

1.- DESCRIÇÃO.....	2
2.- VERIFICAÇÕES.....	2
2.1.- Perímetro do pilar (P5).....	2
2.1.1.- Zona adjacente ao pilar ou carga (combinações não sísmicas).....	2
2.2.- Perímetro de controlo (P5).....	4
2.2.1.- Zona com armadura transversal de punçoamento (combinações não sísmicas).....	4
2.3.- Perímetro da armadura de reforço (P5).....	6
2.3.1.- Zona exterior à armadura de punçoamento (combinações não sísmicas).....	6
2.4.- Armadura de reforço (P5).....	8
2.4.1.- Armaduras de punçoamento (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 9.4.3(2)) (combinações não sísmicas).....	8
2.4.2.- Distância livre entre dois varões isolados consecutivos.....	8
2.4.3.- Distância entre a face do pilar e o primeiro reforço de punçoamento.....	9
2.4.4.- Distância entre perímetros de reforço transversal consecutivos.....	9
2.4.5.- Distância entre dois reforços consecutivos em sentido perimetral.....	9

# Verificação do Estado Limite Último face ao punçoamento

## 1.- DESCRIÇÃO

Cálculo dos perímetros de punçoamento																													
	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">■ Perímetro do pilar (P5)</td> </tr> <tr> <td><math>u_0</math>:</td> <td>1200 mm</td> </tr> <tr> <td colspan="2">■ Perímetro de controlo</td> </tr> <tr> <td><math>u_1</math>:</td> <td>3899 mm</td> </tr> <tr> <td><math>x_G</math>:</td> <td>13210 mm</td> </tr> <tr> <td><math>y_G</math>:</td> <td>10304 mm</td> </tr> <tr> <td><math>W_{1x}</math>:</td> <td>15351.7 cm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td><math>W_{1y}</math>:</td> <td>15351.7 cm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td colspan="2">■ Perímetro da armadura de reforço</td> </tr> <tr> <td><math>u_{out,ef}</math>:</td> <td>3440 mm</td> </tr> <tr> <td><math>x_G</math>:</td> <td>13210 mm</td> </tr> <tr> <td><math>y_G</math>:</td> <td>10304 mm</td> </tr> <tr> <td><math>W_{out,ef,x}</math>:</td> <td>23260.1 cm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td><math>W_{out,ef,y}</math>:</td> <td>23260.1 cm<sup>2</sup></td> </tr> </table>	■ Perímetro do pilar (P5)		$u_0$ :	1200 mm	■ Perímetro de controlo		$u_1$ :	3899 mm	$x_G$ :	13210 mm	$y_G$ :	10304 mm	$W_{1x}$ :	15351.7 cm <sup>2</sup>	$W_{1y}$ :	15351.7 cm <sup>2</sup>	■ Perímetro da armadura de reforço		$u_{out,ef}$ :	3440 mm	$x_G$ :	13210 mm	$y_G$ :	10304 mm	$W_{out,ef,x}$ :	23260.1 cm <sup>2</sup>	$W_{out,ef,y}$ :	23260.1 cm <sup>2</sup>
	■ Perímetro do pilar (P5)																												
	$u_0$ :	1200 mm																											
	■ Perímetro de controlo																												
	$u_1$ :	3899 mm																											
	$x_G$ :	13210 mm																											
	$y_G$ :	10304 mm																											
	$W_{1x}$ :	15351.7 cm <sup>2</sup>																											
	$W_{1y}$ :	15351.7 cm <sup>2</sup>																											
	■ Perímetro da armadura de reforço																												
$u_{out,ef}$ :	3440 mm																												
$x_G$ :	13210 mm																												
$y_G$ :	10304 mm																												
$W_{out,ef,x}$ :	23260.1 cm <sup>2</sup>																												
$W_{out,ef,y}$ :	23260.1 cm <sup>2</sup>																												

## 2.- VERIFICAÇÕES

### 2.1.- Perímetro do pilar (P5)

#### 2.1.1.- Zona adjacente ao pilar ou carga (combinações não sísmicas)

Os esforços actuantes de cálculo desfavoráveis produzem-se para a combinação de acções

