



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 André Luis Meier, Mestrando PPGECC

Eng. Civil Isabel Cristina Salah, Mestranda PPGECC

Eng. Civil Isabela Grossi da Silva, Mestranda PPGECC

1



## Sumário

- Esta aula aborda o tema:
  - Cálculo de estaqueamento.



2



# CÁLCULO DE ESTAQUEAMENTO



3



## Cálculo de estaqueamento

Centro de carga coincidir com o centro do estaqueamento

→

$$N = \frac{P_{PILAR}}{\bar{P}}$$

→

Espaçamento mínimo entre estacas

Númer  
o de  
estacas

Dimensões

Carga  
admissível

**Alonso (1983)**

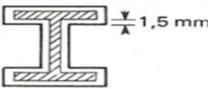
Tipo de estaca		Seção transversal (cm ou pol)	Carga (kN)	d (m)	a (m)	Comprimento normal (m)
Estacas pré-moldadas	Seção de fuste quadrada	15 × 15	150	0,60	0,30	3 a 8
		20 × 20	200	0,60	0,30	3 a 12
		25 × 25	300	0,65	0,35	3 a 12
		30 × 30	400	0,75	0,40	3 a 12
		35 × 35	500	0,90	0,40	3 a 12
	40 × 40	700	1,00	0,50	3 a 12	
	Seção de fuste circular	∅ 20	200	0,60	0,30	4 a 10
		∅ 25	300	0,65	0,30	4 a 14
		∅ 30	400	0,75	0,35	4 a 16
		∅ 35	550	0,90	0,40	4 a 16
∅ 40		700	1,00	0,50	4 a 16	
∅ 50	1 000	1,30	0,50	4 a 16		
∅ 60	1 500	1,50	0,50	4 a 16		



4

**Cálculo de estaqueamento**

**Alonso (1983)**

Tipo de estaca		Seção transversal (cm ou pol)	Carga (kN)	d (m)	a (m)	Comprimento normal (m)
Estaca Strauss		∅ 25	200	0,75	0,20	3 a 12
		∅ 32	300	1,00	0,20	3 a 15
		∅ 38	450	1,20	0,25	3 a 20
		∅ 45	600	1,35	0,30	3 a 20
		∅ 55	800	1,65	0,35	3 a 20
Estacas Franki		∅ 35	550	1,20	0,70	3 a 16
		∅ 40	750	1,30	0,70	3 a 22
		∅ 52	1 300	1,50	0,80	—
		∅ 60	1 700	1,70	0,80	—
Estacas metálicas	Laminado CSN	I 10 pol × 4 5/8 pol	400	0,75	—	—
		I 12 pol × 5 1/4 pol	600	0,75	—	—
		II 10 pol × 4 5/8 pol	800	1,00	—	—
		II 12 pol × 5 1/4 pol	1 200	1,00	—	—
	Perfil composto		Área útil × 120 MN/m <sup>2</sup>	1,00 a 1,50	—	—

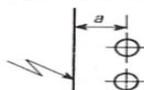


5

**Cálculo de estaqueamento**

**Alonso (1983)**

	∅ (cm)	d (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (cm)	N máx. (kN)		
					σ <sub>c</sub> = 3 MPa	σ <sub>c</sub> = 4 MPa	σ <sub>c</sub> = 5 MPa
Estaca escavadas	80	1,60	0,50	2,51	1 500	2 000	2 500
	100	1,80	0,79	3,14	2 400	3 000	4 000
	120	2,00	1,13	3,77	3 400	4 500	5 600
	150	2,30	1,77	4,71	5 300	7 000	8 800
	180	2,60	2,55	5,65	7 600	10 100	12 700

Divisa 

$$d = \begin{cases} 2,5 \varnothing \geq 60 \text{ cm} & \text{para estacas pré-moldadas} \\ 3,0 \varnothing \geq 60 \text{ cm} & \text{para estacas moldadas in loco} \end{cases}$$

**Montoya et al (2000) define o espaçamento entre os eixos das estacas:**

$$d \geq \begin{cases} 2\phi \\ 1,5D(\text{Seção quadrada}) \\ 75\text{cm} \end{cases}$$



