

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

LAUDO LV20190719R00

Laudo Estrutural

Atestado de Adequação de Sistema de Retenção de Quedas

**Linha de Vida Rígida para
descarregamento de Soda –**

**[REDACTED] – Planta São José dos
Campos - SP**

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

1. Objetivo:

O Objetivo desse Memorial de cálculo estrutural é documentar os procedimentos adotados durante o dimensionamento um conjunto de estruturas metálicas para suporte de linha de vida na área de descarregamento de soda **localizados na [REDACTED] do Brasil – Planta São José dos Campos - SP**

2. Normas Utilizadas:

Para avaliação da estrutura foram utilizadas as seguintes normas e documentos de referência:

- ABNT NBR 8800-08 – Dimensionamento de Estruturas de Aço Laminado e soldado
- ABNT NBR14.762/10 – Dimensionamento de perfis formados a frio
- **ABNT NBR16325 – 1:** Proteção contra quedas de Altura Parte 1 : Dispositivos de ancoragem tipos A, B e D
- **ABNT NBR16325 – 2:** Proteção contra quedas de altura parte 2: Dispositivos de ancoragem tipo C
- **ABNT NBR14626:** Equipamento de proteção individual – Trava quedas guiado em linha flexível.
- **ABNT NBR14627:** Equipamento de Proteção Individual contra queda de Altura – Trava quedas guiado em linha rígida
- **ABNT NBR14628:** Equipamento de proteção individual – Trava quedas Retrátil
- **ABNT NBR14629:** Equipamento de proteção individual – Absorvedor de energia
- **ABNT NBR15824:** Equipamento de proteção individual – Talabarte de Segurança
- **ABNT NBR15836:** Equipamento de proteção individual – Cinturão de segurança tipo paraquedista
- **ABNT 16489:** Sistemas de proteção individual contra quedas de altura – Recomendações e orientações para seleção, uso e manutenção
- **NR-35:** Trabalhos em Altura
- **NR-18:** CONDIÇÕES E MEIO AMBIENTE DE TRABALHO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

3. Foto da Estrutura:



Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

Memorial descritivo:

Pilares metálicos seção circular oca de diâmetro externo 168mm e espessura 7,10mm (Tubo Redondo 6" Schedule 40) com altura 5m.

Viga metálica Rígida W200X22,5 ASTM A572GR50 com comprimento Total 5m, sendo 800mm de balanço do lado esquerdo de quem observa a estrutura da perspectiva da foto acima, e 1000mm de balanço no lado direito da estrutura, suportada por treliças retangulares, de comprimento 1,8m, largura 150mm altura 200mm, formada por banzos de cantoneiras de 38,1mm e espessura 3,2mm, e diagonais e montantes formados por cantoneiras de 25,4mm e espessura 3,2mm, soldadas rigidamente aos banzos.

As bases dos pilares são compostos por chapas ASTM A36 quadradas com 360mm de lado, espessura 16mm, enrijecidos com 8 chapas radialmente distribuídas de espessura 8mm e altura 150mm, fixadas ao solo por barra rosqueada de diâmetro 19mm. Conforme informação do corpo técnico da empresa os chumbadores possuem profundidade de embutimento superior a 150mm.

A estrutura é destinada às operações logísticas e de manufatura referentes ao descarregamento, manuseio e inspeção de cargas com matéria prima, sendo que só é permitida a permanência de uma pessoa por vez na operação da mesma.

O Sistema de Retenção de quedas será garantido por trava-quedas retrátil padrão, que atenda à NBR14628 cuja carga de impacto máxima a ser transferida para a estrutura é 600 kgf.

As informações acima foram coletadas *in loco* e refletem as medidas aproximadas com variações menores que 10mm.

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

4. Dimensionamento da viga principal

Modelo Estrutural:

Situação 1: Carga Pontual no maior balanço da viga

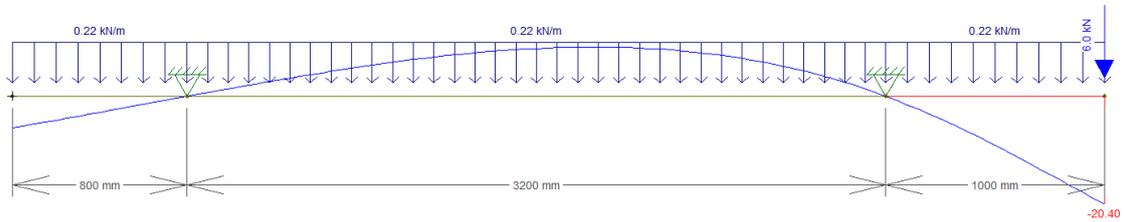


Figura 1: ELS- Deslocamento

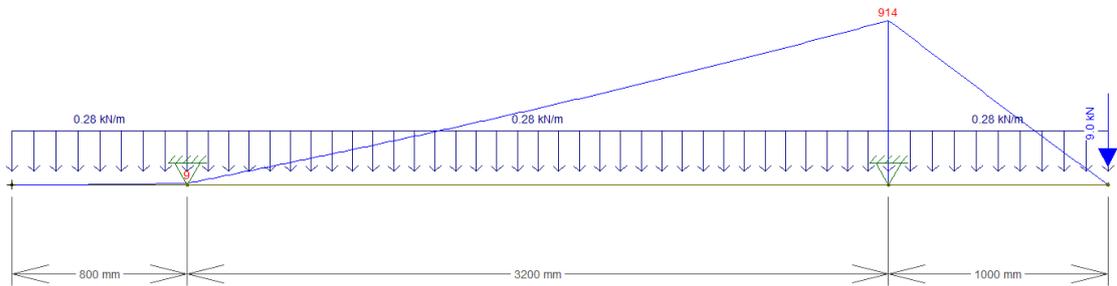


Figura 2: ELU - Momento Fletor

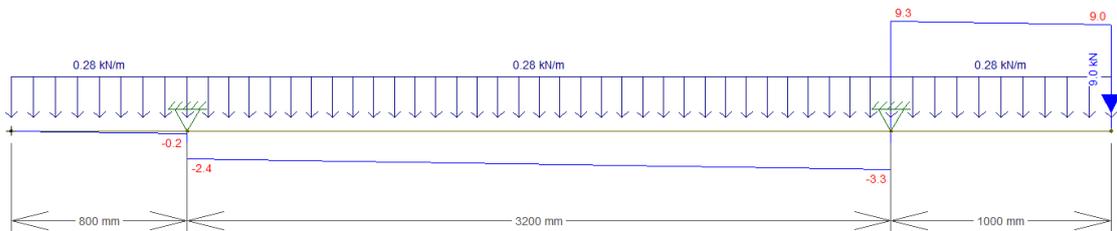


Figura 3: ELU - Esforço Cortante

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

Situação 2: Carga Pontual no centro do vão livre

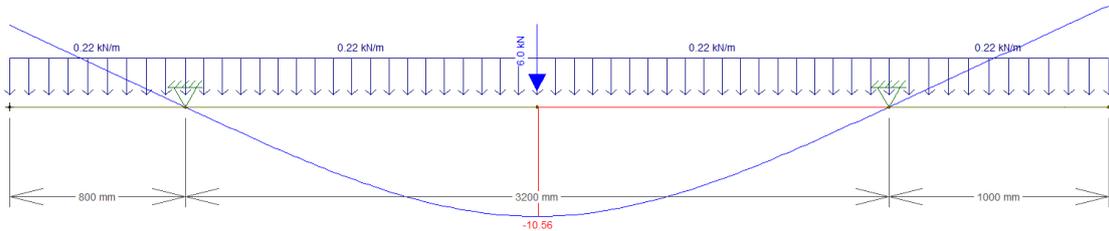


Figura 4: ELS-Deslocamento

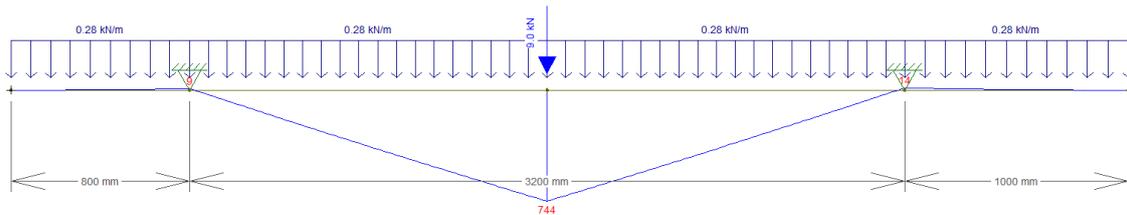


Figura 5: ELU - Momento Fletor

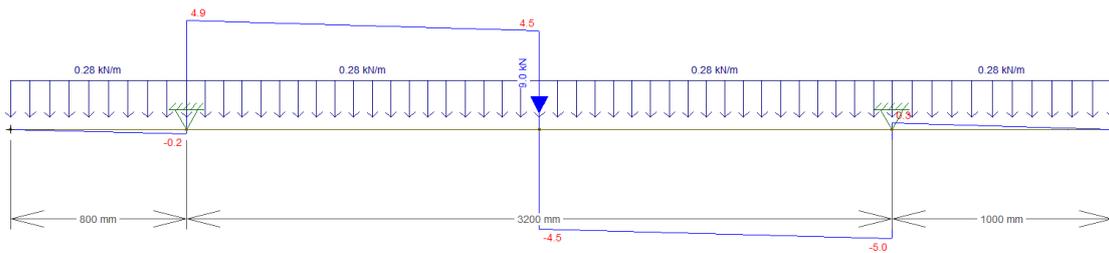


Figura 6: ELU - Esforço Cortante

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
 Engenheiro Mecânico
 CREA-SP XXXXXXXXXX-SP
 (12) 9 8212 – 3908
 email: contato@jacobprojetos.com.br
 Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

Verificações Estados Limites Últimos

Verificação da resistência do perfil à Flexão.

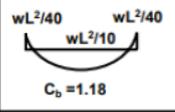
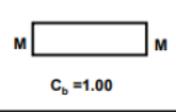
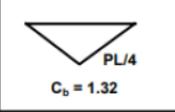
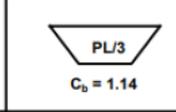
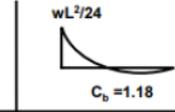
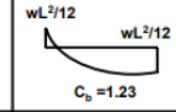
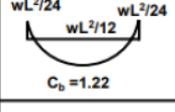
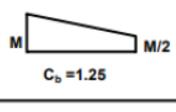
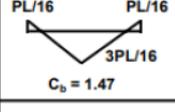
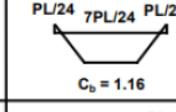
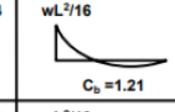
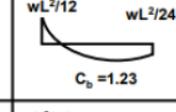
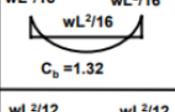
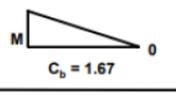
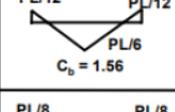
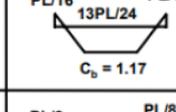
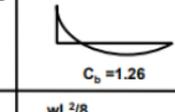
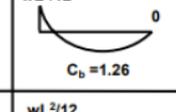
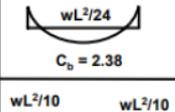
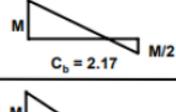
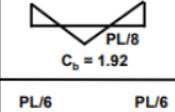
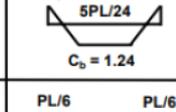
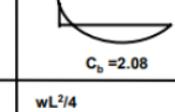
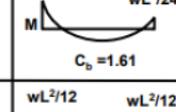
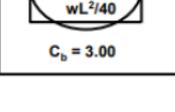
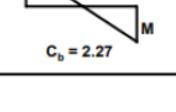
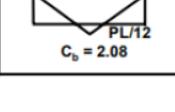
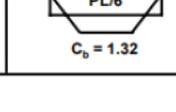
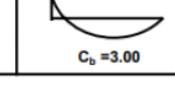
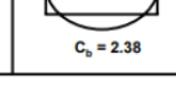
Comprimento de Flambagem em torno de X-X: 3200mm

