

Lajes nervuradas (e seus critérios)

Dúvida enviada à Comunidade TQS

Estou fazendo um projeto de uma laje nervurada, não protendida, destinada ao uso em dois pisos de subsolo, a laje não tem nenhuma viga, somente possíveis maciços na laje, o maior vão possui 8,40m, com continuidade. Estou utilizando uma cambota do fabricante Ulma, com uma distância entre nervuras de 80x80cm e altura total de 35cm (30 de nervura + 5 de capa). A disposição dos pilares não segue muito bem a modulação da forma. O problema é que estou com dúvidas na concepção da mesma. Gostaria de saber se existe alguma regra para o tamanho dos maciços na região dos pilares (tamanho em planta) relacionado com o tamanho dos vãos ou com algum outro fator?, há algum problema de deixar pilares excêntricos em relação aos maciços?, devo deixar alguns maciços nas bordas da mesma para similar uma viga chata?, ou deixar maciços fazendo uma ligação entre pilares, com a mesma função de viga chata?. Com relação à plastificação dos apoios, quais redutores de flexão devo utilizar?, e os redutores de torção?

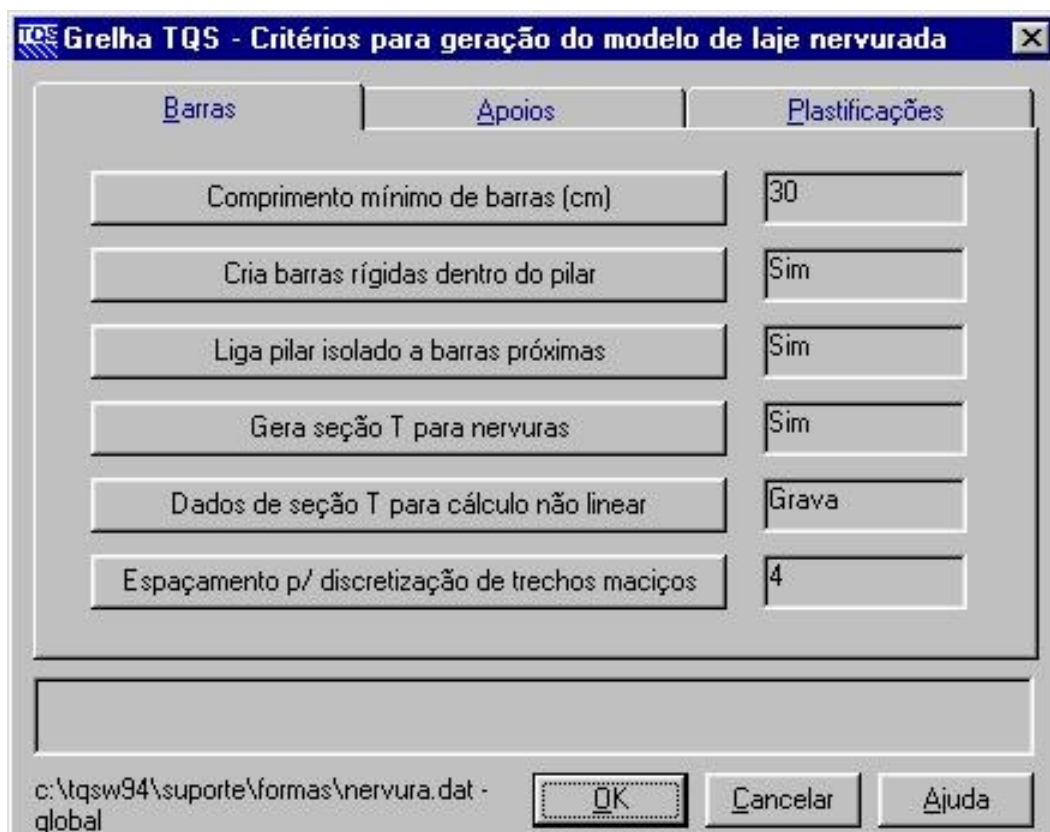
Resposta

Quando criamos um capitel no lançamento estrutural, estamos "indicando" que queremos uma tratativa diferenciada para aquela região no modelo de grelha.

Na geração do modelo de grelha, somente nos capitéis serão considerados os parâmetros sobre inércia a flexão e a torção que podem ser estabelecidos no arquivo de critérios (NERVURA.DAT). Nas demais seções maciças, as inércias consideraras serão as plenas (estádio I), desprezando a inércia a torção.