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot RP + 1.5 \cdot Qa.$$

Deve satisfazer:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,max}$$

$$1.39 \text{ MPa} \leq 4.50 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

Em que:

$v_{Ed}$ : Valor de cálculo da tensão tangencial ao longo da secção crítica considerada.

$$v_{Ed} : \underline{1.39} \text{ MPa}$$

$v_{Rd,max}$ : Valor de cálculo da resistência a punçoamento máxima ao longo da secção crítica considerada.

$$v_{Rd,max} : \underline{4.50} \text{ MPa}$$

O valor de cálculo da tensão tangencial ao longo da secção crítica considerada obtém-se da seguinte expressão (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 6.4.5):

$$v_{Ed} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_0 \cdot d}$$

$$v_{Ed} : \underline{1.39} \text{ MPa}$$

Em que:

$V_{Ed}$ : Valor de cálculo do esforço transversal produzido pelas acções exteriores.

$$V_{Ed} : \underline{355.34} \text{ kN}$$

$\beta$ : Coeficiente que tem em conta os efeitos da excentricidade da carga. (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 6.4.3).

$$\beta : \underline{1.01}$$

## Verificação do Estado Limite Último face ao punçoamento

$$\beta = 1 + k_x \cdot \frac{|M_{Edx}|}{|V_{Ed}|} \cdot \frac{u_1}{W_{1x}} + k_y \cdot \frac{|M_{Edy}|}{|V_{Ed}|} \cdot \frac{u_1}{W_{1y}}$$

$k_x$ : Coeficiente que depende da relação entre as dimensões  $c_y$  (dimensão na direcção do eixo  $y$ ) e  $c_x$  (dimensão na direcção do eixo  $x$ ) do pilar (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, Tabela 6.1).

$$k_x : \underline{0.60}$$

$k_y$ : Coeficiente que depende da relação entre as dimensões  $c_x$  (dimensão na direcção do eixo  $x$ ) e  $c_y$  (dimensão na direcção do eixo  $y$ ) do pilar (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, Tabela 6.1).

$$k_y : \underline{0.60}$$

$M_{Edx}$ : Momento de cálculo em torno do eixo  $x$ , em relação ao centro de gravidade do primeiro perímetro de controlo  $u_1$ .

$$M_{Edx} = M_{EdOx} + V_{Ed} \cdot y_G$$

$$M_{Edx} : \underline{0.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{Edy}$ : Momento de cálculo em torno do eixo  $y$ , em relação ao centro de gravidade do primeiro perímetro de controlo  $u_1$ .

$$M_{Edy} = M_{EdOy} - V_{Ed} \cdot x_G$$

$$M_{Edy} : \underline{-2.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{EdOx}$ : Momento de cálculo em torno do eixo  $x$ , em relação ao centro de gravidade do pilar.

$$M_{EdOx} : \underline{0.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{EdOy}$ : Momento de cálculo em torno do eixo  $y$ , em relação ao centro de gravidade do pilar.

$$M_{EdOy} : \underline{-2.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$x_G$ : Coordenada  $x$  do centro de gravidade do primeiro perímetro de controlo  $u_1$  em relação ao centro do pilar.

$$x_G : \underline{13210} \text{ mm}$$

$y_G$ : Coordenada  $y$  do centro de gravidade do primeiro perímetro de controlo  $u_1$  em relação ao centro do pilar.

$$y_G : \underline{10304} \text{ mm}$$

$u_1$ : Primeiro perímetro de controlo de punçoamento (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 6.4.2).

$$u_1 : \underline{3899} \text{ mm}$$

$$W_{1x} = \int_0^{u_1} |e_y| \cdot dl$$

$$W_{1x} : \underline{15351.7} \text{ cm}^2$$

$dl$ : Elemento diferencial de comprimento do primeiro perímetro de controlo.