Comprimento de Flambagem em Torno de Y-Y: 3200mm

Comprimento de Flambagem Lateral com Torção: 3200mm

C_b Values for Different Load Cases

AISC Equation F1-1

 C _b = 1.18	 C _b = 1.00	 C _b = 1.32	 C _b = 1.14	 C _b = 1.18	 C _b = 1.23
 C _b = 1.22	 C _b = 1.25	 C _b = 1.47	 C _b = 1.16	 C _b = 1.21	 C _b = 1.23
 C _b = 1.32	 C _b = 1.67	 C _b = 1.56	 C _b = 1.17	 C _b = 1.26	 C _b = 1.26
 C _b = 2.38	 C _b = 2.17	 C _b = 1.92	 C _b = 1.24	 C _b = 2.08	 C _b = 1.61
 C _b = 3.00	 C _b = 2.27	 C _b = 2.08	 C _b = 1.32	 C _b = 3.00	 C _b = 2.38

Coeficiente de Distribuição de momentos C_b para o trecho de 3200mm
 (Hipótese 1) :

$$C_b = 1,67$$

Coeficiente de Distribuição de momentos C_b para o trecho de 3200mm
 (Hipótese 2) :

$$C_b = 1,32$$

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

Cálculo da resistência à flexão em torno do eixo X-X

$$\lambda_p = Lb/r_y = 320 / 2,22 = 144,14 > 42,90$$

$$\beta_1 = \frac{(F_y - 0,3F_y) \cdot W}{E \cdot J} = \frac{(34,5 - 0,3 \cdot 34,5) \cdot 197}{20000 \cdot 6,18} = 0,0385$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 \sqrt{I_y \cdot J}}{r_y \cdot J \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}}$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 \sqrt{142 \cdot 6,18}}{2,22 \cdot 6,18 \cdot 0,0385} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot 13868 \cdot 0,0385^2}{142}}} = 177,96$$

Perfil Semi Compacto:

$$M_{pl} = Z_x \cdot F_y = 225,5 \cdot 34,5 = 7779,5 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_r = (F_y - 0,3F_y) \cdot W = 0,7 \cdot 34,5 \cdot 197 = 4757 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

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

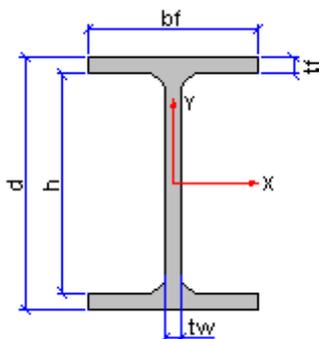
$$M_{Rd} = \frac{C_b}{1,1} \left[7779,5 - (7779,5 - 4757) \cdot \frac{144,14 - 42,90}{177,96 - 42,90} \right]$$

$$M_{Rd} = C_b \cdot 5012$$

Em qualquer hipótese de C_b (Situações 1 e 2) ou mesmo com $C_b = 1$ a peça está aprovada quanto ao Estado Limite FLT

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br



Dimensionamento Perfil I Laminado

Propriedades do Aço

Tipo = ASTM A 572 GR-50
 $f_y = 34,50 \text{ kN/cm}^2$
 $f_u = 45,00 \text{ kN/cm}^2$
 $f_r = 11,5 \text{ kN/cm}^2$
 $E = 20500 \text{ kN/cm}^2$
 $G = 7892,5 \text{ kN/cm}^2$

Propriedades geométricas do perfil

Perfil W 200 x 22,5
 $bf = 102,00 \text{ mm}$
 $tf = 8,00 \text{ mm}$
 $tw = 6,20 \text{ mm}$
 $d = 206,00 \text{ mm}$
 $Ag = 29,00 \text{ cm}^2$
Peso = 22,50 kgf
 $I_x = 2029,00 \text{ cm}^4$
 $I_y = 142,00 \text{ cm}^4$
 $IT = 6,18 \text{ cm}^4$
 $W_x = 197,00 \text{ cm}^3$
 $W_y = 27,90 \text{ cm}^3$
 $Z_x = 225,50 \text{ cm}^3$
 $Z_y = 43,90 \text{ cm}^3$

$r_x = \text{raiz}(I_x/Ag)$
 $r_x = \text{raiz}(2029,00/29,00)$
 $r_x = 8,36 \text{ cm}$

$r_y = \text{raiz}(I_y/Ag)$
 $r_y = \text{raiz}(142,00/29,00)$
 $r_y = 2,21 \text{ cm}$

$h = d - 2*tf$
 $h = 206,00 - 2*8,00$
 $h = 190,00 \text{ mm}$

Comprimentos de Flambagem

$L_{fx} = 320,00 \text{ cm}$
 $L_{fy} = 320,00 \text{ cm}$
 $L_b = 320,00 \text{ cm}$

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

Esforços Solicitantes

$N_d = 0,00 \text{ kN}$
 $V_d = 9,30 \text{ kN}$
 $M_{dx} = 914,00 \text{ kN}\cdot\text{cm}$
 $M_{dy} = 0,00 \text{ kN}\cdot\text{cm}$

