

MEMORIAL DE CÁLCULO

SUMÁRIO

CARREGAMENTO	2
DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA	3
ESTRATÉGIAS E ELEMENTOS ESTRUTURAIS	4
ESPECIFICAÇÕES DOS MATERIAIS	5
AÇÕES CONSIDERADAS	6
ANÁLISE ESTRUTURAL	7
CONCLUSÃO	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

Para o início do projeto, foram escolhidos os softwares que seriam utilizados no processo de dimensionamento do projeto, que foram o AUTOCAD, CYPECAD, TEKLA e VisualVentos, cada um com sua especificação.

1. CARREGAMENTO

Para o levantamento de cargas, foi utilizado como base, a NBR 6120:2019, que foram considerados a sobrecarga de utilização de 2 kN/m^2 , assim, dimensionando para a pior situação encontrada, visto que na tabela 10, em edifícios residenciais é escolhido a carga variável referente a dispensa, área de serviço e lavanderia. Também, para a laje de steel deck, foi utilizado o catálogo do fornecedor, METFORM, foi escolhido o modelo MF-50, com a laje de 12 cm de altura e espessura de 1,25 mm, assim, o peso próprio é de $2,36 \text{ kN/m}^2$.

Tabela de cargas e vãos máximos - MF 50

	Altura da Laje (mm)	Espessura Trelha-Forma (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento					Peso Próprio (kN/m²)	M. Inércia Laje Mista (10 ⁶ mm ⁴ /m)	Carga Sobreposta Máxima (kN/m²)														
			Simplex (mm)	Duplo (mm)	Triplô (mm)	Balanço (mm)				Vãos (mm)														
Laje de Ferro	100	0,80	2.050	2.800	2.900	900	1,85	5,25	1.800	1.900	2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600	2.850	2.700	2.800	2.900	3.000	3.100	3.200
		0,95	2.550	3.150	3.250	1.100	1,86	5,61	11,58	10,24	9,01	7,96	7,04	6,25	5,55	4,94	4,40	4,15	3,92	3,49	3,10	2,75	2,44	2,16
		1,25	3.200	3.800	3.900	1.450	1,89	6,26	16,43	14,45	12,78	11,31	10,06	8,97	8,02	7,18	6,44	6,10	5,78	5,19	4,67	4,20	3,77	3,38
		0,80	1.800	2.700	2.800	900	2,08	6,89	10,56	9,23	8,10	7,13	6,29	5,55	4,91	4,34	3,84	3,61	3,39	3,00	2,64	2,32	2,02	1,76
		0,95	2.400	3.050	3.150	1.050	2,10	7,35	13,25	11,62	10,23	9,03	8,00	7,10	6,31	5,61	5,00	4,72	4,45	3,96	3,53	3,13	2,78	2,46
	110	1,25	3.050	3.650	3.650	1.400	2,13	8,19	18,64	16,39	14,48	12,84	11,42	10,18	9,10	8,15	7,31	6,93	6,57	5,90	5,31	4,77	4,29	3,85
		0,80	1.850	2.600	2.700	850	2,32	8,85	11,81	10,33	9,06	7,96	7,03	6,21	5,50	4,86	4,30	4,05	3,80	3,36	2,96	2,60	2,27	1,98
		0,95	2.250	2.900	3.000	1.050	2,36	9,43	14,82	13,00	11,44	10,10	8,95	7,94	7,06	6,28	5,60	5,28	4,99	4,44	3,95	3,51	3,12	2,76
		1,25	2.950	3.550	3.550	1.350	2,36	10,48	20,00	18,34	16,20	14,35	12,78	11,40	10,19	9,13	8,19	7,76	7,36	6,61	5,95	5,35	4,81	4,32
		0,80	1.450	2.500	2.600	850	2,57	11,16	13,06	11,42	10,02	8,82	7,78	6,88	6,08	5,38	4,76	4,48	4,21	3,72	3,28	2,88	2,52	2,19
Laje de Piso	130	0,95	2.050	2.800	2.900	1.000	2,57	11,87	16,39	14,37	12,65	11,18	9,90	8,79	7,81	6,96	6,20	5,85	5,52	4,92	4,38	3,89	3,46	3,06
		1,25	2.800	3.400	3.400	1.350	2,60	13,19	20,00	20,00	17,91	15,89	14,13	12,61	11,28	10,10	9,06	8,59	8,14	7,32	6,59	5,92	5,33	4,79
		0,80	1.350	2.450	2.500	800	2,79	13,85	14,31	12,52	10,99	9,67	8,53	7,54	6,67	5,90	5,23	4,91	4,62	4,08	3,60	3,16	2,77	2,41
		0,95	1.950	2.750	2.800	1.000	2,80	14,72	17,96	15,75	13,87	12,25	10,85	9,63	8,57	7,63	6,80	6,42	6,06	5,40	4,81	4,27	3,79	3,36
		1,25	2.700	3.300	3.300	1.300	2,83	16,32	20,00	20,00	18,63	17,41	15,49	13,92	12,36	11,08	9,94	9,42	8,93	8,03	7,22	6,50	5,85	5,26
	140	0,80	1.250	2.300	2.450	800	3,02	16,93	15,57	13,61	11,95	10,52	9,26	8,20	7,28	6,42	5,69	5,35	5,03	4,44	3,92	3,44	3,02	2,63
		0,95	1.700	2.650	2.750	950	3,04	17,98	19,53	17,13	15,08	13,33	11,80	10,48	9,32	8,30	7,40	6,98	6,59	5,88	5,23	4,65	4,13	3,66
		1,25	2.600	3.200	3.250	1.250	3,07	19,90	20,00	20,00	20,00	18,94	16,85	15,04	13,45	12,05	10,82	10,25	9,72	8,74	7,86	7,08	6,37	5,72
		0,80	1.150	2.200	2.300	800	3,26	20,45	16,82	14,71	12,91	11,37	10,03	8,87	7,84	6,95	6,15	5,78	5,44	4,81	4,24	3,73	3,26	2,84
		0,95	1.600	2.550	2.650	950	3,27	21,69	20,00	18,51	16,30	14,40	12,76	11,33	10,07	8,97	8,00	7,55	7,13	6,35	5,66	5,04	4,47	3,96
	150	1,25	2.550	3.100	3.150	1.250	3,30	23,97	20,00	20,00	20,00	20,00	18,21	16,25	14,53	13,03	11,89	11,08	10,51	9,45	8,50	7,65	6,89	6,19
		0,80	1.050	2.050	2.150	750	3,49	24,43	18,07	15,81	13,88	12,22	10,78	9,53	8,43	7,47	6,61	6,22	5,85	5,17	4,56	4,01	3,51	3,08
		0,95	1.500	2.500	2.600	900	3,51	25,87	20,00	19,89	17,51	15,47	13,71	12,17	10,83	9,64	8,60	8,12	7,66	6,83	6,09	5,42	4,81	4,26
		1,25	2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66

