

## Curvas e Superfícies de Interação

Sobre as condições de segurança, a ABNT NBR 6118:2003 estabelece que as resistências de cálculo da estrutura ( $R_d$ ) não devem ser menores que as solicitações de cálculo ( $S_d$ ) e devem ser verificadas para todos os estados limites e para todas as combinações especificadas para o tipo de construção considerada. Ou seja, em qualquer caso deve ser respeitada a condição:

$$R_d \geq S_d$$

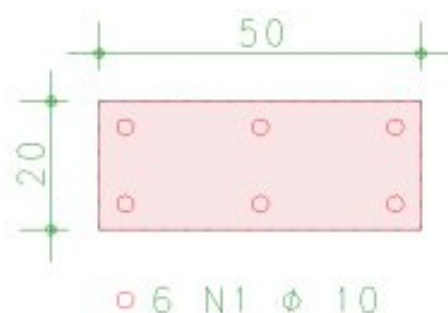
Ao se conhecer a geometria de uma seção, as suas características e materiais, a armadura detalhada e os coeficientes de segurança, torna-se possível calcular a resistência última ( $R_d$ ) de qualquer seção de concreto armado.

A resistência última ( $R_d$ ) da seção pode ser representada graficamente por curvas ou superfícies de interação, que são facilmente construídas por computadores.

No TQS existem duas ferramentas que montam curvas e superfícies de interação. São elas: o Editor Rápido de Armaduras do TQS-Pilar e a Calculadora de Flexão Composta Oblíqua, que serão apresentados com detalhes ao longo dessa mensagem.

Para flexão composta normal, podem ser construídas as curvas N-M. Já para flexão composta oblíqua, podem ser construídas as curvas ou superfícies N- $M_x$ - $M_y$ .

Para os exemplos apresentados nos itens “1. Curvas N-M” e “2. Curvas e Superfícies N- $M_x$ - $M_y$ ” será utilizada a seguinte seção: 20x50 cm, armadura de 6 barras de 10 mm, concreto C25, aço CA-50,  $\gamma_f = 1,4$  e  $\gamma_s = 1,15$ .



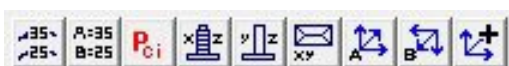
### 1. Curvas N-M

Conforme citado anteriormente, as curvas N-M são utilizadas para seções submetidas à flexão composta normal, e elas representam diagramas de interação que relacionam força normal última ( $N_d$ ) com momento fletor último ( $M_d$ ), ou seja, a resistência última da seção ( $R_d$ ).


Como montar uma curva N-M no Editor Rápido de Armaduras do TQS-Pilar?

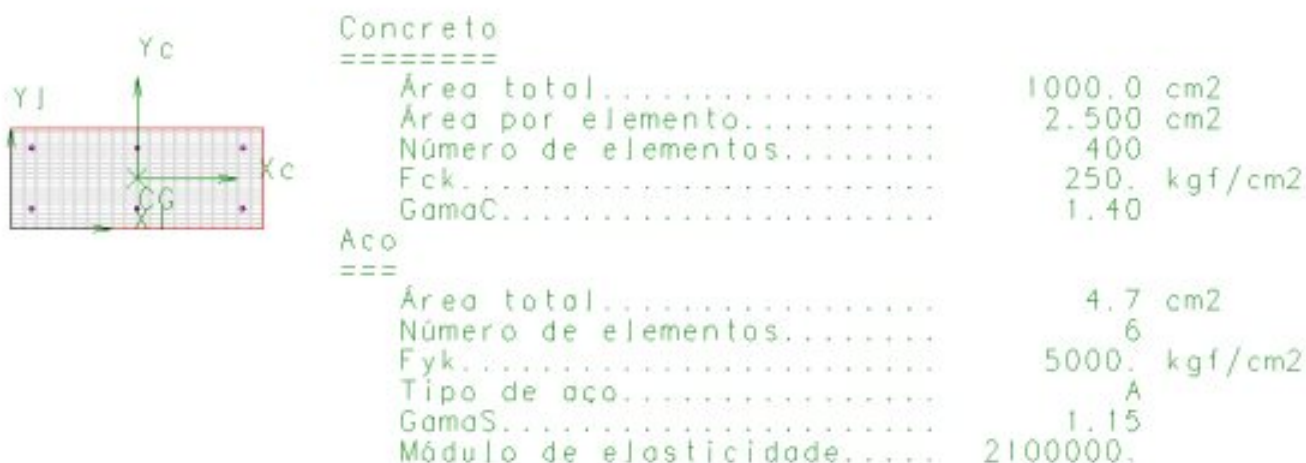
A primeira observação a fazer é: apesar da ferramenta de montagem de Curvas e Superfícies de Interação estar no Editor Rápido de Armaduras do TQS-Pilar, essa ferramenta é válida para qualquer tipo de seção e não somente para seção de pilar.