Verificação do Esforço Cortante

Análise plástica

$A_w = h \cdot t_w$

$A_w = 190,00 \cdot 6,20$

$A_w = 1277,20 \text{ mm}^2$

$A_w = 12,77 \text{ cm}^2$

Considerando Item 5.2.2 nota a da NBR8800/88

$a = 4 \cdot t_w$;

$a = 4 \cdot 6,20$

$a = 24,80 \text{ mm}$

$(a/h) < 1$

$k = 4 + 5,34 / (a/h)^2$

$k = 4 + 5,34 / (24,80 / 190,00)^2$

$k = 317,43$

$l = h / t_w$

$l = 190,00 / 6,20$

$l = 30,65$

$l_p = 1,08 \cdot \text{raiz}(k \cdot E / f_y)$

$l_p = 1,08 \cdot \text{raiz}(317,43 \cdot 20500,00 / 34,50)$

$l_p = 469,05$

$l_r = 1,4 \cdot \text{raiz}(k \cdot E / f_y)$

$l_r = 1,4 \cdot \text{raiz}(317,43 \cdot 20500,00 / 34,50)$

$l_r = 20976,90$

$V_{pl} = 0,55 \cdot A_w \cdot f_y$

$V_{pl} = 0,55 \cdot 12,77 \cdot 34,50$

$V_{pl} = 242,35 \text{ kN}$

$l < l_p$

$V_n = V_{pl}$

$V_n = 242,35 \text{ kN}$

$f_v = 0,9$

$R_d(V_d) = f_v \cdot V_n$

$R_d(V_d) = 0,90 \cdot 242,35$

$R_d(V_d) = 218,11 \text{ kN}$

$R_d(V_d) \geq V_d$

$218,11 \text{ kN} \geq 9,30 \text{ kN}$

Ok! Perfil suporta ao esforço solicitado!

Verificação de Flexão em x

$Z = Z_x$

$Z = 225,50 \text{ cm}^3$

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

$$W = W_x$$
$$W = 197,00 \text{ cm}^3$$

$$W_c = W$$
$$W_c = 197,00 \text{ cm}^3$$

$$W_t = W$$
$$W_t = 197,00 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$
$$M_{pl} = 225,50 \cdot 34,50$$
$$M_{pl} = 7779,75 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Flambagem local da alma(FLA)

$$l = h/t_w$$
$$l = 190,00/6,20$$
$$l = 30,65$$

$$l_p = 3,5 \cdot \text{raiz}(E/f_y)$$
$$l_p = 3,5 \cdot \text{raiz}(20500,00/34,50)$$
$$l_p = 85,32$$

$$l \leq l_p$$
$$M_n = M_{pl}$$
$$M_n = 7779,75 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Flambagem local da mesa(FLM)

$$l = b_f/(2 \cdot t_f)$$
$$l = 102,00/(2 \cdot 8,00)$$
$$l = 6,38$$

$$l_p = 0,38 \cdot \text{raiz}(E/f_y)$$
$$l_p = 0,38 \cdot \text{raiz}(20500,00/34,50)$$
$$l_p = 9,26$$

$$M_r = (f_y - f_r) \cdot W_c$$
$$M_r = (34,50 - 11,50) \cdot 197,00$$
$$M_r = 4531,00 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_r = f_y \cdot W_t$$
$$M_r = 34,50 \cdot 197,00$$
$$M_r = 6796,50 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Adota-se o menor valor de M_r

$$M_r = 4531,00$$

$$l_r = 0,62 \cdot \text{raiz}(E \cdot W_c / M_r)$$
$$l_r = 0,62 \cdot \text{raiz}(20500,00 \cdot 197,00 / 4531,00)$$
$$l_r = 18,51$$

$$l \leq l_p$$
$$M_n = M_{pl}$$
$$M_n = 7779,75 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Flambagem Lateral com torção(FLT)

$$l = L_b/r_y$$
$$l = 320,00/2,21$$

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

$$l = 144,61$$

$$l_p = 1,75 \cdot \text{raiz}(E/f_y)$$

$$l_p = 1,75 \cdot \text{raiz}(20500,00/34,50)$$

$$l_p = 42,66$$

$$C_b = 1$$

$$B_1 = \pi \cdot \text{raiz}(G \cdot E \cdot I_T \cdot A_g)$$

$$B_1 = \pi \cdot \text{raiz}(7892,50 \cdot 20500,00 \cdot 6,18 \cdot 29,00)$$

$$B_1 = 534967,00$$

$$B_2 = ((\pi^2 \cdot E)/(4 \cdot G)) \cdot (A_g \cdot ((d-t_f)/10)^2) / I_T$$

$$B_2 = ((\pi^2 \cdot 20500,00)/(4 \cdot 7892,50)) \cdot (29,00 \cdot ((206,00-8,00)/10)^2) / 6,18$$

$$B_2 = 11790,10$$

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

$$M_r = (34,50 - 11,50) \cdot 197,00$$

$$M_r = 4531,00 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$l_r = ((0,707 \cdot C_b \cdot B_1) / M_r) \cdot \text{raiz}(1 + \text{raiz}(1 + ((4 \cdot B_2) / (C_b^2 \cdot B_1^2)) \cdot M_r^2))$$

$$l_r = ((0,707 \cdot 1,00 \cdot 534967,00) / 4531,00) \cdot \text{raiz}(1 +$$

$$\text{raiz}(1 + ((4 \cdot 11790,10) / (1,00^2 \cdot 534967,00^2)) \cdot 4531,00^2))$$

$$l_r = 146,82$$

$$l_p < l \leq l_r$$

$$M_n = M_{pl} - ((M_{pl} - M_r) \cdot ((l - l_r) / (l_r - l_p)))$$

$$M_n = 7779,75 - ((7779,75 - 4531,00) \cdot ((144,61 - 42,66) / (146,82 - 42,66)))$$

$$M_n = 4599,84 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Adota-se para M_n o menor valor de FLA, FLT ou FLM e ainda segundo NBR 8800/88 (Item 5.4.1.3.1) $M_n < (1,25 \cdot W \cdot f_y)$

$$M_n \leq (1,25 \cdot W \cdot f_y) \rightarrow \text{Ok!}$$

$$M_n = 4599,84 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$f_b = 0,9$$

$$R_d(M_d) = f_b \cdot M_n$$

$$R_d(M_d) = 0,90 \cdot 4599,84$$

$$R_d(M_d) = 4139,86 \text{ kN}$$

$$R_d(M_d) \geq M_{dx}$$

$$4139,86 \text{ kN} \geq 914,00 \text{ kN}$$

Ok! Perfil suporta ao esforço solicitado!

