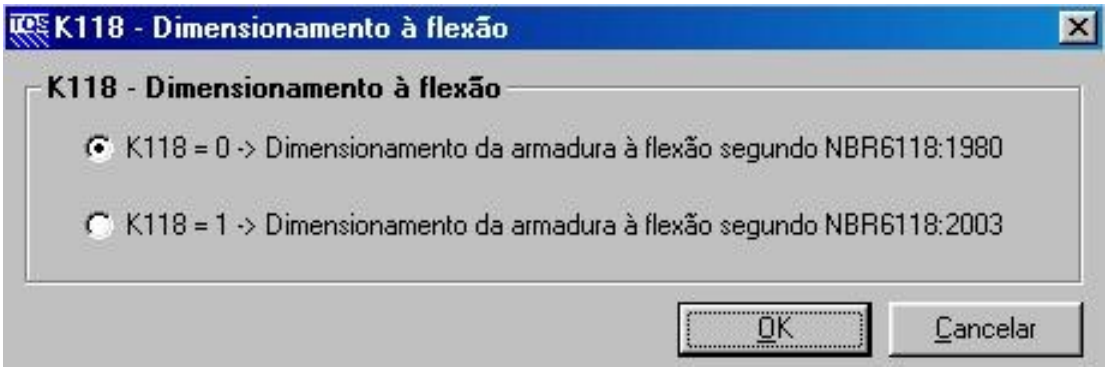
Sistema TQS-Vigas e a NBR-6118:2003 (Parte II)

6.) Dimensionamento no ELU - Flexão

Para optar pelo dimensionamento a flexão - ELU - pela NB1/03, fornecemos no arquivo de critérios:



Embora este item quase não tenha sofrido alteração de Norma, vamos destacar:

6.1) Limites de x/d em função de d

Assunto já abordado no item anterior.

6.2) Armadura mínima

A expressão da armadura mínima mudou e passou a ter um significado importante. Agora, a armadura mínima além de obedecer o limite de 0.15 % da seção bruta , tem também que atender ao momento mínimo dado pela expressão:

$$M_{d,min} = 0.8 \quad W_0 \quad f_{ctk,sup}$$

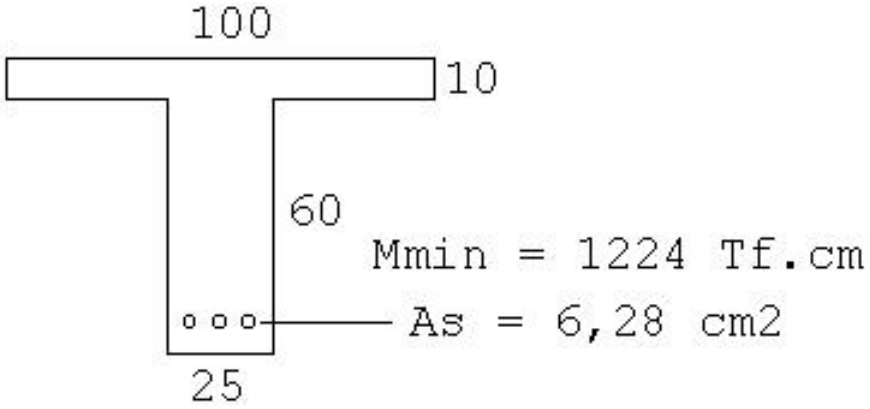
O W0 é o modulo de resistência da seção bruta de concreto, incluindo a seção T se houver. Como a seção T ou L não é simétrica, temos, no caso geral, um valor para W0 para momentos mínimos negativos e outro valor de W0 para momentos mínimos positivos.

Para seções T, mesa superior, em balanço por exemplo, o valor da armadura mínima aumentou significativamente.

