



SIAOTECH

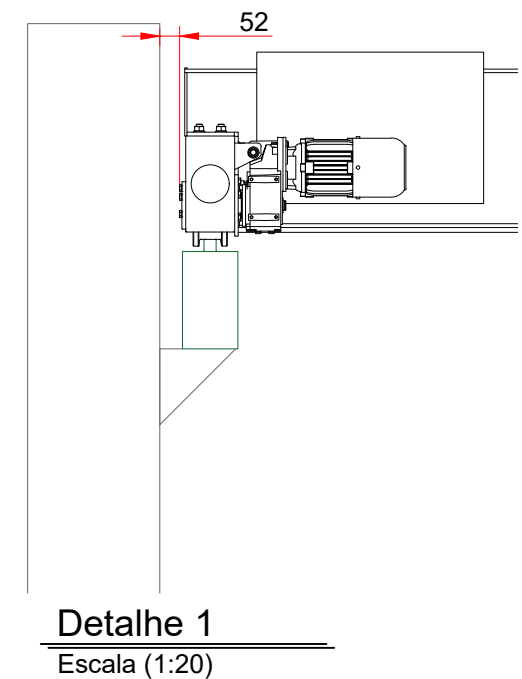
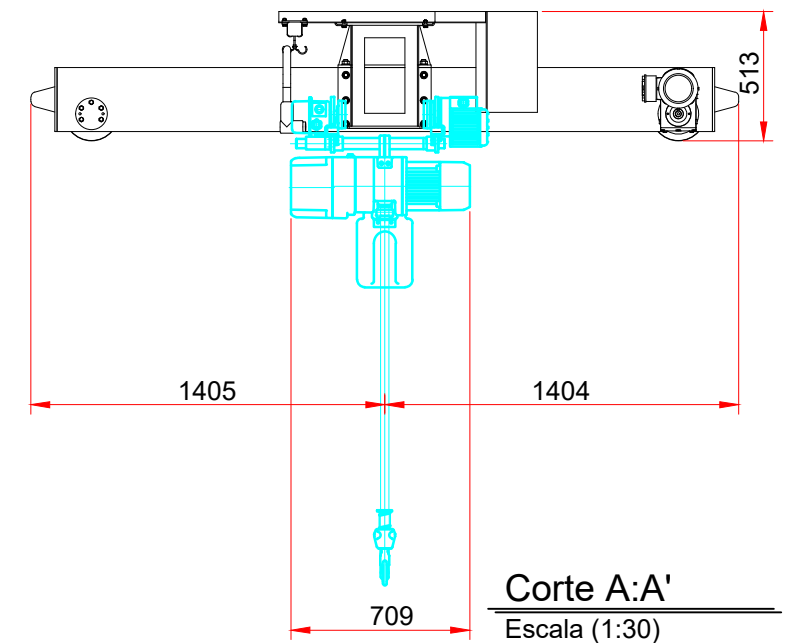
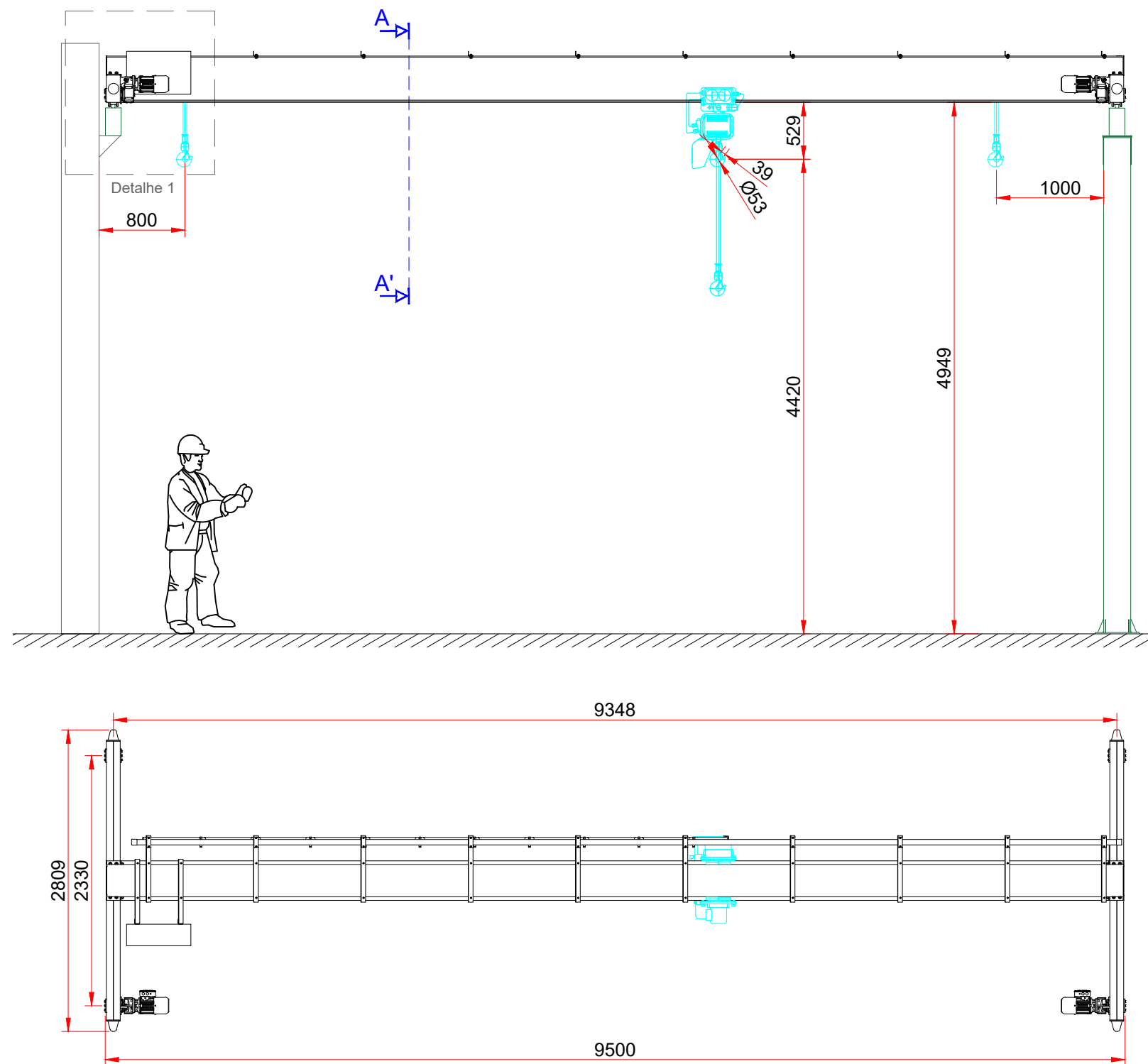


2025

PROJETO: PONTE ROLANTE 2TON

CLIENTE: SERVITEC

www.siaotech.com



Dados Técnicos:

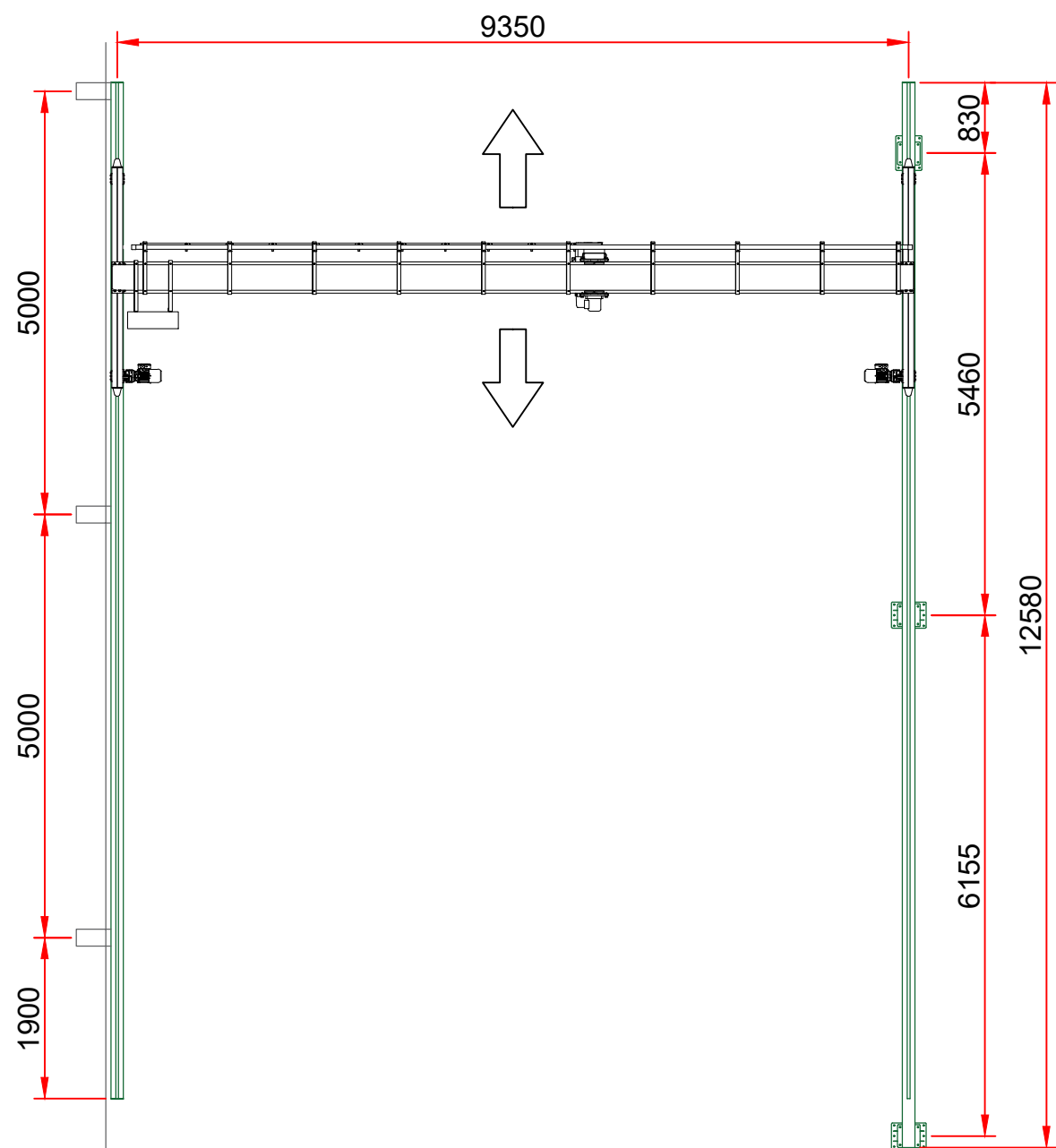
Capacidade da Ponte Rolante..... : 2,0 Ton
 Velocidade de Içamento..... : 5,2 e 0,9 m/min
 Velocidade de Deslocamento Lateral..... : 24 e 2,4 m/min
 Velocidade de Deslocamento..... : 25 e 7,6 m/min
 Peso Total da Ponte e Acessórios..... : 1800 Kg
 Comprimento do Caminho de Rolamento.. : 12,58 m
 Vão..... : 9,348 m

