

2024



SIAOTECH

Relatório Conformidade Mecânica

FOLLE SERVIÇOS DE USINAGEM LTDA

Caxias do Sul/RS

Ponte Rolante 2 TON – 12 metros

	REV. 00	REV. 01	REV. 02	REV. 03	REV. 04	REV. 05
DATA	04/07/2024					
ELABORADOR	Luís Eduardo Wiechoreck					

SUMÁRIO

IDENTIFICAÇÃO DA CONTRATANTE.....	3
IDENTIFICAÇÃO DO LOCAL DO SERVIÇO	3
RESPONSÁVEL TÉCNICO	3
OBJETIVO	4
ESCOPO	4
REFERÊNCIA NORMATIVA.....	4
DIMENSIONAMENTO.....	5
Verificação da Viga Principal.....	6
Verificação da Viga da Cabeceira	18
Verificação da Viga de Rolamento	30
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	43

IDENTIFICAÇÃO DA CONTRATANTE**FOLLE SERVIÇOS DE USINAGEM LTDA****CNPJ:** 21.989.599/0001-08**IDENTIFICAÇÃO DO LOCAL DO SERVIÇO****FOLLE SERVIÇOS DE USINAGEM LTDA****CNPJ:** 21.989.599/0001-08**ENDEREÇO DA OBRA:**

Rua Leonel Mosele, 2484 Fundos Anexo A – Pio X

Cidade: Caxias do Sul - RS

CEP 95034-110

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Luís Eduardo Wiechoreck

*Engenheiro Mecânico**Engenheiro de Segurança do Trabalho*

CREA RS2211066380

SISTEMA: [PR 24 07 046 - SIAOTECH_FOLLE - Ponte Rolante 2 TON – 12 m](#)**ART Nr.:** [13252216](#)

OBJETIVO

Este relatório foi desenvolvido com o objetivo de evidenciar a conformidade mecânica em uma ponte rolante com talha fabricado e instalado na empresa Folle Serviços de Usinagem em Caxias do Sul.

ESCOPO

Fazem parte deste relatório as seguintes talhas:

- Ponte rolante com capacidade para 2 TON.
- Talha Kito Capacidade 2 TON – ER2-E
- Caminho para ponte rolante 2 TON

REFERÊNCIA NORMATIVA

NBR 8400:2019 - Equipamentos de elevação e movimentação de carga — Regras para projeto

NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios

NBR 14762:2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio

ASTM A36 - Standard specification for carbon structural steel

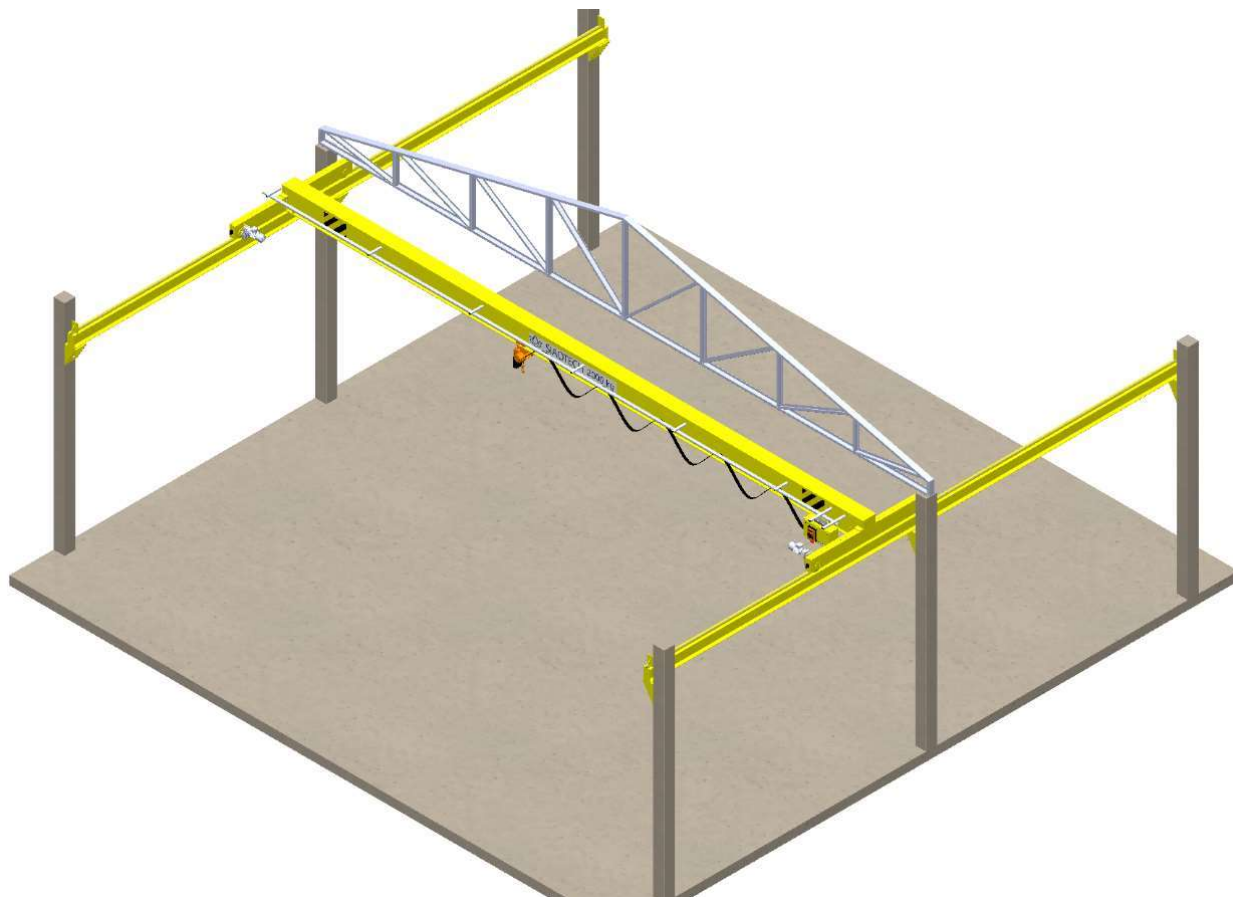
ASTM A572 - Standard specification for high-strength low-alloy columbium-vanadium structural steel

ISO 2553 - Welding and allied processes – Symbolic representation on drawings – Welded joints

ISO 22986 - Cranes – Stiffness – Bridge and gantry cranes

DIMENSIONAMENTO

Desenho esquemático de elementos estruturais:



Classificação do equipamento:

Grupo do equipamento: A4

Classe de elevação: HC3

Valor de carga principal considerando coeficiente dinâmico e de amplificação = 28,5 KN

Valores de carga horizontais em função de aceleração ao longo da viga e rotação da mesma (estimado em considerando velocidade baixa/moderada menor que 0,25 m/s e aceleração em $0,078 \text{ m/s}^2$) = 2,85 KN

Tensão admissível de projeto = 166,7 Mpa (escolhido menor valor entre tensão admissível com relação ao limite elástico e tensão admissível de projeto em relação a fadiga – conforme NBR 8400)

Para verificação, as cargas serão inseridas ao longo do trilho e a condição mais desfavorável para cada elemento será considerada.