Para o levantamento de cargas, também foi considerado:

Piso e contra piso	1 kN/m ²
Drywall	0,5 kN/m ²
Gesso acartonado	0,25 kN/m ²
Light Steel Frame	0,13 kN/m ²

2. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

Para o início do cálculo, para os elementos principais foram considerados os pilares engastados e com a altura total de 12 m, com os perfis de W250x25,3, W310x44,5 e W360x64, considerando também as vigas sempre bi-apoiadas, para assim, evitar que tenha momentos negativos na estrutura, os perfis utilizados foram W200x26,6, W200x19,3 e W310x44,5. Para as vigas-mistas foram considerados os perfis W200 x 19,3

Como elementos secundários, foram considerados as lajes Steel Deck, com a altura de 12cm e espessura da de 1,25mm .

3. ESTRATÉGIAS E ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A estratégia e elementos responsáveis pela estabilização frente aos esforços horizontais foi a inclusão de contraventamentos no eixo X e o emprego de paredes em light steel frame que absorvem parte do esforço horizontal. Foi observado o comportamento da estrutura conforme as cargas horizontais foram aplicadas, como mostradas no programa utilizado para o dimensionamento, assim, de acordo com a solicitação, as dimensões dos perfis foram aumentadas, mas mantendo uma padronização, para que os perfis não fiquem muito diferentes entre si e facilitando a execução, deste modo, fazendo com que a estrutura se torne resistente ao vento e as cargas que estão dispostas sobre ela.

