

# MEMORIAL DE CÁLCULO (NBR 8800/2024)

Perfil: W 150 x 13,0

## 1 Cálculo de Tração

### 1.1 Cálculo da Força Resistente à Tração (Item 5.2.2)

Força resistente à tração (escoamento da seção bruta):

$$N_{trd} = \frac{A_g \cdot f_y}{1.10} = \frac{16.60 \cdot 34.50}{1.10} = 520.64 \text{ kN}$$

## 2 Cálculo da Força de Compressão

### 2.1 Força axial de flambagem (Item 5.3.5)

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_x^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 635}{300.00^2} = 1392.71 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_y^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 82}{300.00^2} = 179.85 \text{ kN}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \cdot \left( \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L_z^2} + G \cdot I_t \right) = \frac{1}{6.57^2} \cdot \left( \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 4181}{300.00^2} + 7700 \cdot 1.72 \right) = 519.79 \text{ kN}$$

Força normal de flambagem elástica (Ne): 179.85 kN

### 2.2 Índice de esbeltez reduzido (Item 5.3.3.2)

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{a_g \cdot f_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{16.60 \cdot 34.50}{179.85}} = 1.78$$

### 2.3 Fator de redução (Item 5.3.3)

$$\chi = \frac{0.877}{\lambda_0^2} = \frac{0.877}{1.78^2} = 0.28$$

### 2.4 Largura efetiva dos elementos (Item 5.3.4.2)

Esbeltez da alma:

$$\frac{b}{t} = \frac{11.80}{0.43} = 27.44$$

Esbeltez limite da alma:

$$\frac{1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}}{\sqrt{\chi}} = \frac{1.49 \cdot \sqrt{\frac{20000}{34.50}}}{\sqrt{0.28}} = 68.36$$

Largura efetiva da alma:

$$b_{ef} = 11.80 \text{ cm}$$

Esbeltez da mesa:

$$\frac{b}{t} = \frac{5.00}{0.49} = 10.20$$

Esbeltez limite da mesa:

$$\frac{0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}}{\sqrt{\chi}} = \frac{0.56 \cdot \sqrt{\frac{20000}{34.50}}}{\sqrt{0.28}} = 25.69$$

Largura efetiva da mesa:

$$b_{ef} = 5.00 \text{ cm}$$

Área efetiva:

$$A_{ef} = 16.60 \text{ cm}^2$$

Força axial resistente de cálculo:

$$N_{c,rd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1.10} = \frac{0.28 \cdot 16.60 \cdot 34.50}{1.10} = 143.386 \text{ kN}$$

### 3 Cálculo da Força Cortante

#### 3.1 Cálculo da Força Resistente a Cortante em X (Item 5.4.3.1)

Área efetiva de cisalhamento:

$$A_w = d' \cdot t_w = (11.80 \cdot 0.43) = 5.07 \text{ cm}^2$$

Força cortante de plastificação:

$$V_{pl} = 0.6 \cdot A_w \cdot f_y = 0.6 \cdot 5.07 \cdot 34.50 = 105.03 \text{ kN}$$

Esbeltez do perfil:

$$\lambda = \frac{d'}{t_w} = \frac{11.80}{0.43} = 27.44$$

Lambda P:

$$\lambda_p = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot 20000}{34.50}} = 59.22$$

Lambda R:

$$\lambda_r = 1.37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 1.37 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot 20000}{34.50}} = 73.76$$

Força cortante resistente:

$$V_{rd} = \frac{V_{pl}}{1.10} = \frac{105.03}{1.10} = 95.48 \text{ kN}$$

#### 3.2 Cálculo da Força Resistente a Cortante em Y (Item 5.4.3.5)

Área efetiva de cisalhamento:

$$A_w = 2 \cdot b_f \cdot t_f = 2 \cdot 10.00 \cdot 0.49 = 9.80 \text{ cm}^2$$

Força cortante de plastificação:

$$V_{pl} = 0.6 \cdot A_w \cdot f_y = 0.6 \cdot 9.80 \cdot 34.50 = 202.86 \text{ kN}$$

Valor de 'h':

$$h = \frac{b_f}{2} = \frac{10.00}{2} = 5.00 \text{ cm}$$

Esbeltez do perfil:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{5.00}{0.43} = 11.63$$

Lambda P:

$$\lambda_p = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{1.2 \cdot 20000}{34.50}} = 29.01$$

Lambda R:

$$\lambda_r = 1.37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 1.37 \cdot \sqrt{\frac{1.2 \cdot 20000}{34.50}} = 36.13$$