Vamos apresentar um exemplo:

```
----------------   G  E  O  M  E  T  R  I  A     --------------------
VAO= 1 /L=4.0 /B=.25 /H=.70 /BCS=1.0 /BCI=.00 /TPS=2 /ESP.LS=.10/ [M]

 - -  - - A  R  M  A  D  U  R  A  S   ( F L E X A O )   - - -- - - - -
FLEXAO-BALANCO- M.NEG.DIR= 1224.3  TF*CM  AS =6.28 -SRAS- [  3B20.0MM ]
[CM]                                      ASL=   .0 -ARM.LAT=[2X4B8.0MM]
                MOM. MIN = 1224.3  -  x/dMx= .50   -BIT.DE FISS.= .8 CM

fck = 25 MPa
Área da Seção= 2500. cm2      % Armadura = 6.28 / 2500. * 100 = 0.25
```

Esquematicamente temos:



A seleção da armadura mínima conforme a NB1/03 é feita pelo critério K40=2:

No relatório geral do TQS-Vigas, estes valores de momentos mínimos são agora apresentados como abaixo.

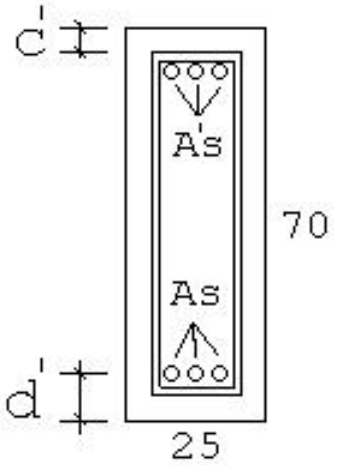
```
A  R  M  A  D  U  R  A  S   ( F L E X A O   E   C I S A L H A M E N T O ) -
FLEXAO-| E S Q U E R D A                    | D I R E I T A
       | M.NEGATIVO=   2855.9 TF*CM         | M.NEGATIVO=    709.8  TF*CM
[CM]   | AS =  20.18  -SRAD- [  7 B 20.0MM] | AS =   4.58  -SRAS- [4 B 12.5MM]
       | ASL=  21.97  -----                 | ASL=    .00  ----/-
       |                     x/dLim =  .21  |                  x/dLim=  .45
       | ***ASL COMPR.***                   |
       | % BARIC.ARMAD.= 10                 | % BARIC.ARMAD.=  3
[TF,CM]| BIT.FISS.=   5.7  MOM.MIN=  709.8  | BIT.FISS.=1.0   MOM.MIN=  709.8
```

6.3) Flexão Composta

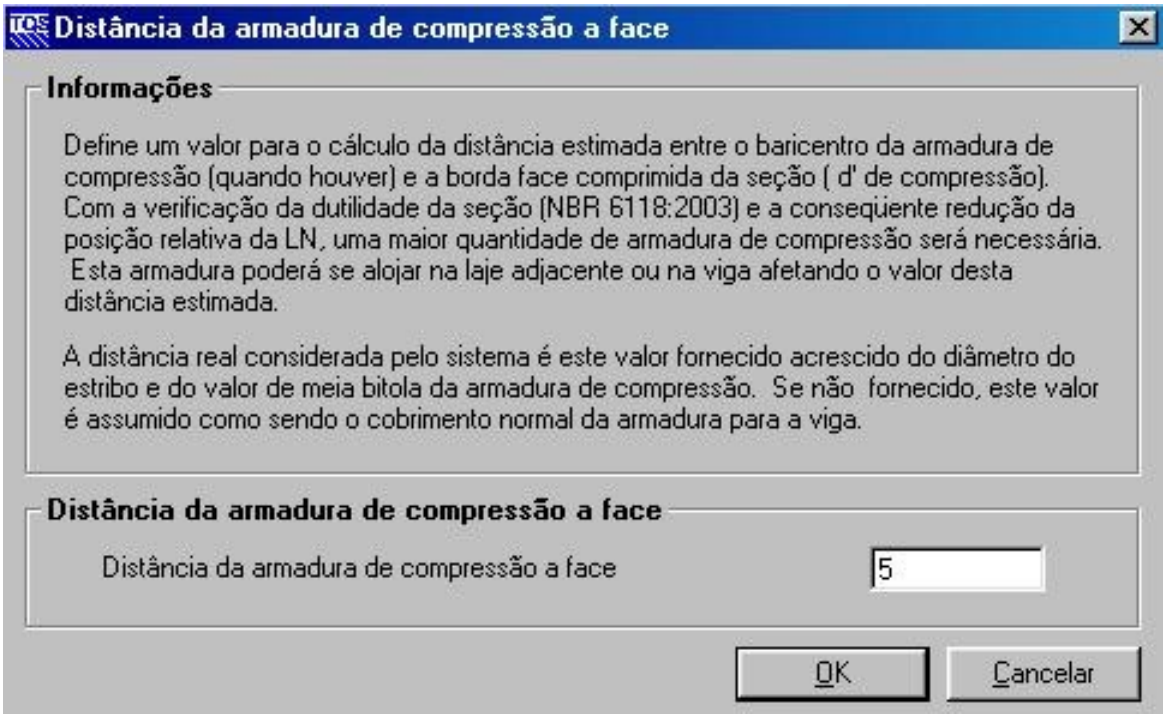
Por enquanto, o TQS-Vigas ainda não está dimensionando as vigas automaticamente a flexão composta normal. Embora estes esforços de compressão e/ou tração possam ser calculados com a presença da força normal devido a, por exemplo, temperatura axial e retração, este dimensionamento não é realizado automaticamente. Mensagem de aviso e advertência para este fato é emitida.

