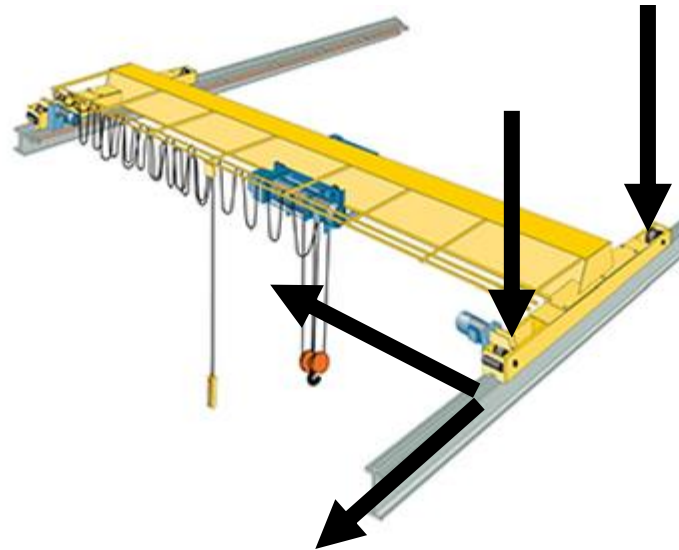


# VIGAS DE ROLAMENTO DE PONTES ROLANTES

## FADIGA

*Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas*

# ***Vigas de rolamento***



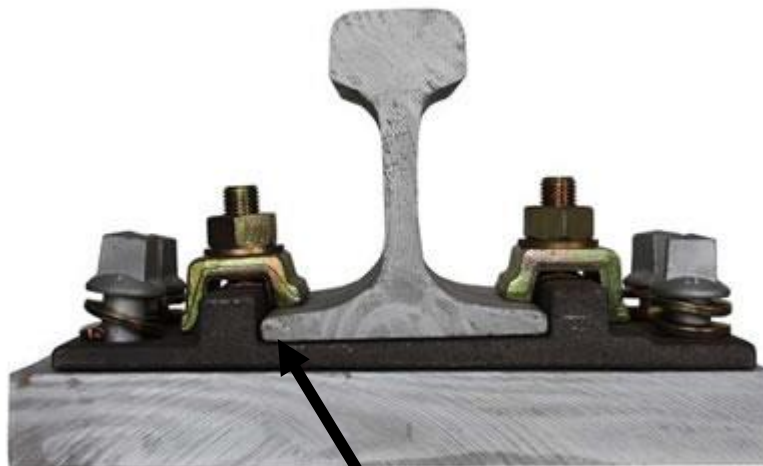
***Devem ser dimensionadas às forças verticais, horizontais longitudinais, e horizontais transversais***

# Trilhos e sistemas de fixação



**Sistema flutuante**  
**FLOATING CLAMPS**

AISE nº 13 Recomenda seu uso para pontes de regime pesado (em especial siderurgia)  
Recomenda-se usar com chapa de desgaste entre o trilho e a mesa superior da viga de rolamento



**Sistem fixo: Grapas ou grampos**

Recomendado para todas as outras aplicações.

# ***Trilhos e sistemas de fixação***



***Barra quadrada maciça***

Soldada diretamente às mesas da viga de rolamento



# Emendas de trilhos

**Enviar com o maior comprimento possível (12m)**

**Para Trilhos de pontes rolantes siderúrgicas é comum a utilização de solda aluminotérmica**



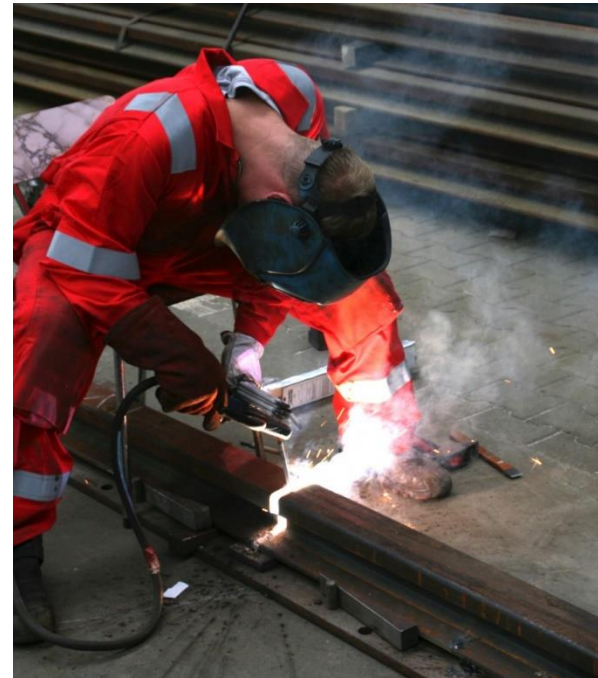
## Solda aluminotérmica

A solda aluminotérmica é aplicada também para a soldagem de juntas nas vias férreas. Para executar a soldagem aluminotérmica de trilhos, os topos destes devem apresentar uma folga pré-determinada, em função do processo utilizado, bem como ser envolvidos por fôrmas pré-fabricadas. Após o assentamento e vedação das fôrmas com massa refratária, faz-se um pré-aquecimento com maçarico específico posicionado de tal forma, que a chama penetre no topo da junta. O aço produzido em cadinho refratário, a temperaturas acima de 2000°C, é conduzido aos topos dos trilhos, dissolvendo-os e unindo-os de forma homogênea. Depois de 4 a 5 minutos as fôrmas são retiradas e o material excedente é rebarbado. Após o resfriamento a solda é esmerilhada de forma a reproduzir o perfil do trilho.

REAÇÃO TÍPICA PARA OS MATERIAIS FERROSOS  
$$3 \text{ Fe}_3\text{O}_4 + 8 \text{ Al} \rightarrow 9 \text{ Fe} + 4 \text{ Al}_2\text{O}_3 + \text{Calor (3.350kJ)}$$



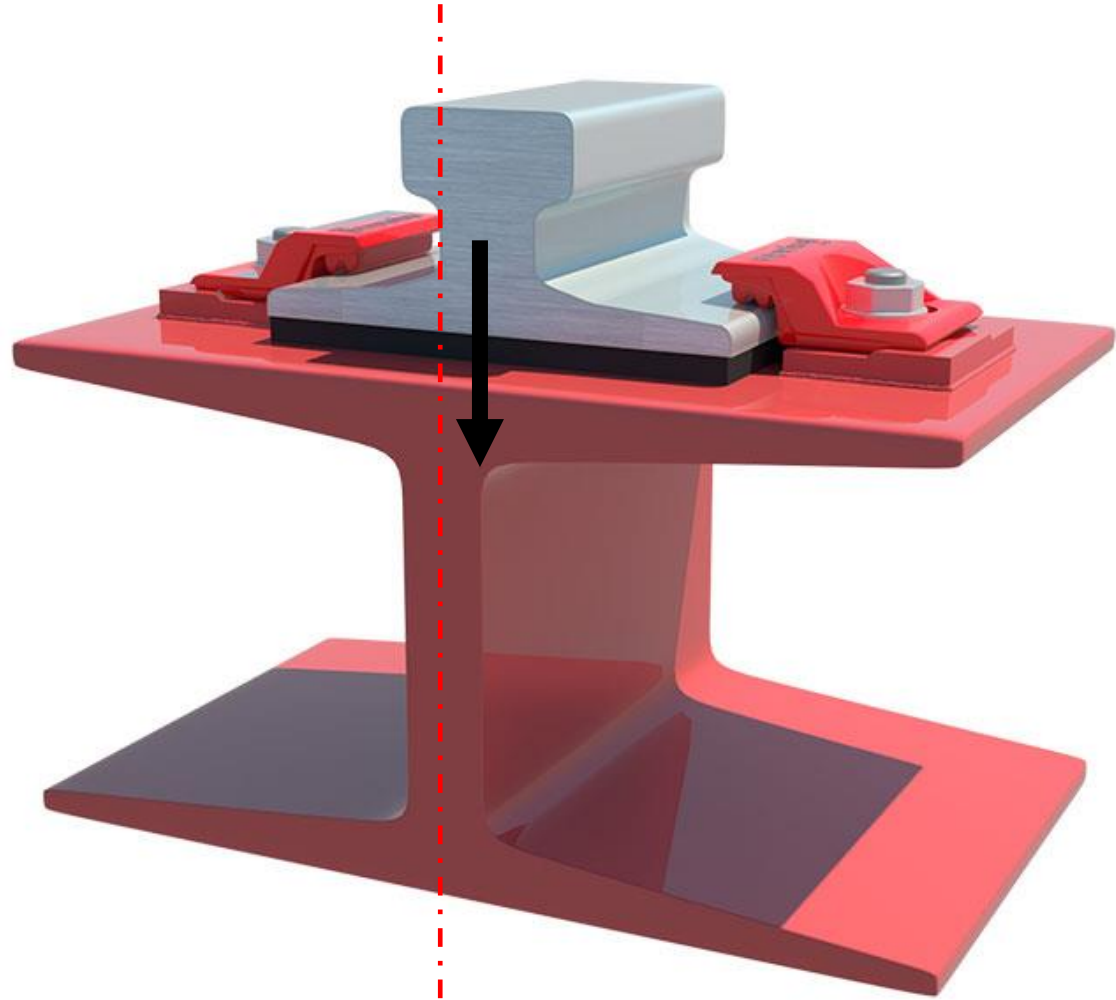
Montagem de um sistema para soldagem de trilhos



**Pontes comuns utiliza-se solda de topo com contorno completo e esmerilhamento**

# ***Vigas de rolamento***

Excentricidades:  $0,75.t_w$



# ***Vigas de rolamento***

Flechas Admissíveis:

Verticais:

L/600 para pontes com capacidade < 200kN

L/800 para pontes com capacidades > 200kN

L/1000 para pontes rolantes siderúrgicas

Horizontais:

L/400 para pontes, exceto siderúrgicas

L/600 Para pontes siderúrgicas

# Vigas de rolamento

## Coeficientes de impacto e cargas horizontais

### B.4.4 Pontes rolantes

Na ausência de especificação mais rigorosa, as ações verticais de cálculo (ver B.6) devem ser majoradas nos seguintes casos:

- a) pontes rolantes comandadas de uma cabine: 25 %;
- b) pontes rolantes comandadas por controle pendente ou controle remoto: 10 %.

### B.7.2 Forças horizontais

As forças horizontais decorrentes da movimentação da ponte rolante, caso não haja especificação mais rigorosa, devem ser tomadas como a seguir.

- a) a força transversal ao caminho de rolamento, para pontes rolantes comandadas de uma cabine, a ser aplicada no topo do trilho, de cada lado, deve ser igual ao maior dos seguintes valores:
  - 10 % da soma da carga içada com o peso do trole e dos dispositivos de içamento;
  - 5 % da soma da carga içada com o peso total da ponte, incluindo trole e dispositivos de içamento;



# Vigas de rolamento

## Coeficientes de impacto e cargas horizontais

- uma percentagem da carga içada, variável de acordo com o tipo e a finalidade da ponte ou da edificação:
  - nos edifícios em geral: 15 % da carga içada;
  - nos edifícios destinados à siderurgia ou nos quais condições específicas de operação assim exigirem:
  - pontes em geral: 20 % da carga içada;
  - pontes com caçamba e eletroíma e pontes de pátio de placas e tarugos: 50 % da carga içada;
  - pontes de forno-poço: 100 % da carga içada;
  - ponte estripadora: 100 % da soma do peso do lingote e da lingoteira.

Para pontes rolantes comandadas por controle pendente ou controle remoto, a força transversal ao caminho de rolamento a ser aplicada no topo do trilho, de cada lado, deve ser igual a 10 % da soma da carga içada com o peso do trole e dos dispositivos de içamento.

Nos casos em que a rigidez horizontal transversal da estrutura de um lado do caminho de rolamento diferir da do lado oposto, a distribuição das forças transversais deverá ser proporcional à rigidez de cada lado;

- b) a força longitudinal ao caminho de rolamento, a ser aplicada no topo do trilho, de cada lado, deve ser igual a 10 % da soma das cargas verticais máximas das rodas (não majoradas pelo impacto);
- c) a força devida ao choque da ponte rolante com o batente deve ser informada pelo fabricante, que também deve especificar e, se possível, fornecer o batente.

# Fadiga

Peças sujeitas a diversos ciclos de repetição de variação de tensões no regime elástico estão sujeitas à fadiga

Exemplos: Pontes rolantes, rampas de estacionamento, vigas de suporte de elevadores, peças de máquinas, etc.

# Fadiga

## Prescrições do Anexo K da NBR8800/08

- Não é necessária verificação de fadiga para quantidade de ciclos inferior a 20.000 durante toda a vida útil da estrutura.
- Usa-se a combinação frequente de fadiga para avaliar as peças:

$$F_{d,Fad} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \Psi_1 \cdot \sum_{j=1}^n F_{Qj,k}$$

**Tabela 2** — Valores dos fatores de combinação  $\psi_0$  e de redução  $\psi_1$  e  $\psi_2$  para as ações variáveis

| Ações  |   | $\gamma_{f2}^a$ |            |            |
|--|---|-----------------|------------|------------|
|  |   | $\psi_0$        | $\psi_1^d$ | $\psi_2^e$ |
| Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação | Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas <sup>b)</sup> | 0,5             | 0,4        | 0,3        |
|  | Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas <sup>c)</sup>      | 0,7             | 0,6        | 0,4        |
|  | Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1)   | 0,8             | 0,7        | 0,6        |
| Vento  | Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral   | 0,6             | 0,3        | 0          |
| Temperatura                                  | Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local   | 0,6             | 0,5        | 0,3        |
| Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos       | Passarelas de pedestres   | 0,6             | 0,4        | 0,3        |
|  | Vigas de rolamento de pontes rolantes   | 1,0             | 0,8        | 0,5        |
|  | Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes  | 0,7             | 0,6        | 0,4        |

<sup>a</sup> Ver alínea c) de 4.7.5.3.  
<sup>b</sup> Edificações residenciais de acesso restrito.  
<sup>c</sup> Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público.  
<sup>d</sup> Para estado-limite de fadiga (ver Anexo K), usar  $\psi_1$  igual a 1,0.  
<sup>e</sup> Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para  $\psi_2$  o valor zero.