Verificação da Viga Principal

Barra N1/N2

Perfil: 418.3X300X9.52X6.35 mm (Espaç. entre enrijecedores: 1000 mm. Espessura: 6 mm)
Material: Aço (A-36 (Tensão de Projeto - 166 MPa))

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N1	N2	12.000	108.11	30609.41	15291.16	30416.01

Notas:

⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado

⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	1.00	1.00
L _K	12.000	12.000	12.000	12.000
C _b	-		1.000	

Notação:

β: Coeficiente de flambagem

L_K: Comprimento de flambagem (m)

C_b: Fator de modificação para o momento crítico

Barra	VERIFICAÇÕES											Estado
	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	NM _x M _y	T	NMVT	σ τ f	
N1/N2	x: 0.022 m λ ≤ 200.0 Passa	x: 0 m η = 0.2	x: 6.001 m η = 0.1	x: 6 m η = 41.5	x: 6 m η = 6.1	x: 0 m η = 0.6	x: 0 m η = 7.6	x: 6.001 m η = 47.7	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	x: 0 m η = 10.0	PASSA η = 47.7

Notação:

λ: Limitação do índice de esbeltez

 N_t: Resistência à tração

 N_c: Resistência à compressão

 M_x: Resistência à flexão eixo X

 M_y: Resistência à flexão eixo Y

 V_x: Resistência ao esforço cortante X

 V_y: Resistência ao esforço cortante Y

 NM_xM_y: Resistência ao esforço axial e flexão combinados

T: Resistência à torção

NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante

σ τ f: Resistência a interações de esforços e momento de torção

x: Distância à origem da barra

η: Coeficiente de aproveitamento (%)

N.A.: Não aplicável

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):

⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

⁽²⁾ Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.

Resistência à tração

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações PP+AY2.

N_{t,Sd}: Força axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

N_{t,Sd}: 2.85 kN

A força axial de tração resistente de cálculo, $N_{t,Rd}$, deve ser determinada pela expressão:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{1631.48} \text{ kN}$$

Onde:

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{108.11} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Resistência à compressão

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 6.001 m do nó N1, para a combinação de ações PP+AY1.

$N_{c,Sd}$: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{c,Sd} : \underline{1.43} \text{ kN}$$

A força axial de compressão resistente de cálculo, $N_{c,Rd}$, deve ser determinada pela expressão:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1079.23} \text{ kN}$$

Onde:

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão.

$$\chi : \underline{0.719}$$

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{0.920}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{108.11} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Fator de redução χ :

$$\lambda_0 \leq 1.5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$$

$$\chi : \underline{0.719}$$

Onde:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido.

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}}$$

$$\lambda_0 : \underline{0.887}$$

Sendo:

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{0.920}$$

A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

A_g : 108.11 cm²

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.00 MPa

N_e: Força axial de flambagem elástica.

N_e : 2096.08 kN

Força axial de flambagem elástica:

A força axial de flambagem elástica, N_e, de uma barra com seção transversal duplamente simétrica ou simétrica em relação a um ponto, é dada pelo menor valor entre os obtidos por (a), (b) e (c):

N_e : 2096.08 kN

- (a) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia X da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2}$$

N_{ex} : 4195.87 kN

Onde:

K_x·L_x: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

K_x·L_x : 12.000 m

I_x: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X.

I_x : 30609.41 cm⁴

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

- (b) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia Y da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2}$$

N_{ey} : 2096.08 kN

Onde:

K_y·L_y: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

K_y·L_y : 12.000 m

I_y: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y.

I_y : 15291.16 cm⁴

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

- (c) Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal Z:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right]$$

N_{ez} : 551623.02 kN

Onde:

K_z·L_z: Comprimento de flambagem por torção.

K_z·L_z : 12.000 m

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

C_w: Constante de empenamento da seção transversal.

C_w : 0.00 cm⁶

G: Módulo de elasticidade transversal do aço.

G : 77000 MPa

J: Constante de torção da seção transversal.

J : 30416.01 cm⁴

r₀: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento.

$$r_0 = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2)}$$

r₀ : 20.61 cm

Onde:

r_x, r_y: Raios de giração em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

r_x : 16.83 cm

r_y : 11.89 cm

X₀, Y₀: Coordenadas do centro de cisalhamento na

X₀ : 0.00 mm

direção dos eixos principais X, Y, respectivamente.

Y₀ : 0.00 mm

Flambagem local de barras axialmente comprimidas:

As barras submetidas a força axial de compressão, nas quais os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (b/t) maiores que os valores limite dados na Tabela F.1, têm o fator de redução total Q dado por:

$$Q = Q_a$$

Q : 0.920

Onde:

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g}$$

Q_a : 0.920

Sendo:

A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

A_g : 108.11 cm²

A_{ef}: Área efetiva da seção transversal da barra.

A_{ef} : 99.44 cm²

$$A_{ef} = A_g - \sum (b - b_{ef}) \cdot t$$

Mesa: Elemento do Grupo 2 da Tabela F.1.

$$(b/t) \leq 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

29.58 ≤ **51.72**

Sendo:

(b/t): Relação entre largura e espessura.

(b/t) : 29.58

Onde:

b: Largura.

b : 281.00 mm

t: Espessura.

t : 9.50 mm

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.00 MPa

Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela F.1.

$$(b/t) > 1.40 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

63.36 > **51.72**

$$b_{ef} = 1.92 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \cdot \left[1 - \frac{c_a}{b/t} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \right] \leq b$$

b_{ef} : 337.73 mm

Sendo:

(b/t): Relação entre largura e espessura.

(b/t) : 63.36

Onde:

b: Largura.

b : 405.50 mm

t: Espessura.

t : 6.40 mm

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.00 MPa

C_a: Coeficiente para mesas ou almas de seções tubulares retangulares.

C_a : 0.38

Resistência à flexão eixo X

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.415} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 6.000 m do nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+AZ1.

M_{Sd}⁺: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{M_{Sd}^+} : \underline{104.98} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Já que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta

$$\mathbf{62.39 \leq 197.85}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda : \underline{62.39}$$

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

$$\mathbf{h} : \underline{399.30} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$\mathbf{t_w} : \underline{6.40} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_r : \underline{197.85}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$\mathbf{E} : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.00} \text{ MPa}$$

O momento fletor resistente de cálculo **M_{Rd}** de vigas de alma não-esbelta deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{252.82} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo:

$$\mathbf{M_{Rd}} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{331.29} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_x: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$\mathbf{W_x} : \underline{1463.51} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\mathbf{\gamma_{a1}} : \underline{1.10}$$

(b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\mathbf{100.90 \leq 169.54}$$

$$\mathbf{M_{Rd}} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{252.82} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y}$$

$$\lambda : \underline{100.90}$$

Sendo:

L_{b,sup}: Distância entre pontos travados à flambagem lateral.

$$\mathbf{L_{b,sup}} : \underline{12.000} \text{ m}$$

r_y: Raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão.

$$\mathbf{r_y} : \underline{11.89} \text{ cm}$$

$$\lambda_p = \frac{0.13 \cdot E}{M_{pl}} \cdot \sqrt{J \cdot A}$$

$$\lambda_p : \underline{169.54}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$\mathbf{E} : \underline{200000} \text{ MPa}$$

J: Constante de torção da seção transversal.

$$\mathbf{J} : \underline{30416.01} \text{ cm}^4$$

A: Área bruta da seção transversal da barra.

$$\mathbf{A} : \underline{108.11} \text{ cm}^2$$

$$\mathbf{M_{pl}} = Z \cdot f_y$$

$$\mathbf{M_{pl}} : \underline{278.10} \text{ kN}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

$$\mathbf{Z_x} : \underline{1675.29} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

(c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\mathbf{30.23} \leq \mathbf{38.88}$$

$$\mathbf{M_{Rd}} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{252.82} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

$$\lambda : \underline{30.23}$$

Sendo:

b_f: Largura da parte plana das mesas.

$$\mathbf{b_f} : \underline{287.20} \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$\mathbf{t_f} : \underline{9.50} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{38.88}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$\mathbf{E} : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.00} \text{ MPa}$$

$$\mathbf{M_{pl}} = Z \cdot f_y$$

$$\mathbf{M_{pl}} : \underline{278.10} \text{ kN}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

$$\mathbf{Z_x} : \underline{1675.29} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

(d) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$62.39 \leq 130.51$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : 252.82 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda : 62.39$$

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

$$h : 399.30 \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : 6.40 \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : 130.51$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 166.00 \text{ MPa}$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : 278.10 \text{ kN}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : 1675.29 \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 166.00 \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

Resistência à flexão eixo Y

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.061 \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 6.000 m do nó N1, para a combinação de ações PP+AX1.