6

UFPR  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

## Cálculo de estaqueamento

Moraes (1976) sugere que a distância do centro da estaca a face do bloco seja:

$$a \geq \left\{ \frac{D}{2} + 15\text{cm} \right\}$$

Alonso (1983) sugere que a dimensão mínima, contada do centro da estaca a face externa do bloco, seja:

$$a \geq \left\{ \begin{array}{l} R + c + \phi \\ \frac{D}{2} + 15\text{cm} \end{array} \right\}$$

Onde  $\phi$  é o diâmetro da armadura; R o raio de dobramento da armadura; c o cobrimento da armadura de 3 cm e D o diâmetro da estaca

GEGEO UFPR

7

UFPR  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

## Cálculo de estaqueamento

### LIGAÇÃO ENTRE AS ESTACAS E O BLOCO

Alonso (1983) propõem que a altura do concreto das estacas que deveria entrar nos blocos, para facilitar a execução e posicionamento da armadura nos blocos fosse de 10 cm. Montoya (2000) sugere que a altura de concreto não seja inferior a 10 cm, e não superior a 15 cm

GEGEO UFPR

8

**Cálculo de estaqueamento**

Disposição das estacas

➔

Conduzir a blocos com o menor volume possível

1) A distribuição das estacas deve ser feita, sempre que possível, em torno do centro de carga do pilar

**Estaqueamentos padronizados compostos por até 6 estacas (Alonso, 1983)**

The diagrams illustrate the following configurations:

- 2 piles:** Two piles spaced  $d$  apart.
- 3 piles:** Two piles in a top row spaced  $d$  apart, and one pile centered below them. Height  $h = \frac{d\sqrt{3}}{2}$ .
- 4 piles:** Two piles in a top row spaced  $d$  apart, and two piles in a bottom row spaced  $d$  apart, with a vertical spacing of  $\frac{d\sqrt{2}}{2}$ .

9

**Cálculo de estaqueamento**

**Estaqueamentos padronizados compostos por até 6 estacas (Alonso, 1983)**

The diagrams illustrate the following configurations:

- 5 piles:** Two piles in a top row spaced  $d$  apart, and three piles in a bottom row. The bottom row has a central pile and two side piles spaced  $d$  apart from each other and  $d/2$  from the center. Height  $h = \frac{d\sqrt{3}}{2}$ .
- 6 piles:** Two rows of three piles each, spaced  $d$  apart horizontally and  $d/2$  apart vertically.

10

Cálculo de estaqueamento

**Estaqueamentos padronizados compostos por até 7 estacas (Alonso, 1983)**

GEGEO UFPR

11

Cálculo de estaqueamento

**Estaqueamentos padronizados compostos por 8 estacas (Alonso, 1983)**

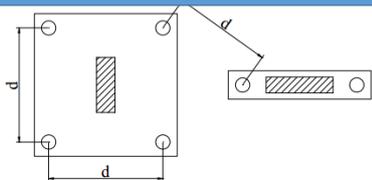
GEGEO UFPR

12

**UFPR**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

## Cálculo de estaqueamento

2) O espaçamento mínimo entre estacas deve ser obedecido entre estacas do mesmo estaqueamento e entre vizinhos



3) A distribuição do pilar deve ser feita, sempre que possível, no sentido da maior dimensão



**Menos recomendável**

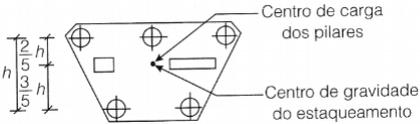
**GEGEO UFPR**

13

**UFPR**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

## Cálculo de estaqueamento

4) No caso de um bloco com mais de um pilar, o estaqueamento adotado deverá ter o seu centro coincidente com o centro de carga dos pilares



5) No caso de blocos com duas estacas para dois pilares, deve-se evitar a posição da estaca embaixo dos pilares



