



# **CURSO DE DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE ARMAZENAGEM TIPO PORTA PALLETS**

## **Dimensionamento de Elementos de estruturas porta paletes LONGARINAS**



# Dimensionamento de Longarinas (E.L.U)

Simplificado (Primeira Ordem)

$$M_{sd} = \frac{w \cdot L^2}{8}$$

$$V_{sd} = \frac{w \cdot L}{2}$$

Aproximado (Primeira Ordem)

$$M_{sd} = \frac{w_d \cdot L \cdot \beta_m}{8} \left[ 1 - \frac{2\beta_\theta}{3 \cdot \beta_m \left( 1 + \frac{2E \cdot I_b}{k_e \cdot L} \right)} \right]$$

$$k_e = \frac{k_b}{\left( 1 + k_b \cdot \frac{h}{3EI_c} \right)}$$

$W_d$  é a carga total de cálculo sobre a longarina;

$L$  é o vão entre as faces das colunas;

$h$  é a altura entre níveis;

$k_b$  é a rigidez do conector da longarina até a coluna;

$I_b$  é o momento de inércia da longarina;

$I_c$  é o momento de inércia da coluna.

$\phi$  é a imperfeição do deslocamento;

$n_s$  é o número de níveis de longarinas.

$F_{Vsd}$  é o valor de cálculo da carga vertical no montante;

$F_{Vcr}$  é o valor crítico elástico da carga vertical para falha em um modo de deslocamento lateral.

**Base Rotulada**

$$V_{sd} = \frac{W_d}{2} + \frac{2\phi W_d \cdot h(3n_s - 1)}{4L} \cdot \beta$$

**Base Semirrígida**

$$V_{sd} = \frac{W_d}{2} + \frac{2\phi W_d \cdot h(2n_s - 1)}{4L} \cdot \beta$$

$$\beta = \frac{F_{Vcr}}{F_{Vcr} - F_{Vsd}}$$

Tabela F.1 – Coeficiente de ponderação de carga para longarinas (continua)

Carregamento-padrão	$\beta_m$	$\beta_\theta$	$\beta_\Delta$
	1,0	1,0	1,0
	2,0	1,5	1,6
	1,0	1,12	1,1
	1,33	1,33	1,36
	1,11	1,06	1,05

Tabela F.1 (conclusão)

Carregamento-padrão	$\beta_m$	$\beta_\theta$	$\beta_\Delta$
	1,33	1,25	1,27
	1,0	1,03	1,02
	1,2	1,2	1,21

Legenda

$W$  carga total na longarina

$L$  vão da longarina (pode ser considerada a distância entre as faces dos montantes para o cálculo)

# Dimensionamento de Longarinas (E.L.U)

Flexo- Compressão (Longarinas do contraventamento)

$$N_{cSd} = 0,01 N_{cSd(Coluna)}$$

Quando se considera a combinação de flexão e compressão axial, podem ser utilizados os seguintes procedimentos:

- a) quando o plano estiver totalmente carregado, não é necessário verificar a flambagem;
- b) quando o plano estiver descarregado, o comprimento de flambagem da longarina pode ser considerado  $L_b = L$ ;
- c) quando o plano estiver parcialmente carregado, o comprimento de flambagem da longarina pode ser conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Fator K (comprimento de flambagem = K x comprimento do sistema)

Número de unidades de carga por compartimento	K para uma longarina por vão	K para duas longarinas por vão
n de n	Não necessita checar a flambagem	Não necessita checar a flambagem
1 de 2	0,6	0,5
1 de 3 no meio do vão	1,0	0,9
2 de 3	0,6	0,5
2 de 4 no meio do vão	0,7	0,6
3 de 4	0,5	0,45

# Dimensionamento de Longarinas (E.L.S)

Simplificado

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_b}$$

Aproximado

$$M_{sd} = \frac{5 \cdot w_{ser} \cdot L^3 \cdot \beta_{\Delta}}{384 \cdot E \cdot I_b} \left[ 1 - \frac{0,8\beta_{\theta}}{\beta_{\Delta} \left( 1 + \frac{2E \cdot I_b}{k_e \cdot L} \right)} \right]$$

Flecha máxima: L/200

Tabela F.1 – Coeficiente de ponderação de carga para longarinas (continua)

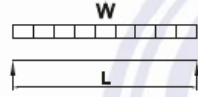


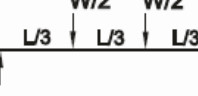
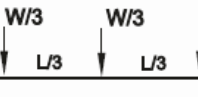
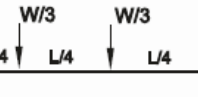

Carregamento-padrão	$\beta_m$	$\beta_{\theta}$	$\beta_{\Delta}$
	1,0	1,0	1,0
	2,0	1,5	1,6
	1,0	1,12	1,1
	1,33	1,33	1,36
	1,11	1,06	1,05

Tabela F.1 (conclusão)

Carregamento-padrão	$\beta_m$	$\beta_{\theta}$	$\beta_{\Delta}$
	1,33	1,25	1,27
	1,0	1,03	1,02
	1,2	1,2	1,21

Legenda

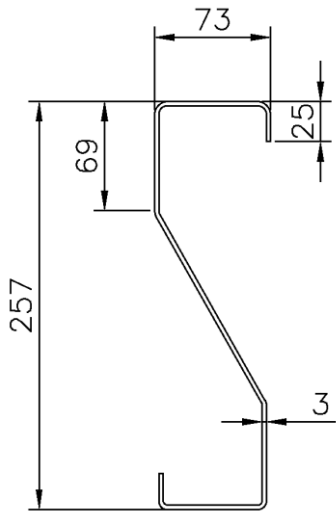
$W$  carga total na longarina

$L$  vão da longarina (pode ser considerada a distância entre as faces dos montantes para o cálculo)

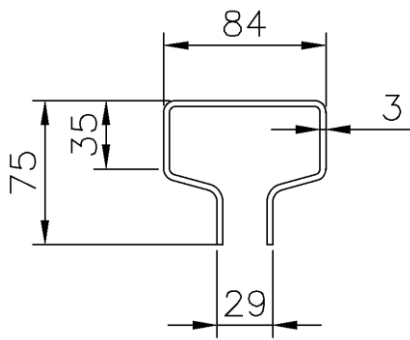
# Exemplo 1: Verificar se a longarina abaixo pode ser aprovada quanto aos Estados limites de serviço e últimos

Peso máximo de uma unidade de carga: 1000 kg (10kN)

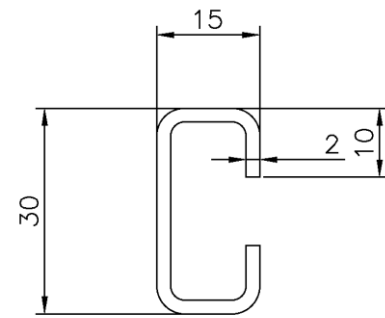
MATERIAL: ASTM A36



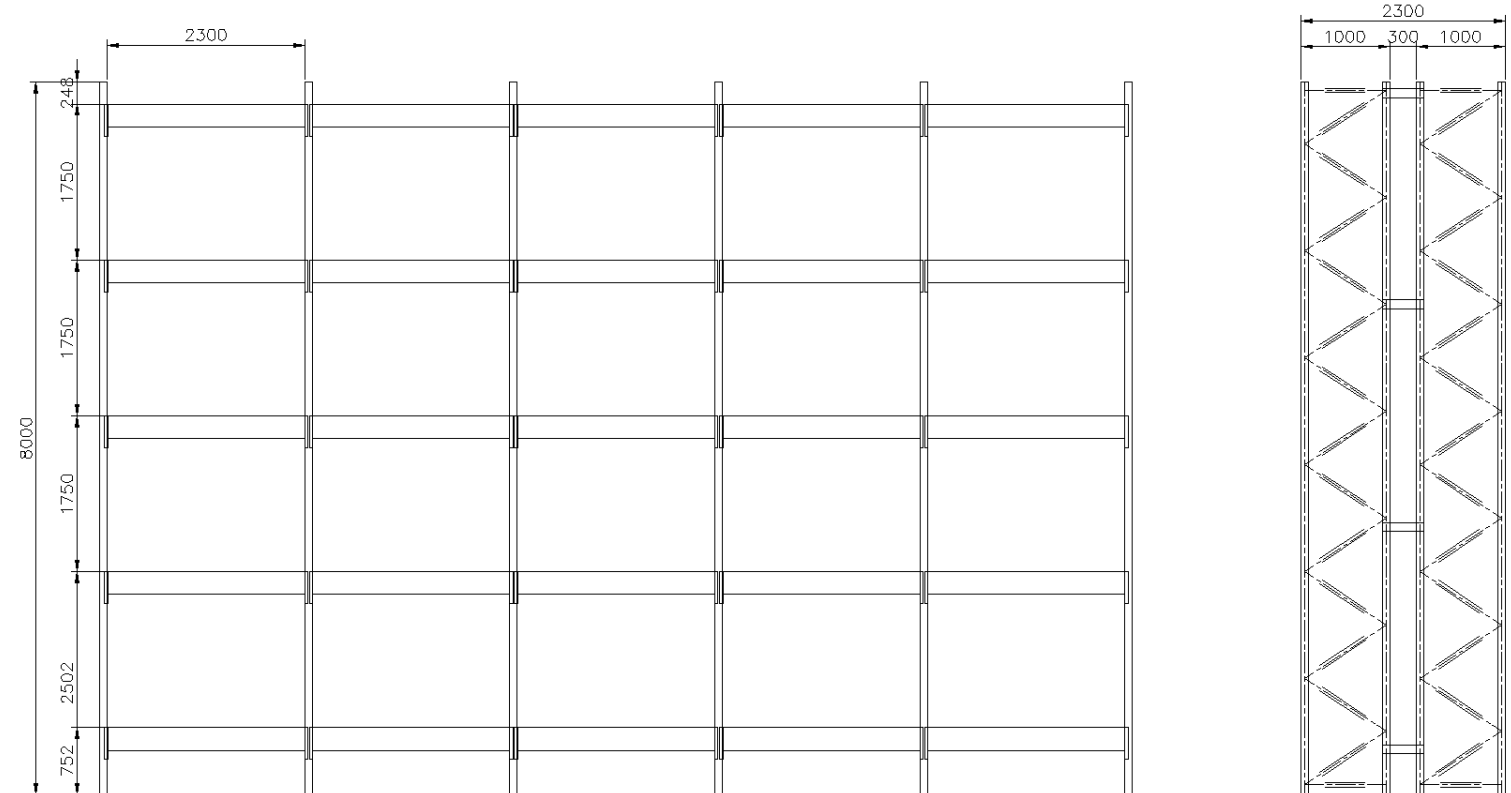
Longarina Seção Z enrijecido  
 $A = 11,95 \text{ cm}^2$