PONTE ROLANTE 2 ton

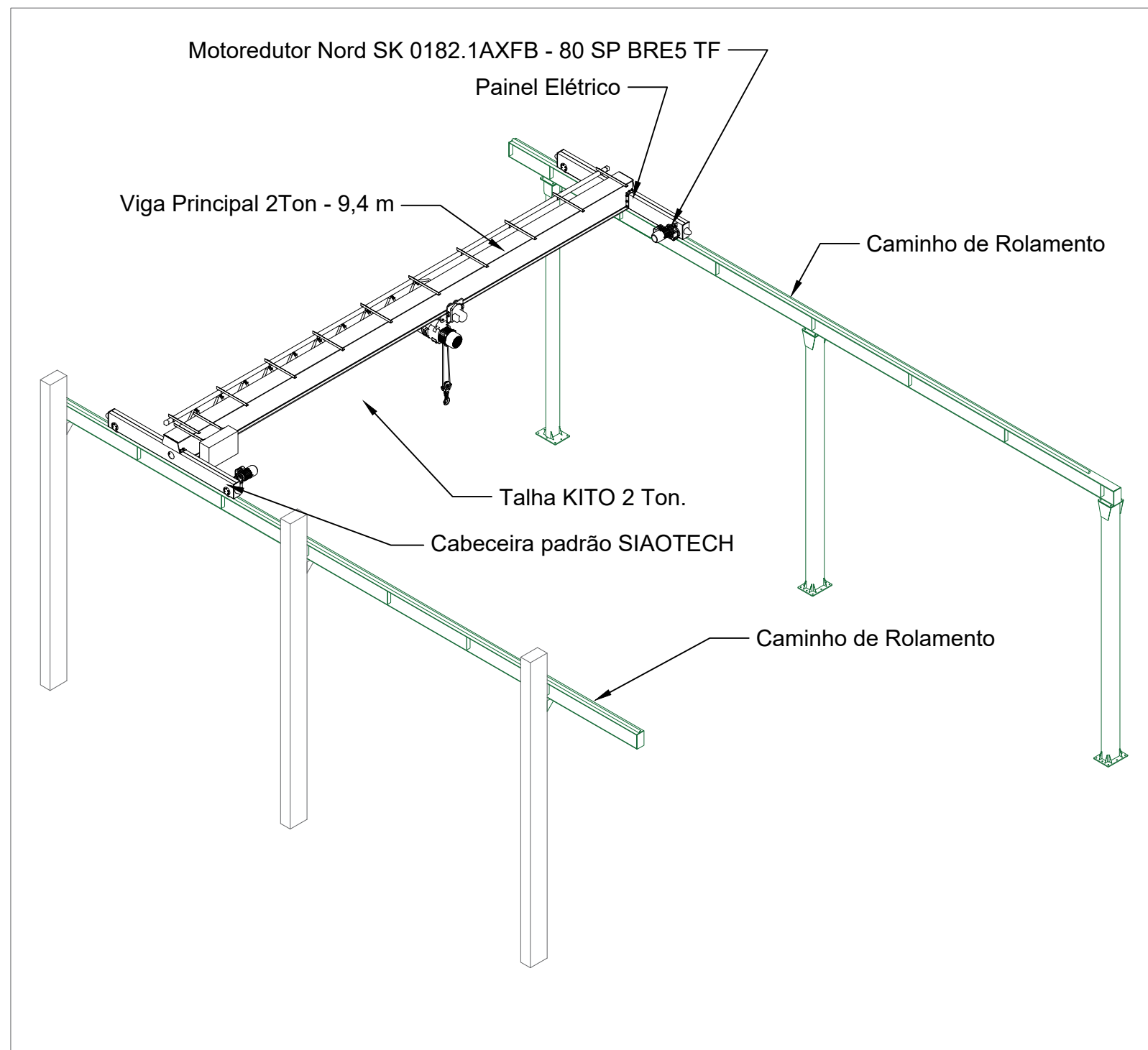
Escala (1:50)

02			
01			
00	30/04/25	Eduardo	Emissão inicial
REV.	DATA	DES.	DESCRICAO

	CLIENTE: SERVITEC DINAMOMETRO Caxias do Sul / RS	
	TÍTULO: Ponte Rolante 2 Ton	
DESENHISTA: EDUARDO W.	ENGENHEIRO RESPONSÁVEL: LUÍS EDUARDO WIECHORECK CREA 2211066380	
DATA: 30/04/2025	NÚMERO DO PROJETO: PR 25 04 033	FOLHA: 1/3
REVISADO:		



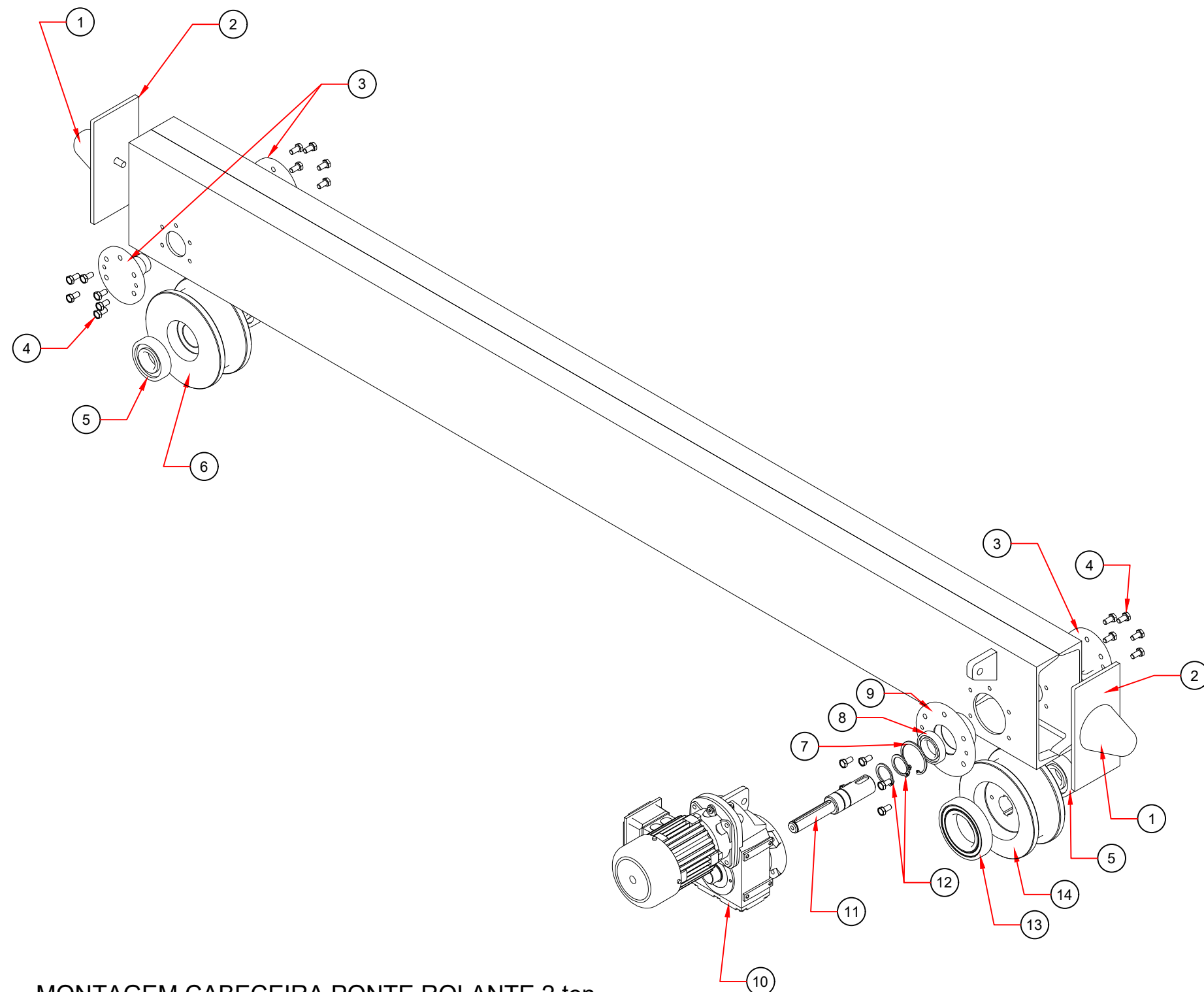
ALOCÇÃO PONTE ROLANTE 2 ton
Escala (1:80)