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

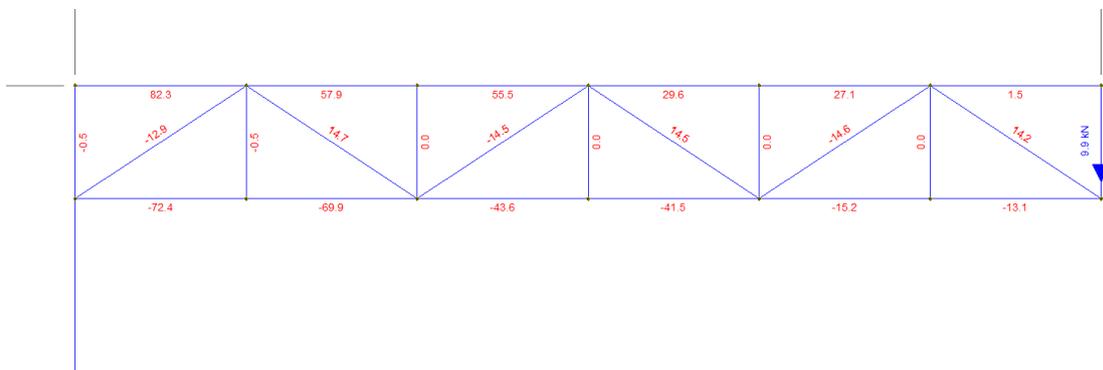
Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

5. Dimensionamento do pórtico típico

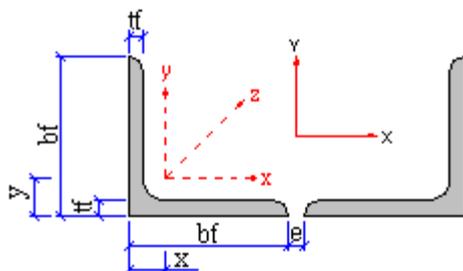


Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br



Verificação do Banzo Superior e Inferior À tração:



Dimensionamento Perfil L Laminado Combinados (abas iguais)

Propriedades do Aço

Tipo = ASTM A 572 GR-50
 $f_y = 34,50 \text{ kN/cm}^2$
 $f_u = 40,00 \text{ kN/cm}^2$
 $f_r = 11,5 \text{ kN/cm}^2$
 $E = 20500 \text{ kN/cm}^2$
 $G = 7892,5 \text{ kN/cm}^2$

Propriedades geométricas do perfil

Dados de uma única cantoneira
Perfil L 38,1 x 1,83
 $bf = 38,10 \text{ mm}$
 $tf = 3,20 \text{ mm}$
 $Ag' = 2,32 \text{ cm}^2$
 $Ix' = 3,33 \text{ cm}^4$
 $Iy' = 3,33 \text{ cm}^4$
 $x = 1,07 \text{ cm}$
 $rz = 0,76 \text{ cm}$
 $e = 74,00 \text{ mm}$

Dados do conjunto

$I_x = 2 \cdot I_x'$
 $I_x = 2 \cdot 3,33$
 $I_x = 6,66 \text{ cm}^4$

$I_y = 2 \cdot (I_{y1} + (Ag1 \cdot ((bf/10) + ((esp/10)/2) - x)^2))$
 $I_y = 2 \cdot (3,33 + (2,32 \cdot ((38,10/10) + ((74,00/10)/2) - 1,07)^2))$
 $I_y = 199,10 \text{ cm}^4$

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

$$A_g = 2 \cdot A_g'$$
$$A_g = 2 \cdot 2,32$$
$$A_g = 4,64 \text{ cm}^2$$

$$r_x = \text{raiz}(I_x/A_g)$$
$$r_x = \text{raiz}(6,66/4,64)$$
$$r_x = 1,20 \text{ cm}$$

$$r_y = \text{raiz}(I_y/A_g)$$
$$r_y = \text{raiz}(199,10/4,64)$$
$$r_y = 6,55 \text{ cm}$$

Comprimentos de Flambagem

$$L_{fx} = 30,00 \text{ cm}$$
$$L_{fy} = 30,00 \text{ cm}$$

Esforços Solicitantes

$$N_d = 82,30 \text{ kN}$$

Verificação do Esforço de Tração

Escoamento da seção bruta

$$f_t = 0,9$$

$$R_d(N_d) = f_t \cdot A_g \cdot f_y$$

$$R_d(N_d) = 0,9 \cdot 4,64 \cdot 34,50$$

$$R_d(N_d) = 144,07 \text{ kN}$$

Ruptura da seção líquida

$$f_t = 0,75$$

$$R_d(N_d) = f_t \cdot A_g \cdot f_u$$

$$R_d(N_d) = 0,75 \cdot 4,64 \cdot 40,00$$

$$R_d(N_d) = 156,60 \text{ kN}$$

Adota-se para $R_d(N_d)$ o menor valor das duas verificações

$$R_d(N_d) = 144,07 \text{ kN}$$

$$R_d(N_d) \geq N_d$$

$$144,07 \text{ kN} \geq 82,30 \text{ kN}$$

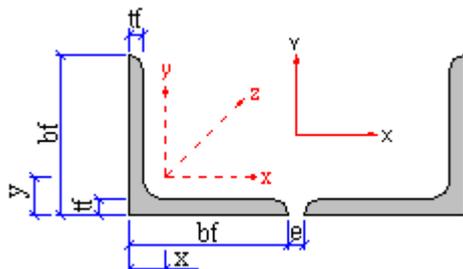
Ok! Perfil suporta ao esforço solicitado!