Coluna da montante seção Rack  
 $A = 7,79 \text{ cm}^2$

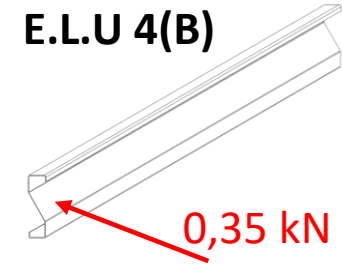
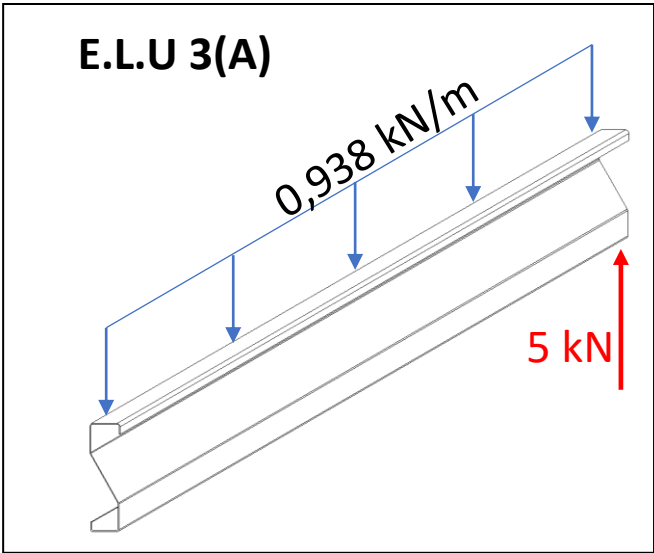
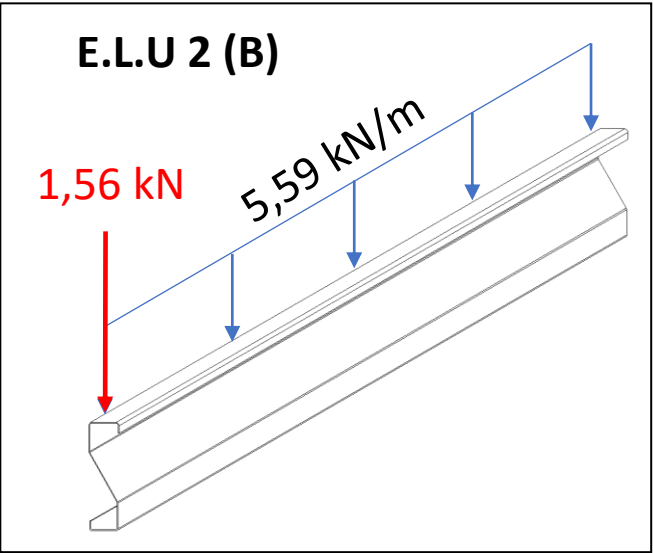
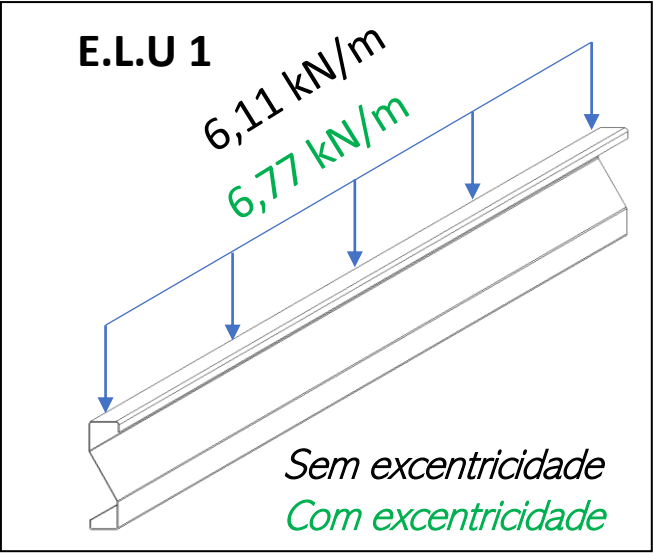
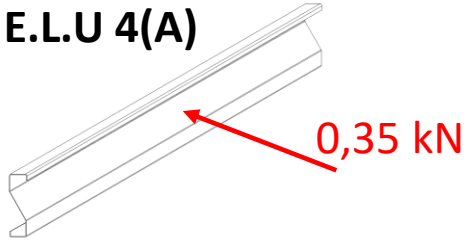
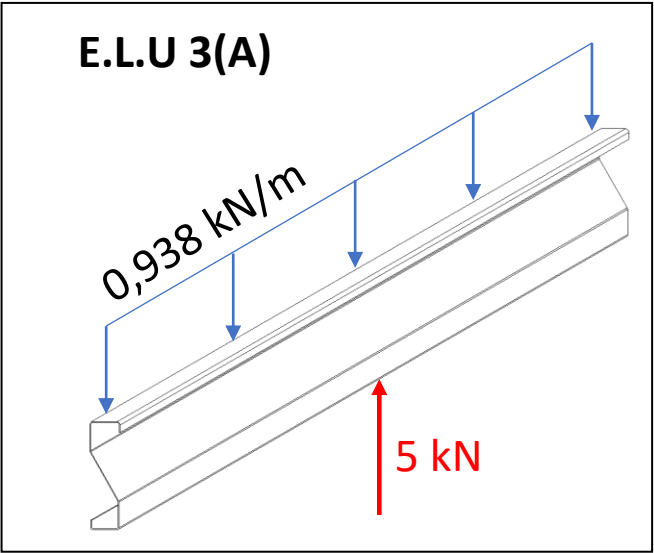
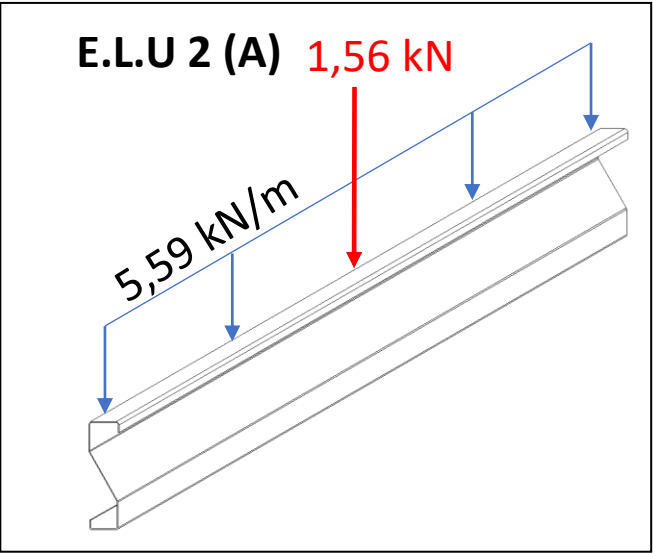
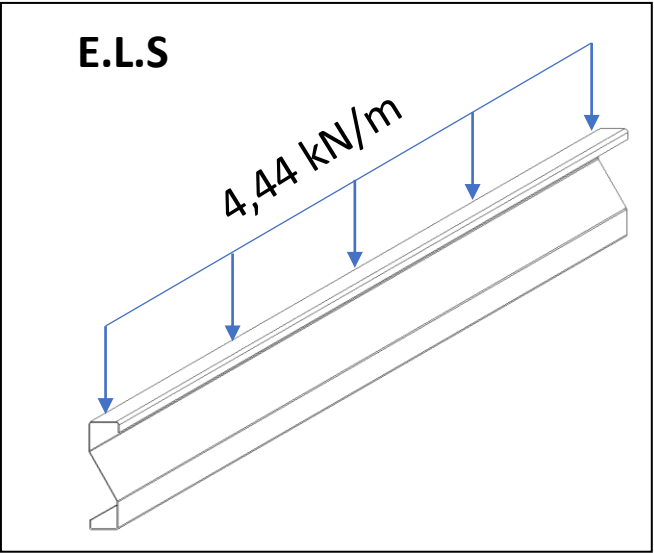


Diagonais da montante  
 $A = 1,34 \text{ cm}^2$   
L-TOTAL = 16,10m por montante



# Exemplo 1

Carregamento nas longarinas:



\*A carga com excentricidade será usada para dimensionamento das longarinas e conectores

# Dimensionamento da Longarina (E.L.S)

Simplificado

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_b} \quad \Delta_{m\acute{a}x} = \frac{5,0444 \cdot 230^4}{384 \cdot 20000 \cdot 1369,86} = 0,06 \text{ cm}$$

Flecha limite:  $230/200 = 1,15 \text{ cm}$  (5,2% - OK!)