Para editar os critérios de lajes nervuradas, devemos passar ao gerenciador do Grelha-TQS, menu Editar >>> Critérios da Geração do Modelo >>> Lajes Nervuradas. Aconselho a você (e a todos) a utilizar na discretização de lajes nervuradas os seguintes parâmetros:

No menu BARRAS:



| Barras | Apoios | Plastificações |
|---|--------|----------------|
| Comprimento mínimo de barras (cm) | | 30 |
| Cria barras rígidas dentro do pilar | | Sim |
| Liga pilar isolado a barras próximas | | Sim |
| Gera seção T para nervuras | | Sim |
| Dados de seção T para cálculo não linear | | Grava |
| Espaçamento p/ discretização de trechos maciços | | 4 |

c:\tqsw94\suporte\formas\nervura.dat - global

OK Cancelar Ajuda

No menu APOIOS:


Apoio elástico independente da laje no pilar

Informações

Quando uma barra da laje termina no pilar, normalmente o programa liga esta barra ao apoio mais próximo definido dentro do pilar. Esta ligação pode fazer com que a laje absorva muito momento negativo.

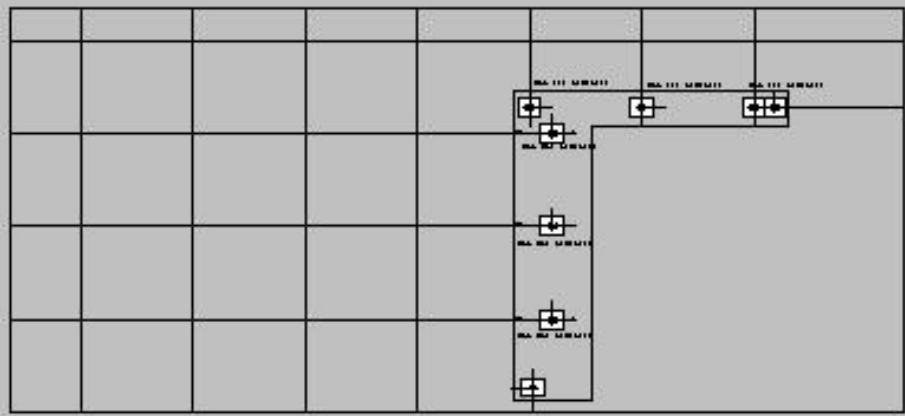
Voce pode fazer com que cada barra da laje que termine dentro do pilar tenha uma restrição de apoio independente, com a largura da barra e a extensão do apoio, medida entre as intersecções da barra projetada no pilar. Para isto defina os parâmetros abaixo.

Um apoio elástico independente de laje aparecerá no desenho de grelha com um símbolo e um texto como este:



Neste texto, os números separados por barras são respectivamente: a largura do apoio, a extensão do apoio, a altura do pilar para cálculo da mola, o divisor das molas de rotação X e Y e o divisor da mola Z.

O valor do coeficiente de mola é calculado para rotação e translação da mesma maneira que as restrições de pilares. Veja um típico caso de intersecção de laje com apoio, com o critério de apoio elástico independente de laje.