**Menos recomendável**



**Recomendável**

**GEGEO UFPR**

14

**Cálculo de estaqueamento**

6) Nos projetos comuns não se deve misturar diferentes diâmetros num mesmo bloco

7) É recomendável indicar no projeto que os blocos de uma estaca sejam ligados por vigas a blocos vizinhos, pelo menos em duas direções ortogonais (a) e os blocos de duas estacas pelo menos com uma viga num mesmo bloco (b)

15

**Cálculo de estaqueamento**

8) Blocos submetidos a carga vertical e momento

$$P_i = \frac{P_{PILAR}}{N} \pm \frac{M_y x_i}{\sum x_i^2} \pm \frac{M_x y_i}{\sum y_i^2}$$

Pi: Carga atuante na estaca i  
 P<sub>PILAR</sub>: Carga vertical do pilar  
 N: Número de estacas do estaqueamento  
 M<sub>x</sub>: Momento transmitido pelo pilar na direção x  
 M<sub>y</sub>: Momento transmitido pelo pilar na direção y  
 xi e yi: Coordenadas da estaca i, segundo as direções x e y, respectivamente

Eixos x e y principais   Estacas verticais   Mesmo tipo   Mesmo diâmetro   Mesmo comprimento

16

**Exemplo 1**

Para os pilares indicados abaixo, projetar a fundação em estacas pré-moldadas com as seguintes características:

- Diâmetro: 40 cm
- Distância entre estacas: 100 cm
- Distância à divisa: 50 cm
- Carga máxima: 700 kN

**GEGEO UFPR**

17

**Exemplo 1**

Não há possibilidade de projetar o estaqueamento para cada pilar independentemente. Assim sendo, deve-se associar os dois pilares num só bloco e projetar estacas para as cargas  $P_1 + P_2$ .

Cálculo do centro de cargas dos pilares (C.C.):

$$2700 * x - 2400 * (1,70 - x) = 0$$

$$x = \frac{2400 * 1,70}{5100} = 0,80 \text{ m}$$

**GEGEO UFPR**

18

**Exemplo 1**

Cálculo do número de estacas (n):

$$n = \frac{5100}{700} = 7,3 = 8 \text{ estacas}$$

- ✓ Diâmetro: 40 cm
- ✓ Distância entre estacas: 100 cm
- ✓ Distância à divisa: 50 cm

19

**Exemplo 2**

Calcular a carga atuante nas estacas do bloco abaixo, sabendo-se que no mesmo atuam as seguintes cargas (consideradas na cota de arrasamento):

$N = 2000 \text{ kN}$   
 $M_x = - 500 \text{ kNm}$   
 $M_y = + 400 \text{ kNm}$

Desprezar o peso próprio do bloco.

20

Exemplo 2

Solução:

$$\sum x_i^2 = 4 * 1,5^2 + 2 * 0,5^2 = 9,5 \text{ m}^2$$

$$\sum y_i^2 = 4 * 1^2 = 4 \text{ m}^2$$

$$P_i = \frac{P_{PILAR}}{N} \pm \frac{M_y x_i}{\sum x_i^2} \pm \frac{M_x y_i}{\sum y_i^2}$$

GEGEO UFPR

21

Exemplo 2

Carga nas estacas:

$$P_1 = \frac{2000}{6} - \frac{400 * 1,5}{9,5} + \frac{500 * 1}{4} = 395 \text{ kN}$$

$$P_2 = \frac{2000}{6} + \frac{400 * 1,5}{9,5} + \frac{500 * 1}{4} = 521 \text{ kN}$$

$$P_3 = \frac{2000}{6} - \frac{400 * 0,5}{9,5} = 312 \text{ kN}$$

$$P_4 = \frac{2000}{6} + \frac{400 * 1,5}{9,5} = 354 \text{ kN}$$

$$P_5 = \frac{2000}{6} - \frac{400 * 1,5}{9,5} - \frac{500 * 1}{4} = 145 \text{ kN}$$

$$P_6 = \frac{2000}{6} + \frac{400 * 1,5}{9,5} - \frac{500 * 1}{4} = 271 \text{ kN}$$

GEGEO UFPR

22