



SIAOTECH



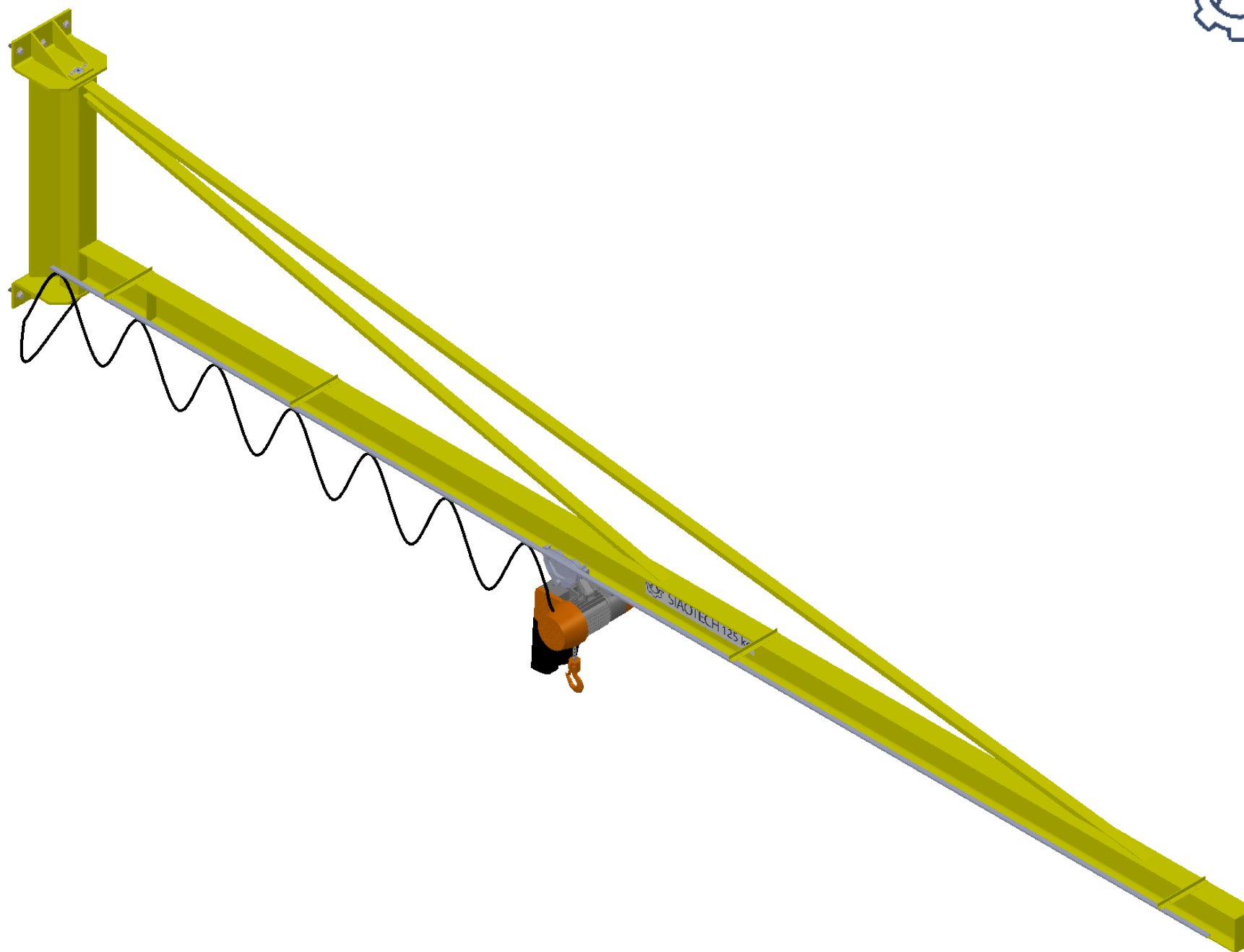
2024

PROJETO: BRAÇO
GIRATÓRIO 125 KG

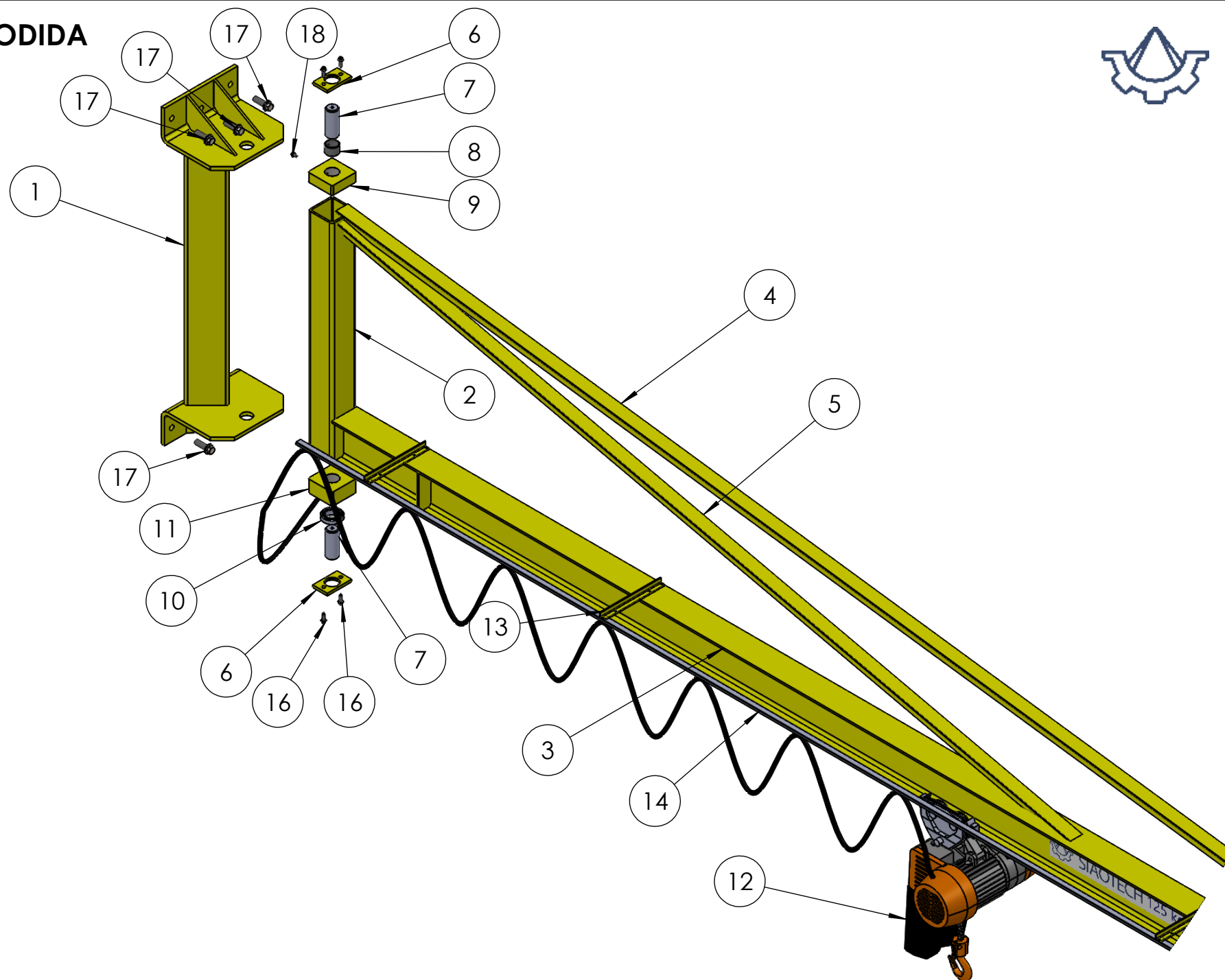