6.4) Baricentro da Armadura de Compressão

Nesta nova modalidade de dimensionamento limitando o valor do x/d na seção, as armaduras de compressão assumem valores maiores e significativos. Como elas são alojadas de forma mais favorável e tem valores menores do que as armaduras tracionadas, foi criado um critério específico para o posicionamento do baricentro destas armaduras na seção transversal. Com a definição de um valor especial de cobrimento da armadura de compressão, podemos controlar o braço de alavanca entre os baricentros das armaduras de tração e compressão. A figura abaixo ilustra o significado desta grandeza:



No arquivo de critérios a informação é fornecida como abaixo:



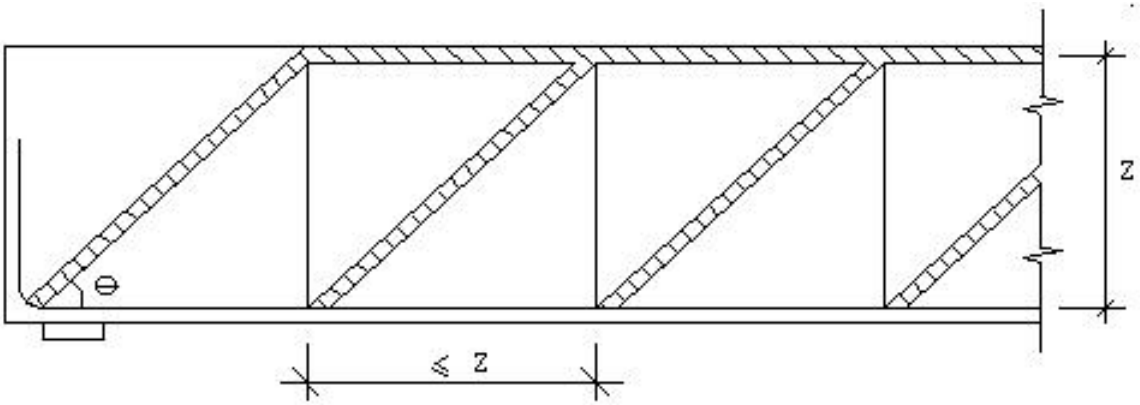
Exemplo de relatório com armadura de compressão elevada:

```
--------------    G  E  O  M  E  T  R  I  A     -------------------
VAO= 2 /L=  6.00 /B=  .30 /H=   .70  /BCS=  .00 /BCI=  .00 /TPS=  2
       /ESP.LS=  .00 /ESP.LI=  .00 FSP.EX=  .35 /FLT.EX=  .15   [M]

-  - -   A  R  M  A  D  U  R  A  S   D E    F L E X A O    -    -    -
FLEXAO-| E S Q U E R D A                    | D I R E I T A
       | M.NEGATIVO=    901.3 TF*CM          | M.NEGATIVO=   1297.6  TF*CM
[CM]   | AS =   5.58  -SRAS- [4 B 16.0MM]    | AS = 6.45  -SRAD- [4 B 20.0MM]
       | ASL=    .00  -----                  | ASL=13.35  -----
       |                         x/dMx= .50  |                      x/dMx= .05
       |                                     | **ASL COMPR.***
[TF,CM]| BIT.FISS.=    .9   MOM.MIN=  563.2  | BIT.FISS.= 1.3  MOM.MIN= 563.2
```

