

Dimensionamento de Lajes à Punção

1. Introdução

Esta DicaTQS tem por objetivo demonstrar, através de um exemplo, como é feito o dimensionamento de lajes à punção nos Sistemas TQS.

O modelo de cálculo da NBR 6118:2003 corresponde à verificação do cisalhamento em duas ou mais superfícies críticas definidas no entorno de forças concentradas, como mostra a figura abaixo:

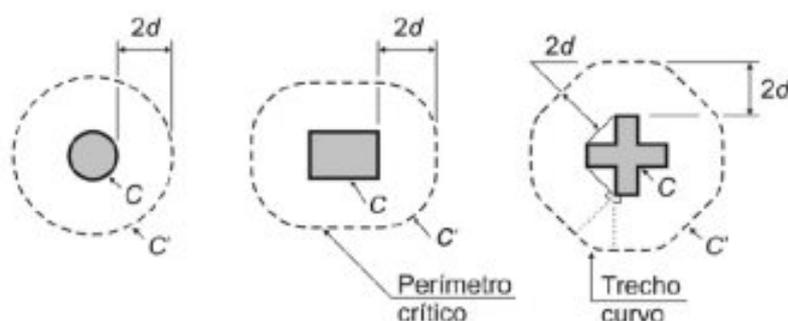


Figura 1

Nos Sistemas TQS os perímetros críticos C , C' , C'' e subsequentes, mostrados acima, são divididos em perímetros menores (sub-perímetros) para obtenção da tensão de cisalhamento a partir dos esforços da grelha. Assim, a tensão de cisalhamento para verificação da laje à punção é calculada pela somatória das forças cortantes, nos pontos de intersecção das barras da grelha com os sub-perímetros, como mostrado a seguir:

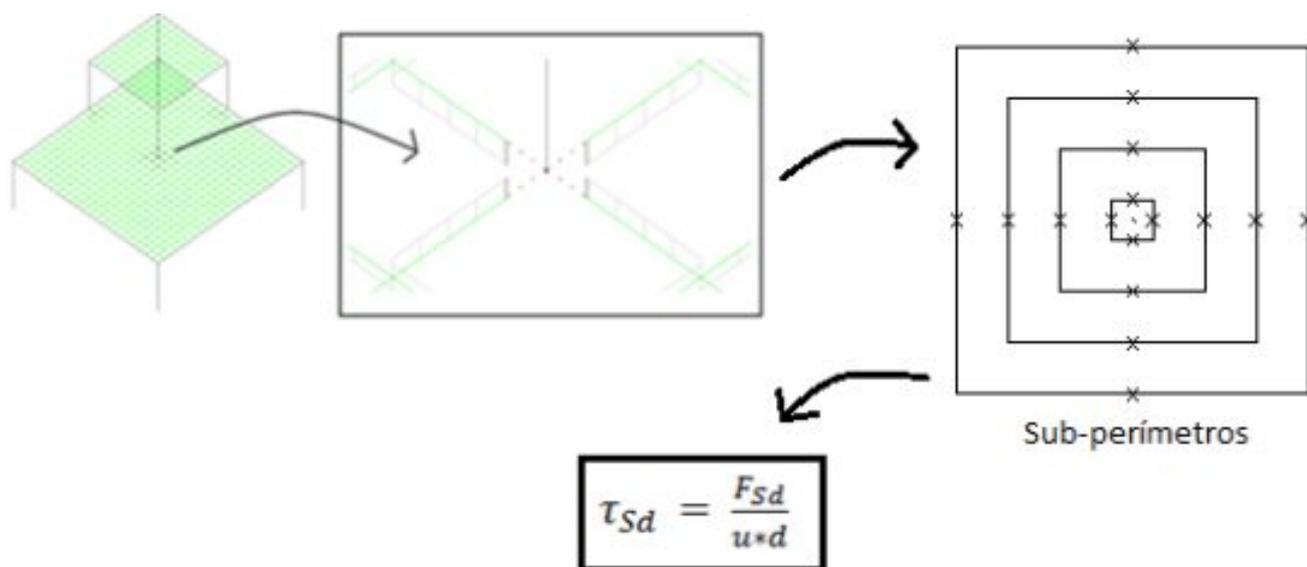


Figura 2

Desta forma, os sub-perímetros funcionam como regiões de homogeneização de esforços, sendo sempre gerados no mínimo 4 sub-perímetros para cada superfície crítica (C , C' , C'' e subsequentes).

