

## ACI 318-14 e ACI 318-19

O cálculo de punção no TQS para o ACI contém simplificações e deve ser considerado como um pré-dimensionamento indicativo da necessidade de armadura. O TQS não detalha a armadura final de punção. Fica a cargo do engenheiro a verificação e detalhamento final.

## Subperímetros de punção e medição da tensão de cisalhamento

O TQS determina de maneira genérica o valor da tensão de cisalhamento distribuída em um perímetro, em função da força cortante medida nas barras da grelha interceptadas pelo perímetro considerado. Para que a tensão medida não seja distribuída em excesso, os perímetros são quebrados em subperímetros, conforme uma regra com distância parametrizada.

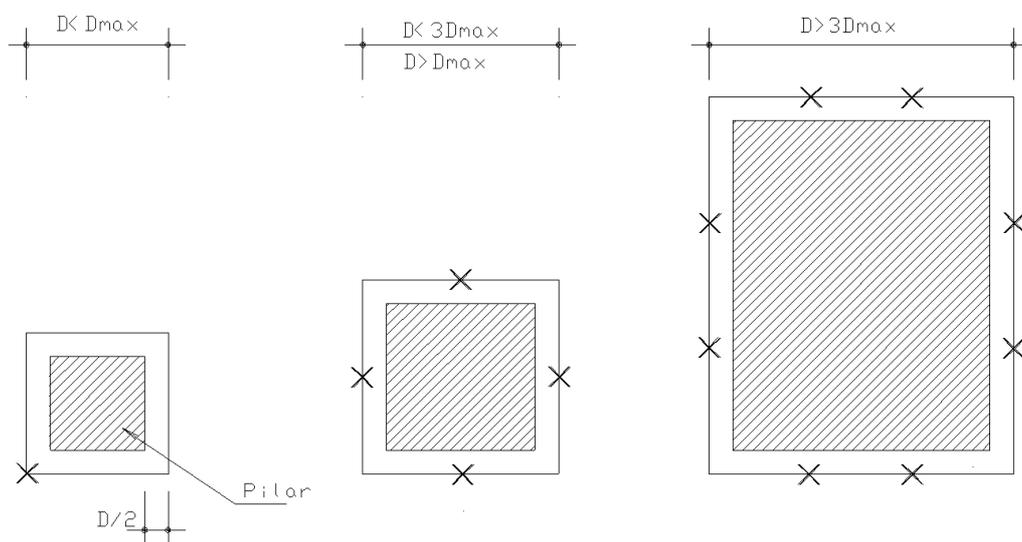
Seja  $d$  a altura útil da laje. Esta altura é a altura total da laje, menos o cobrimento da armadura negativa, menos meia bitola de flexão, estimada em 10 mm.

Trabalhamos com até dois perímetros de punção. No primeiro perímetro, localizado a  $d/2$  do perímetro do pilar, verificaremos se a seção necessita armadura de punção, o valor da armadura, e possivelmente se a seção não passa no dimensionamento e a laje precisa ser redimensionada.

Sendo necessária armadura de punção, será determinado se existir, um segundo perímetro, onde a tensão resistente do concreto não exige mais armadura de punção.

## Geração de subperímetros de punção

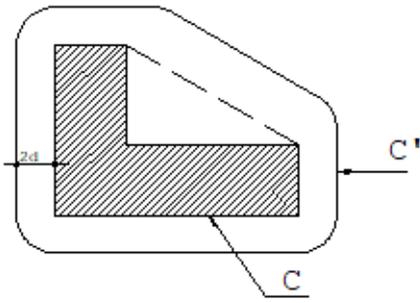
O primeiro perímetro está a  $d/2$  do contorno do pilar. O programa define cada face do perímetro sem divisões, com uma divisão ou com duas divisões, conforme o comprimento da face seja menor que  $D_{max}$  ou  $3D_{max}$ . A distância  $D_{max}$  multiplica a altura útil  $d$  e é parametrizada, valendo por padrão 1.5.



As divisões marcadas nas faces delimitam um subperímetro. Cada subperímetro consiste no caminho entre estas divisões.