4. ESPECIFICAÇÕES DOS MATERIAIS

Para o Steel Deck, utilizando o catálogo de fornecedores, temos que é feito em aço especial zincado de alta resistência ZAR 280 ASTM A 653 Grau 40. Para o stud bolts, foi utilizado A36, para as chapas de ligação e o contraventamento também. O concreto utilizado foi de f_{ck} 30 MPa, para as vigas e os pilares A572-50, os parafusos foram A325 e a solda E70XX.

5. AÇÕES CONSIDERADAS

Para considerar as ações do vento da edificação, mais especificamente nos pilares, foi considerada a NBR 6123:1988, no qual foi considerada a velocidade do vento na região próxima a Belo Horizonte-MG e novamente considerando a pior situação, a velocidade é apresentada em 35 m/s. A velocidade característica é obtida a partir da velocidade do vento (v_0) e outros fatores a partir da equação

$$V = v_0 * S1 * S2 * S3$$

No qual:

S1- Fator topográfico

S2- Rugosidade do Terreno;

S3- Fator estatístico.

Para S1= 1.0, foi considerado um terreno plano, para S2=0.91, considerado a categoria III, classe B e S3=1,0 para edifícios para hotéis e residências. Com isso, é obtido a velocidade característica do vento num valor de 33,6 m/s e calculando o coeficiente de pressão a partir da seguinte equação

$$q_p = 0,613 * V_k^2$$

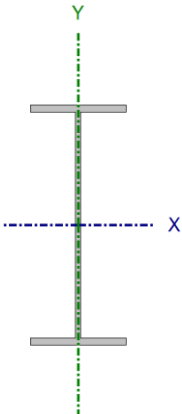
Foi obtido o valor aproximado de 0,70 kN/m².

Ao ser lançada a carga na edificação, é considerada a pior situação com 90°, ou seja, na maior dimensão do edifício.

6. ANÁLISE ESTRUTURAL

Para a análise estrutural do pilar mais solicitado do térreo, a partir de relatórios fornecidos pelo CYPECAD

Barra N11/N12

Perfil: W 250 x 25.3								
Material: Aço (A-572 345MPa)								
	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)	
	N11	N12	3.000	32.60	3473.00	149.00	7.06	
	Notas:							
	(1) Inércia em relação ao eixo indicado							
	(2) Momento de inércia à torção uniforme							
		Flambagem		Flambagem lateral				
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.			
		β	0.70	0.70	0.70	0.70		
		L _K	2.100	2.100	2.100	2.100		
C _b		-		1.000				
Notação:								
β: Coeficiente de flambagem								
L _K : Comprimento de flambagem (m)								
C _b : Fator de modificação para o momento crítico								

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
N11/N12	$\lambda \leq 200.0$ Passa	x: 3 m $\eta = 6.8$	x: 0 m $\eta = 60.9$	x: 0 m $\eta = 13.9$	x: 0 m $\eta = 3.7$	$\eta < 0.1$	$\eta = 1.0$	x: 0 m $\eta = 73.6$	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	$\eta = 1.3$	PASSA $\eta = 73.6$
Notação: <i>λ: Limitação do índice de esbeltez</i> <i>N_t: Resistência à tração</i> <i>N_c: Resistência à compressão</i> <i>M_x: Resistência à flexão eixo X</i> <i>M_y: Resistência à flexão eixo Y</i> <i>V_x: Resistência ao esforço cortante X</i> <i>V_y: Resistência ao esforço cortante Y</i> <i>NM_xM_y: Resistência ao esforço axial e flexão combinados</i> <i>T: Resistência à torção</i> <i>NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante</i> <i>$\sigma \tau f$: Resistência a interações de esforços e momento de torção</i> <i>x: Distância à origem da barra</i> <i>η: Coeficiente de aproveitamento (%)</i> <i>N.A.: Não aplicável</i>												
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.): ⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. ⁽²⁾ Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.												

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

Deve satisfazer:

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N11, para a combinação de ações PP+CP1+1.4·V4.

