



Departamento de Construção Civil  
Curso de Engenharia Civil



# Geotecnia de Fundações TC 041

8º Semestre

Organizado por:

Profa. Caroline Tomazoni Santos

Prof. Eduardo Dell'Avanzi

Profa. Liamara Paglia Sestrem

Prof. Vítor Pereira Faro

Eng. Civil Isabel Cristina Salah, Mestranda PPGCECC

Eng. Civil Isabela Grossi da Silva, Mestranda PPGCECC

1



# EXERCÍCIOS DE CAPACIDADE DE CARGA



2

UFPR  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

## RELEMBRANDO

$$R = R_P + R_L$$

- R - Capacidade de Carga
- RL - Resistência Lateral
- RP - Resistência de Ponta

GEGEO UFPR

3

UFPR  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

## Método Aoki- Velloso (1975)

$$R_L = U \cdot \sum r_L \cdot \Delta L \quad R_P = r_P \cdot A_P$$

- U - Perímetro do fuste;
- $r_L$  - Tensão cisalhante por atrito lateral;  $\longrightarrow r_L = \frac{f_s}{F_2}$
- $\Delta L$  - Segmento da estaca;
- $r_P$  - Tensão normal na ponta da estaca;  $\longrightarrow r_P = \frac{q_c}{F_1}$
- $A_P$  - Área da ponta.
- F1 e F2 são fatores que levam em conta a diferença de comportamento entre a estaca e o cone do CPT e a influência do método executivo de cada tipo de estaca.

GEGEO UFPR

4

**Método Aoki- Velloso (1975)**

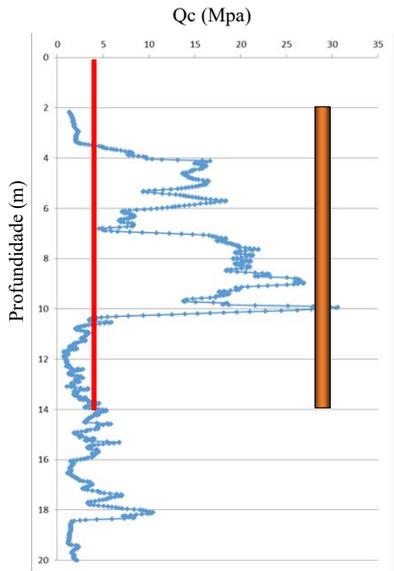
Tipo de Estaca	Aoki & Velloso	
	F1	F2
Franki de fuste apilado	2,5	5,0
Franki de fuste fibrado		
Metálica	1,75	3,5
Pré-moldada de concreto cravada a percussão	1,75	3,5
Pré-moldada de concreto cravada por prensagem		
Escavada com lama bentonítica	3,5	7,0
Strauss		
Raiz	-	-
Hélice contínua	-	-

Velloso, Aoki e Salamoni (1978) *apud* Schnaid e Odebrecht, 2012.



5

**Exercício: Método Aoki- Velloso (1975)**



- Calcular a capacidade de carga de uma estaca escava com lama bentonítica, com 12 m de comprimento e Ø 60 cm.