CLIENTE: VOESTALPINE MEINCOL

www.siaotech.com

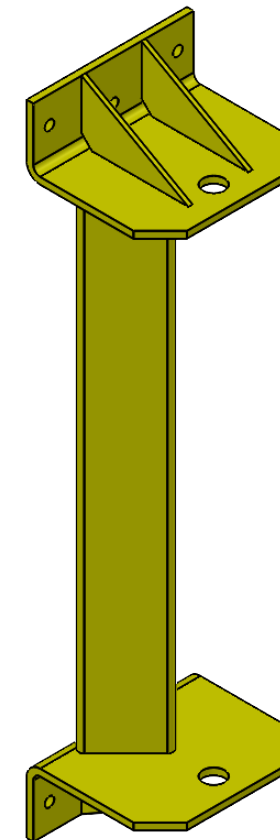
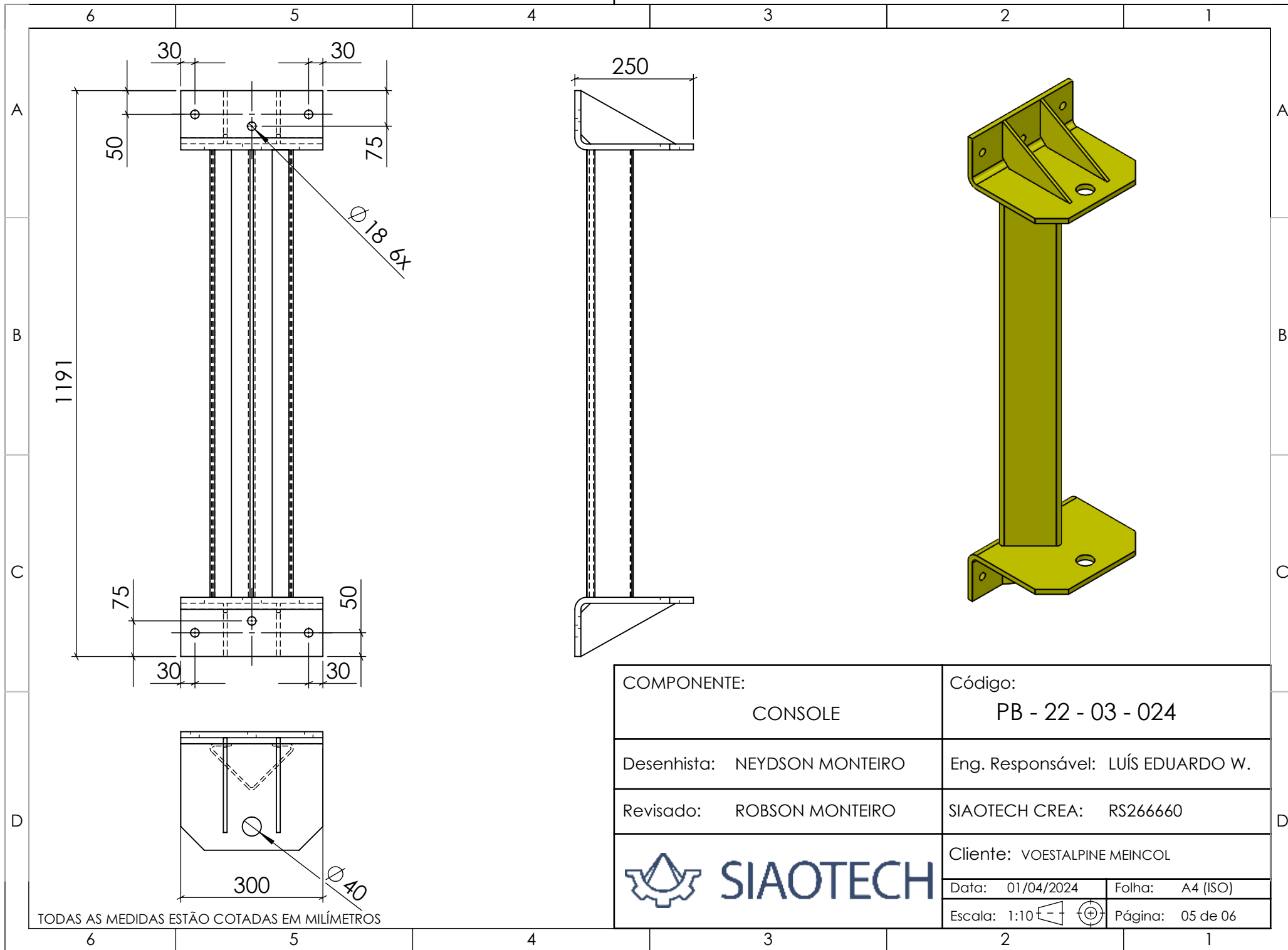
BRAÇO GIRATÓRIO 125 kg