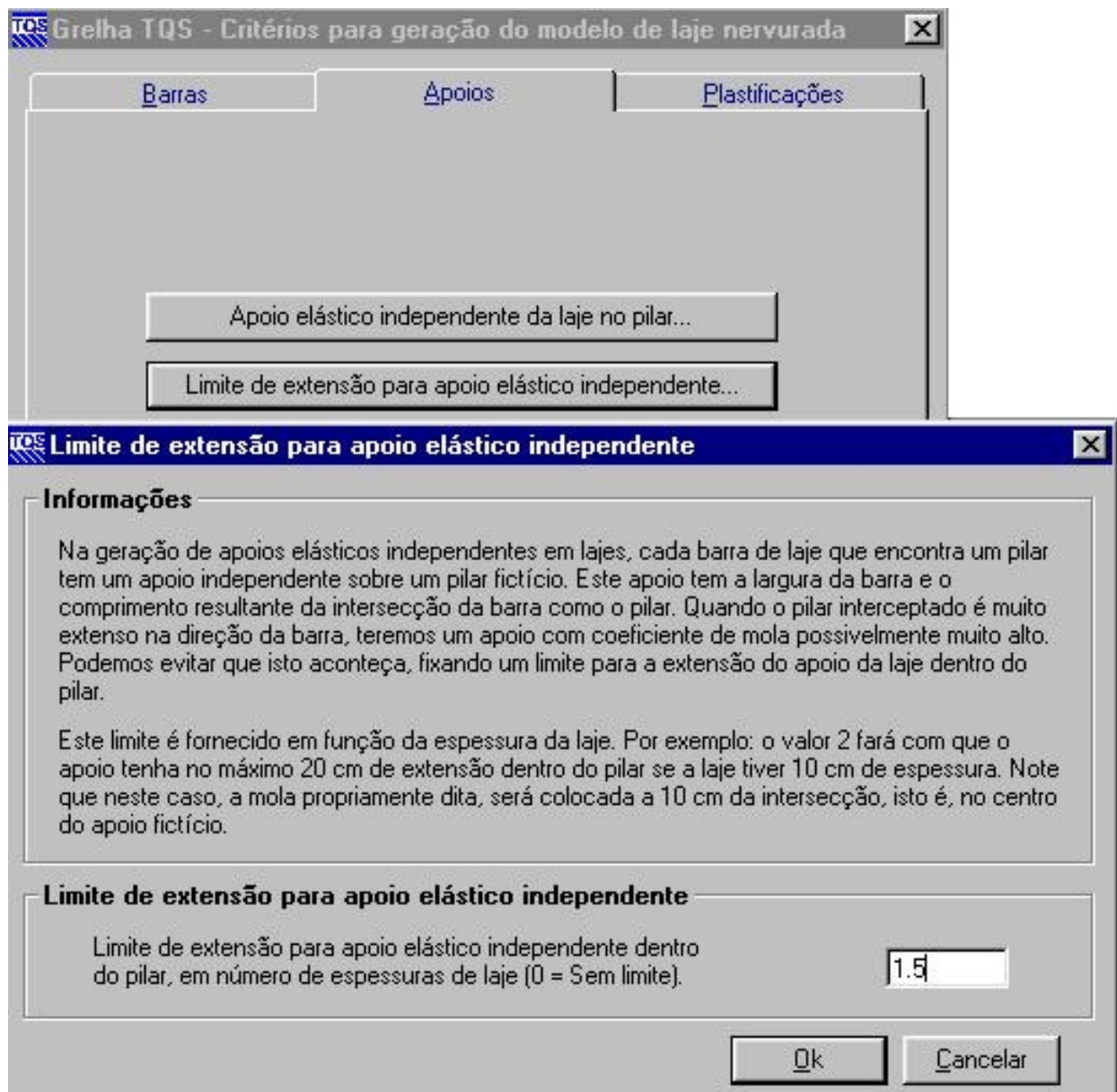
Apoio elástico independente da laje no pilar

Cria apoio elástico independente da laje no pilar: Não Sim

Divisor do coeficiente de mola para apoio elástico independente:

Divisor do coeficiente de mola Z para apoio elástico independente:

A Limitação da extensão de apoio, que foi introduzida na versão 8.2. **Muitos usuários ainda não perceberam a existência deste critério.**



No menu PLASTIFICAÇÕES:

É muito importante você (todos nós) dominar estes controles. No lançamento estrutural podemos optar pela plastificação ou não da laje (laje a laje).

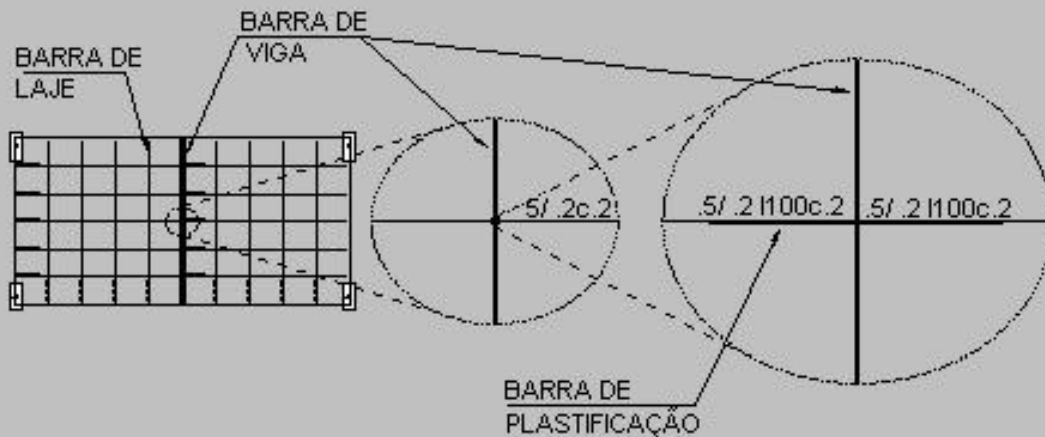
A opção "Default" lerá a definição estabelecida aqui, nos critérios de lajes nervuradas. Porém, podemos determinar no lançamento estrutural (pelo Modelador ou pela Entrada Gráfica) se queremos plastificar ou não uma laje.