M_{Sd}⁺: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{Sd}^+ : 7.74 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Já que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta

$$30.23 \leq 197.85$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda : 30.23$$

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

$$h : 287.20 \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : 9.50 \text{ mm}$$

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

$$\lambda_r : \underline{197.85}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$\mathbf{E} : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.00} \text{ MPa}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} de vigas de alma não-esbelta deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{126.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo:

$$\mathbf{M_{Rd}} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{230.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_y: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$\mathbf{W_y} : \underline{1019.41} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\mathbf{\gamma_{a1}} : \underline{1.10}$$

(b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT

Não é necessária, já que o eixo de flexão não é o de maior inércia.

(c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM

$$\lambda > \lambda_r$$

$$\mathbf{62.39 > 48.59}$$

$$\mathbf{M_{Rd}} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{126.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

$$\lambda : \underline{62.39}$$

Sendo:

b_f: Largura da parte plana das mesas.

$$\mathbf{b_f} : \underline{399.30} \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$\mathbf{t_f} : \underline{6.40} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_r : \underline{48.59}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$\mathbf{E} : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.00} \text{ MPa}$$

$$\mathbf{M_{cr}} = \frac{W_{ef}^2}{W} \cdot f_y$$

$$\mathbf{M_{cr}} : \underline{139.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Sendo:

W_{ef,y}: Módulo de resistência mínimo elástico, relativo ao eixo de flexão, para uma seção que tem uma mesa comprimida de largura igual a b_{ef} dada por F.3.2, com σ igual a f_y .

$$\mathbf{W_{ef,y}} : \underline{924.27} \text{ cm}^3$$

W_y: Módulo de resistência elástico mínimo da seção

$$\mathbf{W_y} : \underline{1019.41} \text{ cm}^3$$

transversal em relação ao eixo de flexão.

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.00 MPa

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

M_{pl} : 195.51 kN

Onde:

Z_y : Módulo de resistência plástico.

Z_y : 1177.80 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.00 MPa

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

(d) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA

$$\lambda \leq \lambda_p$$

30.23 ≤ 130.51

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

M_{Rd} : 177.74 kN·m

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

λ : 30.23

Sendo:

h : Altura da parte plana das almas.

h : 287.20 mm

t_w : Espessura da alma.

t_w : 9.50 mm

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

λ_p : 130.51

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.00 MPa

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

M_{pl} : 195.51 kN

Onde:

Z_y : Módulo de resistência plástico.

Z_y : 1177.80 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.00 MPa

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

Resistência ao esforço cortante X

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

η : 0.006 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações PP+AX2.

V_{Sd} : Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

V_{Sd} : 2.85 kN

A força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é determinada pela expressão:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$30.23 \leq 85.38$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : 494.09 \text{ kN}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f}{t_f}$$

$$\lambda : 30.23$$

Sendo:

b_f: Largura da parte plana das mesas.

$$b_f : 287.20 \text{ mm}$$

t_f: Espessura das mesas.

$$t_f : 9.50 \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$\lambda_p : 85.38$$

Sendo:

k_v: Coeficiente de flambagem.

$$k_v : 5.00$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 166.00 \text{ MPa}$$

$$V_{pl} = 0.60 \cdot A_w \cdot f_y$$

$$V_{pl} : 543.50 \text{ kN}$$

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = 2 \cdot b_f \cdot t_f$$

$$A_w : 54.57 \text{ cm}^2$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

Resistência ao esforço cortante Y

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.076 \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+AZ2.

V_{Sd}: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{Sd} : 34.94 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo, **V_{Rd}**, é determinada pela expressão:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$62.39 \leq 85.38$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : 462.78 \text{ kN}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda : 62.39$$

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

h : 399.30 mm

t_w: Espessura da alma.

t_w : 6.40 mm

$$\lambda_p = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$\lambda_p : 85.38$$

Sendo:

k_v: Coeficiente de flambagem.

k_v : 5.00

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.00 MPa

$$V_{pl} = 0.60 \cdot A_w \cdot f_y$$

$$V_{pl} : 509.06 \text{ kN}$$

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = 2 \cdot h \cdot t_w$$

A_w : 51.11 cm²

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

Resistência ao esforço axial e flexão combinados

Deve satisfazer:

$$\eta \leq 1$$

$$\eta : 0.477 \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 6.001 m do nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+AZ1+AX1+AY1.

N_{c,Sd}: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

N_{c,Sd} : 1.43 kN

M_{x,Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

M_{x,Sd} : 104.97 kN·m

M_{y,Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

M_{y,Sd} : 7.74 kN·m

$$N_{Sd} / N_{Rd} < 0.2$$

$$0.001 < 0.200$$

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{2 \cdot N_{c,Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1$$

$$\eta : 0.477$$

Onde:

N_{c,Rd}: Força axial resistente de cálculo de compressão

N_{c,Rd} : 1079.23 kN

M_{x,Rd}, M_{y,Rd}: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal

M_{x,Rd} : 252.82 kN·m

M_{y,Rd} : 126.46 kN·m

Resistência a interações de esforços e momento de torção

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{|\tau_{Sd}|}{\tau_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.100} \quad \checkmark$$

O coeficiente de aproveitamento desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+AZ2+AX2 no ponto da seção transversal de coordenadas X = 146.80 mm, Y = 0.00 mm em relação ao centro de gravidade.

