

PEF 3405



**Aspectos gerais do projeto
de estacas de fundação**

Princípios básicos do projeto

- O material da estaca não pode sofrer solicitações excessivas (dimensionamento estrutural);
- Deve haver um fator de segurança adequado no ELU;
- Os deslocamentos devem ficar dentro de limites toleráveis;

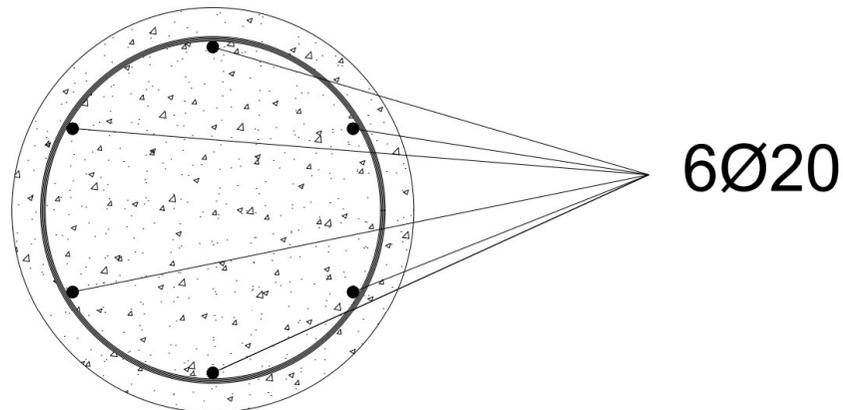
Dimensionamento estrutural – compressão (NBR 6122/2019)

Tipo de estaca	f _{ck} máximo de projeto	Y _f	Y _c	Y _s	Comprimento útil mínimo (incluindo trecho de ligação com o bloco) e % de armadura mínima		Tensão média atuante abaixo da qual não é necessário armar (exceto ligação com o bloco) MPa
					Armadura mínima %	Comprimento útil mínimo m	
Hélice / hélice de deslocamento ^a	20	1,4	1,8	1,15	0,5	4,0	6,0
Escavadas sem fluido	15	1,4	1,9	1,15	0,5	2,0	5,0
Escavadas com fluido	20	1,4	1,8	1,15	0,5	4,0	6,0
Strauss ^b	15	1,4	1,9	1,15	0,5	2,0	5,0
Franki ^b	20	1,4	1,8	1,15	0,5	Armadura integral	---
Tubulões não encamisados	20	1,4	1,8	1,15	0,5	3,0	5,0
Raiz ^{b, c}	20	1,4	1,6	1,15	0,5	Armadura integral	---
Microestacas ^{b,c}	20	1,4	1,8	1,15	0,5	Armadura integral	---
Estaca trado Vazado Segmentado	20	1,4	1,8	1,15	0,5	Armadura integral	---
Tipo de estaca	f _{ck}	Y _f	Y _c	Y _s	Armadura %	Comprimento m	Tensão de trabalho (MPa)

Dimensionamento estrutural – compressão

Exemplo cf. NBR 6122/2019

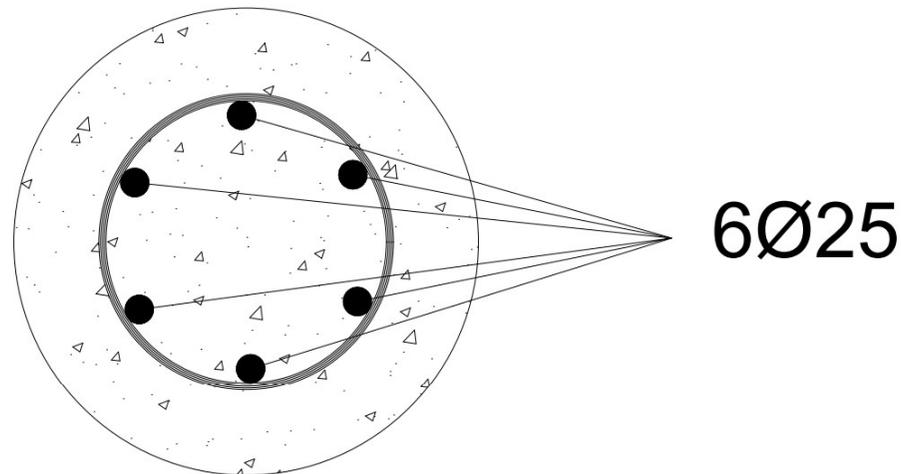
- Estaca hélice contínua Φ 70 cm: qual a carga máxima para que se possa prescindir de armadura. Definir armadura construtiva.
 - $\sigma = 6,0$ MPa (limite para prescindir de armadura);
 - $P_{adm,est} = 6000$ kPa x $0,385$ m² = 2310 kN (~230 tf);
 - $A_s = 0,5\%$. $A_c = 19,25$ cm² (6 Φ 20) – Lútil, mín = 4,0 m