## Eliminação de concavidades

Os contornos críticos em volta do pilar devem ser convexos. O primeiro perímetro crítico a  $d/2$  do contorno do pilar tem as concavidades removidas:



## Verificação da necessidade de armaduras

Para que um apoio de laje sobre pilar seja dispensado de armadura de punção, é necessário que (ACI 318-14M 22.6.5.2 e ACI 318-19M 22.6.1.4):

$$\frac{v_u}{\phi} < v_n$$

onde,

$$v_u = \frac{V_d}{b_{0s} * d}$$

$V_d$ : força cortante de cálculo em MPa

$b_{0s}$ : subperímetro de punção onde  $V_d$  foi medido, cm

$d$ : altura útil da laje, cm

$\phi$ : Fator de redução da resistência à punção. Padrão 0.75 (critério) (ACI 318-14M 22.2.1 e ACI 318-19M 21.2.1)

$v_n$ : menor valor entre as expressões:

ACI 318-14M 22.6.6.2:

$$\left(2 + \frac{4}{\beta}\right) * \lambda * \frac{\sqrt{F'_c}}{12}$$

$$\left(\alpha_s * \frac{d}{b_0} + 2\right) * \lambda * \frac{\sqrt{F'_c}}{12}$$

$$\lambda * \frac{\sqrt{F'_c}}{3}$$

ACI 318-19M 22.6.5.2:

$$\left(2 + \frac{4}{\beta}\right) * \lambda * \lambda_s * \frac{\sqrt{F'_c}}{12}$$

$$\left(\alpha_s * \frac{d}{b_0} + 2\right) * \lambda * \lambda_s * \frac{\sqrt{F'_c}}{12}$$

$$\lambda_s * \lambda * \frac{\sqrt{F'_c}}{3}$$

$\beta$ : Relação entre maior e menor lado de pilar retangular. Para pilares não retangulares, considerar dimensões de retângulo envolvente na direção principal.

$\lambda$ : Redutor para concreto leve. Padrão 1.0 (critério)

$F'_c$ : Resistência característica do concreto MPa

$b_0$ : Perímetro de punção completo do pilar, cm

$\alpha_s$ : Vale 40 para pilares internos, 30 para pilares intermediários em contorno, 20 para pilares de canto. Por

simplificação, é determinado pelo número de direções diferentes do perímetro de punção: quatro ou mais, três ou duas.

$\lambda_s$ : Fator para considerar "size effect" (ACI 318-19M 22.5.5.1.3):  $\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1+0,004d}} \leq 1$ .

## Limite na resistência dos materiais

No cálculo da armadura de punção, serão consideradas resistências limitadas, por critério, a:

$F'_c$ : Resistência característica do concreto  $\leq 69$  MPa (ACI 318-14M 22.6.3.1 e ACI 318-19M 22.6.3.1)

$F_y$ : Resistência característica do aço de punção  $\leq 420$  Mpa (ACI 318-14M 20.2.2.4 e ACI 318-19M 22.6.3.2/20.2.2.4)

## Limite para dimensionar

O programa trabalha com o cálculo de estribos e de conectores, definidos por critério. Os limites de  $v_u/\phi$  são (ACI 318-14M 22.6.6.2 e ACI 318-19M 22.6.6.3):

Estribos:  $1./2. \cdot \sqrt{F'_c}$

Conectores:  $2./3. \cdot \sqrt{F'_c}$

Com tensões acima deste limite, a laje precisa ter dimensões ou cargas alteradas. O uso de estribos exige altura útil  $d \geq 15$ cm e  $d \geq 16\phi$  do estribo.

## Cálculo da armadura de punção

A armadura de punção será distribuída pelo sistema exclusivamente de maneira ortogonal às faces do pilar. Uma vez distribuída a armadura, será formado um novo perímetro de punção, a  $d/2$  de uma linha ligando o contorno externo das armaduras. Este novo perímetro deverá obedecer ao limite de tensões abaixo:

ACI 318-14M 22.6.6.1:

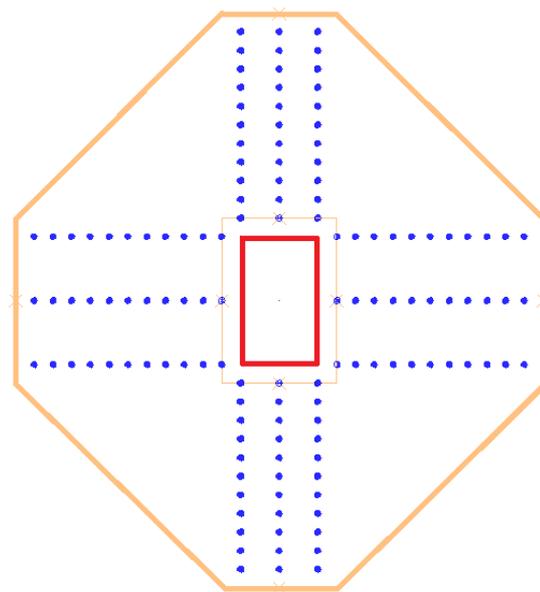
$$\frac{v_u}{\phi} < \frac{\sqrt{F'_c}}{6.}$$

ACI 318-19M 22.6.6.1:

$$\frac{v_u}{\phi} < \lambda \lambda_s \frac{\sqrt{F'_c}}{6.}$$

Partindo da distância de  $4.5d$  das faces do pilar (critério), e verificando a cada  $d$ , o programa criará perímetros até que um atenda as condições acima. Se não for localizado, a laje será considerada como não dimensionável.