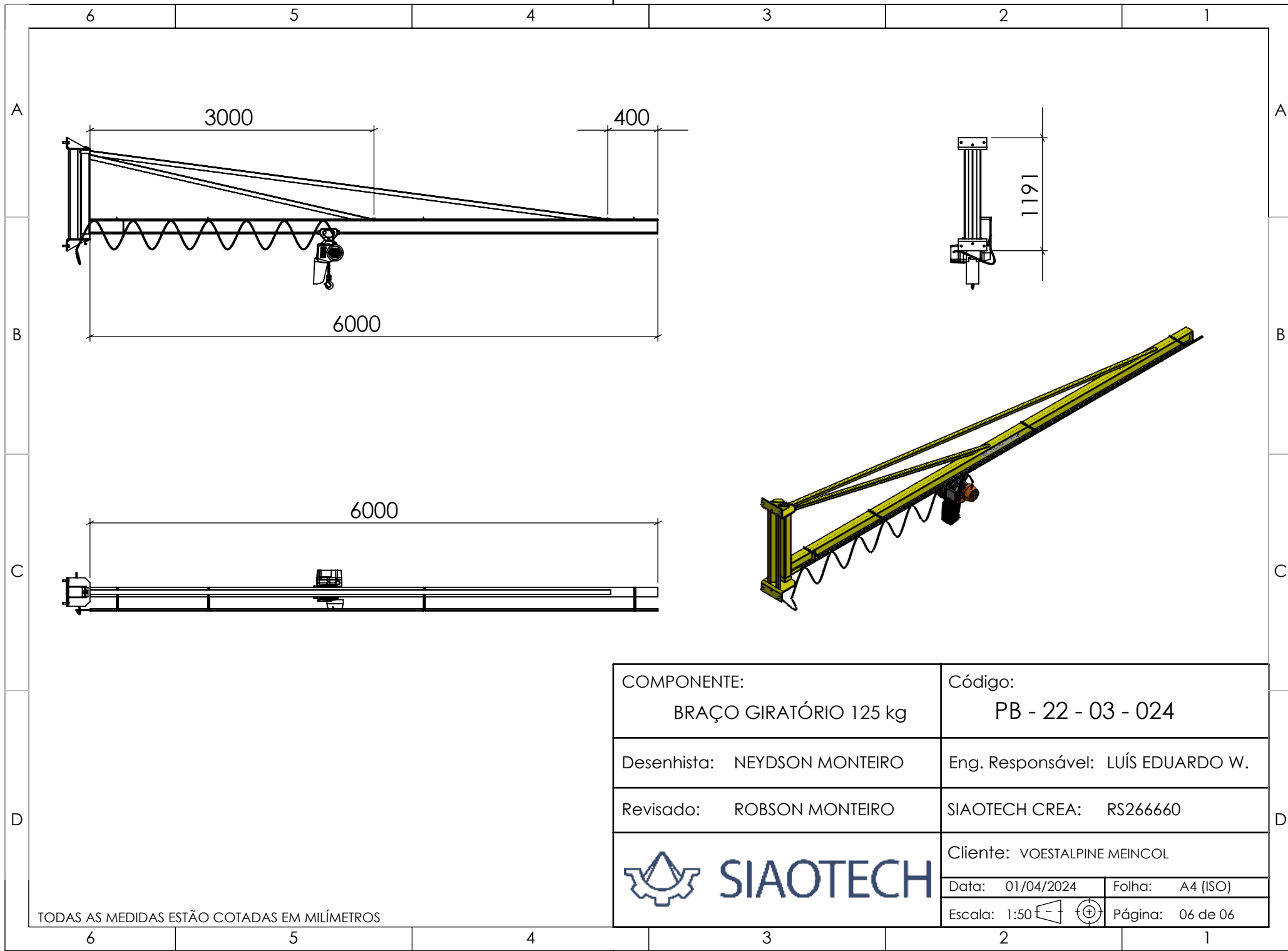


VISTA EXPLODIDA



Nº DO ITEM	NOME DO COMPONENTE	QTDE	MATERIAL/DESIGNAÇÃO
1	CONSOLE	1	ASTM A36
2	COLUNA - LANÇA	1	ATSM A36
3	VIGA PRINCIPAL	1	ASTM A36
4	TIRANTE 1	1	ASTM A36
5	TIRANTE 2	1	ASTM A36
6	CHAPA - PINO	2	ASTM A36
7	PINO - SUPERIOR	1	SAE 4140
7	PINO - INFERIOR	1	SAE 1020
8	BUCHA DESLIZANTE	1	PCM404430M
9	MANCAL SUPERIOR	1	ASTM A26
10	ROLAMENTO DE ROLOS CÔNICOS	1	32008
11	MANCAL INFERIOR	1	ASTM A36
12	TALHA KITO	1	EQSP
13	CANTONEIRA	4	ASTM A36
14	SISTEMA FESTOON	1	30607001/3
16	PARAFUSO	4	M16
17	PARAFUSO	4	M12
18	PARAFUSO DE CABEÇA CILÍNDRICA INTERNA	1	M8





SIAOTECH



SIAOTECH



2024 MEMORIAL DE CÁLCULO

PROJETO: PB-22-03-024

2024



Memorial Descritivo e de Calculo

BRAÇO GIRATÓRIO DE ELEVAÇÃO CAP. 125 KGF

Voestalpine Meincol
Caxias do Sul/RS

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



SIAOTECH

MEMORIAL DESCRITIVO DE CALCULO

EXTENSOR GIRATÓRIO DE ELEVAÇÃO 125 KFG.