Dimensionamento estrutural – compressão

Exemplo cf. NBR 6122/2019

- Estaca raiz Φ 41 cm: qual a carga estrutural (P_{adm}) para $A_s = 6\Phi 25$ (30 cm^2) ?
 - Φ 41 cm \gg $A = 1320 \text{ cm}^2$ ($\rho = 30/1320 = 2,27\%$)
 - $NR_d = 0,85 \times (20/1,6) \times (1320 - 30) + 30 \times 50/1,15 = 15010 \text{ kN}$
 - $P_{adm,est} = 15010/1,4 = 10721 \text{ kN} \sim 100 \text{ tf}$
 - Armadura integral;



ELU – solicitações axiais

- Estacas em solos coesivos:
 - A prática demonstra que em geral prevalece a resistência lateral (exceção ao caso de estacas curtas com base alargada);
 - A resistência lateral pode ser estimada por:
 - $R_L = a \times (u \times L)$, onde “a” seria a adesão média entre solo e estaca ao longo do comprimento (kPa), função de s_{uL} , a resistência não drenada média ao longo de L (kPa); e “ $u \times L$ ” a área lateral (m^2);
 - A resistência de ponta pode ser estimada por:
 - $R_p = A_p \times N_c \times s_c \times s_u$, onde “ A_p ” é a área de ponta ou base (m^2); N_c o fator de capacidade de carga; “ $s_{u,p}$ ” a resistência não drenada da argila na base (kPa); “ s_c ” é um fator de forma;

Estacas em solos coesivos (cont.)