Espaçadores no máximo a cada 3,48 cm

Verificação do Banzo Superior e Inferior à compressão:

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br



Dimensionamento Perfil L Laminado Combinados (abas iguais)

Propriedades do Aço

Tipo = ASTM A 36
 $f_y = 25,00 \text{ kN/cm}^2$
 $f_u = 40,00 \text{ kN/cm}^2$
 $f_r = 11,5 \text{ kN/cm}^2$
 $E = 20500 \text{ kN/cm}^2$
 $G = 7892,5 \text{ kN/cm}^2$

Propriedades geométricas do perfil

Dados de uma única cantoneira

Perfil L 38,1 x 1,83

$bf = 38,10 \text{ mm}$

$tf = 3,20 \text{ mm}$

$Ag' = 2,32 \text{ cm}^2$

$Ix' = 3,33 \text{ cm}^4$

$Iy' = 3,33 \text{ cm}^4$

$x = 1,07 \text{ cm}$

$rz = 0,76 \text{ cm}$

$e = 74,00 \text{ mm}$

Dados do conjunto

$I_x = 2 \cdot Ix'$

$I_x = 2 \cdot 3,33$

$I_x = 6,66 \text{ cm}^4$

$I_y = 2 \cdot (Iy1 + (Ag1 \cdot (((bf/10) + ((esp/10)/2)) - x)^2))$

$I_y = 2 \cdot (3,33 + (2,32 \cdot (((38,10/10) + ((74,00/10)/2)) - 1,07)^2))$

$I_y = 199,10 \text{ cm}^4$

$Ag = 2 \cdot Ag'$

$Ag = 2 \cdot 2,32$

$Ag = 4,64 \text{ cm}^2$

$r_x = \text{raiz}(I_x/Ag)$

$r_x = \text{raiz}(6,66/4,64)$

$r_x = 1,20 \text{ cm}$

$r_y = \text{raiz}(I_y/Ag)$

$r_y = \text{raiz}(199,10/4,64)$

$r_y = 6,55 \text{ cm}$

Comprimentos de Flambagem

$L_{fx} = 30,00 \text{ cm}$

$L_{fy} = 30,00 \text{ cm}$

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

Esforços Solicitantes

$N_d = -72,40 \text{ kN}$

Verificação do Esforço de Compressão

Verificação da esbeltez do elemento (Item 5.3.5 NBR8800/88)

$l_x = L_{fx}/r_x$

$l_x = 30,00/1,20$

$l_x = 25,04$

$l_y = L_{fy}/r_y$

$l_y = 30,00/6,55$

$l_y = 4,58$

$l_x \text{ e } l_y \leq 200$

$25,04 \text{ e } 4,58 \leq 200$

Ok! Esbeltes verifica!

Cálculo de Q (Anexo E da NBR8800/88)

$b_f/t_f \leq 0,44 \cdot \sqrt{E/f_y}$

$Q_s = 1$

$b_f/t_f \leq 1,47 \cdot \sqrt{E/f_y}$

$Q_a = 1$

$Q = Q_s \cdot Q_a$

$Q = 1,00 \cdot 1,00$

$Q = 1,00$

$l_{x2} = (1/\pi) \cdot l_x \cdot \sqrt{Q \cdot f_y / E}$;

$l_{x2} = (1/\pi) \cdot 25,04 \cdot \sqrt{1,00 \cdot 25,00 / 20500,00}$;

$l_{x2} = 0,28$

$l_{y2} = (1/\pi) \cdot l_y \cdot \sqrt{Q \cdot f_y / E}$;

$l_{y2} = (1/\pi) \cdot 4,58 \cdot \sqrt{1,00 \cdot 25,00 / 20500,00}$;

$l_{y2} = 0,05$

Curva c -> $a_x = 0,384$

Curva c -> $a_y = 0,384$

$l_{x2} > 0,2$

$B_x = (1/2 \cdot l_{x2}^2) \cdot (1 + a_x \cdot \sqrt{l_{x2}^2 - 0,04}) + l_{x2}^2$

$B_x = (1/2 \cdot 0,28^2) \cdot (1 + 0,38 \cdot \sqrt{0,28^2 - 0,04}) + 0,28^2$

$B_x = 7,43$

$r_{ox} = B_x - \sqrt{B_x^2 \cdot (1/l_{x2}^2)}$

$r_{ox} = 7,43 - \sqrt{7,43^2 \cdot (1/0,28^2)}$

$r_{ox} = 0,93$

$l_{2y} \leq 0,2$

$r_{oy} = 1$

Adota-se o menor valor para r_o

$r_o = 0,93$

$f_c = 0,9$

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

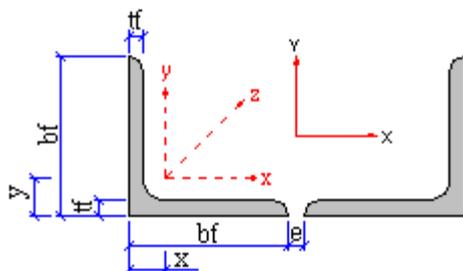
$$Rd(Nd) = f_c \cdot \rho_o \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y$$
$$Rd(Nd) = 0,90 \cdot 0,93 \cdot 1,00 \cdot 4,64 \cdot 25,00$$
$$Rd(Nd) = -96,66 \text{ kN}$$

$$Rd(Nd) \geq Nd$$
$$-96,66 \text{ kN} \geq -72,40 \text{ kN}$$

Ok! Perfil suporta ao esforço solicitado!