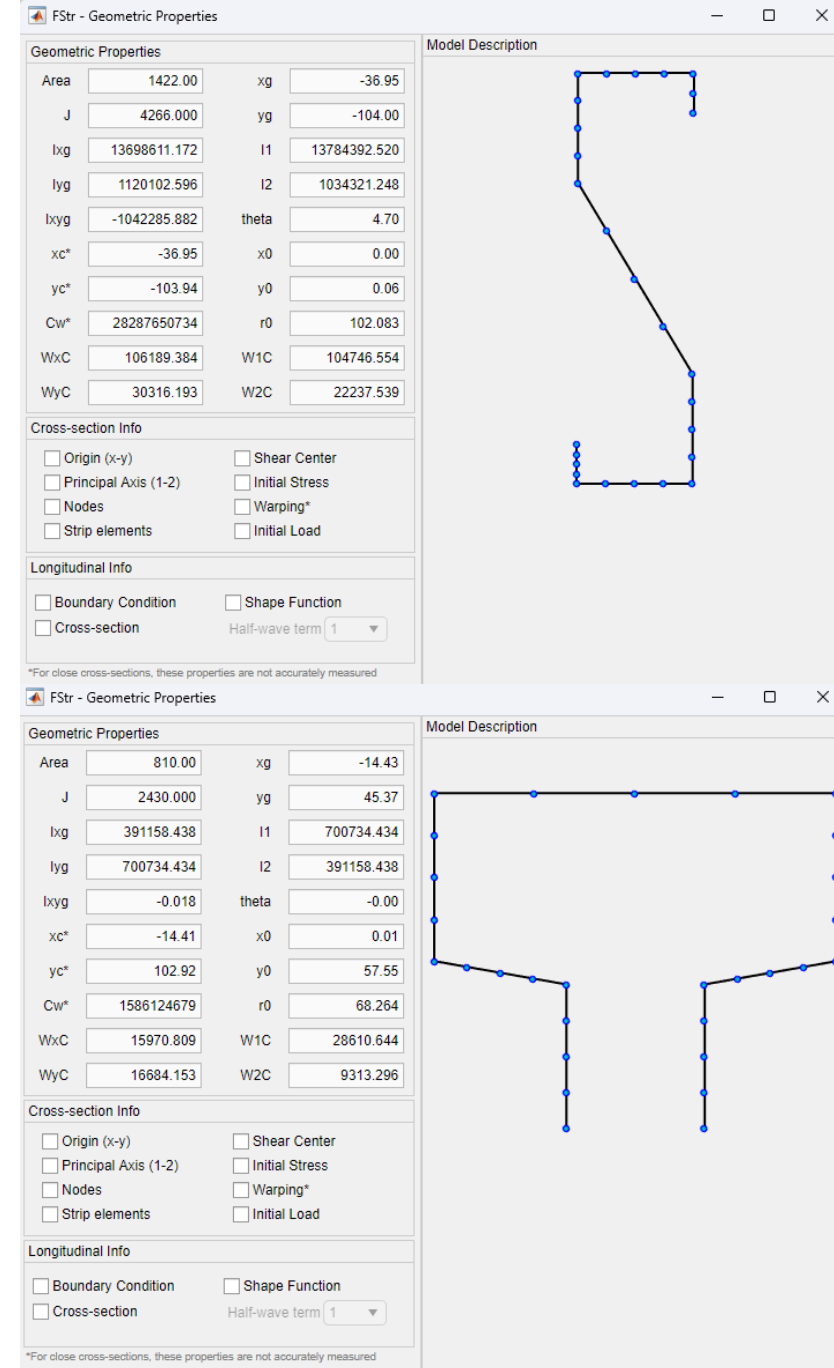
Aproximado

$$k_b = \frac{EI_b}{L} \quad k_b = \frac{20000 \cdot 1369,86}{230} = 119118 \text{ kN.cm}$$

$$\Delta_{max} = \frac{5 \cdot w_{ser} \cdot L^3 \cdot \beta_{\Delta}}{384 \cdot E \cdot I_b} \left[ 1 - \frac{0,8\beta_{\theta}}{\beta_{\Delta} \left( 1 + \frac{2E \cdot I_b}{k_e \cdot L} \right)} \right] \quad k_e = \frac{k_b}{\left( 1 + k_b \cdot \frac{h}{3EI_c} \right)}$$

$$k_e = \frac{119118}{\left( 1 + 119118 \cdot \frac{250,2}{3 \cdot 20000 \cdot 1120} \right)} = 82520 \text{ kN.cm}$$

$$\Delta_{max} = \frac{5 \cdot 0,0444 \cdot 230 \cdot 230^3 \cdot 1,00}{384 \cdot 20000 \cdot 1369,86} \left[ 1 - \frac{0,8 \cdot 1}{1 \left( 1 + \frac{2 \cdot 20000 \cdot 1369,86}{82520 \cdot 230} \right)} \right] = 0,06 \cdot 0,79 = 0,0476 \text{ OK! (4,1\%)}$$



# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)

$$M_{sd} = \frac{w \cdot L^2}{8}$$

$$M_{sd} = \frac{w_d \cdot L \cdot \beta_m}{8} \left[ 1 - \frac{2\beta_\theta}{3 \cdot \beta_m \left( 1 + \frac{2E \cdot I_b}{k_e \cdot L} \right)} \right]$$

**$M_{sd(ELU1)}$**

$$M_{sd} = \frac{0,0677 \cdot 230^2}{8} = 447,67 \text{ kN.cm}$$

$$M_{sd} = \frac{0,0677 \cdot 230 \cdot 230 \cdot 1}{8} \left[ 1 - \frac{2.1}{3.1 \left( 1 + \frac{2.20000 \cdot 1369,86}{82520 \cdot 230} \right)} \right] = 447,67 \cdot 0,83 = 370,88 \text{ kN.cm}$$

**$M_{sd(ELU2)}$**

$$M_{sd} = \frac{0,0559 \cdot 230^2}{8} + \frac{1,56 \cdot 230}{4} = 459,33 \text{ kN.cm}$$

$$M_{sd_u} = \frac{0,0559 \cdot 230 \cdot 230 \cdot 1}{8} \left[ 1 - \frac{2.1}{3.1 \left( 1 + \frac{2.20000 \cdot 1369,86}{82520 \cdot 230} \right)} \right] = 369,63 \cdot 0,83 = 306,80 \text{ kN.cm}$$

$$M_{sd_p} = \frac{1,56 \cdot 230 \cdot 2}{8} \left[ 1 - \frac{2.1,5}{3.2 \cdot \left( 1 + \frac{2.20000 \cdot 1369,86}{82520 \cdot 230} \right)} \right] = 89,7 \cdot 0,87 = 78 \text{ kN.cm}$$

$$M_{sd} = M_{sd_u} + M_{sd_p} = 381,25 + 78 = 384,79 \text{ kN.cm}$$

Eng. Felipe Jacob

Tabela F.1 – Coeficiente de ponderação de carga para longarinas (continua)

Carregamento-padrão	$\beta_m$	$\beta_\theta$	$\beta_\Delta$
	1,0	1,0	1,0
	2,0	1,5	1,6
	1,0	1,12	1,1
	1,33	1,33	1,36
	1,11	1,06	1,05

Tabela F.1 (conclusão)

Carregamento-padrão	$\beta_m$	$\beta_\theta$	$\beta_\Delta$
	1,33	1,25	1,27
	1,0	1,03	1,02
	1,2	1,2	1,21

Legenda

$W$  carga total na longarina

$L$  vão da longarina (pode ser considerada a distância entre as faces dos montantes para o cálculo)



# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)