Os comandos para montagem e visualização de curvas no Editor Rápido de Armaduras do TQS-Pilar são os seguintes:

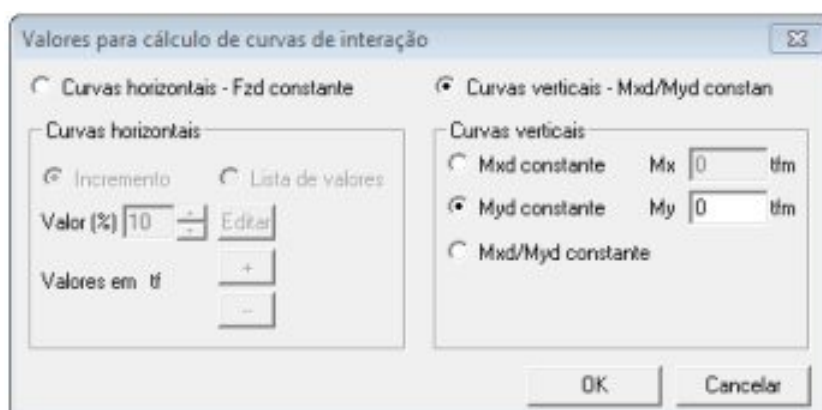


Eles se encontram na Barra de Ferramentas de Cálculo de Seções.

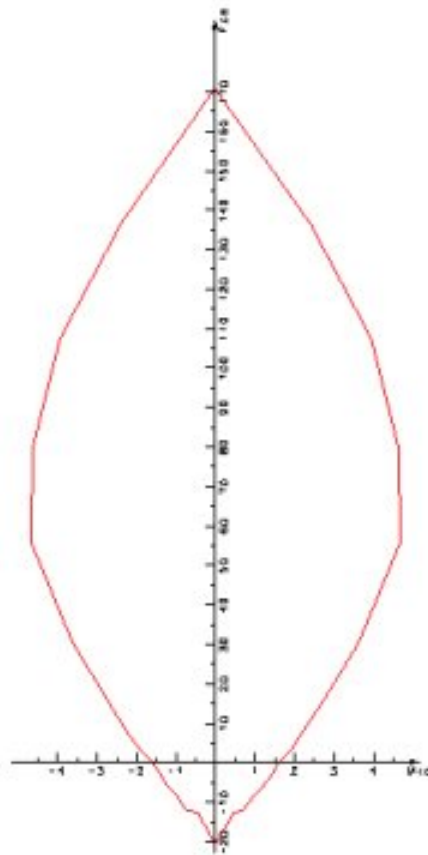
Para gerar a Curva de Interação, o primeiro comando da Barra de Ferramentas mostrada acima deve ser utilizado: Curvas de Interação - . Ao executá-lo, a seguinte tela com as características da seção será mostrada, bastando então, teclar ENTER para que a curva seja gerada.



É importante saber utilizar corretamente o comando Valores de Curvas -  para configurar as visualizações das curvas. Nesse caso, para visualizar a curva N- $M_x$ , basta definir a visualização das curvas verticais com  $M_{yd}$  constante e igual a 0 tf.m.



Após definir a visualização, é preciso gerar novamente a curva utilizando o comando Curvas de Interação - :



Observe que  $M_{xd}$  (momento na direção X) está definido no eixo X, e  $N_d$  (Força Normal) está definido no eixo Y.

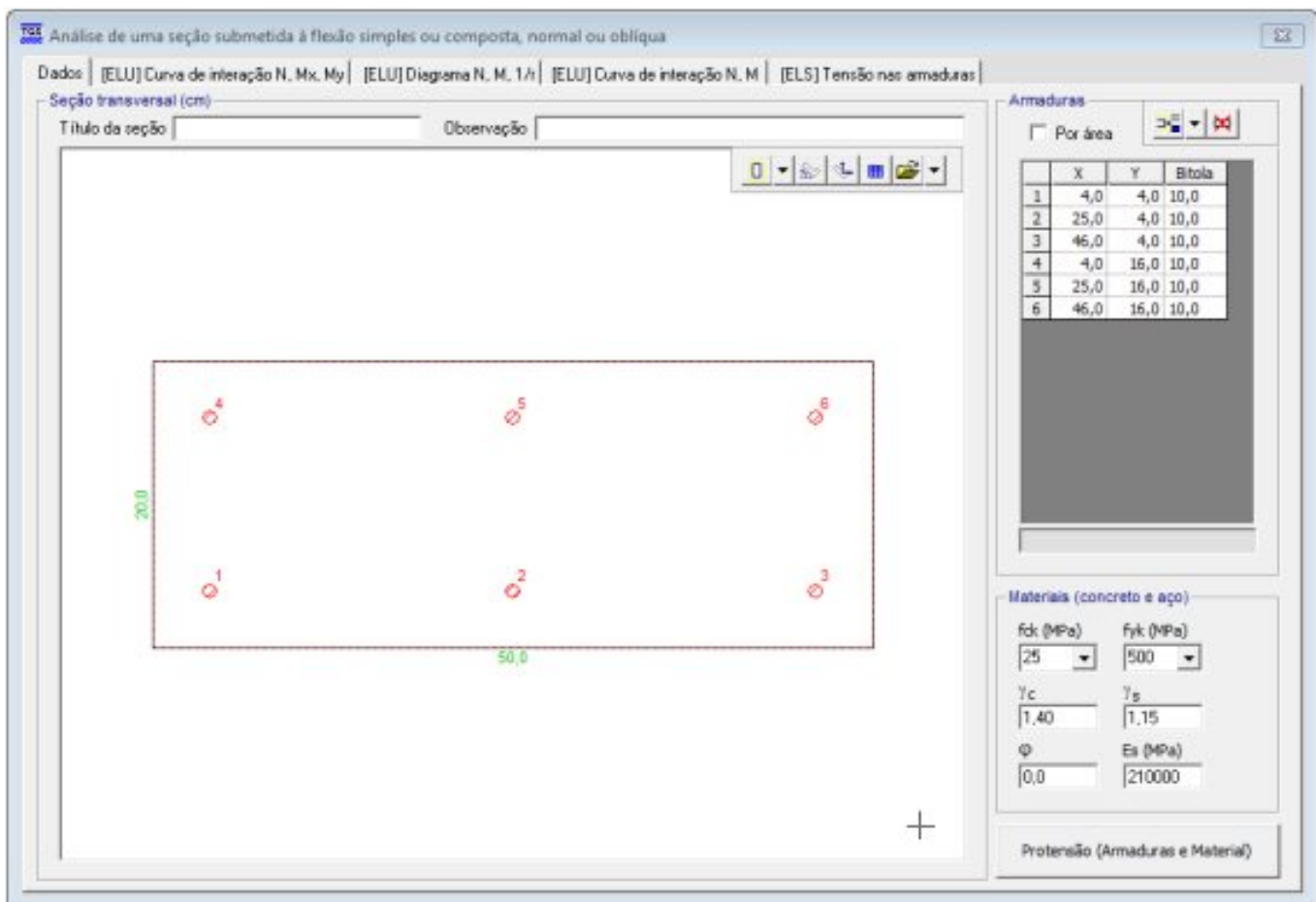
Como montar uma curva N-M na Calculadora de Flexão Composta Oblíqua?

