

## Verificações

### Tombamento

$$Tomb_x = \left| \frac{N_k \cdot \left( \frac{X_{sap}}{2} - exc_x \right) + PP \cdot \frac{X_{sap}}{2}}{M_{y,k} + F_{x,k} \cdot Alt} \right| \geq C_{tomb}$$

$$Tomb_y = \left| \frac{N_k \cdot \left( \frac{Y_{sap}}{2} - exc_y \right) + PP \cdot \frac{Y_{sap}}{2}}{M_{x,k} - F_{y,k} \cdot Alt} \right| \geq C_{tomb}$$

Onde:

$N_k$ : Esforço normal característico;

PP: Peso próprio do bloco;

$M_{x,k}$ : Momento em torno do eixo x característico;

$M_{y,k}$ : Momento em torno do eixo y característico;

$F_{y,k}$ : Força cortante na direção y característica;

$F_{x,k}$ : Força cortante na direção x característica;

PP: Peso próprio do bloco;

$X_{sap}$ : Dimensão X do bloco;

$Y_{sap}$ : Dimensão Y do bloco;

$exc_y$ : Excentricidade na direção y;

$exc_x$ : Excentricidade na direção x;

Alt: Altura da sapata;

$C_{tomb}$ : Coeficiente de segurança ao tombamento;

### Deslizamento

$$Desliz_x = \frac{(N_k + PP) \cdot c_a}{F_{x,k}} \geq C_{desl}$$

$$Desliz_y = \frac{(N_k + PP) \cdot c_a}{F_{y,k}} \geq C_{desl}$$

Onde:

$c_a$ : coeficiente de atrito solo-concreto;

$C_{desl}$ : coeficiente de segurança ao deslizamento;

$N_k$ : Esforço normal característico;

PP: Peso próprio do bloco;

$F_{y,k}$ : Força cortante na direção y característica;

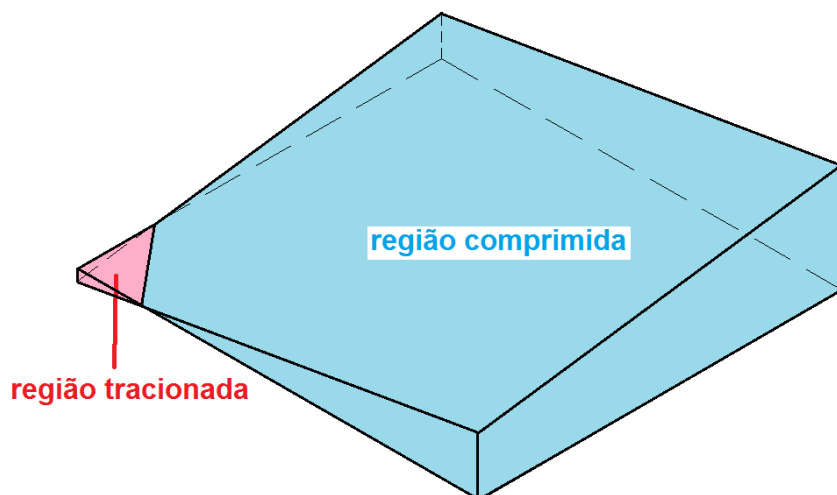
$F_{x,k}$ : Força cortante na direção x característica;

## Tensões no solo

O método de cálculo das tensões aplicadas ao solo pela sapata foi alterado, passando-se a utilizar método numérico que permite, com maior precisão, a determinação destas tensões para todas as combinações de dimensionamento.

No caso das áreas "tracionadas" do solo, estas regiões não são levadas em conta, de modo a trabalharmos com o comportamento não linear do solo.

Para sapatas submetidas à flexão composta oblíqua, o diagrama de tensões no solo teria o seguinte aspecto:



## Esforços de dimensionamento e de cálculo

A tensão no solo é sempre apresentada como uma tensão característica (não majorada).