Espaçadores no máximo a cada 3,48 cm

Verificação das diagonais:



Dimensionamento Perfil L Laminado Combinados (abas iguais)

Propriedades do Aço

Tipo = ASTM A 36
 $f_y = 25,00 \text{ kN/cm}^2$
 $f_u = 40,00 \text{ kN/cm}^2$
 $f_r = 11,5 \text{ kN/cm}^2$
 $E = 20500 \text{ kN/cm}^2$
 $G = 7892,5 \text{ kN/cm}^2$

Propriedades geométricas do perfil

Dados de uma única cantoneira
Perfil L25,4X3,2
 $bf = 25,40 \text{ mm}$
 $tf = 3,20 \text{ mm}$
 $A_g' = 1,48 \text{ cm}^2$
 $I_x' = 0,83 \text{ cm}^4$
 $I_y' = 0,83 \text{ cm}^4$
 $x = 0,76 \text{ cm}$
 $rz = 0,48 \text{ cm}$
 $e = 99,00 \text{ mm}$

Dados do conjunto

$$I_x = 2 \cdot I_x'$$
$$I_x = 2 \cdot 0,83$$
$$I_x = 1,66 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2 \cdot (I_y1 + (A_g1 \cdot (((bf/10) + ((esp/10)/2)) - x)^2))$$
$$I_y = 2 \cdot (0,83 + (1,48 \cdot (((25,40/10) + ((99,00/10)/2)) - 0,76)^2))$$

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

$$I_y = 135,73 \text{ cm}^4$$

$$A_g = 2 * A_g'$$
$$A_g = 2 * 1,48$$
$$A_g = 2,96 \text{ cm}^2$$

$$r_x = \text{raiz}(I_x/A_g)$$
$$r_x = \text{raiz}(1,66/2,96)$$
$$r_x = 0,75 \text{ cm}$$

$$r_y = \text{raiz}(I_y/A_g)$$
$$r_y = \text{raiz}(135,73/2,96)$$
$$r_y = 6,77 \text{ cm}$$

Comprimentos de Flambagem

$$L_{fx} = 36,10 \text{ cm}$$
$$L_{fy} = 36,10 \text{ cm}$$

Esforços Solicitantes

$$N_d = -14,50 \text{ kN}$$

Verificação do Esforço de Compressão

Verificação da esbeltez do elemento (Item 5.3.5 NBR8800/88)

$$l_x = L_{fx}/r_x$$
$$l_x = 36,10/0,75$$
$$l_x = 48,21$$

$$l_y = L_{fy}/r_y$$
$$l_y = 36,10/6,77$$
$$l_y = 5,33$$

$$l_x \text{ e } l_y \leq 200$$
$$48,21 \text{ e } 5,33 \leq 200$$

Ok! Esbeltes verifica!

Cálculo de Q (Anexo E da NBR8800/88)

$$b_f/t_f \leq 0,44 * \text{raiz}(E/f_y)$$
$$Q_s = 1$$

$$b_f/t_f \leq 1,47 * \text{raiz}(E/f_y)$$
$$Q_a = 1$$

$$Q = Q_s * Q_a$$
$$Q = 1,00 * 1,00$$
$$Q = 1,00$$

$$l_{x2} = (1/\pi) * l_x * \text{raiz}(Q * f_y/E);$$
$$l_{x2} = (1/\pi) * 48,21 * \text{raiz}(1,00 * 25,00/20500,00);$$
$$l_{x2} = 0,54$$

$$l_{y2} = (1/\pi) * l_y * \text{raiz}(Q * f_y/E);$$
$$l_{y2} = (1/\pi) * 5,33 * \text{raiz}(1,00 * 25,00/20500,00);$$
$$l_{y2} = 0,06$$

$$\text{Curva c} \rightarrow a_x = 0,384$$

$$\text{Curva c} \rightarrow a_y = 0,384$$

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

$$lx2 > 0,2$$
$$Bx = (1/2 * lx2^2) * (1 + ax * raiz(lx2^2 - 0.04) + lx2^2)$$
$$Bx = (1/2 * 0,54^2) * (1 + 0,38 * raiz(0,54^2 - 0.04) + 0,54^2)$$
$$Bx = 2,57$$

$$rox = Bx - raiz(Bx^2 * (1/lx2^2))$$
$$rox = 2,57 - raiz(2,57^2 * (1/0,54^2))$$
$$rox = 0,80$$

$$ly2 \leq 0,2$$
$$roy = 1$$

Adota-se o menor valor para ro

$$ro = 0,80$$

$$fc = 0,9$$
$$Rd(Nd) = fc * ro * Q * Ag * fy$$
$$Rd(Nd) = 0,90 * 0,80 * 1,00 * 2,96 * 25,00$$
$$Rd(Nd) = -53,37 \text{ kN}$$

$$Rd(Nd) \geq Nd$$
$$-53,37 \text{ kN} \geq -14,50 \text{ kN}$$

Ok! Perfil suporta ao esforço solicitado!