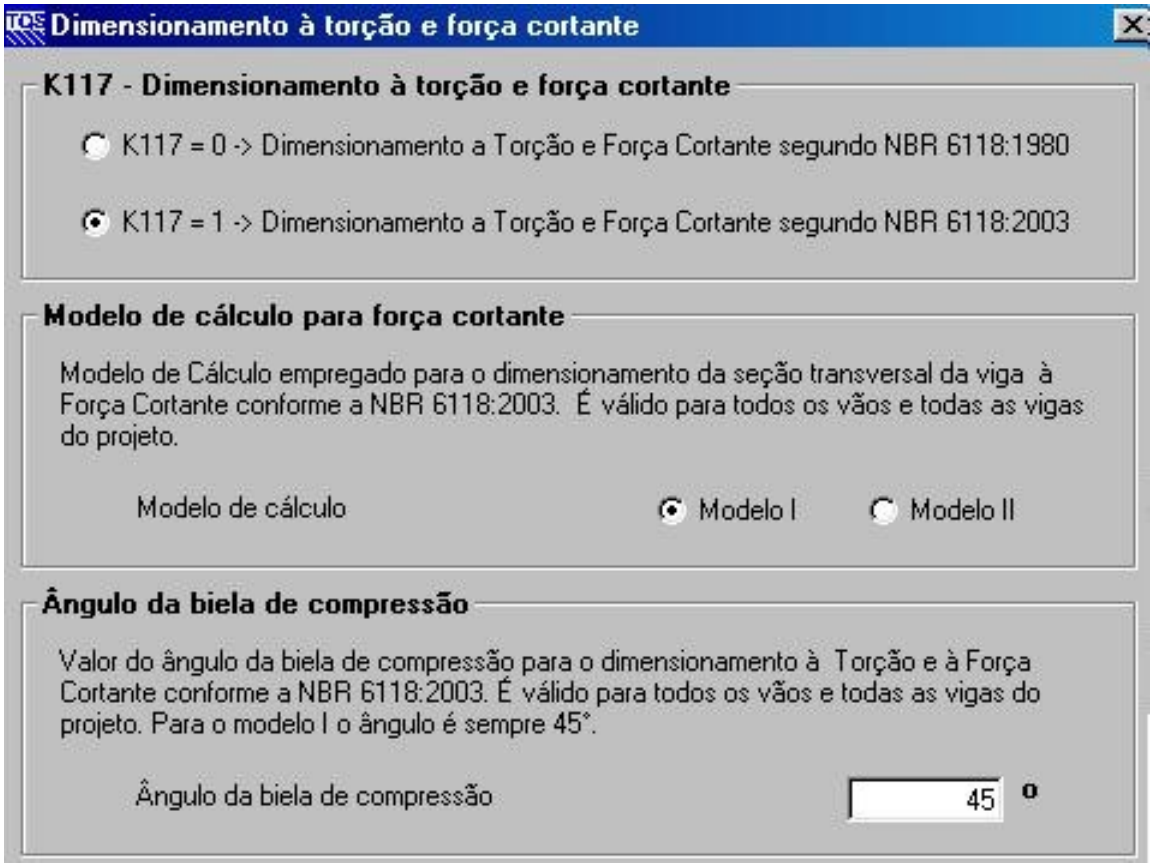
7.) Dimensionamento a Força Cortante - ELU

Este item sofreu alterações substanciais nesta nova Norma. Em primeiro lugar assumimos que o TQS-Vigas trabalha apenas com barras longitudinais e estribos para combater o cisalhamento. Não são detalhadas barras horizontais inclinadas a 45º (cavaletes). Os estribos estão sempre posicionados a 90º.

Esquematicamente, temos a treliça abaixo representando as diagonais comprimidas, inclinadas de ?. O banzo superior é comprimido e o banzo inferior é tracionado. As armaduras verticais tracionadas representam os estribos.



A opção de detalhamento a nova NB1/03 é feita pelo K117 como abaixo:



Vamos destacar as principais modificações:

7.1) Armadura mínima

Obedece a expressão:

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w . s . \operatorname{sen} \alpha} \geq 0{,}2 \frac{f_{ctm}}{f_{ywk}}$$

7.2) Cálculo da Resistência

$V_{sd} \leqslant V_{Rd2}$ (valor da ruína das diagonais comprimidas de concreto)

$V_{sd} \leqslant V_{Rd3} = V_c + V_{sw}$

VRd3 é a força cortante resistente de cálculo relativa a ruína por tração diagonal

Vc é a parcela de força cortante absorvida por mecanismos complementares ao da treliça.

