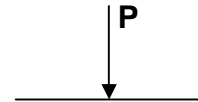


2. SAPATAS DE CONCRETO ARMADO

MÉTODO DAS BIELAS COMPRIMIDAS

CARGA CENTRADA

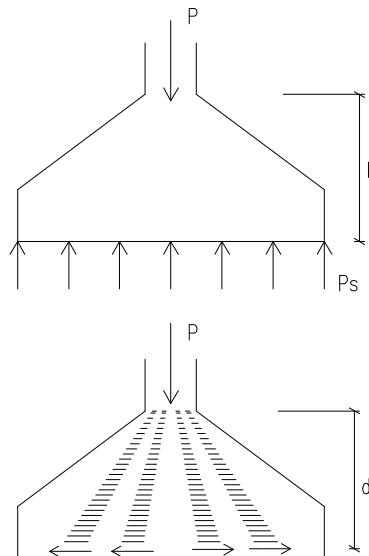


A. INTRODUÇÃO

Este método é aplicável aos casos em que atuam uma carga concentrada no centro de gravidade do elemento de fundação ou uma carga linear no eixo de uma fundação corrida ou contínua.

O Método das Bielas foi concebido por M. Lebellet e sofreu comprovação experimental, posteriormente, através de numerosos ensaios.

De acordo com estes ensaios, quando a altura útil (d) da sapata é relativamente grande, tem-se que a distribuição das tensões no solo (p_s) é uniforme e que a transmissão da carga aplicada ao solo ocorre através de elementos chamados de bielas comprimidas de concreto, inclinadas, transmitindo para as armaduras, colocadas na face inferior da sapata, os esforços de tração atuantes.



Desta forma, temos que determinar a força de tração nas armaduras e a tensão de compressão nas Bielas.

Segundo Guerrin, uma sapata é dita “rígida” sempre que:

$$d \geq \begin{cases} \frac{(A-a)}{4} \\ \frac{(B-b)}{4} \end{cases} \quad (1)$$

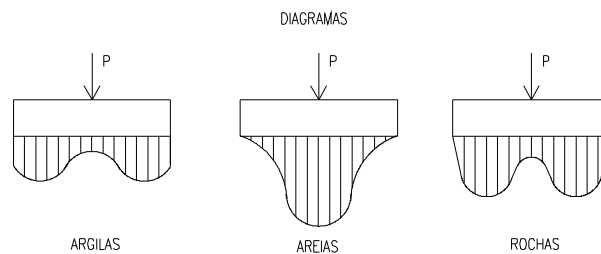
adotando-se

$$h = d + \text{cobrimento}$$

Observação:

Por outro lado, e de uma forma geral, não sendo considerado o elemento de fundação do tipo Sapata Rígida, podemos estar em presença de elementos de fundação do tipo Sapata Flexível. Neste caso, uma das principais características é o fato de não poder-se mais considerar que o diagrama de tensões no solo é uniforme, como no caso anterior, sendo agora variável e dependente do tipo de solo existente no substrato de apoio da fundação.

As figuras a seguir procuram ilustrar o comportamento das tensões no solo em Sapatas Flexíveis para o caso de três tipos de solos clássicos.

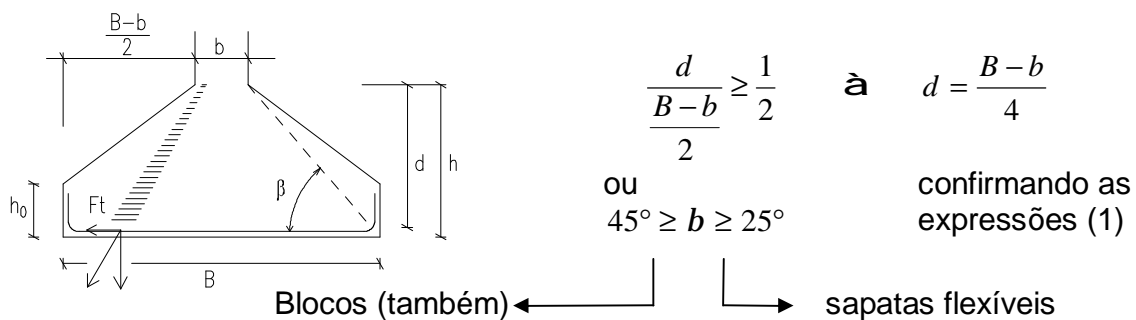


Outras características das Sapatas Flexíveis, que normalmente causam a pouca utilização desta solução de fundações superficiais, estão a seguir indicadas:

- necessitam muita armadura, elevando a taxa de consumo de aço;
- são de difícil execução;
- têm diagrama de tensões (p_s) não conhecido com precisão variando muito com o tipo de solo;
- apresentam maior dificuldade para a ancoragem das armaduras de tração.

B. MÉTODO DAS BIELAS COMPRIMIDAS

Este método possui como limite para a sua aplicação a relação **1:2**, entre a altura útil (d) e a semi-base da sapata, isto é:



Garantida esta condição, pode-se dispensar a verificação ao cisalhamento da sapata.

Quanto à tensão de compressão, na prática, experiências mostram que a ruptura por compressão do concreto jamais ocorre, podendo-se, normalmente, dispensar-se esta verificação. Esta verificação é semelhante à avaliação das tensões de concreto em seções reduzidas, o que será objeto de estudo posterior, quando da análise e dimensionamento de tubulões.

Desta forma, para o correto dimensionamento da sapata, tem-se que determinar:

F_t : força de tração
 A_s : armadura tracionada

O funcionamento da sapata como se fosse uma Biola implica que o tirante da mesma, representado pela armadura, esteja igualmente tracionado em toda a largura (B) da base da sapata, não sendo admissível, nem recomendável, portanto, a interrupção desta A_s (procura-se evitar emendas por traspasse).

Isto implica, também, em projetar-se uma ancoragem adequada para a A_s , garantindo sua perfeita aderência ao concreto.

Recomenda-se, como já comentado anteriormente em relação ao Bloco de Concreto Simples, que para a altura do rodapé, deve-se respeitar:

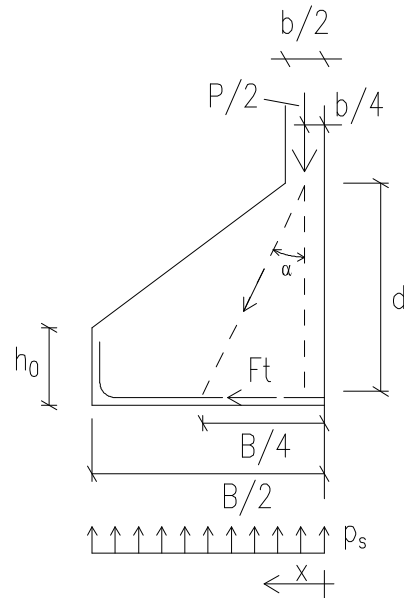
$$h_0 \geq \frac{h}{3} \geq 20cm$$

O esforço de tração na armadura pode ser facilmente determinado da seguinte maneira:

Admite-se que a carga $P/2$ referente à metade da sapata transmite-se através da reta que une os centros $b/4$ e $B/4$.

Assim, como:

$$tga = \frac{F_t}{\frac{P}{2}} \quad \text{e} \quad tga = \frac{\frac{B}{4} - \frac{b}{4}}{d} = \frac{B-b}{4 \cdot d}$$



onde, $0 \leq x \leq \frac{B}{2}$ ou $\frac{A}{2}$

Tem-se que, o esforço de tração na armadura é dado por:

$$F_t = \frac{P}{8} \cdot \frac{(B-b)}{d} \quad (2)$$

C. SAPATAS RETANGULARES

A altura útil (d) da armadura, como agora demonstrado para o caso de sapatas rígidas, deve satisfazer em ambas as direções a condição:

$$d \geq \begin{cases} \frac{A-a}{4} = d_A \\ \frac{B-b}{4} = d_B \end{cases}$$

Sendo armada com duas armaduras ortogonais, paralelas aos lados, capazes de resistir aos esforços de tração e acarretando as armaduras seguintes:

$$(3) \quad \boxed{F_{ta} = \frac{P}{8} \cdot \frac{A-a}{d}} \quad \rightarrow \quad \boxed{A_{sa} = \frac{g_c \cdot F_{ta}}{f_{yd}}} \quad (4)$$

$$(5) \quad \boxed{F_{tb} = \frac{P}{8} \cdot \frac{B-b}{d}} \quad \rightarrow \quad \boxed{A_{sb} = \frac{g_c \cdot F_{tb}}{f_{yd}}} \quad (6)$$

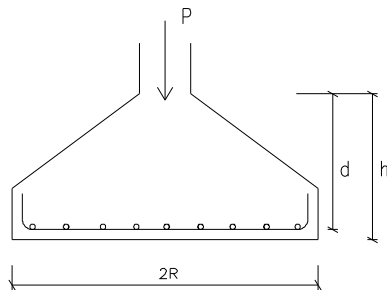
Observação:

Como d_A e d_B são diferentes entre si do valor do $\varnothing_{\text{barra}}$ utilizada, adota-se na prática, para a determinação da altura útil da sapata:

$$d_A = d_B = d$$

D. SAPATAS CIRCULARES

Considerando a alteração da geometria da fundação, de retangular para circular, para que seja válido o Método das Bielas devemos adotar:



$$d \geq \frac{2 \cdot R - 2 \cdot r}{4}, \text{ ou}$$

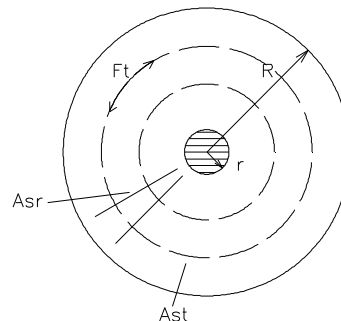
$$d \geq \frac{R - r}{2} \quad (7)$$

ARMADURA CIRCULAR-RADIAL

$$F_t = \frac{P}{6} \cdot \frac{(R - r)}{p \cdot d} \quad (7) \text{ força de tração}$$

$$A_{st} = \frac{g_c \cdot F_t}{f_{yd}} \quad (8) A_s \text{ circular}$$

$$A_{sr} = 0.40 \cdot A_{st} \quad (9) A_s \text{ radial}$$



ARMADURA ORTOGONAL

$$F_t = \frac{P}{3} \cdot \frac{(R - r)}{p \cdot d} \quad (10) \text{ força de tração}$$

$$A_s = \frac{g_c \cdot F_t}{f_{yd}} \quad (11) A_s \text{ ortogonal}$$

Observação:

- relativamente às armaduras em círculo, calcula-se que o sistema em malha ortogonal produz um consumo de aço superior a 12.5% a 33%;
- pode-se aplicar às sapatas octogonais as fórmulas das sapatas circulares armadas em malha.

E. VERIFICAÇÃO DA ANCORAGEM

1º) À COMPRESSÃO

De forma análoga à verificação realizada para os Blocos, onde:

$$h = L_b + \text{cobrimento}$$

2º) À TRAÇÃO

O esforço máximo de tração na armadura (F_t), definido em (2), é

$$F_t = \frac{P}{8} \cdot \frac{(B-b)}{d}$$

Os esforços elementares dF são transmitidos às barras por meio da aderência.