Para fadiga ver nota d

# Fadiga

## Prescrições do Anexo K da NBR8800/08

- As peças devem estar protegidas contra corrosão
- As peças devem estar submetidas à temperatura máxima de 150°C
- As soldas devem estar de acordo com as prescrições do AWS1.1
- Tensões locais não devem ultrapassar 0,66  $f_y$  para tensões normais e 0,40 $f_y$  para tensões de cisalhamento

# Fadiga

**Tabela K.1 — Parâmetros de fadiga**

| Descrição  | Categoria de tensão | Constante $C_f$   | Limite $\sigma_{TH}$<br>MPa | Ponto de início potencial de fissura  |
|--|---------------------|-------------------|-----------------------------|---|
| <b>Seção 1 – Material-base afastado de qualquer solda</b>  |                     |                   |                             |   |
| 1.1 Metal-base, exceto aços resistentes à corrosão atmosférica não pintados, com superfícies laminadas, sujeitas ou não à limpeza superficial. Bordas cortadas a maçarico com rugosidade superficial não superior a 25 $\mu\text{m}$ , mas sem cantos reentrantes. | A                   | $250 \times 10^8$ | 165                         | Afastado de qualquer solda ou ligação estrutural.   |
| 1.2 Metal-base de aço resistente à corrosão atmosférica não pintado, com superfícies laminadas, sujeitas ou não à limpeza superficial. Bordas cortadas a maçarico com rugosidade superficial não superior a 25 $\mu\text{m}$ , mas sem cantos reentrantes.         | B                   | $120 \times 10^8$ | 110                         | Afastado de qualquer solda ou ligação estrutural.   |
| 1.3 Peças com furos broqueados ou alargados. Peças com cantos reentrantes em recortes ou outras descontinuidades geométricas obedecendo aos requisitos de K.6, exceto aberturas para acesso de soldagem.   | B                   | $120 \times 10^8$ | 110                         | Em qualquer borda externa ou perímetro de abertura.   |
| 1.4 Seções transversais laminadas com aberturas para acesso de soldagem obedecendo aos requisitos de 6.1.14 e K.6. Peças com furos broqueados ou alargados contendo parafusos para ligação de contraventamentos leves, com pequena solicitação.                    | C                   | $44 \times 10^8$  | 69                          | Em cantos reentrantes de aberturas para acesso de soldagem ou qualquer furo pequeno (podendo conter parafusos para ligações pouco importantes). |



# Fadiga

## Faixa admissível de variação de tensões

A faixa de variação de tensões não deve exceder os valores dados a seguir:

- a) para as categorias de detalhe A, B, B', C, D, E e E', a faixa admissível de variação de tensões,  $\sigma_{SR}$ , em megapascal, deve ser determinada por:

$$\sigma_{SR} = \left( \frac{327 C_f}{N} \right)^{0,333} \geq \sigma_{TH}$$

onde:

$C_f$  é a constante dada na Tabela K.1 para a categoria correspondente;

$N$  é o número de ciclos de variação de tensões durante a vida útil da estrutura;

$\sigma_{TH}$  é o limite admissível da faixa de variação de tensões, para um número infinito de ciclos de solicitação, dado na Tabela K.1, em megapascal.

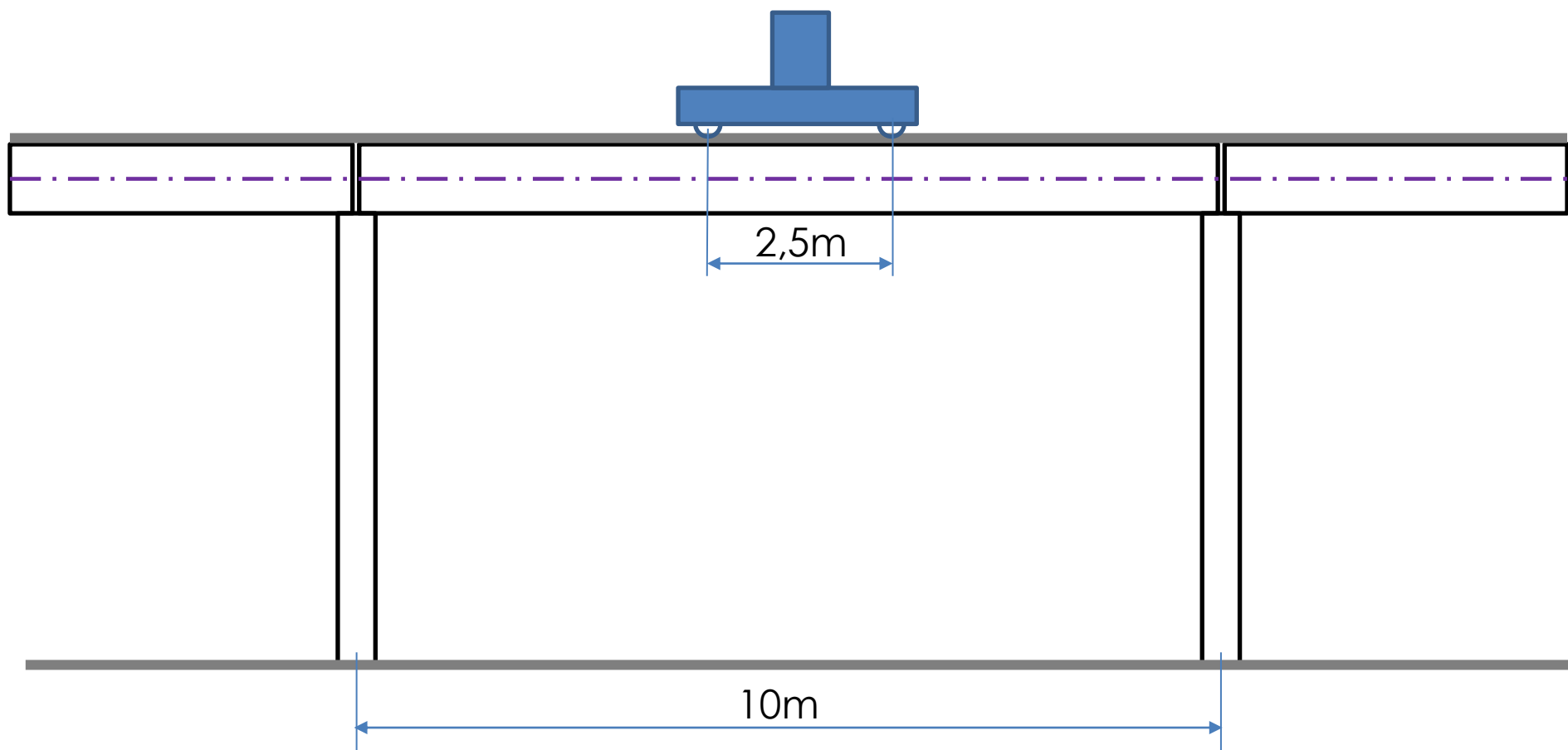
- b) para a categoria de detalhe F, a faixa admissível de variação de tensões,  $\sigma_{SR}$ , deve ser determinada por:

$$\sigma_{SR} = \left( \frac{11 \times 10^4 C_f}{N} \right)^{0,167} \geq \sigma_{TH}$$

Exemplo: Verificar a viga de rolamento para ponte rolante de capacidade 10tf, com vão livre de 20m operada por controle pendente.

Peso do trole e dispositivos de içamento: 2tf

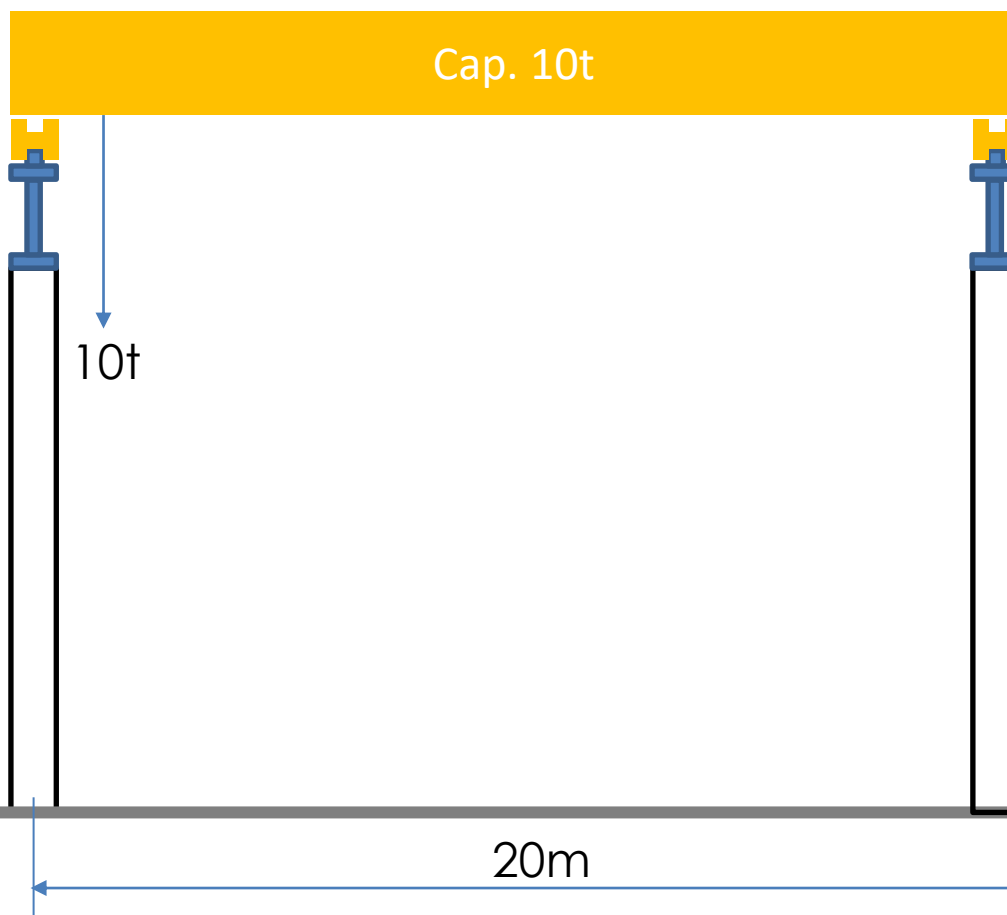
Peso da ponte rolante: 3,5 tf



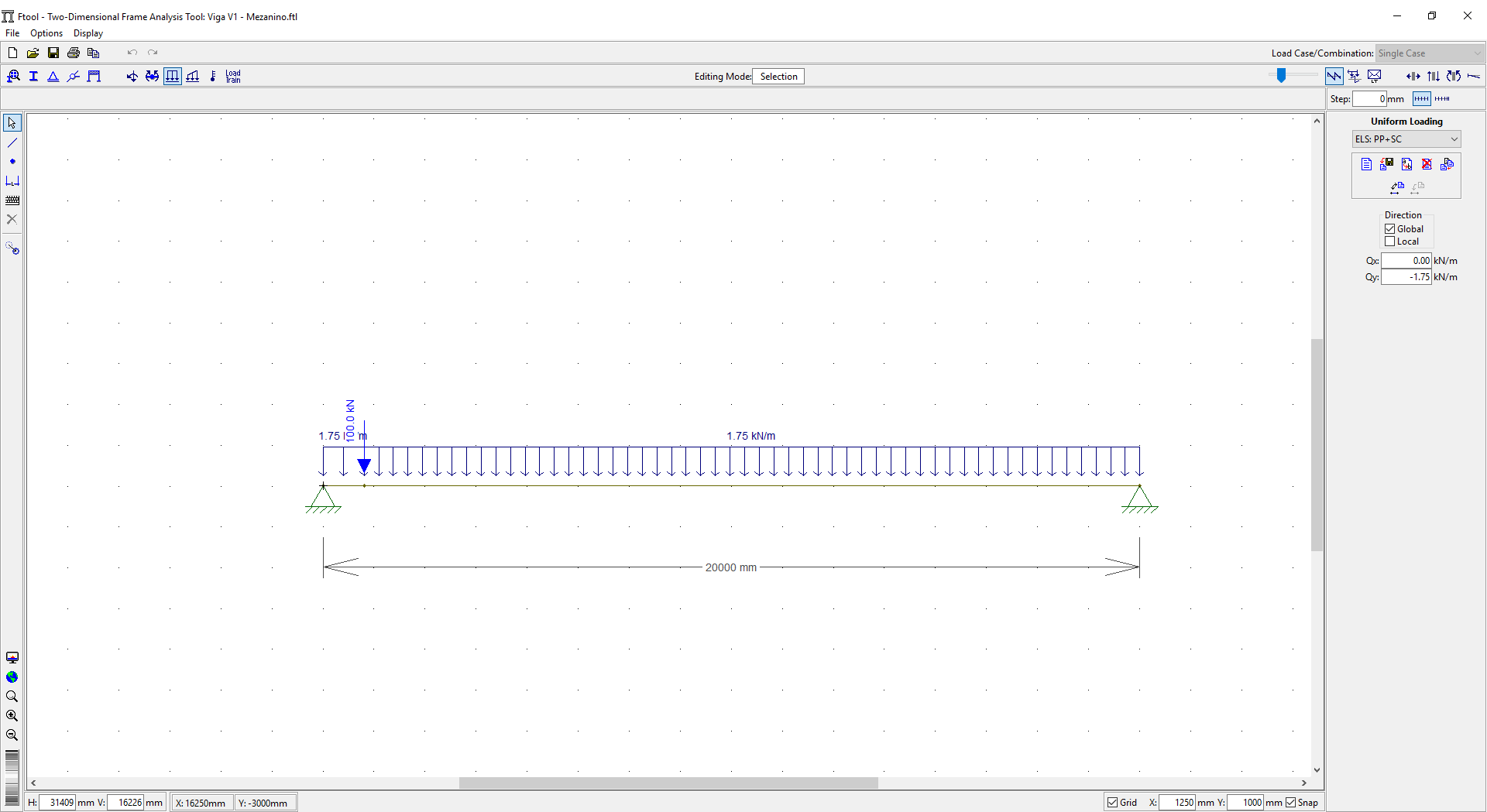
# Vigas de rolamento – Pré dimensionamento