Eu prefiro controlar no lançamento estrutural as lajes que quero plastificar, deixando, por exemplo, os balanços sem plastificação, e as lajes internas com plastificação. Nas lajes que declaramos com plastificação, serão adotados os critérios definidos aqui (NERVURA.DAT), mesmo que a opção default seja NÃO.

Informações

Podemos simular plastificação nas lajes introduzindo barras curtas de rigidez menor nos apoios das lajes sobre as vigas. Estas barras tem a mesma seção da grelha, mas a sua inércia à flexão é dividida por um valor definido.

Veja como fica uma laje com plastificação:



A plastificação também é possível através da definição de um valor de engastamento parcial a ser aplicado na ponta das barras que se apoiam em vigas.

Este fator varia entre (0) articulação e (1) engastamento, com valores intermediários proporcionais aos momentos obtidos por processo elástico do apoio com continuidade. A definição de um fator de engastamento parcial inibe a geração do modelo com barras curtas de menor rigidez à flexão.

Plastificação dos apoios sobre vigas

Plastifica extremos das barras:

Não Sim

Divisor de inércia à flexão do trecho plastificado:

40

Comprimento da ponta plastificada (m):

0,01

Engastamento parcial de lajes (0=art. 1=eng.):

0

Ok

Cancelar

Finalmente, chegamos aos controles de plastificação de capitéis.

Definimos divisores de torção e flexão para simular as inércias das barras internas dos capitéis.

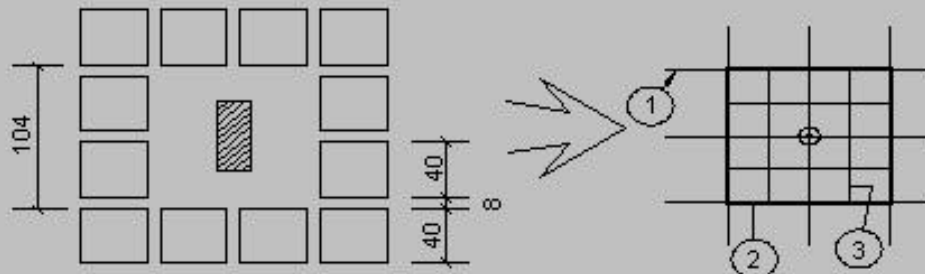
Informações

Nos pilares intermediários, diversos tipos de controle são usados para plastificação e consideração de torção nas barras do capitel em volta do pilar.

As barras dentro do capitel são separadas, podendo receber maior inércia à torção e menor inércia à flexão. O CAD/Formas estende as nervuras para dentro do capitel, completando com barras nos espaços intermediários entre as nervuras. A soma da largura das barras em cada direção é igual a largura do capitel, sendo que as barras de bordo tem meia largura.

As barras internas do capitel recebem um divisor de inércia à torção, enquanto que as de bordo recebem outro divisor.

Voce pode fazer com que as barras do contorno fiquem com inércia à torção mais alta, transmitindo de maneira mais uniforme o momento das nervuras para o capitel. Veja o exemplo:



O CAD/Formas lançará as seguintes barras:

- ① As tipo 1, que são nervuras. Terão largura de 8 cm, com divisor de inércia à flexão correspondente à seção T.
- ② As tipo 2, que são as barras de bordo do capitel. Elas terão largura de 13 cm, e um divisor de inércia a torção.
- ③ As barras tipo 3, internas ao capitel, com largura de 26 cm e outro divisor de inércia a torção.

Esta plastificação tende a distribuir mais os esforços de flexão positivos, sem aumentar significativamente a deformação máxima da laje.