PONTE ROLANTE 2 ton
Escala (1:80)

02			
01			
00	02/12/24	Eduardo	Emissão inicial
REV.	DATA	DES.	DESCRICAO

	CLIENTE: SERVITEC DINAMOMETRO Caxias do Sul / RS		
	TÍTULO: Ponte Rolante 2 Ton		
DESENHISTA: EDUARDO W.	ENGENHEIRO RESPONSÁVEL: LUÍS EDUARDO WIECHORECK CREA 2211066380		FOLHA: 2/3
DATA: 30/04/2025	NÚMERO DO PROJETO: PR 25 04 033		
REVISADO:			

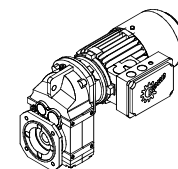
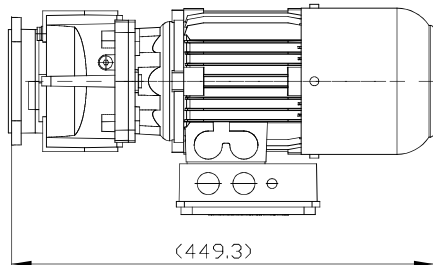
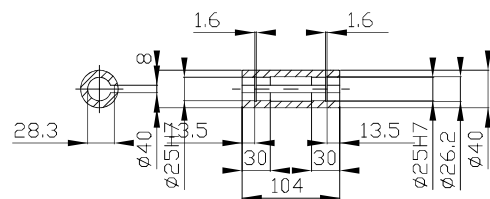
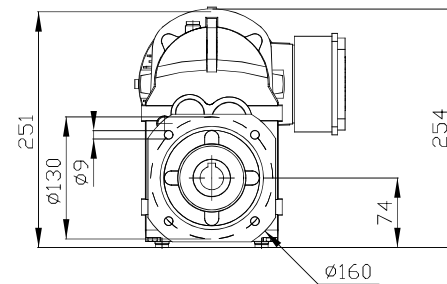
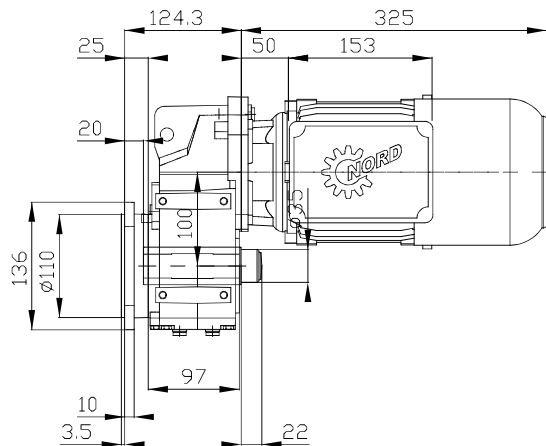
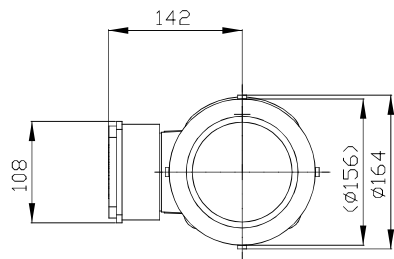


Item	Descrição
01	Batente
02	Chapa Batente
03	Flange Livre
04	Parafuso M10
05	Rolamento de Esferas SKF - 6308
06	Roda Livre
07	Anel Elástico
08	Rolamento de Esferas SKF - 6008
09	Flange de Tração
10	Moto Redutor
11	Eixo Redutor
12	Anel Elástico
13	Rolamento de Esferas SKF - 6215
14	Roda Tração

MONTAGEM CABECEIRA PONTE ROLANTE 2 ton
Escala (1:10)

02			
01			
00	02/12/24	Eduardo	Emissão inicial
REV.	DATA	DES.	DESCRICAO

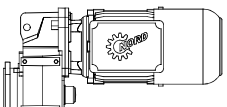
	CLIENTE:		
	SERVITEC DINAMOMETRO Caxias do Sul / RS		
		TÍTULO:	
		Ponte Rolante 2 Ton	
DESENHISTA: EDUARDO W.		ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:	
DATA: 30/04/2025		LUÍS EDUARDO WIECHORECK CREA 2211066380	
REVISADO:		NÚMERO DO PROJETO:	FOLHA:
		PR 25 04 033	3/3

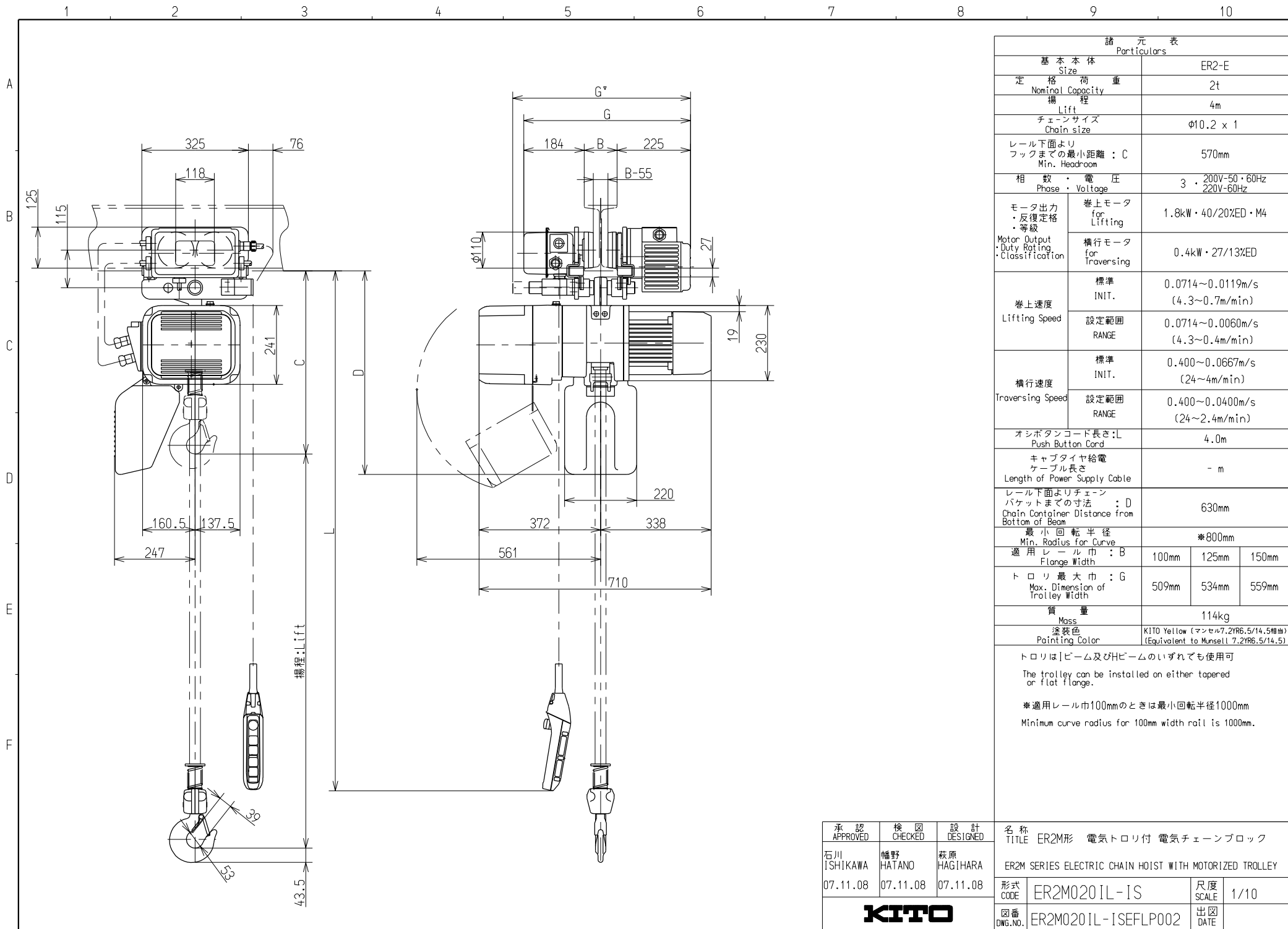


Furo de centragem - DIN 332 Teil 2

General tolerances DIN ISO 8062-3 - DCTG 9-12

Este desenho foi criado com NORDCAD 9.3.2.2 Desktop Não utilizado. - Reservados os direitos de alterações técnicas!

