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:

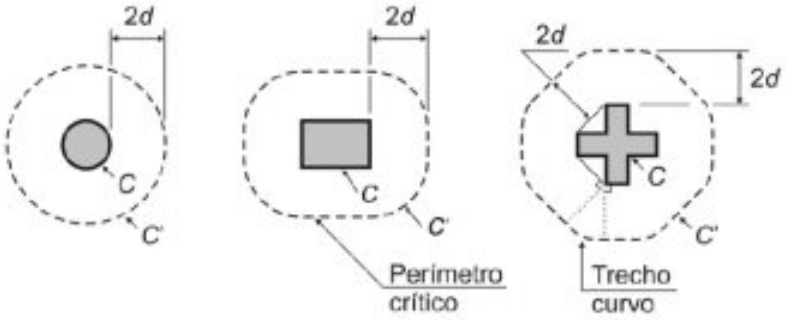

Figura 1

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 intersecçãodas barras da grelha com os sub-perímetros, como mostrado a seguir:

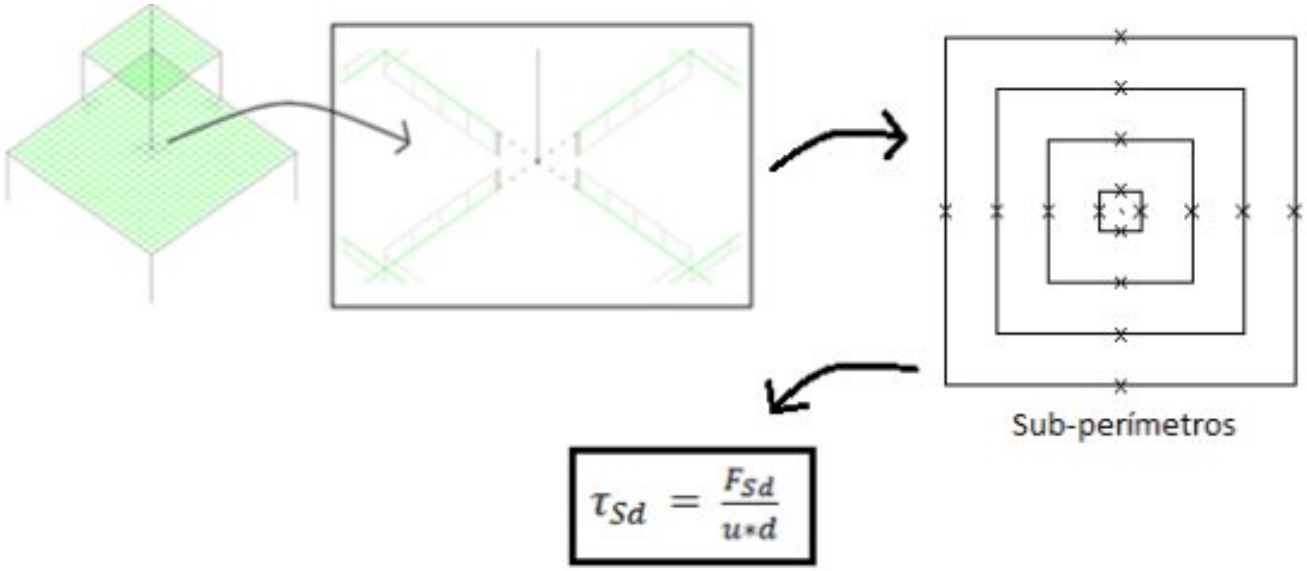

Figura 2

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).