Divisor de torção barras internas capitel:

6

Divisor de torção para barras no bordo do capitel:

6

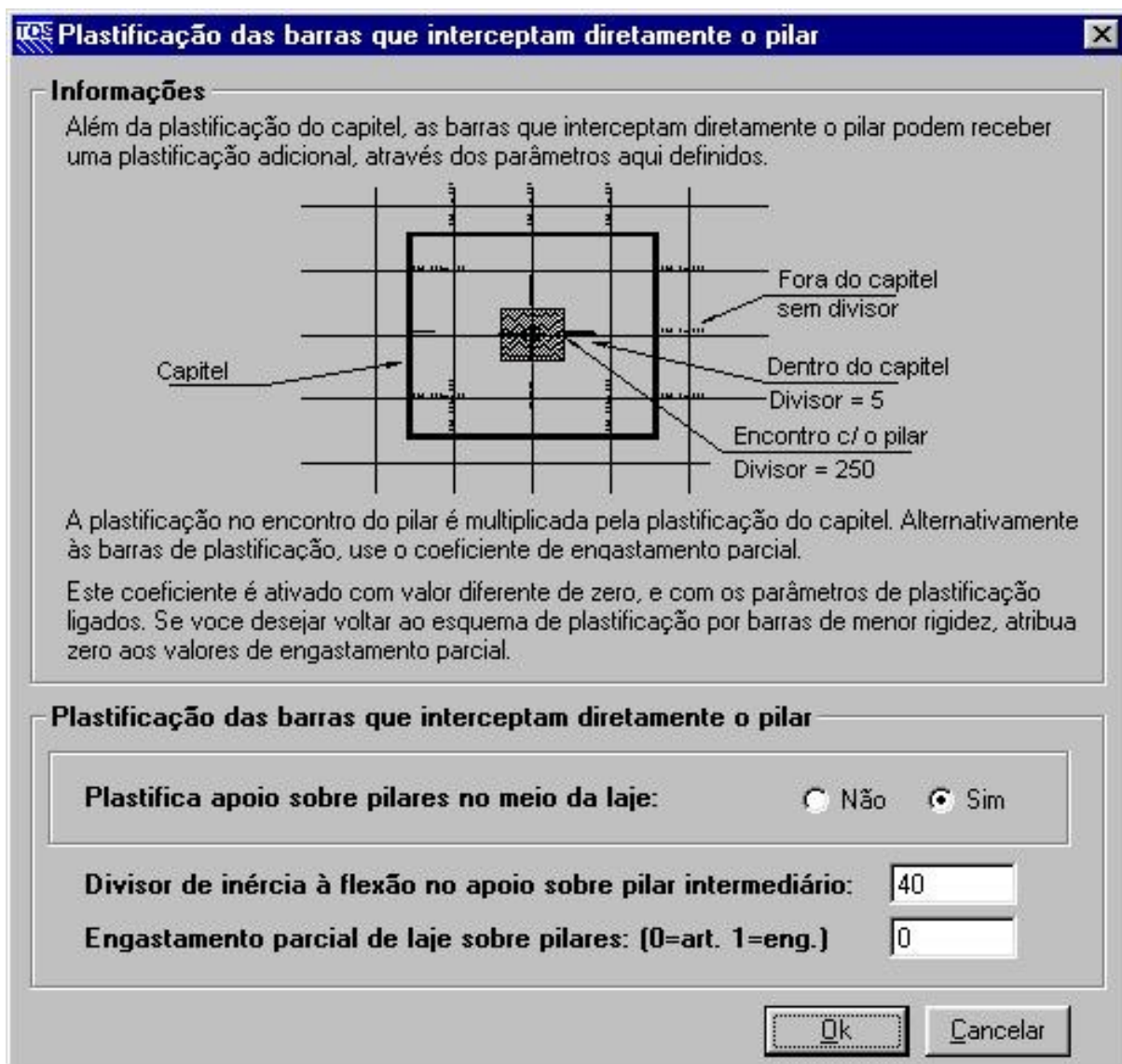
Divisor de flexão das barras do capitel:

1.6

Plastificação das barras que interceptam diretamente pilar...

Ok

Cancelar



Não utilize DIVISORES DE FLEXÃO elevados. Evite divisores de flexão superiores a 2 (50% da inércia).

Este divisor vale para todas as barras do capitel.