$M_{Sd(ELU3)}$

$$M_{sd} = \frac{0,00938.230^2}{8} - \frac{5 \cdot 230}{4} = -225,47 \text{ kN}$$

Adotaremos Msd = 459,33 kN.cm

Tabela F.1 – Coeficiente de ponderação de carga para longarinas (continua)

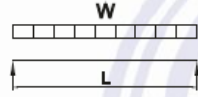
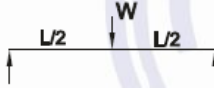





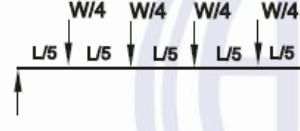
Carregamento-padrão	$\beta_m$	$\beta_\theta$	$\beta_\Delta$
	1,0	1,0	1,0
	2,0	1,5	1,6
	1,0	1,12	1,1
	1,33	1,33	1,36
	1,11	1,06	1,05

Tabela F.1 (conclusão)

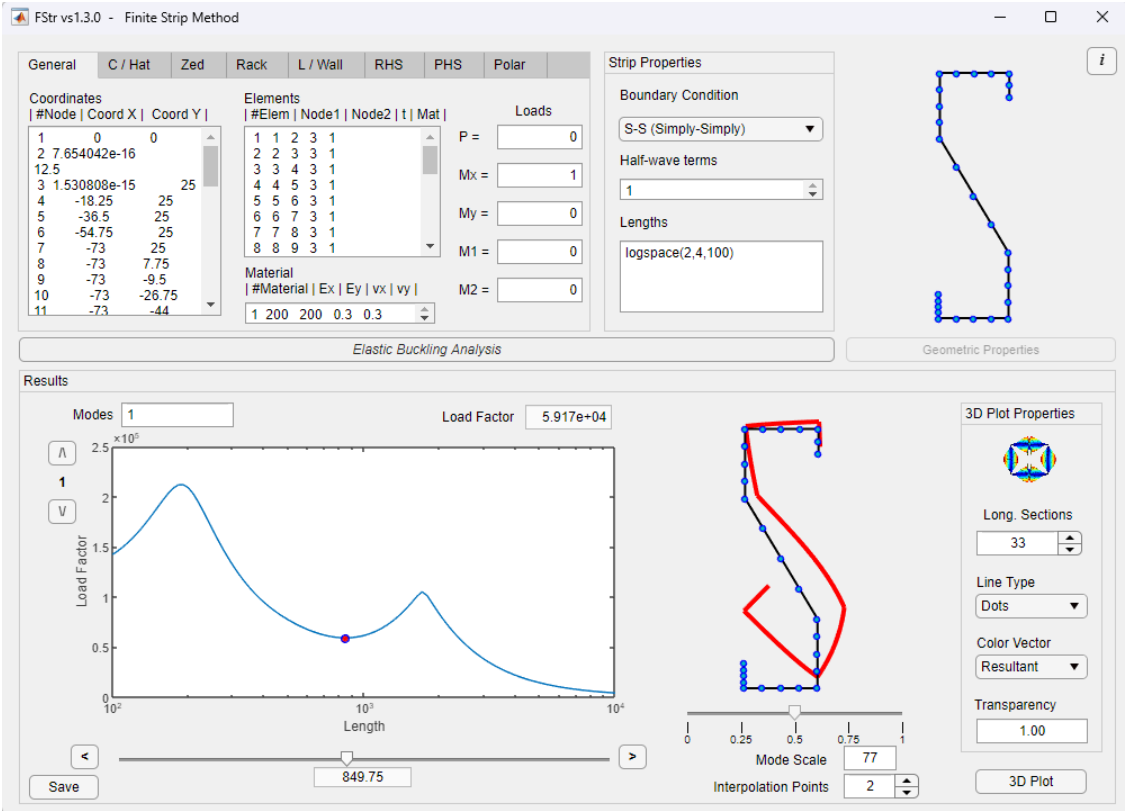
Carregamento-padrão	$\beta_m$	$\beta_\theta$	$\beta_\Delta$
	1,33	1,25	1,27
	1,0	1,03	1,02
	1,2	1,2	1,21

Legenda

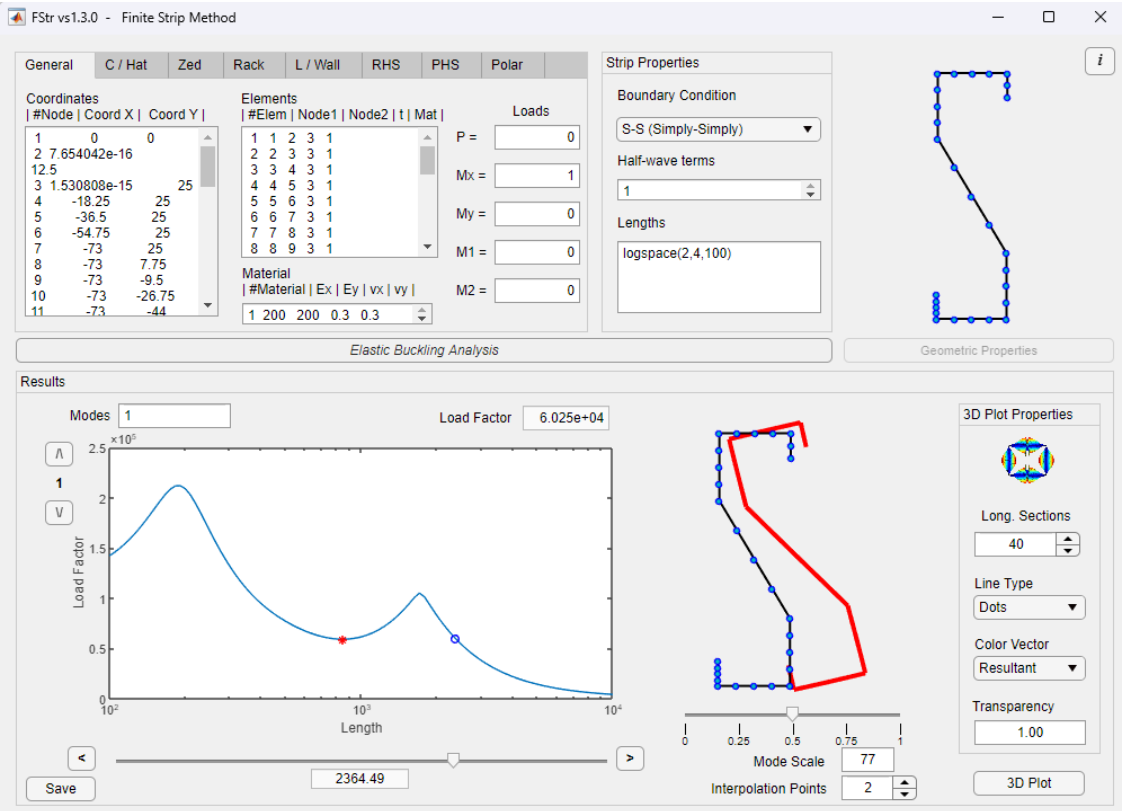
$W$  carga total na longarina

$L$  vão da longarina (pode ser considerada a distância entre as faces dos montantes para o cálculo)

# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)



Momento Crítico para  
flambagem local e  
distorcional: 5917 kN.cm



Momento Crítico para  
flambagem lateral com  
torção: 6025 kN.cm

# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)

## Flambagem Lateral com Torção

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W \cdot F_y}{M_e}} \quad \begin{array}{l} \text{Se } \lambda_0 \leq 0,60 \quad M_{Re} = W \cdot F_y \\ \text{Se } 0,6 < \lambda_0 < 1,336 \quad M_{Re} = 1,11 \cdot (1 - 0,278\lambda_0^2)W \cdot F_y \\ \lambda_0 \geq 1,336 \quad M_{Re} = \frac{W \cdot F_y}{\lambda_0^2} \end{array}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{106,18.25}{6025}} = 0,66$$

$$M_{Re} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot 0,66^2) 106,18.25 = 2589,68 \text{ kN.cm}$$

$$\text{Se } 0,6 < \lambda_0 < 1,336$$

## Flambagem Local

$$\lambda_l = \sqrt{\frac{M_{Re}}{M_l}}$$

$$\text{Se } \lambda_l \leq 0,776 \quad M_{Rl} = M_{Re}$$

$$\text{Se } \lambda_l > 0,776 \quad M_{Rl} = \left(1 - \frac{0,15}{\lambda_l^{0,8}}\right) \frac{M_{Re}}{\lambda_l^{0,8}}$$

$$\lambda_l = \sqrt{\frac{2589,68}{5917}} = 0,66$$

$$\text{Se } \lambda_l \leq 0,776 \quad M_{Rl} = M_{Re} = 2589,68 \text{ kN.cm}$$

# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)

## Flambagem Distorcional

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{W \cdot F_y}{M_{dist}}}$$

$$Se \lambda_{dist} \leq 0,673 \quad N_{cRl} = W \cdot F_y$$

$$Se \lambda_{dist} > 0,673 \quad M_{Rdist} = \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{dist}}\right) \frac{W f_y}{\lambda_{dist}}$$

