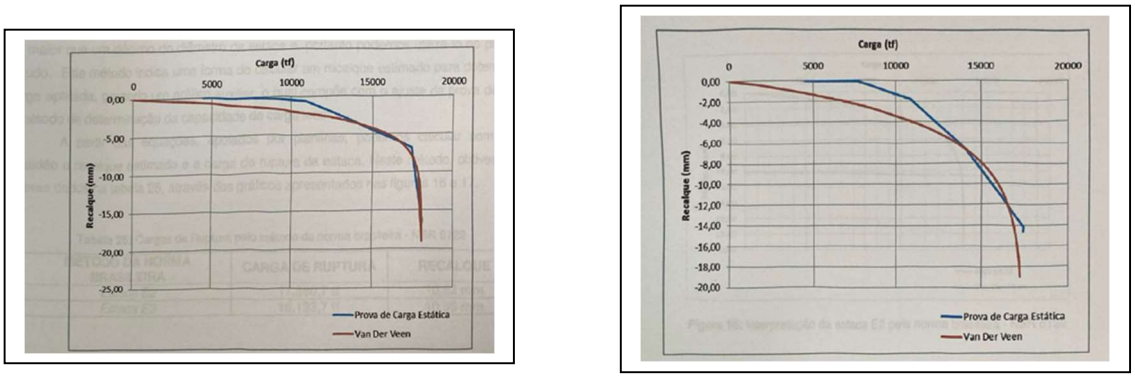


Figura 3. Curvas carga-recalque e curvas de van der Veen: (a) estaca E2 (b) estaca E3.

Observa-se que o método van der Veen se aplicou mais eficientemente aos dados da prova de carga na estaca E2. Portanto, optou-se por utilizar os parâmetros dessa curva nos métodos da norma brasileira e da intersecção das tangências.

3.4 Método da norma brasileira NBR 6122

A norma brasileira condiciona a aplicação do método para casos onde o recalque for maior que um décimo do diâmetro da estaca; portanto, pode-se aplicá-lo no caso em estudo. O método consiste em se traçar pela ordenada correspondente a 10 mm uma reta paralela ao trecho inicial linear da curva de van der Veen. A abscissa do intercepto dessa reta com a curva de van der Veen fornece a carga de ruptura, como mostrado na Figura 4, para as duas estacas ensaiadas.

Os procedimentos da NBR 6122 conduziram aos resultados mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores das provas de carga nas estacas pela metodologia NBR 6122

Estaca	Carga de ruptura (kN)	Recalque máximo (mm)
E02	178,81	10,62
E03	161,34	10,56

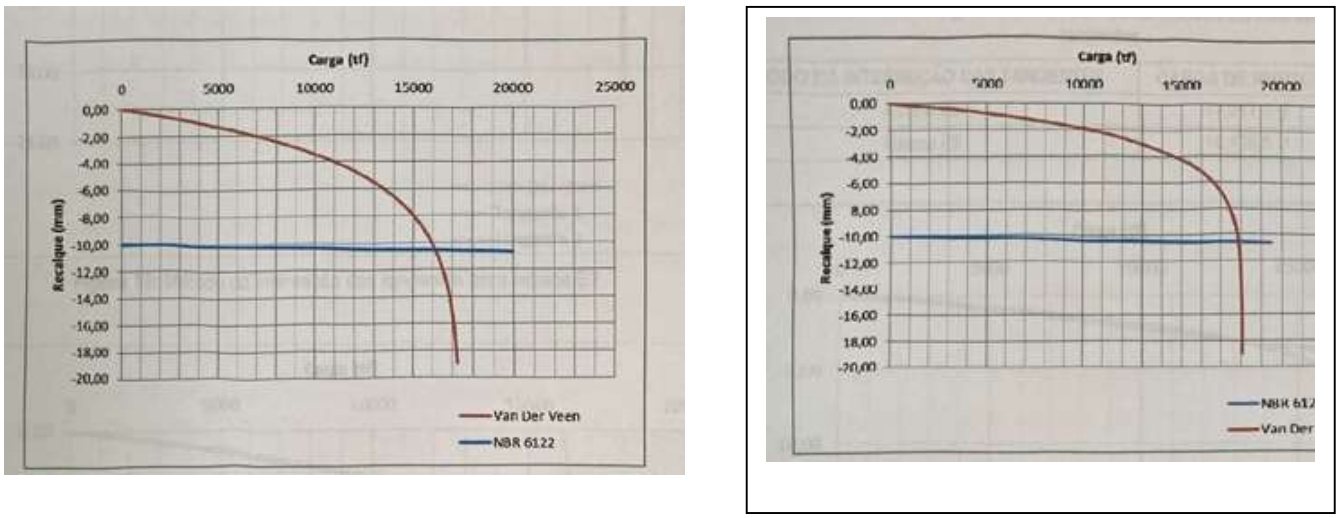
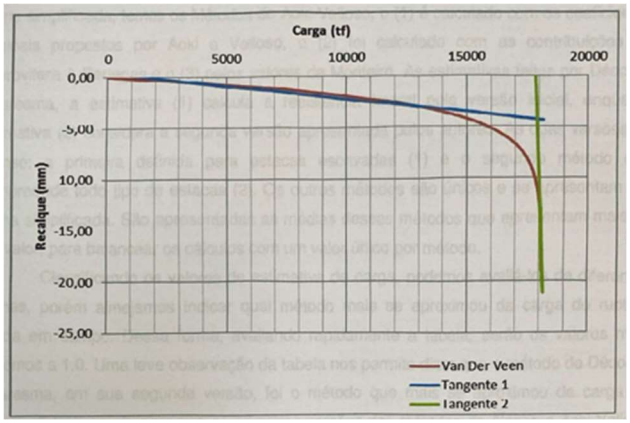


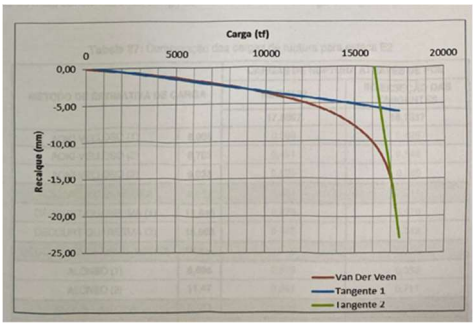
Figura 4. Definição da carga de ruptura pelo método da NBR 6122: (a) estaca E2 (b) estaca E3.