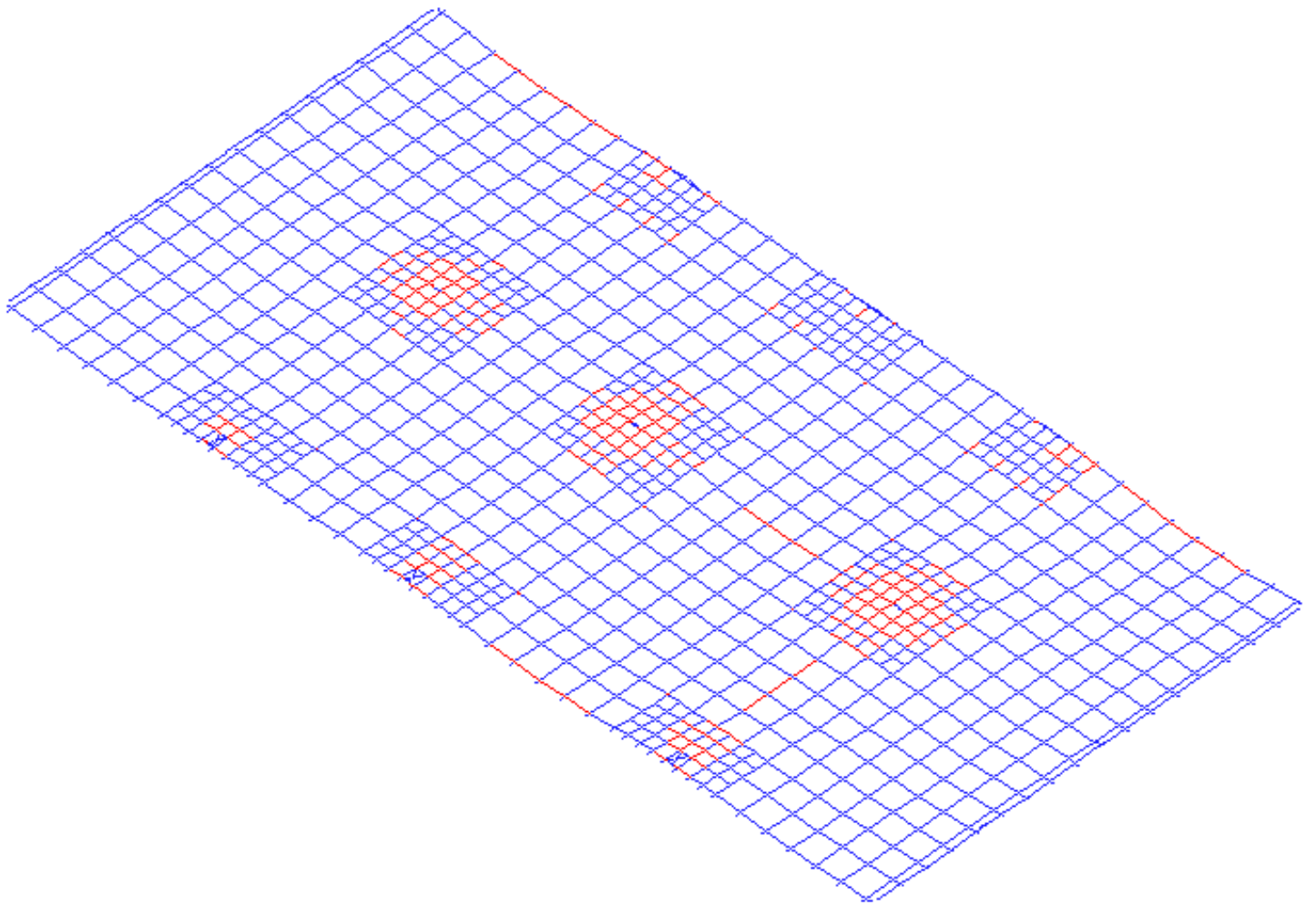
Devemos nos lembrar que devemos avaliar as deformações (imediatas e a longo prazo), e a punção / cisalhamento. Se estas verificações foram satisfatórias, com certeza, obteremos bons dimensionamentos para as armaduras de flexão.

Se os esforços de flexão resultantes forem altos, afetando o dimensionamento a flexão, é preferível mudar a seção, sem manipular drasticamente os critérios de plastificação, pois temos um sinal claro que a laje apresentará problemas.

