Blocos sobre estacas.

JOSÉ RICARDO BRÍGIDO DE MOURA

Fórmulas para o cálculo de blocos de coroamento de estacas foram selecionadas, bem como os detalhamentos mais usados na prática corrente. São apresentados blocos para 1 até 5 estacas, acompanhados de exemplos numéricos.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho é o resultado de uma pesquisa bibliográfica do autor sobre o estado atual de conhecimento do cálculo e detalhe de blocos de concreto de coroamento de estacas.

Pretendeu-se com isto dar uma contribuição no sentido de facilitar aos interessados no assunto o acesso, num texto único, a um formulário completo e confiável para o cálculo de blocos sobre um número qualquer de estacas.

Dentre as diversas fontes consultadas (v. Bibliografia) usou-se, para a adoção das fórmulas mostradas, os critérios abaixo:

a) respaldo de estudos experimentais

b) frequência com que aparece nos textos

Engº Civil, M.S., Prof. da Unifor

Após cada tipo de bloco, apresenta-se um exemplo numérico.

2. NOTAÇÃO ADOTADA

L; B dimensões do bloco em planta.
h: altura do bloco
d: altura últil para dimensionamento
P: carga do pilar
a, b: dimensões do pilar
e: espaçamento entre os eixos de estacas
Ø: diâmetro ou lado da estaca, caso a estaca seja circular ou quadrada
Z: força de tração
φ : inclinação das bielas

As demais notações (f_{ck}, f_{cd}, f_{yd}, etc.) são as recomendadas pela NB 1/78.

OBS.: Nos exemplo numéricos adotou-se f_{ck} = 150 Kgf/cm^2 e aço CA-50B.

3. BLOCO SOBRE 1 ESTACA

Teoricamente não e necessária armação no bloco (Ref. 1), sendo entretanto recomendadas as dimensões e as armaduras a seguir:

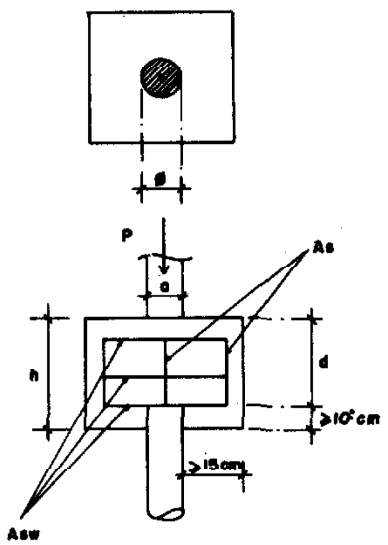

Fig. 1

Valor de l: $l \geq \emptyset + 2 \times 15$cm

alturas recomendadas:

$$h \geq 0{,}75\,(l - \emptyset)$$

$$h \geq 0{,}75\,(l - a)$$

Valor de Z;

$$Z = 0{,}25 . P . \frac{l-a}{h}$$

Secção de estribos horizontais

$$A_{sw} = \frac{Zd}{2f_{yd}}$$

Verificação da tensão de tração:

$$\sigma_t = \frac{Z}{lh} \leq 15 \text{ Kgf/cm}^2$$

Área de concreto necessária

$$A_{c,\,nec} = \frac{1{,}4 \times 1{,}05 \times P}{0{,}85\, f_{cd} + 0{,}008\, f'_{yd}}$$

Secção de ferro vertical

$$A_s = 0{,}8\% \;.\; A_{c,\,nec}$$

Aplicação numérica

Calcular um bloco para um pilar 20x40 com carga de 80tf, tendo a estaca dimensões 30x30 e capacidade de carga 120 tf.