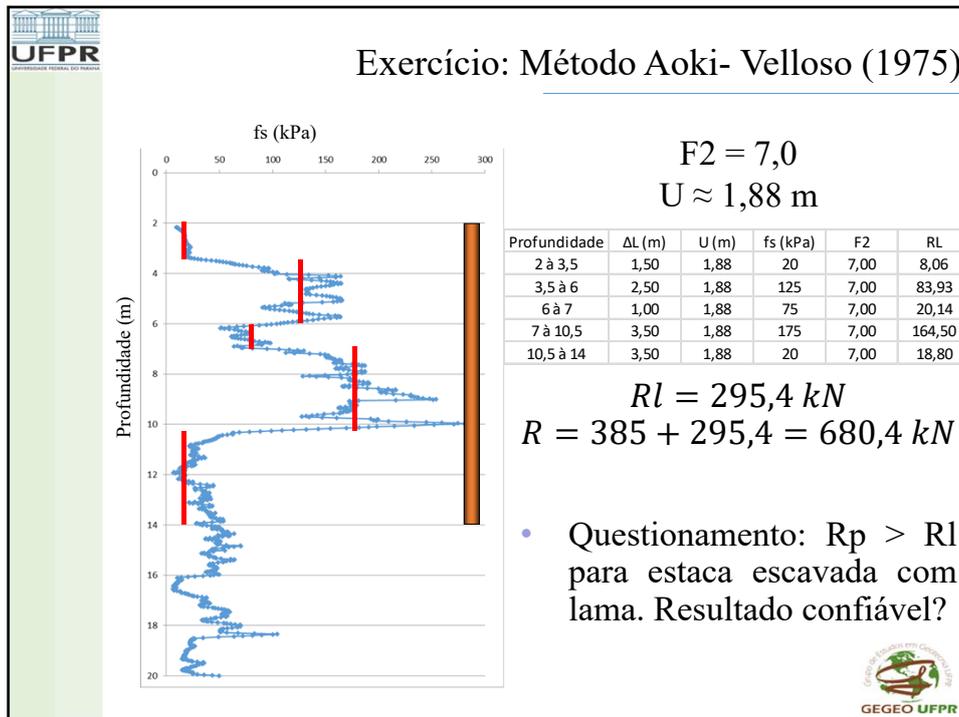
$$Q_c \approx 4,8 \text{ MPa} = 4800 \text{ kPa}$$

$$F1 = 3,5$$

$$A_p \approx 0,28 \text{ m}^2$$

$$R_p = \frac{4800 \times 0,28}{3,5} = 384 \text{ kN}$$


6



7

UFPR  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

### Método Décourt & Quaresma (1978)

- Baseado exclusivamente em resultados de ensaio SPT, a partir de estacas cravadas;
- Para permitir a aplicação do método a outros tipos de estaca, são introduzidos fatores de ponderação:
  - resistência de ponta  $\alpha$
  - atrito lateral  $\beta$

$$R_L = U \cdot L \cdot \beta \cdot 10 \cdot \left( \frac{N_L}{3} + 1 \right)$$

$$R_P = \alpha \cdot K \cdot N_p \cdot A_p$$

GEGEO UFPR

8

**Método Décourt & Quaresma (1978)**

- $\beta$  - Fator de correção da resistência de atrito lateral em função do tipo de estaca e solo;

Solo/ Estaca	Cravada	Esc. (em geral)	Esc. (com bentonita)	Hélice Contínua	Raiz	Injetadas (alta pressão)
Argilas	1,00	0,85	0,90	1,00	1,50	3,00
Solos Residuais	1,00	0,65	0,75	1,00	1,50	3,00
Areias	1,00	0,50	0,60	1,00	1,50	3,00

Fonte: Decourt, Albiero e Cintra, 1998.

- $\alpha$  - Fator de correção da resistência de ponta em função do tipo de estaca e solo;

Solo/ Estaca	Cravada	Esc. (em geral)	Esc. (com bentonita)	Hélice Contínua	Raiz	Injetadas (alta pressão)
Argilas	1,00	0,85	0,85	0,30	0,85	1,00
Solos Residuais	1,00	0,60	0,60	0,30	0,60	1,00
Areias	1,00	0,50	0,50	0,30	0,50	1,00

Fonte: Decourt, Albiero e Cintra, 1998.



9

**Método Décourt & Quaresma (1978)**

- $K$  - Coeficiente característico do solo que relaciona a resistência de ponta com o valor de  $N_P$ ;

Tipo de solo	$K$ (KN/m <sup>2</sup> )
Argilas	120
Siltos argilosos (solos residuais)	200
Siltos arenosos (solos residuais)	250
Areias	400

Décourt e Quaresma, 1978.

- $N_L$  - Valor médio do  $N_{SPT}$  ao longo do fuste;
- $N_P$  - Valor médio do índice de resistência à penetração na ponta, obtido a partir da média do  $N_{SPT}$  ao nível da ponta e dos níveis (metros) imediatamente superior e inferior.