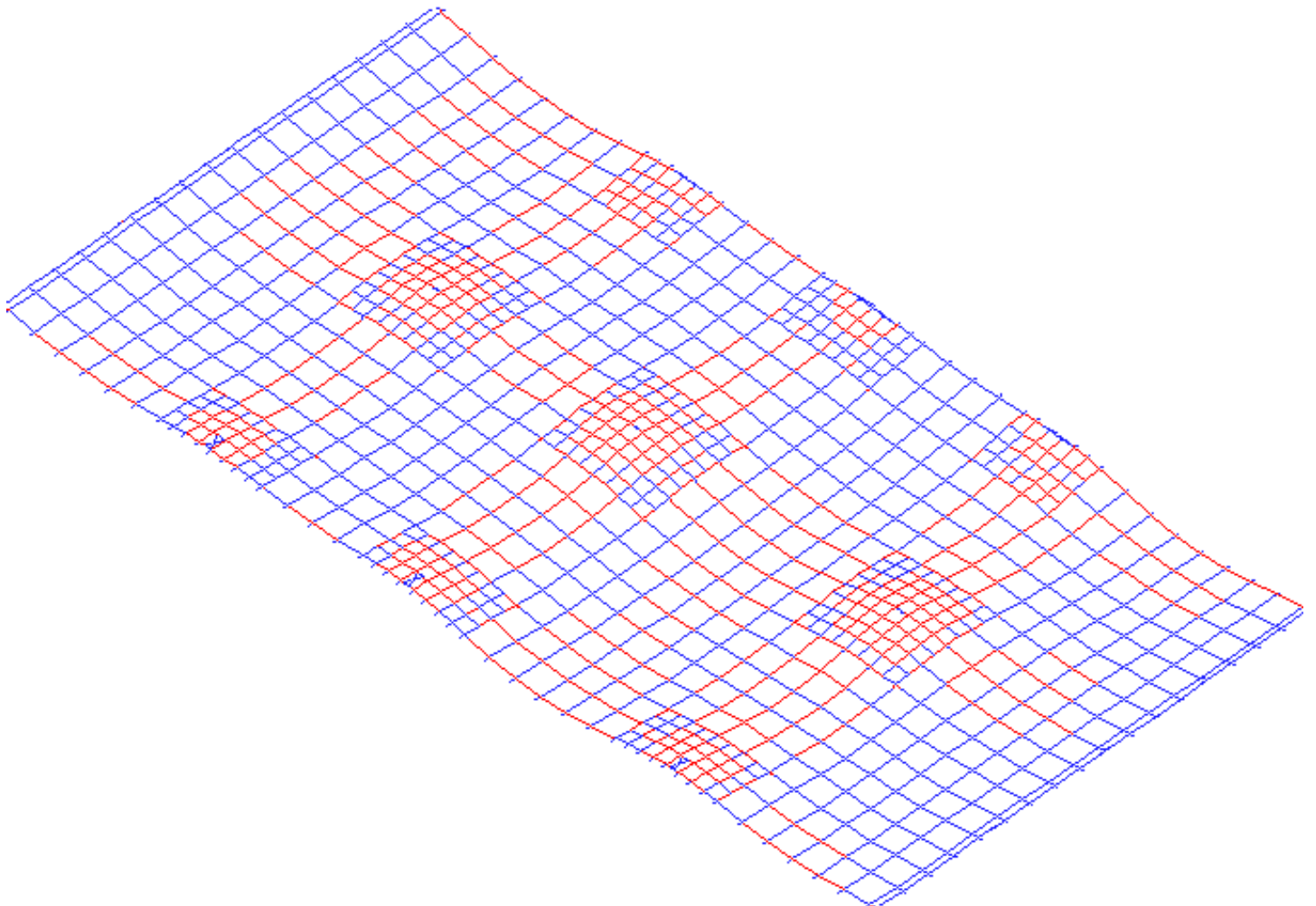
As quedas de inércia devido a passagem para o estágio II (inércia considerando a fissuração na região tracionada) ocorre de maneira variada nos diversos pontos do capitel, sendo que na realidade, as inércias reais dependem da seção que é definida ... uma laje com 23 cm de altura fissura muito mais que uma de 35 cm, para uma mesma sollicitação.

Podemos observar o estado de fissuração de uma laje através do processamento de grelha considerando a não linearidade física, que afeta exatamente este cálculo das inércias, obtida barra a barra, nos estádios I ou II). Veja esta diferença entre uma laje de 23 cm e uma de 35 cm solicitadas por um mesmo carregamento externo:

Inércias a flexão para um painel de laje com 35 cm (estádio II em vermelho):



e agora, as Inércias a flexão para um painel de laje com 23 cm (estádio II em vermelho):



Podemos perceber claramente que o grau de fissuração da laje de 23 cm é bem superior ao da laje de 35 cm.

