# Sapatas ACI 318-19

## Solo acima da sapata

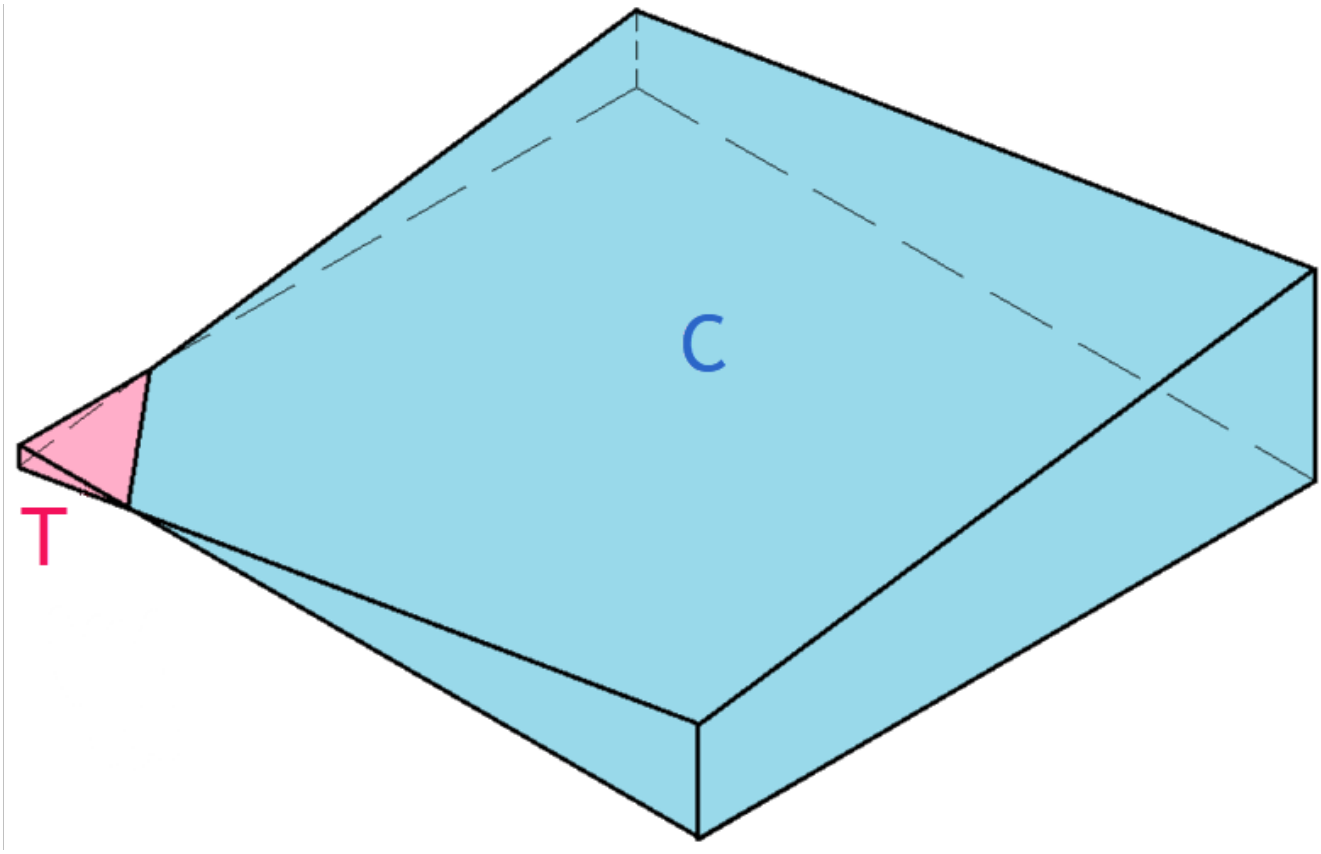
O solo acima da sapata não é utilizado em nenhum cálculo ou verificação. Isto é feito, a favor da segurança, uma vez que o reaterro pode não acontecer ou este solo ser escavado em futuras reformas.

## Cálculo de tensões no solo

É utilizado um método numérico para cálculo das tensões aplicadas ao solo pela sapata que permite, com boa precisão, a determinação destas tensões para todas as combinações de dimensionamento.

As áreas "tracionadas" do solo são desprezadas, de modo a trabalhar com o comportamento não linear do solo.

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




## Verificações efetuadas

As seguintes verificações são efetuadas pelo programa:

Flexão / determinação de armadura: $M_u < \phi \cdot M_n$

$\phi = 0.90$

Cortante: $V_u < \phi \cdot V_n$

$\phi = 0.75$

Puncionamento: $V_u < \phi \cdot V_n$

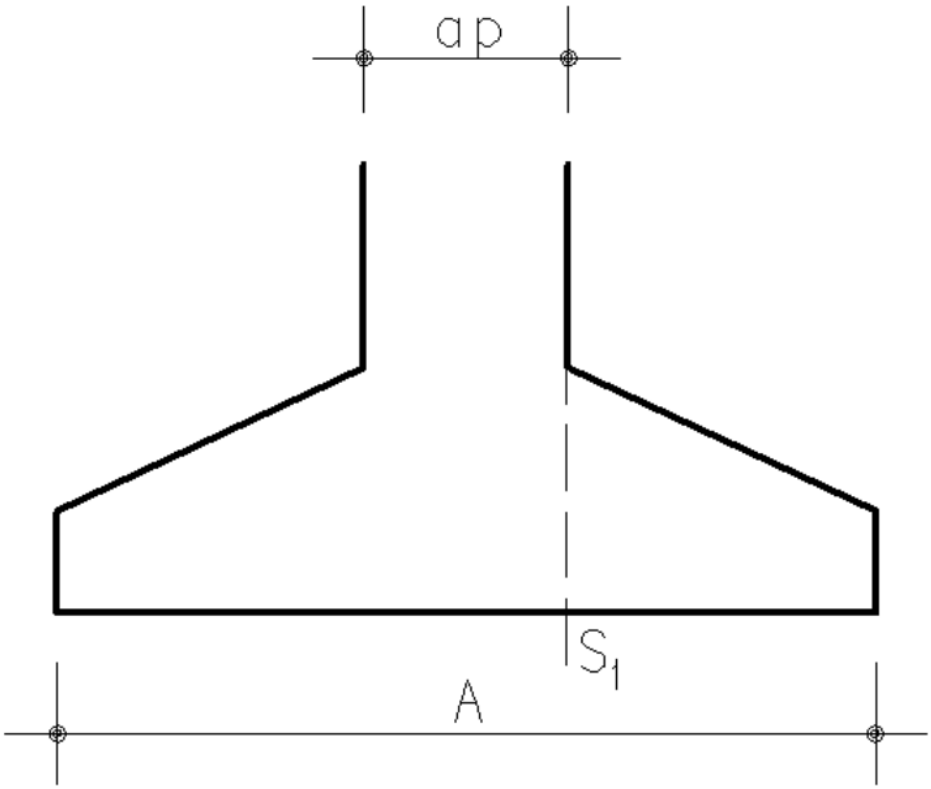
$\phi = 0.75$

Esmagamento: $B_u < B_r$

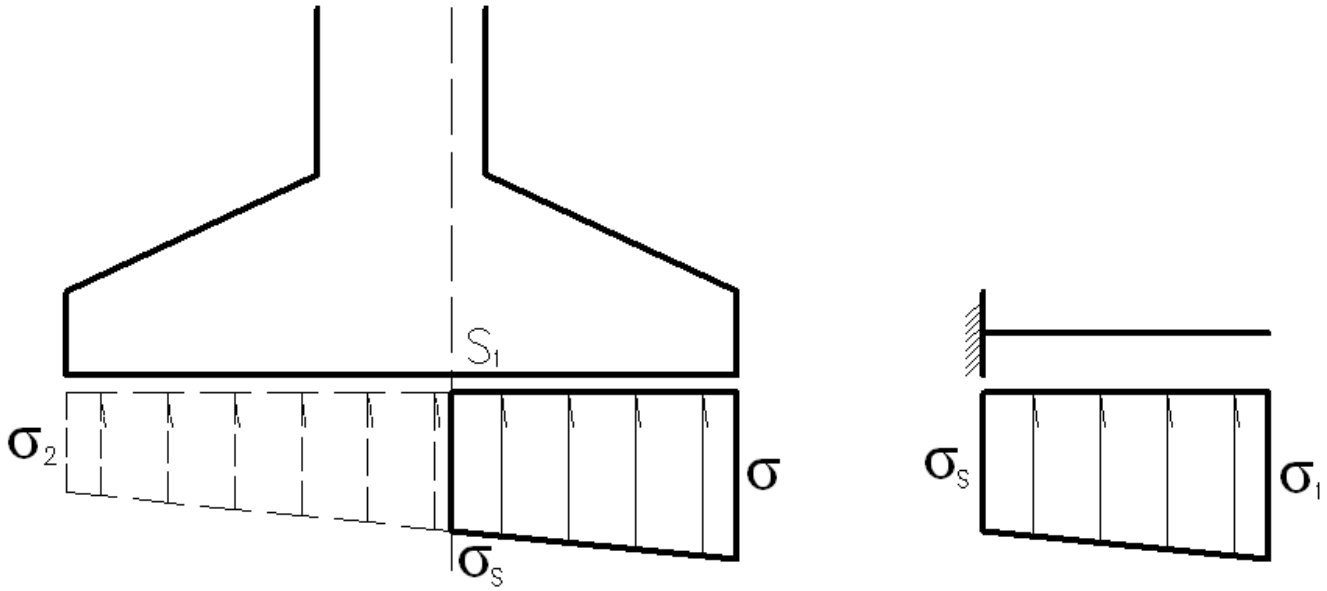
$\phi = 0.65$

# Cálculo dos momentos fletores - Seção $S_1$

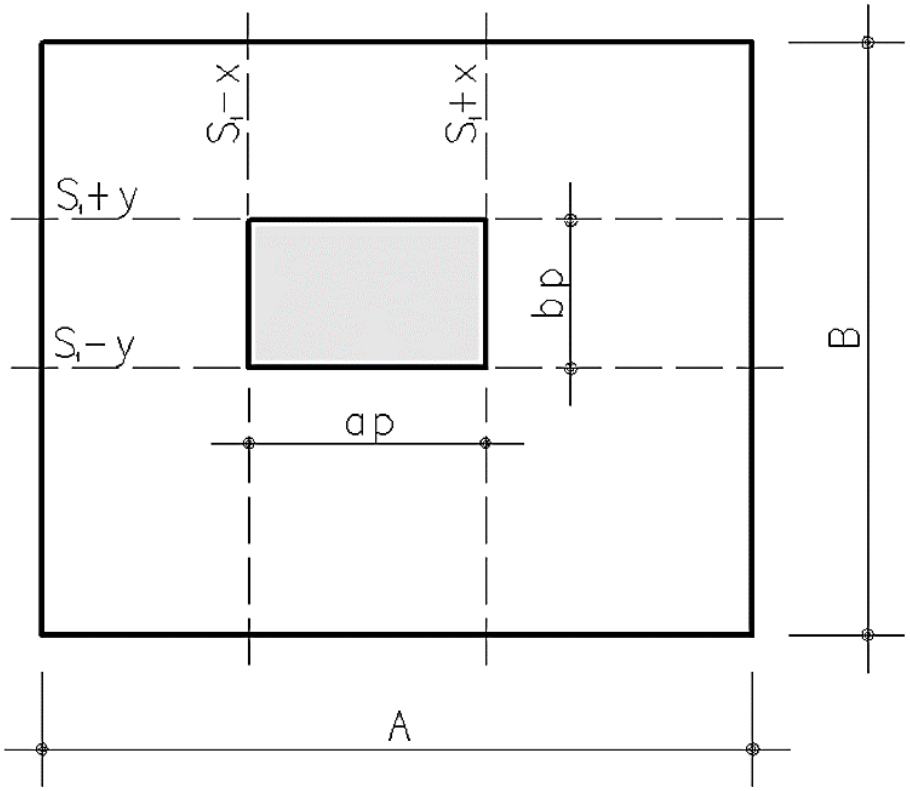
Conforme item ACI 13.2.7.1, os momentos fletores são calculados, para cada direção, em relação a uma seção de referência ($S_1$), que se localiza na face do pilar.



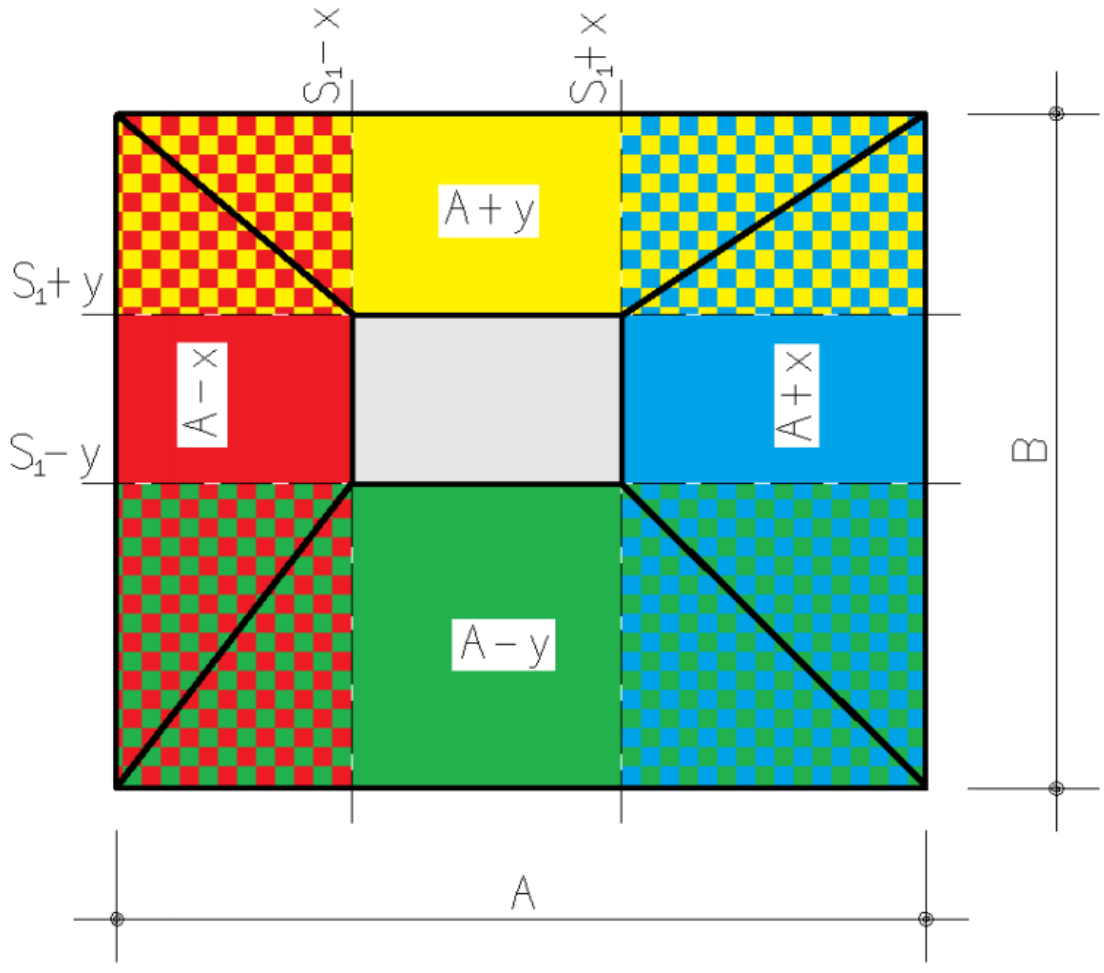

O momento fletor é calculado levando-se em conta o diagrama de tensões no solo, entre a seção $S_1$ e a extremidade da sapata, ou seja, a sapata é dimensionada à flexão como uma viga em balanço.