Sol.: adota-se um bloco "quadrado" com

$L = 30 + 30 = 60$ cm

Impondo a altura que já seja verificada a tensão de tração

$$\frac{P(l-a)}{4h} \cdot \frac{1}{lh} \leq 15 \Rightarrow h \geq \sqrt{\frac{P(l-a)}{60.l}}$$

$$h \geq \sqrt{\frac{80000\,(60-20)}{60 \times 60}} = 30. \text{ Adotemos } h = 40 \text{ cm}$$

Esforço de tração.

$$Z = 0{,}25 \times 80000 \times \frac{60-20}{30} = 26.666{,}7 \text{ Kgf}$$

Estribos horizontais:

$$A_{sw} = \frac{26.666{,}7}{2 \times 4348} = 3{,}06 \text{ cm}^2 \text{ ou 7 estribos de 8 mm}$$

Área de concreto necessária:

$$A_{c,\,nec} = \frac{P}{81}(\text{CA-50B e } f_{ck} = 150) = 987{,}6\text{cm}^2$$

(60x60)

Estribos verticais:

$$A_s = 0{,}8\% \times 987{,}6 = 7{,}9 \text{ cm}^2 \text{ (8 estribos de 8 mm)}$$

4. BLOCO SOBRE 2 ESTACAS

Para blocos com 2, 3, 4 ou 5 estacas será utilizada o método das bielas (Ref. 2); após inúmeros ensaios Blevot concluiu que não haverá problemas de puncionamento se as bielas tiveram inclinação φ, tal que

$$45° \leq \varphi \leq 55°$$

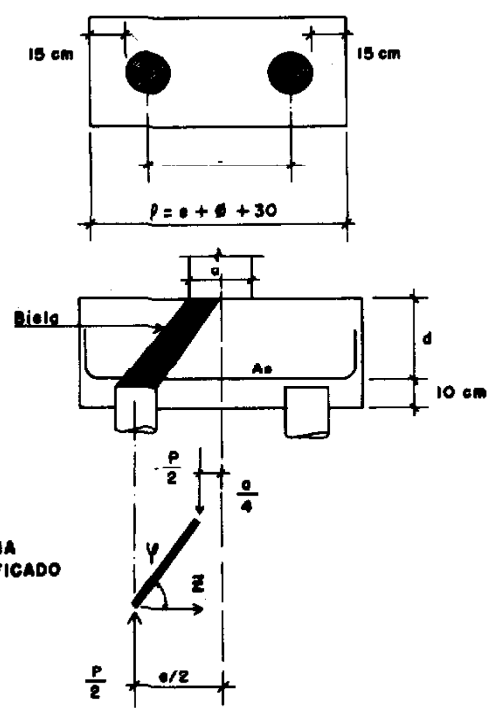

Fig. 2

Armadura necessária

$$Z = \frac{P\,(2e - a)}{8d} \;;\; A_s = \frac{1{,}4Z}{f_{yd}}$$

Recomendações

a) $45° \leqslant \varphi \leqslant 55°$, como
$tg\,\varphi = \dfrac{d}{\dfrac{e}{2} - \dfrac{a}{4}}$ recomenda-se uma altura útil d, tal que $0,25\,(2e - a) \leqslant d \leqslant 0,357\,(2e - a)$

b) Compressão da biela junto ao pilar:

$\dfrac{P}{Ac.\,sen^2\varphi} \leqslant 0,85\,f_{ck}$, onde Ac é a secção do pilar

c) Compressão da biela junto à estaca:

$\dfrac{P}{Ae\,sen^2\varphi} \leqslant 0,85\,f_{ck}$

onde Ae é a secção da estaca.

Aplicação numérica

Calcular um bloco para 2 estacas sendo dados

e = 1,35 m
Øe = 0,50 m
P = 140 tf, pilar retangular 40 x 50

Sol.: dimensões do bloco:

L = 1,35 + 0,50 + 0,30 = 2,15 m

B = 0,50 + 0,30 = 0,80 m

altura necessária:

dmin = 0,25 (2 x 1,35 - 0,40) = 0,575 m

dmax = 0,357 x 2,3 = 0,86 m
Adotaremos d = 80 cm, h = 90 cm

Verificações

a) $tg\,\varphi = \dfrac{80}{\dfrac{135}{2} - \dfrac{40}{4}} = 1,391$ daí $\varphi = 54,3°$ (ok!)

b) $\dfrac{P}{Ac\,sen^2\varphi} = \dfrac{140.000}{40 \times 50 \times 0,66} = 106,1\ Kg/cm^2$
$< 127,5$ (ok!)

c) $Ae = \dfrac{\pi\,Øe^2}{4} = 1.963,5\ cm^2$

$\dfrac{P}{2\,Ae\,sen^2\varphi} = \dfrac{140.000}{2 \times 1963,5 \times 0,66} = 54\ Kg/cm^2$
$< 127,5$ (ok!)