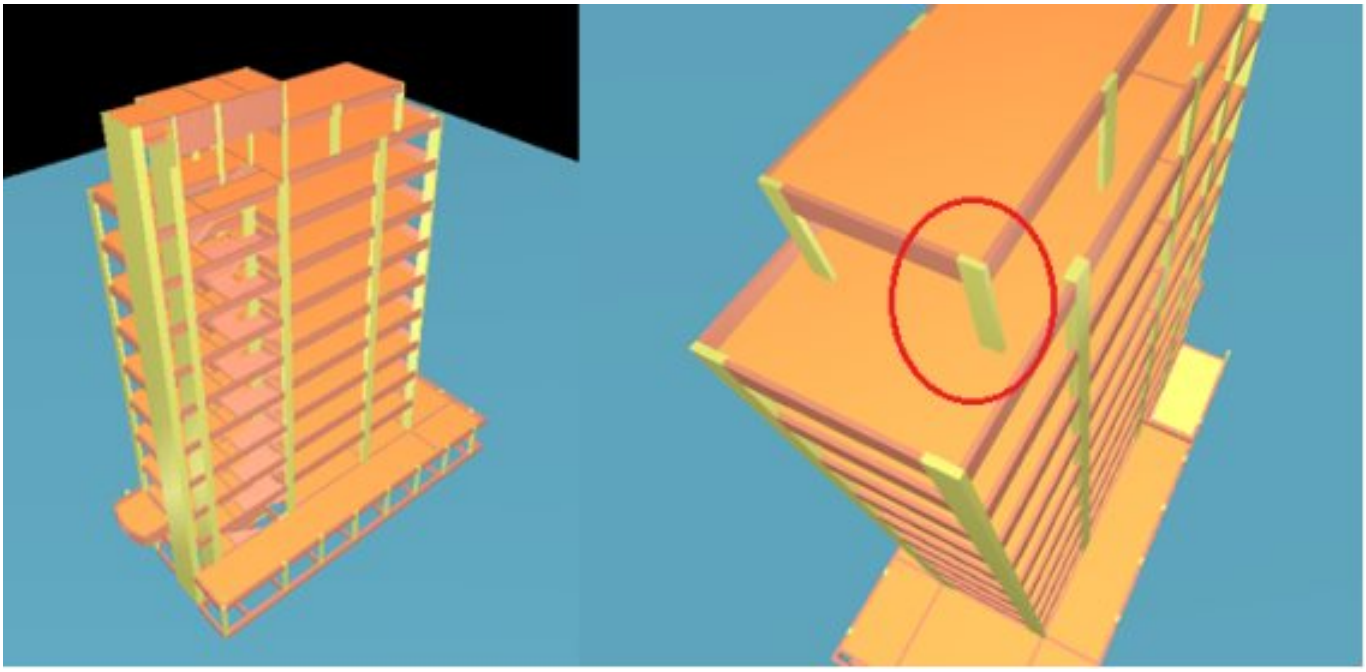

Figura 3

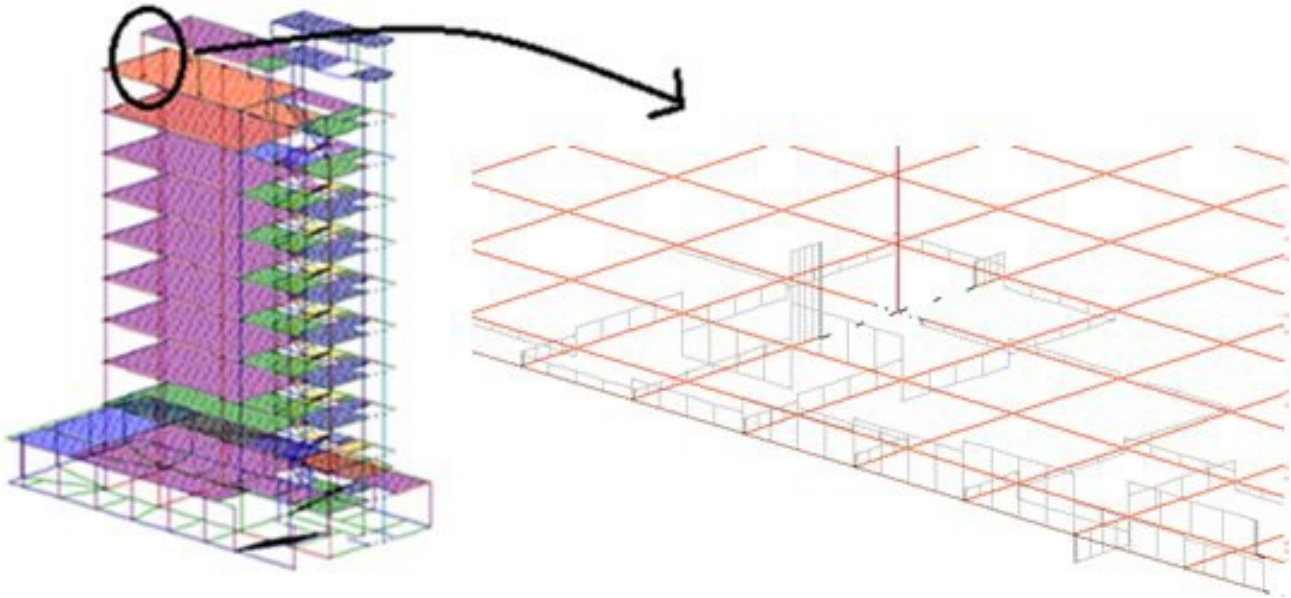

Figura 4

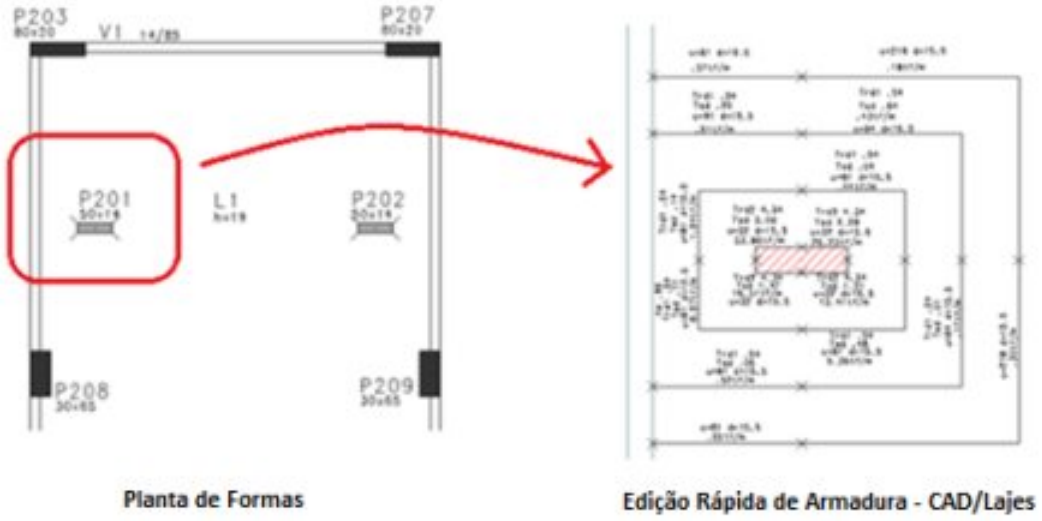

Figura 5

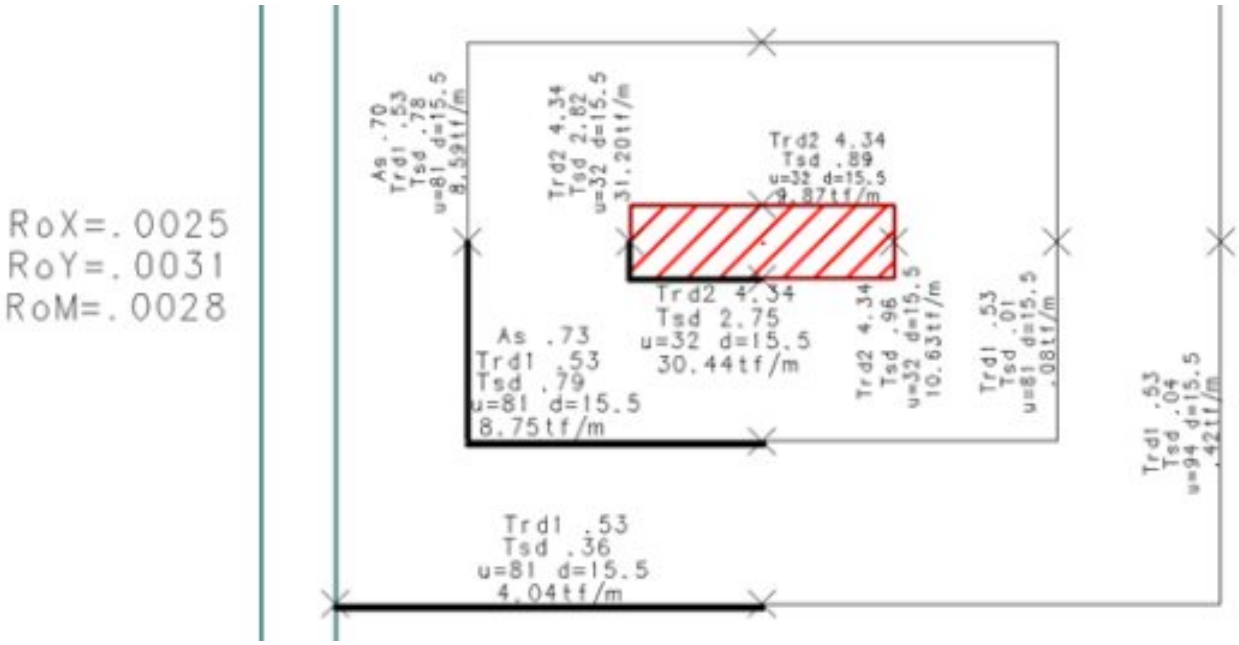

Figura 6

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

Dados necessários:

fck = 25 MPa;

Laje = 19 cm

Taxa geométrica de armadura de flexão aderente () = 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 a9,74 tf.

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

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

A tensão solicitante de cisalhamento é igual a:

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{uo * d} = \frac{9{,}74\ * 1{,}4\ tf}{32\ cm\ *\ 15{,}5\ cm}$$ = 0.0275 tf/cm2 = 2,75 MPa

Cálculo de τ_{Rd2}

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

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

$\tau_{Sd} < \tau_{Rd2}$ (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 a7,09 tf.

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

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

A tensão solicitante de cisalhamento é igual a:

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u * d} = \frac{7{,}09\ * 1{,}4\ tf}{81\ cm\ *\ 15{,}5\ cm}$$ = 0,0079 tf/cm2 = 0,79 MPa

Cálculo de τ_{Rd1}

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

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

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

Cálculo de Asw

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

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

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

Asw = 0,73 cm2

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:

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

A tensão solicitante de cisalhamento é igual a:

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

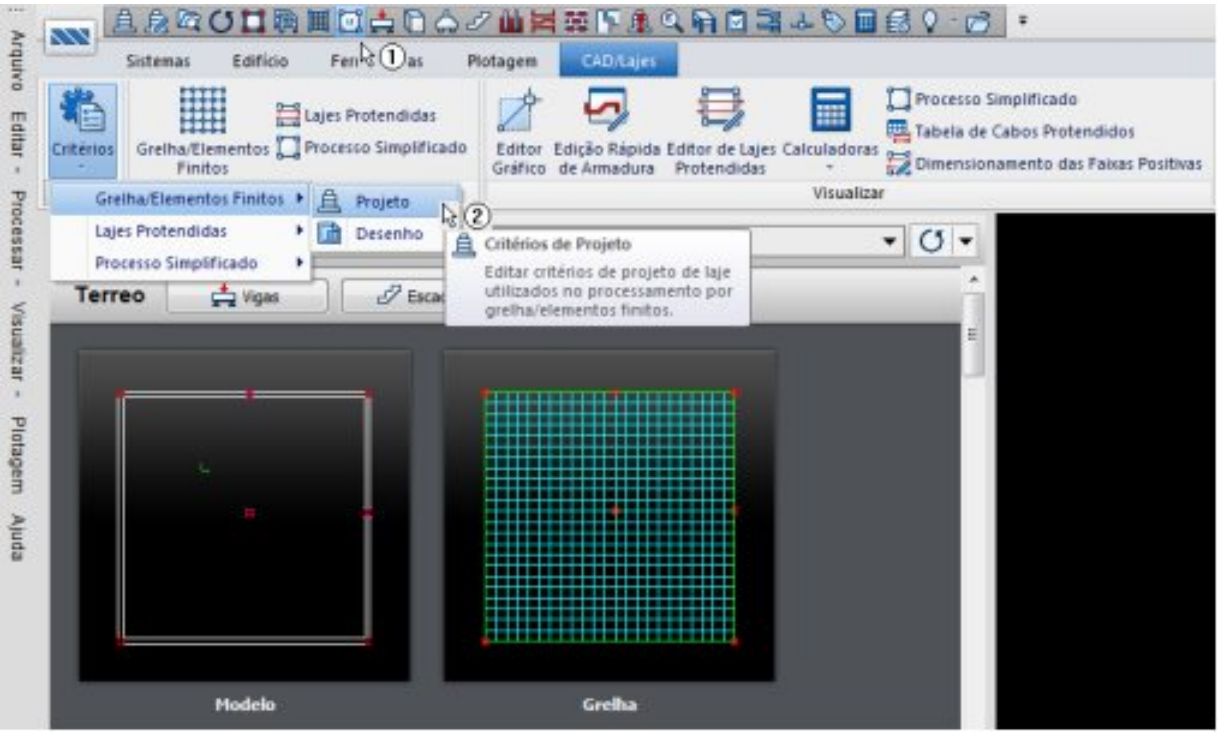

Figura 7

1) Selecione o sistema “TQS-Lajes”;

2) Clique em “Critérios” > “Grelha/Elementos Finitos” > “Projeto”;

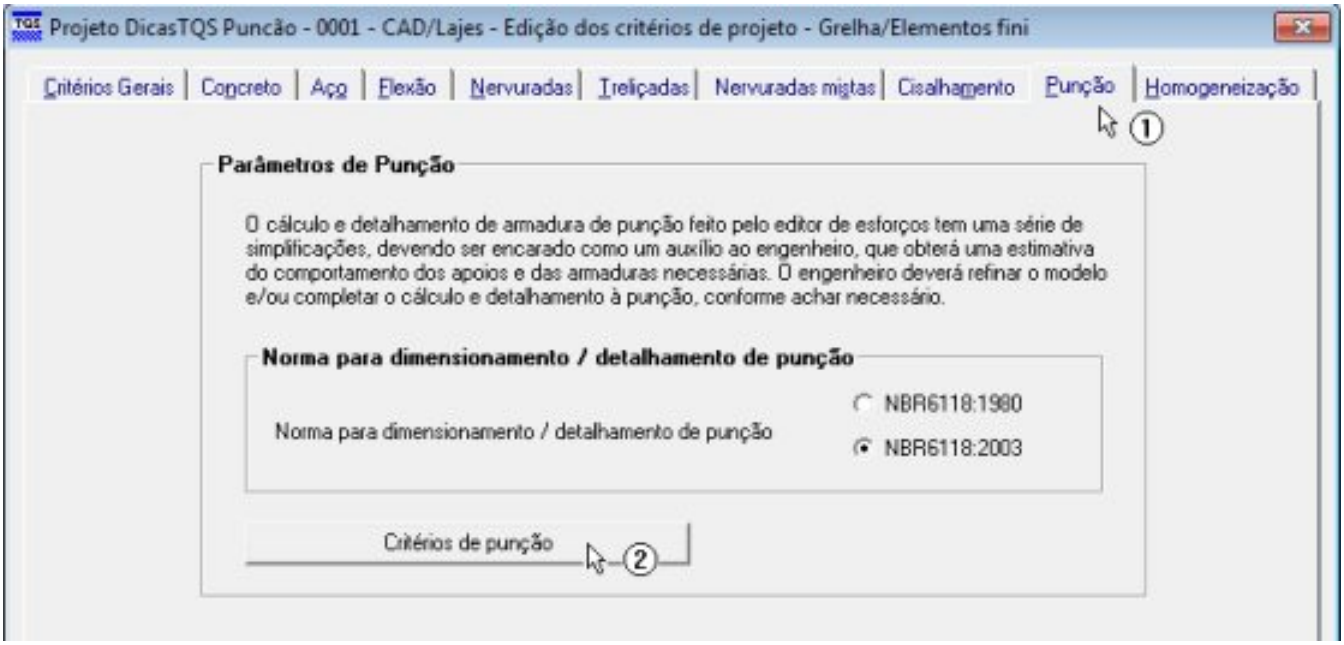

Figura 8

1) Clique em “Punção”;