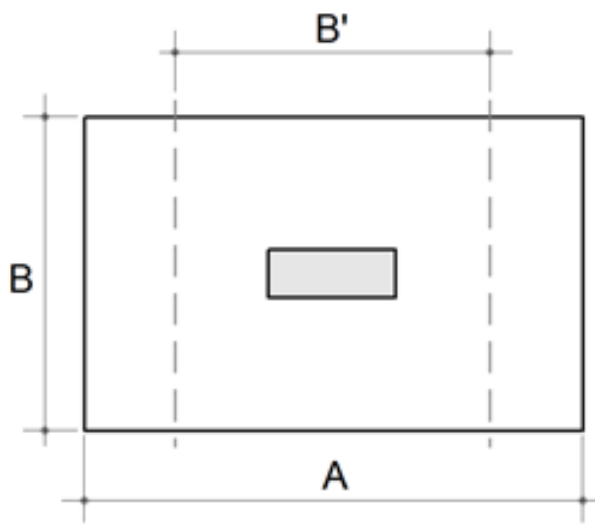
O dimensionamento das sapatas sempre é feito com base nas reações de apoio associadas a cada uma delas, dentro do modelo estrutural. Desta forma, sempre teremos um conjunto de normal, momentos e cortantes associados a cada combinação.

Quando se trabalha com esforços característicos, a tensão no solo é obtida diretamente do conjunto de esforços.

Quando se trabalha com esforços de cálculo, a tensão no solo é calculada e então dividida por 1,4, de modo a simular uma tensão característica. Este artifício é necessário já que não existe informação, neste momento do dimensionamento, de quais as parcelas de carregamento devidas ao peso-próprio, permanentes, acidentais etc que formam o valor total do conjunto de esforços.

## Correção de armaduras em sapatas retangulares

Em elementos de fundação retangulares, com flexão em duas direções, a armadura paralela ao lado maior (A) pode ser distribuída uniformemente em toda a largura B da base de fundação. A armadura paralela ao lado menor deve ser distribuída de tal forma que a fração  $2 \cdot B' / (A + B')$  da área total  $A_s$  seja colocada uniformemente distribuída na faixa central de largura  $B'$ , conforme a seguir:



$$B \geq a_p + 2H \Rightarrow B' = B$$

$$B < a_p + 2H \Rightarrow B' = a_p + 2H$$

De modo a simplificar o detalhamento, a armadura da direção B pode ser uniformemente distribuída ao longo de todo o lado A, desde que se adote uma área  $A_{s,corr}$  superior a área calculada  $A_s$ , conforme a seguir:

$$A_{s,corr} = A_s \cdot \frac{2 \cdot A}{A + B'}$$

Esta correção de armadura é controlada por critério de projeto.

## Verificação do escorregamento/aderência da armadura

No caso de armadura com diâmetro de 20 mm ou superior, é importante que seja verificada a aderência com o concreto, a fim de evitar o escorregamento.

Desta forma, deve ter:

$$V_{sd} \leq 0,87 \cdot f_{bd} \cdot n \cdot \pi \cdot \phi_l \cdot d$$

Com:

$V_{sd}$  = força cortante de cálculo nas seções de referência  $S_1$ ;

$f_{bd}$  = resistência de aderência de cálculo;

$n$  = número de armaduras na seção analisada;

$\phi_l$  = diâmetro da armadura que cruza a seção  $S_1$ ;

$d$  = altura útil da seção  $S_1$ .

Observações: no cálculo de aderência dos ferros, sempre são feitas as seguintes considerações:

Área de má aderência: devido a possível contaminação com solo, é utilizado  $\eta_2 = 0.7$ ;

Por se tratar de uma verificação associada ao escorregamento da barra, utilizamos o item 9.3.2.3 da NBR 6118.