Armadura necessária

$$Z = \frac{140.000\,(2 \times 1,35 - 0,40)}{8 \times 0,80} = 50.313\ Kg$$

$$As = \frac{1,4Z}{f_{yd}} = \frac{1,4 \times 50.313}{4348} = 16,2\ cm^2 \text{ ou } 9\ Ø\ 16\ mm$$

Armadura de pele

Recomenda-se A's = 1/8 As em cada face, na forma de estribos horizontais; no caso A's = 16,2/8 = 2,03 cm^2 ou 5 estribos de 8 mm

5. BLOCO SOBRE 3 ESTACAS

O bloco visto em planta e o esquema de forças que entram no cálculo estão indicados abaixo.

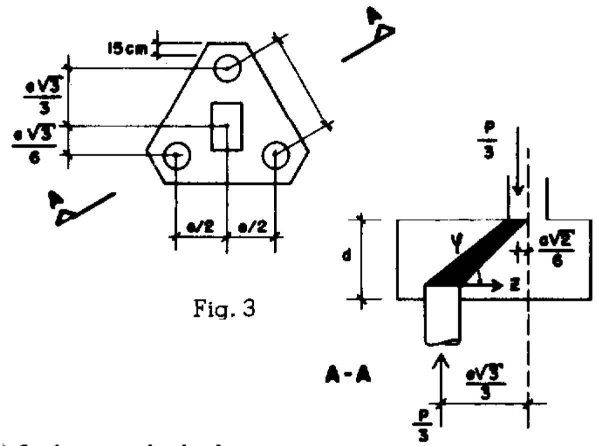

Fig. 3

Inclinação das bielas:

$$tg\,\varphi = \frac{d}{\dfrac{e\sqrt{3}}{3} - \dfrac{a\sqrt{2}}{6}} = \frac{6\,d}{2e\sqrt{3} - a\sqrt{2}}$$

Recomendações

a) $45° \leqslant \varphi \leqslant 55°$, o que acarreta uma altura útil d, tal que $0,577\,e - 0,236\,a \leqslant d \leqslant 0,824\,e - 0,336\,a$

b) Compressão da biela, junto ao pilar:

$$\frac{P}{Ac.\,sen^2\varphi} \leqslant 1,06\,f_{ck}$$

c) Compressão da biela, junto à estaca:

$$\frac{P}{3\,Ae\,sen^2\varphi} \leqslant 1,06\,f_{ck}$$

Armadura necessária:

Será $As = \dfrac{1,4Z}{f_{yd}}$, onde Z depende da disposição de armadura.

1) Armadura segundo as medianas:

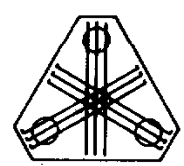
Fig. 4

$$Z.d = \frac{P}{3}\left(\frac{e\sqrt{3}}{3} - \frac{a\sqrt{2}}{6}\right) = \frac{P\,(2e\sqrt{3} - a\sqrt{2})}{18}$$

$$Z = \frac{P\,(2e\sqrt{3} - a\sqrt{2})}{18.d}$$

2) **Armadura segundo os lados do triângulo formado pelas estacas.**

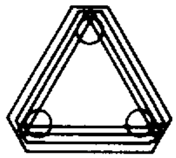

Fig. 5

$$Z' = \frac{Z \sqrt{3}}{3} \qquad Z' = \frac{P\,(e - 0{,}408a)}{9d}$$

3) Armadura segundo malhas quadriculadas

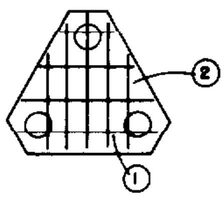

Fig. 6

- na direção paralela ao lado

$$Z_1 = \frac{P\,(2e - a)}{12\,d}$$

- na direção normal ao lado

$$Z_2 = \frac{P\,(2e\sqrt{3} - b\sqrt{2})}{18\,d}$$

Aplicação numérica

01. Calcular um bloco para 3 estacas sendo dados

e = 1,50 m

Øe = 0,50 m
P = 200 t, pilar circular com Ø = 0,50 m

Sol.: As dimensões do bloco ficam determinadas na figura do início do parágrafo, com e = 1,50 m