Apesar dos sub-perímetros serem mostrados com cantos retos, o contorno efetivamente usado no cálculo obedece a geometria definida na norma, com arredondamentos e limitação de comprimento em função das disposições das

armaduras.

Para aumentar a precisão do cálculo da tensão em volta do pilar pode-se discretizar melhor a grelha criando um capitel com a mesma altura da laje

2. Exemplo

Com o desenvolvimento do Modelo VI, tornou-se possível lançar pilares nascendo em lajes, e consequentemente dimensionar essas lajes à punção, além dos casos comuns.

O modelo que utilizaremos como exemplo é o Edifício CTTQS utilizado no Curso Padrão do TQS (ver figura abaixo).

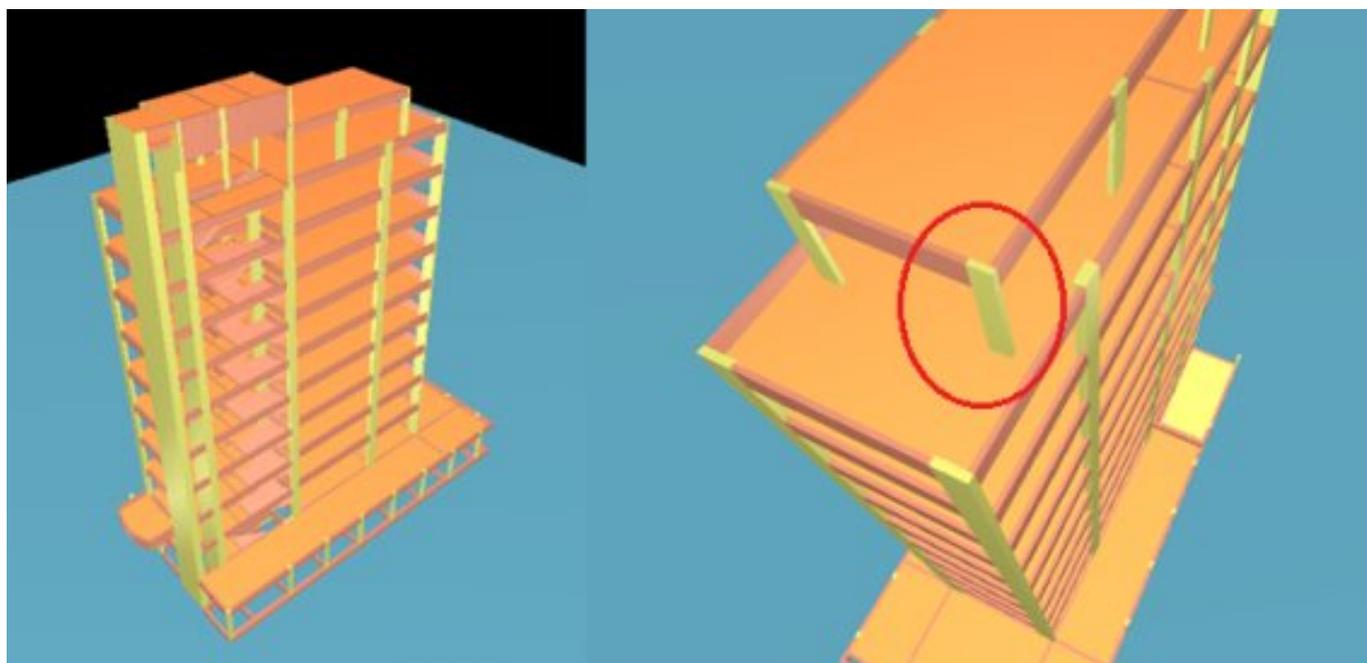


Figura 3

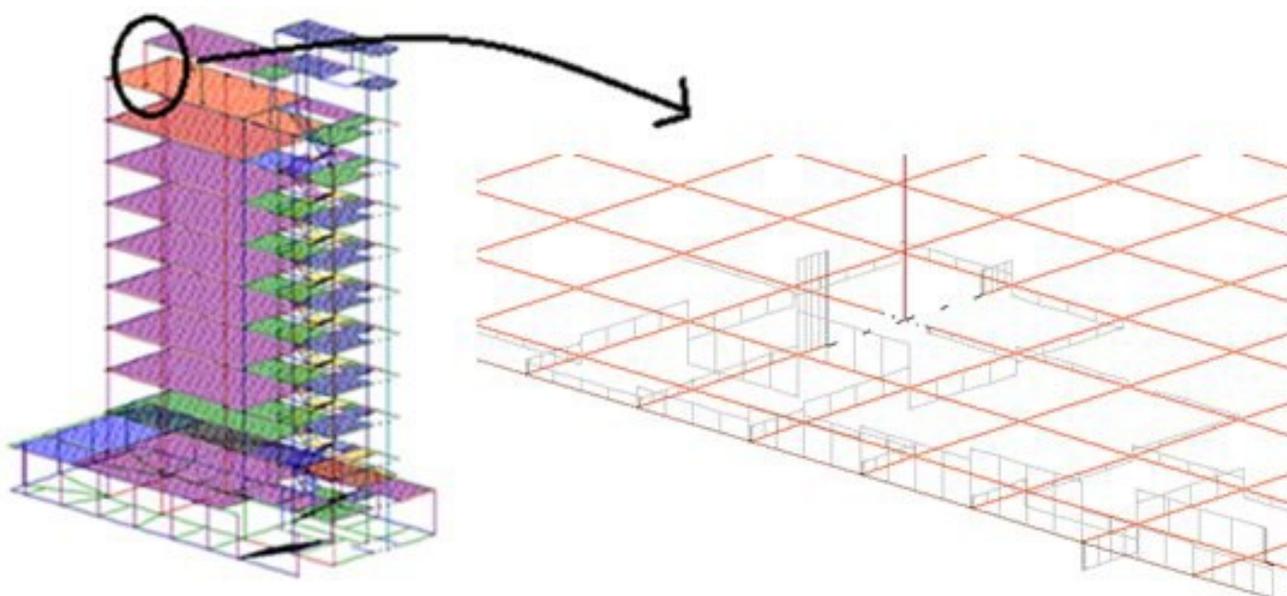


Figura 4

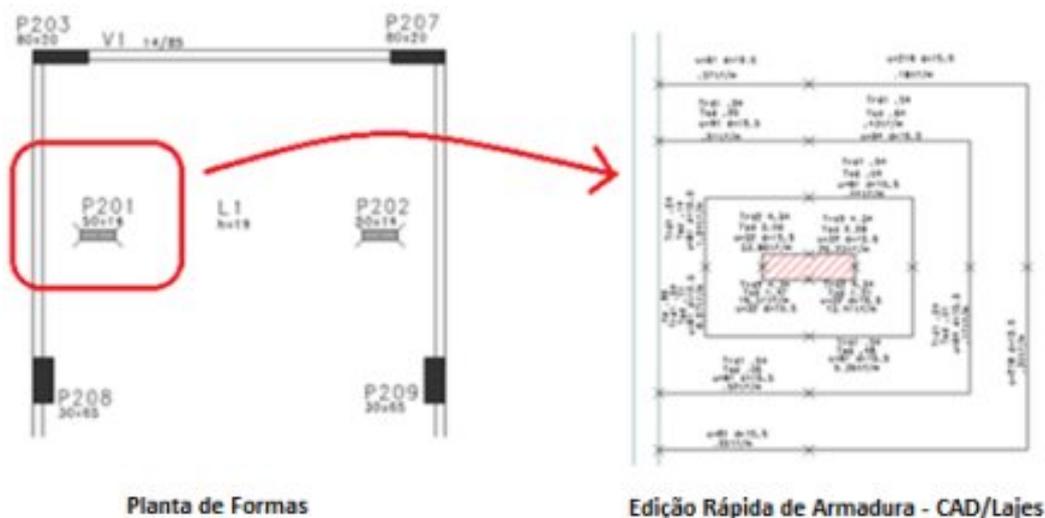


Figura 5

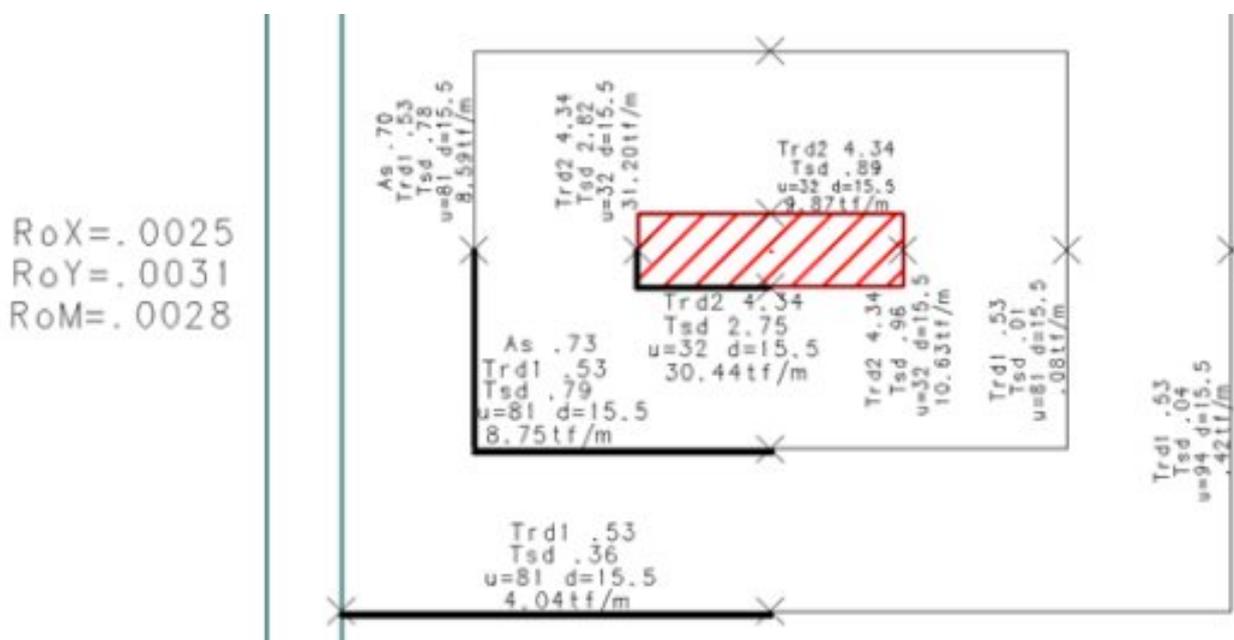


Figura 6

Serão detalhados apenas os cálculos dos sub-perímetros destacados em negrito na Figura 6:

Dados necessários:

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$;

Laje = 19 cm

Taxa geométrica de armadura de flexão aderente (μ) = 0,28%

Altura útil = 15,5 cm

Tipo de armadura de punção = conector (studs);

1) Tensão resistente de compressão do concreto no C

Cálculo dos esforços solicitantes

A somatória das forças cortantes nos pontos de intersecção das barras da grelha com o sub-perímetro é igual a 9,74 tf.

Como o sub-perímetro tem 32 cm, temos que a cortante uniformizada é igual a:

$$\frac{9,74 \text{ tf}}{0,32 \text{ m}} = 30,44 \text{ tf/m}$$

A tensão solicitante de cisalhamento é igual a:

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u_o * d} = \frac{9,74 * 1,4 \text{ tf}}{32 \text{ cm} * 15,5 \text{ cm}} = 0,0275 \text{ tf/cm}^2 = 2,75 \text{ MPa}$$

Cálculo de τ_{Rd2}

$$\alpha_v = (1 - f_{ck}/250) = (1 - 25/250) = 0,90$$

$$\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd2} = 0,27 \alpha_v f_{cd} = 0,27 * 0,90 * \left(\frac{25}{1,4}\right) = 4,34 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Sd} < \tau_{Rd2} \quad (\text{Verificado!})$$

2) Tensão resistente à punção no contorno C'

Cálculo dos esforços solicitantes

A somatória das forças cortantes nos pontos de intersecção das barras da grelha com o sub-perímetro é igual a 7,09 tf.

Como o sub-perímetro tem 81 cm, temos que a cortante uniformizada é igual a:

$$\frac{7,09 \text{ tf}}{0,81 \text{ m}} = 8,75 \text{ tf/m}$$

A tensão solicitante de cisalhamento é igual a:

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u * d} = \frac{7,09 * 1,4 \text{ tf}}{81 \text{ cm} * 15,5 \text{ cm}} = 0,0079 \text{ tf/cm}^2 = 0,79 \text{ MPa}$$

Cálculo de τ_{Rd1}

$$\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd1} = 0,13 \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}}\right) (100 \rho f_{ck})^{\frac{1}{3}}$$

$$\tau_{Rd1} = 0,13 \left(1 + \sqrt{\frac{20}{15,5}}\right) (100 * 0,0028 * 25)^{\frac{1}{3}} = 0,53 \text{ MPa}$$

Como $\tau_{Sd} > \tau_{Rd1}$ será necessário armar a laje à punção nesse contorno.