As tensões tangenciais τ_{Sd} são dadas por:

$$\tau_{Sd} = \tau_{V_{x,Sd}} + \tau_{V_{y,Sd}} + \tau_{T_{Sd}}$$

$$\tau_{Sd} : \underline{-7.47} \text{ MPa}$$

Onde:

$\tau_{V_{x,Sd}}$: Tensão tangencial devida ao esforço cortante na direção do eixo X.

$$\tau_{V_{x,Sd}} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

Sendo:

$V_{x,Sd}$: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{x,Sd} : \underline{2.85} \text{ kN}$$

$\tau_{V_{y,Sd}}$: Tensão tangencial devida ao esforço cortante na direção do eixo Y.

$$\tau_{V_{y,Sd}} : \underline{-7.47} \text{ MPa}$$

Sendo:

$V_{y,Sd}$: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{y,Sd} : \underline{34.94} \text{ kN}$$

$\tau_{T_{Sd}}$: Tensão tangencial devida ao momento torsor.

$$\tau_{T_{Sd}} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

Sendo:

T_{Sd} : Momento de torção solicitante de cálculo, desfavorável.

$$T_{Sd} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

A tensão resistente de cálculo, τ_{Rd} , é dada pelo menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$\tau_{Rd} : \underline{75.01} \text{ MPa}$$

(a) Tensão resistente de cálculo para os estados-limites de escoamento sob efeito de tensão de cisalhamento:

$$\tau_{Rd} = \frac{0.60 \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\tau_{Rd} : \underline{90.55} \text{ MPa}$$

Onde:

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

(b) Tensão resistente de cálculo para os estados-limites de instabilidade ou flambagem sob efeito de tensão cisalhamento:

$$\tau_{Rd} = \frac{0.60 \cdot \chi \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\tau_{Rd} : \underline{75.01} \text{ MPa}$$

Onde:

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão

$$\lambda_0 \leq 1.5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$$

$$\chi : \underline{0.828}$$

Sendo:

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{0.60 \cdot f_y}{\tau_e}}$$

$$\lambda_o : 0.671$$

$$\tau_e = k_v \cdot \sigma_E$$

$$\tau_e : 221.52 \text{ MPa}$$

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{h}\right)^2$$

$$\sigma_E : 44.30 \text{ MPa}$$

Onde:

k_v: Coeficiente de flambagem.

$$k_v : 5.00$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

ν: Coeficiente de Poisson.

$$\nu : 0.30$$

t: Espessura.

$$t : 6.40 \text{ mm}$$

h: Largura.

$$h : 408.80 \text{ mm}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 166.00 \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

Verificação da Viga da Cabeceira

Perfil: U 254.0 x 6.1, Caixa dupla soldada (Cordão contínuo)

Material: Aço (A-36 (Tensão de Projeto - 166,7MPa))

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N1	N2	2.350	58.00	5600.00	1511.54	3671.36

Notas:

(¹) Inércia em relação ao eixo indicado

(²) Momento de inércia à torção uniforme

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	1.00	1.00
L _K	2.350	2.350	2.350	2.350
C _b	-		1.000	

Notação:

β: Coeficiente de flambagem

L_K: Comprimento de flambagem (m)

C_b: Fator de modificação para o momento crítico

Barra	VERIFICAÇÕES											Estado
	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	NM _x M _y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
N1/N2	x: 1.176 m $\lambda \leq 200.0$ Passa	x: 0 m $\eta = 0.2$	x: 1.176 m $\eta = 0.2$	x: 1.175 m $\eta = 25.4$	x: 1.175 m $\eta = 4.0$	$\eta = 0.6$	x: 0 m $\eta = 6.8$	x: 1.176 m $\eta = 4.6$	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 1.0$	PASSA $\eta = 25.4$

Barra	VERIFICAÇÕES											Estado
	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	NM _x M _y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
Notação: λ : Limitação do índice de esbeltez N _t : Resistência à tração N _c : Resistência à compressão M _x : Resistência à flexão eixo X M _y : Resistência à flexão eixo Y V _x : Resistência ao esforço cortante X V _y : Resistência ao esforço cortante Y NM _x M _y : Resistência ao esforço axial e flexão combinados T: Resistência à torção NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante $\sigma \tau f$: Resistência a interações de esforços e momento de torção x: Distância à origem da barra η : Coeficiente de aproveitamento (%) N.A.: Não aplicável												
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.): (1) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. (2) Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.												

Resistência à tração

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações PP+AY2.

$N_{t,Sd}$: Força axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{N_{t,Sd}} : \underline{1.42} \text{ kN}$$

A força axial de tração resistente de cálculo, $N_{t,Rd}$, deve ser determinada pela expressão:

$$\mathbf{N_{t,Rd}} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\mathbf{N_{t,Rd}} : \underline{872.92} \text{ kN}$$

Onde:

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$\mathbf{A_g} : \underline{57.60} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\mathbf{\gamma_{a1}} : \underline{1.10}$$

Resistência à compressão

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 1.176 m do nó N1, para a combinação de ações PP+AY2.

$N_{c,Sd}$: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{N_{c,Sd}} : \underline{1.42} \text{ kN}$$

A força axial de compressão resistente de cálculo, $N_{c,Rd}$, deve ser determinada pela expressão:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{811.81} \text{ kN}$$

Onde:

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão.

$$\chi : \underline{0.930}$$

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{1.000}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{57.60} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Fator de redução χ :

$$\lambda_0 \leq 1.5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$$

$$\chi : \underline{0.930}$$

Onde:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido.

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}}$$

$$\lambda_0 : \underline{0.416}$$

Sendo:

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{1.000}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{57.60} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

N_e : Força axial de flambagem elástica.

$$N_e : \underline{5537.37} \text{ kN}$$

Força axial de flambagem elástica:

A força axial de flambagem elástica, N_e , de uma barra com seção transversal duplamente simétrica ou simétrica em relação a um ponto, é dada pelo menor valor entre os obtidos por (a), (b) e (c):

$$N_e : \underline{5537.37} \text{ kN}$$

- (a) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia X da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2}$$

$$N_{ex} : \underline{19995.66} \text{ kN}$$

Onde:

$K_x \cdot L_x$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x \cdot L_x : \underline{2.350} \text{ m}$$

I_x : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X.

$$I_x : \underline{5594.25} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

- (b) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia Y da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2}$$

$$N_{ey} : \underline{5537.37} \text{ kN}$$

Onde:

$K_y \cdot L_y$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y \cdot L_y : \underline{2.350} \text{ m}$$

I_y : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{1549.21} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

(c) Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal Z:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right]$$

$$N_{ez} : \underline{227951.17} \text{ kN}$$

Onde:

$K_z \cdot L_z$: Comprimento de flambagem por torção.

$$K_z \cdot L_z : \underline{2.350} \text{ m}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

C_w : Constante de empenamento da seção transversal.

$$C_w : \underline{0.00} \text{ cm}^6$$

G: Módulo de elasticidade transversal do aço.

$$G : \underline{77000} \text{ MPa}$$

J: Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{3671.36} \text{ cm}^4$$

r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento.

$$r_0 = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2)}$$

$$r_0 : \underline{11.14} \text{ cm}$$

Onde:

r_x, r_y : Raios de giração em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{9.85} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{5.19} \text{ cm}$$

X_0, Y_0 : Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$X_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$Y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Flambagem local de barras axialmente comprimidas:

Não se aplica nenhuma redução, já que todos os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (b/t) que não superam os valores limite dados na Tabela F.1.

Mesa: Elemento do Grupo 2 da Tabela F.1.

$$(b/t) \leq (b/t)_{lim}$$

$$9.90 \leq 51.61$$

Sendo:

(b/t): Relação entre largura e espessura.

$$(b/t) : \underline{9.90}$$

Onde:

b: Largura.

$$b : \underline{109.88} \text{ mm}$$

t: Espessura.

$$t : \underline{11.10} \text{ mm}$$

(b/t)_{lim}: Relação limite entre largura e espessura.

$$(b/t)_{lim} = 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$(b/t)_{lim} : \underline{51.61}$$

Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela F.1.

$$(b/t) \leq (b/t)_{lim}$$

$$39.64 \leq 51.61$$

Sendo:

(b/t): Relação entre largura e espessura.

$$(b/t) : 39.64$$

Onde:

b: Largura.

$$b : 241.80 \text{ mm}$$

t: Espessura.

$$t : 6.10 \text{ mm}$$

(b/t)_{lim}: Relação limite entre largura e espessura.

$$(b/t)_{lim} = 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$(b/t)_{lim} : 51.61$$

Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 166.70 \text{ MPa}$$

Resistência à flexão eixo X

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.254 \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 1.175 m do nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+AZ1.

