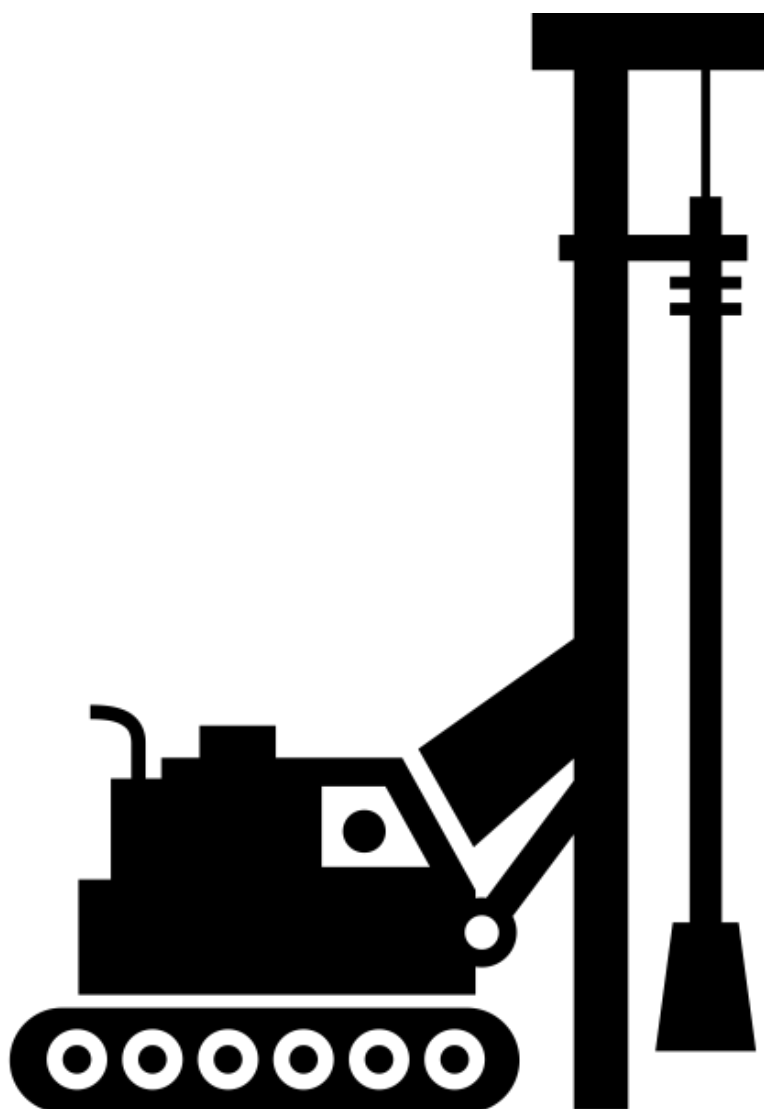


CAPACIDADE DE CARGA AXIAL DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	3
1. MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS.....	4
2. MÉTODOS TEÓRICOS.....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

APRESENTAÇÃO

Esta publicação tem por objetivo atender estudantes de graduação em Engenharia Civil no início de seus estudos da área de Geotecnia, em especial os referentes à capacidade de carga de fundações profundas por métodos semi-empíricos e teóricos. Esta compilação constitui uma síntese teórica e prática básica para discentes de graduação, não substituindo a vasta bibliografia existente sobre o assunto.

Além de expandir, é intenção dos autores e do Grupo de Estudos em Geotecnia da Universidade Federal do Paraná (UFPR) o aprimoramento deste material. Portanto, sugestões e críticas são bem-vindas.

Lucas Ghion Zorzan¹

Jordana Fuman²

Vítor Pereira Faro³

¹ Graduando em Engenharia Civil da UFPR – lucasghionzorzan@gmail.com

² Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC) da UFPR – jor_furman@hotmail.com

³ Professor do Departamento de Construção Civil e do PPGECC da UFPR – vpfaro@ufpr.br

1. MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS

A capacidade de carga de uma estaca pode ser estimada através de métodos semi-empíricos, que se baseiam em resultados de sondagens a percussão. São métodos comumente utilizados no meio técnico por serem de fácil aplicação.