| Ponte Rolante               |               | Trole                      |                                    | Viga de rolamento          |               |               |               |               |               |
|-----------------------------|---------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Capacidade de içamento (tf) | Vão livre (m) | Distância entre rodas (mm) | Reação vertical máx. por roda (tf) | Distância entre apoios (m) |               |               |               |               |               |
|                             |               |                            |                                    | 5                          | 6             | 7             | 8             | 10            | 12            |
| 2                           | 10            | 3100                       | 1,90                               | W 250 x 32,7               | W 310 x 38,7  | W 310 x 52,0  | W 360 x 64,0  | W 460 x 97,0  | W 610 x 125,0 |
|                             | 14            | 3100                       | 2,10                               | W 250 x 32,7               | W 310 x 44,5  | W 360 x 58,0  | W 360 x 64,0  | W 530 x 101,0 | W 610 x 125,0 |
|                             | 18            | 3600                       | 2,30                               | W 250 x 32,7               | W 310 x 44,5  | W 360 x 58,0  | W 360 x 64,0  | W 530 x 101,0 | W 610 x 140,0 |
|                             | 22            | 3600                       | 3,20                               | W 250 x 38,5               | W 310 x 52,0  | W 360 x 64,0  | W 360 x 79,0  | W 610 x 113,0 | W 610 x 155,0 |
|                             | 26            | 4200                       | 3,50                               | W 250 x 38,5               | W 310 x 52,0  | W 360 x 64,0  | W 360 x 79,0  | W 610 x 113,0 | W 610 x 155,0 |
| 3,2                         | 10            | 3100                       | 3,20                               | W 250 x 44,8               | W 360 x 58,0  | W 360 x 64,0  | W 360 x 79,0  | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 |
|                             | 14            | 3100                       | 3,40                               | W 250 x 44,8               | W 360 x 58,0  | W 360 x 64,0  | W 460 x 89,0  | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 |
|                             | 18            | 3600                       | 3,90                               | W 250 x 44,8               | W 360 x 58,0  | W 360 x 64,0  | W 460 x 97,0  | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 |
|                             | 22            | 3600                       | 4,50                               | W 250 x 44,8               | W 360 x 64,0  | W 360 x 79,0  | W 530 x 101,0 | W 610 x 140,0 | W 610 x 155,0 |
|                             | 26            | 4200                       | 5,10                               | W 250 x 44,8               | W 360 x 64,0  | W 360 x 79,0  | W 530 x 101,0 | W 610 x 140,0 | W 610 x 155,0 |
| 5                           | 8             | 2400                       | 2,90                               | W 310 x 52,0               | W 360 x 64,0  | W 360 x 79,0  | W 530 x 109,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |
|                             | 12            | 2800                       | 3,23                               | W 310 x 52,0               | W 360 x 64,0  | W 360 x 79,0  | W 530 x 109,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |
|                             | 16            | 3200                       | 3,52                               | W 310 x 52,0               | W 360 x 64,0  | W 360 x 79,0  | W 530 x 109,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |
|                             | 20            | 3200                       | 3,95                               | W 310 x 52,0               | W 360 x 64,0  | W 360 x 79,0  | W 530 x 109,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |
|                             | 24            | 3400                       | 4,35                               | W 310 x 52,0               | W 360 x 64,0  | W 360 x 79,0  | W 530 x 109,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |
| 6,3                         | 8             | 2400                       | 3,66                               | W 410 x 60,0               | W 360 x 64,0  | W 530 x 109,0 | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |
|                             | 12            | 2800                       | 3,88                               | W 410 x 60,0               | W 360 x 64,0  | W 530 x 109,0 | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |
|                             | 16            | 3200                       | 4,26                               | W 410 x 60,0               | W 360 x 64,0  | W 530 x 109,0 | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |
|                             | 20            | 3200                       | 4,60                               | W 410 x 60,0               | W 360 x 64,0  | W 530 x 109,0 | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |
|                             | 24            | 3400                       | 5,15                               | W 410 x 60,0               | W 360 x 64,0  | W 530 x 109,0 | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |
| 8                           | 12            | 2800                       | 4,83                               | W 360 x 64,0               | W 360 x 79,0  | W 610 x 113,0 | W 610 x 140,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |
|                             | 16            | 3200                       | 5,20                               | W 360 x 64,0               | W 360 x 79,0  | W 610 x 113,0 | W 610 x 140,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |
|                             | 20            | 3200                       | 5,65                               | W 360 x 64,0               | W 360 x 79,0  | W 610 x 113,0 | W 610 x 140,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |
|                             | 24            | 3400                       | 6,55                               | W 360 x 72,0               | W 360 x 79,0  | W 610 x 113,0 | W 610 x 140,0 | W 610 x 155,0 |               |
|                             |               |                            |                                    |                            |               |               |               |               |               |
| 10                          | 8             | 2400                       | 5,35                               | W 360 x 72,0               | W 610 x 113,0 | W 610 x 140,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |               |
|                             | 12            | 2800                       | 5,80                               | W 360 x 72,0               | W 610 x 113,0 | W 610 x 140,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |               |
|                             | 16            | 3200                       | 6,25                               | W 360 x 72,0               | W 610 x 113,0 | W 610 x 140,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |               |
|                             | 20            | 3200                       | 6,70                               | W 360 x 72,0               | W 610 x 113,0 | W 610 x 140,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |               |
|                             | 24            | 3400                       | 7,56                               | W 360 x 72,0               | W 610 x 113,0 | W 610 x 140,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |               |
| 12,5                        | 10            | 3100                       | 7,90                               | W 360 x 72,0               | W 610 x 113,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |               |
|                             | 14            | 3100                       | 8,60                               | W 360 x 72,0               | W 610 x 113,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |               |
|                             | 18            | 3600                       | 9,20                               | W 360 x 79,0               | W 610 x 113,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |               |
|                             | 22            | 3600                       | 9,90                               | W 360 x 79,0               | W 610 x 113,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |               |
|                             | 26            | 4200                       | 10,7                               | W 360 x 79,0               | W 610 x 113,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |               |
| 13                          | 8             | 2800                       | 6,80                               | W 360 x 79,0               | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |               |
|                             | 12            | 2800                       | 7,40                               | W 360 x 79,0               | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |               |
|                             | 16            | 3200                       | 7,95                               | W 360 x 79,0               | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |               |
|                             | 20            | 3200                       | 8,40                               | W 360 x 79,0               | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |               |
|                             | 24            | 3400                       | 9,34                               | W 360 x 79,0               | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |               |
| 15                          | 10            | 3100                       | 9,90                               | W 360 x 79,0               | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |               |               |
|                             | 14            | 3100                       | 10,70                              | W 460 x 97,0               | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |               |               |
|                             | 18            | 3600                       | 11,40                              | W 460 x 97,0               | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |               |               |
|                             | 22            | 3600                       | 12,40                              | W 460 x 97,0               | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |               |               |
|                             | 26            | 4200                       | 13,20                              | W 460 x 97,0               | W 610 x 125,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |               |               |
| 16                          | 8             | 2800                       | 8,48                               | W 530 x 101,0              | W 610 x 140,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |               |               |
|                             | 12            | 2800                       | 9,20                               | W 530 x 101,0              | W 610 x 140,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |               |               |
|                             | 16            | 3200                       | 9,79                               | W 530 x 101,0              | W 610 x 140,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |               |               |
|                             | 20            | 3200                       | 10,50                              | W 530 x 101,0              | W 610 x 140,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |               |               |
|                             | 24            | 3400                       | 11,20                              | W 530 x 101,0              | W 610 x 140,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 |               |               |
| 20                          | 8             | 2800                       | 10,40                              | W 610 x 113,0              | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |               |               |
|                             | 12            | 2800                       | 11,10                              | W 610 x 113,0              | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |               |               |
|                             | 16            | 3200                       | 11,80                              | W 610 x 113,0              | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |               |               |
|                             | 20            | 3200                       | 12,60                              | W 610 x 113,0              | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |               |               |
|                             | 24            | 3400                       | 13,30                              | W 610 x 113,0              | W 610 x 155,0 | W 610 x 155,0 | W 610 x 174,0 |               |               |

A situação de projeto mais desfavorável se dá quando a carga está posicionada em posição próxima à viga de rolamento