$e_y$ : Distância desde  $dl$  até ao eixo em torno do qual actua o momento  $M_{Edx}$ .

$$W_{1y} = \int_0^{u_1} |e_x| \cdot dl$$

$$W_{1y} : \underline{15351.7} \text{ cm}^2$$

$e_x$ : Distância desde  $dl$  até ao eixo em torno do qual actua o momento  $M_{Edy}$ .

$u_0$ : Primeiro perímetro de controlo de verificação da zona adjacente ao pilar ou carga (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 6.4.5).

$$u_0 : \underline{1200} \text{ mm}$$

$d$ : Altura útil da laje.

$$d : \underline{215} \text{ mm}$$

O valor de cálculo da resistência a punçoamento máxima ao longo da secção crítica considerada obtém-se da seguinte expressão (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 6.4.5):

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot v \cdot f_{cd}$$

$$V_{Rd,max} : \underline{4.50} \text{ MPa}$$

$$v = 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

$$n : \underline{0.54}$$

Em que:

## Verificação do Estado Limite Último face ao punçoamento

$f_{ck}$ : Resistência característica à compressão do betão.

$f_{ck}$  : 25.00 MPa

$f_{cd}$ : Resistência de cálculo à compressão do betão.

$f_{cd}$  : 16.67 MPa

### 2.2.- Perímetro de controlo (P5)

#### 2.2.1.- Zona com armadura transversal de punçoamento (combinações não sísmicas)

Os esforços actuantes de cálculo desfavoráveis produzem-se para a combinação de acções

1.35·PP+1.35·RP+1.5·Qa.

Deve satisfazer:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,cs}$$

0.43 MPa ≤ 1.32 MPa ✓

Em que:

$V_{Ed}$ : Valor de cálculo da tensão tangencial ao longo da secção crítica considerada.

$V_{Ed}$  : 0.43 MPa

$V_{Rd,cs}$ : Valor de cálculo da resistência a punçoamento de uma laje com armadura de punçoamento ao longo da secção crítica considerada.

$V_{Rd,cs}$  : 1.32 MPa

O valor de cálculo da tensão tangencial ao longo da secção crítica considerada obtém-se da seguinte expressão (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 6.4.3):

$$v_{Ed} = \frac{|\beta \cdot V_{Ed}|}{u_1 \cdot d}$$

$v_{Ed}$  : 0.43 MPa

Em que:

$V_{Ed}$ : Valor de cálculo do esforço transversal produzido pelas acções exteriores.

$V_{Ed}$  : 355.34 kN

$\beta$ : Coeficiente que tem em conta os efeitos da excentricidade da carga. (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 6.4.3).

$\beta$  : 1.01

$$\beta = 1 + k_x \cdot \frac{|M_{Edx}|}{|V_{Ed}|} \cdot \frac{u_1}{W_{1x}} + k_y \cdot \frac{|M_{Edy}|}{|V_{Ed}|} \cdot \frac{u_1}{W_{1y}}$$

$k_x$ : Coeficiente que depende da relação entre as dimensões  $c_y$  (dimensão na direcção do eixo y) e  $c_x$  (dimensão na direcção do eixo x) do pilar (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, Tabela 6.1).

$k_x$  : 0.60

$k_y$ : Coeficiente que depende da relação entre as dimensões  $c_x$  (dimensão na direcção do eixo x) e  $c_y$  (dimensão na direcção do eixo y) do pilar (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, Tabela 6.1).

$k_y$  : 0.60

$M_{Edx}$ : Momento de cálculo em torno do eixo x, em relação ao centro de gravidade do primeiro perímetro de controlo  $u_1$ .

$$M_{Edx} = M_{EdOx} + V_{Ed} \cdot Y_G$$

$M_{Edx}$  : 0.78 kN·m

$M_{Edy}$ : Momento de cálculo em torno do eixo y, em relação ao centro de gravidade do primeiro perímetro de controlo  $u_1$ .

$$M_{Edy} = M_{EdOy} - V_{Ed} \cdot X_G$$

$M_{Edy}$  : -2.34 kN·m

$M_{EdOx}$ : Momento de cálculo em torno do eixo x, em relação ao centro de gravidade do pilar.