M_{Sd}⁺: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{Sd}^+ : 20.05 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Já que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta

$$38.00 \leq 197.43$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda : 38.00$$

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

$$h : 231.80 \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : 6.10 \text{ mm}$$

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

$$\lambda_r : 197.43$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 166.70 \text{ MPa}$$

O momento fletor resistente de cálculo **M_{Rd}** de vigas de alma não-esbelta deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

$$M_{Rd} : 78.80 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo

$$M_{Rd} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : 100.13 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_x : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$W_x : \underline{440.49} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

(b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$45.31 \leq 137.93$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{78.80} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y}$$

$$\lambda : \underline{45.31}$$

Sendo:

$L_{b,sup}$: Distância entre pontos travados à flambagem lateral.

$$L_{b,sup} : \underline{2.350} \text{ m}$$

r_y : Raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão.

$$r_y : \underline{5.19} \text{ cm}$$

$$\lambda_p = \frac{0.13 \cdot E}{M_{pl}} \cdot \sqrt{J \cdot A}$$

$$\lambda_p : \underline{137.93}$$

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

J : Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{3671.36} \text{ cm}^4$$

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{57.60} \text{ cm}^2$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : \underline{86.68} \text{ kN}$$

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{519.99} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

(c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$10.80 \leq 38.79$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{78.80} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

$$\lambda : \underline{10.80}$$

Sendo:

b_f : Largura da parte plana das mesas.

$$b_f : \underline{119.88} \text{ mm}$$

t_f : Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{11.10} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{38.79}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

M_{pl} : 86.68 kN

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

Z_x : 519.99 cm³

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

(d) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA

$$\lambda \leq \lambda_p$$

38.00 ≤ 130.24

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

M_{Rd} : 78.80 kN·m

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

λ : 38.00

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

h : 231.80 mm

t_w: Espessura da alma.

t_w : 6.10 mm

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

λ_p : 130.24

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

M_{pl} : 86.68 kN

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

Z_x : 519.99 cm³

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

Resistência à flexão eixo Y

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

η : 0.040 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 1.175 m do nó N1, para a combinação de ações PP+AX2.

M_{Sd}⁺: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

M_{Sd}⁺ : 1.67 kN·m

Já que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta

10.80 ≤ 197.43

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

λ : 10.80

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

h : 119.88 mm

t_w: Espessura da alma.

t_w : 11.10 mm

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

λ_r : 197.43

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

O momento fletor resistente de cálculo **M_{Rd}** de vigas de alma não-esbelta deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

M_{Rd} : 41.67 kN·m

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo

$$M_{Rd} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

M_{Rd} : 53.33 kN·m

Onde:

W_y: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

W_y : 234.59 cm³

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

(b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT

Não é necessária, já que o eixo de flexão não é o de maior inércia.

(c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM

$$\lambda \leq \lambda_p$$

38.00 ≤ 38.79

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

M_{Rd} : 41.67 kN·m

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

λ : 38.00

Sendo:

b_f: Largura da parte plana das mesas.

b_f : 231.80 mm

t_f: Espessura da mesa comprimida.

t_f : 6.10 mm

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

λ_p : 38.79

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.**E** : 200000 MPa**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 166.70 MPa

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : 45.83 \text{ kN}$$

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico.**Z_y** : 274.95 cm³**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 166.70 MPa**γ_{a1}**: Coeficiente de segurança do material.**γ_{a1}** : 1.10

(d) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$10.80 \leq 130.24$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : 41.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda : 10.80$$

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.**h** : 119.88 mm**t_w**: Espessura da alma.**t_w** : 11.10 mm

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

$$\lambda_p : 130.24$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.**E** : 200000 MPa**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 166.70 MPa

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : 45.83 \text{ kN}$$

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico.**Z_y** : 274.95 cm³**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 166.70 MPa**γ_{a1}**: Coeficiente de segurança do material.**γ_{a1}** : 1.10**Resistência ao esforço cortante X**

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.006 \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+AX2.

V_{Sd}: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

V_{Sd} : 1.42 kN

A força cortante resistente de cálculo, **V_{Rd}**, é determinada pela expressão:

$$10.80 \leq 85.20$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

V_{Rd} : 241.99 kN

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f}{t_f}$$

λ : 10.80

Sendo:

b_f: Largura da parte plana das mesas.

b_f : 119.88 mm

t_f: Espessura das mesas.

t_f : 11.10 mm

$$\lambda_p = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

λ_p : 85.20

Sendo:

k_v: Coeficiente de flambagem.

k_v : 5.00

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

$$V_{pl} = 0.60 \cdot A_w \cdot f_y$$

V_{pl} : 266.19 kN

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = 2 \cdot b_f \cdot t_f$$

A_w : 26.61 cm²

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

Resistência ao esforço cortante Y

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

η : 0.068 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+AZ1.

V_{Sd}: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

V_{Sd} : 17.41 kN

A força cortante resistente de cálculo, **V_{Rd}**, é determinada pela expressão:

$$38.00 \leq 85.20$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

V_{Rd} : 257.14 kN

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda : 38.00$$

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

$$h : 231.80 \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : 6.10 \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$\lambda_p : 85.20$$

Sendo:

k_v: Coeficiente de flambagem.

$$k_v : 5.00$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 166.70 \text{ MPa}$$

$$V_{pl} = 0.60 \cdot A_w \cdot f_y$$

$$V_{pl} : 282.85 \text{ kN}$$

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = 2 \cdot h \cdot t_w$$

$$A_w : 28.28 \text{ cm}^2$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

Resistência ao esforço axial e flexão combinados

Deve satisfazer:

$$\eta \leq 1$$

$$\eta : 0.046 \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 1.176 m do nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+AX2+AY2.

N_{c,Sd}: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{c,Sd} : 1.42 \text{ kN}$$

M_{x,Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{x,Sd} : 0.40 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{y,Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{y,Sd} : 1.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{Sd} / N_{Rd} < 0.2$$

$$0.002 < 0.200$$

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{2 \cdot N_{c,Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1$$

$$\eta : 0.046$$

Onde:

N_{c,Rd}: Força axial resistente de cálculo de compressão

$$N_{c,Rd} : 811.81 \text{ kN}$$

$M_{x,Rd}, M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal

$M_{x,Rd}$: 78.80 kN·m

$M_{y,Rd}$: 41.67 kN·m

Resistência a interações de esforços e momento de torção

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{|\tau_{sd}|}{\tau_{Rd}} \leq 1$$

η : 0.010 ✓

O coeficiente de aproveitamento desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+AX2 no ponto da seção transversal de coordenadas X = 62.99 mm, Y = -121.45 mm em relação ao centro de gravidade.

As tensões tangenciais τ_{sd} são dadas por:

$$\tau_{sd} = \tau_{V_{x,sd}} + \tau_{V_{y,sd}} + \tau_{T_{sd}}$$

τ_{sd} : -0.87 MPa

Onde:

$\tau_{V_{x,sd}}$: Tensão tangencial devida ao esforço cortante na direção do eixo X.

$\tau_{V_{x,sd}}$: -0.70 MPa

Sendo:

$V_{x,sd}$: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$V_{x,sd}$: 1.42 kN

$\tau_{V_{y,sd}}$: Tensão tangencial devida ao esforço cortante na direção do eixo Y.