3.5 Método da intersecção das tangentes

Este método consiste em traçar uma reta tangente ao trecho reto inicial e outra reta tangente ao trecho final da curva de van der Veen. A abscissa do ponto de intersecção dessas duas retas fornece a carga de ruptura. O procedimento é mostrado na Figura 5 para as duas estacas ensaiadas.



a)



b)

Figura 5. Definição da carga de ruptura pelo método da intersecção das tangentes: (a) estaca E2 (b) estaca E3.

Na Tabela 5 são mostrados os valores obtidos para carga de ruptura utilizando o método de intersecção das tangências, para as estcas E2 e E3.

Tabela 5. Carga de ruptura pelo método de intersecção das tangências

Estaca	Carga de ruptura (kN)	Recalque máximo (mm)
E02	179,12	4,33
E03	164,39	5,58

3.6 Comparativo carga estimada versus prova de carga

Na Tabela 6 são mostrados os valores da relação entre as capacidades de carga estimadas pelos métodos semi-mepíricos e o valor fornecido pela prova de carga na estaca E2, a qual foi tomada como referência.

Tabela 6. Relação compartiva entre métodos de dimensinamento e prova de carga na estaca E2

Método	Método	NBR 6122 178,81 kN	Intersecção das tangentes 161,34 kN
Aoki-Velloso & Laprovitera Benegas	69,08 87,83	0,386 0,491	0,428 0,544
Monteiro	90,33	0,505	0,560
Décourt-Quaresma	156,45	0,875	0,970

Décourt-Quaresma modificado	169,03	0,945	1,048
Alonso	56,96	0,319	0,353
Alonso modificado	85,83	0,641	0,711
Teixeira	114,04	0,480	0,707
Amaral/Benapar	101,08	0,638	0,637

Na Tabela 7 são mostrados os valores da relação entre as capacidades de carga estimadas pelos métodos semi-mepíricos e o valor fornecido pela prova de carga na estaca E3, a qual foi tomada como referência.

Tabela 7. Relação compartiva entre métodos de dimensinamento e prova de carga na estaca E3

Método	Método	NBR 6122 179,12 kN	Intersecção das tangentes 164,39 kN
Aoki-Velloso	75,77	0,423	0,461
Laprovitera & Benegas	94,78	0,529	0,577
Monteiro	98,18	0,548	0,597
Décourt-Quaresma	159,28	0,889	0,969
Décourt-Quaresma modificado	174,99	0,977	1,064
Alonso	122,31	0,683	0,744
Alonso modificado	92,57	0,517	0,563
Teixeira	121,35	0,677	0,738
Amaral/Benapar	105,89	0,591	0,644

Os resultados mostrados indicam que o método Decourt-Quaresma modificado é o que mais se adequa à realidade no que tange ao cálculo da capacidade carga de fundações profundas no solo típico da região oeste do Paraná, apresentando relações entre a capacidade de carga calculada e o valor da prova de carga iguais a 1,048 e 1,064 para as estacas E2 e E3 respectivamente . Em seguida vêem hierarquicamente a segunda versão do método Alonso, o método Teixeiras e o método Amaral/Benapar.

4 CONCLUSÃO

Os valores de capacidade de carga foram comparados aos valores das provas de carga realizadas no canteiro de obras. O intento foi avaliar qual dos métodos de dimensionamento utilizados apresentou a relação mais próxima de 1,000. Neste contexto, e destacando o fato de que os dados são escassos para se fazer uma análise estatística rigorosa por se tratar de apenas duas estacas, o método Decourt-Quaresma modificado mostrou-se o mais adequado para previsão da capacidade de carga de estacas escavadas como fundações no solo estudado. Ressalta-se que o método Aoki-Velloso, apesar de mostrar-se conservador para o solo da região neste estudo específico, apresenta a vantagem de se aplicar a qualquer tipo de solo, o que pode ser particularmente interessante no que tange aos solos desestruturados da região oeste do Paraná.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12131: *Estacas – prova de carga estática – método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1992.

HACHICH, W. *Fundações – teoria e prática*. São Paulo: Pini, 1996.

LORENZI, V. *Avaliação do desempenho de estacas escavadas com o método de alargamento de fuste*. 2012. 109p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Civil, COPPE / UFRJ, 2012.

LUKIANTCHUKI, L. A. *Interpretação de resultados do ensaio SPT com base em instrumentação dinâmica*. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, 2012.

NIENOV, F.A. *Comportamento a compressão de estacas escavadas de equeno diâmetro em solo sedimentar na região de Santa Maria*. Dissertação (Mestrado), UFSM, Santa Maria, RS, 2006, 133p.

Van Der VEEN. The Bearing Capacity of a Pile. in: *Conference On Soil Mechanics Foundation Engineering*, 3, Zurich, Proceedings, Zurich, v. 2, 1953, p.84 90.

VELLOSO, D.; LOPES, F.R. *Fundações*. Rio de janeiro: COPPE/UFRJ, 2011.