## Flambagem Distorcional

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{106,18.25}{5917}} = 0,67$$

$$Se \lambda_{dist} \leq 0,673 \quad N_{cRl} = 106,18 \cdot 25 = 2654,5 \text{ kN.cm}$$

$$M_{Rd} = \frac{2589,68}{1,2} = 2158 \text{ kN.cm}$$

$$\frac{459}{2158} = 21,2\%$$



# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)

**Esforço cortante:**

## **Força cortante**

A força cortante resistente de cálculo  $V_{Rd}$  deve ser calculada por (adotando  $\gamma = 1,1$ ):

$$\text{- Para } \frac{h}{t} \leq 1,08 \sqrt{\frac{E k_v}{f_y}} \quad ; \quad V_{Rd} = \frac{0,6 f_y h t}{\gamma}$$

$$\text{- Para } 1,08 \sqrt{\frac{E k_v}{f_y}} < \frac{h}{t} < 1,4 \sqrt{\frac{E k_v}{f_y}} \quad ; \quad V_{Rd} = \frac{0,65 t^2 \sqrt{k_v f_y E}}{\gamma}$$

$$\text{- Para } \frac{h}{t} \geq 1,4 \sqrt{\frac{E k_v}{f_y}} \quad ; \quad V_{Rd} = \frac{0,905 E k_v t^3 / h}{\gamma}$$

onde:

$t$  é a espessura da alma;  $h$  é a largura da alma (altura da parte plana da alma);

$k_v$  é o coeficiente de flambagem local por cisalhamento, dado por:

- para alma sem enrijecedores transversais ou para  $a/h > 3$  :

$$k_v = 5,00$$

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$$

# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)

**Esforço cortante:**

**Base Rotulada**

$$V_{sd} = \frac{W_d}{2} + \frac{2\phi W_d \cdot h(3n_s - 1)}{4L} \cdot \beta$$

$$\frac{FV_{cr} \cdot L}{4} = 6025 \rightarrow FV_{cr} = \frac{6025 \cdot 4}{230} = 104,78 \text{ kN} \quad \beta = \frac{FV_{cr}}{FV_{cr} - FV_{sd}} \quad \beta = \frac{104,78}{104,78 - 7,99} = 1,08$$

$$V_{sd} = \frac{0,0559 \cdot 230}{2} + 1,56 + \frac{2 \cdot \left(\frac{0,06}{230}\right) \cdot 7,99 \cdot 250(3,5 - 1)}{4 \cdot 230} \cdot 1,08 = 8 \text{ kN}$$

$$\frac{h}{t} = \frac{140}{3} = 46,7 \quad \lambda_p = 1,08 \sqrt{\frac{20000 \cdot 5}{25}} = 68,30 > 46,7 \text{ OK}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot 25 \cdot 2 \cdot 6,9 \cdot 0,3}{1,1} = 56,45 \text{ kN} > 8 \text{ kN OK (14,17\%)}$$

# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)

**Determinação da capacidade máxima da longarina (A partir do Mrd)**

$$\frac{w \cdot L^2}{8} = 2158 \rightarrow w = \frac{2158 \cdot 8}{230^2} = 0,326 \text{ kN/cm}$$

$$0,326 \cdot 230 \cdot 2 = 149,96 \text{ kN por nível}$$

**Determinação da capacidade máxima da longarina (A partir da flecha)**

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_b} \quad \frac{230}{200} = \frac{5 \cdot w \cdot 230^4}{384 \cdot 20000 \cdot 1369,86} \rightarrow w = 0,864 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} \cdot 230 \cdot 2 = 397 \text{ kN por nível}$$

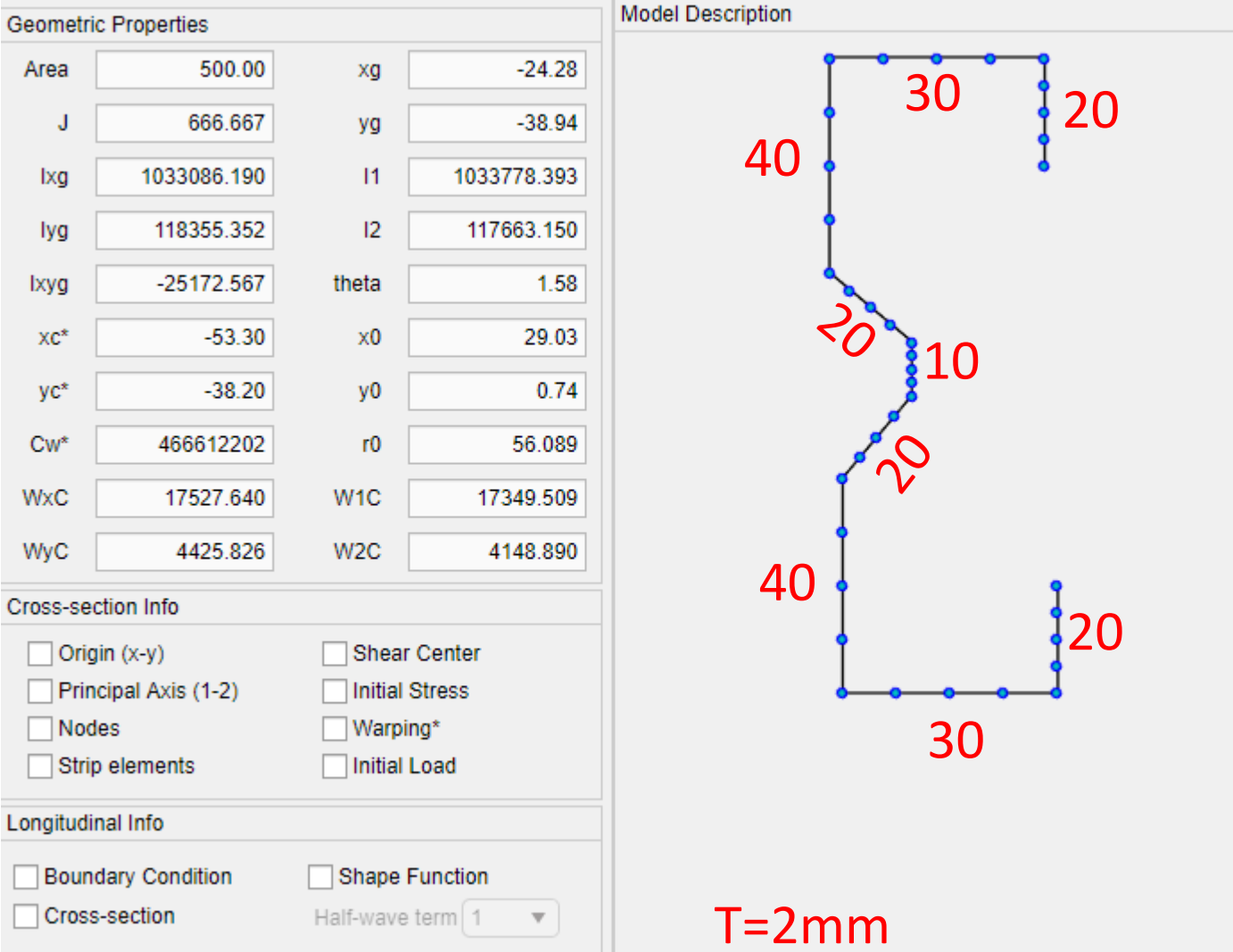
# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)

Simplificado

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_b}$$

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{5.0,0444 \cdot 230^4}{384 \cdot 20000 \cdot 103,30} = 0,78cm$$

Flecha limite: 230/200 = 1,15 cm (68% - OK!)