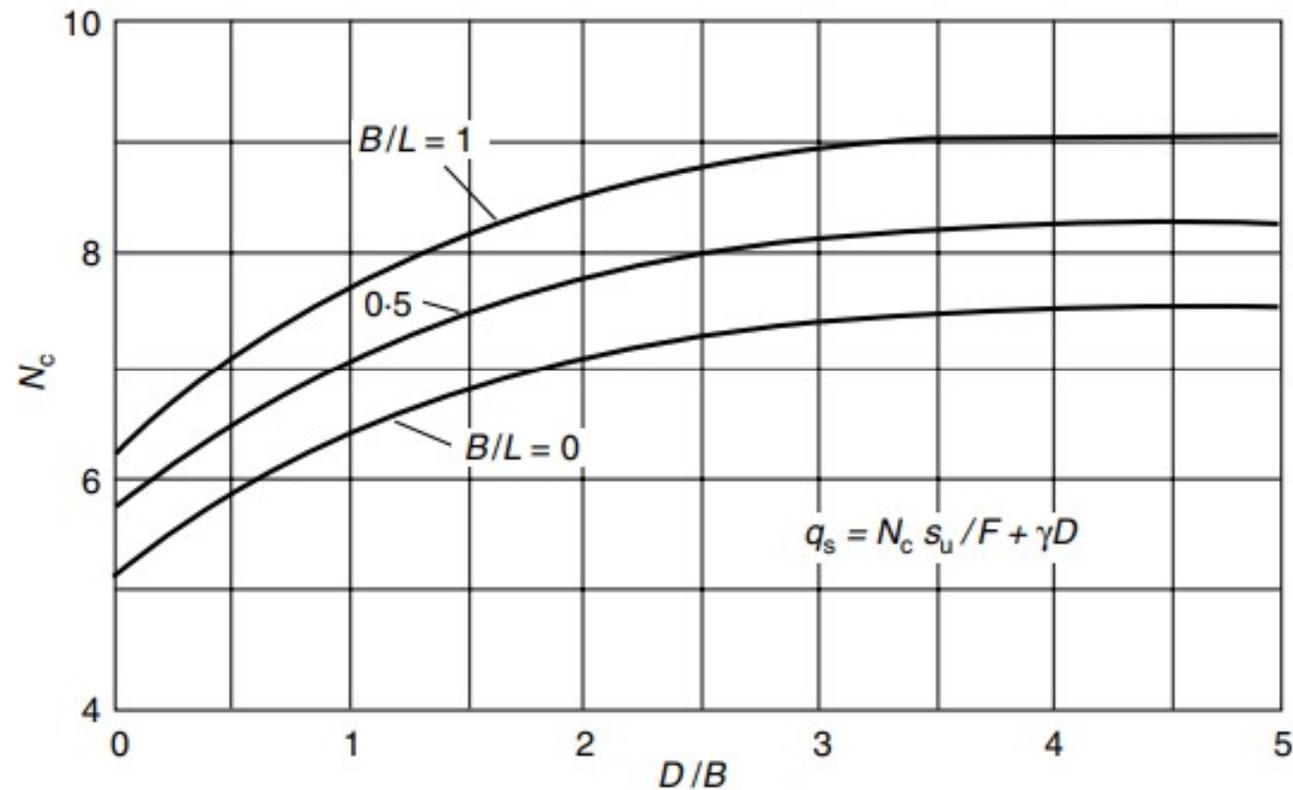


Fig. 4.11 Bearing capacity factor, N_c , for undrained analysis, after Skempton (1951)

Estacas em solos coesivos (cont.)

- Influência do método de execução da estaca:
 - Estacas de deslocamento:
 - A cravação afeta muito a adesão entre solo e estaca, por vários motivos, p.ex.: amolgamento, folgas entre o solo e a estaca, levantamento do solo;
 - A adesão poderá ser recuperada com o tempo após a cravação com “cicatrização” do solo;
 - A adesão é afetada pela presença de outros solos sobre a argila (Tomlinson, 1969);
 - Estacas de substituição:
 - Os processos de perfuração podem perturbar de forma significativa a estrutura do solo;
 - A água do concreto pode ser absorvida pelo solo;

Estacas em solos coesivos (cont.)

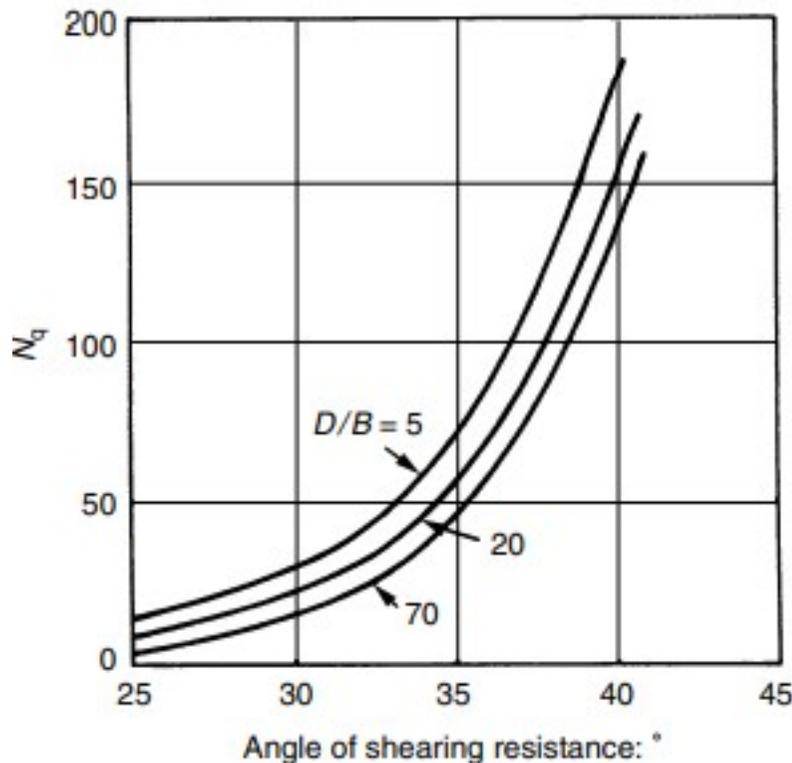
- Valores aproximados de R_L e R_p :
 - Em estacas cravadas:
 - $a \sim 0,4.s_{uL}$ a $1,25.s_{uL}$ (ver Simons & Menzies, 2001);
 - $Sc = 1$ para estaca de seção constante e $1,2$ para seção variável;
 - Em estacas de substituição:
 - $a \sim 0,45 \times s_{uL}$;
 - $Sc = 0,75$ ($B > 1$ m) e $0,8$ ($B < 1$ m);
- Determinação de P_{adm} :
 - $P_{adm} = (R_L + R_p)/(FS_{global})$, mas não menor que $(R_L/FS_L) + (R_p/FS_p)$;
 - $FS_{global} = 2$ (estacas de substituição) e $2,5$ (estacas cravadas ou de substituição com base alargada com $B < 2$ m);
 - $FS_L = 1,5$ para estacas cravadas e para estacas de substituição
 - $FS_p = 3$ para estacas cravadas e estacas de substituição com $B > 2$ m;