MÉTODO AOKI-VELLOSO

A resistência de uma estaca é dada em função de sua carga admissível ($\bar{P}$), função da carga de ruptura (P_R). Nas fundações profundas, duas parcelas contribuem para a resistência do elemento: a capacidade de carga de ponta (P_p) e a capacidade de carga lateral (P_L). O cálculo destas cargas é feito conforme as equações apresentadas na sequência.

$$\bar{P} = \frac{P_R}{FS}$$

$$P_R = P_p + P_L$$

$$P_L = U \sum \Delta L \cdot r_L$$

$$P_p = A_p \cdot r_p$$

Em que:

$\bar{P}$ = carga admissível da estaca (kN);

P_R = carga de ruptura da estaca (kN);

FS = fator de segurança, não podendo ser inferior a 2,0 (NBR 6122:2010);

P_p = capacidade de carga de ponta (kN);

P_L = capacidade de carga por atrito lateral (kN);

U = perímetro da seção da estaca (m);

ΔL = espessura da camada de solo (m);

r_L = resistência lateral do solo (kPa);

P_p = capacidade de carga por resistência de ponta (kN);

A_p = área da ponta da estaca (m²);

r_p = resistência de ponta do solo (kPa).

No método Aoki-Velloso, a resistência de ponta e a resistência lateral são expressas por:

CAPACIDADE DE CARGA AXIAL DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS

$$r_p = \frac{q_c}{F_1} = \frac{k \cdot N_{SPT}}{F_1}$$

$$r_L = \frac{f_c}{F_2} = \frac{\alpha \cdot k \cdot N_{SPT}}{F_2}$$

Em que:

r_p = resistência de ponta (kPa);

r_L = resistência lateral (kPa);

q_c = resistência à penetração de ponta no ensaio CPT (kPa);

f_c = resistência por atrito lateral determinada no ensaio CPT (kPa);

N_{SPT} = número de golpes SPT em sondagens à percussão.

Os valores dos fatores F_1 e F_2 são determinados segundo a Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores F_1 e F_2 segundo o tipo de estaca

Tipo da estaca	F_1	F_2
Pré-moldada	$1 + D/0,8$	2.F1
Metálica	1,75	
Raiz, hélice contínua e ômega	2,00	
Franki	2,50	
Escavada	3,00	

Os valores de k e de α são função da constituição granulométrica do solo e foram determinados por Aoki e Velloso (Tabela 2).

Tabela 2 – Parâmetros k e α segundo Aoki-Velloso

Solo	k	α	Solo	k	α	Solo	k	α
	(kPa)	(%)		(kPa)	(%)		(kPa)	(%)
Areia	1000	1,4	Silte	400	3,0	Argila	200	6,0
Areia siltosa	800	2,0	Silte arenoso	550	2,2	Argila arenosa	350	2,4
Areia silto-argilosa	700	2,4	Silte areno-argiloso	450	2,8	Argila areno-siltosa	300	2,8
Areia argilosa	600	3,0	Silte argiloso	230	3,4	Argila siltosa	220	4,0
Areia argilo-siltosa	500	2,8	Silte argilo-arenoso	250	3,0	Argila silto-arenosa	330	3,0

MÉTODO DÉCOURT-QUARESMA

O método proposto pelos engenheiros Luciano Décourt e Arthur Quaresma estima a resistência unitária lateral e a resistência unitária de ponta, tomando-se por base o resultado do ensaio SPT. No método de Décourt-Quaresma, a resistência de ponta e a resistência lateral são dadas por:

$$r_p = C \cdot \bar{N}_{SPT\ p}$$

$$r_L = \left(\frac{\bar{N}_{SPT\ L}}{3} + 1 \right) \cdot 10$$

Em que:

r_p = resistência unitária de ponta (kPa);

r_L = resistência unitária lateral (kPa);

C = coeficiente que depende do tipo de solo na ponta;

$\bar{N}_{SPT\ p}$ = média aritmética entre os SPT's da ponta, o anterior e o posterior, limitado a 50 golpes;

$\bar{N}_{SPT\ L}$ = média aritmética dos SPT's que envolvem o fuste da estaca, desprezando-se o SPT da ponta e o anterior (utilizar $3 \leq N_{SPT} \leq 50$).

O valor do coeficiente C é determinado em função do tipo de solo na ponta da estaca, segundo a Tabela 3.