Primeiramente, para acessar a calculadora é preciso seguir os seguintes comandos: Ferramentas > Utilidades > Calculadoras > Flexão Composta Oblíqua:




Ao entrar na Calculadora de Flexão Composta Oblíqua, é necessário definir a seção a ser verificada. Para isso, a seção precisa ser criada e salva em uma extensão chamada PMC dentro da própria calculadora.

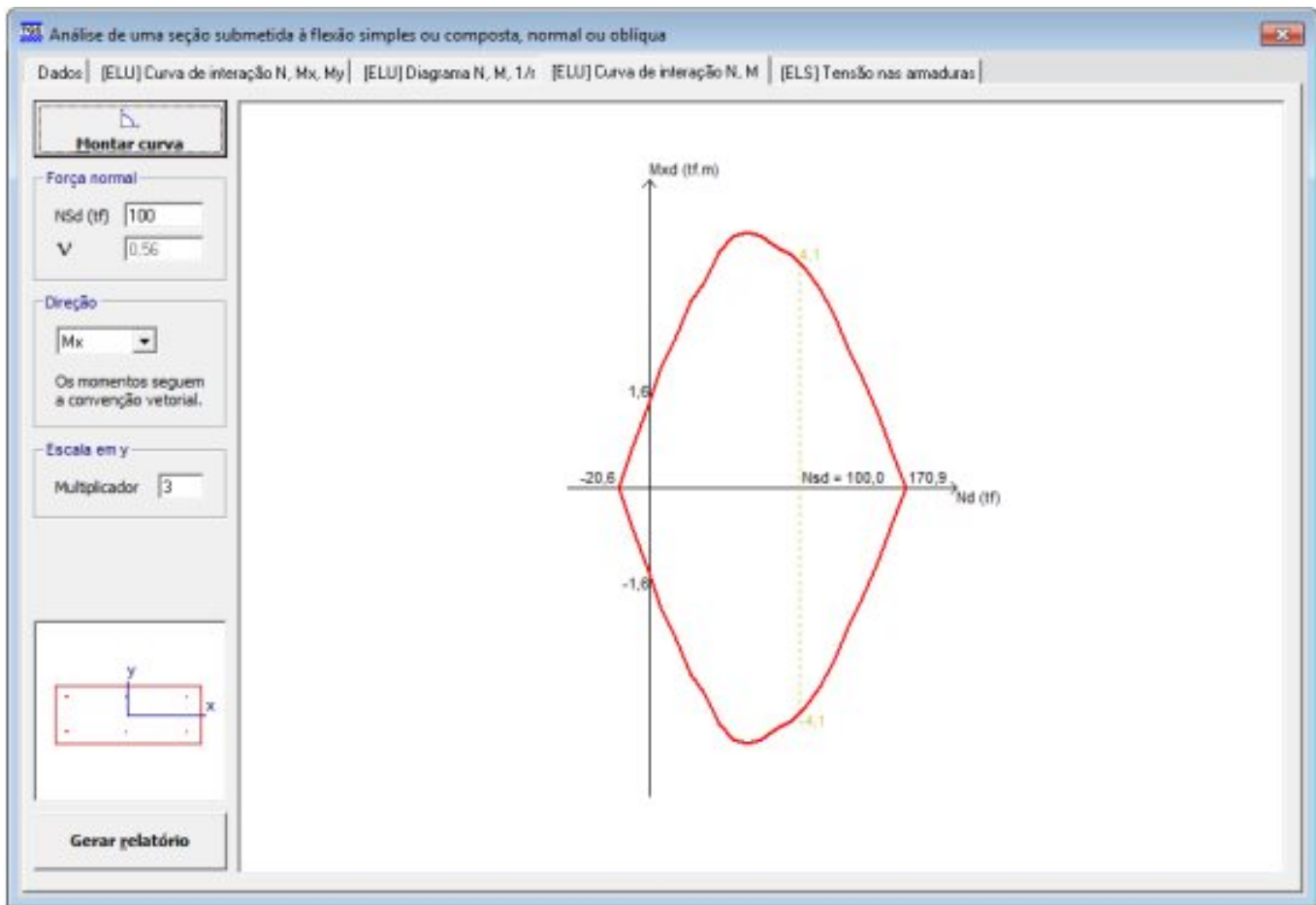
Segue abaixo, imagem da seção e materiais já definidos:



Observe que nessa calculadora é possível também definir armaduras ativas (protensão).