Einbaulage/Mounting Pos.: M1		Angewandte Normen		Applied Standards		Getriebebau NORD GmbH & Co. KG Getriebebau-Nord-Straße 1 D-22941 Burgsteheide Tel. 04530/289-0 - Fax 04530/289-2850 - www.nord.com				Observe protection note according to ISO 16016		Scale: 1:1		Format: A3		Page 1 of 1			
		Vollwellen bis Ø50 nach ISO k6 Vollwellen über Ø50 nach ISO m6 Hohlwellen nach ISO H7 Passfedern nach DIN6885 Zentriergewinde nach DIN 332/2 Flanschzentrierung bis Ø230 nach ISO j6 Flanschzentrierung über Ø230 nach ISO h6		Shafts up to Ø50 according to ISO k6 Shafts above Ø50 according to ISO m6 Hollow shafts according to ISO H7 Keyways according to DIN 6885 Center Hole Thread according to DIN 332/2 Flange centering up to Ø230 according to ISO j6 Flange centering above Ø230 according to ISO h6						Date 20.02.2025		Name Soares		Status: SK 0182.1AXFB - 80 SP BRE5 TF					
										Check.				Flange: AXF / Brake series: BR55MH					
												Unmachined-No./Pre-fab-No.:		Documentnumber:				Revision	
Motor:		Skizze / Outline:				Rev.		Change		Date		Name		T-Task:					



諸 元 表 Particulars			
基 本 本 体 Size		ER2-E	
定 格 荷 重 Nominal Capacity		2t	
揚 程 Lift		4m	
チェーンサイズ Chain size		φ10.2 × 1	
レール下面より フックまでの最小距離 : C Min. Headroom		570mm	
相 数 ・ 電 圧 Phase ・ Voltage		3 ・ 200V-50・60Hz 220V-60Hz	
モータ出力 ・反復定格 ・等級 Motor Output ・Duty Rating ・Classification	巻上モータ for Lifting	1.8kW・40/20%ED・M4	
	横行モータ for Traversing	0.4kW・27/13%ED	
巻上速度 Lifting Speed	標準 INIT.	0.0714~0.0119m/s (4.3~0.7m/min)	
	設定範囲 RANGE	0.0714~0.0060m/s (4.3~0.4m/min)	
横行速度 Traversing Speed	標準 INIT.	0.400~0.0667m/s (24~4m/min)	
	設定範囲 RANGE	0.400~0.0400m/s (24~2.4m/min)	
押しボタンコード長さ:L Push Button Cord		4.0m	
キャブタイヤ給電 ケーブル長さ Length of Power Supply Cable		- m	
レール下面よりチェーン バケットまでの寸法 : D Chain Container Distance from Bottom of Beam		630mm	
最小回転半径 Min. Radius for Curve		※800mm	
適用レール巾 : B Flange Width		100mm	125mm 150mm
トロリ最大巾 : G Max. Dimension of Trolley Width		509mm	534mm 559mm
質 量 Mass		114kg	
塗装色 Painting Color		KITO Yellow (マンセル7.2YR6.5/14.5相当) (Equivalent to Munsell 7.2YR6.5/14.5)	
トロリは]ビーム及びHビームのいずれでも使用可 The trolley can be installed on either tapered or flat flange. ※適用レール巾100mmのときは最小回転半径1000mm Minimum curve radius for 100mm width rail is 1000mm.			

承認 APPROVED	検図 CHECKED	設計 DESIGNED	名称 TITLE ER2M形 電気トロリ付 電気チェーンブロック			
石川 ISHIKAWA	幡野 HATANO	萩原 HAGIHARA	ER2M SERIES ELECTRIC CHAIN HOIST WITH MOTORIZED TROLLEY			
07.11.08	07.11.08	07.11.08	形式 CODE	ER2M020IL-IS	尺度 SCALE	1/10
KITO			図番 DWG.NO.	ER2M020IL-ISEFLP002	出図 DATE	

三角法 単位:mm
UNIT:mm

2025



SIAOTECH

Relatório Conformidade Mecânica

SERVITEC DINAMOMETRO

Caxias do Sul/RS

Ponte Rolante 2 TON – 9,4 metros

	REV. 00	REV. 01	REV. 02	REV. 03	REV. 04	REV. 05
DATA	29/04/2025					
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	19
Verificação da Viga de Rolamento	28
Verificação da Coluna	41
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	50

IDENTIFICAÇÃO DA CONTRATANTE**SERVITEC DINAMOMETRO****CNPJ:** 92.304.948/0001-59**IDENTIFICAÇÃO DO LOCAL DO SERVIÇO****SERVITEC DINAMOMETRO****CNPJ:** 92.304.948/0001-59**ENDEREÇO DA OBRA:**

Rodovia RSC-453, 3835 – São Giacomo

Cidade: Caxias do Sul - RS

CEP 95112-360

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Luís Eduardo Wiechoreck

*Engenheiro Mecânico**Engenheiro de Segurança do Trabalho*

CREA RS2211066380

SISTEMA: [PR 25 04 033 - SIAOTECH_SERVITEC - Ponte Rolante 2 Ton. 9.5 metros](#)**ART Nr.:** [13761235](#)



OBJETIVO

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

ESCOPO

Fazem parte deste relatório a ponte rolante com capacidade de 2 toneladas e a estrutura metálica do caminho de rolamento.

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

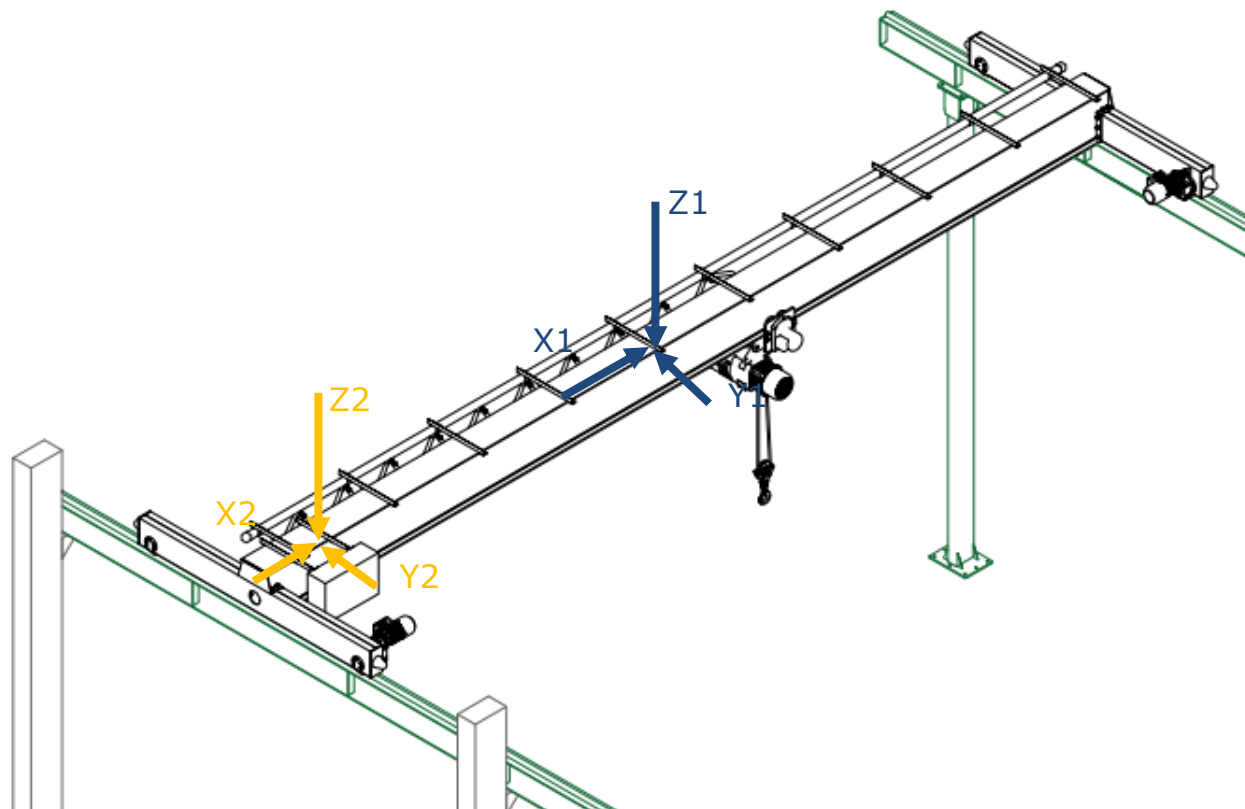
ASTM A572 - Standard specification for high-strength low-alloy columbium-vanadium structural steel

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 = 27,9 kN

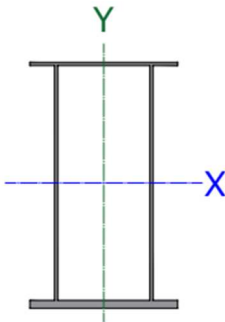
Valores de carga horizontais em função de aceleração ao longo da viga e rotação da mesma (estimado em considerando velocidade baixa/moderada menor que 0,25 m/s e aceleração em $0,078 \text{ m/s}^2$) = 2 kN

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

Perfil: 420X300X9.52X4.8 mm (Espaç. entre enrijecedores: 800 mm. Espessura: 5 mm)
Material: Aço (A36 - Tensão de Projeto 166,7 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	9.348	95.50	29175.49	12662.39	25203.92
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
	L _K		9.348	9.348		9.348
	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: 0.01 m λ ≤ 200.0 Passa	x: 0 m η = 0.1	x: 4.675 m η = 0.1	x: 4.674 m η = 32.1	x: 4.674 m η = 5.4	x: 0 m η = 0.4	x: 0 m η = 9.2	x: 4.675 m η = 37.5	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	x: 0 m η = 13.9	PASSA η = 37.5

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.