2) Clique em “Critérios de punção”;

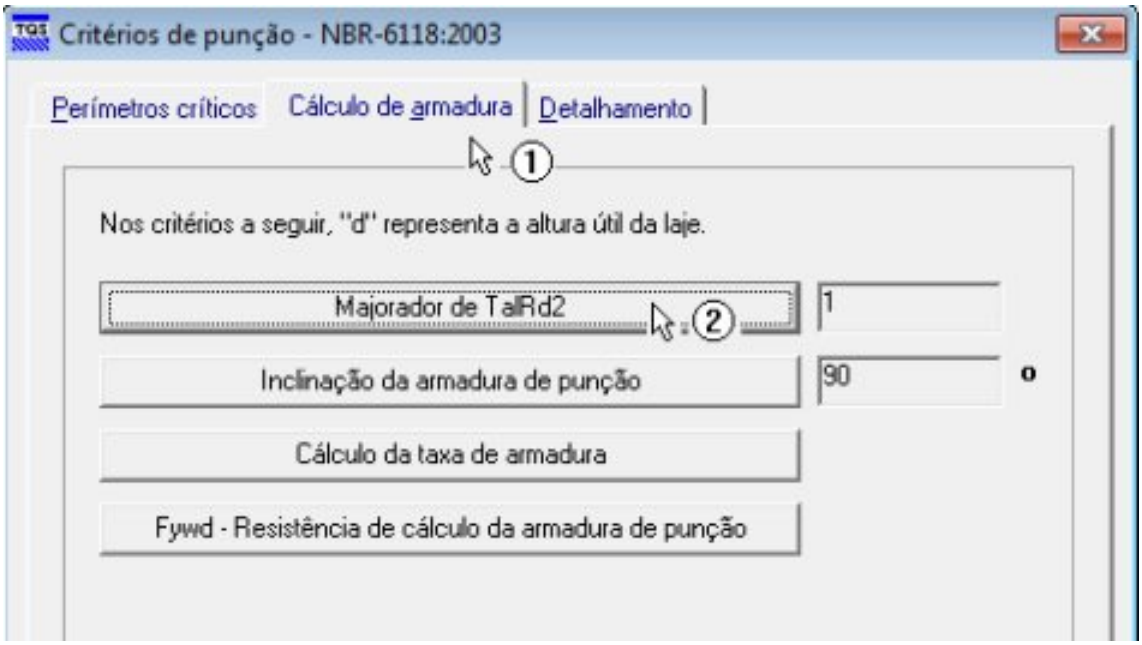

Figura 9

1) em “Cálculo de armadura”;

2) Clique em “Majorador de TalRd2”;