Este esforço, por unidade de comprimento é dado por:

$$\frac{dF}{dx} = \frac{P}{8} \cdot \frac{(B-b)}{d \cdot x}$$

Sendo nulo no eixo ($x = 0$) e máximo nas extremidades ($x = A/2$ ou $x = B/2$), onde

$$G = \frac{P}{2} \cdot \frac{(B-b)}{d \cdot B} \quad (12)$$

Assim, tem-se segurança à aderência se:

$$t_b = \frac{g_c \cdot G}{m_s} \leq t_{bu} \quad (13)$$

Onde: t_b = tensão de escorregamento na armadura

t_{bu} = tensão última de aderência

$m_s = h \cdot p \cdot f$ = perímetro da armadura por unidade de comprimento

Na prática é mais usual verificarmos se:

$$m_s \geq m_{s,\min} = \frac{g_c \cdot G}{t_{bu}} \quad (14)$$

Observação:

- Apesar desta verificação (14) recomenda-se usar ganchos nas extremidades;
- Segundo Guerrin, dispensa-se da verificação da aderência se as barras estiverem suficientemente próximas, onde o espaçamento $s \hat{=} s \leq d/4$;
- Recomenda-se adotar, geralmente, $s \leq 20cm$;
- Outra forma para verificar a ancoragem das armaduras tracionadas em sapatas é adotar orientação indicada por W.Pfeil no Livro Pontes e Grandes Estruturas, Vol. II (a ser abordado no Capítulo de Sapatas com Momento).

F. VERIFICAÇÃO DA PUNÇÃO

Segundo M. Caquot, para que se obtenha segurança ao punçõamento, deve-se garantir que: (baseado em proposta empírica!)

$$d \geq 1.44 \cdot \sqrt{\frac{g_c \cdot P}{0.85 \cdot f_{cd}}} \quad (15)$$

Segundo a Norma NBR 6118/1978, para ter-se segurança quanto á punção deve-se garantir que (item 5.3.1.2b):

$$t_p \leq t_{wu} = \frac{0.63 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{g_c} \quad (16) \quad \text{em MPa}$$

(adotou-se neste procedimento a verificação de punção referente a esta norma por apresentar processo mais simplificado para o caso de sapatas e sem alterações significativas em relação à norma atual de concreto)

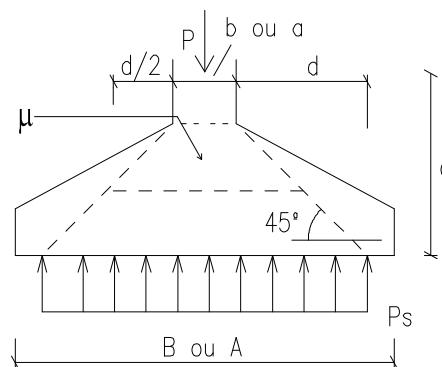
onde: t_p = tensão de punção que ocorre na sapata
 t_{wu} = tensão última de cisalhamento na punção

Porém, para não utilizar-se armadura na punção, é suficiente que:

$$t_p \leq t_{wu}^* = \frac{t_{wu}}{2} = 0.315 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{g_c} \quad (17) \quad \text{em MPa}$$

Na punção, admite-se que a carga P produz uma tensão t distribuída em um plano inclinado à 45° .

Por outro lado, a carga P' (com sentido oposto), devida à pressão do solo, opõe-se ao punçõamento, tendendo a minimizar seu efeito.



Assim, calculando a tensão de punçõamento obtemos:

$$t_p = \frac{g_c \cdot (P - P^i)}{m \cdot d} \quad (18)$$

Onde:

P = carga atuante na sapata

$P' = (a + 2d) \cdot (b + 2d) \cdot p_s$: pressão do solo que se opõe ao punçonnemento, interna ao 'bulbo' de 45° formado devido ao punçonnemento;

d = altura útil

$m = 2 \cdot [(a + d) + (b + d)]$: perímetro plano médio da seção punçonnada

Observação:

Caso

$$\frac{(B-b)}{2} \leq d \Rightarrow P' = P \Rightarrow t_p \Rightarrow 0$$

ou seja, caso o ângulo β de inclinação da sapata seja maior do que 45°, a carga P' equilibrará a carga aplicada P , fazendo com que não ocorram tensões de punção, dispensando-se, portanto, esta verificação.