Existem quatro seções possíveis para o cálculo dos momentos fletores: +X, -X, +Y e -Y, conforme apresentado a seguir:




Pela integração numérica dos valores de tensão do solo pela área de cálculo é obtido o valor de momento fletor em cada uma das 4 seções indicadas anteriormente. As áreas de cálculo utilizadas para cada seção são indicadas a seguir:

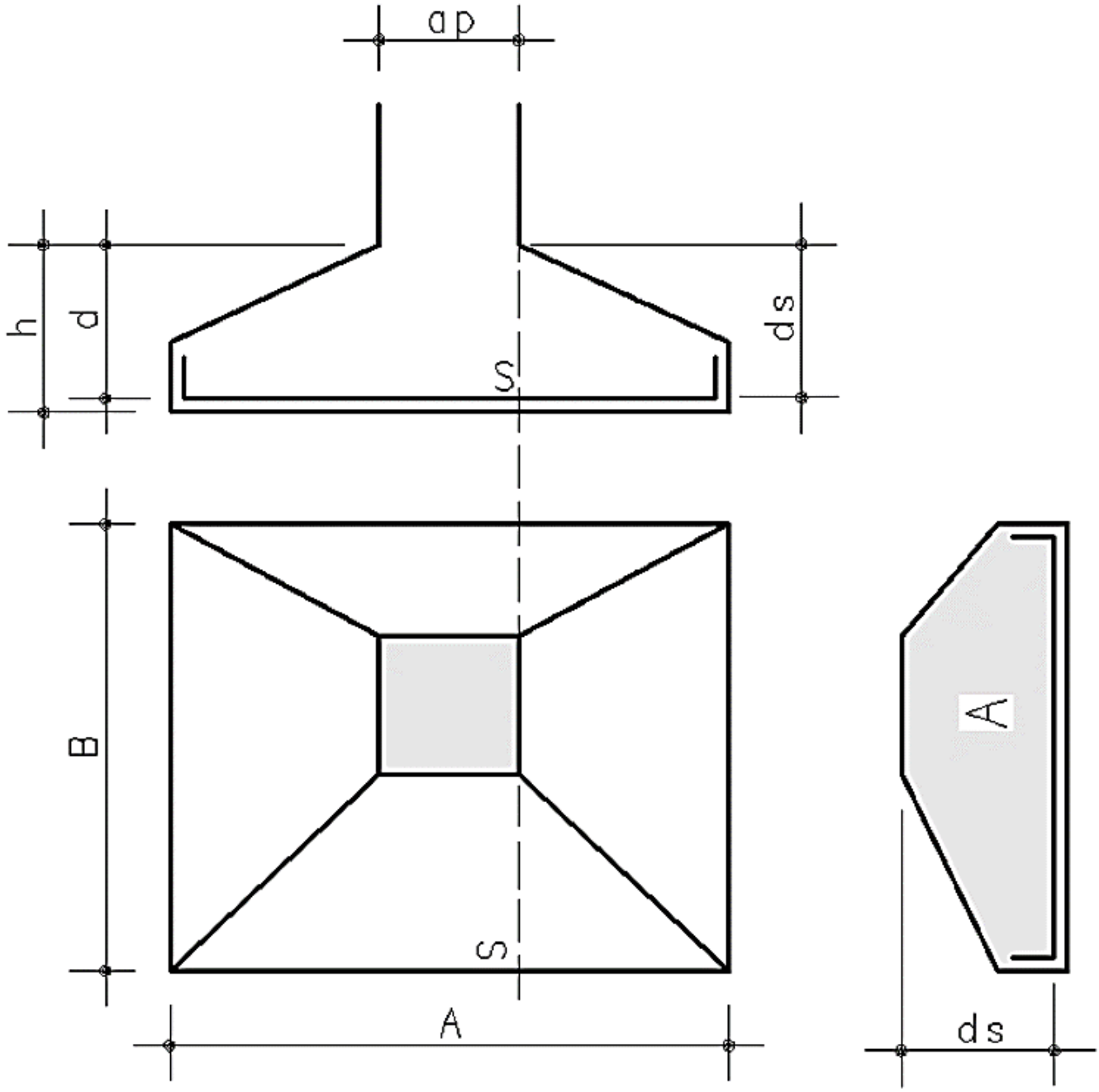



As armaduras das sapatas são calculadas para resistir a este esforço solicitante, já levando em consideração a distribuição de tensões de compressão real no solo.

# Armadura mínima

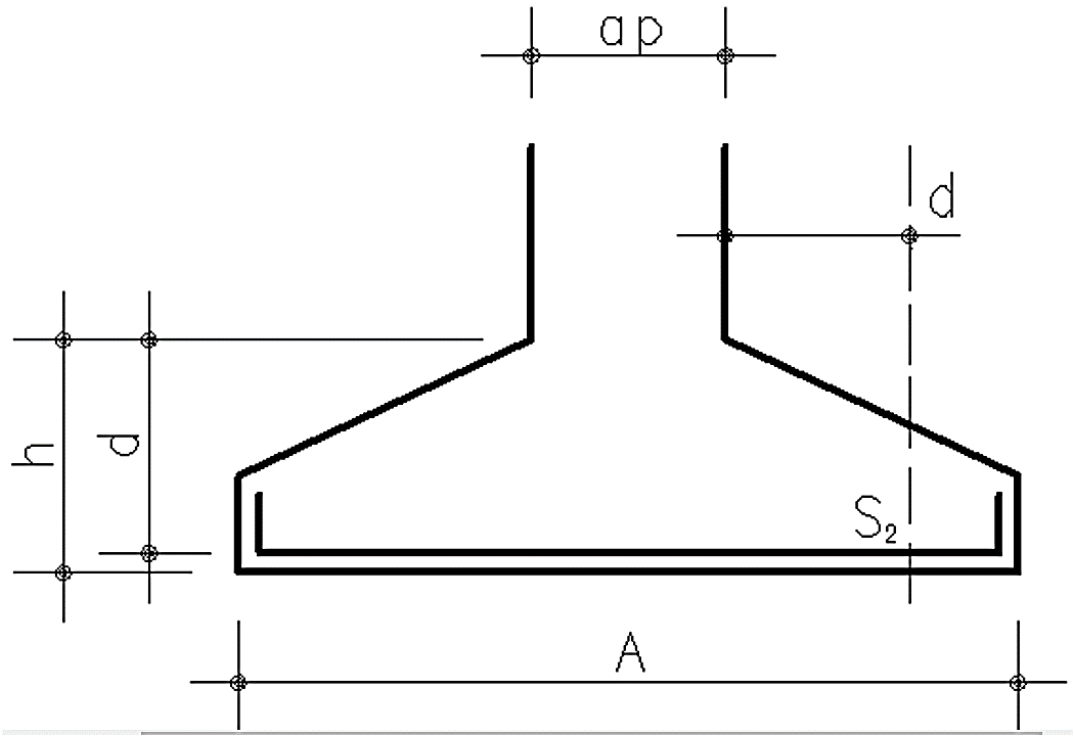
A armadura mínima utilizada para o detalhamento é calculada de modo a resistir a um momento igual a 1,2 vezes o momento de fissuração.

No cálculo do momento de fissuração é utilizada a seção trapezoidal S, conforme figura a seguir:

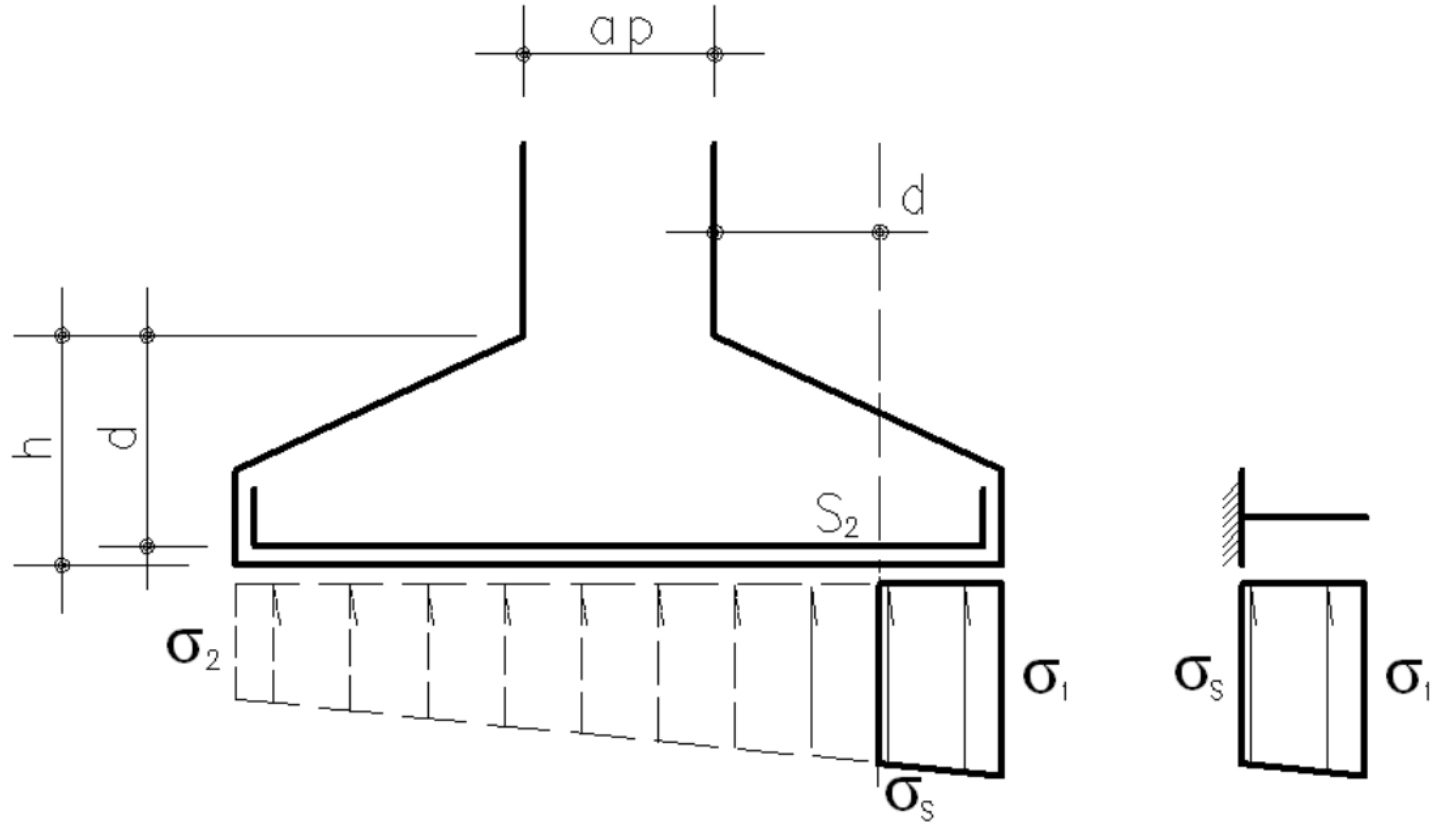



# Cálculo das forças cortantes – Seção $S_2$

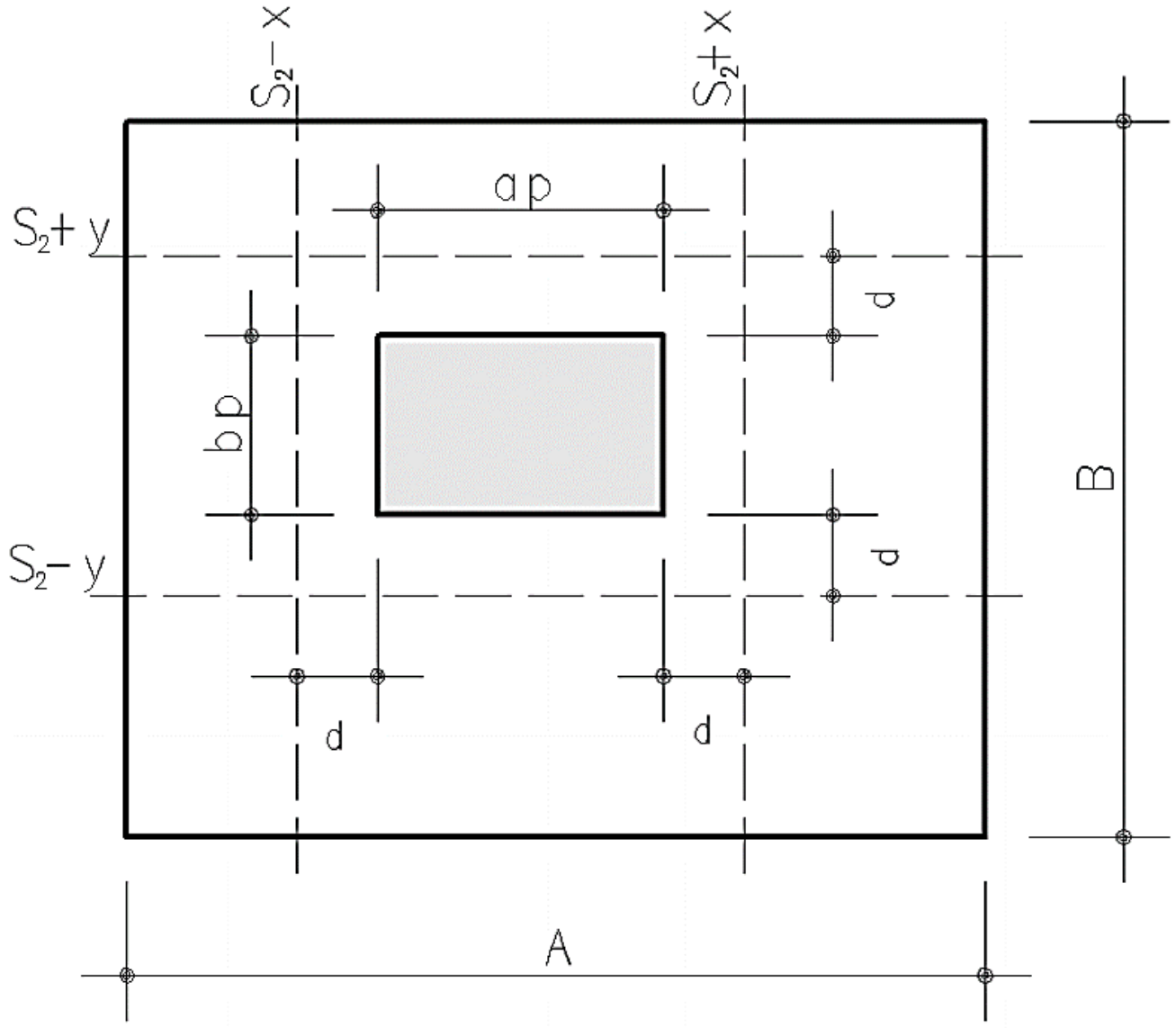
Os esforços cortantes atuantes na sapata são calculados em uma seção de referência $S_2$, em cada direção da sapata, perpendicular à base de apoio da sapata e distante *d* da face do pilar em cada direção.