Selecionando a aba “[ELU] Curvas de interação N, M” pode-se gerar a curva de forma bem simples, bastando apertar o botão Montar Curva -  .

Ao definir um valor de Força Normal ( $N_d$ ) no campo reservado para isso, o programa irá montar a curva e indicar para dada Força Normal, quais os momentos na direção definida que a seção resiste, conforme mostrado abaixo:



Nesse caso, diferentemente do representado no Editor Rápido de Armaduras do TQS-Pilar, a normal última ( $N_d$ ) está representada no eixo X, e o momento último na direção X ( $M_{xd}$ ) está representado no eixo Y.

O que é importante concluir desse caso: caso a solicitação ( $S_d$ ) composta por uma força normal solicitante ( $N_d$ ) e por um momento fletor solicitante ( $M_{sd}$ ) seja definida por um ponto dentro ou sobre a curva de interação, a condição de segurança fica atendida ( $S_d \leq R_d$ ).

Contrariamente, quando a solicitação ( $S_d$ ) ficar representada por um ponto para fora da curva de interação, a ruptura é atingida. Mais à frente, isso será mostrado com detalhes.

## 2. Curvas e Superfícies N-Mx-My

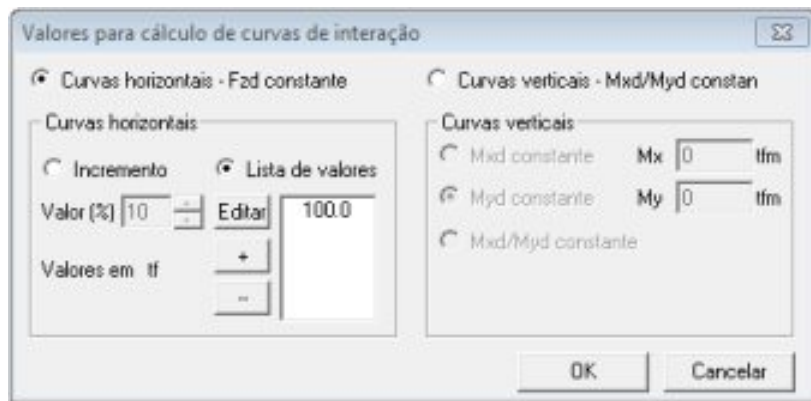
### 2.1 Curvas N-Mx-My

Conforme citado anteriormente, as curvas N- $M_x$ - $M_y$  são utilizadas para análise de seções submetidas à flexão composta oblíqua, e elas representam diagramas de interação que relacionam força normal última ( $N_d$ ) com momento fletor último ( $M_d$ ) nas duas direções, ou seja, a resistência última da seção ( $R_d$ ).

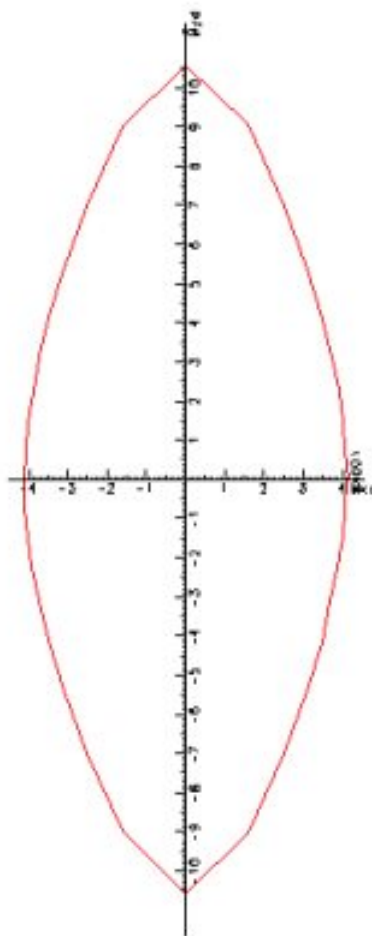
As curvas de interação N- $M_x$ - $M_y$  são montadas com uma força normal última ( $N_d$ ) pré-fixada.

Como montar uma curva N-Mx-My no Editor Rápido de Armaduras do TQS-Pilar?

Da mesma forma como montar uma curva N-M, porém é necessário pré-fixar um valor de força normal última ( $N_d$ ) utilizando os Valores de Curvas -  $\begin{matrix} A=35 \\ B=25 \end{matrix}$  :



Para uma normal última pré-fixada em 100 tf, obtém-se a seguinte curva  $N-M_x-M_y$ . Onde no eixo X está definido o  $M_{xd}$  e no eixo Y, o  $M_{yd}$ .