Espaçadores no máximo a cada 2,56 cm

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br



Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

Verificação do pilar metálico à flexão

Limitação de esbeltez da parede do tubo

$$D/t = 168/7,1 = 23,67$$

$$\text{Limite} = 0,45 \cdot E/F_y = 0,45 \cdot 20000/25 = 360$$

$$\lambda_p = \frac{0,07 \cdot E}{F_y} = \frac{0,07 \cdot 20000}{25} = 56$$

Perfil Compacto

$$Z_x = 4 \cdot R^2 t = 4 \cdot \left(\frac{16,8}{2}\right)^2 \cdot 0,71 = 200 \text{ cm}^3$$

$$M_{Rd} = Z_x \cdot \frac{F_y}{1,1} = 200 \cdot \frac{25}{1,1} = 4546 \text{ kN.cm}$$

OK APROVADO

Verificação do pilar metálico à Compressão

Limitação de Esbeltez

$$\lambda = k \cdot \frac{L}{r} = \frac{2.500}{\frac{0,707 \cdot 16,8}{2}} = 168 \text{ cm} < 200 \text{ OK}$$

$$N_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(k \cdot L)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot (\pi \cdot 8,4^3 \cdot 0,71)}{(2.500)^2} = 260,96 \text{ kN}$$

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

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{(2\pi \cdot R \cdot t) \cdot F_y \cdot Q}{N_e}}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{(2\pi \cdot 8,4 \cdot 0,71) \cdot 25 \cdot 1}{260,96}} = 1,89 \rightarrow \chi = 0,246 \text{ (Tabela 4 NBR8800)}$$

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,246 \cdot 1,37 \cdot 47,25}{1,1} = 209,5 \text{ kN} > 9,9 \text{ kN OK APROVADO}$$

Verificação do pilar metálico aos esforços combinados

$$N_{c,SD}/N_{c,Rd} = \frac{9,9}{209,5} = 0,047 < 0,20$$

$$\frac{N_{Sd}}{2N_{Rd}} + \frac{MSd}{MRd} = \frac{0,047}{2} + \frac{1782}{4546} = 0,41 \text{ OK APROVADO}$$

Verificação das placas de base

Tensão máxima de compressão atuante no concreto armado:

$$\sigma_c = \frac{N}{A_{pb}} + \frac{6 \cdot M}{B \cdot A^2} = \frac{9,9}{36^2} + \frac{6 \cdot 1782}{36 \cdot 36^2} = 0,2368 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{N}{A_{pb}} - \frac{6 \cdot M}{B \cdot A^2} = \frac{9,9}{36^2} - \frac{6 \cdot 1782}{36 \cdot 36^2} = -0,2215 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Borda livre L: } (360-168)/2=96\text{mm}$$

Determinação da espessura mínima da chapa de base:

$$M_{ch} = \frac{\sigma_c \cdot L^2}{2} = 0,2368 \cdot \frac{9,6^2}{2} = 10,91 \text{ kN.cm}$$

$$t_{\min} = 2,10 \sqrt{\frac{M_{ch}}{F_y}}$$

$$t_{\min} = 2,10 \sqrt{\frac{10,91}{25}} = 1,39\text{cm}$$

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

Como o cálculo exige uma base sem nervuras de espessura 1,39cm e a base instalada no local possui 1,6cm com nervuras, não serão verificados os enrijecedores por considerar-se redundante tal checagem.

Espessura da placa de base aprovada.

Verificação dos chumbadores

$$C = \frac{\sigma_c \cdot A}{\sigma_c + \sigma_t} = \frac{0,2368 \cdot 36}{0,2368 + 0,2215} = 18,60 \text{ cm}$$

$$a = \frac{A}{2} + \frac{C}{3} = \frac{36}{2} + \frac{18,60}{3} = 24,2 \text{ cm}$$

$$Y = a - d - \frac{c}{3} = 24,2 - 5 - \frac{18,60}{3} = 13 \text{ cm}$$

$$T = \frac{M - N \cdot a}{Y} = \frac{1782 - 9,9 \cdot 24,2}{13} = 118 \text{ kN}$$

Como há 2 chumbadores na mesma linha temos 59 kN de tração atuante

Verificação do diâmetro mínimo do chumbador

$$d_{chu} = \sqrt{1,27 \cdot \sqrt{\frac{11,39 \cdot V^2 + 3,24 \cdot N^2}{F_u^2}}}$$

$$d_{chu} = \sqrt{1,27 \cdot \sqrt{\frac{11,39 \cdot 0^2 + 3,24 \cdot 59^2}{40}}} = 1,83 \text{ cm} < 1,9 \text{ cm OK Aprovado}$$

6. Cálculo da Zona Livre de Queda e Limitação do trava quedas.

Distância do gancho do trava quedas ao solo = 4600mm

Comprimento do trava quedas + Gancho (Carcaça) = 300mm

Distância de Segurança: 1000mm

Curso máximo do trava quedas: 4600 – 1500 -1000-300 = 1800mm

Jacob Projetos – Engenharia Estrutural

Eng. Felipe Jacob
Engenheiro Mecânico
CREA-SP XXXXXXXXXXXX-SP
(12) 9 8212 – 3908
email: contato@jacobprojetos.com.br
Visite o Site: www.jacobprojetos.com.br

7. Considerações sobre soldas e outros detalhes observados em inspeção visual.

Em vistoria realizada no local, através de inspeção visual observou-se que as soldas estão em condições adequadas, não há pontos de corrosão nem descontinuidades visíveis. Os chumbadores estão devidamente fixados ao solo e a pintura da estrutura está adequada para uso. Não há recomendações extras a serem consideradas, uma vez que o dispositivo está em perfeitas condições para uso.

8. Conclusão do Laudo

Após elaboração do Memorial de cálculo, realização da inspeção visual no local, atesto que a estrutura instalada no local possui capacidade adequada para suportar até 1 pessoa durante a operação de descarga de caminhões, devidamente acoplada com cinto tipo paraquedista que atenda à NBR15836 e trava quedas retrátil ou talabarte de segurança com absorvedor de energia que permita no máximo um curso de 1800mm em qualquer direção.

Sem mais, e no gozo das atribuições a mim concedidas pelo sistema CONFEA/CREA, lavro esse laudo estrutural para que sirva de documentação ao cliente.

Eng. Felipe Jacob

CREA 

São José dos Campos – 19 de Julho de 2019