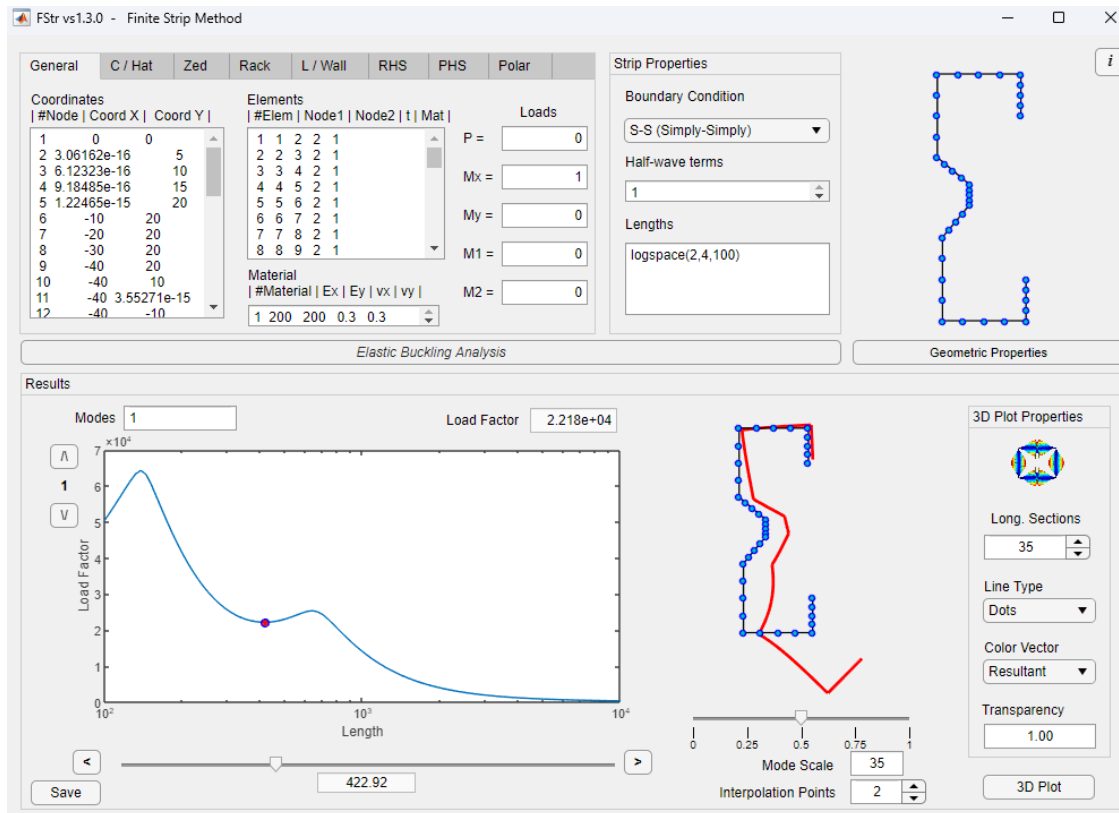


Model Description

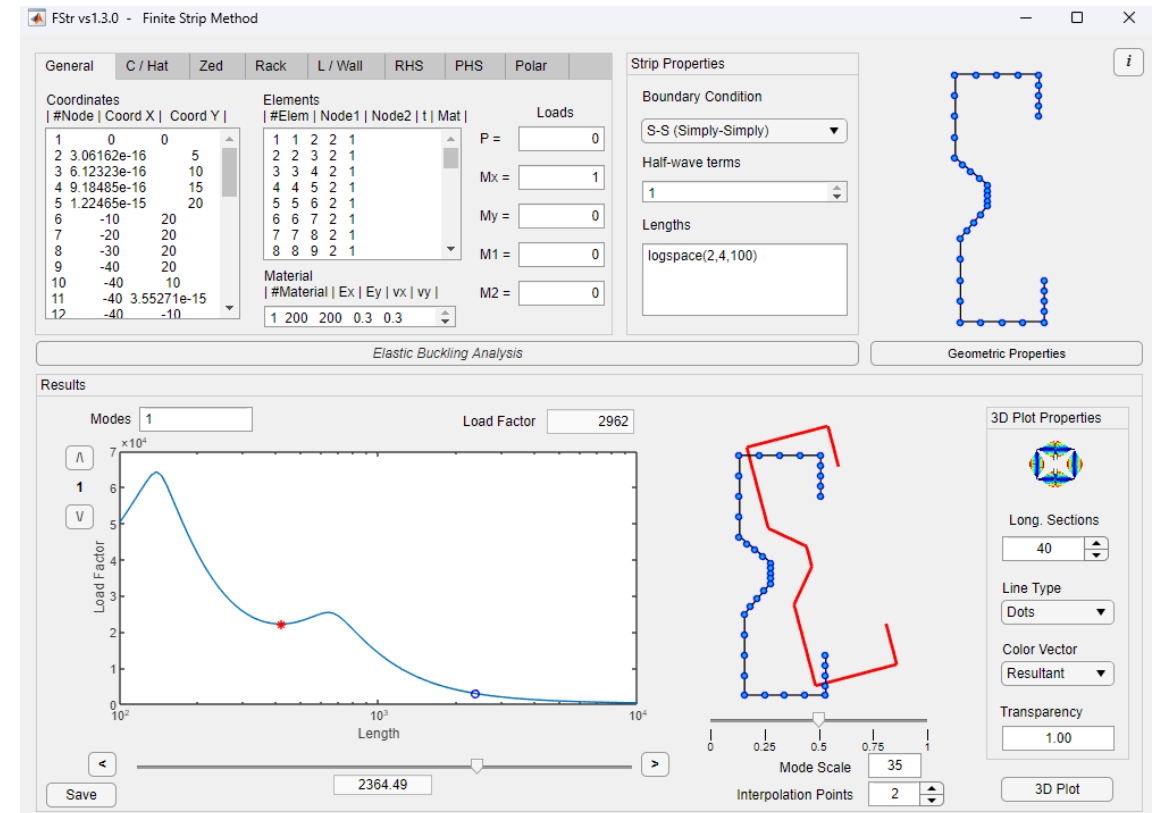
T=2mm



# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)



Momento Crítico para  
flambagem local e  
distorcional: 2218 kN.cm



Momento Crítico para  
flambagem lateral com  
torção: 296,2 kN.cm

# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)

## Flambagem Lateral com Torção

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W \cdot F_y}{M_e}} \quad \begin{array}{l} \text{Se } \lambda_0 \leq 0,60 \quad M_{Re} = W \cdot F_y \\ \text{Se } 0,6 < \lambda_0 < 1,336 \quad M_{Re} = 1,11 \cdot (1 - 0,278\lambda_0^2) W \cdot F_y \\ \lambda_0 \geq 1,336 \quad M_{Re} = \frac{W \cdot F_y}{\lambda_0^2} \end{array}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{17,52 \cdot 25}{296,2}} = 1,216$$

$$M_{Re} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot 1,216^2) 17,52 \cdot 25 = 286,32 \text{ kN.cm}$$

$$\text{Se } 0,6 < \lambda_0 < 1,336$$

## Flambagem Local

$$\lambda_l = \sqrt{\frac{M_{Re}}{M_l}}$$

$$\text{Se } \lambda_l \leq 0,776 \quad M_{Rl} = M_{Re}$$

$$\text{Se } \lambda_l > 0,776 \quad M_{Rl} = \left(1 - \frac{0,15}{\lambda_l^{0,8}}\right) \frac{M_{Re}}{\lambda_l^{0,8}}$$

$$\lambda_l = \sqrt{\frac{286,32}{2218}} = 0,36$$

$$\text{Se } \lambda_l \leq 0,776 \quad M_{Rl} = M_{Re} = 286,32 \text{ kN.cm}$$

# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)

## Flambagem Distorcional

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{W \cdot F_y}{M_{dist}}}$$

$$Se \lambda_{dist} \leq 0,673 \quad N_{cRl} = W \cdot F_y$$

$$Se \lambda_{dist} > 0,673 \quad M_{Rdist} = \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{dist}}\right) \frac{W f_y}{\lambda_{dist}}$$

## Flambagem Distorcional

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{17,52.25}{2218}} = 0,444$$

$$Se \lambda_{dist} \leq 0,673 \quad N_{cRl} = 17,52 \cdot 25 = 438 \text{ kN.cm}$$

$$M_{Rd} = \frac{286,32}{1,2} = 238,6 \text{ kN.cm}$$

$$\frac{459}{238,6} = 192\% \text{ **REPROVADO**}$$

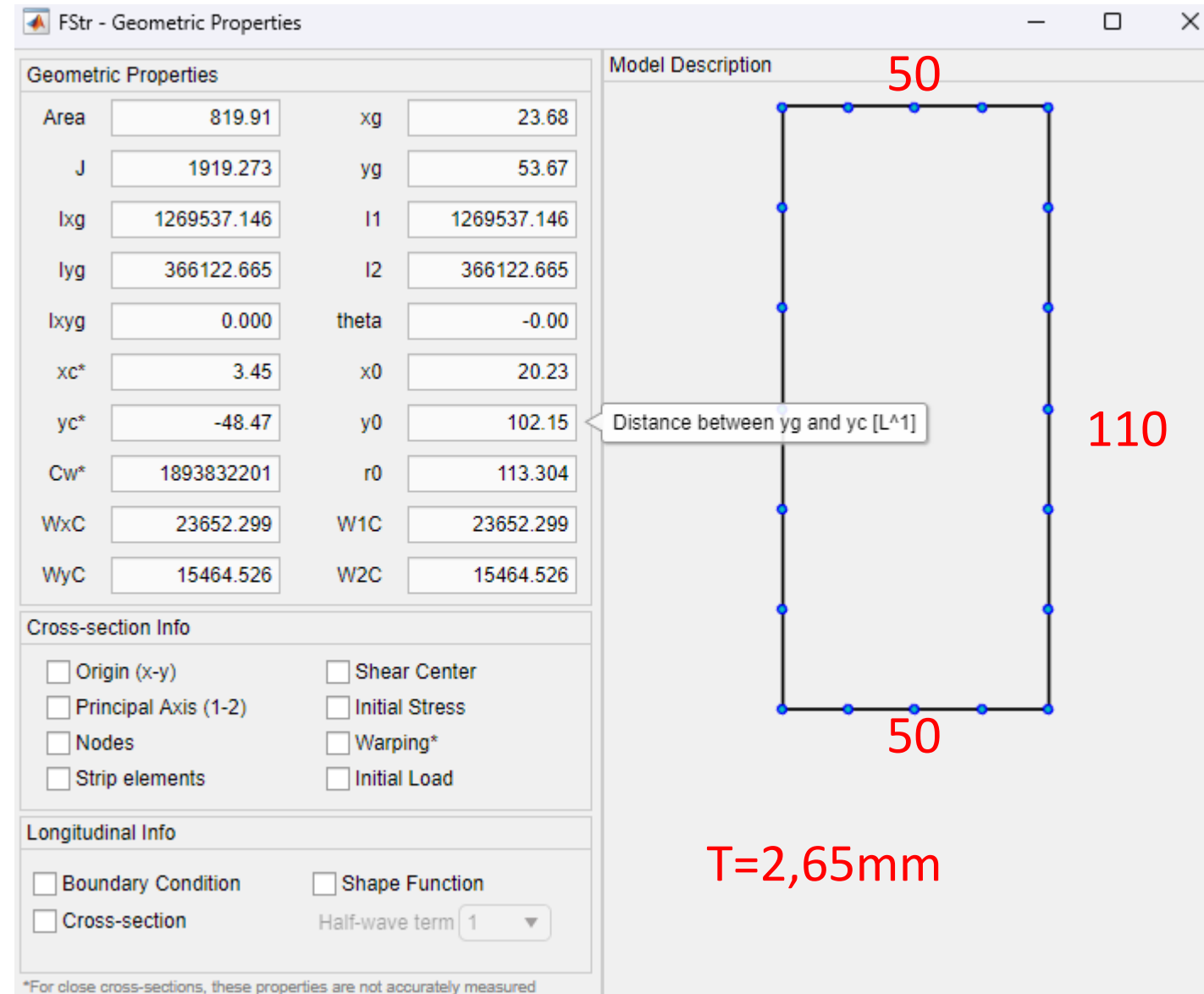
# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)