10

UFPR  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

### Exercício: Método Décourt & Quaresma (1978)

Profundidade	NSPT	Descrição do material
1	6	Argila siltosa
2	4	
3	2	
4	4	Areia siltosa
5	2	
6	3	
7	4	
8	5	Silte arenoso medianamente compacto à compacto
9	10	
10	15	
11	25	
12	20	
13	22	Silte arenoso muito compacto
14	25	
15	23	
16	29	
17	30	
18	30/11	

- Calcular a capacidade de carga de uma estaca cravada no perfil descrito pelo ensaio SPT, com 15 m de comprimento e  $\varnothing$  30 cm.

GEGEO UFPR

11

UFPR  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

### Exercício: Método Décourt & Quaresma (1978)

Profundidade	NSPT	Descrição do material
1	6	Argila siltosa
2	4	
3	2	
4	4	Areia siltosa
5	2	
6	3	
7	4	
8	5	Silte arenoso medianamente compacto à compacto
9	10	
10	15	
11	25	
12	20	
13	22	Silte arenoso muito compacto
14	25	
15	23	
16	29	
17	30	
18	30/11	

$$U \approx 0,94 \text{ m}$$

$$A_p \approx 0,071 \text{ m}^2$$

$$K = 250 \text{ kN/m}^2 \text{ (silte arenoso)}$$

$$\alpha = 1,0 \text{ e } \beta = 1,0$$

$$N_p = \frac{23+25+29}{3} = 25,64$$

$$N_L = 11,33$$

$$R_l = 0,94 \times 15 \times 1 \times 10 \times \left( \frac{11,33}{3} + 1 \right)$$

$$= 673,5 \text{ kN}$$

$$R_p = 1 \times 250 \times 25,67 \times 0,071 = 455,6 \text{ kN}$$

$$R = 1129,1 \text{ kN}$$

GEGEO UFPR

12

**Exercício: Método Décourt & Quaresma (1978)**

Profundidade	NSPT	Descrição do material
1	6	Argila siltosa
2	4	
3	2	
4	4	Areia siltosa
5	2	
6	3	
7	4	
8	5	Silte arenoso medianamente compacto à compacto
9	10	
10	15	
11	25	
12	20	
13	22	Silte arenoso muito compacto
14	25	
15	23	
16	29	
17	30	
18	30/11	

- Para o mesmo perfil, calcular a capacidade de carga de uma estaca hélice contínua, com as mesmas dimensões (15 m de comprimento e  $\varnothing$  30 cm).



13

**Exercício: Método Décourt & Quaresma (1978)**

Profundidade	NSPT	Descrição do material
1	6	Argila siltosa
2	4	
3	2	
4	4	Areia siltosa
5	2	
6	3	
7	4	
8	5	Silte arenoso medianamente compacto à compacto
9	10	
10	15	
11	25	
12	20	
13	22	Silte arenoso muito compacto
14	25	
15	23	
16	29	
17	30	
18	30/11	

$$U \approx 0,94 \text{ m}$$

$$A_p \approx 0,071 \text{ m}^2$$

$$K = 250 \text{ kN/m}^2 \text{ (silte arenoso)}$$

$$\alpha = 0,3 \text{ e } \beta = 1,0$$

$$N_p = \frac{23+25+29}{3} = 25,64$$

$$N_L = 11,33$$

$$R_l = 0,94 \times 15 \times 1 \times 10 \times \left( \frac{11,33}{3} + 1 \right)$$