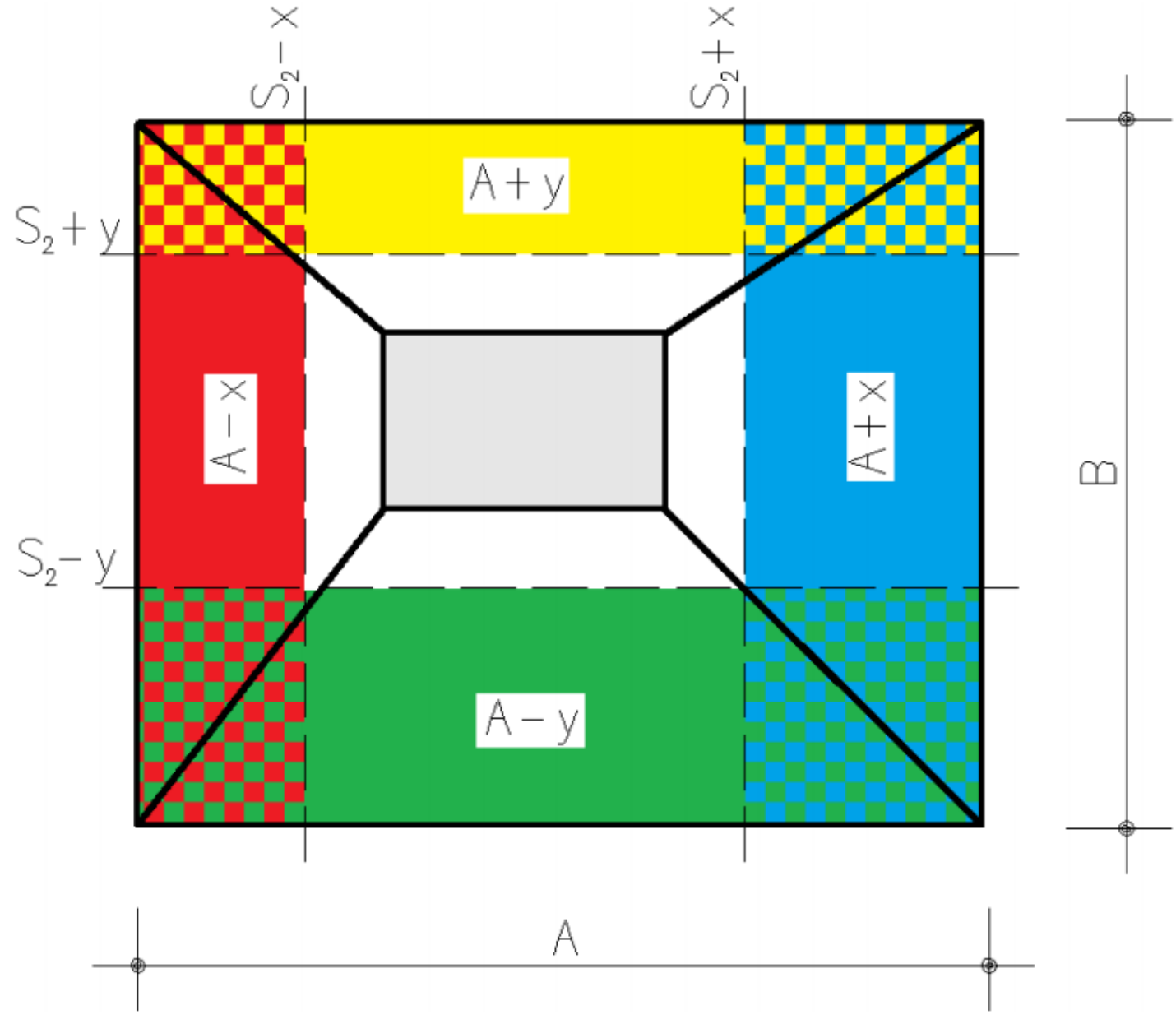

O esforço cortante é calculado levando-se em conta o diagrama de tensões no solo, entre a seção $S_2$ e a extremidade da sapata, ou seja, a sapata é verificada ao esforço cortante como uma viga em balanço.




Existem quatro seções possíveis para o cálculo esforços cortantes: +X, -X, +Y e -Y, conforme apresentado a seguir:




Pela integração numérica dos valores de tensão do solo pela área de cálculo é obtido o valor de esforço cortante em cada uma das 4 seções. As áreas de cálculo utilizadas para cada seção são indicadas a seguir:




As áreas hachuradas são duplamente contabilizadas.

## Valor limite

A força cortante de cálculo não deve ultrapassar os seguintes valores:

$$\text{Se } A_v \geq A_{v,min},\ V_n = V_c = max \begin{cases} 0{,}17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_s \cdot d_s \\ 0{,}66 \cdot \lambda \cdot (\rho_w)^{1/3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_s \cdot d_s \end{cases}$$

$$\text{Se } A_v < A_{v,min},\ V_n = V_c = 0{,}66 \cdot \lambda \cdot (\rho_w)^{1/3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_s \cdot d_s$$

$$A_{v,min} = max \begin{cases} 0{,}062 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \dfrac{b_s}{f_{yt}} \cdot s \\ 0{,}35 \cdot \dfrac{b_s}{f_{yt}} \cdot s \end{cases}$$

Com:

$V_n$ = em kN;

$d_s$ = altura útil da seção S;

$b_s$ = largura do retângulo equivalente de mesma área da seção S;

$f'_c$ = resistência do concreto a compressão;

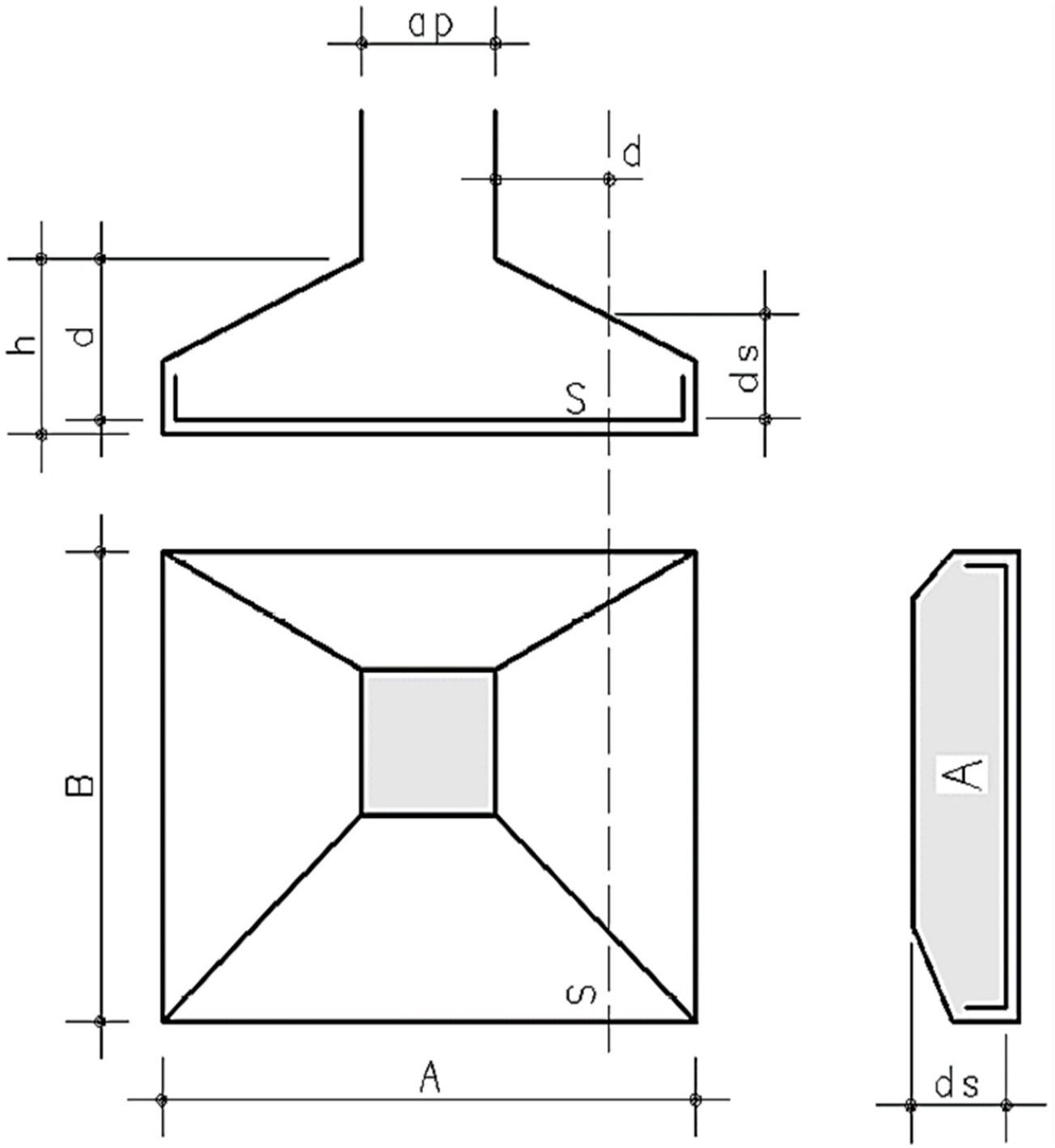
$A_g$ = área bruta da seção S;

$\lambda$ = redutor para concreto leve. Para concreto normal: 1,0.

$\rho_w$ = taxa de armadura em relação a seção efetiva ($b_s d_s$).

Obs: Conforme item ACI 13.2.6.2, o $\lambda_s$ não precisa ser considerado.

Os valores de $b_s$ e $h_s$ utilizados são dados de acordo com a figura a seguir:

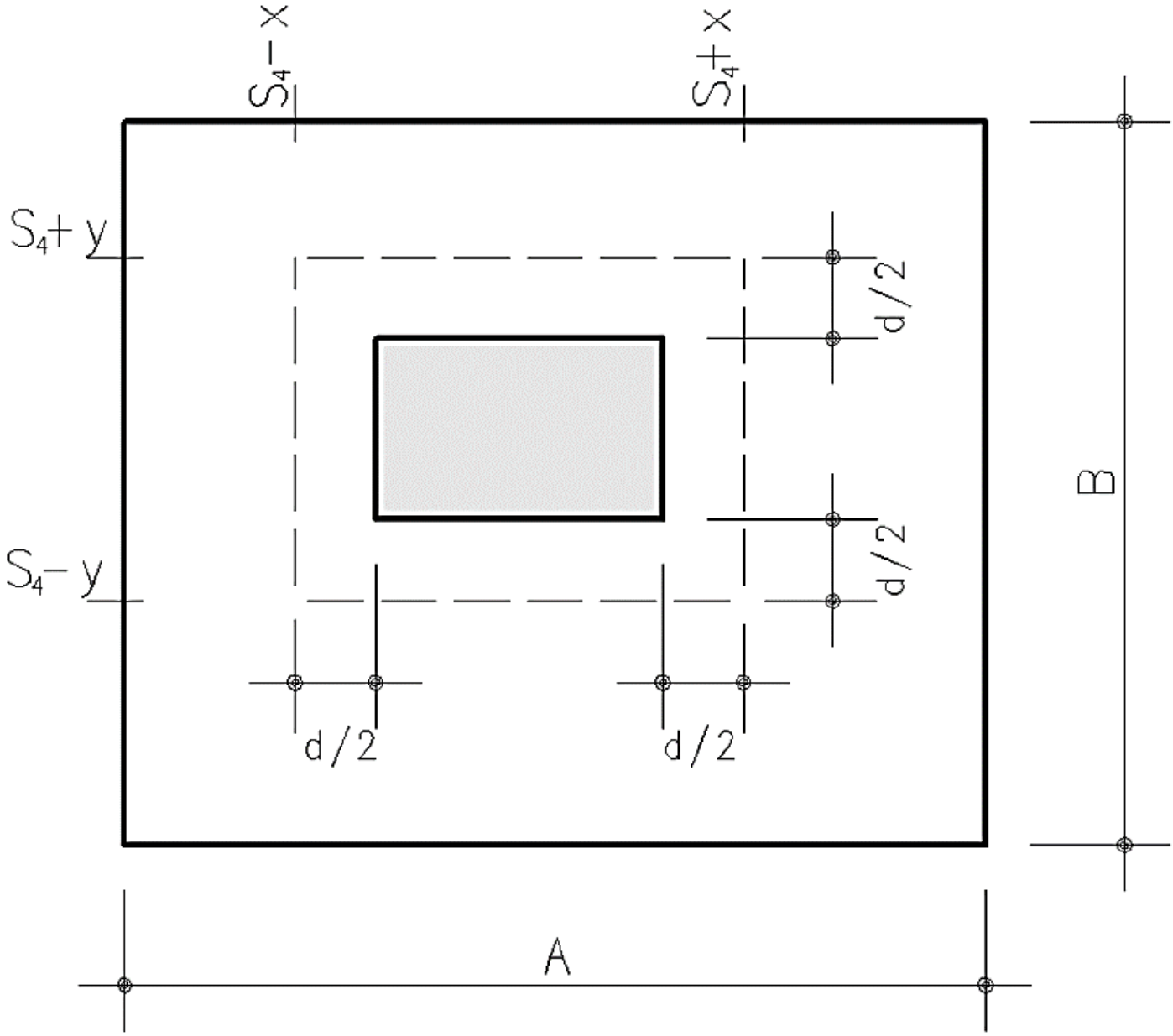



$b_s = A/d_s$

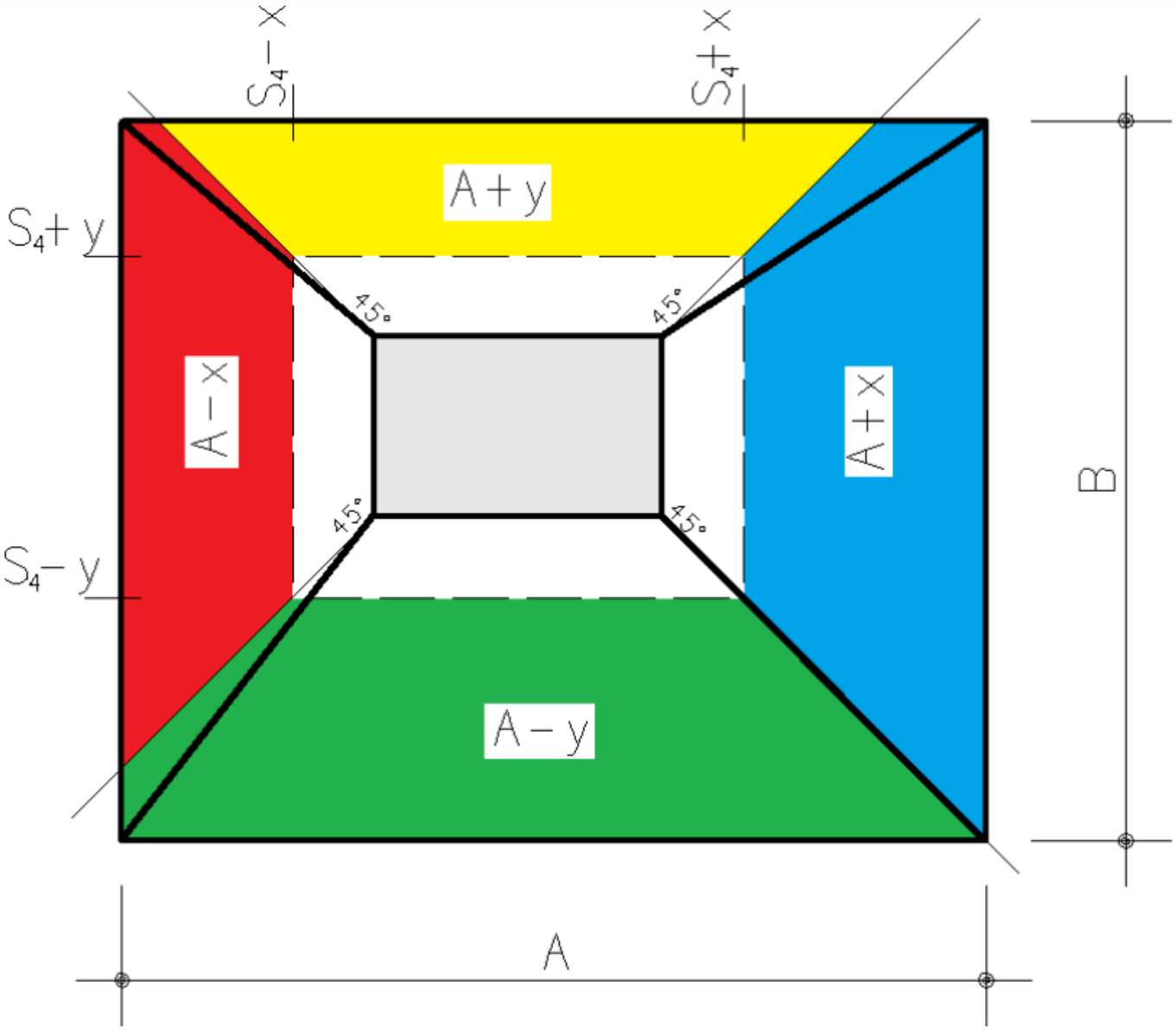
# Verificação à punção – Seção $S_4$

A verificação à punção nas sapatas flexíveis é feita seguindo o mesmo tratamento dado para o cálculo dos esforços solicitantes, ou seja, são definidas 4 seções onde as tensões atuantes são calculadas e então comparadas com o valor limite.

Estas seções são definidas à distância de *d*/2 da face do pilar, conforme a figura a seguir:




Pela integração numérica dos valores de tensão do solo pela área de cálculo é obtido o valor do esforço para cálculo da tensão cisalhante em cada uma das 4 seções. As áreas de cálculo utilizadas para cada seção são indicadas a seguir:




## Valor limite

O valor limite de tensão para a verificação de punção é dado por:

$$V_n = V_c = min \begin{Bmatrix} 0{,}17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_s \cdot d_s \\ 0{,}083 \cdot \left(\frac{\alpha_s d_s}{b_o} + 2\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_s \cdot d_s \\ 0{,}33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_s \cdot d_s \end{Bmatrix}$$

Com:

β = relação entre o maior e o menor lado do pilar;

$\alpha_s$ = função da posição do pilar na sapata;

40 = para pilares centrados;

30 = para pilares encostados em uma das faces;

20 = para pilares de canto;