Estacas em solo granular

- Há preponderância da resistência de ponta. A resistência total pode ser estimada com:
 - Ensaio SPT;
 - Ensaio CPT;
 - Equação análoga à de Terzaghi para capacidade de carga;
 - Fórmulas dinâmicas de cravação;
 - Outras;

Estacas em solo granular (cont.)

- Adequação da equação de Terzaghi:
 - $R = R_p + R_L$
 - $R_p = A_p \times p' \times (N_q - 1)$ com N_q dado pela expressão clássica ou pelo gráfico abaixo se a estaca penetra 5D a 6D na areia;
 - $R_L = A_L \times k \times p'_{\text{méd}} \times \tan \delta'$



Valores de K (Broms, 1965)

Type of pile	Loose	Dense
Steel	0.5	1.0
Concrete	1.0	2.0
Timber	1.5	3.0

Valores de δ' (Aas, 1966)

Steel piles	$\delta' = 20^\circ$
Concrete piles	$\delta' = \frac{3}{4} \phi'$
Timber piles	$\delta' = \frac{2}{3} \phi'$

Determinação do comprimento

Métodos semi empíricos

- Décourt-Quaresma

$$R = \alpha_{DQ} \times C \times N_P \times A_P + \beta_{DQ} \times 10 \times \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) \times u \times L$$

FS = 4,0 para ponta ;

FS = 1,3 para atrito lateral

SOLO	C (kPa)
Argila	120
Silte argiloso	200
Silte arenoso	250
Areia	400

SOLO	TIPO DE ESTACA									
	Escavada		Escavada com bentonita		Hélice contínua		Raiz		Injetada	
	α (DQ)	β (DQ)	α (DQ)	β (DQ)	α (DQ)	β (DQ)	α (DQ)	β (DQ)	α (DQ)	β (DQ)
ARGILA	0,9	0,8	0,9	0,9	0,3	1,0	0,9	1,5	1,0	3,0
SOLO INTERMEDIÁRIO	0,6	0,7	0,6	0,8	0,3	1,0	0,6	1,5	1,0	3,0
AREIA	0,5	0,5	0,5	0,6	0,3	1,0	0,5	1,5	1,0	3,0