IDENTIFICAÇÃO DA CONTRATANTE

VOESTALPINE MEINCOL S/A

CNPJ: 88.614.342/0001-42

IDENTIFICAÇÃO DO LOCAL DA OBRA

VOESTALPINE MEINCOL S/A

CNPJ: 88.614.342/0001-42

ENDEREÇO:

Estrada Paolo Radaelli, S/N – Forqueta

Cidade: Caxias do Sul / RS

CEP: 95.115-700

IDENTIFICAÇÃO DA CONTRATADA

SIAOTECH

CNPJ: 43.983.467/0001-01

ENDEREÇO:

Rua Barão do Amazonas, 2944 Pavilhão 02 – Diamantino

Cidade: Caxias do Sul/RS

COLABORADORES DO RELATÓRIO

Luís Eduardo Wiechoreck

Engenheiro Mecânico

CREA RS 2211066380

Responsável Técnico

Robson Monteiro

Técnico Mecânico

CPF: 02310390041

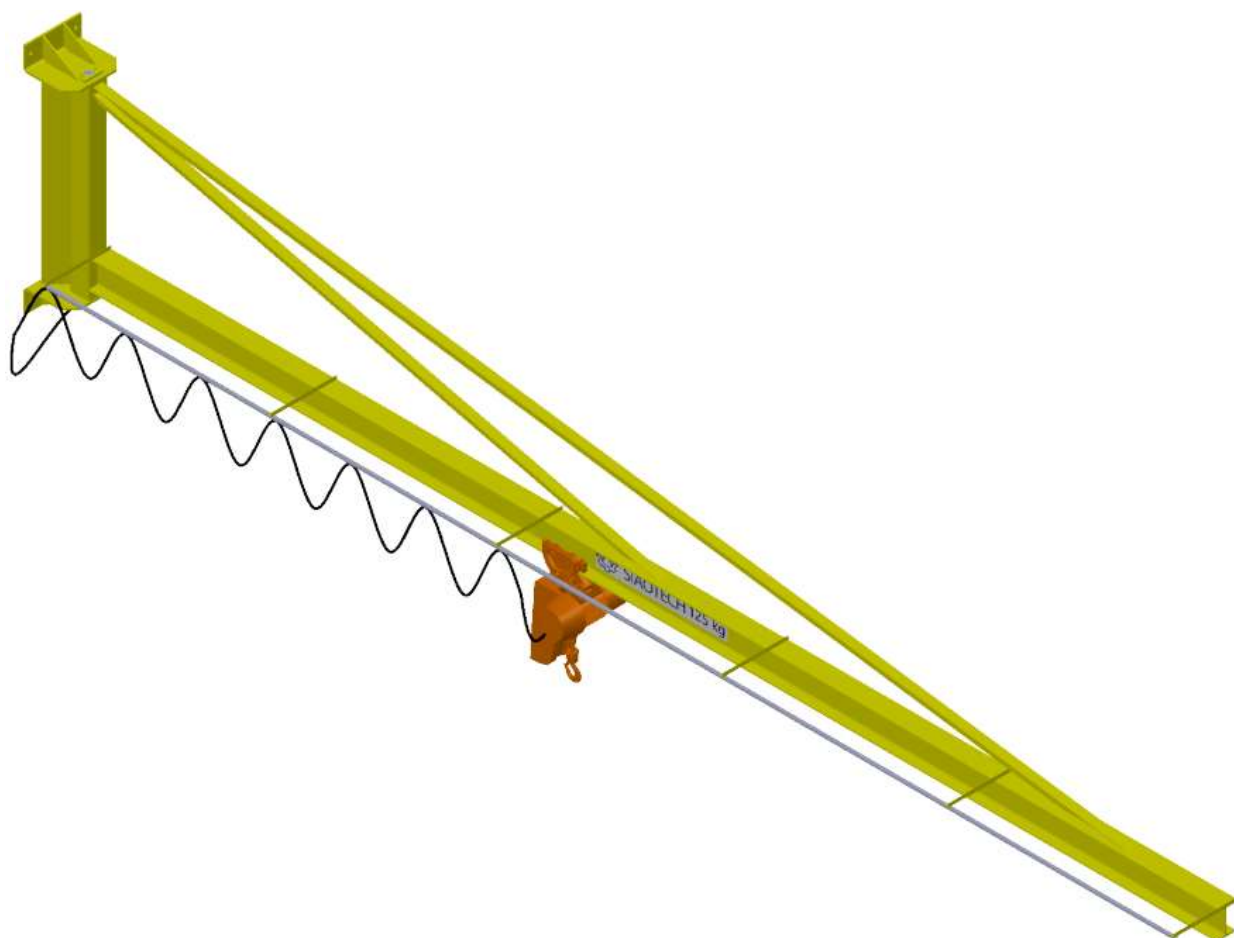
SISTEMA: PR 24 03 022 - SIÃOOTECH MEINCOL – Braço Giratório de Elevação Cap.
125 Kgf – 6 metros

ART Nr: 13107318

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema é constituído por um Braço Giratório de Elevação de 6 metros de comprimento e capacidade para 125 kgf.

No dimensionamento foi considerado diversas posições de carregamento, sendo demonstrados os cálculos a verificação dos elementos para o cenário de maior criticidade.



REFERENCIA 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

Classificação do equipamento:

Grupo do equipamento: A4

Classe de elevação: HC3

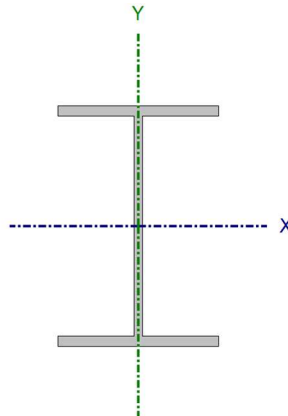
Valor de carga principal considerando coeficiente dinâmico e de amplificação = 2,3 KN

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 $0,078 \text{ m/s}^2$) = 0,3 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 do Viga Principal
Perfil: W 150 x 18
Material: Aço (A-36 - Tensão de Projeto)



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)
N4	N1	3.000	23.40	939.00	126.00	4.34

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	0.70	0.70	1.00	1.00
L _K	2.091	2.099	3.000	3.000
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 (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	NM _x M _y	T	NMVT	σ τ f	
N4/N1	λ ≤ 200.0 Passa	N.A. ⁽¹⁾	η = 6.6	x: 3 m η = 9.2	x: 3 m η = 29.7	x: 1.501 m η = 0.2	x: 3 m η = 2.4	x: 3 m η = 33.3	η = 0.7	N.A. ⁽²⁾	x: 3 m η = 66.4	PASSA η = 66.4
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 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 será executada, já que não existe esforço axial de tração. ⁽²⁾ Este caso não está contemplado pela norma e, portanto, não é possível realizar a verificação.												