Simplificado

$$\Delta_{máx} = \frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_b}$$

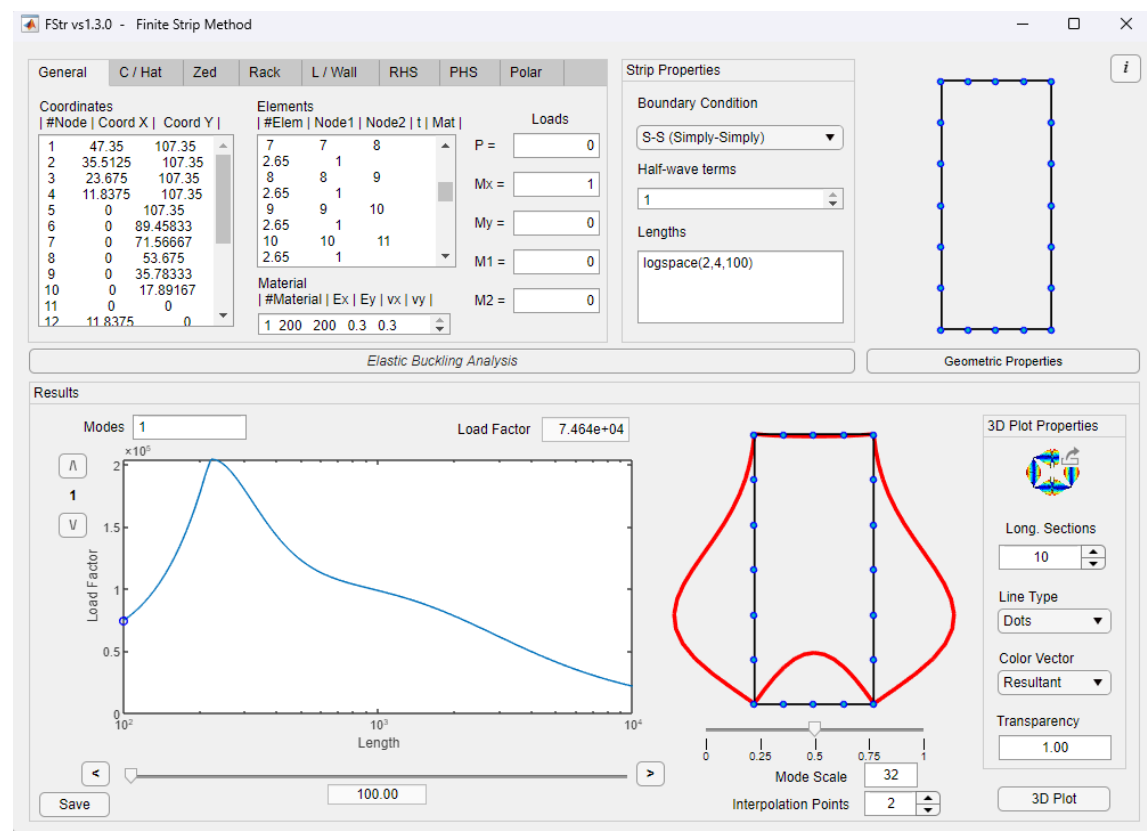
$$\Delta_{máx} = \frac{5.0,0444 \cdot 230^4}{384 \cdot 20000 \cdot 127} = 0,637 \text{ cm}$$

Flecha limite:  $230/200 = 1,15$  cm (55% - OK!)

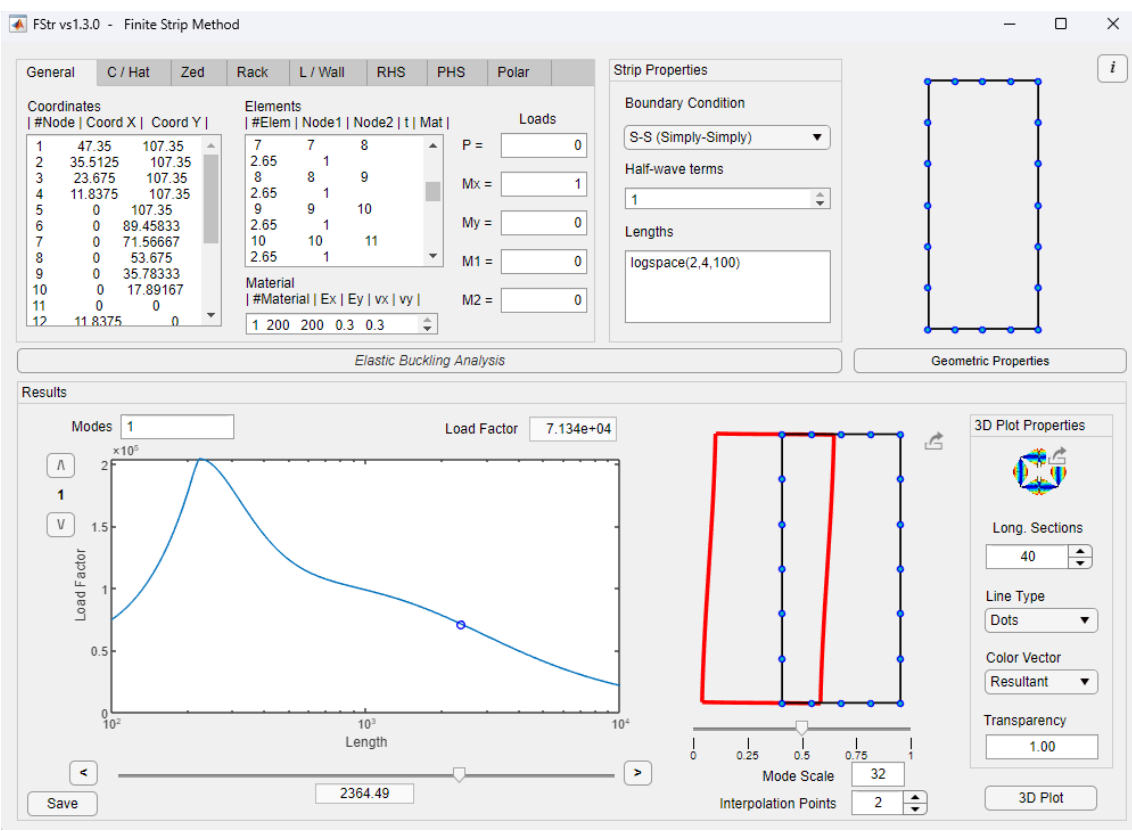




# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)



Momento Crítico para  
flambagem local: 7464 kN.cm



Momento Crítico para  
flambagem lateral com  
torção: 4134 kN.cm

# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)