$$= 673,5 \text{ kN}$$

$$R_p = 0,3 \times 250 \times 25,67 \times 0,071 = 136,7 \text{ kN}$$

$$R = 810,2 \text{ kN}$$


14

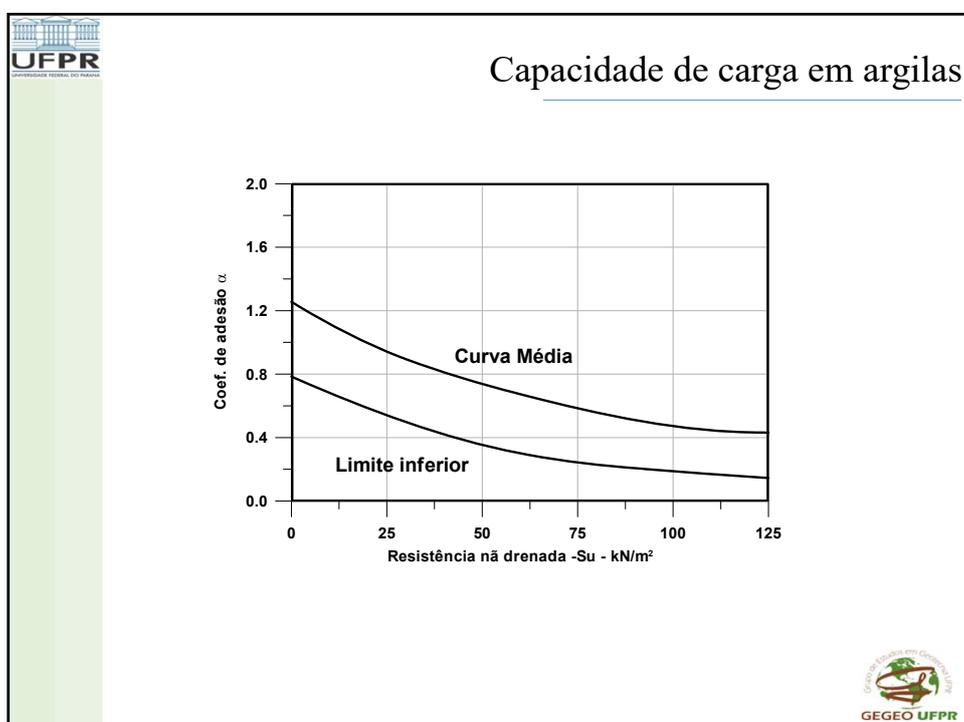
UFPR  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

## Capacidade de carga em argilas

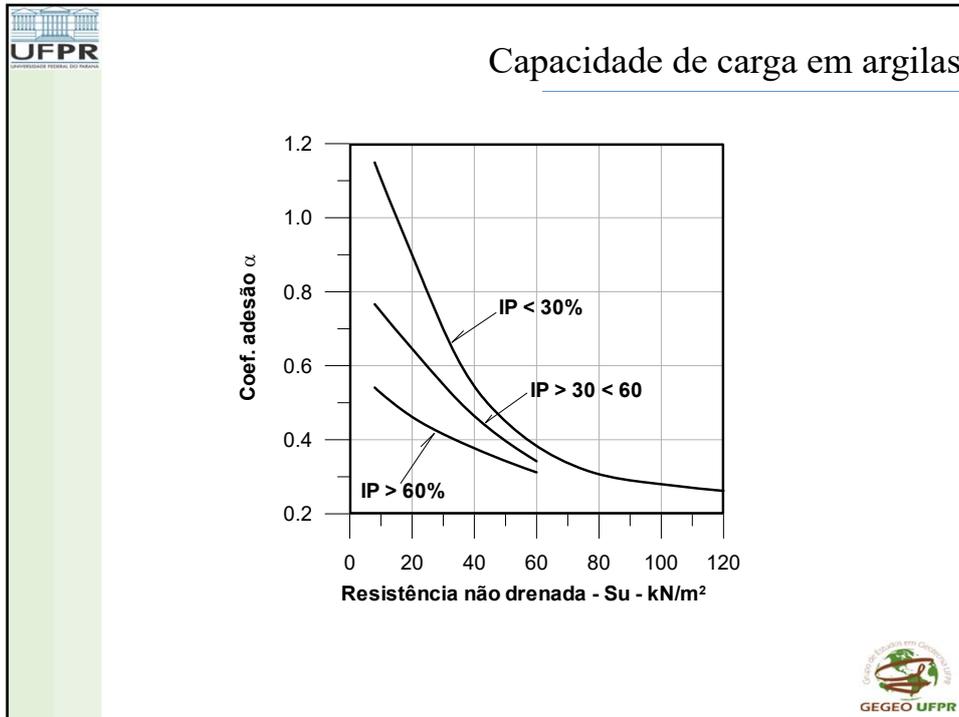
- Método teórico:
 