Cálculo de A_{sw}

$$S_r \leq 0,75d = 0,75 * 15,5 = 11,6 \text{ cm}$$

Como a laje tem 19 cm de espessura e estamos considerando que ela será armada com conectores, iremos fazer uma interpolação para encontrar o valor de f_{ywd} , conforme prescrevem os itens 19.5.3.3 e 19.4.2 da NBR6118: 2003. Após interpolação chegou-se ao valor de 327 MPa.

$$\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd3} = 0,10 \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}} \right) (100 \rho f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 1,5 \frac{d}{s_r} \frac{A_{sw} f_{ywd} \operatorname{sen} \alpha}{u d}$$

$$0,79 = 0,10 \left(1 + \sqrt{\frac{20}{15,5}} \right) (100 * 0,0028 * 25)^{\frac{1}{3}} + 1,5 \frac{15,5}{11,6} \frac{A_{sw} * 327 * \operatorname{sen} 90^\circ}{81 * 15,5}$$

$$A_{sw} = 0,73 \text{ cm}^2$$

Esta é a área de armadura que deve existir num contorno paralelo ao sub-perímetro analisado.

3) Tensão resistente à punção no contorno C''

Cálculo dos esforços solicitantes

A somatória das forças cortantes nos pontos de intersecção das barras da grelha com o sub-perímetro é igual a 3,27 tf.

Como o sub-perímetro tem 81 cm, temos que a cortante uniformizada é igual a:

$$\frac{3,27 \text{ tf}}{0,81 \text{ m}} = 4,04 \text{ tf/m}$$

A tensão solicitante de cisalhamento é igual a:

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u * d} = \frac{3,27 * 1,4 \text{ tf}}{81 \text{ cm} * 15,5 \text{ cm}} = 0,0036 \text{ tf/cm}^2 = 0,36 \text{ MPa}$$

Cálculo de τ_{Rd1}

$$\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd1} = 0,13 \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}} \right) (100 \rho f_{ck})^{\frac{1}{3}}$$

$$\tau_{Rd1} = 0,13 \left(1 + \sqrt{\frac{20}{15,5}} \right) (100 * 0,0028 * 25)^{\frac{1}{3}} = 0,53 \text{ MPa}$$

Como $\tau_{Sd} < \tau_{Rd1}$ não será necessário armar a laje à punção nesse contorno, e a verificação do cisalhamento está encerrada.

3. Critérios

1) Majoração de Rd2

O item 19.5.3.1 da NBR 6118:2003 diz o valor de $Rd2$ pode ser ampliado de 20% por efeito de estado múltiplo de tensões junto a um pilar interno, quando os vãos que chegam a esse pilar não diferem mais de 50% e não existem aberturas junto ao pilar. Para considerar esse aumento no valor de $Rd2$ no Sistema, é necessário editar o critério mostrado a seguir, que valerá para todos os pilares do modelo.