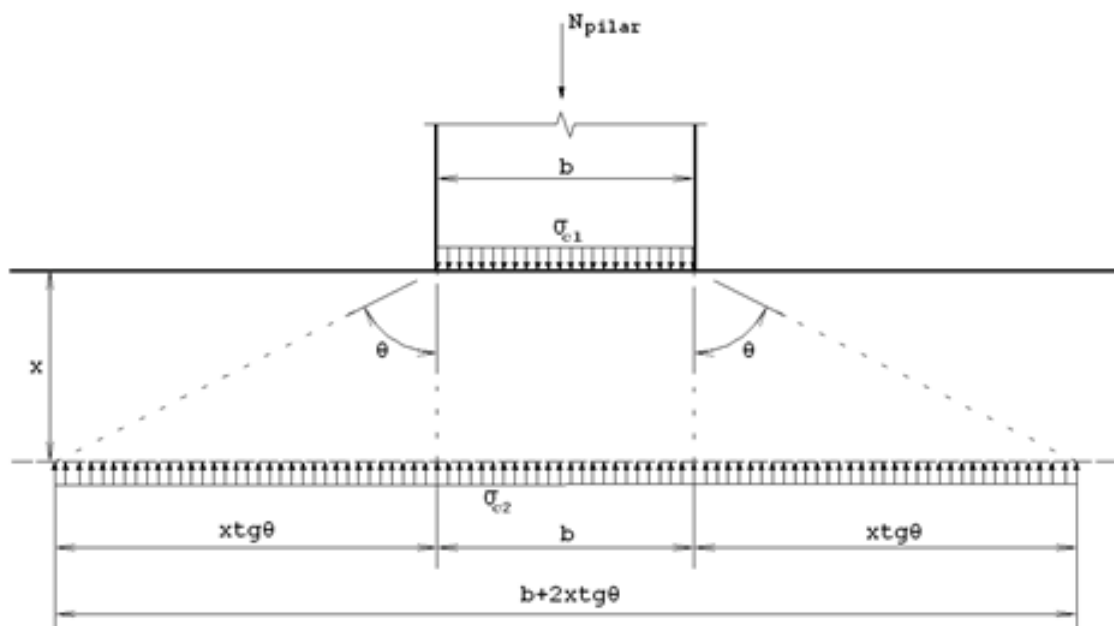
## Verificação da biela de compressão na base do pilar

### Método Fusco

A verificação das bielas de compressão na base do pilar em sapatas é feita segundo metodologia apresentada por Fusco (1994).

Nessa verificação, a tensão é analisada em uma área ampliada situada à profundidade X da face superior do bloco, considerando que, a partir dessa profundidade, apenas o concreto passa a resistir às tensões resultantes dos esforços transmitidos ao bloco. No cálculo da profundidade X são levadas em consideração as dimensões do pilar e a taxa geométrica de armadura de arranque do pilar ( $\rho$ ). Deve-se adotar um valor médio para esta taxa geométrica para todos os pilares dentre os valores listados. Também é necessário definir o ângulo de espraio das bielas de

compressão ( $\theta$ ), variando dentro da faixa de 45° a 64°. A tensão normal na área ampliada é calculada a partir de uma força normal equivalente que considera os efeitos dos momentos transmitidos ao bloco. Nesse caso, para que o bloco seja considerado seguro quanto à tensão nas bielas de compressão, a tensão à profundidade X ( $\sigma_2$ ) deve ser inferior a 20% da resistência à compressão de cálculo do concreto ( $f_{cd}$ ).



O programa verifica se a tensão no pilar é inferior à tensão limite no pilar e se a tensão na área ampliada é inferior à tensão limite na área ampliada.

Para calcular tensão no pilar, o programa calcula, de forma simplificada, a tensão no pilar (2.1.9.1) em um ponto distante de  $\frac{1}{4}$  da dimensão x do pilar e  $\frac{1}{4}$  da dimensão y e compara esta tensão com a tensão limite no pilar (2.1.9.2).

$\text{Tens, pil} = \frac{\gamma_f \cdot \gamma_n \cdot \left( N_k + \frac{3 M_{x,k}}{Y_{pil}} + \frac{3 M_{y,k}}{X_{pil}} \right)}{A_{pil}}$	(2.1.9.1)
$\text{Tens, pil, lim} = 0,85 \cdot f_{cd}$	(2.1.9.2)

Para calcular a tensão na área ampliada, é necessário descobrir a profundidade de espraio das tensões.