Limitação do índice de esbeltez

O índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como o maior relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, não deve ser superior a 200.

$$\lambda \leq 200$$

$$\lambda : \underline{90.1} \quad \checkmark$$

Onde:

λ: Índice de esbeltez.

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r}$$

Sendo:

$$\lambda_x : \underline{33.1}$$

$$\lambda_y : \underline{90.1}$$

$K_x \cdot L_x$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. **$K_x \cdot L_x$:** 2.099 m
 $K_y \cdot L_y$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. **$K_y \cdot L_y$:** 2.091 m
 r_x, r_y : Raios de giração em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente. **r_x :** 6.33 cm
 r_y : 2.32 cm

Resistência à compressão

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.066} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.3·PP+CargaVerticalPrincipalZ+CargaHor.Principal02Y.

$N_{c,Sd}$: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável. **$N_{c,Sd}$:** 17.42 kN

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{265.90} \text{ kN}$$

Onde:

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

$$\chi : \underline{0.751}$$

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{1.000}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{23.40} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

Fator de redução χ :

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

$$\chi : \underline{0.751}$$

Onde:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido.

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

$$\lambda_0 : \underline{0.828}$$

Sendo:

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{1.000}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{23.40} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

N_e : Força axial de flambagem elástica.

$$N_e : \underline{568.77} \text{ kN}$$

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):

$$N_e : \underline{568.77} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{ex} : 4208.45 \text{ kN}$$

Onde:

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

$$K_x \cdot L_x : 2.099 \text{ m}$$

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

$$I_x : 939.00 \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

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

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

$$N_{ey} : 568.77 \text{ kN}$$

Onde:

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

$$K_y \cdot L_y : 2.091 \text{ m}$$

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

$$I_y : 126.00 \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

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

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

$$N_{ez} : 1056.31 \text{ kN}$$

Onde:

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

$$K_z \cdot L_z : 3.000 \text{ m}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

C_w : Constante de empenamento da seção transversal.

$$C_w : 6683.00 \text{ cm}^6$$

G: Módulo de elasticidade transversal do aço.

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

J: Constante de torção da seção transversal.

$$J : 4.34 \text{ cm}^4$$

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

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

$$r_0 : 6.75 \text{ cm}$$

Onde:

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

$$r_x : 6.33 \text{ cm}$$

$$r_y : 2.32 \text{ cm}$$

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

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

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

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.



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

$$7.18 \leq 19.41$$

Sendo:

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

$$(b/t) : 7.18$$

Onde:

b: Largura.

$$b : 51.00 \text{ mm}$$

t: Espessura.

$$t : 7.10 \text{ mm}$$

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

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

$$(b/t)_{lim} : 19.41$$

Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 166.50 \text{ MPa}$$

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

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

$$23.93 \leq 51.64$$

Sendo:

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

$$(b/t) : 23.93$$

Onde:

b: Largura.

$$b : 138.80 \text{ mm}$$

t: Espessura.

$$t : 5.80 \text{ mm}$$

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

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

$$(b/t)_{lim} : 51.64$$

Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 166.50 \text{ MPa}$$

Resistência à flexão eixo X

Deve satisfazer:

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

$$\eta : 0.092 \checkmark$$

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

1.3·PP+CargaVerticalSecundariaZ+CargaHor.Secundaria02Y.

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

$$M_{sd} : 1.72 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$23.93 \leq 197.55$$

Onde:

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

$$\lambda : 23.93$$

Sendo:

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

$$h : \underline{138.80} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{5.80} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_r : \underline{197.55}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

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:

$$M_{Rd} : \underline{18.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo:

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

$$M_{Rd} : \underline{27.87} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_x : \underline{122.75} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$\lambda > \lambda_p$$

$$129.28 > 61.00$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$129.28 \leq 286.97$$

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

$$M_{Rd} : \underline{18.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{129.28}$$

Sendo:

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

$$L_{b,inf} : \underline{3.000} \text{ m}$$

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

$$r_y : \underline{2.32} \text{ cm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{61.00}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

$$\lambda_r = \frac{1.38 \cdot \sqrt{I_y \cdot J}}{r_y \cdot J \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}}$$



$$\lambda_r : 286.97$$

Sendo:

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

$$\mathbf{I_y} : 126.00 \text{ cm}^4$$

J: Constante de torção da seção transversal.

$$\mathbf{J} : 4.34 \text{ cm}^4$$

C_w: Constante de empenamento da seção transversal.

$$\mathbf{C_w} : 6683.00 \text{ cm}^6$$

$$\beta_1 = \frac{M_r}{E \cdot J}$$

$$\beta_1 : 0.016 \text{ cm}^{-1}$$

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

$$\mathbf{M_{pl}} : 23.21 \text{ kN}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

$$\mathbf{Z_x} : 139.40 \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : 166.50 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{M_r} = W \cdot (f_y - \sigma_r)$$

$$\mathbf{M_r} : 14.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Sendo:

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

$$\mathbf{W_x} : 122.75 \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : 166.50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

$$\sigma_r : 49.95 \text{ MPa}$$

C_b: Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme.

$$\mathbf{C_b} : 1.00$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$7.18 \leq 13.17$$

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

$$\mathbf{M_{Rd}} : 21.10 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : 7.18$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

$$\mathbf{b_f} : 102.00 \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$\mathbf{t_f} : 7.10 \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : 13.17$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.50 MPa

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

M_{pl} : 23.21 kN

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

Z_x : 139.40 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.50 MPa

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$23.93 \leq 130.32$$

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

M_{Rd} : 21.10 kN·m

Onde:

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

λ : 23.93

Sendo:

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

h : 138.80 mm

t_w : Espessura da alma.

t_w : 5.80 mm

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

λ_p : 130.32

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.50 MPa

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

M_{pl} : 23.21 kN

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

Z_x : 139.40 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.50 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 : 0.297 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações PP+CargaHor.Principal01X.