$M_{EdOx}$  : 0.78 kN·m

$M_{EdOy}$ : Momento de cálculo em torno do eixo y, em relação ao centro de gravidade do pilar.

$M_{EdOy}$  : -2.34 kN·m

$X_G$ : Coordenada x do centro de gravidade do primeiro perímetro de controlo  $u_1$  em relação ao centro do pilar.

$X_G$  : 13210 mm

## Verificação do Estado Limite Último face ao punçoamento

$y_G$ : Coordenada y do centro de gravidade do primeiro perímetro de controlo  $u_1$  em relação ao centro do pilar.

$$y_G : \underline{10304} \text{ mm}$$

$u_1$ : Primeiro perímetro de controlo de punçoamento (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 6.4.2).

$$u_1 : \underline{3899} \text{ mm}$$

$$W_{1x} = \int_0^{u_1} |e_y| \cdot dl$$

$$W_{1x} : \underline{15351.7} \text{ cm}^2$$

dl: Elemento diferencial de comprimento do primeiro perímetro de controlo.

$e_y$ : Distância desde dl até ao eixo em torno do qual actua o momento  $M_{Edx}$ .

$$W_{1y} = \int_0^{u_1} |e_x| \cdot dl$$

$$W_{1y} : \underline{15351.7} \text{ cm}^2$$

$e_x$ : Distância desde dl até ao eixo em torno do qual actua o momento  $M_{Edy}$ .

d: Altura útil da laje.

$$d : \underline{215} \text{ mm}$$

O valor de cálculo da resistência a punçoamento de uma laje com armadura de punçoamento ao longo da secção crítica considerada obtém-se da seguinte expressão (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 6.4.5):

$$v_{Rd,cs} = 0.75 \cdot v_{Rd,c} + 1.5 \cdot \frac{\sum \left( \frac{A_{sw}}{s_r} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \sin \alpha \right)}{u_1}$$

$$v_{Rd,cs} : \underline{1.32} \text{ MPa}$$

Em que:

$$v_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + 0.1 \cdot \sigma_{cp}$$

$$v_{Rd,c} : \underline{0.51} \text{ MPa}$$

com um valor mínimo de:

$$v_{Rd,c,min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} + 0.1 \cdot \sigma_{cp}$$

$$v_{Rd,c,min} : \underline{0.48} \text{ MPa}$$

Em que:

$g_c$ : Coeficiente de minoração da resistência do betão.

$$g_c : \underline{1.50}$$

k: Coeficiente que depende da altura útil 'd'.

$$k : \underline{1.96}$$

$$k = \left( 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right) \leq 2$$

$f_{ck}$ : Resistência característica à compressão do betão.

$$f_{ck} : \underline{25.00} \text{ MPa}$$

$r_l$ : Quantidade geométrica da armadura longitudinal principal de tracção.

$$r_l : \underline{0.0040}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} \leq 0.02$$

Em que:

$r_{lx}$ : Quantidade na direcção X.

$$r_{lx} : \underline{0.0045}$$

$r_{ly}$ : Quantidade na direcção Y.

$$r_{ly} : \underline{0.0036}$$

$\sigma_{cp}$ : Tensão axial média na superfície crítica de verificação (compressão positiva), com um valor máximo de  $\sigma_{cp,max}$ .

$$\sigma_{cp} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp,max} = 0.20 \cdot f_{cd}$$

$$\sigma_{cp,max} : \underline{3.33} \text{ MPa}$$

$f_{cd}$ : Resistência de cálculo à compressão do betão.

$$f_{cd} : \underline{16.67} \text{ MPa}$$

## Verificação do Estado Limite Último face ao punçoamento

$A_{sw}$ : Área total de armadura de punçoamento num perímetro concêntrico ao pilar ou área carregada.

$s_r$ : Distância em direcção radial entre dois perímetros concêntricos de armadura.