Tabela 3 – Coeficiente C

Tipo de solo	C (kPa)
Argiloso	120
Silte argiloso	200
Silte arenoso	250
Areia	400

A carga de ruptura da estaca é dada por:

$$P_R = P_p + P_L$$

$$P_R = r_p \cdot A_p \cdot \alpha + r_L \cdot A_L \cdot \beta$$

Em que:

P_R = carga de ruptura da estaca (kN);

P_p = capacidade de carga de ponta (kN);

P_L = capacidade de carga por atrito lateral (kN);

P_p = capacidade de carga por resistência de ponta (kN);

CAPACIDADE DE CARGA AXIAL DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS

r_p = resistência de ponta do solo (kPa).

A_p = área da ponta da estaca (m²);

α = fator de correção para a resistência de ponta;

r_L = resistência lateral do solo (kPa);

A_L = área do fuste da estaca (m²);

β = fator de correção para a resistência lateral.

Para terrenos com várias camadas de solo, a resistência total lateral (P_L) será a somatória das resistências laterais parciais de cada solo.

O método também prevê fatores de correção minorando a resistência de ponta e a resistência lateral das estacas, levando-se em consideração o procedimento executivo de cada estaca, conforme Tabelas 4 e 5:

Tabela 4 – Fatores α (para correção da resistência de ponta)

Solo	Estacas cravadas	Escavadas em geral	Escavada com lama bentonítica	Hélice contínua	Raiz
Argila	1,0	0,85	0,85	0,30	0,85
Silte	1,0	0,60	0,60	0,30	0,60
Areia	1,0	0,50	0,50	0,30	0,50

Tabela 5 – Fatores β (para correção da resistência lateral)

Solo	Estacas cravadas	Escavadas em geral	Escavada com lama bentonítica	Hélice contínua	Raiz
Argila	1,0	0,80	0,90	1,0	1,5
Silte	1,0	0,65	0,75	1,0	1,5
Areia	1,0	0,50	0,60	1,0	1,5

Para a obtenção da carga admissível da estaca ($\bar{P}$), devem-se aplicar os seguintes fatores de segurança, adotando aquele que apresentar o menor valor:

$$\bar{P} = \frac{P_R}{2}$$

$$\bar{P} = \frac{P_p}{4} + \frac{P_L}{1,3}$$

EXERCÍCIOS

1.1: Para o perfil de sondagem abaixo representado, calcule a capacidade de carga de uma estaca tipo Strauss com um comprimento nominal de 7,0 m e diâmetro de 38 cm. Utilize o método de Décourt-Quaresma.

Profundidade (m)	NSPT	Descrição do solo
1,00	3	Areia fina pouco siltosa, fofa, amarela
2,00	4	
3,00	8	
4,00	10	Areia fina siltosa, medianamente compacta, vermelha clara
5,00	12	
6,00	13	
7,00	18	
8,00	25	Silte argiloso compacto, amarelo escuro
9,00	28	
10,00	32	
11,00	43	
12,00	Impenetrável	

1.2: Calcular a capacidade de carga de uma estaca pré-moldada de concreto considerando as características geotécnicas do perfil de sondagem abaixo apresentado. Utilize o método de Aoki-Velloso e as seguintes características geométricas:

- Diâmetro: 26 cm;
- Comprimento: 6,0 m.

Profundidade (m)	NSPT	Descrição do solo
1,00	5	Argila arenosa
2,00	7	
3,00	8	Areia siltosa
4,00	12	
5,00	22	Silte arenoso
6,00	25	
7,00	40	
Limite da Sondagem		

1.3: Uma sondagem à percussão foi realizada e os resultados são apresentados na Figura abaixo. Considerando estas características geométricas, determine a capacidade de carga para uma estaca Franki com comprimento nominal de 10,0 m e diâmetro de 42 cm utilizando:

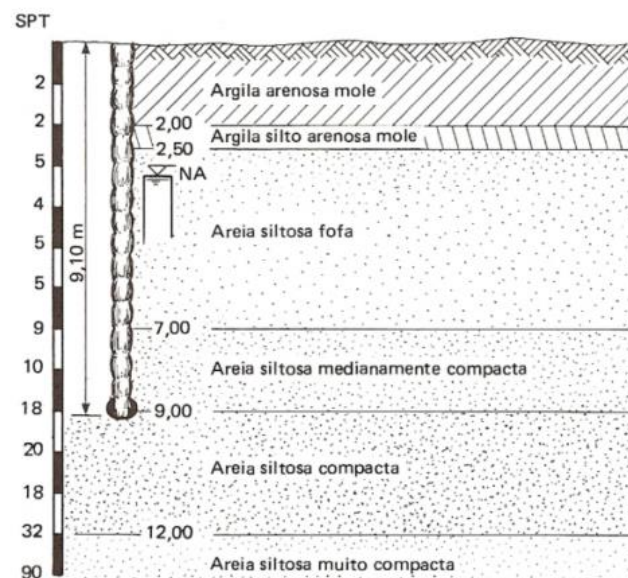
- a) Método de Décourt-Quaresma;

CAPACIDADE DE CARGA AXIAL DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS

b) Método de Aoki-Velloso.

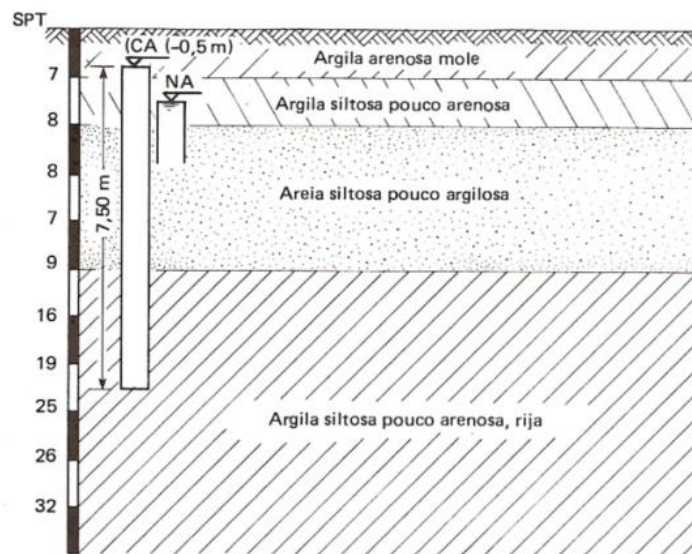
Profundidade (m)	NSPT	Descrição do solo
1,00	2	Argila silto arenosa mole, vermelha clara
2,00	2	
3,00	3	
4,00	5	Silte arenoso pouco compacto, amarelo claro
5,00	8	
6,00	9	
7,00	12	
8,00	19	
9,00	23	
10,00	25	Areia fina argilosa muito compacta, variegada, vermelha clara/escura
11,00	41	
12,00	48	
13,00	54	
14,00	61	
15,00	Impenetrável	

1.4: Utilizando o método Aoki-Velloso, calcule a carga admissível de uma estaca do tipo Franki, com diâmetro do fuste de 40 cm e volume da base de $V=180$ litros. O comprimento da estaca é de 9,0 m e as características geotécnicas do solo são dadas a seguir.



1.5: Com os dados apresentados a seguir, calcule a carga admissível de uma estaca pré-moldada com diâmetro de 40 cm utilizando o método de Aoki-Velloso.

CAPACIDADE DE CARGA AXIAL DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS



1.6: Considerando os dados de solo abaixo apresentados, estimar a carga de ruptura e de trabalho da estaca pré-moldada de concreto pelo método Aoki-Velloso. Considere:

- Dimensão nominal de 20x20 cm;
- Capacidade estrutural da estaca: 24 tf;
- Comprimento da estaca: 9,0 m.

Profundidade (m)	NSPT	Descrição do solo
1,00	3	Argila siltosa
2,00	25	
3,00	22	
4,00	30	
5,00	24	
6,00	21	Areia argilosa
7,00	34	
8,00	24	
9,00	25	Argila siltosa
10,00	40	
11,00	31	

1.7: Utilizando o método de Aoki-Velloso, calcular a capacidade de carga admissível de uma estaca escavada com diâmetro do fuste de 40 cm. O comprimento da estaca é de 10,0 m e as características geotécnicas do solo são dadas a seguir.