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

$$M_{sd} : \underline{1.67} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{5.61} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo:

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

$$M_{Rd} : \underline{5.61} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_y : \underline{24.71} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$7.18 \leq 13.17$$

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

$$M_{Rd} : \underline{5.83} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{7.18}$$

Sendo:

b_f : Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{102.00} \text{ mm}$$

t_f : Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{7.10} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{13.17}$$

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

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

$$M_{pl} : \underline{6.41} \text{ kN}$$

Onde:

Z_y : Módulo de resistência plástico.

$$Z_y : \underline{38.50} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$23.93 \leq 38.82$$

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

$$M_{Rd} : \underline{5.83} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{23.93}$$



Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas.**h** : 138.80 mm**t_w**: Espessura da alma.**t_w** : 5.80 mm

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

λ_p : 38.82

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.**E** : 200000 MPa**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 166.50 MPa

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

M_{pl} : 6.41 kN

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico.**Z_y** : 38.50 cm³**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 166.50 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 : 0.002 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 1.501 m do nó N4, para a combinação de ações PP+CargaHor.Secundaria01X.

V_{Sd}: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.**V_{Sd}** : 0.29 kNA força cortante resistente de cálculo, **V_{Rd}**, é determinada pela expressão:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

7.18 ≤ **41.76**

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

V_{Rd} : 131.54 kN

Onde:

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

λ : 7.18

Sendo:

b_f: Largura das mesas.**b_f** : 102.00 mm**t_f**: Espessura das mesas.**t_f** : 7.10 mm

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

λ_p : 41.76



Sendo:

k_v : Coeficiente de flambagem.

k_v : 1.20

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.50 MPa

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

V_{pl} : 144.70 kN

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

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

A_w : 14.48 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 : 0.024 ✓

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

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

V_{sd} : 1.94 kN

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

23.93 ≤ **85.25**

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

V_{Rd} : 80.59 kN

Onde:

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

λ : 23.93

Sendo:

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

h : 138.80 mm

t_w : Espessura da alma.

t_w : 5.80 mm

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

λ_p : 85.25

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 : 166.50 MPa

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

$$V_{pl} : \underline{88.65} \text{ kN}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

$$A_w : \underline{8.87} \text{ cm}^2$$

d : Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{153.00} \text{ mm}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

Resistência ao esforço axial e flexão combinados

Deve satisfazer:

$$\eta \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.333} \checkmark$$

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

1.3·PP+CargaVerticalPrincipalZ+CargaHor.Principal01X+CargaHor.Principal02Y.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{17.42} \text{ kN}$$

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

$$M_{x,Sd} : \underline{0.07} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

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

$$\underline{0.066} < \underline{0.200}$$

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

$$\eta : \underline{0.333}$$

Onde:

$N_{c,Rd}$: Força axial resistente de cálculo de compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3).

$$N_{c,Rd} : \underline{265.90} \text{ kN}$$

$M_{x,Rd}, M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2).

$$M_{x,Rd} : \underline{18.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{5.61} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistência à torção

Já que a norma não proporciona uma verificação geral para seções não tubulares submetidas exclusivamente à torção, considera-se que este elemento também deve cumprir o seguinte critério:

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.007} \checkmark$$



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+CargaHor.Principal01X.

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

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

O momento de torção resistente de cálculo, T_{Rd}, é determinado pela expressão:

$$\mathbf{T_{Rd}} = \frac{0.60 \cdot W_T \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\mathbf{T_{Rd}} : \underline{0.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_T: Módulo de resistência à torção.

$$\mathbf{W_T} : \underline{6.11} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

Resistência a interações de esforços e momento de torção

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.664} \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.007} \checkmark$$

(Já que a norma não proporciona uma verificação da tensão total para seções submetidas a torção combinada com outros esforços, considera-se que este elemento também deve cumprir os seguintes critérios para a tensão de Von Mises:)

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

$$\eta : \underline{0.453} \checkmark$$

O coeficiente de aproveitamento desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações

1.3·PP+CargaVerticalPrincipalZ+CargaHor.Principal01X+CargaHor.Principal02Y no ponto da seção transversal de coordenadas X = -51.00 mm, Y = -76.50 mm em relação ao centro de gravidade.

As tensões normais σ_{Sd} são dadas por:

$$\mathbf{\sigma_{Sd}} = \sigma_{N_{Sd}} + \sigma_{M_{x,Sd}} + \sigma_{M_{y,Sd}}$$

$$\mathbf{\sigma_{Sd}} : \underline{-75.45} \text{ MPa}$$

Onde:

$$\mathbf{\sigma_{N_{Sd}}} = \frac{N_{c,Sd}}{Q \cdot A_g}$$

$$\mathbf{\sigma_{N_{Sd}}} : \underline{-7.45} \text{ MPa}$$

Sendo:



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

$$\mathbf{N_{c,Sd}} : \underline{17.42} \text{ kN}$$

Q: Fator de redução total associado à flambagem local.

$$\mathbf{Q} : \underline{1.000}$$

A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

$$\mathbf{A_g} : \underline{23.40} \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\mathbf{M_{x,Sd}}} = - \frac{M_{x,Sd}}{I_x} \cdot Y$$

$$\sigma_{\mathbf{M_{x,Sd}}} : \underline{-0.54} \text{ MPa}$$

Sendo:

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

$$\mathbf{M_{x,Sd}} : \underline{0.07} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\mathbf{I_x} : \underline{939.00} \text{ cm}^4$$

Y: Coordenada, em relação ao eixo Y, do ponto desfavorável da seção transversal em relação ao centro de gravidade da seção bruta.

$$\mathbf{Y} : \underline{-76.50} \text{ mm}$$

$$\sigma_{\mathbf{M_{y,Sd}}} = - \frac{M_{y,Sd}}{I_y} \cdot X$$

$$\sigma_{\mathbf{M_{y,Sd}}} : \underline{-67.47} \text{ MPa}$$

Sendo:

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

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

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

$$\mathbf{I_y} : \underline{126.00} \text{ cm}^4$$

X: Coordenada, em relação ao eixo X, do ponto desfavorável da seção transversal em relação ao centro de gravidade da seção bruta.

$$\mathbf{X} : \underline{-51.00} \text{ mm}$$

As tensões tangenciais τ_{Sd} são dadas por:

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

$$\tau_{\mathbf{Sd}} : \underline{-0.64} \text{ MPa}$$

Onde:

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

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

Sendo:

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

$$\mathbf{V_{x,Sd}} : \underline{0.27} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{S_y} : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

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

$$\mathbf{I_y} : \underline{126.00} \text{ cm}^4$$

t: Espessura.

$$\mathbf{t} : \underline{7.10} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:

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

$$\mathbf{V_{y,Sd}} : \underline{0.12} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{S_x} : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

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

$$\mathbf{I_x} : \underline{939.00} \text{ cm}^4$$

t: Espessura.

t : 7.10 mm

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

τ_{Tsd} : -0.64 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 : 4.34 cm⁴

t: Espessura.

t : 7.10 mm

As tensões totais f_{sd} são dadas por:

$$f_{sd} = \sqrt{\sigma_{sd}^2 + 3 \cdot \tau_{sd}^2}$$

f_{sd} : 75.46 MPa

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

σ_{Rd} : 113.63 MPa

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

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{a1}}$$

σ_{Rd} : 151.36 MPa

Onde:

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.50 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 normal:

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

σ_{Rd} : 113.63 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 : 0.751

Sendo:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_e}}$$

λ_0 : 0.828

$$\sigma_e = \frac{N_e}{Q \cdot A_g}$$

σ_e : 243.06 MPa

Onde:

N_e : Força axial de flambagem elástica.

N_e : 568.77 kN

Q: Fator de redução total associado à flambagem local

Q : 1.000

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

A_g : 23.40 cm²

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.50 MPa

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

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

$$\tau_{Rd} : \underline{89.92} \text{ MPa}$$

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

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

$$\tau_{Rd} : \underline{90.82} \text{ MPa}$$

Onde:

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

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:

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

$$\tau_{Rd} : \underline{89.92} \text{ MPa}$$

Onde:

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão

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

$$\chi : \underline{0.990}$$

Sendo:

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

$$\lambda_0 : \underline{0.154}$$

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

$$\tau_e : \underline{4204.02} \text{ MPa}$$

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

$$\sigma_E : \underline{3503.35} \text{ MPa}$$

Onde:

k_v : Coeficiente de flambagem

$$k_v : \underline{1.20}$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

ν : Coeficiente de Poisson.

$$\nu : \underline{0.30}$$

t : Espessura.

$$t : \underline{7.10} \text{ mm}$$

h : Largura.

$$h : \underline{51.00} \text{ mm}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

A tensão resistente de cálculo, f_{Rd} é dada por:

$$f_{Rd} = \frac{1.1 \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$f_{Rd} : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

Onde:

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

Verificação do Tirante
Perfil: T 50.80 x 4.76
Material: Aço (A-36 - Tensão de Projeto)

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)	x _q ⁽³⁾ (mm)	y _q ⁽³⁾ (mm)														
N2	N3	6.100	4.61	11.33	5.24	0.35	0.00	-10.94														
Notas:																						
(1) Inércia em relação ao eixo indicado																						
(2) Momento de inércia à torção uniforme																						
(3) Coordenadas do centro de gravidade																						
	Flambagem			Flambagem lateral																		
	Plano ZX		Plano ZY	Aba sup.		Aba inf.																
β	0.68		0.68	1.00		1.00																
L _K	4.132		4.121	6.100		6.100																
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 (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	NM _x M _y	T	NMVT	σ τ f	
N2/N3	N.A. ⁽¹⁾	x: 6.1 m η = 17.8	N.A. ⁽²⁾	x: 6.1 m η = 23.4	x: 6.1 m η = 14.8	η = 0.1	x: 6.1 m η = 0.7	x: 6.1 m η = 44.6	N.A. ⁽³⁾	N.A. ⁽⁴⁾	x: 6.1 m η = 0.9	PASSA η = 44.6

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 procede, já que não há força axial de compressão.

⁽²⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

⁽⁴⁾ 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:

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

 η : **0.178** ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.3·PP+CargaVerticalPrincipalZ.

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

N_{t,Sd} : 12.43 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} : 69.78 kN

Onde:

A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

A_g : 4.61 cm²

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.50 MPa

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

Resistência à flexão eixo X

Deve satisfazer:

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

η : 0.234 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.5·PP.

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

M_{Sd}⁺ : 0.17 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} : 0.71 kN·m

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo:

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

M_{Rd} : 0.71 kN·m

Onde:

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

W_x : 3.12 cm³

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.50 MPa

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

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

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot J}}{L_b} \cdot (B + \sqrt{1 + B^2}) \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

M_{Rd} : 0.73 kN·m

Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

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

I_y : 5.24 cm⁴

G: Módulo de elasticidade transversal do aço.

G : 77000 MPa

J: Constante de torção da seção transversal.

J : 0.35 cm⁴

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

L_{b,sup} : 6.100 m

$$B = -2.3 \cdot \frac{d}{L_b} \cdot \sqrt{\frac{I_y}{J}}$$



$$B : -0.07$$

Sendo:

d: Altura total da seção transversal.

$$d : 50.80 \text{ mm}$$

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

$$M_{pl} : 0.94 \text{ kN}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : 5.62 \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 166.50 \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

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

Não é necessária, já que as mesas não estão nem total nem parcialmente comprimidas.

Resistência à flexão eixo Y

Este caso não está contemplado na norma. Aplica-se o critério da CYPE Ingenieros baseado na norma ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Deve satisfazer:

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

$$\eta : 0.148 \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações PP+CargaHor.Principal01X.

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

$$M_{Sd}^+ : 0.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 0.47 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo:

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

$$M_{Rd} : 0.47 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_y : 2.06 \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 166.50 \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$5.34 \leq 13.17$$

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

$$M_{Rd} : 0.50 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Onde:

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

$$\lambda : \underline{5.34}$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

$$\mathbf{b_f} : \underline{50.80} \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$\mathbf{t_f} : \underline{4.76} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{13.17}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

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

$$\mathbf{M_{pl}} : \underline{0.55} \text{ kN}$$

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico.

$$\mathbf{Z_y} : \underline{3.33} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\mathbf{9.67} \leq \mathbf{38.82}$$

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

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{0.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{9.67}$$

Sendo:

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

$$\mathbf{h} : \underline{46.04} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$\mathbf{t_w} : \underline{4.76} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{38.82}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

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

$$\mathbf{M_{pl}} : \underline{0.55} \text{ kN}$$

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico.

$$\mathbf{Z_y} : \underline{3.33} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

**Resistência ao esforço cortante X**

Este caso não está contemplado na norma. Aplica-se o critério da CYPE Ingenieros baseado na norma ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Deve satisfazer:

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

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+CargaHor.Principal01X.