$\tau_{V_{y,sd}}$: -0.17 MPa

Sendo:

$V_{y,sd}$: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$V_{y,sd}$: 0.68 kN

$\tau_{T_{sd}}$: Tensão tangencial devida ao momento torsor.

$\tau_{T_{sd}}$: 0.00 MPa

Sendo:

T_{sd} : Momento de torção solicitante de cálculo, desfavorável.

T_{sd} : 0.00 kN·m

A tensão resistente de cálculo, τ_{Rd} , é dada pelo menor valor entre os obtidos por a) e b):

τ_{Rd} : 84.49 MPa

- (a) Tensão resistente de cálculo para os estados-limites de escoamento sob efeito de tensão de cisalhamento:

$$\tau_{Rd} = \frac{0.60 \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

τ_{Rd} : 90.93 MPa

Onde:

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

- (b) Tensão resistente de cálculo para os estados-limites de instabilidade ou flambagem sob efeito de tensão cisalhamento:

$$\tau_{Rd} = \frac{0.60 \cdot \chi \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

τ_{Rd} : 84.49 MPa

Onde:

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão

$$\lambda_0 \leq 1.5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$$

$\chi : 0.929$

Sendo:

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{0.60 \cdot f_y}{\tau_e}}$$

 $\lambda_o : 0.419$

$$\tau_e = k_v \cdot \sigma_E$$

 $\tau_e : 570.01 \text{ MPa}$

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{h}\right)^2$$

 $\sigma_E : 114.00 \text{ MPa}$

Onde:

 k_v : Coeficiente de flambagem

 $k_v : 5.00$
 E : Módulo de elasticidade do aço.

 $E : 200000 \text{ MPa}$
 ν : Coeficiente de Poisson.

 $\nu : 0.30$
 t : Espessura.

 $t : 6.10 \text{ mm}$
 h : Largura.

 $h : 242.90 \text{ mm}$
 f_y : Resistência ao escoamento do aço.

 $f_y : 166.70 \text{ MPa}$
 γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

 $\gamma_{a1} : 1.10$

Verificação da Viga de Rolamento

Perfil: W 250 x 32.7
Material: Aço (A36 (Tensão de Projeto 166,7MPa))

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I _x ⁽¹⁾ (cm4)	I _y ⁽¹⁾ (cm4)	I _t ⁽²⁾ (cm4)
N3	N1	6.000	42.10	4937.00	473.00	10.44
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	1.00	1.00	0.17	0.17		
L _K	6.000	6.000	1.000	1.000		
C _b	-		1.000			
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _b : Fator de modificação para o momento crítico						

Barra	VERIFICAÇÕES											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
N3/N1	x: 2.497 m $\lambda \leq 200.0$ Passa	x: 0 m $\eta = 0.5$	x: 2.497 m $\eta = 0.4$	x: 6 m $\eta = 48.9$	x: 6 m $\eta = 20.4$	x: 0 m $\eta = 1.1$	x: 0 m $\eta = 19.0$	x: 6 m $\eta = 69.5$	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 22.8$	PASSA $\eta = 69.5$

Barra	VERIFICAÇÕES											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	$NMVT$	$\sigma \tau f$	
Notação: λ : Limitação do índice de esbeltez N_t : Resistência à tração N_c : Resistência à compressão M_x : Resistência à flexão eixo X M_y : Resistência à flexão eixo Y V_x : Resistência ao esforço cortante X V_y : Resistência ao esforço cortante Y NM_xM_y : Resistência ao esforço axial e flexão combinados T : Resistência à torção $NMVT$: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante $\sigma \tau f$: Resistência a interações de esforços e momento de torção x : Distância à origem da barra η : Coeficiente de aproveitamento (%) $N.A.$: Não aplicável												
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.): (1) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. (2) Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.												

Resistência à tração

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações PP+V1+H1.1+H1.2+V2+H2.1+H2.2.

$N_{t,Sd}$: Força axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{N_{t,Sd}} : \underline{3.12} \text{ kN}$$

A força axial de tração resistente de cálculo, $N_{t,Rd}$, deve ser determinada pela expressão:

$$\mathbf{N_{t,Rd}} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\mathbf{N_{t,Rd}} : \underline{638.01} \text{ kN}$$

Onde:

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$\mathbf{A_g} : \underline{42.10} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\mathbf{\gamma_{a1}} : \underline{1.10}$$

Resistência à compressão

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 2.497 m do nó N3, para a combinação de ações PP+V1+H1.1+H1.2+V2+H2.1+H2.2.

$N_{c,Sd}$: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{N_{c,Sd}} : \underline{0.88} \text{ kN}$$

A força axial de compressão resistente de cálculo, $N_{c,Rd}$, deve ser determinada pela expressão:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{206.77} \text{ kN}$$

Onde:

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão.

$$\chi : \underline{0.324}$$

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{1.000}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{42.10} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Fator de redução χ :

$$\lambda_0 > 1.5 \rightarrow \chi = \frac{0.877}{\lambda_0^2}$$

$$\chi : \underline{0.324}$$

Onde:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido.

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}}$$

$$\lambda_0 : \underline{1.645}$$

Sendo:

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{1.000}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{42.10} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

N_e : Força axial de flambagem elástica.

$$N_e : \underline{259.35} \text{ kN}$$

Força axial de flambagem elástica:

A força axial de flambagem elástica, N_e , de uma barra com seção transversal duplamente simétrica ou simétrica em relação a um ponto, é dada pelo menor valor entre os obtidos por (a), (b) e (c):

$$N_e : \underline{259.35} \text{ kN}$$

- (a) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia X da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2}$$

$$N_{ex} : \underline{2707.01} \text{ kN}$$

Onde:

$K_x \cdot L_x$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x \cdot L_x : \underline{6.000} \text{ m}$$

I_x : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X.

$$I_x : \underline{4937.00} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

- (b) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia Y da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2}$$

$$N_{ey} : \underline{259.35} \text{ kN}$$

Onde:

$K_y \cdot L_y$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y \cdot L_y : \underline{6.000} \text{ m}$$

I_y : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{473.00} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

(c) Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal Z:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right]$$

$$N_{ez} : \underline{11854.95} \text{ kN}$$

Onde:

$K_z \cdot L_z$: Comprimento de flambagem por torção.

$$K_z \cdot L_z : \underline{1.000} \text{ m}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

C_w : Constante de empenamento da seção transversal.

$$C_w : \underline{73104.00} \text{ cm}^6$$

G: Módulo de elasticidade transversal do aço.

$$G : \underline{77000} \text{ MPa}$$

J: Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{10.44} \text{ cm}^4$$

r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento.

$$r_0 = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2)}$$

$$r_0 : \underline{11.34} \text{ cm}$$

Onde:

r_x, r_y : Raios de giração em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{10.83} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{3.35} \text{ cm}$$

X_0, Y_0 : Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$X_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$Y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Flambagem local de barras axialmente comprimidas:

Não se aplica nenhuma redução, já que todos os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (b/t) que não superam os valores limite dados na Tabela F.1.