CAPACIDADE DE CARGA AXIAL DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Profundidade (m)	NSPT	Descrição do solo
1,00	2	Argila siltosa
2,00	2	
3,00	5	
4,00	4	Argila
5,00	5	
6,00	5	
7,00	9	Argila arenosa
8,00	10	
9,00	18	Silte argiloso
10,00	20	
11,00	18	Silte

1.8: Calcule as cargas de ruptura e de trabalho de uma estaca pré-moldada de concreto pelo método de Décourt-Quaresma considerando o perfil geotécnico abaixo. Dados:

- Dimensão nominal de 20x20 cm;
- Capacidade estrutural da estaca: 24 tf;
- Embutimento: 9,0 m.

Profundidade (m)	NSPT	Descrição do solo
1,00	3	Argila siltosa
2,00	25	
3,00	22	
4,00	30	
5,00	24	
6,00	21	
7,00	34	Areia argilosa
8,00	24	
9,00	25	
10,00	40	Argila siltosa
11,00	31	

1.9: Com os dados abaixo, estimar o comprimento necessário para que uma estaca escavada com lama bentonítica de 60 cm de diâmetro possa receber uma carga de 140 tf. Utilize:

- Método de Décourt-Quaresma;
- Método de Aoki-Velloso.

CAPACIDADE DE CARGA AXIAL DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Profundidade (m)	NSPT	Descrição do solo
1,00	8	Argila
2,00	10	
3,00	13	
4,00	15	
5,00	17	
6,00	12	
7,00	15	Areia siltosa
8,00	20	
9,00	17	
10,00	15	
11,00	18	Argila siltosa
12,00	19	
13,00	19	
14,00	22	
15,00	25	
16,00	40	
17,00	31	
18,00	35	
19,00	37	
20,00	43	
21,00	34	
22,00	37	
23,00	40	

1.10: Em um projeto de fundações cujas características geotécnicas são representadas pela sondagem abaixo apresentada, deve-se dimensionar, pelo método Aoki-Velloso, estacas para transmissão de uma carga de 800 kN proveniente de um pilar de 30x60 cm. Faça o dimensionamento considerando:

- a) Estaca tipo broca;
- b) Estaca Strauss;
- c) Estaca pré-moldada de concreto;
- d) Tubulão

CAPACIDADE DE CARGA AXIAL DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS



2. MÉTODOS TEÓRICOS

As soluções teóricas para a capacidade de carga, em sua maioria, estão relacionadas com as soluções de equilíbrio limite, utilizando dos parâmetros de resistência do solo para determinar a resistência à ruptura, sem avaliar as deformações ou o comportamento da estaca antes desse estado.

MÉTODO DE TERZAGHI

A equação geral da teoria da capacidade de carga foi apresentada primeiramente por Terzaghi (1943) para uma sapata contínua de largura B , com a base situada a uma profundidade D da superfície do terreno. No caso das estacas, Terzaghi apresenta fatores de correção devido à seção que elas apresentam. A resistência de ponta pode ser calculada por uma das fórmulas a seguir:

a) Para base circular (de diâmetro B):

$$r_p = 1,2 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot L \cdot N_q + 0,6 \cdot \gamma \cdot \frac{B}{2} N_\gamma$$

b) Para base quadrada ($B \times B$):

$$r_p = 1,2 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot L \cdot N_q + 0,8 \cdot \gamma \cdot \frac{B}{2} N_\gamma$$

Em que:

r_p = resistência de ponta (kPa);

N_c , N_q e N_γ = fatores de capacidade de carga;

c = coesão do solo (kPa);

γ = peso específico do solo (kN/m³);

B = menor dimensão do elemento estrutural (m);

L = comprimento do elemento estrutural (m).

A Tabela 6 apresenta os fatores de capacidade de carga N_c , N_q e N_γ (ruptura geral para solos de elevada resistência) e N'_c , N'_q e N'_γ (ruptura local para solos de baixa resistência).

CAPACIDADE DE CARGA AXIAL DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Tabela 6 - Fatores de capacidade de carga (Bowles, 1968)

Ângulo de atrito interno ϕ (°)	N_c	N_q	N_γ	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7

A segunda componente da capacidade de carga é a resistência lateral. Seu valor é considerado como a soma de duas parcelas:

$$r_L = a + \sigma_h \cdot \tan \delta$$

Em que:

r_L = resistência lateral (kPa);

a = aderência entre a estaca e o solo (kPa);

σ_h = tensão horizontal contra a superfície lateral da estaca (kPa);

δ = ângulo de atrito entre a estaca e o solo.