α (DQ) = β (DQ) = 1,0 para estacas pré-moldadas, Franki e metálica

Determinação do comprimento

Métodos semi empíricos

- Método Aoki-Velloso

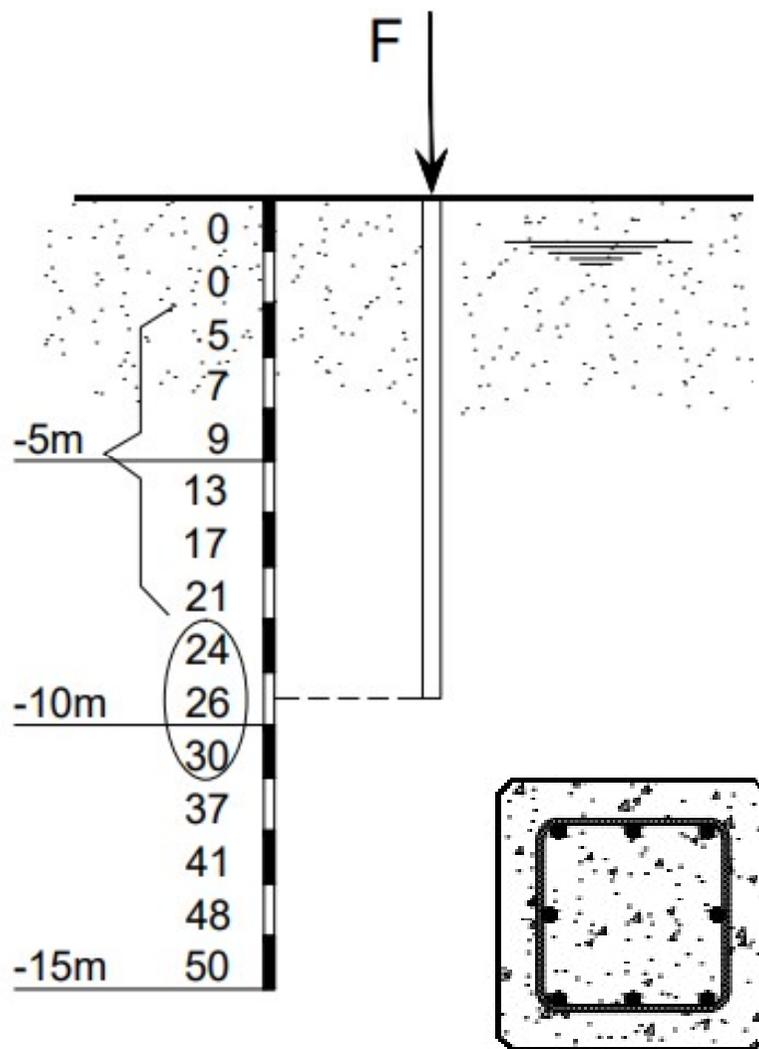
$$R = \frac{k \times N_p}{F_1} \times A_p + \frac{u}{F_2} \sum_1^n (\alpha \times k \times N_L \times \Delta_L)$$

$$FS = 2,0$$

SOLO		K (kPa)	α (%)
AREIA	Areia	1000	1,4
	Areia siltosa	800	2,0
	Areia siltoargilosa	700	2,4
	Areia argilosa	600	3,0
	Areia argilosiltosa	500	2,8
SILTE	Silte	400	3,0
	Silte arenoso	550	2,2
	Silte arenoargiloso	450	2,8
	Silte argiloso	230	3,4
	Silte argiloarenoso	250	3,0
ARGILA	Argila	200	6,0
	Argila arenosa	350	2,4
	Argila arenosiltosa	300	2,8
	Argila siltosa	220	4,0
	Argila siltoarenosa	330	3,0

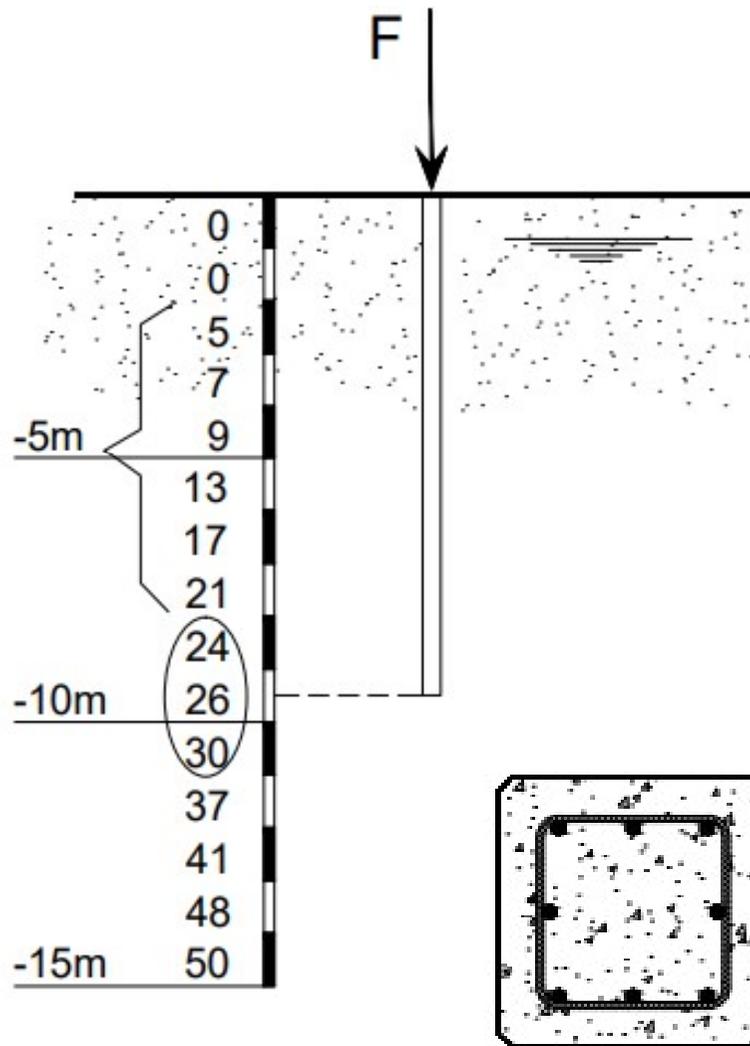
TIPO DE ESTACA	F1	F2 = 2.F1
Franki	2,5	5,0
Metálica	1,75	3,5
Pré-moldada	1 + D (m)/0,8	2.F1
Escavada	3,0	6,0
Raiz, hélice contínua, ômega	2,0	4,0