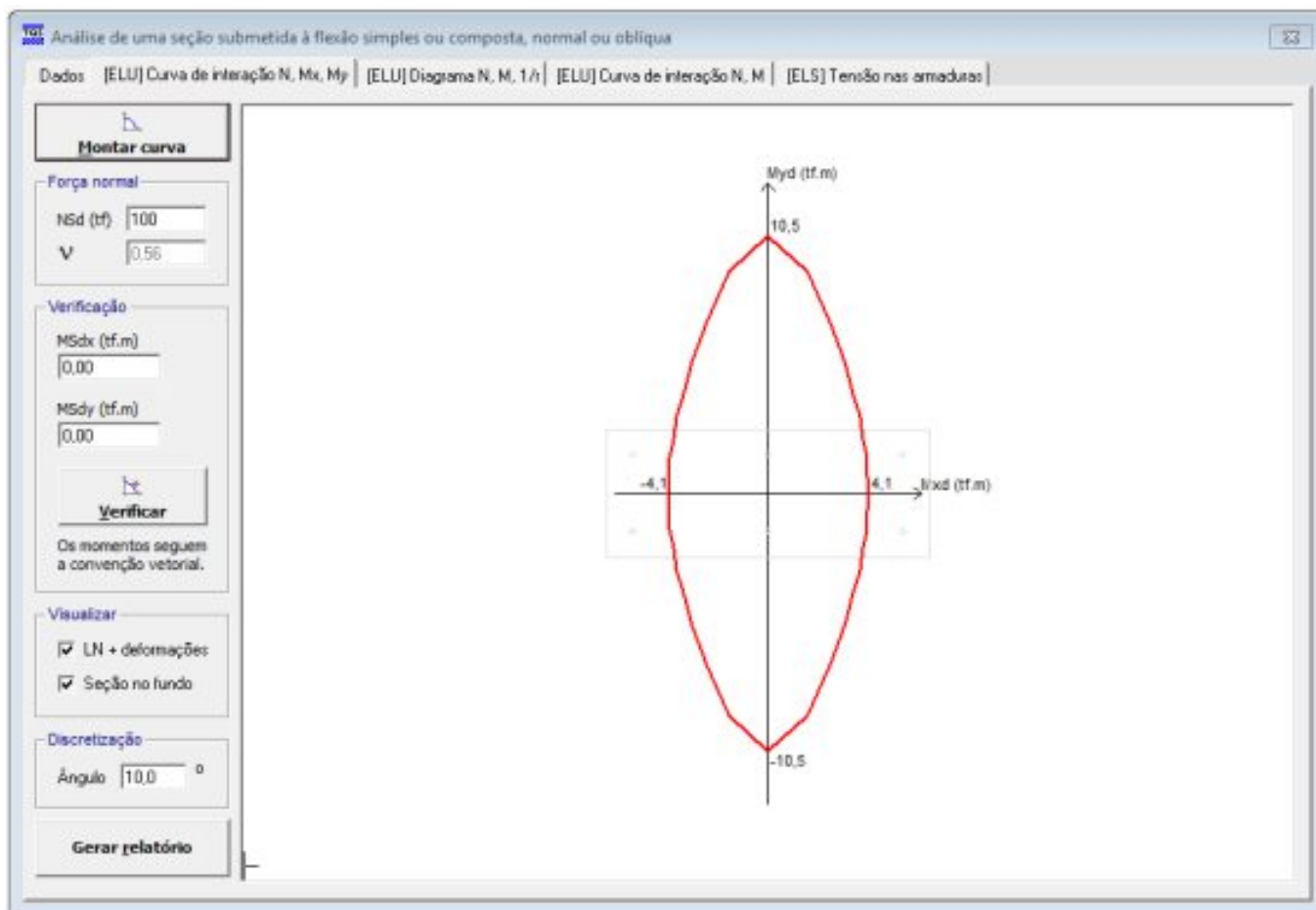
Como montar uma curva  $N-M_x-M_y$  na Calculadora de Flexão Composta Oblíqua?

Da mesma forma como foi montada a curva  $N-M$ , é preciso ter uma seção com as armaduras definidas salva em extensão PMC. Para o exemplo a seguir, foi utilizada a mesma seção definida no item Curvas  $N-M$ .

Selecionando a aba “[ELU] Curva de interação  $N-M_x-M_y$ ”, da mesma forma como no Editor Rápido de Armaduras do TQS-Pilar, é necessário pré-fixar um valor de Força Normal ( $N_d$ ) e então, basta gerar a curva de forma bem simples apertando o botão Montar Curva -



Da mesma forma que no item anterior, para uma Força Normal pré-fixada de 100 tf, obtém-se a seguinte Curva  $N-M_x-M_y$ :