Como a tensão vertical varia linearmente com a profundidade, pode-se estimar a tensão no ponto médio de cada subcamada.

MÉTODO DE MEYERHOF

Meyerhof (1951) apresentou uma equação um pouco diferente para a capacidade de carga das estacas, considerando uma forma de ruptura diferente de Terzaghi. A resistência de ponta é dada por:

$$r_p = c \cdot N_c + K_s \cdot \gamma \cdot L \cdot N_q + \gamma \cdot \frac{B}{2} N_\gamma$$

Em que:

r_p = resistência de ponta (kPa);

N_c , N_q e N_γ = fatores de capacidade de carga, que dependem de ϕ e da relação L/B . Quando L/B é elevado, despreza-se a última parcela;

c = coesão do solo (kPa);

K_s = coeficiente de empuxo do solo contra o fuste próximo à ponta (Tabela 7);

CAPACIDADE DE CARGA AXIAL DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS

γ = peso específico do solo (kN/m^3);

B = menor dimensão do elemento estrutural (m);

L = comprimento do elemento estrutural (m).

Tabela 7 – Valores de K_s

Material da estaca	Solo fofo	Solo compacto
Aço	0,5	1,0
Concreto	1,0	2,0
Madeira	1,5	3,0

Em um solo argiloso saturado, utiliza-se no cálculo a resistência não drenada da argila (S_u) e a equação da resistência de ponta é reescrita como:

$$r_p = 9,5 \cdot S_u + \gamma \cdot L$$

No caso de solos granulares (areias), a equação será escrita como:

$$r_p = K_s \cdot \gamma \cdot L \cdot N_q$$

Meyerhof propõe uma expressão para a resistência lateral em solos granulares ($\alpha = 0$), tendo como base a equação proposta por Terzaghi. A resistência lateral unitária, na ponta da estaca, é dada por:

$$r_L = \frac{K_s \cdot \gamma \cdot L}{2} \tan \delta$$

O ângulo de atrito entre a interface e o solo (δ) é igual ou menor que o ângulo de atrito interno efetivo do solo (ϕ'), conforme apresentado na Tabela 8. Tanto em estacas de aço como de concreto com rugosidade normal, é comum adotar $\delta = \phi'$.

Tabela 8 – Valores de δ

Material da estaca	δ
Aço	$20^\circ - 30^\circ$
Concreto	$\frac{3\phi'}{4}$
Madeira	$\frac{2\phi'}{3}$

MÉTODO DE VÉSIC

A solução de Vésic leva em consideração a rigidez do material e tem como base a teoria da expansão de cavidade em um meio elastoplástico. Vésic designa a resistência de ponta em função da tensão normal média (σ_o) no nível da ponta da estaca e que N_σ pode ser calculado por qualquer método que considere a deformabilidade do solo antes da ruptura.

$$r_p = c \cdot N_c + \sigma_o \cdot N_\sigma$$

Sendo:

$$\sigma_o = \frac{1 + 2K_o}{3} \sigma'_v$$

Em que:

r_p = resistência de ponta (kPa);

c = coesão do solo (kPa);

K_o = coeficiente de empuxo no repouso;

σ'_v = tensão vertical efetiva no nível da ponta da estaca (kPa).

N_c e N_σ = fatores de capacidade de carga, calculados em função do ângulo de atrito interno e da rigidez do solo, relacionados pela equação:

$$N_c = (N_\sigma - 1) \cot \phi$$

Portanto, verifica-se que Vésic, com base nas suas pesquisas, exprime a resistência de ponta em função da tensão normal média (σ_o) no nível da ponta da estaca e que o cálculo de N_σ pode ser feito, em princípio, por qualquer método estabelecido de análise geotécnica que leva em conta a deformabilidade do solo antes da ruptura. É essencial que o cálculo seja baseado em um modelo de ruptura realista.