Exemplos – Décourt Quaresma

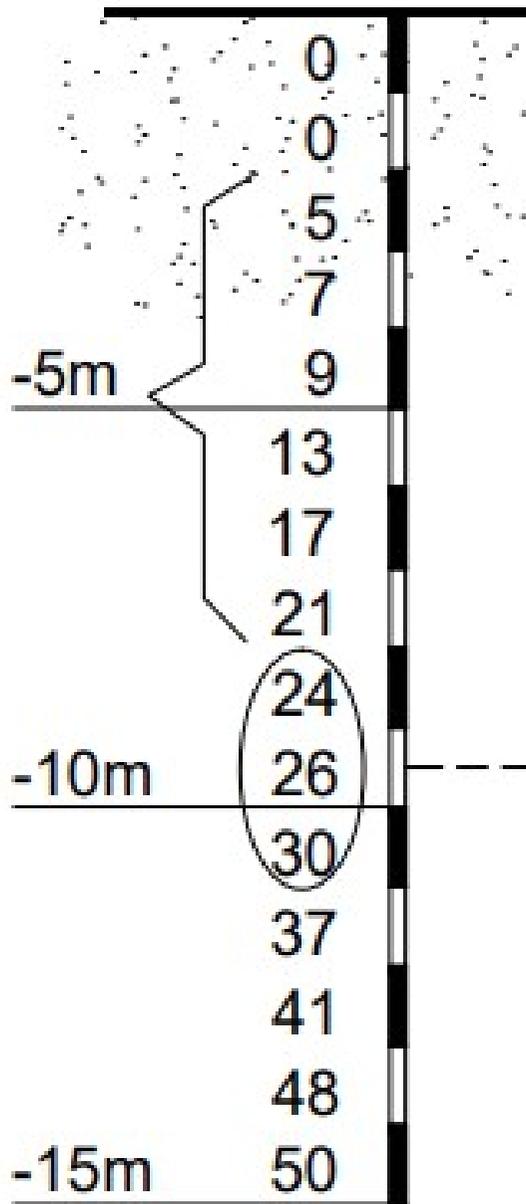


- Estaca pré-moldada de concreto:
 - Seção 35 x 35;
 - $P_{adm,est} = 800 \text{ kN}$;
 - $L_{est} = 9 \text{ m}$;
- Areia argilosa; $NA \sim NT(v.SPT)$;
- $A_p = 0,1225 \text{ m}^2$
- $A_L = 1,4 \text{ m}$
- D.Q.:
 - $P_{adm,geot} = (R_p/4 + R_L/1,3)$
 $= (400 \times 26 \times 0,1225)/4 +$
 $(10 \times [(12/3) + 1] \times 6 \times 1,4)/1,3$
 $= (1274/4 + 420/1,3) = 642 \text{ kN}$
 - $P_{adm} = P_{adm,geot} = \sim 650 \text{ kN}$