Força cortante resistente:

$$V_{rd} = \frac{V_{pl}}{1.10} = \frac{202.86}{1.10} = 184.42 \text{ kN}$$

## 4 Cálculo do Momento Fletor

### 4.1 Cálculo do momento fletor resistente em X (Item D.2.1)

Momento fletor de plastificação:

$$M_{pl} = z_x \cdot f_y = 96.40 \cdot 34.50 = 3325.80 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Flambagem local da alma - FLA:

$$\lambda = \frac{d'}{t_w} = \frac{11.80}{0.43} = 27.44$$

Lambda P:

$$\lambda_p = 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3.76 \cdot \sqrt{\frac{20000}{34.50}} = 90.53$$

Lambda R:

$$\lambda_r = 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5.70 \cdot \sqrt{\frac{20000}{34.50}} = 137.24$$

Momento fletor resistente:

$$M_{rd} = \frac{M_{pl}}{1.10} = \frac{3325.80}{1.10} = 3023.45 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Flambagem local da mesa - FLM:

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \cdot t_f} = \frac{10.00}{0.49} = 10.20$$

Lambda P:

$$\lambda_p = 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0.38 \cdot \sqrt{\frac{20000}{34.50}} = 9.15$$

Lambda R:

$$\lambda_r = 0.83 \cdot \sqrt{\frac{E}{0.7 \cdot f_y}} = 5.70 \cdot \sqrt{\frac{20000}{0.7 \cdot 34.50}} = 23.89$$

Momento fletor resistente:

$$M_{rd} = \frac{1}{1.10} \cdot \left( M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) = \frac{1}{1.10} \cdot \left( 3325.80 - (3325.80 - 2072.07) \cdot \frac{10.20 - 9.15}{23.89 - 9.15} \right) = 2941.88 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Flambagem lateral com torção - FLT:

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = \frac{300.00}{2.22} = 135.14$$

Lambda P:

$$\lambda_p = 1.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1.76 \cdot \sqrt{\frac{20000}{34.50}} = 42.38$$

Lambda R:

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r) \cdot w_x}{E \cdot i_t} = \frac{(34.50 - 0.3 \cdot 34.50) \cdot 85.80}{20000.00 \cdot 1.72} = 0.06$$

$$\lambda_r = \frac{1.38 \cdot C_b \sqrt{I_y \cdot I_t}}{r_y \cdot I_t \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{C_b^2 \cdot I_y}}} = \frac{1.38 \cdot 1.00 \sqrt{82.00 \cdot 1.72}}{2.22 \cdot 1.72 \cdot 0.06} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot 4181 \cdot 0.06^2}{1.00^2 \cdot 82.00}}} = 132.32$$

Momento fletor resistente:

$$M_{cr} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \cdot \left( 1 + 0.0039 \cdot \frac{I_t \cdot L_b^2}{C_w} \right)} = \frac{1.00 \cdot \pi^2 \cdot 20000.00 \cdot 82.00}{300.00^2} \cdot \sqrt{\frac{4181}{82.00} \cdot \left( 1 + 0.0039 \cdot \frac{1.72 \cdot 300.00^2}{4181} \right)} = 1248.91$$

## 4.2 Cálculo do momento fletor resistente em Y (Item D.2.1)

Flambagem local da alma - FLA:

$$\lambda = \frac{d'}{t_w} = \frac{11.80}{0.43} = 27.44$$

Lambda P:

$$\lambda_p = 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1.12 \cdot \sqrt{\frac{20000}{34.50}} = 26.97$$

Lambda R:

$$\lambda_r = 1.40 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1.40 \cdot \sqrt{\frac{20000}{34.50}} = 33.71$$

Momento fletor resistente:

$$M_{rd} = \frac{1}{1.10} \cdot \left( M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) = \frac{1}{1.10} \cdot \left( 879.75 - (879.75 - 565.80) \cdot \frac{27.44 - 26.97}{33.71 - 26.97} \right) = 779.65 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Flambagem local da mesa - FLM:

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \cdot t_f} = \frac{10.00}{0.49} = 10.20$$

Lambda P:

$$\lambda_p = 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0.38 \cdot \sqrt{\frac{20000}{34.50}} = 9.15$$

Lambda R:

$$\lambda_r = 0.83 \cdot \sqrt{\frac{E}{0.7 \cdot f_y}} = 0.83 \cdot \sqrt{\frac{20000}{0.7 \cdot 34.50}} = 23.89$$

Momento fletor resistente:

$$M_{rd} = \frac{1}{1.10} \cdot \left( M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) = \frac{1}{1.10} \cdot \left( 879.75 - (879.75 - 396.06) \cdot \frac{10.20 - 9.15}{23.89 - 9.15} \right) = 768.30 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$