O fator N_σ pode ser expresso por:

$$N_\sigma = \frac{3}{3 - \sin \phi} e^{(\frac{\pi}{2} - \phi) \tan \phi} \tan^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}) I_{rr}^{\frac{4 \sin \phi}{3(1 + \sin \phi)}}$$

onde I_{rr} representa o índice de rigidez reduzido:

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta}$$

que, em condições de variação de volume nula (condições não drenadas) ou bastante pequena (solos pouco compressíveis) pode ser igual ao índice de rigidez (I_r) dado pela expressão:

$$I_r = \frac{E}{2(1 + \nu)(c + \sigma' \tan \phi)} = \frac{G}{c + \sigma' \tan \phi}$$

Em que:

c e ϕ = parâmetros de resistência;

E , ν , G = parâmetros de deformabilidade;

Δ = parâmetro de variação volumétrica, que representa a deformação volumétrica média que envolve a cavidade.

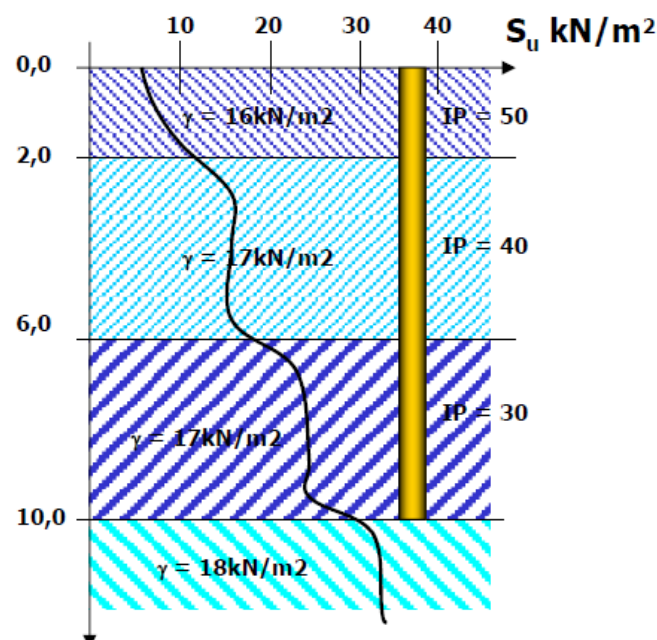
OUTROS MÉTODOS

São inúmeras as teorias clássicas existentes para a determinação da capacidade de carga de fundações, nas quais cada uma postula diferentes mecanismos de ruptura. Diante das inúmeras teorias existentes, cabe ao engenheiro geotécnico definir aquele que melhor se adapta às necessidades do projeto.

Métodos teóricos de capacidade de carga de fundações por estacas ainda são um tema em aberto na Engenharia Geotécnica e com pouca utilização em projetos. Uma das limitações da maioria dos métodos teóricos é a consideração exclusiva de solo coesivo ou granular, enquanto na natureza é frequente a existência de solos com coesão e atrito.

EXERCÍCIOS

2.1: Calcule a capacidade de carga da estaca instalada no perfil abaixo considerando seu diâmetro de 30 cm.



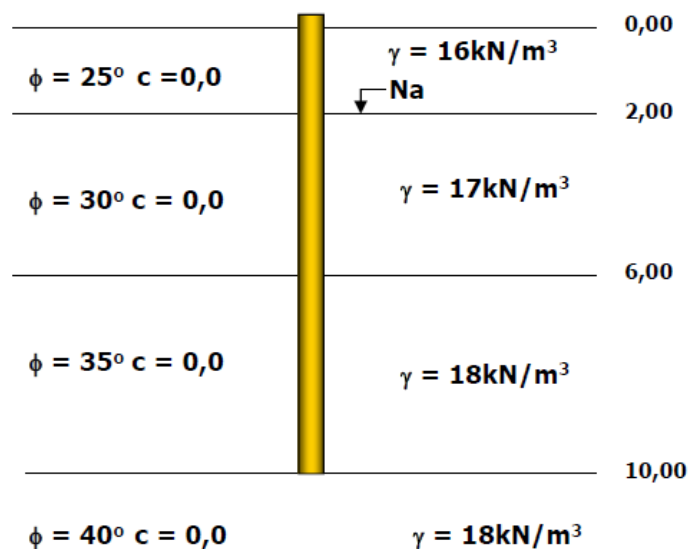
2.2: Considere uma estaca de concreto com 15,0 m de comprimento e seção transversal de 45x45 cm embutida completamente em areia. O peso específico da areia é 17 kN/m³ e o ângulo de atrito é de 35°. Estime a capacidade de carga de ponta utilizando:

CAPACIDADE DE CARGA AXIAL DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS

- a) Método de Meyerhof;
- b) Método de Vésic;
- c) Método de Coyle e Castello.