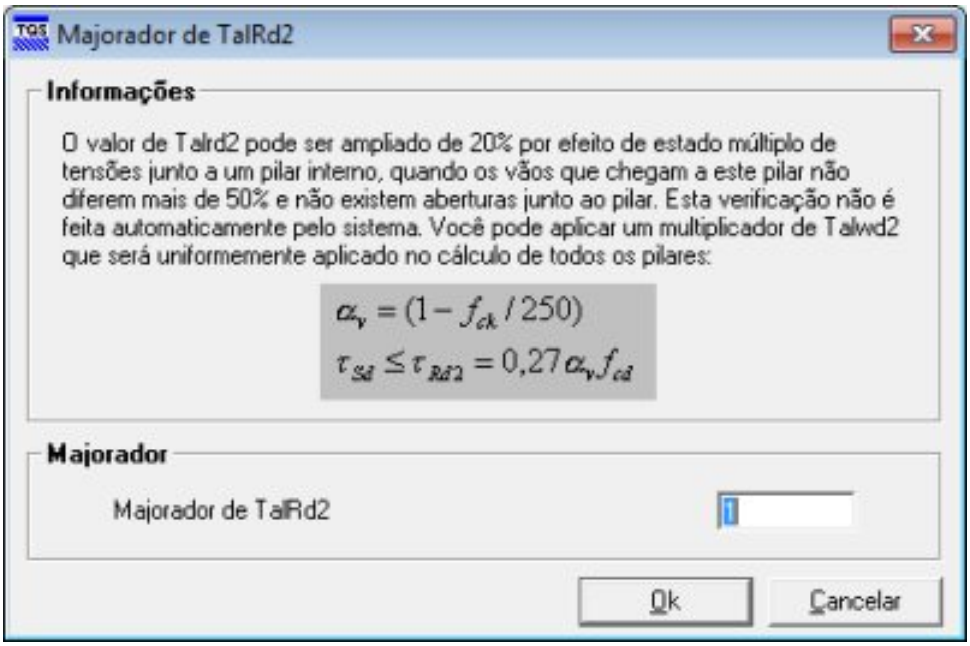

Figura 10

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 lajeà punção, deve ser prevista armadura de punção, mesmo que Sd seja menor que Rd1. Essa armadura deve equilibrar um mínimo de 50% de FSd.

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

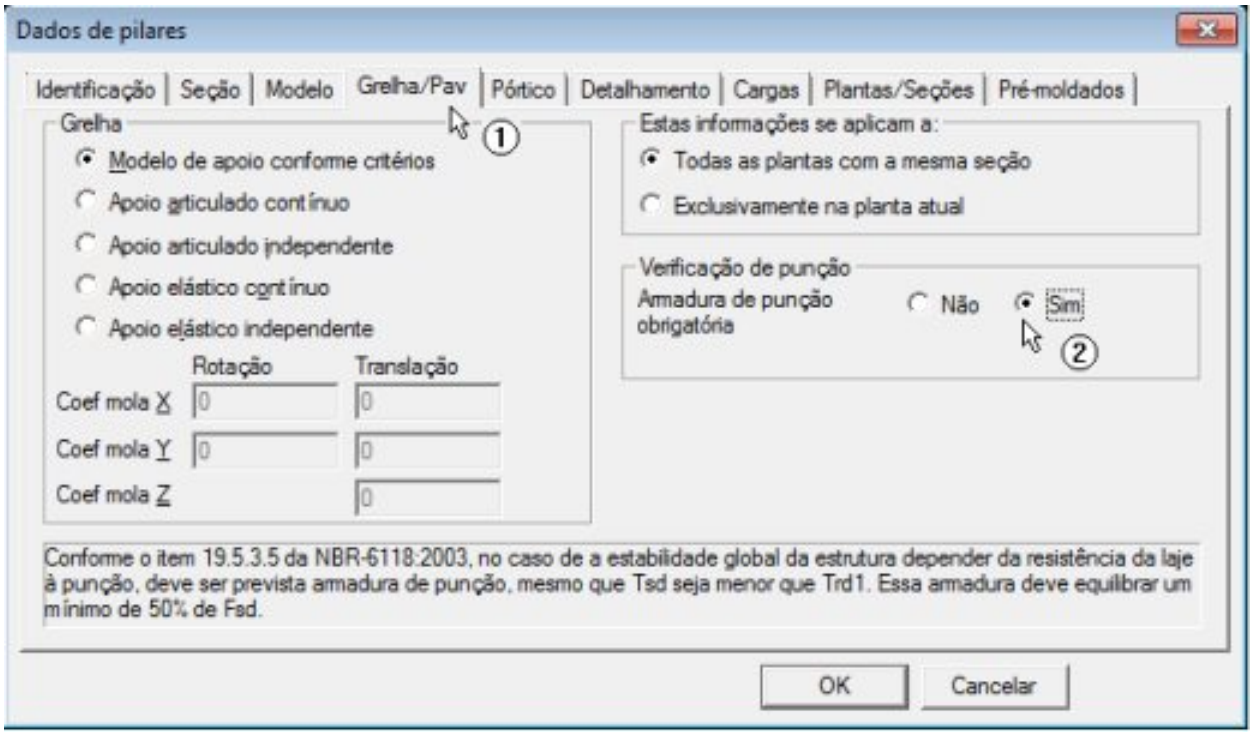

Figura 11

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 FSd, e sem a consideração da parcela do concreto, como mostra a figura abaixo:

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

parcela desprezada