132 Ø 10



Caso contrário, serão distribuídas armaduras de punção partindo do primeiro perímetro a  $d/2$  do pilar, e avançando a menos de  $d/2$  do perímetro externo. A tensão resistente do concreto na presença de armadura de punção será calculada por:

ACI 318-14M 22.6.6.1:

Estribos:  $v_c = \lambda * \sqrt{F'_c} / 6.$

Conectores:  $v_c = \lambda * \sqrt{F'_c} / 4.$

ACI 318-19M 22.6.6.1:

Estribos:  $v_c = \lambda_s * \lambda * \sqrt{F'_c} / 6.$

Conectores: Menor valor entre as expressões:

$$\left(2 + \frac{4}{\beta}\right) * \lambda * \lambda_s * \frac{\sqrt{F'_c}}{12}$$

$$\left(\alpha_s * \frac{d}{b_0} + 2.\right) * \lambda * \lambda_s * \frac{\sqrt{F'_c}}{12}.$$

$$\lambda_s * \lambda * \frac{\sqrt{F'_c}}{4}.$$

A tensão resistente da armadura de punção terá então que ser maior ou igual a:

$$v_s \geq \frac{v_u}{\phi} - v_c$$

A armadura distribuída por unidade de comprimento será calculada por (ACI 318-14M 22.6.7.2/22.6.8.2 e ACI 318-19M 22.6.7.2/22.6.8.2):

$$\frac{A_v}{s} \geq v_s * \frac{b_0}{F_{yt}}$$

onde  $s$  é o espaçamento entre as barras em uma linha ortogonal à face do pilar. Em caso de uso de conectores, temos ainda a seguinte limitação (ACI 318-14M 22.6.8.3 e ACI 318-19M 22.6.8.3):

$$\frac{A_v}{s} \geq 0.17 * \sqrt{F'_c} * b_0 / F_{yt}$$

A primeira barra de armadura deve ser colocada no primeiro perímetro, a  $d/2$  das faces dos pilares. O espaçamento

s deve obedecer:

Estribos:  $s \leq 0.50d$

Conectores:  $s \leq 0.50d$  se  $\frac{v_u}{\phi} > 0.5 * \sqrt{F'_c}$  (ACI 318-14M 8.7.7.1.2 e ACI 318-19M 8.7.7.1.2)

$s \leq 0.75d$  se  $\frac{v_u}{\phi} \leq 0.5 * \sqrt{F'_c}$

A distância entre linhas de armaduras deve ser inferior a 2d (ACI 318-14M 8.7.6.3 e ACI 318-19M 8.7.6.3 e 8.7.7.1.2).

Dada uma relação  $\frac{A_v}{s}$ , o programa partirá da tabela de espaçamentos preferenciais (critério) e testará qual bitola de punção (critério) atende à relação acima, se necessário testando outros espaçamentos.

O programa indica a posição das armaduras, mas não detalha.

## Valores listados pela Edição Rápida de armaduras

No perímetro a d/2 das faces de um pilar, são listados:

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| INSUFICIENTE                        | Caso não seja possível dimensionar este apoio |
| $b_0=61\text{cm}$ $d=20.5\text{cm}$ | Comprimento do subperímetro, altura útil.     |
| $v_u/t$ 3.18MPa                     | Valor de $\frac{v_u}{\phi}$                   |
| $v_n$ 1.04MPa                       | Valor limite para não usar armadura de punção |
| $v_{nmx}$ 2.98MPa                   | Valor limite para dimensionar a laje          |

No perímetro externo às armaduras de punção, são listados:

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| $b_0=192\text{cm}$ $d=20.5\text{cm}$ | Comprimento do subperímetro, altura útil.             |
| $v_c$ .75MPa                         | Tensão resistente do concreto no perímetro            |
| $v_u/t$ 0.07MPa                      | Valor de $\frac{v_u}{\phi}$                           |
| dist 4.50d                           | Distância do perímetro às faces do pilar, função de d |