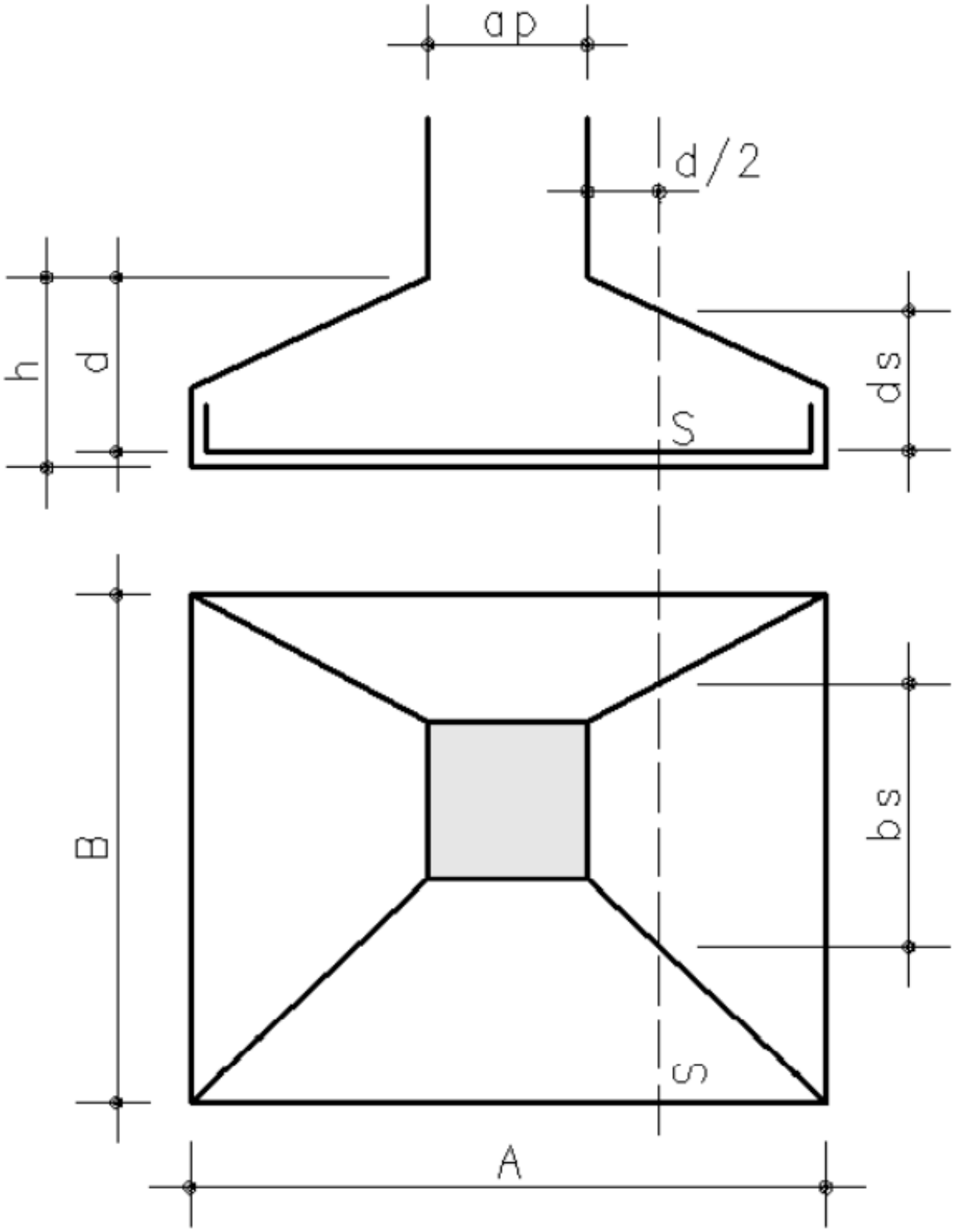
$b_o$ = perímetro da seção S;

*d* = altura útil da seção S;

$f'_c$ = resistência do concreto a compressão;

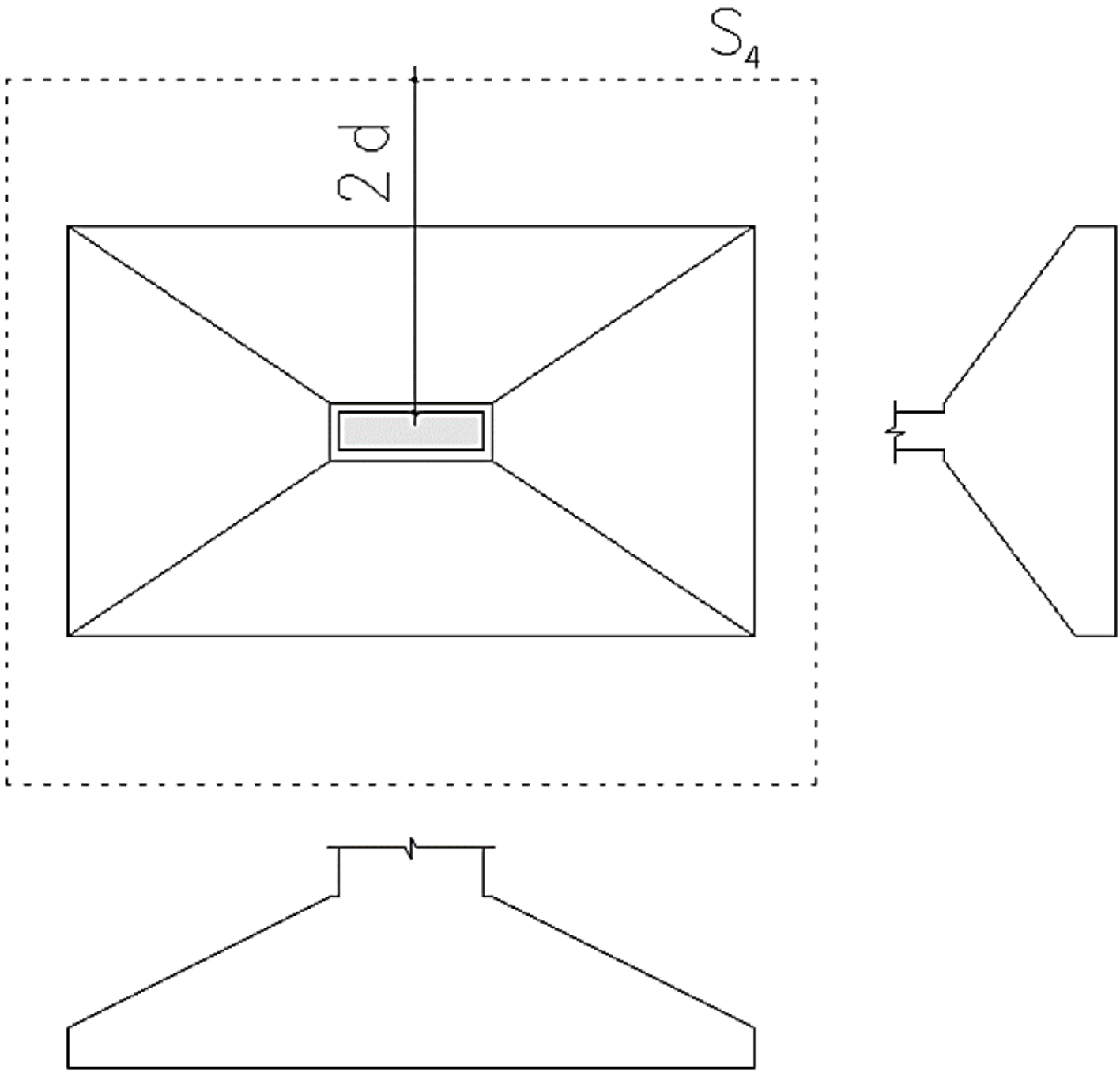
λ = redutor para concreto leve. Para concreto normal: 1,0.