$\alpha$ : Ângulo entre a armadura de punçoamento e o plano da laje.

Referência	$A_{sw}$ (mm <sup>2</sup> )	$s_r$ (mm)	$\alpha$ (graus)	$A_{sw}/s_r$ (cm <sup>2</sup> /m)
1	402	100	90.0	40.2
1	402	100	90.0	40.2

$f_{ywd,ef}$ : Valor de cálculo da resistência eficaz da armadura de punçoamento.

$f_{ywd,ef}$  : 304.00 MPa

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0.25 \cdot d \leq f_{ywd}$$

$f_{ywd}$ : Valor de cálculo da tensão de cedência das armaduras de esforço transverso.

$$f_{ywd} = 0.8 \cdot f_{ywk}$$

$f_{ywd}$  : 320.00 MPa

(NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 6.2.3(3))

$f_{ywk}$  : 400.00 MPa

$u_1$ : Primeiro perímetro de controlo de punçoamento (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 6.4.2).

$u_1$  : 3899 mm

Produzido por uma versão para demonstração de CYPE

### 2.3.- Perímetro da armadura de reforço (P5)

#### 2.3.1.- Zona exterior à armadura de punçoamento (combinações não sísmicas)

Os esforços actuantes de cálculo desfavoráveis produzem-se para a combinação de acções

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot RP + 1.5 \cdot Qa.$$

Deve satisfazer:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

0.49 MPa ≤ 0.51 MPa ✓

Em que:

$V_{Ed}$ : Valor de cálculo da tensão tangencial ao longo da secção crítica considerada.

$V_{Ed}$  : 0.49 MPa

$V_{Rd,c}$ : Valor de cálculo da resistência a punçoamento de uma laje sem armadura de punçoamento ao longo da secção crítica considerada.

$V_{Rd,c}$  : 0.51 MPa

O valor de cálculo da tensão tangencial ao longo da secção crítica

considerada obtém-se da seguinte expressão (NP EN

1992-1-1:2010/NA:2010, 6.4.5):

$$V_{Ed} = \frac{|\beta \cdot V_{Ed}|}{u_{out,ef} \cdot d}$$

$V_{Ed}$  : 0.49 MPa

Em que:

$V_{Ed}$ : Valor de cálculo do esforço transverso produzido pelas acções exteriores.

$V_{Ed}$  : 355.34 kN

$\beta$ : Coeficiente que tem em conta os efeitos da excentricidade da carga. (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 6.4.3).

$\beta$  : 1.01

## Verificação do Estado Limite Último face ao punçoamento

$$\beta = 1 + k_x \cdot \frac{|M_{Edx}|}{|V_{Ed}|} \cdot \frac{u_{out,ef}}{W_{out,ef,x}} + k_y \cdot \frac{|M_{Edy}|}{|V_{Ed}|} \cdot \frac{u_{out,ef}}{W_{out,ef,y}}$$

$k_x$ : Coeficiente que depende da relação entre as dimensões  $c_y$  (dimensão na direcção do eixo y) e  $c_x$  (dimensão na direcção do eixo x) do pilar (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, Tabela 6.1).

$$k_x : \underline{0.60}$$

$k_y$ : Coeficiente que depende da relação entre as dimensões  $c_x$  (dimensão na direcção do eixo x) e  $c_y$  (dimensão na direcção do eixo y) do pilar (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, Tabela 6.1).

$$k_y : \underline{0.60}$$

$M_{Edx}$ : Momento de cálculo em torno do eixo x, em relação ao centro de gravidade do primeiro perímetro de controlo  $u_{out,ef}$ .

$$M_{Edx} = M_{EdOx} + V_{Ed} \cdot y_G$$

$$M_{Edx} : \underline{0.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{Edy}$ : Momento de cálculo em torno do eixo y, em relação ao centro de gravidade do primeiro perímetro de controlo  $u_{out,ef}$ .

$$M_{Edy} = M_{EdOy} - V_{Ed} \cdot x_G$$

$$M_{Edy} : \underline{-2.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{EdOx}$ : Momento de cálculo em torno do eixo x, em relação ao centro de gravidade do pilar.