Mesa: Elemento do Grupo 4 da Tabela F.1.

$$8.02 \leq 19.40$$

$$(b/t) \leq (b/t)_{lim}$$

Sendo:

(b/t): Relação entre largura e espessura.

$$(b/t) : \underline{8.02}$$

Onde:

b: Largura.

$$b : \underline{73.00} \text{ mm}$$

t: Espessura.

$$t : \underline{9.10} \text{ mm}$$

(b/t)_{lim}: Relação limite entre largura e espessura.

$$(b/t)_{lim} = 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$(b/t)_{lim} : \underline{19.40}$$

Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela F.1.

$$39.31 \leq 51.61$$

$$(b/t) \leq (b/t)_{lim}$$

Sendo:

(b/t): Relação entre largura e espessura.**(b/t)** : 39.31

Onde:

b: Largura.**b** : 239.80 mm**t**: Espessura.**t** : 6.10 mm**(b/t)_{lim}**: Relação limite entre largura e espessura.

$$(b/t)_{lim} = 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

(b/t)_{lim} : 51.61

Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.**E** : 200000 MPa**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 166.70 MPa**Resistência à flexão eixo X**

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

 η : 0.489 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+V1+H1.1+H1.2+V2+H2.1+H2.2.

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.**M_{Sd}** : 31.75 kN·mJá que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta**39.31 ≤ 197.43**

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

 λ : 39.31

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.**h** : 239.80 mm**t_w**: Espessura da alma.**t_w** : 6.10 mm

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

 λ_r : 197.43

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.**E** : 200000 MPa**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 166.70 MPa

O momento fletor resistente de cálculo **M_{Rd}** de vigas de alma não-esbelta deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

M_{Rd} : 64.94 kN·m

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo

$$M_{Rd} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

M_{Rd} : 87.00 kN·m

Onde:

W_x: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$\mathbf{W_x : 382.71 \text{ cm}^3}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y : 166.70 \text{ MPa}}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\mathbf{\gamma_{a1} : 1.10}$$

(b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\mathbf{29.83 \leq 60.96}$$

$$\mathbf{M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}}$$

$$\mathbf{M_{Rd} : 64.94 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y}$$

$$\lambda : 29.83$$

Sendo:

L_{b,inf}: Distância entre pontos travados à flambagem lateral.

$$\mathbf{L_{b,inf} : 1.000 \text{ m}}$$

r_y: Raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão.

$$\mathbf{r_y : 3.35 \text{ cm}}$$

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

$$\lambda_p : 60.96$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$\mathbf{E : 200000 \text{ MPa}}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y : 166.70 \text{ MPa}}$$

$$\mathbf{M_{pl} = Z \cdot f_y}$$

$$\mathbf{M_{pl} : 71.43 \text{ kN}}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

$$\mathbf{Z_x : 428.50 \text{ cm}^3}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y : 166.70 \text{ MPa}}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\mathbf{\gamma_{a1} : 1.10}$$

(c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\mathbf{8.02 \leq 13.16}$$

$$\mathbf{M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}}$$

$$\mathbf{M_{Rd} : 64.94 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

$$\lambda : 8.02$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

$$\mathbf{b_f : 146.00 \text{ mm}}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$\mathbf{t_f : 9.10 \text{ mm}}$$

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

$$\lambda_p : 13.16$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

M_{pl} : 71.43 kN

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

Z_x : 428.50 cm³

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

(d) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA

$$\lambda \leq \lambda_p$$

39.31 ≤ 130.24

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

M_{Rd} : 64.94 kN·m

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

λ : 39.31

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.

h : 239.80 mm

t_w: Espessura da alma.

t_w : 6.10 mm

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

λ_p : 130.24

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

M_{pl} : 71.43 kN

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

Z_x : 428.50 cm³

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

Resistência à flexão eixo Y

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

η : 0.204 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações PP+V1+H1.1+H1.2+V2+H2.1+H2.2.

M_{sd}^- : Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

M_{sd}^- : 3.01 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

M_{Rd} : 14.73 kN·m

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo:

$$M_{Rd} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

M_{Rd} : 14.73 kN·m

Onde:

W_y : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

W_y : 64.79 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

(b) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

8.02 ≤ 13.16

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

M_{Rd} : 15.11 kN·m

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

λ : 8.02

Sendo:

b_f : Largura da mesa comprimida.

b_f : 146.00 mm

t_f : Espessura da mesa comprimida.

t_f : 9.10 mm

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

λ_p : 13.16

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

M_{pl} : 16.62 kN

Onde:

Z_y : Módulo de resistência plástico.

Z_y : 99.70 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

(c) Estado-límite último de flambagem local da alma, FLA:

$$\lambda > \lambda_p$$

39.31 > 38.79

$$\lambda \leq \lambda_r$$

39.31 ≤ 48.49

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \cdot \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : 14.83 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \quad \lambda : 39.31$$

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas. **h** : 239.80 mm

t_w: Espessura da alma. **t_w** : 6.10 mm

$$\lambda_p = 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_p : 38.79$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço. **E** : 200000 MPa

f_y: Resistência ao escoamento do aço. **f_y** : 166.70 MPa

$$\lambda_r = 1.40 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_r : 48.49$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço. **E** : 200000 MPa

f_y: Resistência ao escoamento do aço. **f_y** : 166.70 MPa

$$M_{pl} = Z \cdot f_y \quad M_{pl} : 16.62 \text{ kN}$$

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico. **Z_y** : 99.70 cm³

f_y: Resistência ao escoamento do aço. **f_y** : 166.70 MPa

$$M_r = W_{ef} \cdot f_y \quad M_r : 10.80 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Sendo:

W_{ef,y}: Módulo de resistência mínimo elástico, relativo ao eixo de flexão, para uma seção que tem uma mesa comprimida de largura igual a b_{ef} dada por F.3.2, com σ igual a f_y.

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$W_{ef,y} : 64.79 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 166.70 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

Resistência ao esforço cortante X

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.011 \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações PP+V1+H1.1+H1.2+V2+H2.1+H2.2.

V_{Sd}: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.
A força cortante resistente de cálculo, **V_{Rd}**, é determinada pela expressão:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

Sendo:

b_f: Largura das mesas.

t_f: Espessura das mesas.

$$\lambda_p = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

Sendo:

k_v: Coeficiente de flambagem.

E: Módulo de elasticidade do aço.

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$V_{pl} = 0.60 \cdot A_w \cdot f_y$$

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = 2 \cdot b_f \cdot t_f$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$V_{Sd} : \underline{2.62} \text{ kN}$$

$$8.02 \leq 41.74$$

$$V_{Rd} : \underline{241.61} \text{ kN}$$

$$\lambda : \underline{8.02}$$

$$b_f : \underline{146.00} \text{ mm}$$

$$t_f : \underline{9.10} \text{ mm}$$

$$\lambda_p : \underline{41.74}$$

$$k_v : \underline{1.20}$$

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

$$V_{pl} : \underline{265.77} \text{ kN}$$

$$A_w : \underline{26.57} \text{ cm}^2$$

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Resistência ao esforço cortante Y

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.190} \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.3·PP+V1+H1.1+H1.2+V2+H2.1+H2.2.

V_{Sd}: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.
A força cortante resistente de cálculo, **V_{Rd}**, é determinada pela expressão:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$V_{Sd} : \underline{27.15} \text{ kN}$$

$$39.31 \leq 85.20$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{143.10} \text{ kN}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda : \underline{39.31}$$

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.

$$h : \underline{239.80} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{6.10} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$\lambda_p : \underline{85.20}$$

Sendo:

k_v: Coeficiente de flambagem.

$$k_v : \underline{5.00}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

$$V_{pl} = 0.60 \cdot A_w \cdot f_y$$

$$V_{pl} : \underline{157.41} \text{ kN}$$

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

$$A_w : \underline{15.74} \text{ cm}^2$$

d: Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{258.00} \text{ mm}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Resistência ao esforço axial e flexão combinados

Deve satisfazer:

$$\eta \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.695} \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+V1+H1.1+H1.2+V2+H2.1+H2.2.