Altura necessária:

d min = 0,577 x 1,50 - 0,236 x 0,50 = 0,75 m

dmax = 0,824 x 1,50 - 0,336 x 0,50 = 1,068 m

Adotemos d = 100 cm (h = 110 cm)

Verificações

a) $$\operatorname{tg} \varphi = \frac{6 \times 100}{2 \times 150 \times \sqrt{3} - 50\sqrt{2}} = 1{,}336 \qquad \varphi = 53{,}2 \text{ (ok!}$$

(sen^2 = 0,641,

b) $$A_c = \frac{\pi \times (50)^2}{4} = 1963{,}5 \text{ cm}^2$$

$$\frac{P}{A_c \cdot \operatorname{sen}^2 \varphi} = \frac{200.000}{1963{,}5 \times 0{,}641} = 158{,}9 \text{ Kg/cm}^2 < 1{,}06\, f_{ck}$$

(159 Kgf/cm^2)

c) $$\frac{P}{3\,A_e \operatorname{sen}^2 \varphi} = \frac{200.000}{3 \times 1963{,}5 \times 0{,}641} = 53 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ (ok!)}$$

Armadura necessária:

I) Armadura segundo as medianas

$$Z = \frac{200.000\,(2 \times 150 \times \sqrt{3} - 50\sqrt{2})}{18 \times 100} = 49.880 \text{ Kg}$$

$$A_s = \frac{1{,}4\,Z}{4348} = 16{,}1 \text{ cm}^2 \text{ ou } 9\,Ø\,16 \text{ mm}$$

2) Armadura segundo os lados do triângulo

$$A_s = \frac{16{,}1}{\sqrt{3}} = 9{,}3 \text{ cm}^2 \text{ ou } 5\,Ø\,16 \text{ mm}$$

3) Armadura segundo malhas quadriculadas

$$Z_1 = \frac{200.000\,(2 \times 150 - 50)}{12 \times 100} = 41.670 \text{ Kg}$$

A_{s1} = 9,58 cm^2 ou 5 Ø 16 mm (barras paralelas a um dos lados)

$$Z_2 = \frac{200.000\,(2 \times 150 \times \sqrt{3} - 50 \times \sqrt{2})}{18 \times 100} = 49.880 \text{ Kg}$$

As = 9 Ø 16 mm (barras perpendiculares às barras anteriores)

6. BLOCO SOBRE 4 ESTACAS

O bloco sobre 4 estacas pode ser armado segundo a periferia, as diagonais ou em malha. Neste trabalho será adotada a armadura disposta em malhas segundo recomenda Guerrin (Ref. 1)

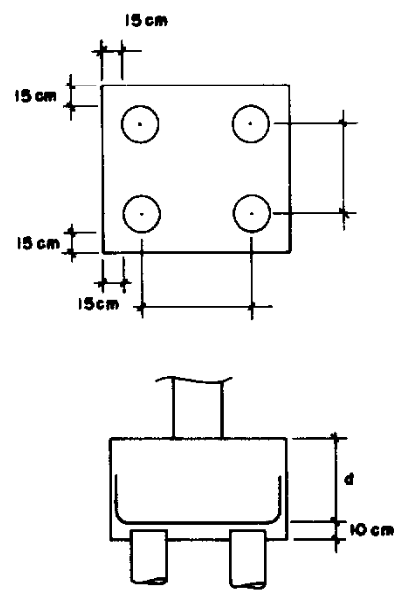

Fig. 7

Inclinação das bielas:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{4\,d}{\sqrt{2}\,(2e - a)}$$

Recomendações

a) $45° \leqslant \varphi \leqslant 55°$,

o que acarreta

$$0{,}353\,(2e - a) \leqslant d \leqslant 0{,}505\,(2e - a)$$

b) Compressão da biela junto ao pilar:

$$\frac{P}{Ac\ sen^2\varphi} \leqslant 1{,}28\, f_{ck}$$

c) Compressão da biela junto a estaca:

$$\frac{P}{4\,Ae\ sen^2\varphi} \leqslant 1{,}28\, f_{ck}$$

Armadura necessária:

Utilizando ferragem em malha deduz-se (Ref. 1)

$$Z = \frac{P\,(2e - a)}{8\,d} \qquad ;\ As = \frac{1{,}4\,Z}{f_{yd}}$$

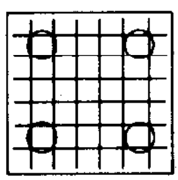

Fig. 8

Se houver diferença significativa nas dimensões do pilar calculam-se 2 valores de Z, caso contrário adota-se "a" como a menor dimensão do pilar.

Aplicação numérica

Calcular um bloco para 4 estacas com Ø = 40 cm espaçadas de e = 1,20 m, para receber um pilar quadrado de 50 x 50 cm sujeito a uma carga P = 220 t.

Sol.: $0{,}353\,(2e - a) = 0{,}353\,(2 \times 1{,}20 - 0{,}40) = 0{,}706$

$0{,}505\,(2e - a) = 1{,}01$

adotaremos d = 1,0 m (h = 1,10 m)

Verificações

a) $tg\,\varphi = \dfrac{4 \times 1{,}0}{\sqrt{2}\,(2 \times 1{,}20 - 0{,}40)} = 1{,}414; \qquad \varphi = 54{,}7°$ $\quad (sen^2\varphi = 0{,}667)$

b) $$\frac{P}{Ac.\ sen^2\varphi} = \frac{220.000}{50 \times 50 \times 0{,}667} = 131{,}9\ Kg/cm^2 < 192\ Kg/cm^2$$

c) $$Ae = \frac{\pi \times (40)^2}{4} = 1256\ Kg/cm^2$$

$$\frac{P}{4\,Ae\ sen^2\varphi} = \frac{220.000}{4 \times 1256 \times 0{,}667} = 65{,}65\ Kg/cm^2 \leqslant 192\ kg/cm^2$$

7. BLOCO SOBRE 5 ESTACAS

Adotando-se a disposição mostrada abaixo o procedimento para cálculo é análogo ao bloco de 4 estacas, bastando-se substituir P por 4/5 P

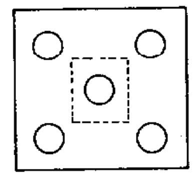

Fig. 9

Inclinação das bielas: $tg\varphi = \dfrac{4\,a}{\sqrt{2}\,(2e - a)}$

Recomendações

a) a mesma para a altura útil do caso anterior (item 6)

b) e c) as mesmas para esmagamento das bielas considerando a carga multiplicada por 0,8

Armadura necessária:

ara ferragem em malha)

$$Z = \frac{P\,(2e - a)}{10\,d} \qquad ,\ As = \frac{1{,}4\,Z}{f_{yd}}$$

OBS.:

1) Em qualquer dos casos anteriores deve-se dispor de estribos horizontais com A's = 1/8 As em cada ace.

2) Na aplicação do método das bielas (para 2, 3, 4 ou 5 estacas), se as dimensões do pilar e da estaca são ixados torna-se às vezes difícil a obediência simultânea às recomendações de inclinação da biela e de esmagamento da biela junto ao pilar. Neste caso pode-se abrir mão da primeira condição considerando $\varphi \geqslant 55°$.

3) No próximo número da revista TECNOLOGIA publicaremos o cálculo de blocos para um número de estacas superior a 5.

BIBLIOGRAFIA

01. GUERRIN, A. — Traité du Beton Armé — Vol. III — 4ª ed. Dunod.
02. BLEVOT J.; FRÉMY R. — Semelles Sur Pieux, Anais do I.T.B.T.P.
03. MORAES, Marcelo da Cunha — Estrutura de Fundação — 3ª ed. Mc. Graw Hill.
04. ALONSO, Urbano R.— Exercícios de Fundação — Ed. Edgar Blucher.
05. ROCHA, Aderson M. Novo Curso Prático de Concreto Armado, Vol III, 14ª ed — Ed. Científica.
06. MACHADO, Claudiney P. — Blocos sobre várias estacas; Curso promovido por F.D.T.E. — EPUSP — IPT.