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.

$$\lambda \leq 200$$

$$\lambda : \underline{81.2} \quad \checkmark$$

Onde:

λ: Índice de esbeltez.

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

Sendo:

$$\lambda_x : \underline{53.5}$$

$$\lambda_y : \underline{81.2}$$

$K_x \cdot L_x$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. $K_x \cdot L_x$: 9.348 m
 $K_y \cdot L_y$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. $K_y \cdot L_y$: 9.348 m
 r_x, r_y : Raios de giração em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente. r_x : 17.48 cm
 r_y : 11.52 cm

Resistência à tração

Deve satisfazer:

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

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações PP+X2.

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

$$N_{t,Sd} : \underline{2.00} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{t,Rd} : \underline{1447.20} \text{ kN}$$

Onde:

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{95.50} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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 4.675 m do nó N1, para a combinação de ações PP+X1.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{1.00} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{1017.64} \text{ kN}$$

Onde:

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

$$\chi : \underline{0.819}$$

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{0.859}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{95.50} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

Fator de redução χ :

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

χ : 0.819

Onde:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido.

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

λ_0 : 0.691

Sendo:

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

Q : 0.859

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

A_g : 95.50 cm²

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

N_e : Força axial de flambagem elástica.

N_e : 2860.28 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 : 2860.28 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} : 6590.38 kN

Onde:

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

$K_x \cdot L_x$: 9.348 m

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

I_x : 29175.49 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} : 2860.28 kN

Onde:

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

$K_y \cdot L_y$: 9.348 m

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

I_y : 12662.39 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} : 442970.08 kN

Onde:

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

$$K_z \cdot L_z : \underline{9.348} \text{ m}$$

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.

$$J : \underline{25203.92} \text{ cm}^4$$

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

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

$$r_o : \underline{20.93} \text{ cm}$$

Onde:

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

$$r_x : \underline{17.48} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{11.52} \text{ cm}$$

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:

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:

$$Q = Q_a$$

$$Q : \underline{0.859}$$

Onde:

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

$$Q_a : \underline{0.859}$$

Sendo:

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{95.50} \text{ cm}^2$$

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

$$A_{ef} : \underline{82.03} \text{ cm}^2$$

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

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

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

$$29.58 \leq 51.61$$

Sendo:

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

$$(b/t) : \underline{29.58}$$

Onde:

b: Largura.

$$b : \underline{281.00} \text{ mm}$$

t: Espessura.

$$t : \underline{9.50} \text{ mm}$$

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.

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

$$85.50 > 51.61$$

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

$$b_{ef} : \underline{270.08} \text{ mm}$$

Sendo:

(b/t): Relação entre largura e espessura.**(b/t)** : 85.50

Onde:

b: Largura.**b** : 410.40 mm**t**: Espessura.**t** : 4.80 mm**E**: Módulo de elasticidade do aço.**E** : 200000 MPa**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 166.70 MPa**C_a**: Coeficiente para mesas ou almas de seções tubulares retangulares.**C_a** : 0.38**Resistência à flexão eixo X**

Deve satisfazer:

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

 η : 0.321 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 4.674 m do nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+Z1.

M_{sd}⁺: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.**M_{sd}⁺** : 75.65 kN·mJá que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta**83.54** ≤ **197.43**

Onde:

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

 λ : 83.54

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.**h** : 401.00 mm**t_w**: Espessura da alma.**t_w** : 4.80 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} : 235.78 kN·m

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo

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

M_{Rd} : 315.82 kN·m

Onde:

W_x: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.**W_x** : 1389.31 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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$81.18 \leq 155.52$$

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

$$M_{Rd} : \underline{235.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{81.18}$$

Sendo:

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

$$L_{b,sup} : \underline{9.348} \text{ m}$$

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

$$r_y : \underline{11.52} \text{ cm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{155.52}$$

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

J : Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{25203.92} \text{ cm}^3$$

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{95.50} \text{ cm}^2$$

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

$$M_{pl} : \underline{259.36} \text{ kN}$$

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{1555.85} \text{ cm}^3$$

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$30.57 \leq 38.79$$

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

$$M_{Rd} : \underline{235.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{30.57}$$

Sendo:

b_f : Largura da parte plana das mesas.

$$b_f : \underline{290.40} \text{ mm}$$

t_f : Espessura da mesa comprimida.

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

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

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

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} : 259.36 kN

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

Z_x : 1555.85 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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

83.54 ≤ 130.24

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

M_{Rd} : 235.78 kN·m

Onde:

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

λ : 83.54

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

h : 401.00 mm

t_w: Espessura da alma.

t_w : 4.80 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} : 259.36 kN

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

Z_x : 1555.85 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 : 0.054 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 4.674 m do nó N1, para a combinação de ações PP+Y1.

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

M_{sd}⁻ : 4.67 kN·m

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

$$30.57 \leq 197.43$$

Onde:

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

$$\lambda : 30.57$$

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

$$h : 290.40 \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

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

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

$$\lambda_r : 197.43$$

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:

$$M_{Rd} : 87.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo

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

$$M_{Rd} : 191.89 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_y : 844.16 \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

(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

$$\lambda > \lambda_r$$

$$83.54 > 48.49$$

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

$$M_{Rd} : 87.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : 83.54$$

Sendo:

b_f: Largura da parte plana das mesas.

$$b_f : 401.00 \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : 4.80 \text{ mm}$$

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

$$\lambda_r : 48.49$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_{cr} : \underline{95.87 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

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 .

$$W_{ef,y} : \underline{696.78 \text{ cm}^3}$$

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

$$W_y : \underline{844.16 \text{ cm}^3}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_{pl} : \underline{165.98 \text{ kN}}$$

Onde:

Z_y : Módulo de resistência plástico.

$$Z_y : \underline{995.70 \text{ cm}^3}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$30.57 \leq 130.24$$

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

$$M_{Rd} : \underline{150.89 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{30.57}$$

Sendo:

h : Altura da parte plana das almas.

$$h : \underline{290.40 \text{ mm}}$$

t_w : Espessura da alma.

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

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

$$\lambda_p : \underline{130.24}$$

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_{pl} : \underline{165.98 \text{ kN}}$$

Onde:

Z_y : Módulo de resistência plástico.

$$Z_y : \underline{995.70 \text{ cm}^3}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

Resistência ao esforço cortante X

Deve satisfazer:

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

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações PP+Y2.

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

V_{Sd} : 2.00 kN

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

$$30.57 \leq 85.20$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

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

V_{Rd} : 501.70 kN

Onde:

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

λ : 30.57

Sendo:

b_f: Largura da parte plana das mesas.

b_f : 290.40 mm

t_f: Espessura das mesas.

t_f : 9.50 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} : 551.87 kN

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

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

A_w : 55.18 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 : 0.092 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+Z2.

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

V_{Sd} : 32.34 kN

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$83.54 \leq 85.20$$

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

$$V_{Rd} : \underline{350.03} \text{ kN}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{83.54}$$

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

$$h : \underline{401.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{4.80} \text{ mm}$$

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

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

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.

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

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

$$V_{pl} : \underline{385.04} \text{ kN}$$

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

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

$$A_w : \underline{38.50} \text{ cm}^2$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

Resistência ao esforço axial e flexão combinados

Deve satisfazer:

$$\eta \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.375} \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 4.675 m do nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+Z1+X1+Y1.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{1.00} \text{ kN}$$

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

$$M_{x,Sd}^+ : \underline{75.63} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{y,Sd}^- : \underline{4.67} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$0.001 < 0.200$$

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

$$\eta : \underline{0.375}$$

Onde:

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

$$\mathbf{N_{c,Rd}} : \underline{1017.64} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{M_{x,Rd}} : \underline{235.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M_{y,Rd}} : \underline{87.16} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistência à torção

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

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

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

Resistência a interações de esforços e momento de torção

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.139} \checkmark$$

O coeficiente de aproveitamento desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+Z2+Y2 no ponto da seção transversal de coordenadas X = 147.60 mm, Y = 0.00 mm em relação ao centro de gravidade.