$$M_{EdOx} : \underline{0.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{EdOy}$ : Momento de cálculo em torno do eixo y, em relação ao centro de gravidade do pilar.

$$M_{EdOy} : \underline{-2.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$x_G$ : Coordenada x do centro de gravidade do primeiro perímetro de controlo  $u_{out,ef}$  em relação ao centro do pilar.

$$x_G : \underline{13210} \text{ mm}$$

$y_G$ : Coordenada y do centro de gravidade do primeiro perímetro de controlo  $u_{out,ef}$  em relação ao centro do pilar.

$$y_G : \underline{10304} \text{ mm}$$

$u_{out,ef}$ : Primeiro perímetro de controlo exterior à armadura de punçoamento (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 6.4.5).

$$u_{out,ef} : \underline{3440} \text{ mm}$$

$$W_{out,ef,x} = \int_0^{u_{out,ef}} |e_y| \cdot dl$$

$$W_{out,ef,x} : \underline{23260.1} \text{ cm}^2$$

dl: Elemento diferencial de comprimento do primeiro perímetro de controlo.

$e_y$ : Distância desde dl até ao eixo em torno do qual actua o momento  $M_{Edx}$ .

$$W_{out,ef,y} = \int_0^{u_{out,ef}} |e_x| \cdot dl$$

$$W_{out,ef,y} : \underline{23260.1} \text{ cm}^2$$

$e_x$ : Distância desde dl até ao eixo em torno do qual actua o momento  $M_{Edy}$ .

d: Altura útil da laje.

$$d : \underline{215} \text{ mm}$$

O valor de cálculo da resistência a punçoamento de uma laje sem armadura de punçoamento ao longo da secção crítica considerada obtém-se da seguinte expressão (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 6.4.4):

$$v_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + 0.1 \cdot \sigma_{cp}$$

$$v_{Rd,c} : \underline{0.51} \text{ MPa}$$

com um valor mínimo de:

$$v_{Rd,c,min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} + 0.1 \cdot \sigma_{cp}$$

$$v_{Rd,c,min} : \underline{0.48} \text{ MPa}$$

Em que:

$g_c$ : Coeficiente de minoração da resistência do betão.

$$g_c : \underline{1.50}$$

## Verificação do Estado Limite Último face ao punçoamento

k: Coeficiente que depende da altura útil 'd'.

k : 1.96

$$k = \left( 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right) \leq 2$$

$f_{ck}$ : Resistência característica à compressão do betão.

$f_{ck}$  : 25.00 MPa

$r_l$ : Quantidade geométrica da armadura longitudinal principal de tracção.

$r_l$  : 0.0040

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} \leq 0.02$$

Em que:

$r_{lx}$ : Quantidade na direcção X.

$r_{lx}$  : 0.0045

$r_{ly}$ : Quantidade na direcção Y.

$r_{ly}$  : 0.0036

$s_{cp}$ : Tensão axial média na superfície crítica de verificação (compressão positiva), com um valor máximo de  $\sigma_{cp,max}$ .

$s_{cp}$  : 0.00 MPa

$$\sigma_{cp,max} = 0.20 \cdot f_{cd}$$

$s_{cp,max}$  : 3.33 MPa

$f_{cd}$ : Resistência de cálculo à compressão do betão.

$f_{cd}$  : 16.67 MPa

Produzido por uma versão para demonstração de CYPE

### 2.4.- Armadura de reforço (P5)

#### 2.4.1.- Armaduras de punçoamento (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 9.4.3(2)) (combinações não sísmicas)

Quando é necessária armadura de punçoamento, a área de um ramo de um estribo (ou equivalente),  $A_{sw,min}$ , é obtida pela expressão (9.11).

$$A_{sw,min} \cdot (1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) / (s_r \cdot s_t) \geq 0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} \quad (9.11) \quad \checkmark$$

$$\rho_w = A_{sw,min} \cdot (1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) / (s_r \cdot s_t)$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}$$

Referência	$A_{sw}$ (mm <sup>2</sup> )	$s_r$ (mm)	$s_t$ (mm)	$\alpha$ (graus)	$\rho_w$	$\rho_{w,min}$	$\rho_w \geq \rho_{w,min}$
1	50	100	139	90.0	0.0054	0.0010	
1	50	100	139	90.0	0.0054	0.0010	

em que:

$A_{sw}$ : a área de um ramo de um estribo (ou equivalente).