Vsw é a parcela resistida pela armadura transversal.

7.3) Modelo de Cálculo I

Assume o ângulo das diagonais de compressão? inclinadas de 45º.

$$V_{Rd2} = 0{,}27\ \alpha_{v2}\ f_{cd}\ b_w\ d$$

$$V_{Rd3} = V_c + V_{sw}$$

$$V_c = 0{,}6\ f_{ctd}\ b_w\ d$$; V_c tem valor constante independente de V_{sd}

$$V_{sw} = (A_{sw} / s)\ 0{,}9\ d\ f_{ywd}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c$$

Temos então que verificar se o valor Vsd ultrapassa o VRd2 e calcular a armadura através da expressão acima.

7.4) Modelo de Cálculo II

Assume o ângulo q das diagonais de compressão inclinadas entre os valores 30º e 45º.

$$V_{Rd2} = 0{,}54\ \alpha_{v2}\ f_{cd}\ b_w\ d\ \text{sen}^2\,\theta\ (\text{cotg}\,\theta)$$

$$V_{Rd3} = V_c + V_{sw}$$

$V_c = 0{,}6\ f_{ctd}\ b_w\ d$; quando $V_{Sd} \leqslant V_c$

$V_c = 0$ quando $V_{Sd} = V_{Rd2}$, interpolando-se linearmente para valores intermediários.

$$V_{sw} = (A_{sw} / s)\ 0{,}9\ d\ f_{ywd}\ (\text{cotg}\,\theta)$$

Temos então que verificar se o valor Vsd ultrapassa o VRd2 e calcular a armadura através da expressão acima.

7.5) Seleção de Modelo de Cálculo I ou II

Em função do ângulo selecionado para as diagonais de compressão do concreto para o modelo II (inclinação entre 30º e 45º), teremos diferentes valores de armaduras. A redução da quantidade das armaduras é sempre desejada, mas o valor da decalagem dos diagramas de momentos fletores e o valor da força nas diagonais comprimidas também aumenta conforme o ângulo varia.

A aparente incoerência existente nestes dois modelos é que o valor da armadura calculada pelo Método I (ângulo de 45º) não é igual ao do Método II, também com o ângulo de 45º. O ideal, já sugerido por alguns engenheiros, seria que o programa calculasse cada seção pelos dois Métodos e adotasse o que resultasse em menor valor de armadura. Entretanto isto não é uma decisão correta do ponto de vista técnico. Não podemos ter uma seção calculada com o ângulo de inclinação das bielas de 30º e, na seção seguinte, este ângulo passa a ser 45º. Portanto, feita a seleção, ela ficará válida para todas as vigas do projeto e todas as seções da viga.

O que é recomendado e possível de ser feito é a seleção de um Método ou outro e o ângulo de inclinação (caso do Método II) através do arquivo de critérios de projeto. Faz-se o processamento completo para todas as vigas e verifica-se a quantidade de armadura. Altera-se o critério e verifica-se novamente a quantidade de armadura. Com

estas informações e conforme as condições particulares do projeto (solicitações, dimensões etc), cria-se a sensibilidade para a melhor seleção do ângulo das bielas e a realização de um projeto conforme a boa técnica e adequado sob o ponto de vista econômico.

Importante lembrar também que a alteração no ângulo de inclinação das bielas afeta o cálculo da viga a torção e altera também o comprimento das armaduras longitudinais.