$$R_{rup} = A_b(N_c S_u + \gamma D) + A_l(S_u \alpha)$$
- R<sub>rup</sub> - Capacidade de carga última;
- A<sub>b</sub> - Área da ponta da estaca;
- A<sub>l</sub> - Área lateral;
- S<sub>u</sub> - Resistência não drenada das argilas;
- N<sub>c</sub> - Coeficiente de capacidade de carga = 9,5;
- D - Profundidade da ponta;
- α - Coeficiente de adesão;
- γ - Peso específico do solo.

GEGEO UFPR

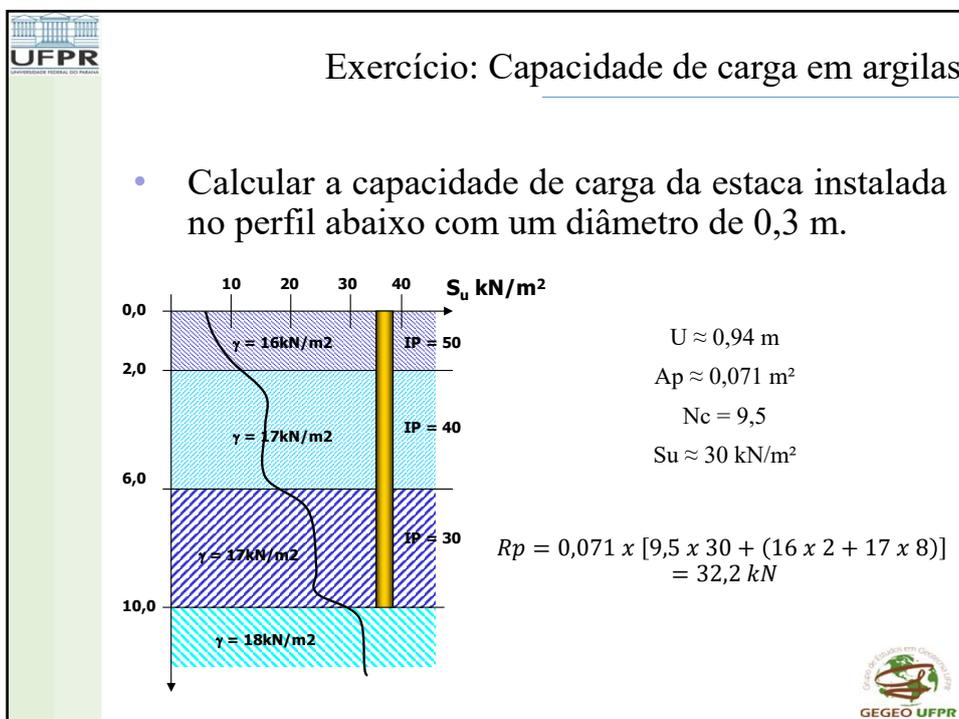
15



16



17



18

**Exercício: Capacidade de carga em argilas**

Prof. (m)	L (m)	Su (kN/m <sup>2</sup> )	$\alpha$	$Al \times Su \times \alpha$
0,00 à 2,00	2,00	8,00	0,80	12,06
2,00 à 6,00	4,00	15,00	0,70	39,58
6,00 à 10,00	4,00	24,00	0,60	54,29
			$\Sigma$	<b>105,9</b>

$R = 32,2 + 105,9 = 138,1 \text{ kN}$




19

**Capacidade de carga em areias**

- Método teórico:

$$Q_{ult} + W = Q_{p,ult} + Q_{l,ult}$$

$$Q_{ult} = A_b \cdot q_{p,ult} + U \cdot \sum \tau_{l,ult} \cdot \Delta l$$

- $q_{p,ult}$  - resistência de ponta;
- $A_b$  - Área da ponta da estaca;
- $U$  - perímetro;
- $\tau_{l,ult}$  - resistência lateral;
- $\Delta l$  - segmento da estaca;