Finalmente, com base nos resultados dos itens a), b) e c) adote um valor para a capacidade de carga de ponta e justifique sua escolha.

2.3: Determine a capacidade de carga da estaca de concreto com diâmetro de 30 cm esquematizada a seguir. Considere as informações do perfil apresentadas.



2.4: Para uma estaca metálica de seção circular vazada com diâmetro externo de 406 mm embutida em argila saturada de 30,0 m de comprimento, calcule a resistência de ponta da fundação utilizando:

- a) Método de Meyerhof;
- b) Método de Vésic.

Considere as seguintes características do subsolo:

Profundidade (m)	Peso Específico Saturado da Argila (kN/m³)	S_u (kPa)
0-5	18,0	30,0
5-10	18,0	30,0
10-30	19,6	100,0

CAPACIDADE DE CARGA AXIAL DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS

2.5: Considere uma estaca de concreto com 18,0 m de comprimento e seção de 30,5x30,5 cm totalmente embutida em uma camada de areia. Para esta areia, a seguinte aproximação da resistência à penetração do cone (q_c) e do atrito lateral (f_c) pode ser considerada representativa. Estime a carga admissível da estaca considerando um fator de segurança igual a 3.

Profundidade (m)	q_c (kPa)	f_c (kPa)
0-5	3040	73
5-15	4560	102
15-25	9500	226

2.6: Uma estaca de concreto com 20,0 m de comprimento e seção de 30,5x30,5 cm está totalmente embutida em uma camada de argila saturada. A variação da resistência lateral deste solo com a profundidade é dada a seguir, obtida de um ensaio de penetração de cone. Estime a resistência por atrito lateral para esta estaca.

Profundidade (m)	f_c (kPa)
0-6	34,34
6-12	54,94
12-20	70,63

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Dimensionamento de fundações profundas**. E. Blucher, 1989.

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Estacas pré-moldadas**. Fundações, teoria e prática. São Paulo: PINI, 1996.

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Exercícios de fundações**. E. Blucher, 1983.

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Previsão e controle das fundações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1991.

AOKI, Nelson; CINTRA, J. C. A.; MENEGOTTO, M. L. **Segurança e confiabilidade de fundações profundas**. In: 8th Congresso Nacional de Geotecnia. 2002. p. 797-806.

BUDHU, Muni. **Foundations and earth retaining structures**. John Wiley & Sons, 2008.

BUDHU, Muni. **Soil mechanics and foundations**. 2000.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson. **Carga admissível em fundações profundas**. EESC-USP, 1999.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. Oficina de Textos, 2011.

DANZIGER, Bernadete Ragoni. **Estudo de correlações entre os ensaios de penetração estática e dinâmica e suas aplicações ao projeto de fundações profundas**. 1982.

DAS, B. M. (2015). **Principles of foundation engineering**. Cengage learning.

DAS, Braja M. **Advanced soil mechanics**. Crc Press, 2013.

DÉCOURT, L.; ALBIERO, J. H.; CINTRA, J. C. A. **Análise e projeto de fundações profundas**. FUNDAÇÕES: teoria e prática. São Paulo: Pini, 1996.

MEYERHOF, G. G. **The ultimate bearing capacity of foundations**. Geotechnique, v. 2, n. 4, p. 301-332, 1951.

MEYERHOF, GG t. **The bearing capacity of foundations under eccentric and inclined loads**. In: Proc. of the 3rd Int. Conf. on SMFE. 1953. p. 440-445.

Notas de Aula do Prof. Talles Mello. **Fundações: Caderno de Exercícios**. Campo Grande, MS. 2018.

SAES, J. L., FROTA, R. G., CARVALHO, C. S., & NIYAMA, S. (1998). **Fundações: teoria e prática (Vol. 2)**. W. C. HACHICH, & F. F. FALCONI (Eds.). Pini.

TERZAGHI, Karl; PECK, Ralph B.; MESRI, Gholamreza. **Soil mechanics in engineering practice**. John Wiley & Sons, 1996.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações**. Nova Edição. São Paulo. Oficina de Textos, 2010.

VESIĆ, A. **Experiments with instrumented pile groups in sand**. In: **Performance of deep foundations**. ASTM International, 1969.