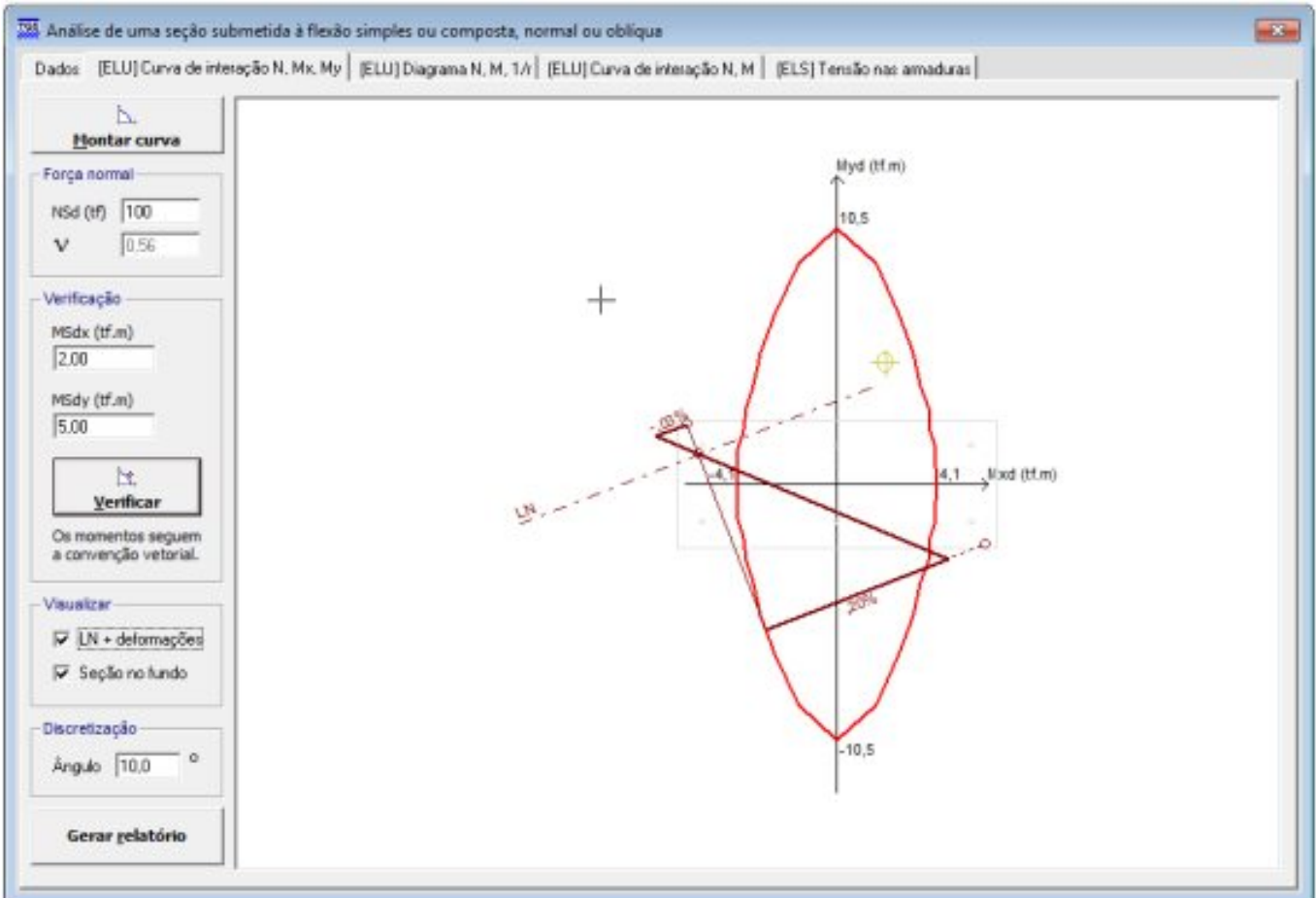
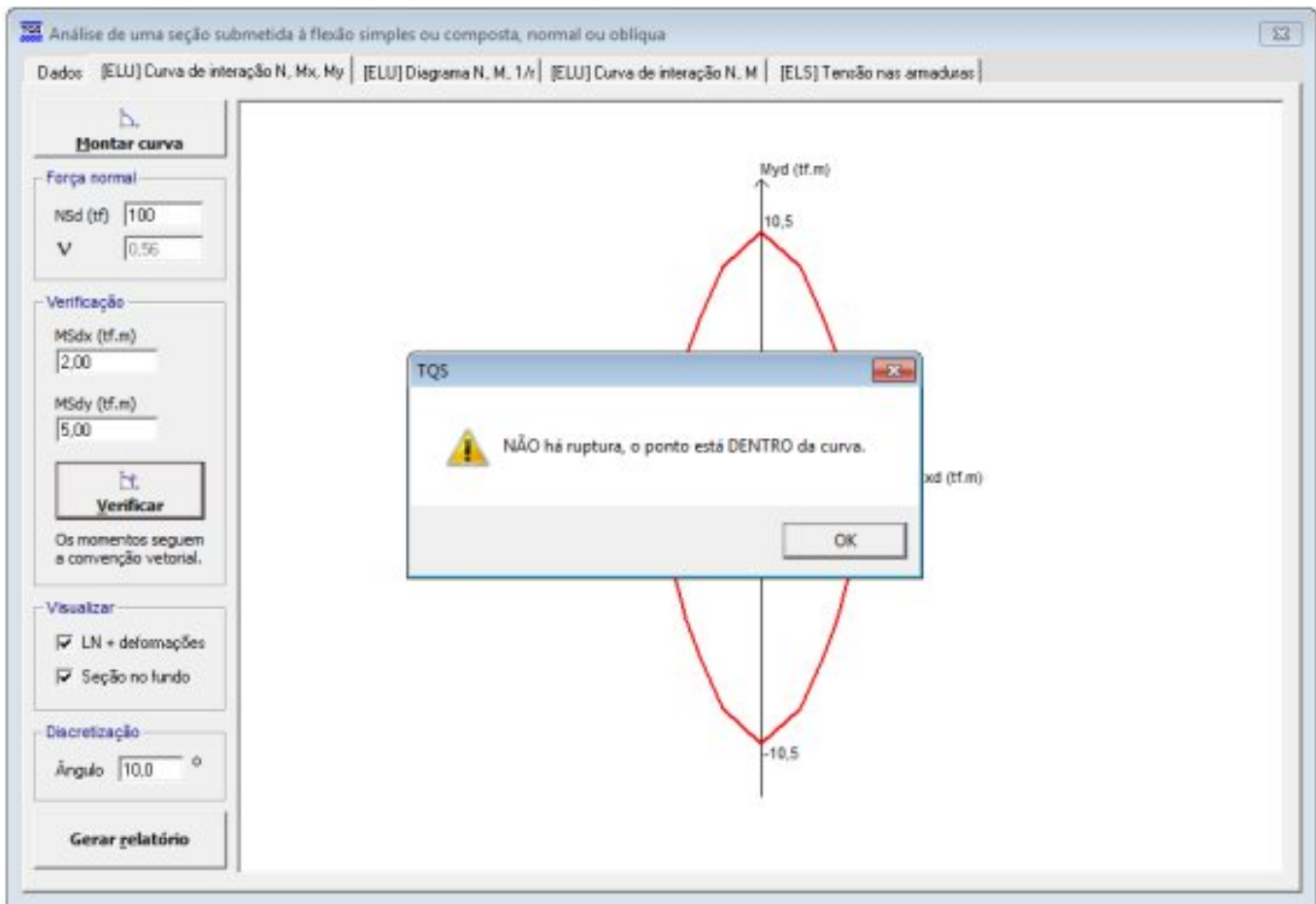