$\alpha$ : Ângulo entre a armadura de punçoamento e a armadura principal (ou seja, para estribos verticais  $\alpha = 90^\circ$  e  $\sin \alpha = 1$ ).

$s_r$ : Espaçamento dos estribos na direcção radial.

$s_t$ : Espaçamento dos estribos na direcção tangencial.

$f_{ck}$ : Em MPa

$f_{ck}$  : 25.00 MPa

#### 2.4.2.- Distância livre entre dois varões isolados consecutivos

A distância livre  $d_{li}$ , horizontal e vertical, entre dois varões isolados consecutivos deve ser igual ou superior a  $s_{min}$  (8.2(2),  $d_g$ ):



## Verificação do Estado Limite Último face ao punçoamento

$$d_l \geq s_{\min}$$

$$92 \text{ mm} \geq 20 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Em que:

$s_{\min}$ : Valor máximo de  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$ .

$$s_{\min} : \underline{20} \text{ mm}$$

$$s_1 = \varnothing_{\max}$$

$$s_1 : \underline{8} \text{ mm}$$

$$s_2 = 5 + d_g$$

$$s_2 : \underline{20} \text{ mm}$$

$$s_3 = 20 \text{ mm}$$

$$s_3 : \underline{20} \text{ mm}$$

Sendo:

NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010:  
Dimensão máxima do agregado.

$$\text{NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010} : \underline{15} \text{ mm}$$

$\varnothing_{\max}$ : Diâmetro máximo dos varões transversais.

$$\varnothing_{\max} : \underline{8} \text{ mm}$$

	$d_l$ (mm)	$s_{\min}$ (mm)	$\varnothing_{\max}$ (mm)	
1	92	20	8	$\checkmark$
1	92	20	8	$\checkmark$

Produzido por uma versão para demonstração de CYPE

### 2.4.3.- Distância entre a face do pilar e o primeiro reforço de punçoamento

A distância entre a face do pilar ou área carregada e o primeiro reforço de punçoamento não pode ser superior a  $s_{\max}$  (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 9.4.3):

$$d_l \leq s_{\max}$$

$$50 \text{ mm} \leq 108 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Em que:

$$s_{\max} = 0.5 \cdot d$$

$$s_{\max} : \underline{108} \text{ mm}$$

d: Altura útil da laje.

$$d : \underline{215} \text{ mm}$$

### 2.4.4.- Distância entre perímetros de reforço transversal consecutivos

A distância  $d_l$  entre perímetros de reforço transversal consecutivos deve ser, como máximo, igual a  $s_{\max}$  (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 9.4.3):

$$d_l \leq s_{\max}$$

$$100 \text{ mm} \leq 161 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Em que:

$$s_{\max} = 0.75 \cdot d$$

$$s_{\max} : \underline{161} \text{ mm}$$

d: Altura útil da laje.

$$d : \underline{215} \text{ mm}$$

### 2.4.5.- Distância entre dois reforços consecutivos em sentido perimetral

A distância  $d_l$  entre dois reforços consecutivos em sentido perimetral não pode ser superior a  $s_{\max}$  (NP EN 1992-1-1:2010/NA:2010, 9.4.3):

$$d_l \leq s_{\max}$$

$$139 \text{ mm} \leq 323 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Em que:

## Verificação do Estado Limite Último face ao punçoamento

$$s_{\max} = 1.5 \cdot d$$

d: Altura útil da laje.

$$s_{\max} : \underline{323} \text{ mm}$$

$$d : \underline{215} \text{ mm}$$