As tensões tangenciais τ_{Sd} são dadas por:

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

$$\tau_{Sd} : \underline{-8.98} \text{ MPa}$$

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.

$$\mathbf{V_{x,Sd}^+} : \underline{2.00} \text{ kN}$$

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

$$\tau_{V_{y,Sd}} : \underline{-8.98} \text{ MPa}$$

Sendo:

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

$$\mathbf{V_{y,Sd}^-} : \underline{32.34} \text{ kN}$$

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

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

Sendo:

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

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

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

$$\tau_{Rd} : \underline{64.80} \text{ MPa}$$

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

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

$$\tau_{Rd} : \underline{90.93 \text{ MPa}}$$

Onde:

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

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

$$\tau_{Rd} : \underline{64.80 \text{ MPa}}$$

Onde:

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão

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

$$\chi : \underline{0.713}$$

Sendo:

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

$$\lambda_0 : \underline{0.900}$$

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

$$\tau_e : \underline{123.58 \text{ MPa}}$$

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

$$\sigma_E : \underline{24.72 \text{ MPa}}$$

Onde:

k_v : Coeficiente de flambagem

$$k_v : \underline{5.00}$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

ν : Coeficiente de Poisson.

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

t : Espessura.

$$t : \underline{4.80 \text{ mm}}$$

h : Largura.

$$h : \underline{410.50 \text{ mm}}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

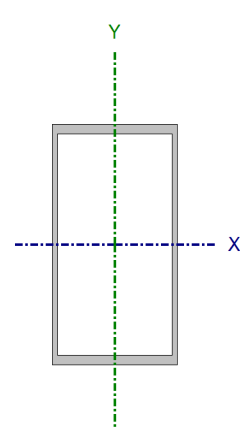
$$f_y : \underline{166.70 \text{ MPa}}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

Verificação da Viga da Cabeceira

Perfil: C10X15.3, Caixa dupla soldada (Cordão contínuo)
Material: Aço (A36 - Tensão de Projeto 166.7 MPa)



Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I _x ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm⁴)
N1	N3	1.165	57.81	5602.47	1630.45	3668.23
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	1.165	1.165	1.165	1.165		
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/N3	N.A. ⁽¹⁾	η = 0.3	N.A. ⁽²⁾	x: 1.165 m η = 38.4	x: 1.165 m η = 8.6	η = 1.3	x: 0 m η = 10.2	x: 1.165 m η = 41.7	N.A. ⁽³⁾	N.A. ⁽⁴⁾	x: 0 m η = 11.8	PASSA η = 41.7

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 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 flexão eixo X

Deve satisfazer:

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

η : **0.384** ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.3·PP+Z2.

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

M_{Sd}⁺ : 30.20 kN·m

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

38.03 ≤ **197.43**

Onde:

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

λ : 38.03

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

h : 231.85 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} : 78.68 kN·m

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo:

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

M_{Rd} : 99.97 kN·m

Onde:

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

W_x : 439.78 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-limite último de flambagem lateral com torção, FLT

$$\lambda \leq \lambda_p$$

22.46 ≤ **138.00**

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

M_{Rd} : 78.68 kN·m

Onde:

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

λ : 22.46

Sendo:

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

L_{b,sup} : 1.165 m

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

r_y : 5.19 cm

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

λ_p : 138.00

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

J: Constante de torção da seção transversal.

J: 3668.23 cm⁴

A: Área bruta da seção transversal da barra.

A: 57.52 cm²

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

M_{pl}: 86.55 kN

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

Z_x: 519.17 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-limite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$10.83 \leq 38.79$$

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

M_{Rd}: 78.68 kN·m

Onde:

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

λ: 10.83

Sendo:

b_f: Largura da parte plana das mesas.

b_f: 119.89 mm

t_f: Espessura da mesa comprimida.

t_f: 11.07 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}: 86.55 kN

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

Z_x: 519.17 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:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$38.03 \leq 130.24$$

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

M_{Rd}: 78.68 kN·m

Onde:

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

λ: 38.03

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

h: 231.85 mm

t_w: Espessura da alma.

t_w: 6.10 mm

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

$$\lambda_p : \underline{130.24}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$\mathbf{M_{pl}} : \underline{86.55} \text{ kN}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

$$\mathbf{Z_x} : \underline{519.17} \text{ cm}^3$$

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 flexão eixo Y

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.086} \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações PP+X1+Y1.

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

$$\mathbf{M_{Sd}} : \underline{3.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\mathbf{10.83 \leq 197.43}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{10.83}$$

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

$$\mathbf{h} : \underline{119.89} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$\mathbf{t_w} : \underline{11.07} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_r : \underline{197.43}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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:

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{41.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo

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

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{53.28} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

W_y : 234.37 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-limite último de flambagem lateral com torção, FLT

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

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$38.03 \leq 38.79$$

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

$$M_{Rd} : \underline{41.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{38.03}$$

Sendo:

b_f: Largura da parte plana das mesas.

b_f : 231.85 mm

t_f: Espessura da mesa comprimida.

t_f : 6.10 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

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

$$M_{pl} : \underline{45.79} \text{ kN}$$

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico.

Z_y : 274.66 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:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$10.83 \leq 130.24$$

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

$$M_{Rd} : \underline{41.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{10.83}$$

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

h : 119.89 mm

t_w: Espessura da alma.

t_w : 11.07 mm

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

$$\lambda_p : \underline{130.24}$$

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} : 45.79 kN

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico.**Z_y** : 274.66 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:

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

η : 0.013 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+X1+Y1.

V_{Sd}: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.**V_{Sd}** : 3.06 kNA força cortante resistente de cálculo, **V_{Rd}**, é determinada pela expressão:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

10.83 ≤ **85.20**

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

V_{Rd} : 241.45 kN

Onde:

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

λ : 10.83

Sendo:

b_f: Largura da parte plana das mesas.**b_f** : 119.89 mm**t_f**: Espessura das mesas.**t_f** : 11.07 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} : 265.59 kN

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

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

$$A_w : 26.55 \text{ cm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

Resistência ao esforço cortante Y

Deve satisfazer:

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

$$\eta : 0.102 \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+Z2.

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

$$V_{Sd} : 26.26 \text{ kN}$$

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$38.03 \leq 85.20$$

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

$$V_{Rd} : 257.03 \text{ kN}$$

Onde:

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

$$\lambda : 38.03$$

Sendo:

h : Altura da parte plana das almas.

$$h : 231.85 \text{ mm}$$

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.

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

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

$$V_{pl} : 282.73 \text{ kN}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

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

$$A_w : 28.27 \text{ cm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

Resistência ao esforço axial e flexão combinados

Deve satisfazer:

$$\eta \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.417} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.3·PP+Z2+X2+Y2.

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

$$\mathbf{N_{t,Sd}} : \underline{2.21} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{M_{x,Sd}^+} : \underline{30.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\mathbf{M_{y,Sd}^-} : \underline{1.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\mathbf{0.003} < \mathbf{0.200}$$

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

$$\eta : \underline{0.417}$$

Onde:

N_{t,Rd}: Força axial resistente de cálculo de tração.

$$\mathbf{N_{t,Rd}} : \underline{871.71} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{M_{x,Rd}} : \underline{78.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M_{y,Rd}} : \underline{41.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistência a interações de esforços e momento de torção

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.118} \quad \checkmark$$

O coeficiente de aproveitamento desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+Z2+X2 no ponto da seção transversal de coordenadas X = 62.99 mm, Y = 0.00 mm em relação ao centro de gravidade.

As tensões tangenciais τ_{Sd} são dadas por:

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

$$\tau_{Sd} : \underline{-10.00} \text{ MPa}$$

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.

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

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

$$\tau_{V_{y,Sd}} : \underline{-10.00} \text{ MPa}$$

Sendo:

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

$V_{y,sd}$: 26.26 kN

$\tau_{Ts,d}$: Tensão tangencial devida ao momento torsor.

$\tau_{Ts,d}$: 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} : 84.48 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} : 84.48 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 : 0.929

Sendo:

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

λ_0 : 0.419

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

τ_e : 569.14 MPa

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

σ_E : 113.83 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 : 242.93 mm

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

Verificação da Viga de Rolamento
Perfil: W 250 x 32.7
Material: Aço (A-36 250Mpa)

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas											
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm4)	I _y ⁽¹⁾ (cm4)	I _t ⁽²⁾ (cm4)								
N3	N4	1.900	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	2.00	2.00	2.00		2.00									
L _K	3.800	3.800	3.800		3.800									
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/N4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 0.5$	$x: 0 \text{ m}$ $\eta = 67.8$	$x: 0 \text{ m}$ $\eta = 28.5$	$\eta = 0.6$	$x: 0 \text{ m}$ $\eta = 12.8$	$x: 0 \text{ m}$ $\eta = 96.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$x: 0 \text{ m}$ $\eta = 16.0$	PASSA $\eta = 96.5$
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 será executada, já que não existe esforço axial de tração. ⁽²⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. ⁽³⁾ Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.												