No eixo X está definido  $M_{xd}$ , assim como no eixo Y está definido  $M_{yd}$ . Observe o que a curva representa: para uma Força Normal pré-fixada de 100 tf, a seção resiste a 4,1 tf.m de momento em torno da direção X e a 10,5 tf.m em torno da direção Y.

Ainda nessa aba da calculadora, existe um recurso interessante que é o comando Verificar -

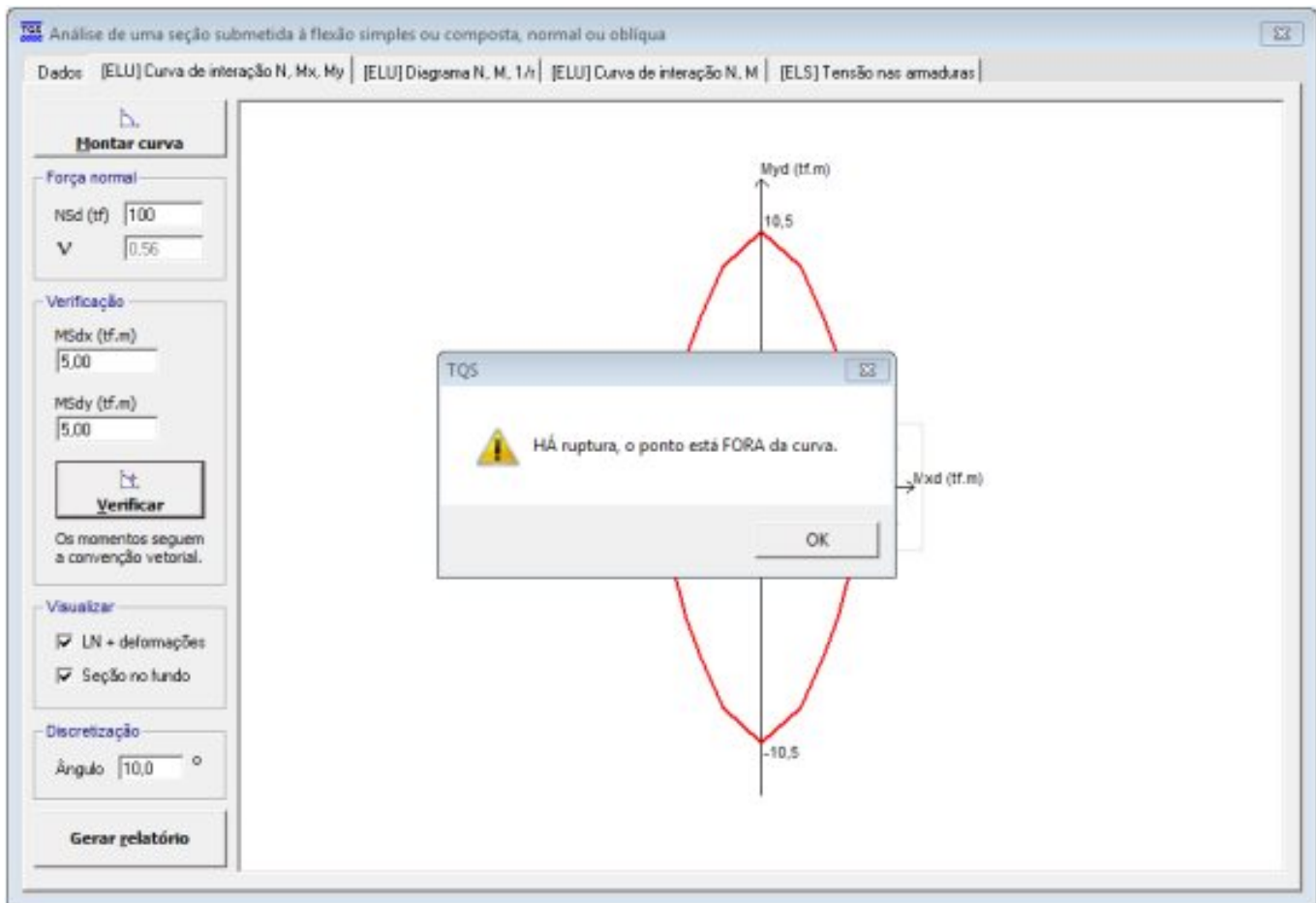


Ao definir um  $M_{xd}$  e um  $M_{yd}$ , e apertar o botão Verificar, o programa verifica se o ponto está dentro ou fora da curva. Se o ponto estiver dentro da curva ou sobre a curva significa que  $S_d \leq R_d$ , e portanto, não há ruptura da seção.