7.6) Apresentação de Resultados

O seguinte relatório é apresentado por ocasião do dimensionamento a força cortante:

CISALHAMENTO- Xi	Xf	Vsd	VRd2	MdC	Ang.	Asw[C]	Asw[C+T]	[Tf,cm]
0.-	215.	13.69	34.63	1	45.	1.8	37.4	
215.-	430.	4.11	34.63	1	45.	1.4	7.2	
430.-	645.	6.82	34.63	1	45.	1.4	44.5	

Quando a força cortante solicitante de cálculo ultrapassa a força cortante resistente de cálculo (VRd2) a seguinte mensagem é apresentada. Além da identificação alfanumérica, é feita também uma identificação gráfica do elemento na planta de formas.

```
AVISO/ERRO: Ruina da biela comprimida. F_Cortante atuante > Limite.
SISTEMA: CAD/Vigas
CLASSIFICAÇÃO: 2 - Grave, IMPORTANTE!!!
ELEMENTO: Viga 4
TRECHO: Vão 2

     A força cortante atuante de cálculo, relativa à ruina das
diagonais comprimidas de concreto = 63,23 Tf, ultrapassou o valor
limite resistente = 34,63 Tf.  O programa detalhará o estribo
com um diâmetro = 50 mm apenas para não  interromper o processamento.
A tabela de ferros não  será gerada.

  Possíveis soluções:

  a)Aumente o Fck
  b)Aumente a seção da viga ( reprocesse o modelo )
  c)Altere o modelo estrutural para que a viga suporte as cargas aplicadas.
```

8.) Dimensionamento a Torção - ELU

Assumimos que o TQS-Vigas trabalha apenas com barras longitudinais nas faces da seção e estribos verticais para combater os esforços de torção.

8.1) Armadura mínima

Obedece a expressão:

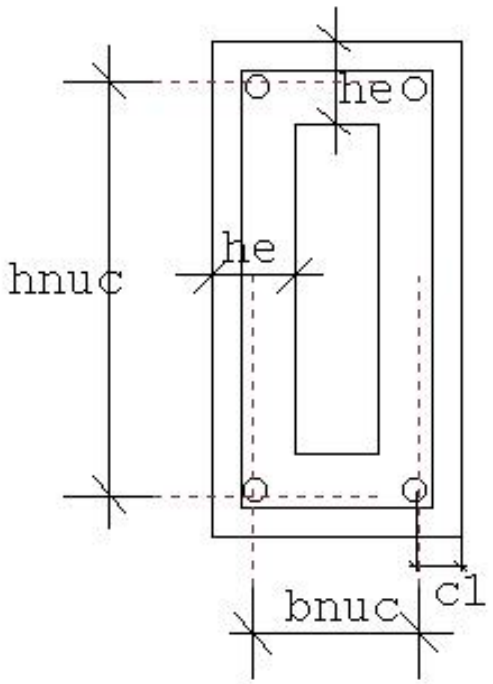
$$\rho_{s\ell} = \rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w s} \geq 0{,}2\,\frac{f_{ctm}}{f_{ywk}}$$

8.2) Ângulo de inclinação da treliça

As diagonais de compressão da treliça espacial resistente tem inclinação que podem variar entre 30º e 45º. Esta seleção é feita no mesmo item empregado para o dimensionamento da força cortante, Método II.

8.3) Seção transversal resistente

A seção vazada equivalente é definida como:



$he \leqslant A / \mu_e$

$he \geqslant 2\ c_1$

onde:

A é a área da seção cheia;

μ_e é o perímetro da seção cheia;

c_1 é a distância entre o eixo da armadura longitudinal do canto e a face lateral do elemento estrutural.

8.4) Resistência do elemento estrutural

$T_{sd} \leqslant T_{Rd2}$
$T_{sd} \leqslant T_{Rd3}$
$T_{sd} \leqslant T_{Rd4}$

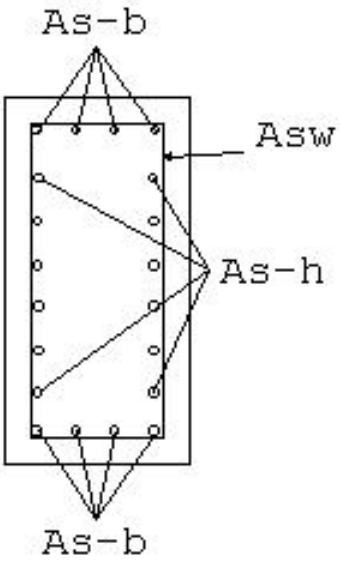
onde:

T_{Rd2} (limite da resistência das diagonais comprimidas do concreto)
T_{Rd3} (limite da parcela resistida pelos estribos normais ao eixo da viga)
T_{Rd4} (limite da parcela resistida pelas barras longitudinais paralelas ao eixo da viga)

$$T_{Rd2} = 0{,}50\ \alpha_{v2}\ f_{cd}\ A_e\ h_e\ \text{sen}\ 2\theta$$
$$T_{Rd3} = (A_{90} / s)\ f_{ywd}\ 2\ A_e\ \text{cotg}\ \theta$$
$$T_{Rd4} = (A_{s\ell} / u_e)\ 2\ A_e\ f_{ywd}\ \text{tg}\ \theta$$

Com as expressões de TRd3 e TRd4 acima, calculamos as armaduras transversais e longitudinais para resistir à torção. Essas armaduras são tratadas como abaixo:

As armaduras transversais são adicionadas às armaduras calculadas para a força cortante.
As armaduras longitudinais (face superior e face inferior) são adicionadas às armaduras longitudinais para flexão.
As armaduras longitudinais nas faces laterais são comparadas com a armadura lateral já calculada adotando-se o valor máximo. Se a viga não possui armadura lateral mas torção, está é a armadura adotada.



8.5) Apresentação de resultados

O seguinte relatório é apresentado por ocasião do dimensionamento a torção:

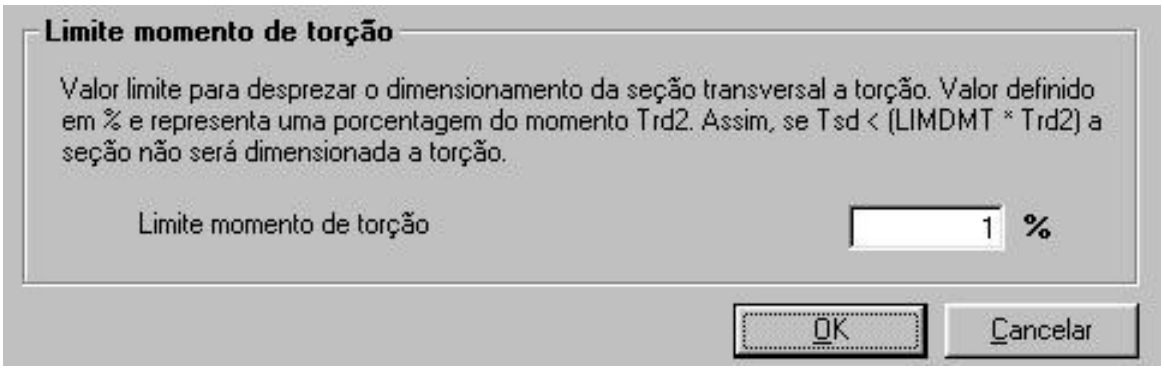
```
VAO= 2 /L=6.76 /B=.14 /H=.60  /BCS=.46 /BCI=.00 /TPS=5 /ESP.LS=.04[M]

TORCAO- Xi   Xf    Tsd  TRd2  he b-nuc h-nuc Asw-1R Asl-b Asl-h ComDia
[Tf,cm]0.- 215. 2.94  2.09 6.9   7.1  53.1    8.9    .6   4.7   1.80
     215.- 430.  .14  2.09 6.9   7.1  53.1    1.4    .1    .4    .18
     430.- 645. 3.55  2.09 6.9   7.1  53.1   10.8    .8   5.7   1.90
```

Quando o momento torçor solicitante de cálculo (Tsd) ultrapassa o momento torçor resistente de cálculo (TRd2) a seguinte mensagem é apresentada. Além da identificação alfanumérica, é feita também uma identificação gráfica.