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.

$$\lambda \leq 200$$

$$\lambda : \underline{113.4} \checkmark$$

Onde:

λ: Índice de esbeltez.

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

Sendo:

$$\lambda_x : \underline{35.1}$$

$$\lambda_y : \underline{113.4}$$

$K_x \cdot L_x$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. $K_x \cdot L_x$: 3.800 m
 $K_y \cdot L_y$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. $K_y \cdot L_y$: 3.800 m
 r_x, r_y : Raios de giração em relação aos eixos principais X, Y, r_x : 10.83 cm
respectivamente. r_y : 3.35 cm

Resistência à tração

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

Resistência à compressão

Deve satisfazer:

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

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+1.5·X1.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{2.25} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{484.10} \text{ kN}$$

Onde:

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

$$\chi : \underline{0.506}$$

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.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

Fator de redução χ :

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

$$\chi : \underline{0.506}$$

Onde:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido.

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

$$\lambda_0 : \underline{1.276}$$

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.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

N_e : Força axial de flambagem elástica.

$$N_e : \underline{646.58} \text{ kN}$$

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):

$$N_e : \underline{646.58} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{ex} : \underline{6748.79} \text{ kN}$$

Onde:

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

$$K_x \cdot L_x : \underline{3.800} \text{ m}$$

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:

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

$$N_{ey} : \underline{646.58} \text{ kN}$$

Onde:

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

$$K_y \cdot L_y : \underline{3.800} \text{ m}$$

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:

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

$$N_{ez} : \underline{1403.23} \text{ kN}$$

Onde:

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

$$K_z \cdot L_z : \underline{3.800} \text{ m}$$

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.

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

$$8.02 \leq 15.84$$

Sendo:

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

$$(b/t) : 8.02$$

Onde:

b: Largura.

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

t: Espessura.

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

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

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

$$(b/t)_{lim} : 15.84$$

Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 250.00 \text{ MPa}$$

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

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

$$39.31 \leq 42.14$$

Sendo:

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

$$(b/t) : 39.31$$

Onde:

b: Largura.

$$b : 239.80 \text{ mm}$$

t: Espessura.

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

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

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

$$(b/t)_{lim} : 42.14$$

Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 250.00 \text{ MPa}$$

Resistência à flexão eixo X

Deve satisfazer:

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

$$\eta : 0.678 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·Z1.

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

$$M_{Sd} : 51.32 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$39.31 \leq 161.22$$

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.

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

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

$$\lambda_r : \underline{161.22}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

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:

$$M_{Rd} : \underline{75.73} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo

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

$$M_{Rd} : \underline{130.47} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$\lambda > \lambda_p$$

$$113.37 > 49.78$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$113.37 \leq 156.96$$

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

$$M_{Rd} : \underline{75.73} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{113.37}$$

Sendo:

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

$$L_{b,inf} : \underline{3.800} \text{ m}$$

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

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

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

$$\lambda_p : \underline{49.78}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E: 200000 MPa

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y: 250.00 MPa

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

λ_r: 156.96

Sendo:

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

I_y: 473.00 cm⁴

J: Constante de torção da seção transversal.

J: 10.44 cm⁴

C_w: Constante de empenamento da seção transversal.

C_w: 73104.00 cm⁶

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

β₁: 0.032 cm⁻¹

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

M_{pl}: 107.13 kN

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

Z_x: 428.50 cm³

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y: 250.00 MPa

$$M_r = W \cdot (f_y - \sigma_r)$$

M_r: 66.97 kN·m

Sendo:

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

W_x: 382.71 cm³

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y: 250.00 MPa

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

σ_r: 75.00 MPa

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

C_b: 1.00

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1}: 1.10

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

8.02 ≤ 10.75

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

M_{Rd}: 97.39 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: 10.75

Sendo:

 E : Módulo de elasticidade do aço. E : 200000 MPa f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 250.00 MPa

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

$$M_{pl} : \underline{107.13} \text{ kN}$$

Onde:

 Z_x : Módulo de resistência plástico. Z_x : 428.50 cm³ f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 250.00 MPa γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material. γ_{a1} : 1.10

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$39.31 \leq 106.35$$

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

$$M_{Rd} : \underline{97.39} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$\lambda_p : \underline{106.35}$$

Sendo:

 E : Módulo de elasticidade do aço. E : 200000 MPa f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 250.00 MPa

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

$$M_{pl} : \underline{107.13} \text{ kN}$$

Onde:

 Z_x : Módulo de resistência plástico. Z_x : 428.50 cm³ f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 250.00 MPa γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material. γ_{a1} : 1.10**Resistência à flexão eixo Y**

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.285} \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações PP+1.5·Y1.

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

$$\mathbf{M_{Sd}^+ : \underline{4.28} \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

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

$$\mathbf{M_{Rd} : \underline{15.01} \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo:

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

$$\mathbf{M_{Rd} : \underline{22.09} \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Onde:

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

$$\mathbf{W_y : \underline{64.79} \text{ cm}^3}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\mathbf{8.02 \leq 10.75}$$

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

$$\mathbf{M_{Rd} : \underline{22.66} \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Onde:

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

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

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

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

t_f: Espessura da mesa comprimida.

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

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

$$\mathbf{\lambda_p : \underline{10.75}}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}}$$

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

$$\mathbf{M_{pl} : \underline{24.93} \text{ kN}}$$

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico.

$$\mathbf{Z_y : \underline{99.70} \text{ cm}^3}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$\lambda > \lambda_p$$

$$\mathbf{39.31 > 31.68}$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$\mathbf{39.31 \leq 39.60}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{15.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

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

Sendo:

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

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

t_w: Espessura da alma.

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

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

$$\lambda_p : \underline{31.68}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

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

$$\lambda_r : \underline{39.60}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

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

$$M_{pl} : \underline{24.93} \text{ kN}$$

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico.

$$Z_y : \underline{99.70} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

$$M_r = W_{ef} \cdot f_y$$

$$M_r : \underline{16.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

Resistência ao esforço cortante X

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.006} \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+1.5·Y1.

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

V_{Sd} : 2.25 kN

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

8.02 ≤ 34.08

$$\lambda \leq \lambda_p$$

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

V_{Rd} : 362.35 kN

Onde:

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

λ : 8.02

Sendo:

b_f: Largura das mesas.

b_f : 146.00 mm

t_f: Espessura das mesas.

t_f : 9.10 mm

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

λ_p : 34.08

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 : 250.00 MPa

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

V_{pl} : 398.58 kN

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

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

A_w : 26.57 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 : 0.128 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·Z1.

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

V_{Sd} : 27.47 kN

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

39.31 ≤ 69.57

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

$$V_{Rd} : \underline{214.61} \text{ kN}$$

Onde:

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

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

Sendo:

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

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

t_w: Espessura da alma.

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

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

$$\lambda_p : \underline{69.57}$$

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.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

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

$$V_{pl} : \underline{236.07} \text{ kN}$$

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:

$$\eta \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.965} \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·Z1+1.5·X1+1.5·Y1.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{2.25} \text{ kN}$$

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

$$M_{x,Sd} : \underline{51.32} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{y,Sd} : \underline{4.28} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$0.005 < 0.200$$

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

$$\eta : \underline{0.965}$$

Onde:

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

$N_{c,Rd}$: 484.10 kN

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

$M_{x,Rd}$: 75.73 kN·m

$M_{y,Rd}$: 15.01 kN·m

Resistência à torção

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

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

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

Resistência a interações de esforços e momento de torção

Deve satisfazer:

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

η : 0.160 ✓

O coeficiente de aproveitamento desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·Z1+1.5·Y1 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} : 19.39 MPa

Onde:

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

$\tau_{v_{x,sd}}$: 0.00 MPa

Sendo:

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

$V_{x,sd}^+$: 2.25 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

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

$\tau_{v_{y,sd}}$: 19.39 MPa

Sendo:

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

$V_{y,sd}^-$: 27.47 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

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

$\tau_{T_{sd}}$: 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} : 121.47 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} : 136.36 MPa

Onde:

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 250.00 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} : 121.47 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 : 0.891

Sendo:

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

λ_0 : 0.526

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

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 : 250.00 MPa

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

Verificação da Coluna

Perfil: 250X150X4.75 mm

Material: Aço (CF-26)

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)
N5	N4	4.620	36.87	3181.33	1452.45	3161.80

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	0.58	0.70	1.00	1.00
L _K	2.661	3.234	4.620	4.620
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:

β: *Coeficiente de flambagem*

L_K: *Comprimento de flambagem (m)*

C_m: *Coeficiente de momentos*

C_b: *Fator de modificação para o momento crítico*

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N5/N4	(b _w /t) ≤ 500 (b _w /t) ≤ 500 Passa	$\lambda_{xx} \leq 200.0$ $\lambda_{yy} \leq 200.0$ Passa	N _{t,Sd} = 0.00 N.A. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 8.9	x: 0 m η = 21.1	x: 0 m η = 6.2	η = 0.6	η = 0.9	x: 0 m η = 4.4	x: 0 m η = 0.4	x: 0 m η = 36.1	N.A. ⁽²⁾	η = 1.5	PASSA η = 36.1

Notação:

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura

λ : Limitação 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

$M_x V_y$: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados

$M_y V_x$: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados

$N_c M_x M_y$: Resistência à flexo-compressão

$N_t M_x M_y$: Resistência à flexo-tração

M_t : Resistência à 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⁾ Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

$$(b/t) \leq 500$$

$$(b/t) : \underline{48} \quad \checkmark$$



Sendo:

b: Comprimento do elemento.**b :** 230.80 mm**t:** A espessura.**t :** 4.80 mm

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

$$(b/t) \leq 500$$

$$(b/t) : \underline{27} \quad \checkmark$$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.**b :** 130.80 mm**t:** A espessura.**t :** 4.80 mm**Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda = KL/r < 200$$

$$\lambda_{xx} : \underline{34.8} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : \underline{42.4} \quad \checkmark$$

Onde:

K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. **K_xL_x :** 3.234 m**K_yL_y:** Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. **K_yL_y :** 2.661 m**r_x:** Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.**r_x :** 9.29 cm**r_y:** Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.**r_y :** 6.28 cm**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.089} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·Z1+1.5·X1.