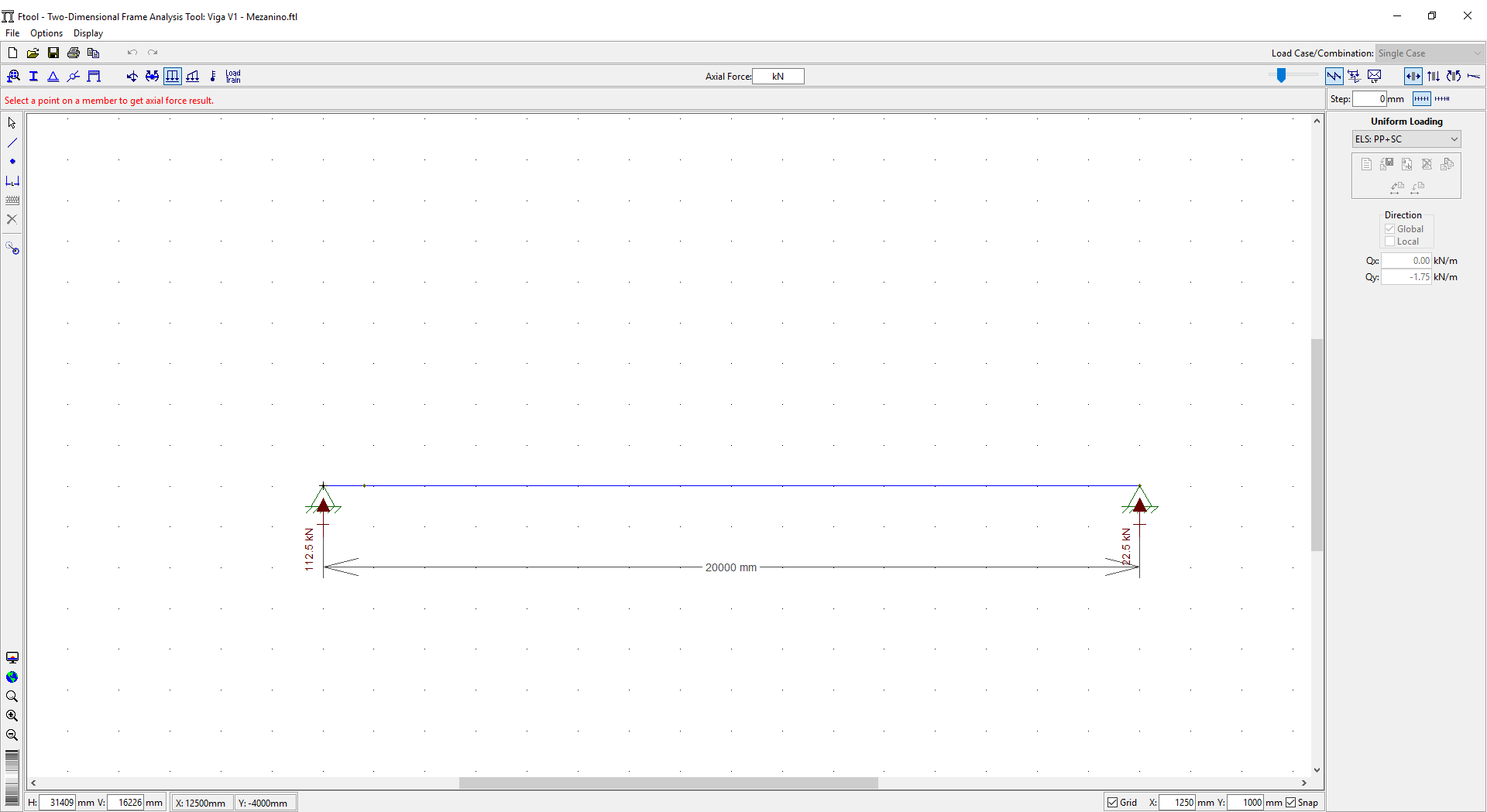


# Obter as reações de apoio no Ftool (ELS)

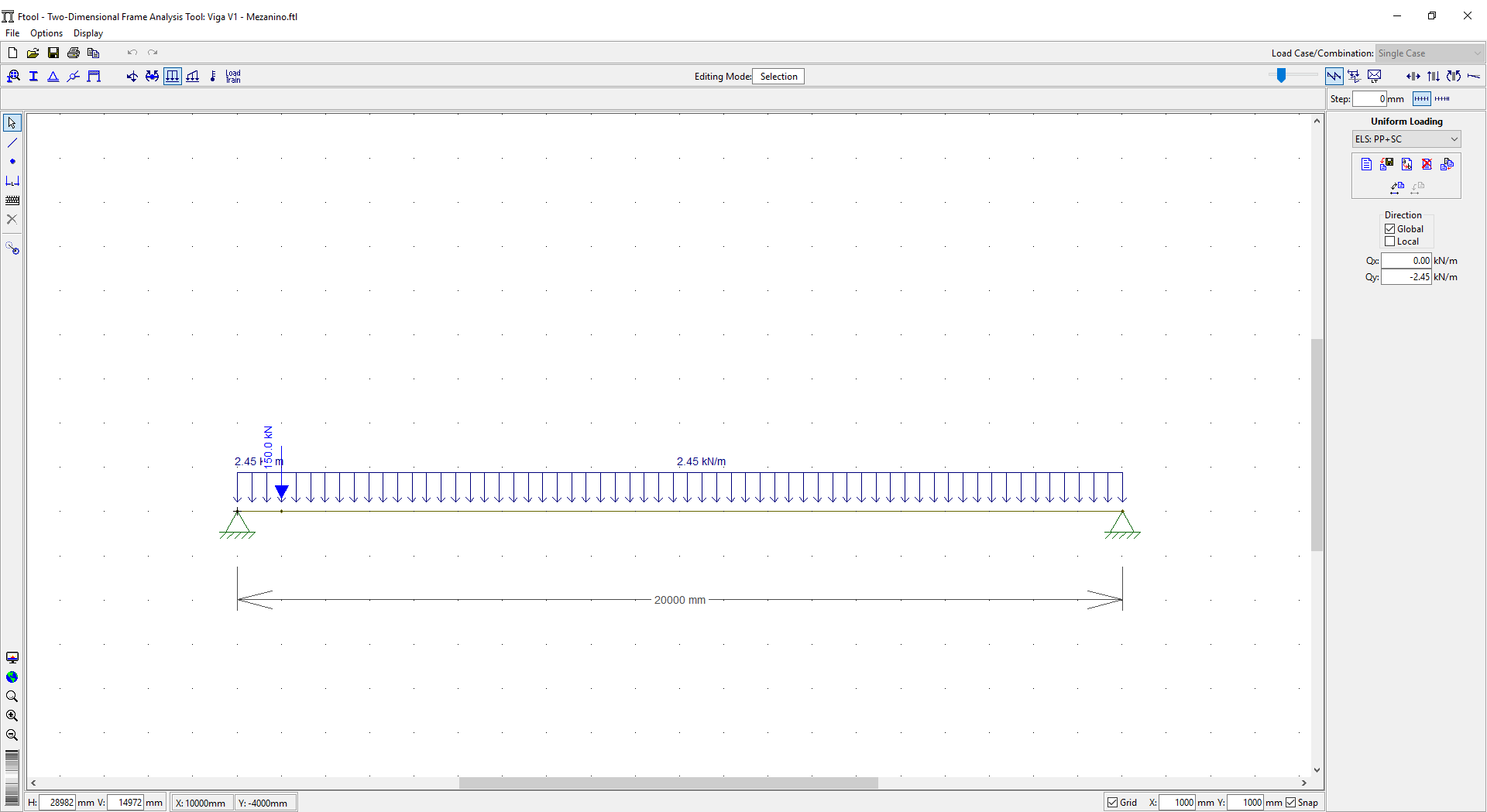




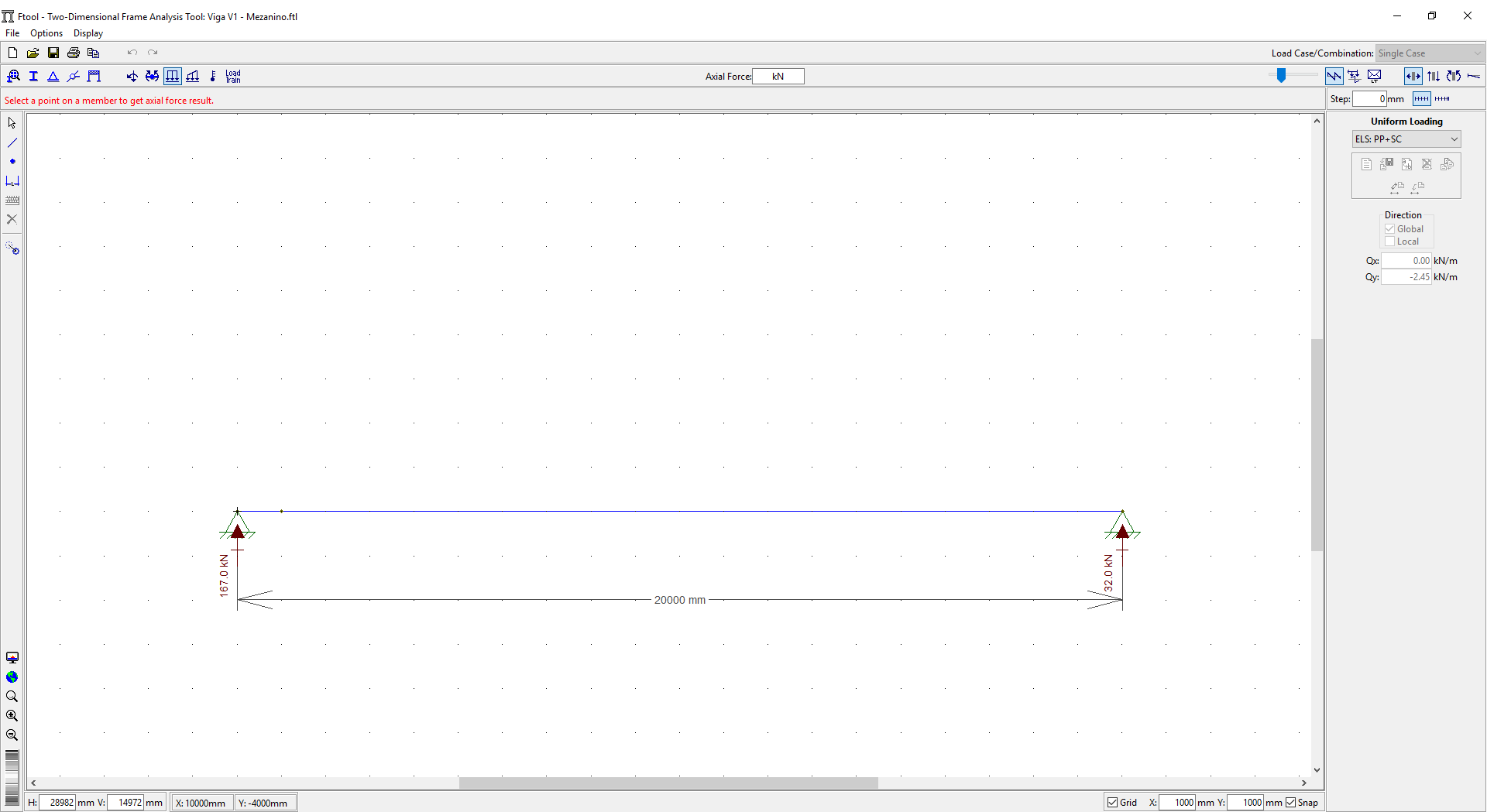
# Obter as reações de apoio no Ftool (ELS)



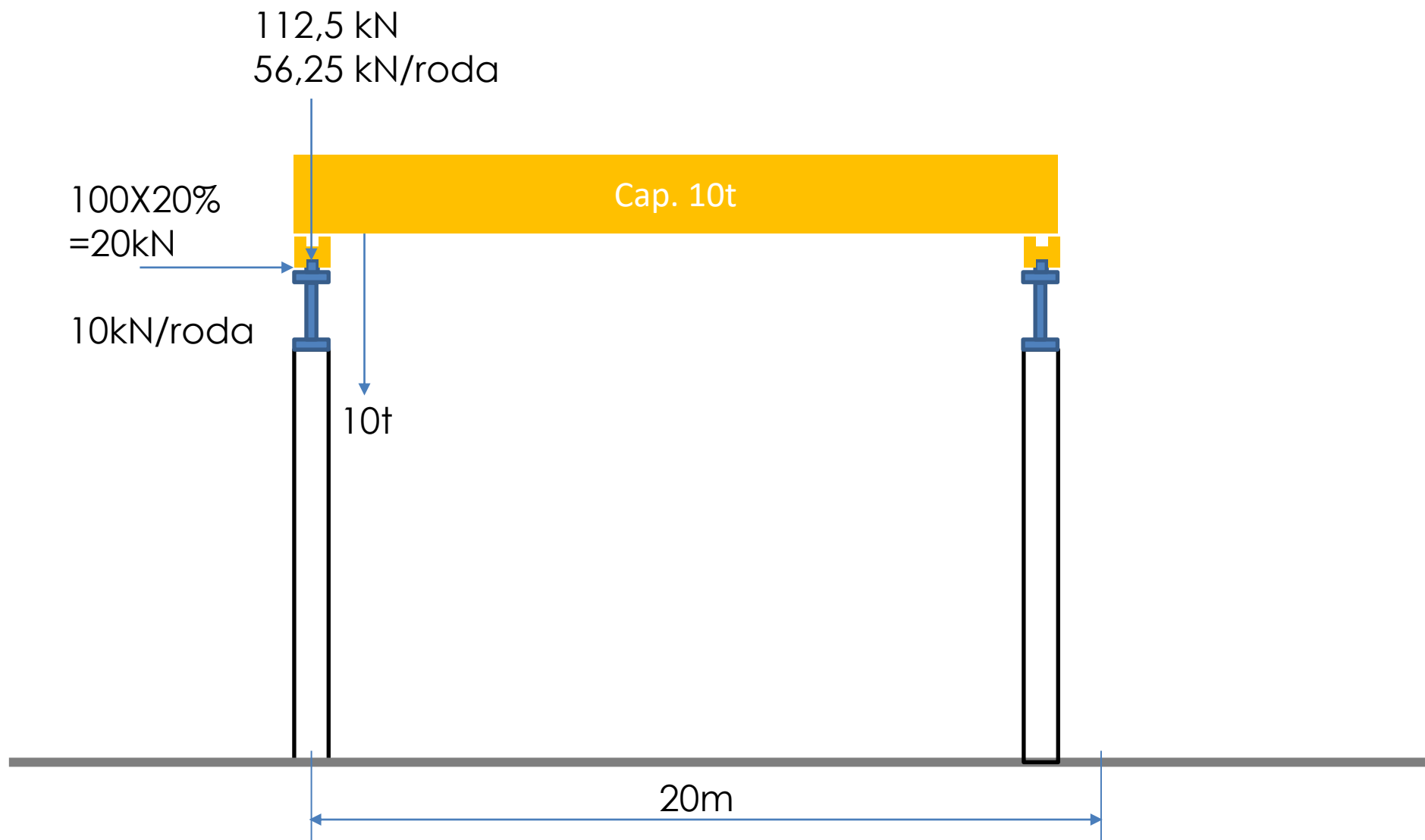
# Obter as reações de apoio no Ftool (ELU)



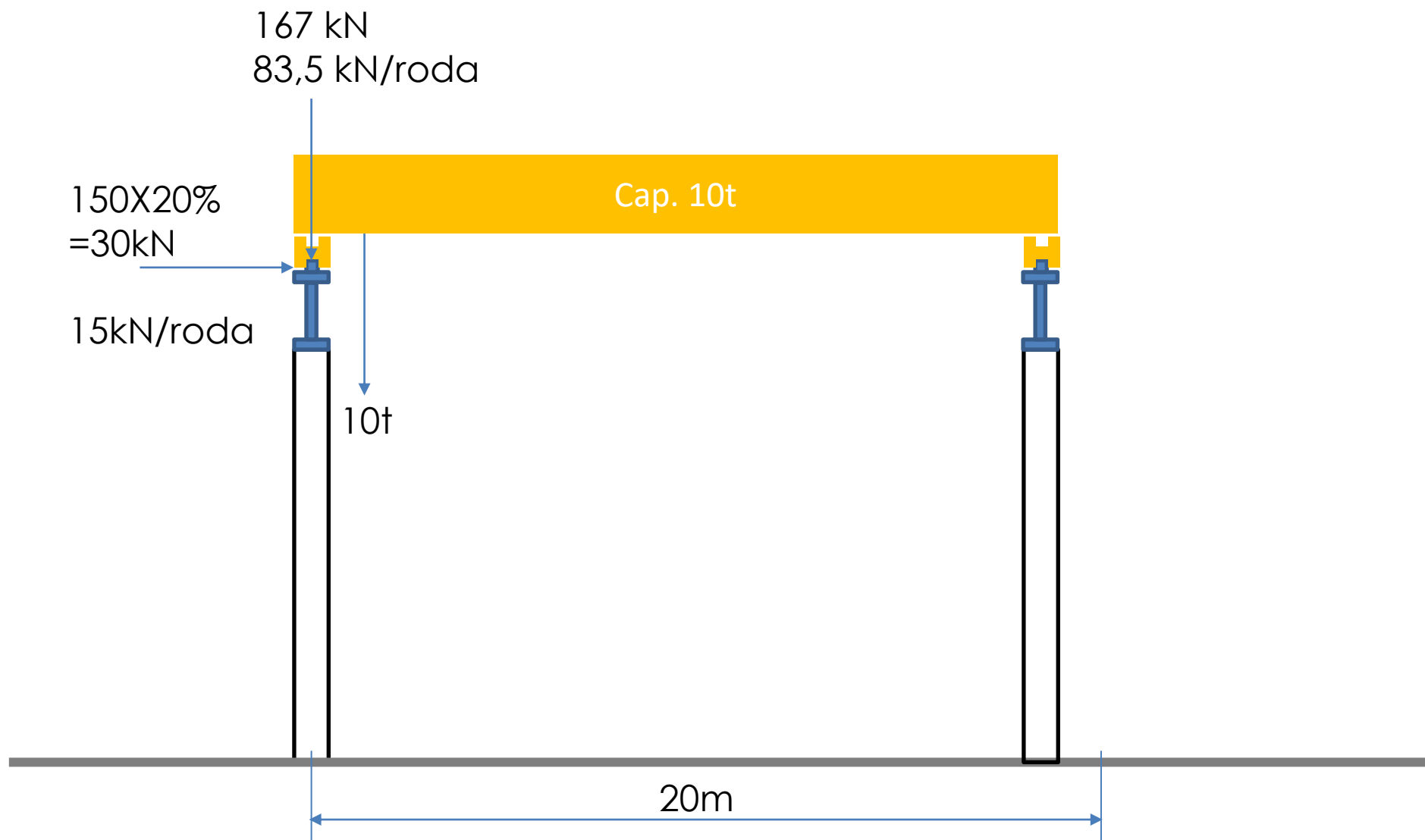
# Obter as reações de apoio no Ftool (ELU)



Extraem-se as reações horizontais e verticais para ELS

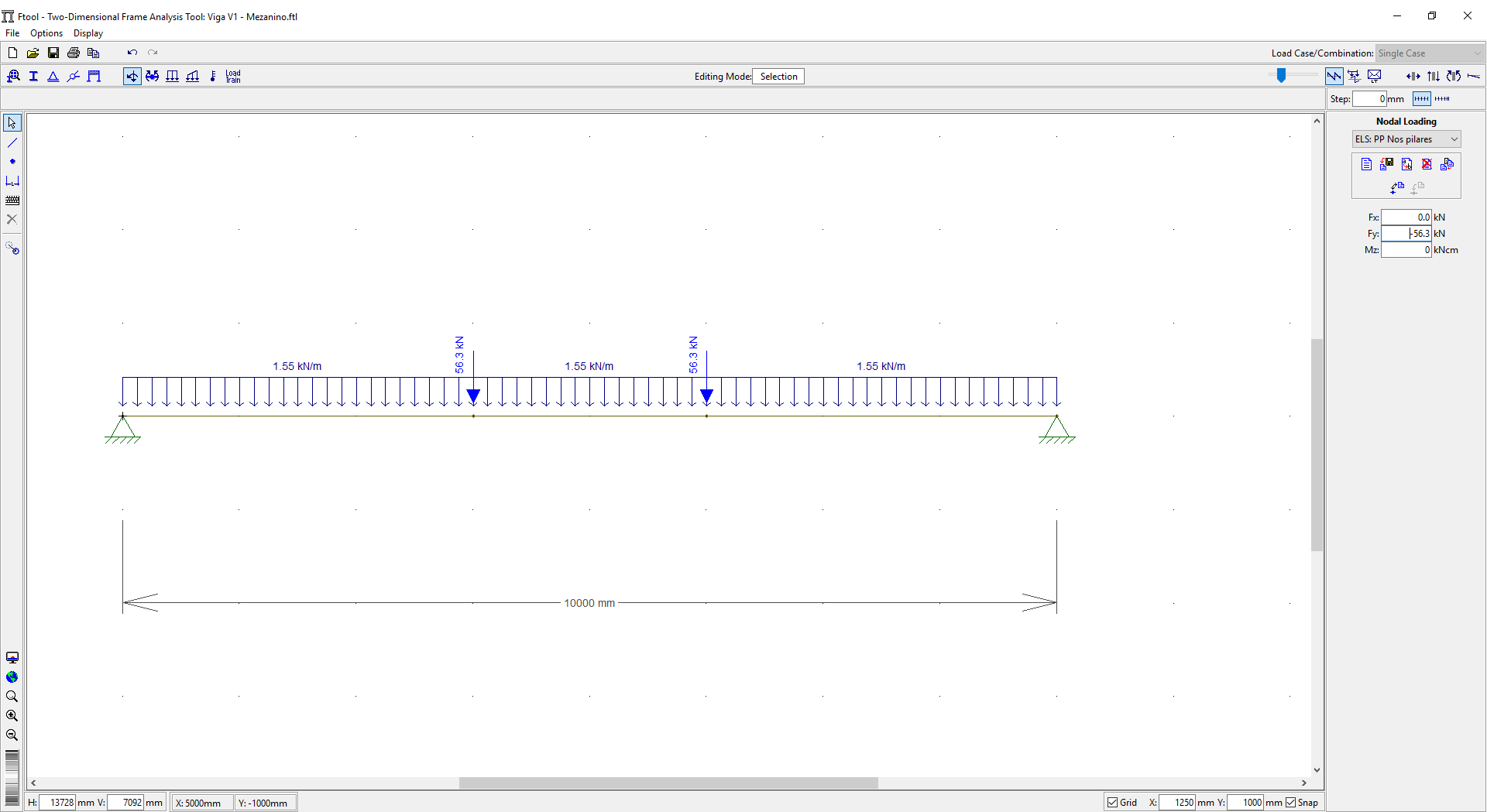


Extraem-se as reações horizontais e verticais para ELU





# Verifica-se a ELS – Reações Verticais na viga de rolamento



# ***Vigas de rolamento***

Flechas Admissíveis:

Verticais:

L/600 para pontes com capacidade < 200kN

L/800 para pontes com capacidades > 200kN

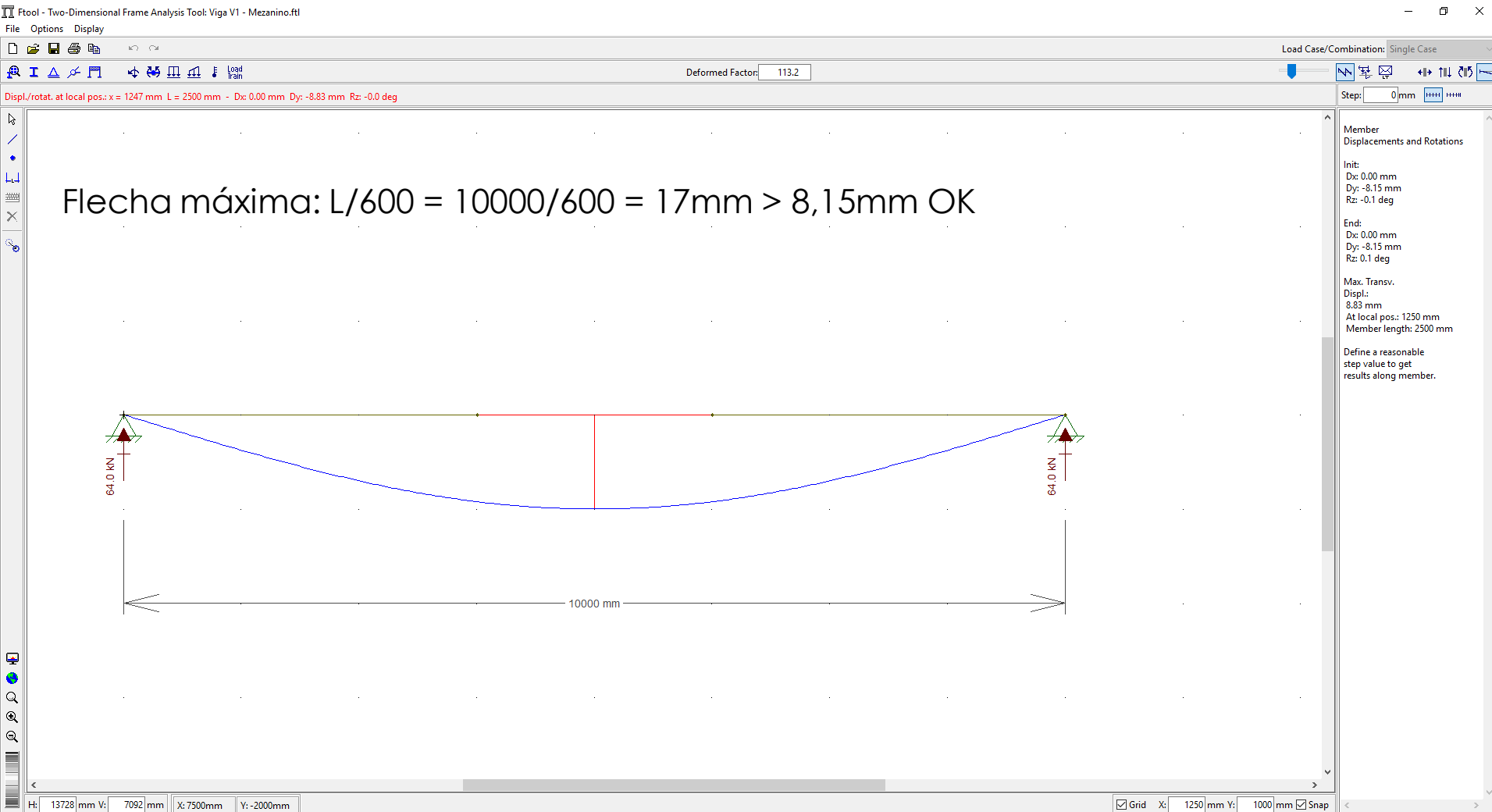
L/1000 para pontes rolantes siderúrgicas

Horizontais:

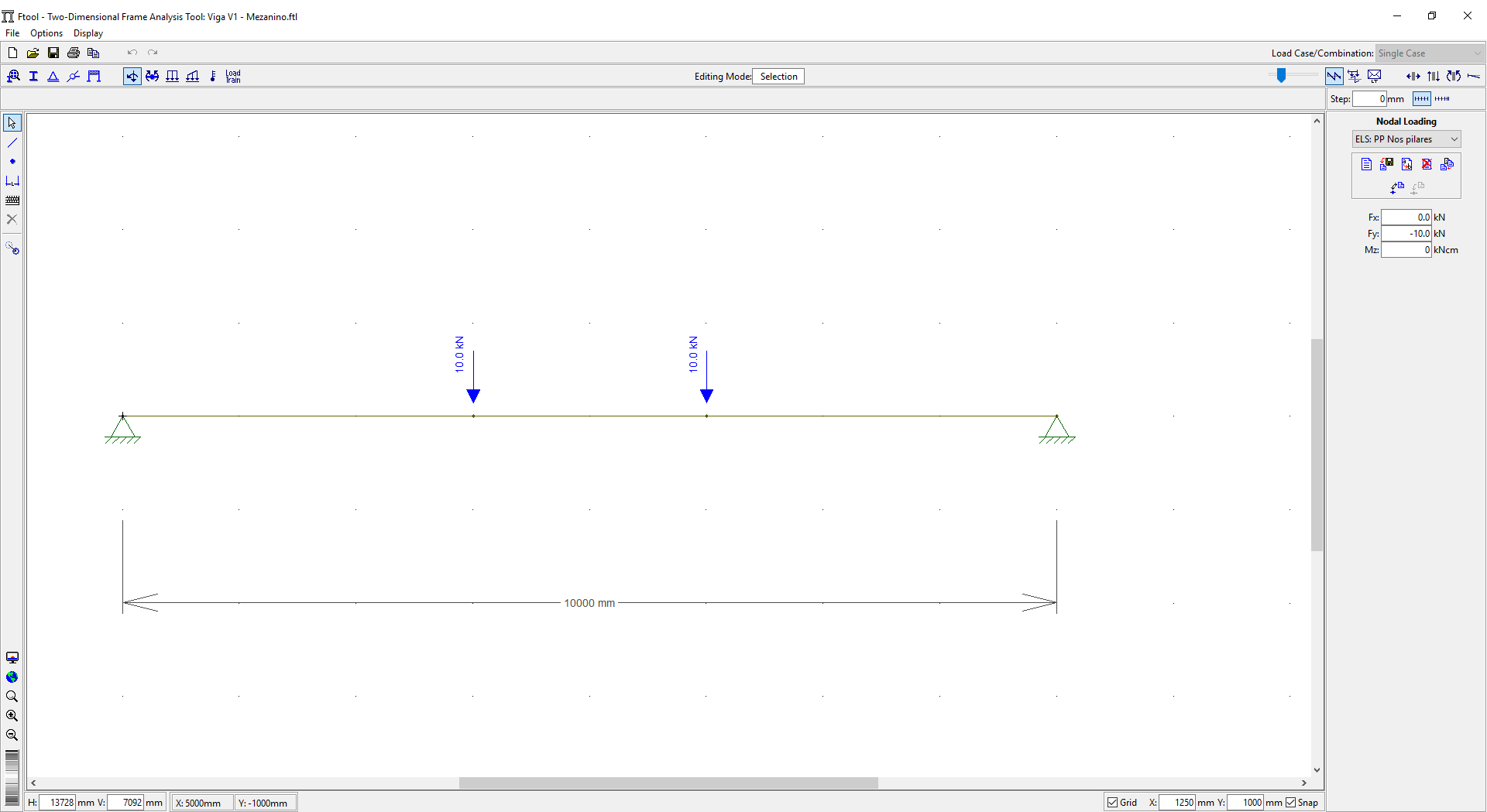
L/400 para pontes, exceto siderúrgicas

L/600 Para pontes siderúrgicas

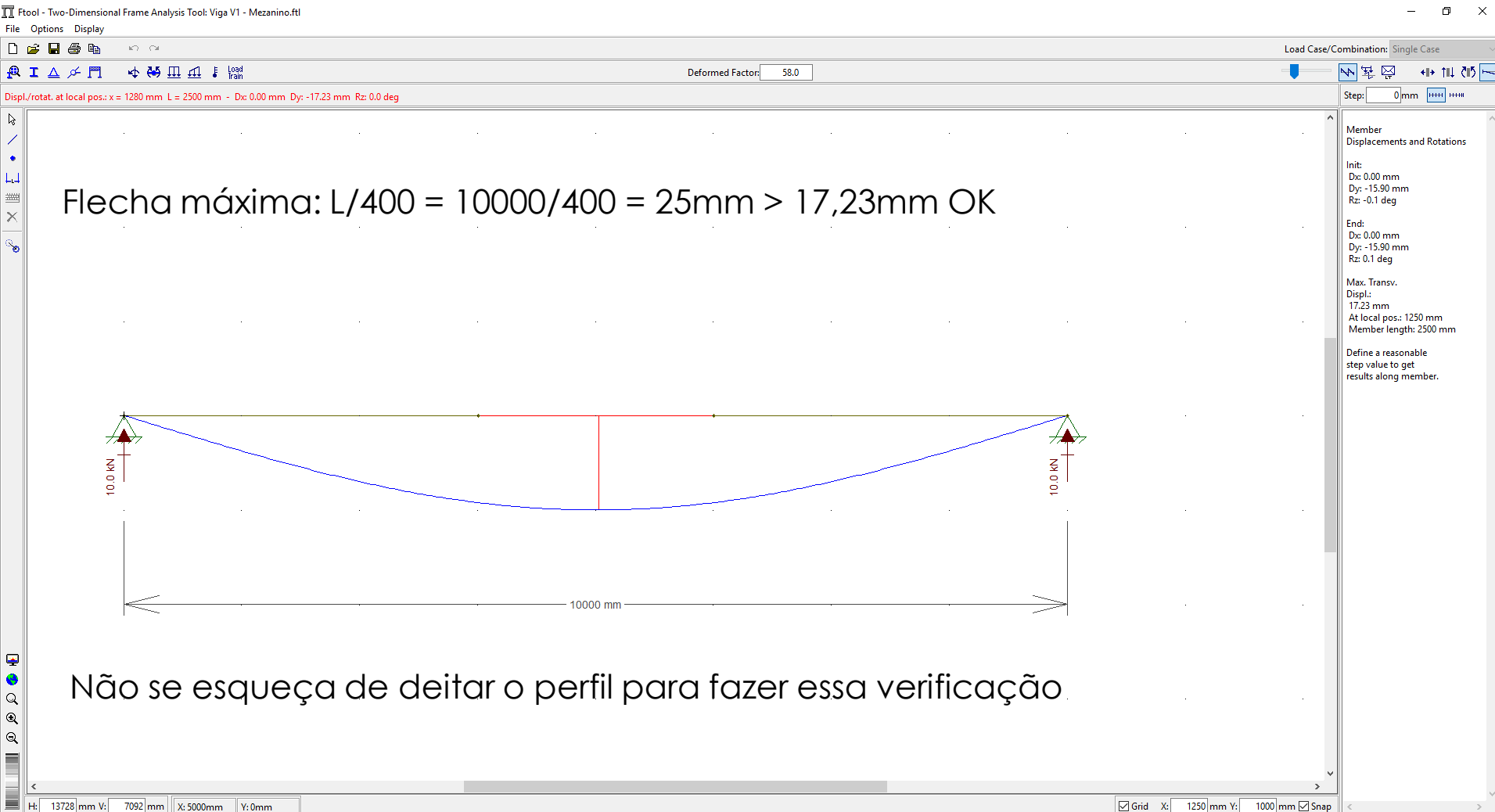
# Verifica-se a ELS – Reações Verticais na viga de rolamento