Como termo de comparação, vamos comparar as variações de inércia da barra 1700, que esta situada próxima ao pilar, no capitel central / inferior do modelo

Com h = 35 cm

| Barra | Tipo | Início | Fim | Fase | Flexão | | | | Torção | | | |
|---------|------------|--------|-----|---------|--------------|-------|-------|------|--------------|-------|-------|------|
| | | | | | Inércia (Iy) | Var. | Acum. | Est. | Inércia (Ix) | Var. | Acum. | Est. |
| 1700 | Laje | 336 | 368 | .GRE | 0,00021410 | ----- | ----- | 1 | 0,00018829 | ----- | ----- | 1 |
| | | | | Armada. | 0,00024878 | 16 | 16 | 1 | 0,00081444 | 333 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.1 | 0,00024878 | 00 | 16 | 1 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.2 | 0,00024878 | 00 | 16 | 1 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.3 | 0,00022067 | -11 | 03 | 2 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.4 | 0,00019065 | -14 | -11 | 2 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.5 | 0,00016869 | -12 | -21 | 2 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.6 | 0,00015389 | -09 | -28 | 2 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.7 | 0,00014411 | -06 | -33 | 2 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.8 | 0,00013765 | -04 | -36 | 2 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.9 | 0,00013337 | -03 | -38 | 2 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| Incr.10 | 0,00012979 | -03 | -39 | 2 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 | | | | |
| 1701 | Laje | 368 | 369 | .GRE | 0,00021410 | ----- | ----- | 1 | 0,00018829 | ----- | ----- | 1 |
| | | | | Armada. | 0,00023235 | 09 | 09 | 1 | 0,00081444 | 333 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.1 | 0,00023235 | 00 | 09 | 1 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.2 | 0,00023235 | 00 | 09 | 1 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.3 | 0,00023235 | 00 | 09 | 1 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| Incr.4 | 0,00023235 | 00 | 09 | 1 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 | | | | |

2243 Barra(s) Valor da inércia à flexão na fase

Barra: De 1667 Até 2243

Localizar Barra Fechar

Com h = 23 cm

| Barra | Tipo | Início | Fim | Fase | Flexão | | | | Torção | | | |
|---------|------------|--------|-----|---------|--------------|------|-------|------|--------------|------|-------|------|
| | | | | | Inércia (Iy) | Var. | Acum. | Est. | Inércia (Ix) | Var. | Acum. | Est. |
| 1700 | Laje | 336 | 368 | .GRE | 0,00021410 | ---- | ---- | 1 | 0,00018829 | ---- | ---- | 1 |
| | | | | Armada. | 0,00024878 | 16 | 16 | 1 | 0,00081444 | 333 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.1 | 0,00024878 | 00 | 16 | 1 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.2 | 0,00024878 | 00 | 16 | 1 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.3 | 0,00022067 | -11 | 03 | 2 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.4 | 0,00019065 | -14 | -11 | 2 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.5 | 0,00016869 | -12 | -21 | 2 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.6 | 0,00015389 | -09 | -28 | 2 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.7 | 0,00014411 | -06 | -33 | 2 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.8 | 0,00013765 | -04 | -36 | 2 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.9 | 0,00013337 | -03 | -38 | 2 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| Incr.10 | 0,00012979 | -03 | -39 | 2 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 | | | | |
| 1701 | Laje | 368 | 369 | .GRE | 0,00021410 | ---- | ---- | 1 | 0,00018829 | ---- | ---- | 1 |
| | | | | Armada. | 0,00023235 | 09 | 09 | 1 | 0,00081444 | 333 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.1 | 0,00023235 | 00 | 09 | 1 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.2 | 0,00023235 | 00 | 09 | 1 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| | | | | Incr.3 | 0,00023235 | 00 | 09 | 1 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 |
| Incr.4 | 0,00023235 | 00 | 09 | 1 | 0,00081444 | 00 | 333 | 1 | | | | |

2243 Barra(s) Valor da inércia à flexão na fase

Barra(s): De 1667 Até 2243

Localizar Barra Fechar

Podemos observar que não ocorreu fissuração a torção (neste caso), e que a queda da inércia a flexão foi de 49% (h=35) e de 39% (h=23) sendo que encontrei algumas barras com redução de inércia de 73%. Porém, como esta variação de inércia não é constante, devemos adotar um valor médio bem representativo.

Vale lembrar que um divisor de flexão = 2 representa um consideração de 50% da inércia plena.

Um abraço a todos

Luiz Aurélio

TQS Informática Ltda.