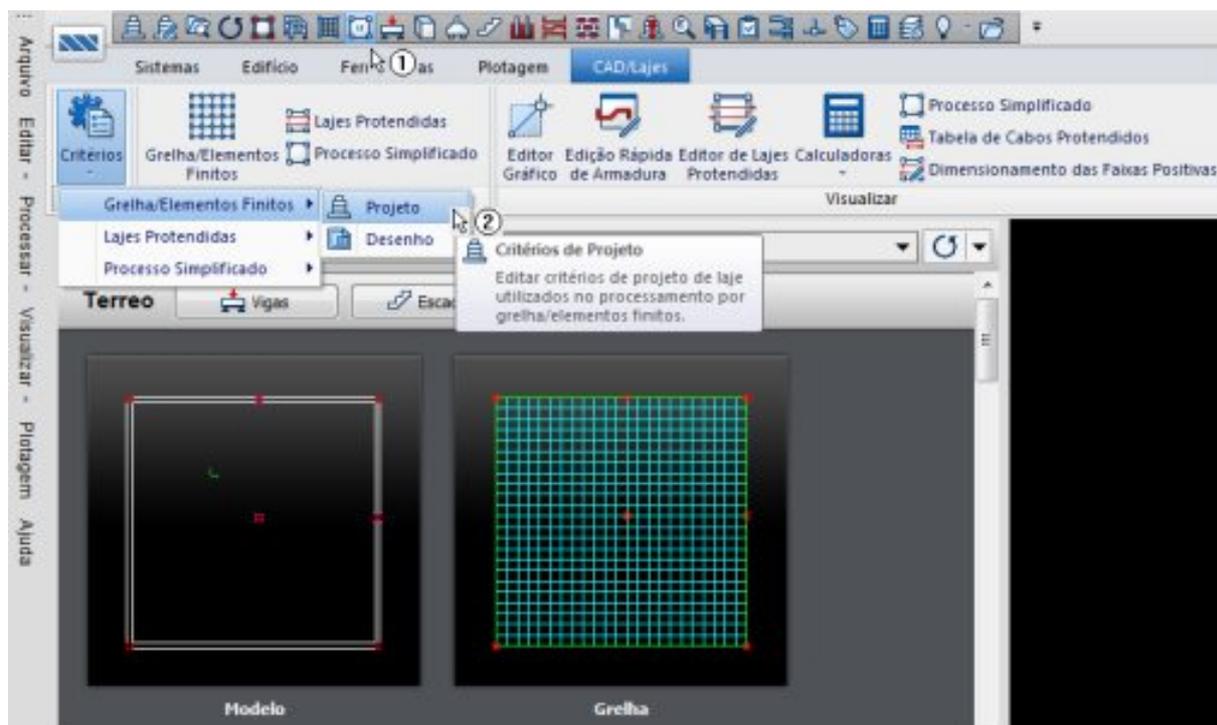


Figura 7

- 1) Selecione o sistema “TQS-Lajes”;
- 2) Clique em “Critérios” > “Grelha/Elementos Finitos” > “Projeto”;

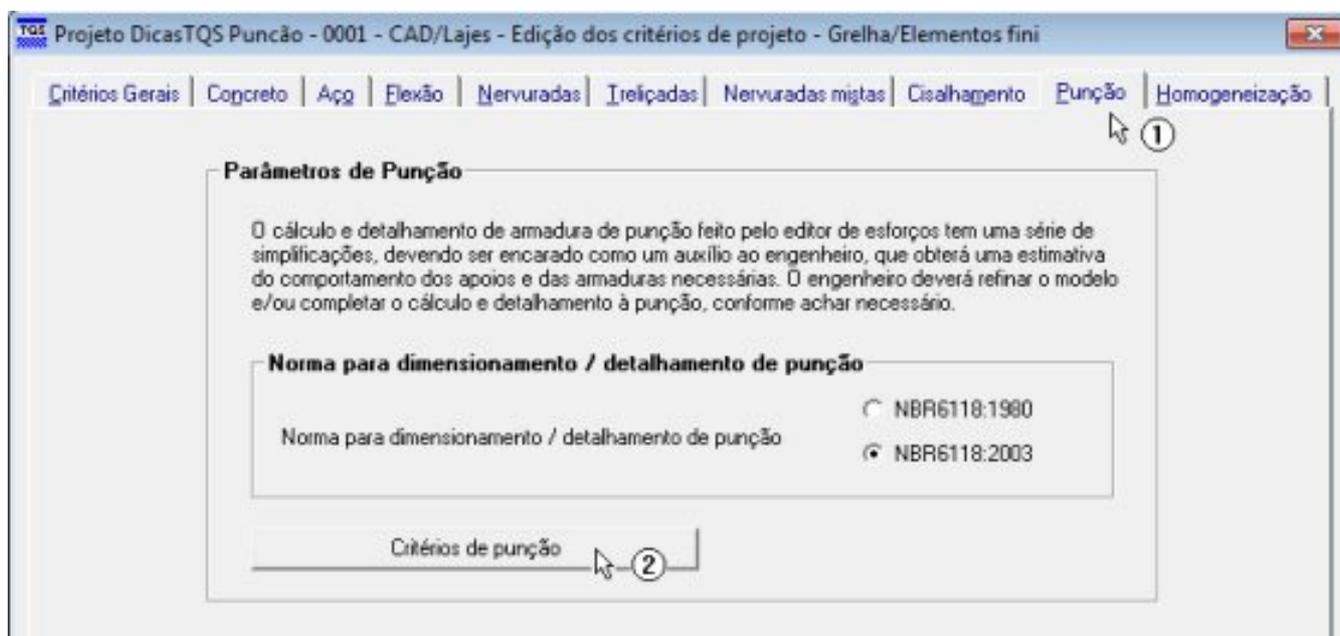


Figura 8

- 1) Clique em “Punção”;
- 2) Clique em “Critérios de punção”;