## Flambagem Lateral com Torção

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W \cdot F_y}{M_e}} \quad \begin{array}{l} \text{Se } \lambda_0 \leq 0,60 \quad M_{Re} = W \cdot F_y \\ \text{Se } 0,6 < \lambda_0 < 1,336 \quad M_{Re} = 1,11 \cdot (1 - 0,278\lambda_0^2) W \cdot F_y \\ \lambda_0 \geq 1,336 \quad M_{Re} = \frac{W \cdot F_y}{\lambda_0^2} \end{array}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{23,65 \cdot 25}{4134}} = 0,39$$

$$M_{Re} = 23,65 \cdot 25 = 591,25 \text{ kN.cm}$$

$$\text{Se } 0,6 < \lambda_0 < 1,336$$

$$M_{Rd} = \frac{591,25}{1,2} = 492,70 \text{ kN.cm}$$

## Flambagem Local

$$\lambda_l = \sqrt{\frac{M_{Re}}{M_l}}$$

$$\text{Se } \lambda_l \leq 0,776 \quad M_{Rl} = M_{Re}$$

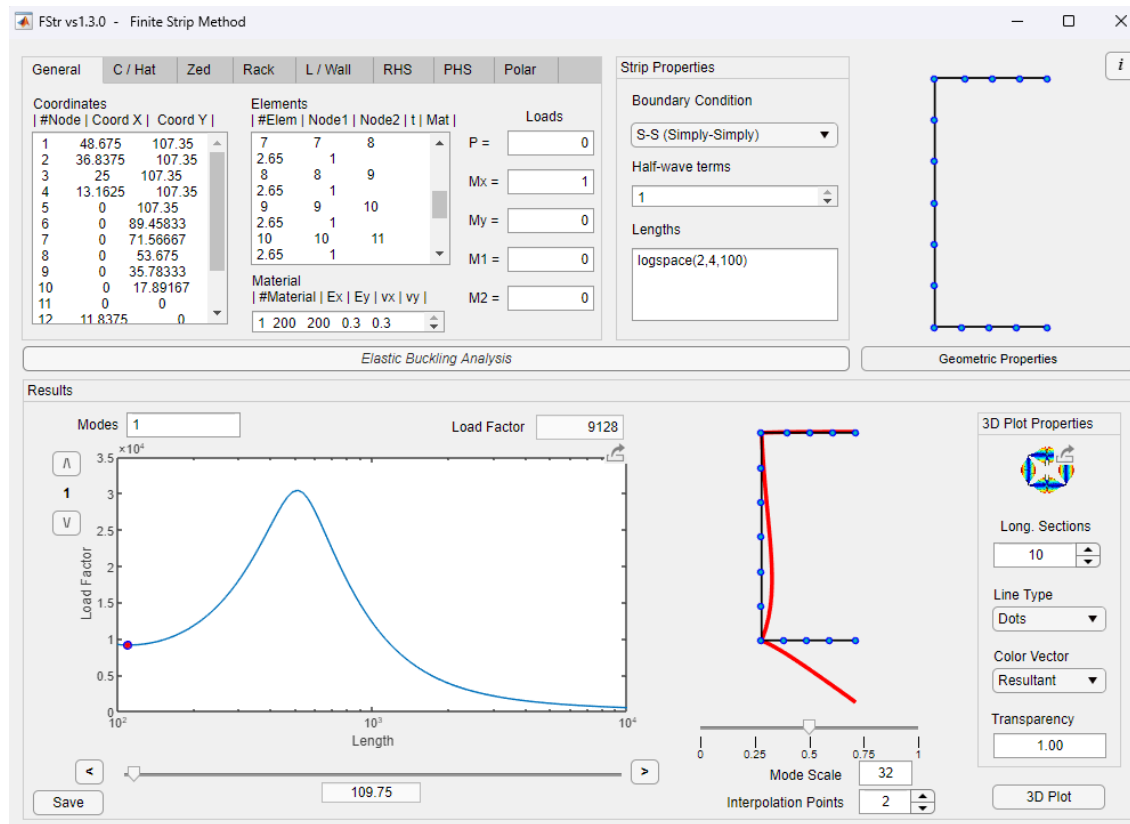
$$\text{Se } \lambda_l > 0,776 \quad M_{Rl} = \left(1 - \frac{0,15}{\lambda_l^{0,8}}\right) \frac{M_{Re}}{\lambda_l^{0,8}}$$

$$\lambda_l = \sqrt{\frac{591,25}{7464}} = 0,28$$

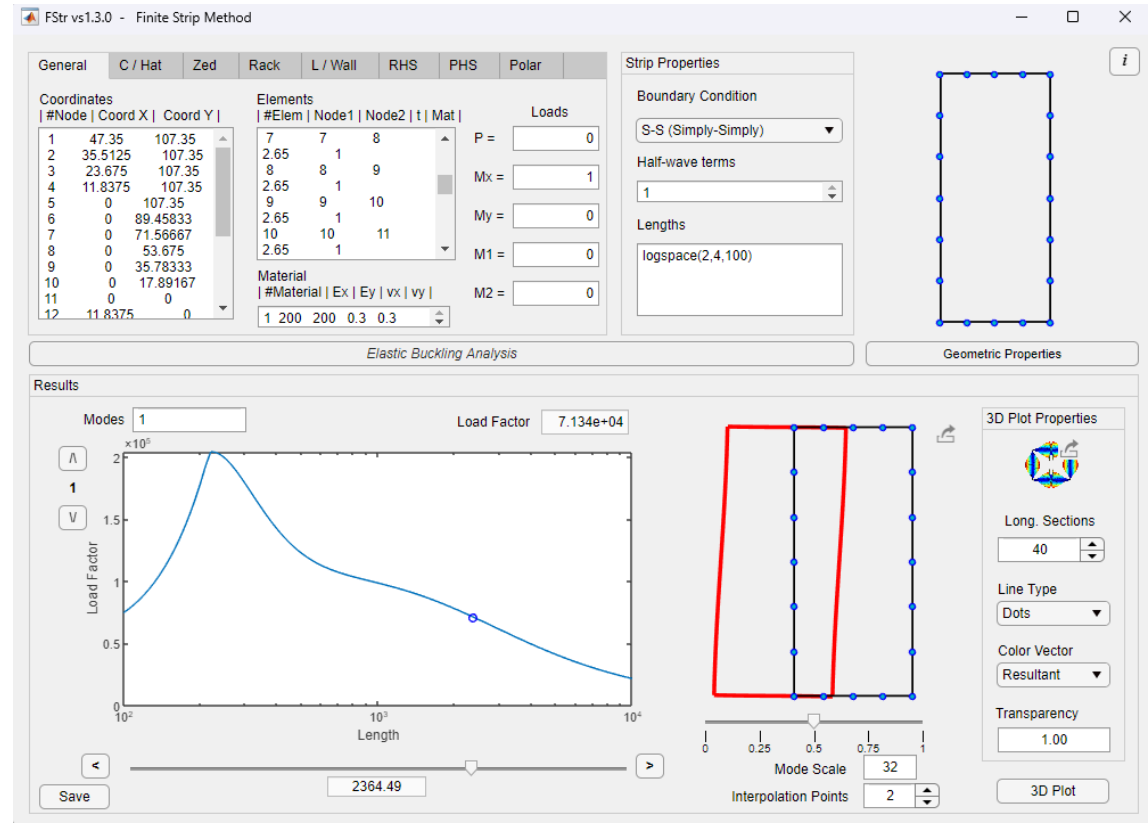
$$\text{Se } \lambda_l \leq 0,776 \quad M_{Rl} = M_{Re} = 591,25 \text{ kN.cm}$$

$$\frac{459}{492,70} = 93\%$$

# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)



Momento Crítico para flambagem local:  
 $912,8 / 2 = 456,4 \text{ kN.cm}$



Momento Crítico para flambagem lateral com torção: 4134 kN.cm

# Dimensionamento da Longarina (E.L.U)

## Flambagem Lateral com Torção

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W \cdot F_y}{M_e}} \quad \begin{array}{l} \text{Se } \lambda_0 \leq 0,60 \quad M_{Re} = W \cdot F_y \\ \text{Se } 0,6 < \lambda_0 < 1,336 \quad M_{Re} = 1,11 \cdot (1 - 0,278\lambda_0^2) W \cdot F_y \\ \lambda_0 \geq 1,336 \quad M_{Re} = \frac{W \cdot F_y}{\lambda_0^2} \end{array}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{23,65 \cdot 25}{4134}} = 0,39$$

$$M_{Re} = 23,65 \cdot 25 = 591,25 \text{ kN.cm}$$

$$\text{Se } 0,6 < \lambda_0 < 1,336$$

$$M_{Rd} = \frac{460,50}{1,2} = 383,74 \text{ kN.cm}$$

## Flambagem Local

$$\lambda_l = \sqrt{\frac{M_{Re}}{M_l}}$$

$$\text{Se } \lambda_l \leq 0,776 \quad M_{Rl} = M_{Re}$$

$$\lambda_l = \sqrt{\frac{591,25}{456,4}} = 1,14$$

$$\text{Se } \lambda_l > 0,776 \quad M_{Rl} = \left(1 - \frac{0,15}{\lambda_l^{0,8}}\right) \frac{M_{Re}}{\lambda_l^{0,8}}$$

$$M_{Rd} = \left(1 - \frac{0,15}{1,14^{0,8}}\right) \cdot \frac{591,25}{1,14^{0,8}} = 460,50 \text{ kN.cm}$$

$$\frac{459}{383,74} = 119\% \text{ REPROVADO}$$