20

Capacidade de carga em areias

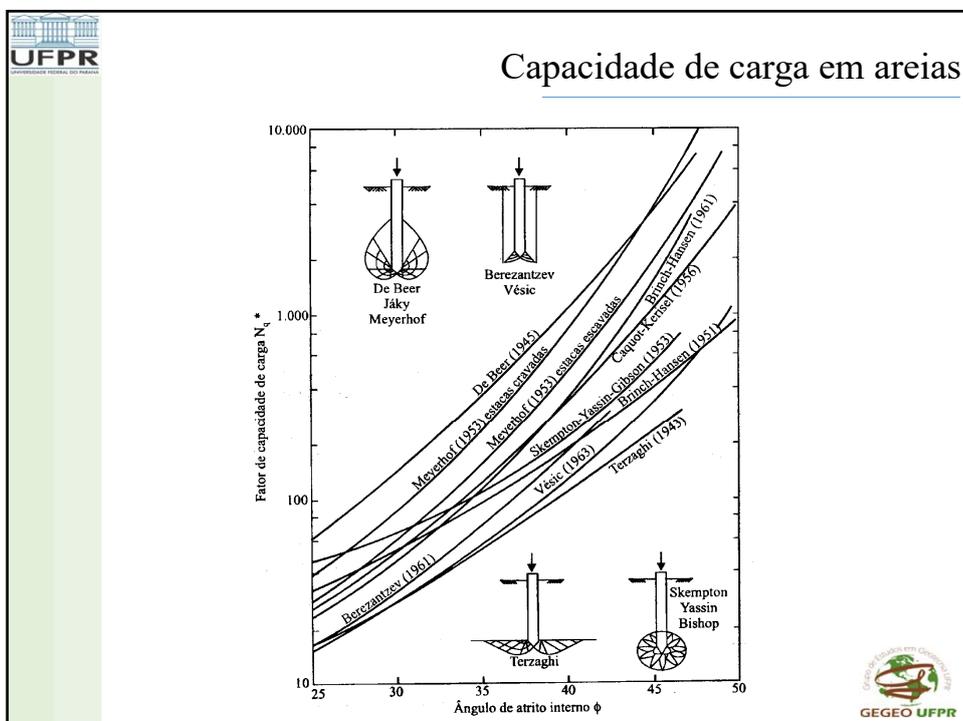
- Resistência de ponta:

$$q_{p,ult} = c \cdot Nc^* + \sigma'_{vo} \cdot Nq^*$$

- $c$  - coesão (normalmente desconsiderada);
- $Nc^* = (Nq^* - 1) \cot \phi$
- $\sigma'_{vo}$  - tensão efetiva na ponta da estaca;
- $Nq^*$  - fator de capacidade de carga (gráfico);




21



22



## Capacidade de carga em areias

- Resistência de atrito lateral:

$$\tau_{l,ult} = k_s \cdot \sigma'_v \cdot \text{tg} \delta$$

- $\sigma'_v$  - tensão vertical efetiva no meio da camada;
- $K_s$  - coeficiente de empuxo de serviço;
- $\delta$  - ângulo de atrito solo-estaca: valores segundo Aas (1966)
  - Estaca de aço  $\delta = 20^\circ$
  - Estaca de concreto  $\delta = 3/4 \emptyset$
  - Estaca de madeira  $\delta = 2/4 \emptyset$



23



## Capacidade de carga em areias

- $K_s$  é depende:
  - Do estado de tensões iniciais no solo;
  - Do método de execução da estaca;
  - Do seu comprimento e forma.
- Atrito solo-estaca varia de acordo com:
  - Ângulo de atrito do solo e do seu diâmetro equivalente;
  - Da rugosidade da estaca, seu material e tipo de estaca.