Já se o ponto estiver fora da curva, significa que  $R_d < S_d$ , e portanto, há ruptura da seção.

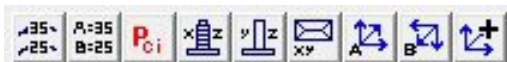





## 2.2 Superfícies N-Mx-My

Ao montar curvas  $N-M_x-M_y$  sucessivamente, variando-se o valor da Força Normal desde a máxima tração resistente até a máxima compressão resistente, obtém-se o que é chamado de Superfície de Interação  $N-M_x-M_y$ . Ou seja, trata-se do caso geral para análise de flexão composta oblíqua.

No programa, as Superfícies de Interação podem ser geradas através do Editor Rápido de Armaduras do TQS-Pilar também utilizando os comandos da Barra de Ferramentas de Cálculo de Seções, conforme citado no início dessa mensagem.



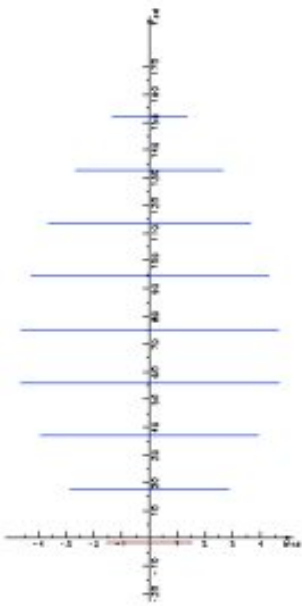
Para gerar a Superfície de Interação, basta acionar o primeiro comando mostrado na figura acima: Curvas de Interação - . Novamente, a tela com as características da seção será mostrada, e observe que no rodapé da tela, o programa pergunta se você quer efetuar o cálculo da seção:

```
Gerar curvas de interação
Efetuar o cálculo da seção ? S/N [S]
```

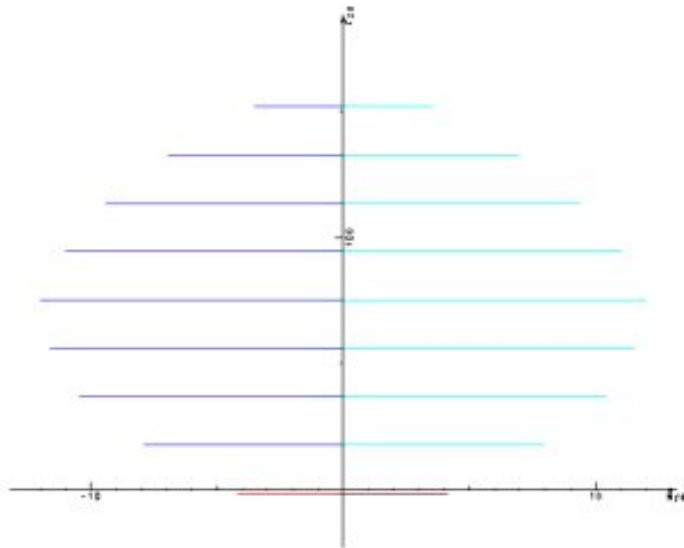
A opção "SIM" já está selecionada, bastando, portanto teclar ENTER para que a superfície seja gerada.

É possível alterar o modo de visualização da Superfície de Interação gerada: em planta ou em perspectivas. Observe os modos possíveis de serem visualizados de acordo com o comando utilizado:

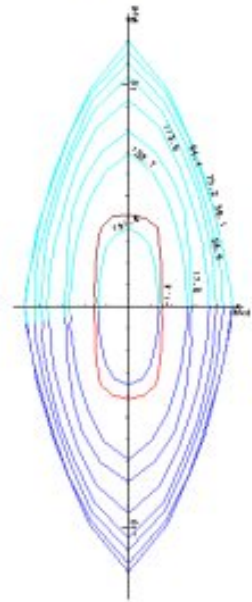
Curvas de Frente:



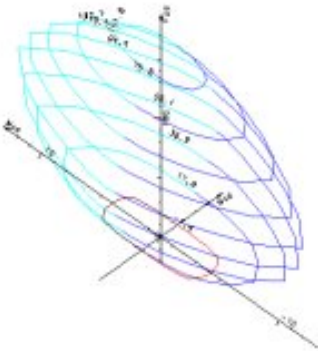
Curvas de Lado:



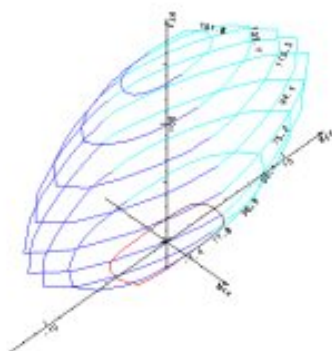
Curvas de Cima:



Curvas: Vista A



Curvas: Vista B



Curvas: Perspectiva