# Verifica-se a ELS – Reações Horizontais na viga de rolamento

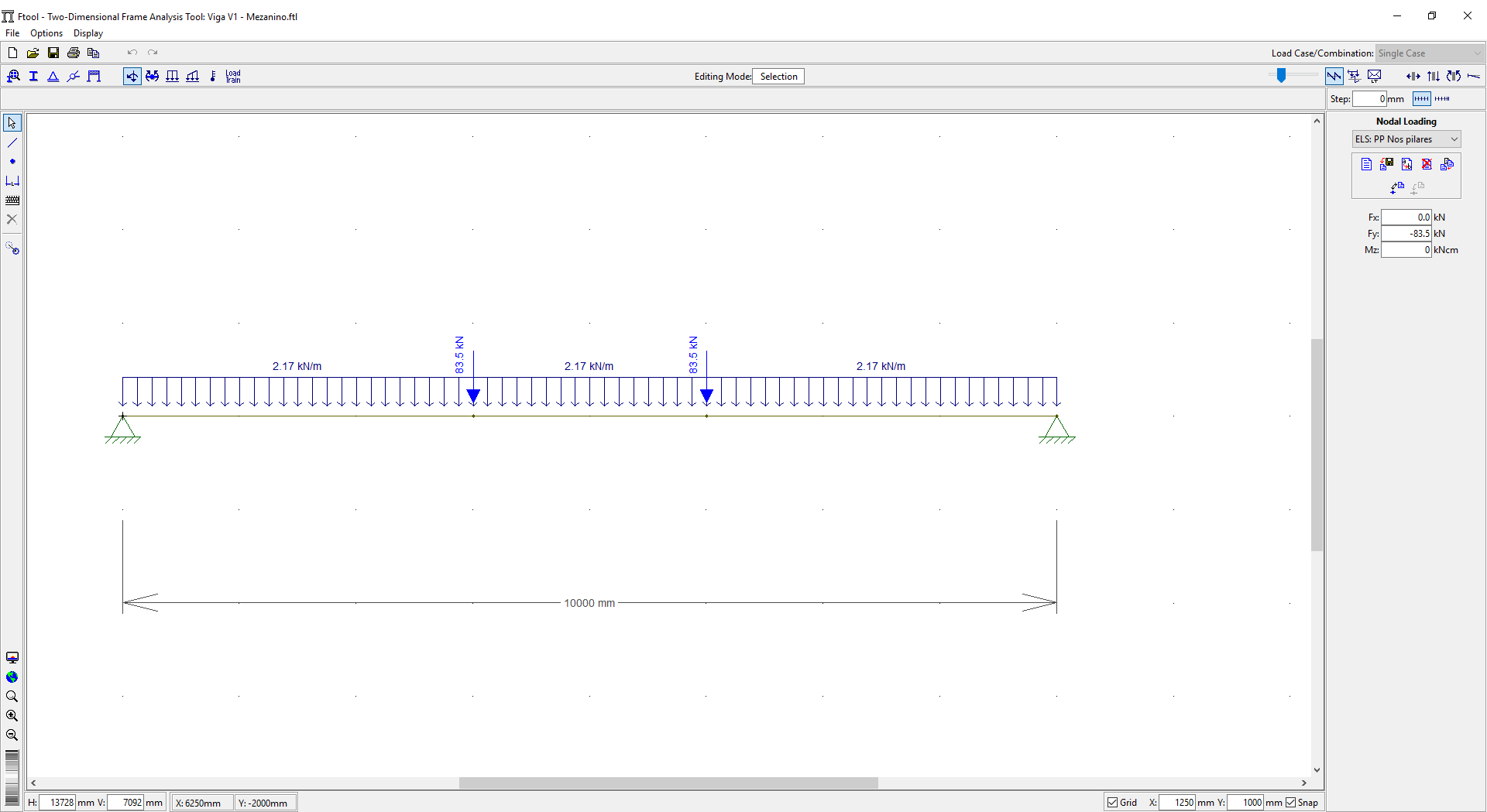


# Verifica-se a ELS – Reações Horizontais na viga de rolamento





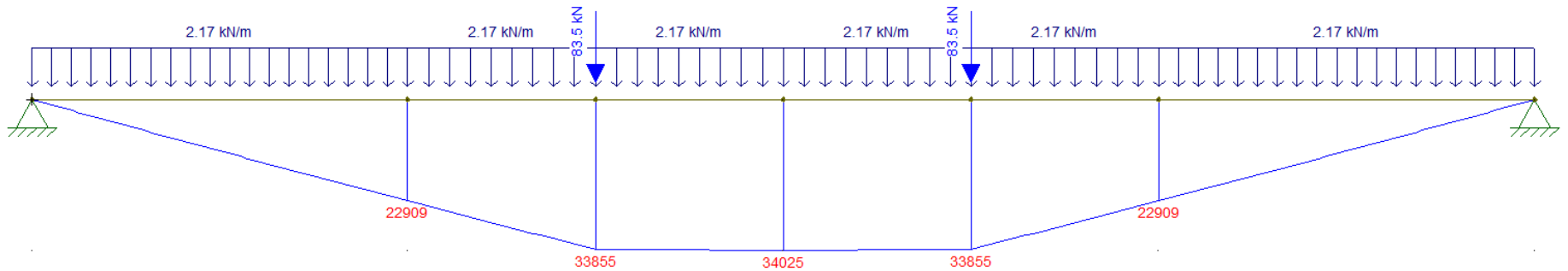
# Verifica-se a ELU – Esforços verticais



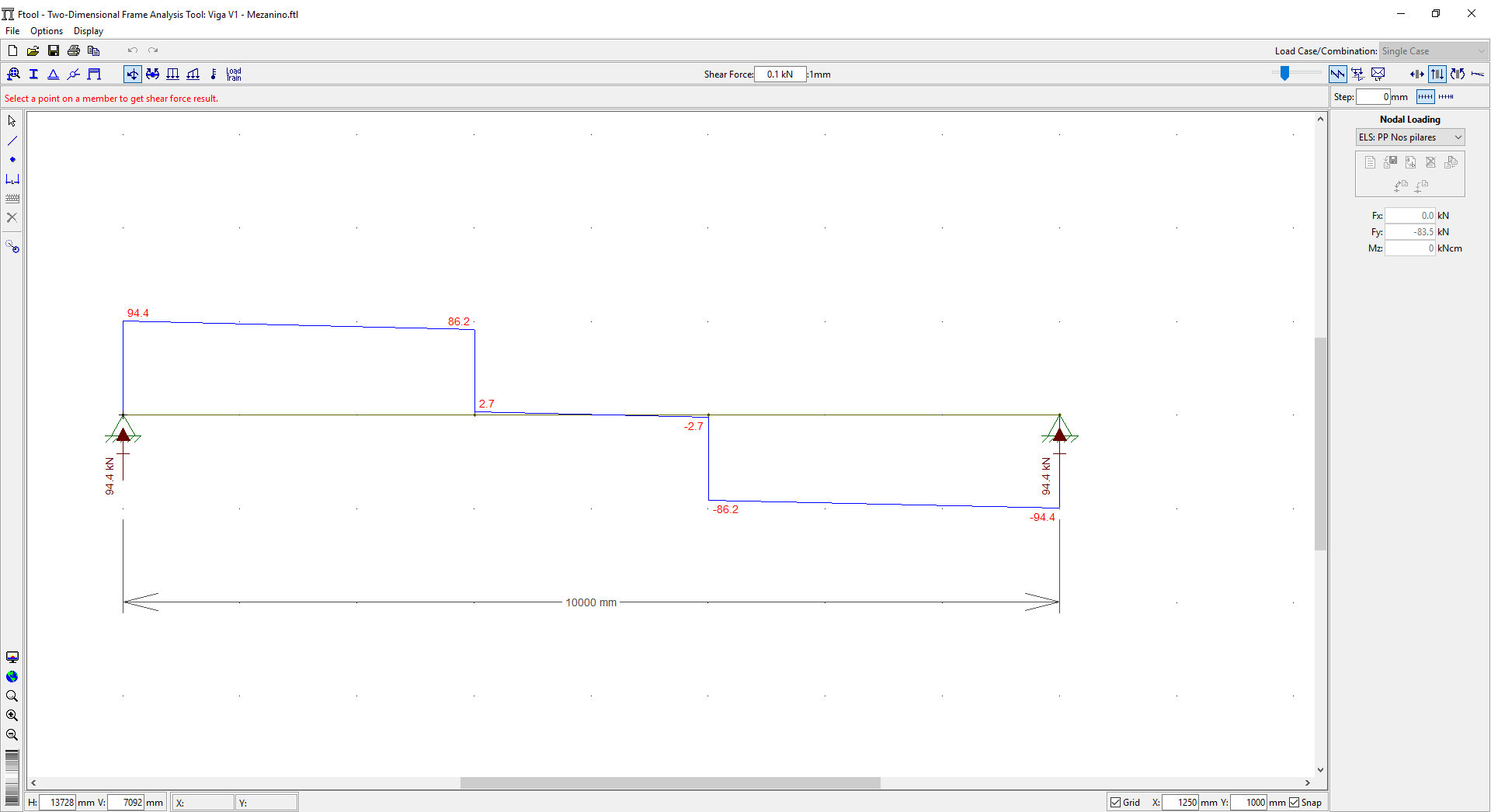
Verifica-se a ELU – Esforços verticais

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{Max}}{2,5 \cdot M_{Max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C}$$

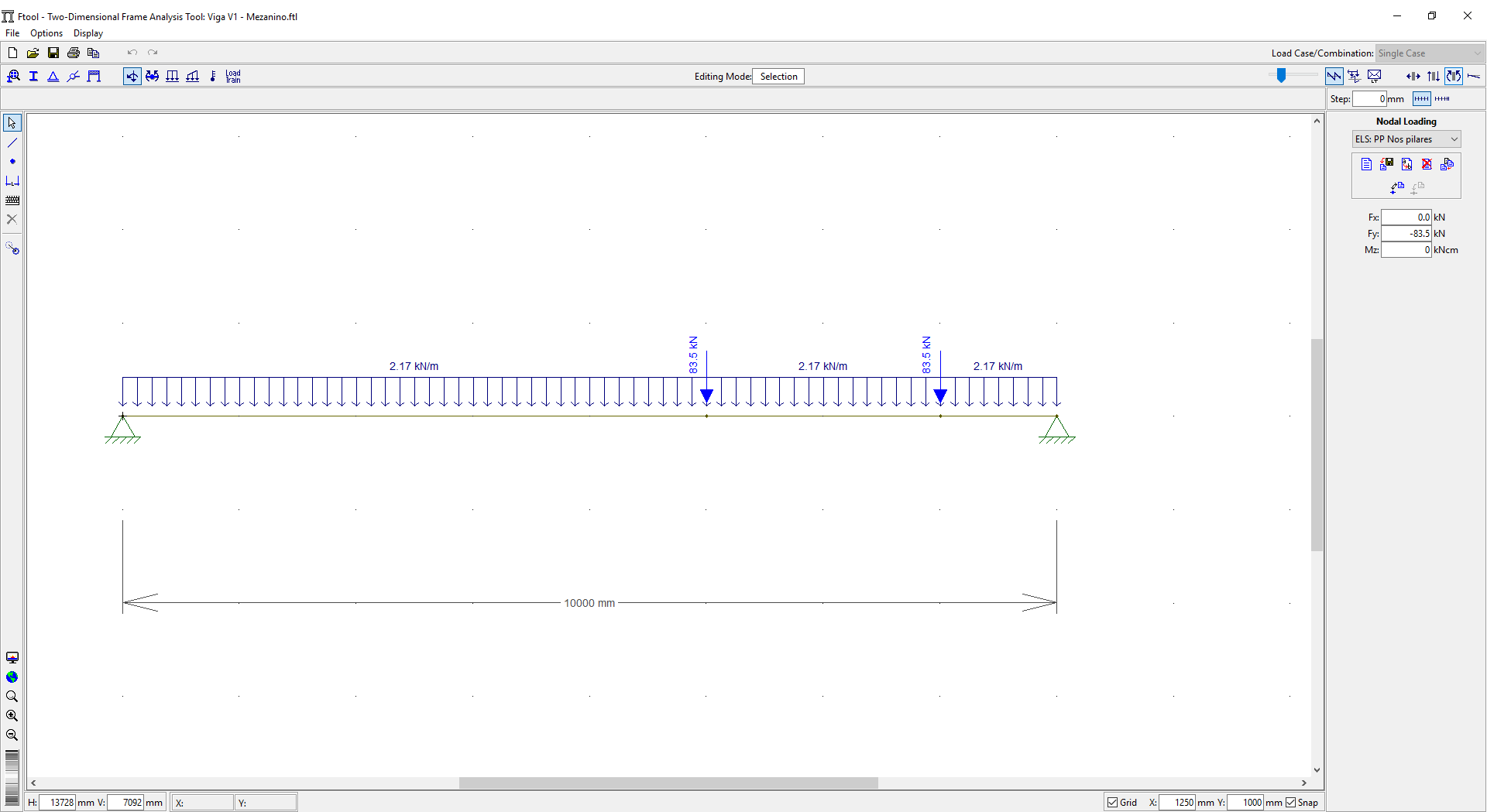
$$C_b = \frac{12,5 \cdot 34025}{2,5 \cdot 34025 + 3 \cdot 22909 + 4 \cdot 34025 + 3 \cdot 22909} = 1,18$$



# Verifica-se a ELU – Esforços verticais



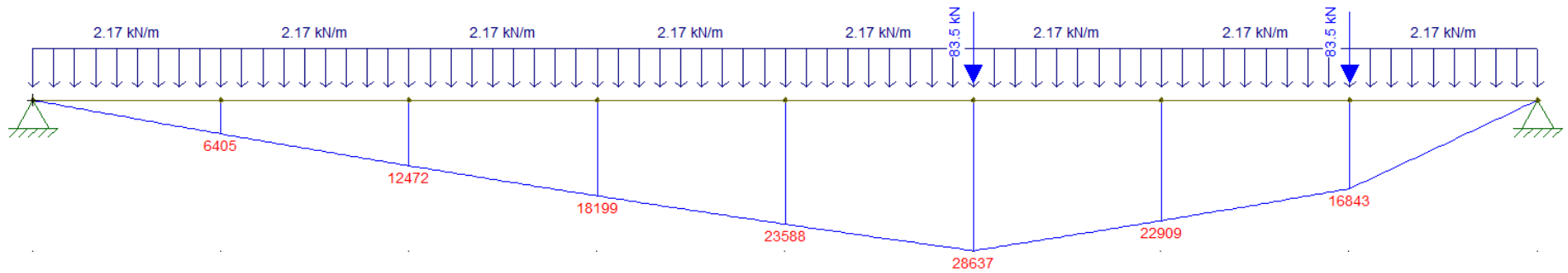
# Verifica-se a ELU – Esforços verticais