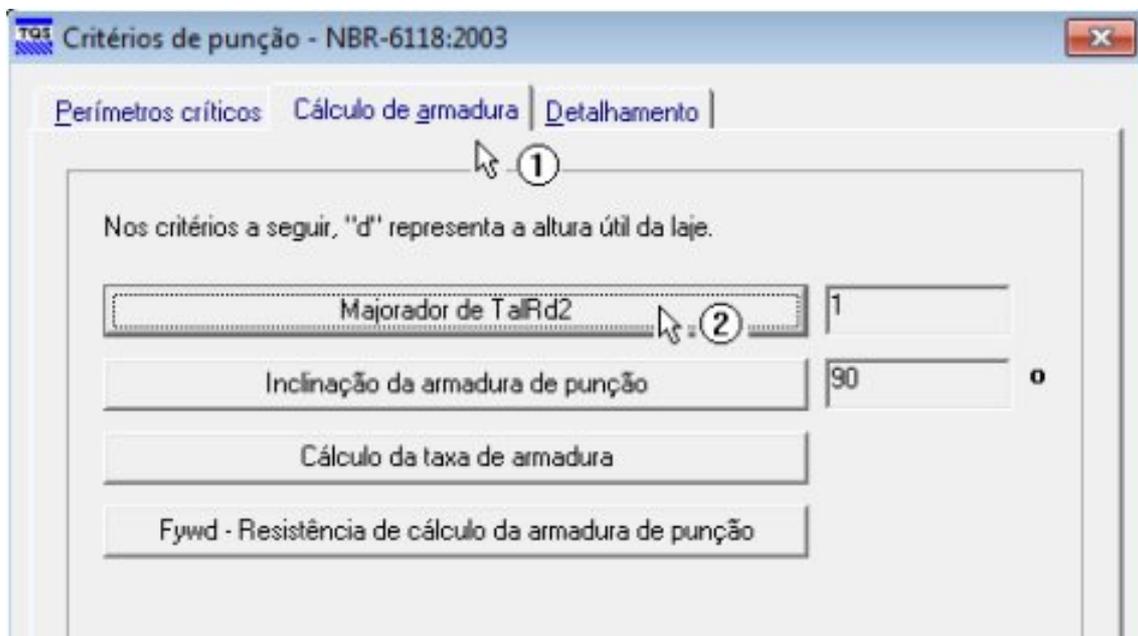


Figura 9

- 1) em “Cálculo de armadura”;
- 2) Clique em “Majorador de TalRd2”;

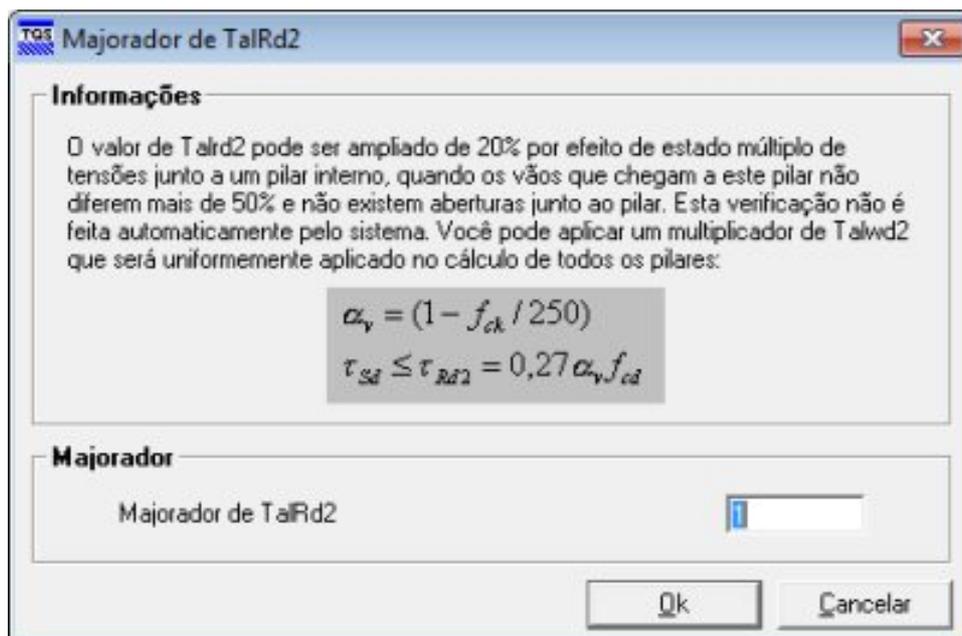


Figura 10

- 1) Defina um valor entre 1 e 1.2;