A partir das equações das páginas 344 a 346 de (Fusco, 1994), concluímos que a profundidade de espraio das tensões (x) é igual:

$$\frac{x}{b} = \frac{(1 + \alpha)}{4 \cdot \tan \theta} \left[ -1 + \sqrt{1 - \frac{4 \alpha \cdot \gamma_n \cdot \left( \frac{1}{\gamma_n} - \frac{\rho \cdot f_{yd}}{0,20 \cdot f_{cd}} - \frac{0,85}{0,20} \right)}{(1 + \alpha)^2}} \right]$$

Onde:

b: Representa a menor dimensão do pilar;

$\alpha$ : Representa a relação entre a maior dimensão do pilar e a menor dimensão do pilar;

$\rho$ : Representa a taxa de armadura do arranque;

$f_{yd}$ : Representa a resistência de cálculo da armadura do arranque;

$f_{cd}$ : Representa a resistência de cálculo do concreto utilizado no bloco sobre estacas;

$\theta_1$ : Representa o ângulo de espraçamento das tensões;

$\gamma_n$ : Coeficiente adicional ponderador das ações;

A profundidade  $x$  é limitada por:

$$\left(\frac{x}{Alt}\right) \leq 0,5$$

Onde:

Alt: Altura da sapata

Para calcular a tensão na área ampliada (2.1.9.4) e a tensão limite na área ampliada (2.1.9.5), utilizam-se as fórmulas indicadas abaixo:

$X_{pil,amp} = X_{pil} + 2 \cdot x \cdot \tan \theta_1 \leq X_{sap}$	(2.1.9.3)
$Y_{pil,amp} = Y_{pil} + 2 \cdot x \cdot \tan \theta_1 \leq Y_{sap}$	(2.1.9.4)
$A_{c,ampliada} = X_{pil,amp} \cdot Y_{pil,amp}$	(2.1.9.5)
$Tens_{,pil,amp} = \frac{\gamma_f \cdot \gamma_n \cdot \left( N_k + \frac{3 M_{x,k}}{Y_{pil}} + \frac{3 M_{y,k}}{X_{pil}} \right)}{A_{c,ampliada}}$	(2.1.9.6)
$Tens_{,pil,amp,lim} = 0,20 \cdot f_{cd}$	(2.1.9.7)

Onde:

$X_{pil}$ : Dimensão X do pilar;

$Y_{pil}$ : Dimensão Y do pilar;

$\theta_1$ : Representa o ângulo de espraçamento das tensões;

$x$ : profundidade de espraçamento das tensões;

$X_{sap}$ : Dimensão X da sapata;

$Y_{sap}$ : Dimensão Y da sapata;

$\gamma_f$ : Coeficiente ponderador das ações;

$\gamma_n$ : Coeficiente adicional ponderador das ações;

$f_{cd}$ : Resistência de cálculo do concreto.

$N_k$ : Esforço normal característico;

$M_{x,k}$ : Momento em torno do eixo x característico;

$M_{y,k}$ : Momento em torno do eixo y característico;

## Critério de projeto

Os critérios que controlam a verificação das bielas podem ser encontrados no arquivo de critérios dos blocos. Para acessá-lo, no Gerenciador, ative o Fundações e execute "Editar" - "Critérios" - "Sapatas" - "Cálculo" - "Verificação de compressão".

O usuário deve selecionar entre fazer a verificação pelo método "Com armadura". Também será necessário indicar a

taxa de armadura do arranque que deve ser utilizada (entre 1% e 3%) e o ângulo de espraçamento das bielas (de 45° a 64°).

## Método Pressão de Contato em Área Reduzida

Para este método é utilizado a prescrição existente na ABNT NBR 6118, onde são indicados os limites de resistência para a força que atua em uma área reduzida. Neste caso, não há armadura envolvida nos cálculos.

### Critério de projeto

Os critérios que controlam a verificação das bielas podem ser encontrados no arquivo de critérios dos blocos. Para acessá-lo, no Gerenciador, ative o Fundações e execute "Editar" - "Critérios" - "Sapatas" - "Cálculo" - "Verificação de compressão". O usuário deve selecionar entre fazer a verificação pelo método "Sem armadura".