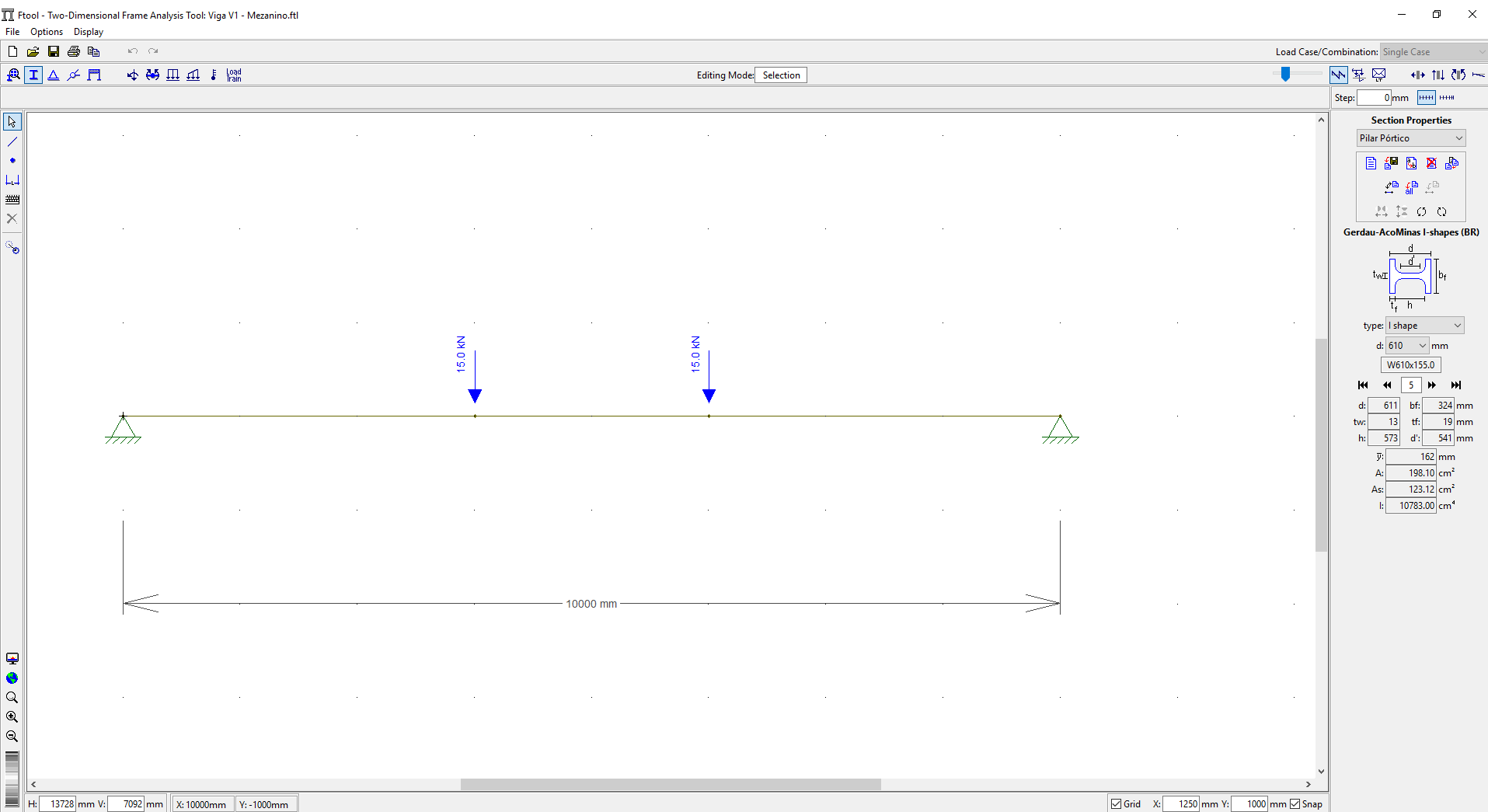
Verifica-se a ELU – Esforços verticais

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{Max}}{2,5 \cdot M_{Max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C}$$

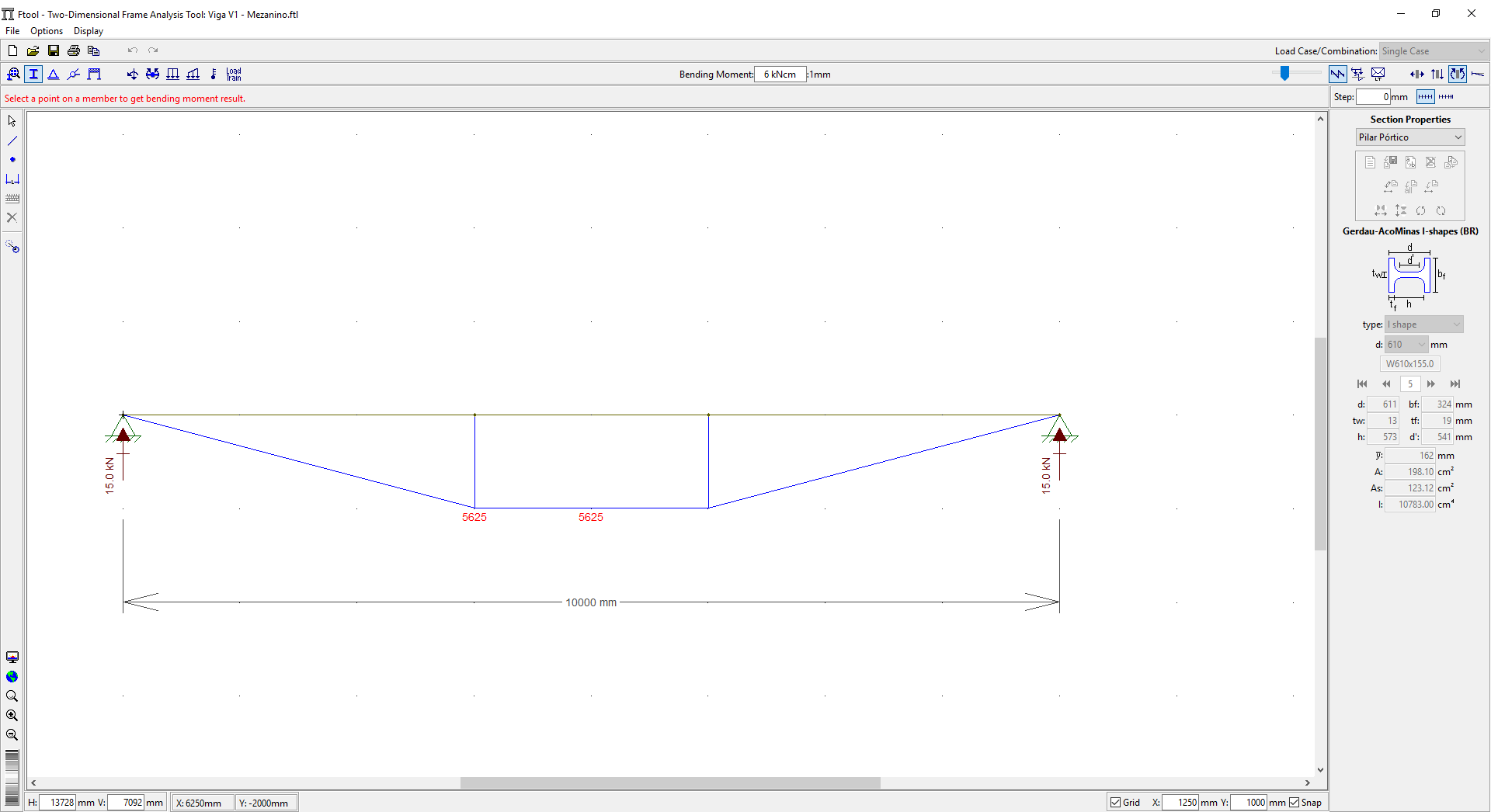
$$C_b = \frac{12,5 \cdot 28637}{2,5 \cdot 28637 + 3 \cdot 12472 + 4 \cdot 23588 + 3 \cdot 22909} = 1,31$$



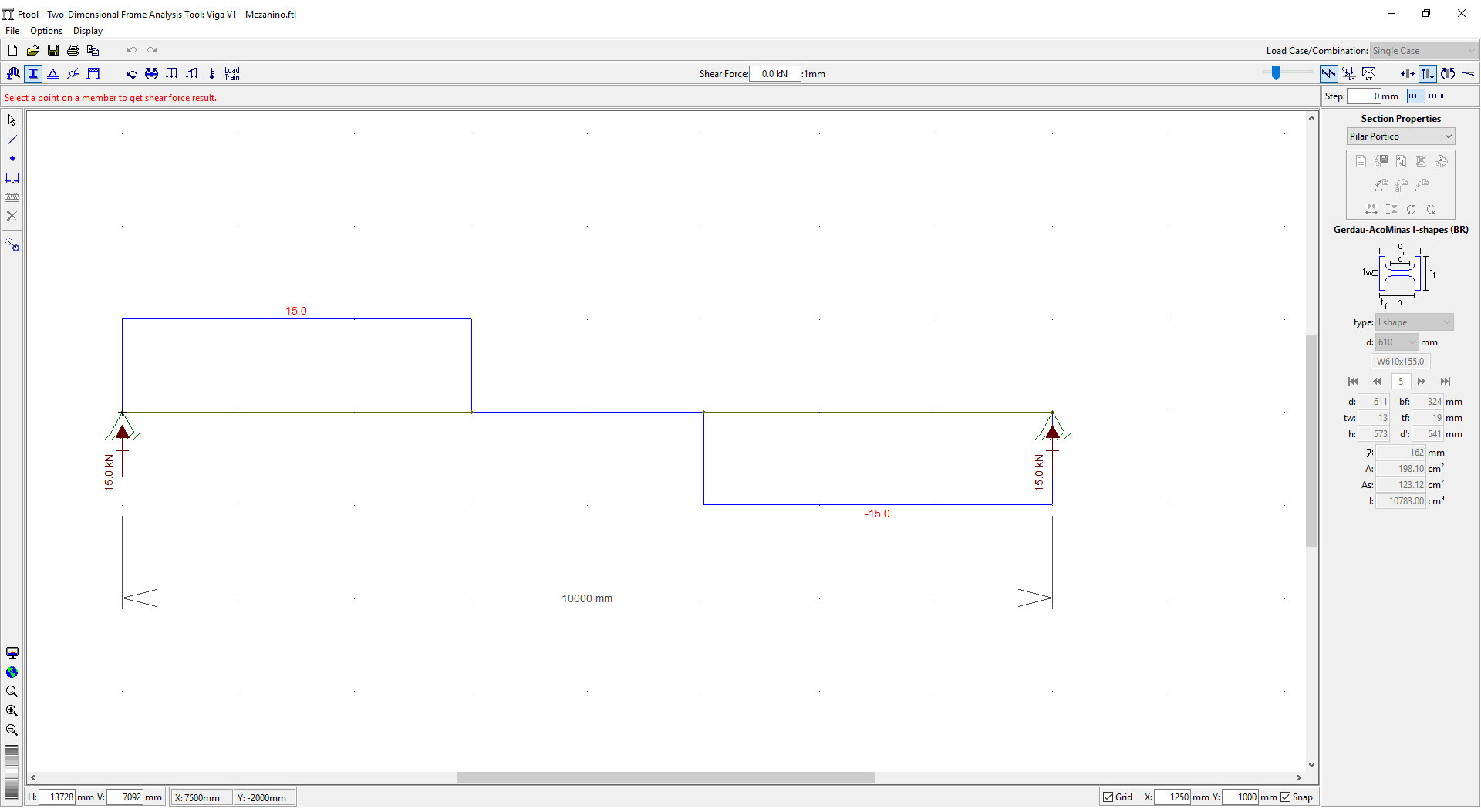
### Verifica-se a ELU – Esforços Horizontais