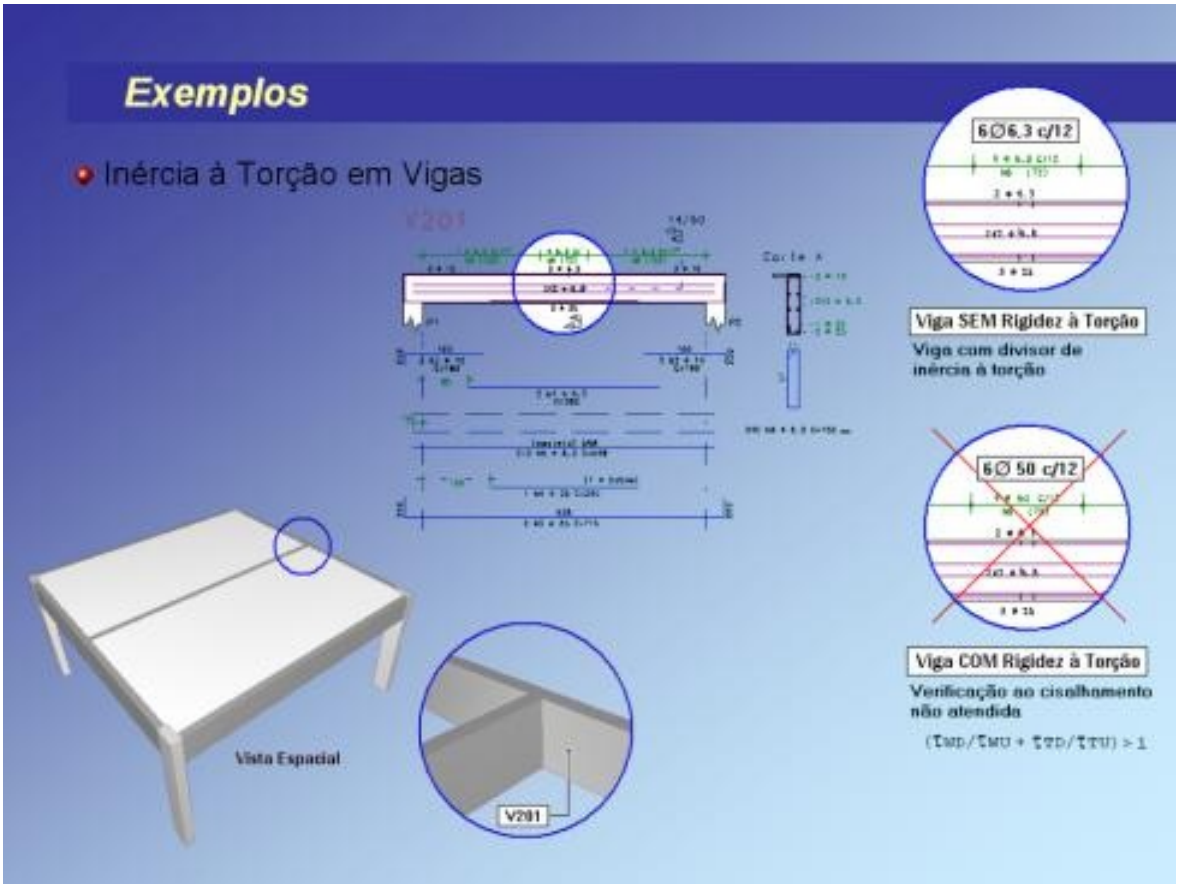
```
AVISO/ERRO: Ruína da diagonal comprimida. M_Torção atuante > Limite.
SISTEMA: CAD/Vigas
CLASSIFICAÇÃO: 2 - Grave, IMPORTANTE!!!
ELEMENTO: Viga 1
TRECHO: Vão 2
     O momento de torção atuante de cálculo, relativa à ruína
das diagonais comprimidas de concreto = 2,94
Tf*m, ultrapassou o valor limite resistente = 2,09 Tf*m.
O programa detalhará o estribo com um diâmetro = 50
mm apenas para não  interromper o processamento. A tabela de ferros não
será gerada.

     Possíveis soluções:
     a)Aumente o Fck
     b)Aumente a seção da viga ( reprocesse o modelo )
     c)Altere o modelo estrutural para que a viga suporte as cargas
       aplicadas.
```

8.6) Limite para desprezar Tsd

Geralmente, o cálculo de solicitações considerando um valor da inércia a torção baixa, resulta em valores reduzidos de Tsd. Para valores muito pequenos de Tsd, pode-se desprezar o cálculo da viga a torção. Este valor é fornecido no arquivo de critérios em função de uma porcentagem do valor de TRd2 como abaixo.



A inércia a torção em vigas usuais de edifícios implica no aparecimento do momento de torção. Se a viga não tiver uma dimensão (largura) suficiente, as tensões de cisalhamento, fatalmente, ultrapassarão os limites permitidos. Para não interromper o processamento, o TQS-Vigas realiza os cálculos, emite os avisos de erros graves e detalha a armadura de cisalhamento com bitola de diâmetro = 50 mm.



Continua...

Nelson Covas - TQS