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

$$\mathbf{V_{Sd}} : \underline{0.01} \text{ kN}$$

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\mathbf{5.34 \leq 41.76}$$

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

$$\mathbf{V_{Rd}} : \underline{21.96} \text{ kN}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{5.34}$$

Sendo:

b_f: Largura das mesas.

$$\mathbf{b_f} : \underline{50.80} \text{ mm}$$

t_f: Espessura das mesas.

$$\mathbf{t_f} : \underline{4.76} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{41.76}$$

Sendo:

k_v: Coeficiente de flambagem.

$$\mathbf{k_v} : \underline{1.20}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.50} \text{ MPa}$$

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

$$\mathbf{V_{pl}} : \underline{24.16} \text{ kN}$$

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

$$\mathbf{A_w} = b_f \cdot t_f$$

$$\mathbf{A_w} : \underline{2.42} \text{ cm}^2$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

Resistência ao esforço cortante Y

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.5·PP.

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

V_{Sd} : 0.16 kN

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

$$10.67 \leq 41.76$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

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

V_{Rd} : 21.96 kN

Onde:

$$\lambda = \frac{d}{t_w} \leq 260$$

λ : 10.67

Sendo:

d: Altura total da seção transversal.

d : 50.80 mm

t_w: Espessura da alma.

t_w : 4.76 mm

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

λ_p : 41.76

Sendo:

k_v: Coeficiente de flambagem.

k_v : 1.20

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.50 MPa

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

V_{pl} : 24.16 kN

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

A_w : 2.42 cm²

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

Resistência ao esforço axial e flexão combinados

Este caso não está contemplado na norma. Aplica-se o critério da CYPE Ingenieros baseado na norma ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Deve satisfazer:

$$\eta \leq 1$$

η : 0.446 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.3·PP+CargaVerticalPrincipalZ+CargaHor.Principal01X.



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

$$\mathbf{N_{t,Sd}} : \underline{12.43} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{M_{x,Sd}} : \underline{0.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\mathbf{M_{y,Sd}} : \underline{0.07} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\mathbf{0.178 < 0.200}$$

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

$$\eta : \underline{0.446}$$

Onde:

N_{t,Rd}: Força axial resistente de cálculo de tração (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.2).

$$\mathbf{N_{t,Rd}} : \underline{69.78} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{M_{x,Rd}} : \underline{0.71} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M_{y,Rd}} : \underline{0.47} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistência a interações de esforços e momento de torção

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.009} \checkmark$$

O coeficiente de aproveitamento desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.3·PP+CargaHor.Principal01X no ponto da seção transversal de coordenadas X = 0.00 mm, Y = 0.29 mm em relação ao centro de gravidade.

As tensões tangenciais τ_{Sd} são dadas por:

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

$$\tau_{Sd} : \underline{0.82} \text{ MPa}$$

Onde:

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

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

Sendo:

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

$$\mathbf{V_{x,Sd}} : \underline{0.01} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{S_y} : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

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

$$\mathbf{I_y} : \underline{5.24} \text{ cm}^4$$

t: Espessura.

$$\mathbf{t} : \underline{4.76} \text{ mm}$$

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

$$\tau_{V_{y,Sd}} : \underline{0.82} \text{ MPa}$$

Sendo:

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

$$\mathbf{V_{y,Sd}} : \underline{0.14} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{S_x} : \underline{3.19} \text{ cm}^3$$

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

$$\mathbf{I_x} : \underline{11.33} \text{ cm}^4$$

t: Espessura.

t : 4.76 mm

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

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 : 0.35 cm⁴

t: Espessura.

t : 4.76 mm

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

τ_{Rd} : 89.02 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} : 90.82 MPa

Onde:

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.50 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} : 89.02 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 : 0.980

Sendo:

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

λ_0 : 0.218

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

τ_e : 2096.30 MPa

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

σ_E : 1746.91 MPa

Onde:

k_v : Coeficiente de flambagem.

k_v : 1.20

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

ν : Coeficiente de Poisson.

ν : 0.30

t: Espessura.

t : 4.76 mm

h: Largura.

h : 48.42 mm

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.50 MPa

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10



CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conforme exposto neste memorial, as estruturas aqui descritas foram avaliadas, dimensionadas e consideradas estruturalmente aptas a suportar os esforços aplicados, desde que esses não ultrapassem o valor de referência de 125 kgf (capacidade do equipamento de elevação).

Nenhum item do sistema deve ser inserido, retirado ou modificado, sem autorização expressa da SIAOTECH, o que resultará na invalidação deste memorial e sua ART.

Atenciosamente,

Luís Eduardo Wiechoreck
Engenheiro Mecânico
CREA RS2211066380
Responsável Técnico

Robson Monteiro
Técnico Mecânico
CPF: 02310390041



Tipo: OBRA OU SERVIÇO Participação Técnica: INDIVIDUAL/PRINCIPAL
Convênio: NÃO É CONVÊNIO 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: VOESTALPINE MEINCOL S/A E-mail: carina.scariott@voestalpine.com
Endereço: ESTRADA PAOLO RADAELLI Telefone: (54) 3220 9002 CPF/CNPJ: 88.614.342/0001-42
Cidade: CAXIAS DO SUL Bairro: FORQUETA CEP: 95115700 UF: RS

Identificação da Obra/Serviço

Proprietário: VOESTALPINE MEINCOL S/A
Endereço da Obra/Serviço: Estrada PAOLO RADAELLI CPF/CNPJ: 88614342000142
Cidade: CAXIAS DO SUL Bairro: FORQUETA CEP: 95115700 UF: RS
Finalidade: INDUSTRIAL Vlr Contrato(R\$): 850,00 Honorários(R\$):
Data Início: 02/04/2024 Prev.Fim: 04/04/2024 Ent.Classe:

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Projeto e Execução	Equipamentos Industriais	1,00	UN
Projeto e Execução	BRAÇO GIRATÓRIO PARA ELEVAÇÃO DE CARGA 125 KGF		

ART registrada (paga) no CREA-RS em 02/04/2024

Caxias do Sul - 02/04/2024 Local e Data	Declaro serem verdadeiras as informações acima LUÍS EDUARDO WIECHORECK Profissional	De acordo Contratante
--	---	------------------------------

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