# Verifica-se a ELU – Esforços Horizontais

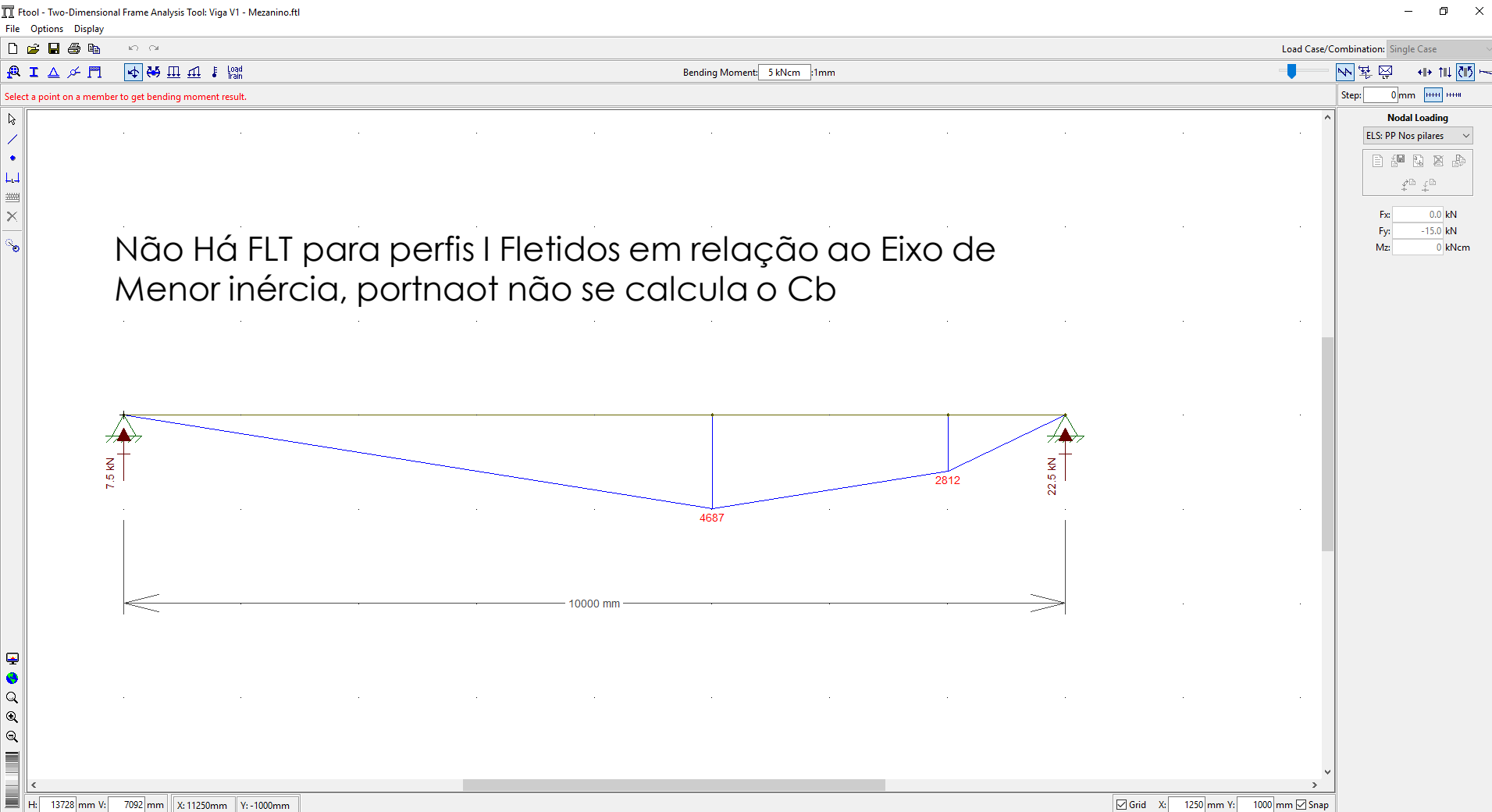


# Verifica-se a ELU – Esforços Horizontais

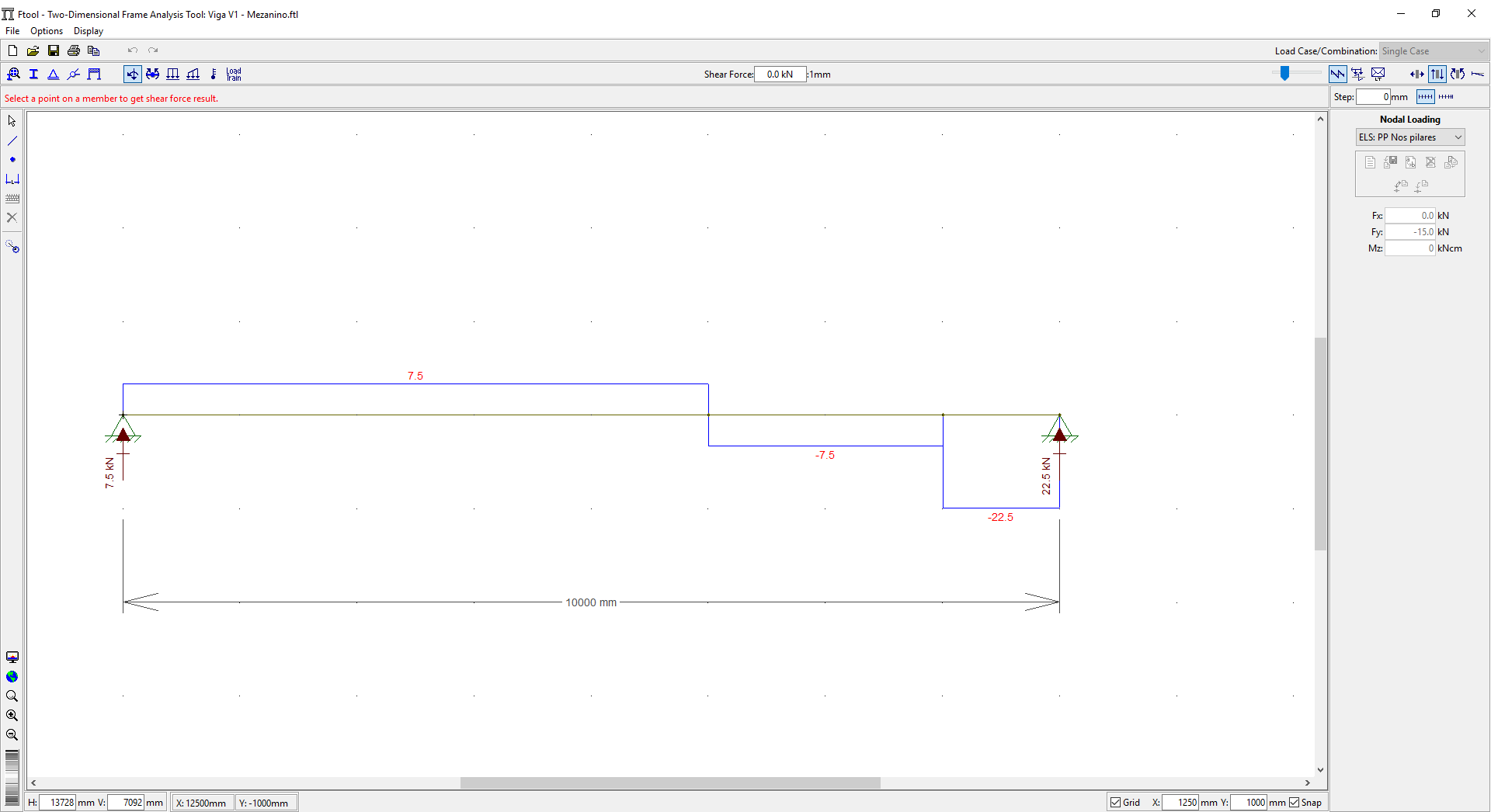




# Verifica-se a ELU – Esforços Horizontais



# Verifica-se a ELU – Esforços Horizontais



# Verificação ELU Caso 1 – Rodas ao centro

## Dimensionamento de Perfis I e H Laminados Padrão Açominas

| Esforços e Distâncias |       |
|-----------------------|-------|
| Lx (mm)               | 10000 |
| Ly (mm)               | 10000 |
| N(kN)                 | -16,7 |
| Vx(kN)                | 15    |
| Vy(kN)                | 94,4  |
| Mx(kN.cm)             | 34025 |
| My(kN.cm)             | 5625  |
| kx                    | 1     |
| ky                    | 1     |
| kz                    | 1     |
| d (mm)                | 0     |
| Cb                    | 1,18  |
| Lb (mm)               | 10000 |
| Material              |       |
| ASTM A572GR50         |       |
| Fy (kN/cm²)           | 34,5  |

| Dados para Cálculo de NRd |           |                         |          |
|---------------------------|-----------|-------------------------|----------|
| Q                         | 0,94      |                         |          |
| Nex(kN)                   | 26218,1   | r0(cm)                  | 26,6     |
| Ney(kN)                   | 2181,7    | Nez(kN)                 | 4874,75  |
| λ0                        | 1,72      |                         |          |
| χ                         | 0,298     |                         |          |
|                           |           |                         |          |
| Esbeltez Limite FLA X-X   |           | Esbeltez Limite FLA Y-Y |          |
| λalma                     | 45,12     | λalma                   | 45,12    |
| λp                        | 91,65     | λp                      | 27,30    |
| λr                        | 138,94    | λr                      | 34,13    |
| Mr                        | 146338,65 | Mr                      | 17215,99 |
| Compacta                  |           | Esbelta                 |          |

Resultado: 67,8%

| W 610 x 155,0 |      |         |        |             |       |
|---------------|------|---------|--------|-------------|-------|
| d(mm)         | 611  | Wx(cm²) | 4241,7 | rx(cm)      | 25,58 |
| bf(mm)        | 324  | Wy(cm²) | 665,6  | ry(cm)      | 7,38  |
| d'(mm)        | 541  | Zx(cm³) | 4749,1 | Área(cm²)   | 198,1 |
| tw(mm)        | 12,7 | Zy(cm³) | 1022,6 | ho/tw       | 42,6  |
| tf(mm)        | 19   | Ix(cm4) | 129583 | b/tf        | 8,5   |
| h(mm)         | 573  | Iy(cm4) | 10783  | Peso (kg/m) | 155,0 |

Limite: 36,3      Esbelta  
Limite: 13,7    25,1 Compacta

Listar Perfis que atendem

| Perfil             | Peso   | %      |
|--------------------|--------|--------|
| W 310 x 107,0 (H)  | 107,00 | 96,81% |
| W 310 x 117,0 (H)  | 117,00 | 85,41% |
| W 360 x 122,0 (H)  | 122,00 | 89,41% |
| HP 310 x 125,0 (H) | 125,00 | 85,60% |
| W 610 x 155,0      | 155,00 | 67,75% |
| W 610 x 174,0      | 174,00 | 67,11% |

| 1. Verificação da Esbeltez do perfil |      |        |       |    |
|--------------------------------------|------|--------|-------|----|
| Limite                               | Real | Status | %     |    |
| 200                                  | 39   | OK     | 19,5% | λx |
| 200                                  | 136  | OK     | 67,8% | λy |

| 2. Resistência à tração |         |        |      |         |
|-------------------------|---------|--------|------|---------|
| Nrd(kN)                 | Nsd(kN) | Status | %    | Coef. S |
| N.A                     | 0       | N.A    | 0,0% | 1,1     |

| 3. Resistência à Compressão |         |        |      |         |
|-----------------------------|---------|--------|------|---------|
| Nrd(kN)                     | Nsd(kN) | Status | %    | Coef. S |
| 1739                        | 16,7    | OK     | 1,0% | 1,1     |

| 4. Resistência à Flexão eixo X-X |            |        |       |         |
|----------------------------------|------------|--------|-------|---------|
| Mrd(kN.cm)                       | Msd(kN.cm) | Status | %     | Coef. S |
| 93652                            | 34025      | OK     | 36,3% | 1,1     |

| 5. Resistência à Flexão eixo Y-Y |            |        |       |         |
|----------------------------------|------------|--------|-------|---------|
| bef                              |            |        |       | 47,9    |
| Mrd(kN.cm)                       | Msd(kN.cm) | Status | %     | Coef. S |
| 20876                            | 5625       | OK     | 26,9% | 1,1     |
| Vef                              |            |        |       | 499,0   |

| 6. Resistência ao esforço cortante eixo X |         |        |      |         |
|---|---------|--------|------|---------|
| Vrd(kN)                                   | Vsd(kN) | Status | %    | Coef. S |
| 2317                                      | 15      | OK     | 0,6% | 1,1     |

# Verificação ELU Caso 2 – Rodas deslocadas

## Dimensionamento de Perfis I e H Laminados Padrão Açominas

| Esforços e Distâncias |       |
|-----------------------|-------|
| Lx (mm)               | 10000 |
| Ly (mm)               | 10000 |
| N(kN)                 | -16,7 |
| Vx(kN)                | 22,5  |
| Vy(kN)                | 137   |
| Mx(kN.cm)             | 28637 |
| My(kN.cm)             | 4687  |
| kx                    | 1     |
| ky                    | 1     |
| d (mm)                | 0     |
| Lb (mm)               | 10000 |
| Material              |       |
| ASTM A572GR50         |       |
| Fy (kN/cm²)           | 34,5  |

| Dados para Cálculo de Nrd |           |                         |          |
|---------------------------|-----------|-------------------------|----------|
| Q                         | 0,94      |                         |          |
| Nex(kN)                   | 26218,1   | r0(cm)                  | 26,6     |
| Ney(kN)                   | 2181,7    | Nez(kN)                 | 4874,75  |
| λ0                        | 1,72      |                         |          |
| χ                         | 0,298     |                         |          |
| Esbeltez Limite FLA X-X   |           | Esbeltez Limite FLA Y-Y |          |
| λalma                     | 45,12     | λalma                   | 45,12    |
| λp                        | 91,65     | λp                      | 27,30    |
| λr                        | 138,94    | λr                      | 34,13    |
| Mr                        | 146338,65 | Mr                      | 17215,99 |
| Compacta                  |           | Esbelta                 |          |

Resultado: 67,8%

| W 610 x 155,0 |      |         |        |             |       |
|---------------|------|---------|--------|-------------|-------|
| d(mm)         | 611  | Wx(cm³) | 4241,7 | rx(cm)      | 25,58 |
| bf(mm)        | 324  | Wy(cm³) | 665,6  | ry(cm)      | 7,38  |
| d'(mm)        | 541  | Zx(cm³) | 4749,1 | Área(cm²)   | 198,1 |
| tw(mm)        | 12,7 | Zy(cm³) | 1022,6 | ho/tw       | 42,6  |
| tf(mm)        | 19   | Ix(cm⁴) | 129583 | b/tf        | 8,5   |
| h(mm)         | 573  | Iy(cm⁴) | 10783  | Peso (kg/m) | 155,0 |

Limite: 36,3 Esbelta  
Limite: 13,7 25,1 Compacta

### 1. Verificação da Esbeltez do perfil

| Limite | Real | Status | %     |    |
|--------|------|--------|-------|----|
| 200    | 39   | OK     | 19,5% | λx |
| 200    | 136  | OK     | 67,8% | λy |

### 2. Resistência à tração

| Nrd(kN) | Nsd(kN) | Status | %    | Coef. S |
|---------|---------|--------|------|---------|
| N.A     | 0       | N.A    | 0,0% | 1,1     |

### 3. Resistência à Compressão

| Nrd(kN) | Nsd(kN) | Status | %    | Coef. S |
|---------|---------|--------|------|---------|
| 1739    | 16,7    | OK     | 1,0% | 1,1     |

### 4. Resistência à Flexão eixo X-X

| Mrd(kN.cm) | Msd(kN.cm) | Status | %     | Coef. S |
|------------|------------|--------|-------|---------|
| 103970     | 28637      | OK     | 27,5% | 1,1     |

### 5. Resistência à Flexão eixo Y-Y

| Mrd(kN.cm) | Msd(kN.cm) | Status | %     | Coef. S | bef     |
|------------|------------|--------|-------|---------|---------|
| 20876      | 4687       | OK     | 22,5% | 1,1     | 47,9    |
|            |            |        |       |         | ly      |
|            |            |        |       |         | Wef     |
|            |            |        |       |         | 10778,7 |
|            |            |        |       |         | 499,0   |

### 6. Resistência ao esforço cortante eixo X

| Vrd(kN) | Vsd(kN) | Status | %    | Coef. S |
|---------|---------|--------|------|---------|
| 2317    | 22,5    | OK     | 1,0% | 1,1     |

Listar Perfis que atendem

| Perfil             | Peso   | %      |
|--------------------|--------|--------|
| HP 310 x 93,0 (H)  | 93,00  | 99,85% |
| W 310 x 97,0 (H)   | 97,00  | 86,69% |
| W 250 x 101,0 (H)  | 101,00 | 93,08% |
| W 360 x 101,0 (H)  | 101,00 | 99,16% |
| W 310 x 107,0 (H)  | 107,00 | 75,24% |
| HP 310 x 110,0 (H) | 110,00 | 78,20% |
| W 360 x 110,0 (H)  | 110,00 | 81,39% |
| W 250 x 115,0 (H)  | 115,00 | 78,62% |
| W 310 x 117,0 (H)  | 117,00 | 66,42% |
| W 360 x 122,0 (H)  | 122,00 | 79,49% |
| HP 310 x 125,0 (H) | 125,00 | 67,11% |
| W 610 x 140,0      | 140,00 | 99,60% |
| W 610 x 155,0      | 155,00 | 67,75% |
| W 610 x 174,0      | 174,00 | 67,11% |

# Verificação da fadiga

Estima-se 100 ciclos por dia em uma vida útil de 50 Anos

$$10 \times 365 \times 50 = 1.825.000 \text{ ciclos}$$

$$\sigma_{lim} = 0,66 \cdot f_y = 34,5 \cdot 0,66 = 22,7 \text{ kN/cm}^2 (228 \text{ MPa})$$

$$\sigma_{SR} = \left( \frac{327.250 \cdot 10^8}{1825000} \right)^{0,333} = 164 \text{ MPa} = 16,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{sdx} = \frac{34025}{1,5} = 22683 \text{ kN.cm} \quad \sigma_{SR} = \frac{M_{sdx}}{W_x} = \frac{22683}{4241,7} = 5,34 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = < 16,4 \text{ kN/cm}^2 \text{ OK}$$

$$M_{sdy} = \frac{5625}{1,5} = 3750 \text{ kN.cm} \quad \sigma_{SR} = \frac{M_{sdy}}{W_y} = \frac{3750}{665,6} = 5,63 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = < 16,4 \text{ kN/cm}^2 \text{ OK}$$

Fadiga ao cisalhamento

$$\sigma_{lim} = 0,4 \cdot F_y = 0,4 \cdot 34,5 = 13,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Vsd} = \frac{V_{sd}}{A_g} = \frac{137}{198,1} = 0,69 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 13,8 \text{ OK}$$