N_{c,Sd}: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{c,Sd} : \underline{0.88} \text{ kN}$$

M_{x,Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{x,Sd} : \underline{31.75} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{y,Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{y,Sd} : \underline{3.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{Sd} / N_{Rd} < 0.2$$

$$0.004 < 0.200$$

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{2 \cdot N_{c,Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.695}$$

Onde:

N_{c,Rd}: Força axial resistente de cálculo de compressão

N_{c,Rd} : 206.77 kN

M_{x,Rd}, M_{y,Rd}: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal

M_{x,Rd} : 64.94 kN·m

M_{y,Rd} : 14.73 kN·m

Resistência a interações de esforços e momento de torção

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{|\tau_{Sd}|}{\tau_{Rd}} \leq 1$$

η : 0.228 ✓

O coeficiente de aproveitamento desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.3·PP+V1+H1.1+H1.2+V2+H2.1+H2.2 no ponto da seção transversal de coordenadas X = 0.00 mm, Y = 0.00 mm em relação ao centro de gravidade.

As tensões tangenciais τ_{Sd} são dadas por:

$$\tau_{Sd} = \tau_{V_{x,Sd}} + \tau_{V_{y,Sd}} + \tau_{T_{Sd}}$$

τ_{Sd} : 19.17 MPa

Onde:

$$\tau_{V_{x,Sd}} = -\frac{\bar{S}_y}{I_y \cdot t} \cdot V_{x,Sd}$$

τ_{Vx,Sd} : 0.00 MPa

Sendo:

V_{x,Sd}: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

V_{x,Sd} : 2.62 kN

S_y: Momento estático, em relação ao eixo Y, da parte da seção situada a um lado do ponto de verificação.

S_y : 0.00 cm³

I_y: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y.

I_y : 473.00 cm⁴

t: Espessura.

t : 6.10 mm

$$\tau_{V_{y,Sd}} = -\frac{\bar{S}_x}{I_x \cdot t} \cdot V_{y,Sd}$$

τ_{Vy,Sd} : 19.17 MPa

Sendo:

V_{y,Sd}: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

V_{y,Sd} : 27.15 kN

S_x: Momento estático, em relação ao eixo X, da parte da seção situada a um lado do ponto de verificação.

S_x : 212.58 cm³

I_x: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X.

I_x : 4937.00 cm⁴

t: Espessura.

t : 6.10 mm

$$\tau_{T_{Sd}} = \pm \frac{t}{J} \cdot T_{Sd}$$

τ_{Tsd} : 0.00 MPa

Sendo:

T_{Sd}: Momento de torção solicitante de cálculo, desfavorável.

T_{Sd} : 0.00 kN·m

J: Constante de torção da seção transversal.

J : 10.44 cm⁴

t: Espessura.**t :** 6.10 mm

A tensão resistente de cálculo, τ_{Rd} , é dada pelo menor valor entre os obtidos por a) e b):

 τ_{Rd} : 84.18 MPa

(a) Tensão resistente de cálculo para os estados-limites de escoamento sob efeito de tensão de cisalhamento:

$$\tau_{Rd} = \frac{0.60 \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

 τ_{Rd} : 90.93 MPa

Onde:

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

 f_y : 166.70 MPa

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

 γ_{a1} : 1.10

(b) Tensão resistente de cálculo para os estados-limites de instabilidade ou flambagem sob efeito de tensão cisalhamento:

$$\tau_{Rd} = \frac{0.60 \cdot \chi \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

 τ_{Rd} : 84.18 MPa

Onde:

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão

$$\lambda_0 \leq 1.5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$$

 χ : 0.926

Sendo:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{0.60 \cdot f_y}{\tau_e}}$$

 λ_0 : 0.429

$$\tau_e = k_v \cdot \sigma_E$$

 τ_e : 542.86 MPa

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{h}\right)^2$$

 σ_E : 108.57 MPa

Onde:

k_v : Coeficiente de flambagem

 k_v : 5.00

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

ν : Coeficiente de Poisson.

 ν : 0.30

t: Espessura.

t : 6.10 mm

h: Largura.

h : 248.90 mm

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

 f_y : 166.70 MPa

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

 γ_{a1} : 1.10

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conforme exposto nesse Relatório, os equipamentos aqui descritos se encontram em conformidade e podem ser utilizados para as atividades a que se destinam, não podendo ultrapassar a capacidade de carga estipulada.

Nenhum item do sistema deve ser inserido, retirado ou modificado, sem autorização expressa, o que resultará na invalidação deste relatório.

IMPORTANTE: A VERIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS SE RESTRINGE A PARTE MECÂNICA, NÃO FORAM AVALIADAS AS PARTES DE COMPETENCIA CIVIL, COMO COLUNAS DE CONCRETO QUE SUPORTAM A VIGA DE ROLAMENTO.

Atenciosamente,



Luís Eduardo Wiechoreck
Engenheiro Mecânico
Engenheiro de Segurança do Trabalho
CREA RS2211066380



Tipo: OBRA OU SERVIÇO
Convênio: NÃO É CONVÊNIO

Participação Técnica: INDIVIDUAL/PRINCIPAL
Motivo: NORMAL

Contratado

Carteira: RS190508 Profissional: LUÍS EDUARDO WIECHORECK E-mail: eduardowie@gmail.com
RNP: 2211066380 Título: Engenheiro Mecânico, Engenheiro de Segurança do Trabalho
Empresa: SIAOTECH EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS COMERCIO INDUSTRIA E SERVICO LTDA Nr.Reg.: 266660

Contratante

Nome: SIAOTECH EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS E SERVIÇOS LTDA E-mail:
Endereço: RUA ALBINO FORMOLO 64 PAVILHÃO SUP 01 Telefone: (54) 99192 9494 CPF/CNPJ: 43983467000101
Cidade: CAXIAS DO SUL Bairro: CRUZEIRO CEP: 95076641 UF: RS

Identificação da Obra/Serviço

Proprietário: FOLLE SERVICOS DE USINAGEM LTDA
Endereço da Obra/Serviço: Rua LEONEL MOSELE 2484 FUNDOS ANEXO A CPF/CNPJ: 21989599000108
Cidade: CAXIAS DO SUL Bairro: PIO X CEP: 95034110 UF: RS
Finalidade: INDUSTRIAL Vlr Contrato(R\$): 2.500,00 Honorários(R\$):
Data Início: 04/07/2024 Prev.Fim: 09/07/2024 Ent.Classe:

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Projeto e Execução	Ponte Rolante	1,00	UN
Projeto e Execução	CAP. 2 TON - VÃO DE APROXIMADAMENTE 12 METROS		

ART registrada (paga) no CREA-RS em 04/07/2024

Caxias do Sul/RS - 04/07/2024 Local e Data	Declaro serem verdadeiras as informações acima LUÍS EDUARDO WIECHORECK Profissional	De acordo SIAOTECH EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS E SERVIÇOS LTDA Contratante
---	---	---

A AUTENTICIDADE DESTA ART PODE SER CONFIRMADA NO SITE DO CREA-RS, LINK SOCIEDADE - ART CONSULTA.