3.2. Armadura de punção obrigatória

Segundo o item 19.5.3.5 da NBR 6118:2003, no caso de a estabilidade global da estrutura depender da resistência da laje à punção, deve ser prevista armadura de punção, mesmo que S_d seja menor que R_d1 . Essa armadura deve equilibrar um mínimo de 50% de F_{Sd} .

Para atender esse item da norma, deve ser marcada a opção abaixo, nos Dados do Pilar, no Modelador Estrutural:

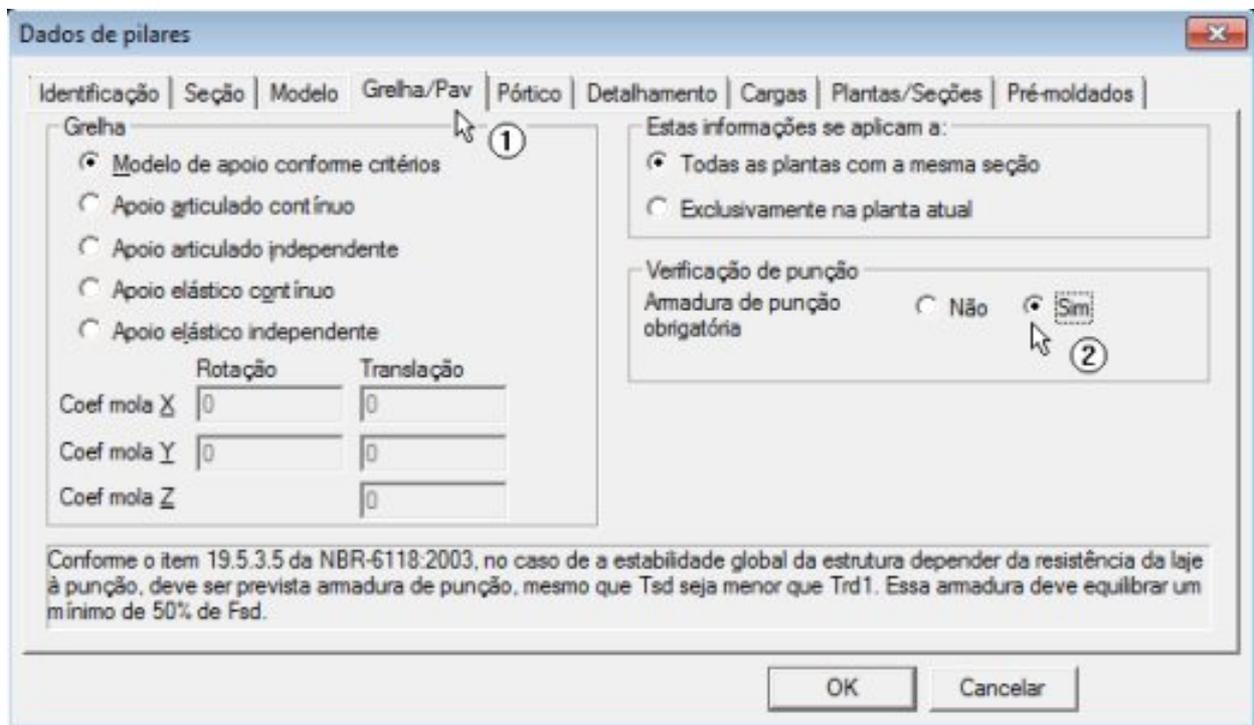


Figura 11

1) Clique em “Grelha/Pav”;

2) Marque “Sim” para armadura de punção obrigatória;

A armadura de punção obrigatória será calculada considerando metade do valor de F_{Sd} , e sem a consideração da parcela do concreto, como mostra a figura abaixo:

$$\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd3} = \underbrace{0,10 \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}} \right) (100 \rho f_{ck})^{\frac{1}{3}}}_{\text{parcela desprezada}} + 1,5 \frac{d}{S_r} \frac{A_{sw} f_{ywd} \text{sen} \alpha}{u d}$$