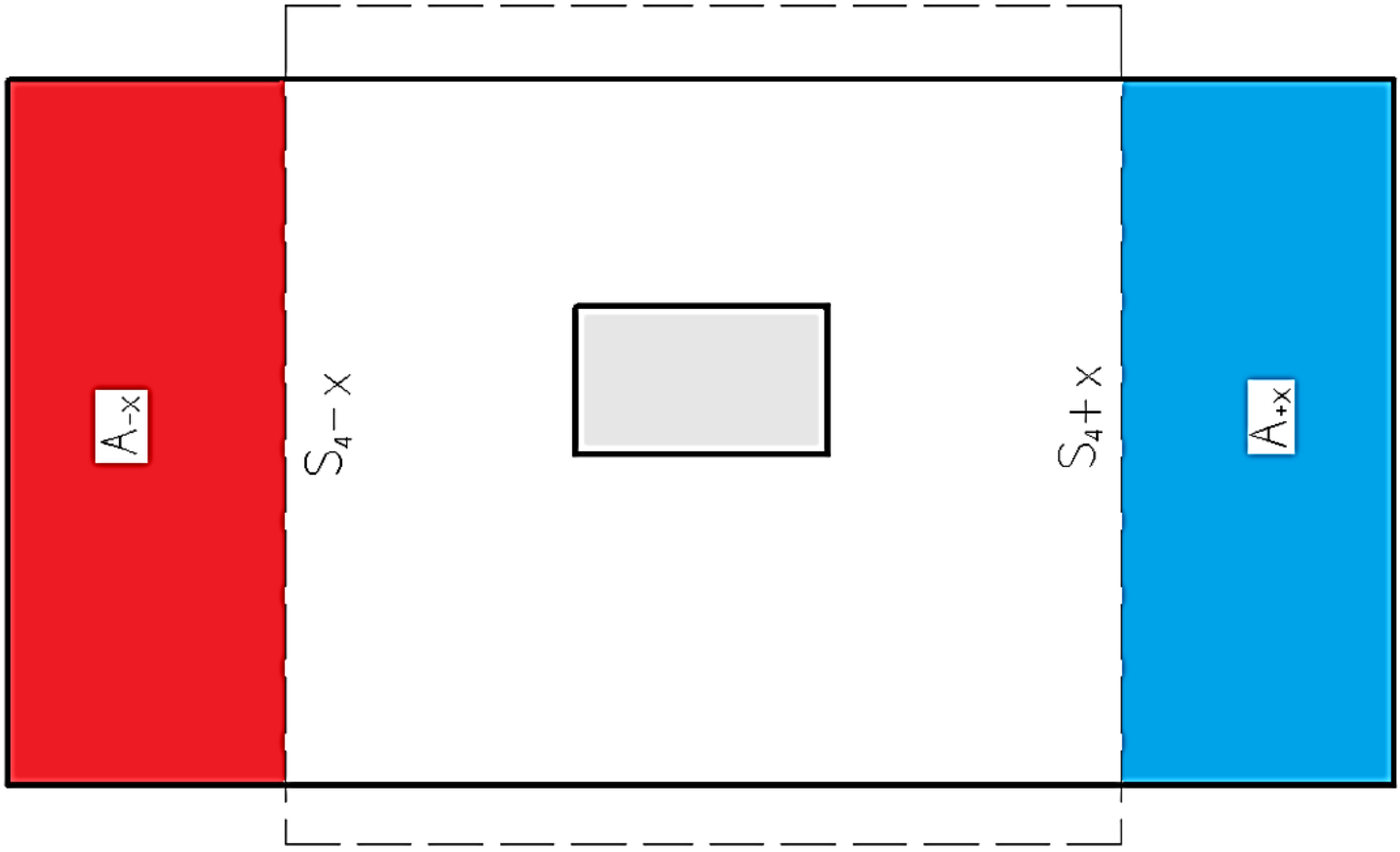
Os valores de $b_s$ e $d_s$ utilizados são dados de acordo com a figura a seguir:




# Casos Especiais

Em algumas situações, apesar da sapata ser classificada como flexível, o comprimento de sua aba é menor que *d*/2. Nestes casos não existe contorno $S_4$, não sendo calculado os esforços atuantes. Um exemplo é apresentado abaixo:


$S_4$
2d




# Verificação ao esmagamento

A verificação ao esmagamento é feita tomando apenas o carregamento vertical de cada uma das combinações de dimensionamento.

$$\emptyset\, B_n \geq B_u$$

## Valor limite

O valor limite de tensão para a verificação do esmagamento no pé do pilar é dado por:

O valor limite de tensão para a verificação do esmagamento dentro da sapata é dado por:

$$B_n = \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \cdot (0{,}85 \cdot f_c' \cdot A_1) \leq 2 \cdot (0{,}85 \cdot f_c' \cdot A_1)$$

Com:

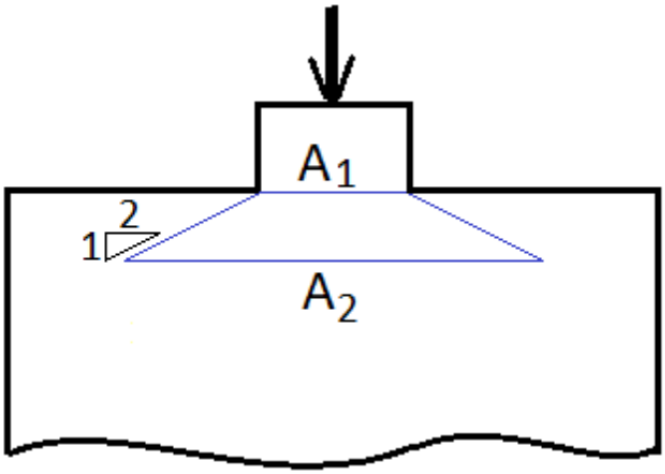
$A_1$ = área transversal do pilar;

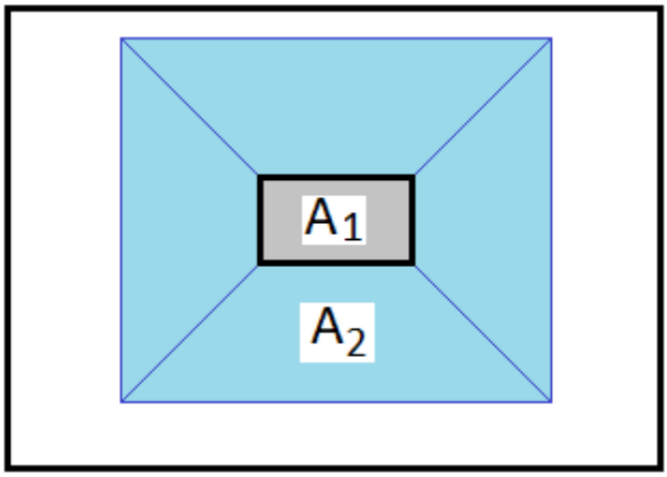
$A_2$ = área ampliada;

$\emptyset$ = fator de redução da resistência;

$f'_c$ = resistência do concreto a compressão.

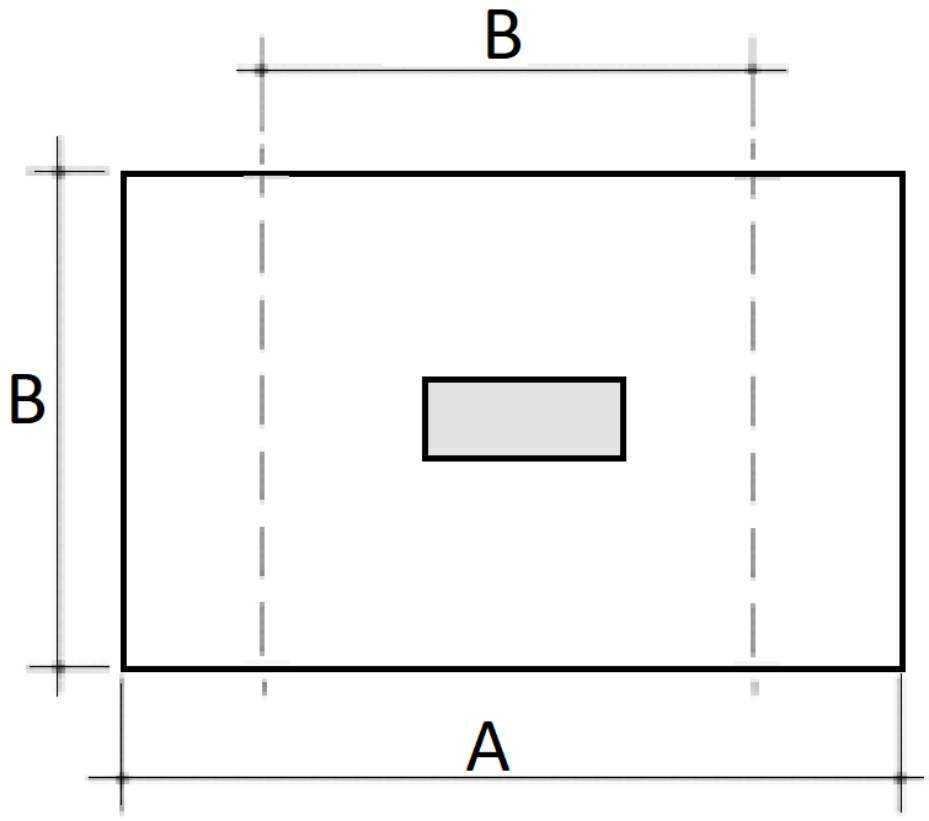
Os valores de $A_1$ e $A_2$ utilizados são dados de acordo com a figura a seguir:




## 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 . B'/(A + B') da área total $A_s$ seja colocada uniformemente distribuída na faixa central de largura B', conforme a seguir:




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:

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