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

N_{c,Sd} : 58.97 kN

A força normal de compressão resistente de cálculo **N_{c,Rd}** deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma$$

N_{c,Rd} : 662.58 kN

Onde:

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

A_{ef} : 33.77 cm²

χ: Fator de redução associado à flambagem, $\lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$

χ_{xx} : 0.94

χ_{yy} : 0.91

χ_{zz} : 1.00

Sendo:

λ₀: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

λ_{0, xx} : 0.40

λ_{0, yy} : 0.49

λ_{0, zz} : 0.07

$$\lambda_0 = \left[\frac{A f_y}{N_e} \right]^{0.5}$$

Sendo:

N_e: Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A: Área bruta da seção transversal da barra.

A : 36.87 cm²

f_y: Tensão de escoamento.

f_y : 260.00 MPa

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.2

A força normal de flambagem elástica **N_e** é o menor valor entre os obtidos por a), b) e c):

N_e : 4049.65 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo X.

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

N_{ex} : 6004.25 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

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

N_{ey} : 4049.65 kN

c) Força normal de flambagem elástica por torção.

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

$$N_{ez} : 193575.22 \text{ kN}$$

Onde:

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

$$I_x : 3181.33 \text{ cm}^4$$

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

$$I_y : 1452.45 \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 3161.80 \text{ cm}^4$$

C_w: Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 6565.90 \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidade.

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

G: Módulo de elasticidade transversal.

$$G : 76923 \text{ MPa}$$

K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : 3.234 \text{ m}$$

K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : 2.661 \text{ m}$$

K_zL_z: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : 4.620 \text{ m}$$

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

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0.5}$$

$$r_0 : 11.21 \text{ cm}$$

Sendo:

r_x, r_y: Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : 9.29 \text{ cm}$$

$$r_y : 6.28 \text{ cm}$$

x₀, y₀: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_0 : 0.00 \text{ mm}$$

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

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

$$\eta : 0.211 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo **M_{Sd}** é obtido para o nó N5, para a combinação de hipóteses PP+1.5·Y1.

$$M_{Sd} : 12.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo **M_{Rd}** deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 60.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

$$M_{Rd} : \underline{60.16} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástica da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : \underline{254.51} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd} = \chi_{FLT} W_{c,ef} f_y / \gamma$$

$$M_{Rd} : \underline{60.16} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{c,ef}$: Módulo de resistência elástica da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando $\sigma = \chi_{FLT} f_y$.

$$W_{c,ef} : \underline{254.51} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

χ_{FLT} : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$^{(1)} \lambda_0 \leq 0.6 \rightarrow \chi_{FLT} = 1$$

$$^{(2)} 0.6 < \lambda_0 < 1.336 \rightarrow \chi_{FLT} = 1.11(1 - 0.278 \lambda_0^2)$$

$$^{(1)} \chi_{FLT} : \underline{1.00}$$

$$^{(3)} \lambda_0 \geq 1.336 \rightarrow \chi_{FLT} = 1/\lambda_0^2$$

Sendo:

$$\lambda_0 = (W_c f_y / M_e)^{0.5}$$

$$\lambda_0 : \underline{0.19}$$

W_c : Módulo de resistência elástica da seção bruta em relação à fibra comprimida.

$$W_c : \underline{254.51} \text{ cm}^3$$

O momento fletor de flambagem lateral com torção **M_e** , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seção fechada (caixão), sujeitas à flexão em torno do eixo X:

$$M_e = C_b (N_{ey} G I_t)^{0.5}$$

$$M_e : \underline{1807.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

C_b: Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

C_b : 1.00

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

N_{ey} : 1343.22 kN

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

I_y : 1452.45 cm⁴

I_t: Momento de inércia à torção uniforme.

I_t : 3161.80 cm⁴

E: Módulo de elasticidade.

E : 200000 MPa

G: Módulo de elasticidade transversal.

G : 76923 MPa

K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem lateral.

K_yL_y : 4.620 m

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

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0.5}$$

r₀ : 11.21 cm

Sendo:

r_x, r_y: Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

r_x : 9.29 cm

r_y : 6.28 cm

x₀, y₀: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

x₀ : 0.00 mm

y₀ : 0.00 mm

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

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

η : 0.062 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo **M_{sd}** é obtido para o nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.5·X1.

M_{sd} : 2.51 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo **M_{Rd}** deve ser tomado como:

M_{Rd} : 40.43 kN·m

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

Onde:

W_{ef}: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

W_{ef} : 171.04 cm³

f_y: Tensão de escoamento.

f_y : 260.00 MPa

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.006} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.5·X1.

$$V_{Sd} : \underline{1.05} \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : \underline{0.53} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{89.04} \text{ kN}$$

$$\text{para } ^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$$

$$1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

$$\text{para } ^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$$

$$h/t : \underline{27.25}$$

$$\text{para } ^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$$

$$1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{4.80} \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{130.80} \text{ mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

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

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

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

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

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V_{Sd}** produz-se para a combinação de hipóteses PP+1.5·Y1.

V_{Sd} : 2.74 kN

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é **V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}**.

V_{Sd} : 1.37 kN

A força cortante resistente de cálculo da alma **V_{Rd}** deve ser calculada por:

⁽¹⁾**V_{Rd}** : 157.11 kN

para ⁽¹⁾ $h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : 66.98

para ⁽²⁾ $1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

h/t : 48.08

para ⁽³⁾ $h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : 86.82

Onde:

t: Espessura da alma.

t : 4.80 mm

h: Largura da alma.

h : 230.80 mm

f_y: Tensão de escoamento.

f_y : 260.00 MPa

E: Módulo de elasticidade.

E : 200000 MPa

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

K_v : 5.00

k_v = 5.00

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N5, para a combinação de hipóteses PP+1.5·Y1.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2$$

η : 0.044 ✓

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

M_{Sd} : 12.67 kN·m

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

M_{0,Rd} : 60.16 kN·m

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Sd} : 2.74 kN

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

V_{Rd} : 314.22 kN

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.5·X1.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2$$

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

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{2.51} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : \underline{40.43} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{1.05} \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : \underline{178.08} \text{ kN}$$

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.5·Z1+1.5·X1+1.5·Y1.

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.361} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$N_{c,Sd} : \underline{58.97} \text{ kN}$$

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$$M_{x,Sd} : \underline{12.67} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{2.49} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$$N_{c,Rd} : \underline{662.58} \text{ kN}$$

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{x,Rd} : \underline{60.16} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{40.43} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.



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 **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: NENHUMA EMPRESA **Nr.Reg.:**

Contratante

Nome: SIAOTECH EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS E SERVIÇOS LTDA **E-mail:**
Endereço: Rua JERONIMO DEMORI 1474 **Telefone:** (54) 99192 9494 **CPF/CNPJ:** 43983467000101
Cidade: Caxias do Sul **Bairro:** SÃO LUIZ **CEP:** 95074758 **UF:** RS

Identificação da Obra/Serviço

Proprietário: SERVITEC DINAMOMETRO **CPF/CNPJ:** 92304948000159
Endereço da Obra/Serviço: Rodovia RSC-453 3835 **CEP:** 95112360 **UF:** RS
Cidade: CAXIAS DO SUL **Bairro:** SÃO GIÁCOMO **Honorários(R\$):** 0,00
Finalidade: INDUSTRIAL **Vlr Contrato(R\$):** 2.000,00 **Ent.Classe:**
Data Início: 28/04/2025 **Prev.Fim:** 07/05/2025

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Projeto e Execução	Ponte Rolante	1,00	UN
Observações	REFERENTE À UMA PONTE ROLANTE DE 2 TONELADAS E CAMINHO DE		
Observações	ROLAMENTO.		

ART registrada (paga) no CREA-RS em 29/04/2025

Caxias do Sul/RS - 29/04/25

Local e Data

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Luís Eduardo Wiechoreck

LUÍS EDUARDO WIECHORECK

Profissional

De acordo

Robson Montenegro

SIAOTECH EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS E SERVIÇOS LTDA

Contratante

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