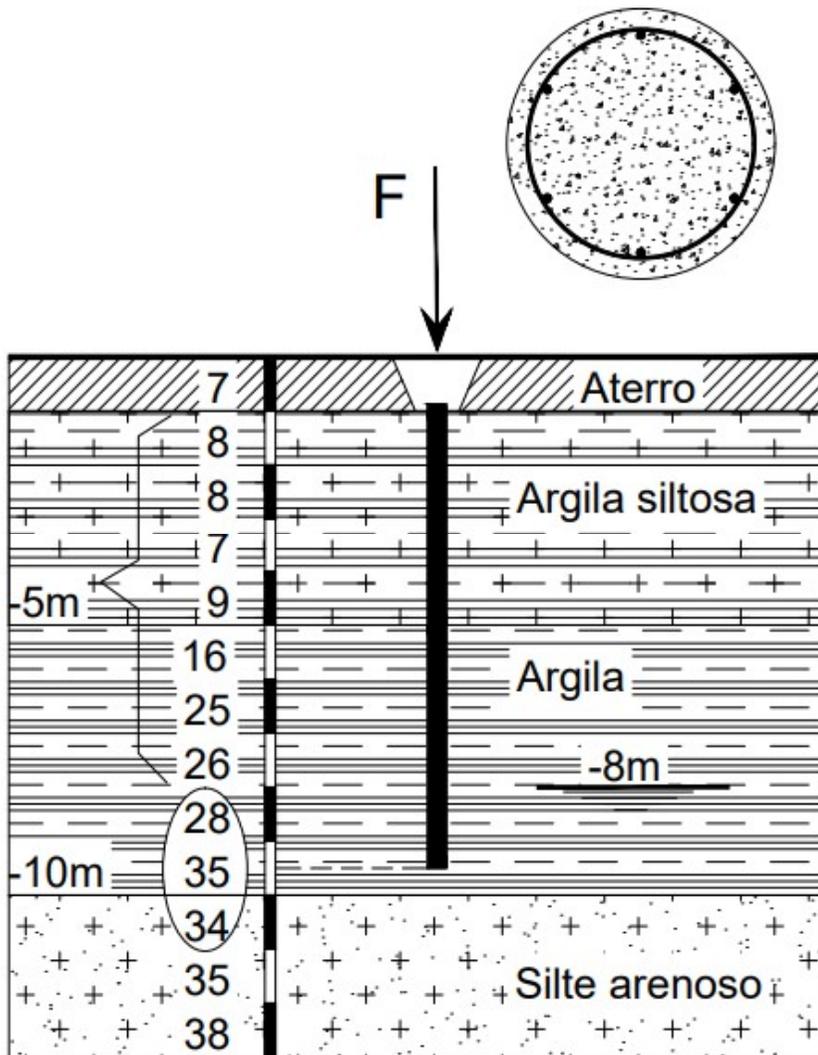
Exemplos – Aoki-Velloso



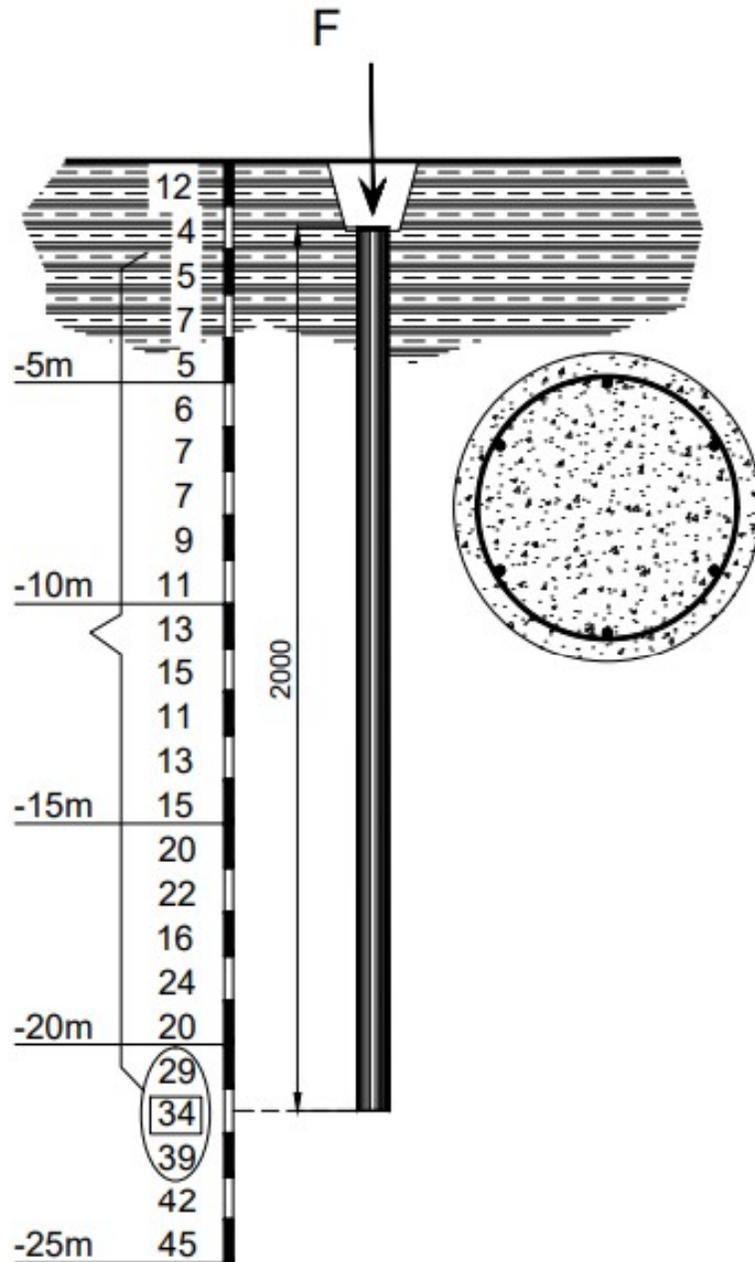
- Estaca pré-moldada de concreto:
 - Seção 35 x 35;
 - $P_{adm,est} = 800 \text{ kN}$;
 - $L_{est} = 9 \text{ m}$;
- Areia argilosa; $NA \sim NT(v.SPT)$;
- $A_p = 0,1225 \text{ m}^2$
- $A_L = 1,4 \text{ m}$
- A.V.:
 - $P_{adm,geot} = (R_p + R_L)/2$
 $= [(600 \times 26 \times 0,1225)/1,44 + (1,4/2,88) \times 0,03 \times 600 \times 13,7 \times 7]/2$
 $= (1327 + 839)/2 = 1083 \text{ kN}$
 - $P_{adm} = P_{adm,est} = 800 \text{ kN}$



0	0	0	0
0	0	0	0
5	255	44	128
7	357	105	201
9	459	184	282
13	664	298	424
17	868	446	583
21	1072	630	759
24	1225	840	928
26	1327	1068	1084
30	1531	1330	1299



- Estaca pré-moldada:
 - Seção D50 cm;
 - $P_{adm,est} = 1300 \text{ kN}$;
 - $L_{est} = \text{até } \sim \text{ cota } -9,0 \text{ m}$;
- Terreno ao lado;
- $A_p = 0,196 \text{ m}^2$
- $A_L = 1,571 \text{ m}$
- D.Q.:
 - $P_{adm,geot} \sim 1000 \text{ kN}$
 - $P_{adm} = P_{adm,geot} = 1000 \text{ kN}$
- A.V.:
 - $P_{adm,geot} = \sim 900 \text{ kN}$
 - $P_{adm} = P_{adm,geot} = 900 \text{ kN}$



- Estaca hélice contínua:
 - Seção D70 cm;
 - $P_{adm,est} = 2000$ kN;
 - $L_{est} = 20$ m;
- Silte arenogiloso;(v.SPT);
- $A_p = 0,385$ m²
- $A_L = 2,199$ m
- D.Q.:
 - $P_{adm,geot} = 1600$ kN
 - $P_{adm} = P_{adm,geot} = 1600$ kN
- A.V.:
 - $P_{adm,geot} = 981$ kN ~ 1000 kN
 - $P_{adm} = P_{adm,geot} = 1000$ kN

Prova de carga estática