24

**Exercício: Capacidade de carga em areias**

- Determinar capacidade de carga de uma estaca de concreto cravada com diâmetro de 0,3m, instalada no perfil:

The diagram shows a vertical pile of diameter 0.3m extending from 0.00m to 10.00m depth. The soil is divided into four layers:

- 0.00m to 2.00m:  $\phi = 25^\circ$ ,  $c = 0,0$ ,  $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$
- 2.00m to 6.00m:  $\phi = 30^\circ$ ,  $c = 0,0$ ,  $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$
- 6.00m to 10.00m:  $\phi = 35^\circ$ ,  $c = 0,0$ ,  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
- Below 10.00m:  $\phi = 40^\circ$ ,  $c = 0,0$ ,  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

25

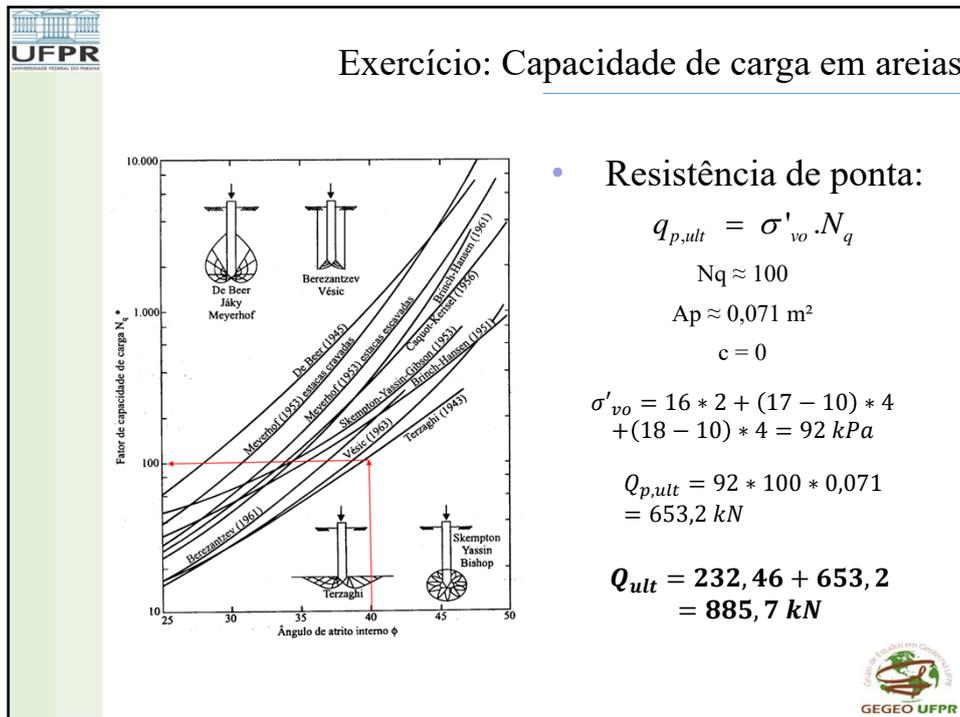
**Exercício: Capacidade de carga em areias**

- Resistência de atrito lateral:

$$\tau_{l,ult} = k_s \cdot \sigma'_v \cdot \text{tg} \delta$$

Prof. (m)	L (m)	$\sigma'_v$ (kPa) (meio na camada)	$K_o = 1 - \text{sen}(\phi)$	$K_s/K_o$ (estaca cravada)	$K_s$ cravada	$\delta$	$\tau_{l,ult}$ (kPa)	Al (m <sup>2</sup> )	Ql,ult (kN)
0,00 à 2,00	2,00	16,00	0,58	3,75	2,17	18,75	11,76	1,88	22,17
2,00 à 6,00	4,00	46,00	0,50	2,50	1,25	22,50	23,82	3,77	89,79
6,00 à 10,00	4,00	76,00	0,43	2,00	0,85	26,25	31,96	3,77	120,50
<b><math>\Sigma</math></b>								<b>232,46</b>	

26



27

**Discussão**

- As correlações utilizadas por Aoki-Velloso são boas ou não? Deve-se tomar cuidado com o que? VER TABELA.
- No método de Décourt-Quaresma por que há variação no coeficiente em função da ponta e atrito lateral?
- Se eu projeto uma estaca de hélice contínua, posso trocar essa estaca por uma escavada de mesmo diâmetro? (As demais considerações de projeto se mantêm)

28