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

$$M_{Sd} : \underline{10.23} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Já que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G).

$$39.38 \leq 137.24$$

Onde:

$$\lambda : \underline{39.38}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{240.20} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

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

$$\lambda_r : \underline{137.24}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

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:

$$M_{Rd} : \underline{73.37} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$$M_{Rd} : \underline{127.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_x : \underline{270.27} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

(b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção,
FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$98.23 > 42.38$$

$$98.23 \leq 130.60$$

$$M_{Rd} : \underline{73.37} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda : \underline{98.23}$$

Sendo:

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

$$L_{b,inf} : \underline{2.100} \text{ m}$$

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

$$r_y : \underline{2.14} \text{ cm}$$

$$\lambda_p : \underline{42.38}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$\lambda_r : \underline{130.60}$$

Sendo:

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

$$I_y : \underline{149.00} \text{ cm}^4$$

J: Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{7.06} \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção transversal.

$$C_w : \underline{22955.00} \text{ cm}^6$$

$$\beta_1 : \underline{0.046} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_{pl} : \underline{107.33} \text{ kN}$$

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{311.10} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$M_r : \underline{65.27} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Sendo:

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

$$W_x : \underline{270.27} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$\sigma_r : \underline{103.50} \text{ MPa}$$

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

$$C_b : \underline{1.00}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

(c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$6.07 \leq 9.15$$

$$M_{Rd} : \underline{97.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda : \underline{6.07}$$

Sendo:

b_f : Largura da mesa comprimida.

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

t_f : Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{8.40} \text{ mm}$$

$$\lambda_p : \underline{9.15}$$

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$M_{pl} : \underline{107.33} \text{ kN}$$

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{311.10} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

(d) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$39.38 \leq 90.53$$

$$M_{Rd} : \underline{97.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda : \underline{39.38}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{240.20} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

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

$$\lambda_p : \underline{90.53}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$M_{pl} : \underline{107.33} \text{ kN}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{311.10} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.037} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N11, para a combinação de ações PP+CP1+1.4·V1.

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

$$M_{Sd}^+ : \underline{0.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{9.16} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$$M_{Rd} : \underline{13.74} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_y : \underline{29.22} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

(b) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$6.07 \leq 9.15$$

$$M_{Rd} : \underline{14.55} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda : \underline{6.07}$$

Sendo:

b_f : Largura da mesa comprimida.

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

t_f : Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{8.40} \text{ mm}$$

$$\lambda_p : \underline{9.15}$$

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$M_{pl} : \underline{16.01} \text{ kN}$$

Onde:

Z_y : Módulo de resistência plástico.

$$Z_y : \underline{46.40} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

(c) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$39.38 > 33.71$$

$$M_{Rd} : \underline{9.16} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda : \underline{39.38}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{240.20} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

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

$$\lambda_r : \underline{33.71}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$M_{cr} : \underline{10.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef,y} : \underline{29.22} \text{ cm}^3$$

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

$$W_y : \underline{29.22} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$M_{pl} : \underline{16.01} \text{ kN}$$

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico.

$$Z_y : \underline{46.40} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

Resistência ao esforço axial e flexão combinados (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.736} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N11, para a combinação de ações $1.5 \cdot PP + 1.5 \cdot CP1 + 0.75 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V4$.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{304.22} \text{ kN}$$

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

$$M_{x,Sd} : \underline{10.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{y,Sd} : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$0.609 \geq 0.200$$

$$\eta : \underline{0.736}$$

Onde:

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

$$N_{c,Rd} : \underline{499.87} \text{ kN}$$

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

$$M_{x,Rd} : \underline{73.37} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{9.16} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistência a interações de esforços e momento de torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.013} \quad \checkmark$$

O coeficiente de aproveitamento desfavorável produz-se para a combinação de ações $PP + 1.5 \cdot CP1 + 0.75 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V4$ no ponto da seção transversal de coordenadas $X = 0.00 \text{ mm}$, $Y = 0.00 \text{ mm}$ em relação ao centro de gravidade.

As tensões tangenciais τ_{Sd} são dadas por:

$$\tau_{Sd} : \underline{2.04} \text{ MPa}$$

Onde:

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

Sendo:

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

$$V_{x,Sd} : \underline{0.02} \text{ kN}$$

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

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

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

$$I_y : \underline{149.00} \text{ cm}^4$$

t: Espessura.

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

$$\tau_{Vy,Sd} : \underline{2.04} \text{ MPa}$$

Sendo:

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

$$V_{y,Sd} : \underline{2.81} \text{ kN}$$

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

$$S_x : \underline{153.62} \text{ cm}^3$$

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

$$I_x : \underline{3473.00} \text{ cm}^4$$

t: Espessura.

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

$$\tau_{TSd} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

Sendo:

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

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

J: Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{7.06} \text{ cm}^4$$

t: Espessura.

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

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

$$\tau_{Rd} : \underline{160.48} \text{ MPa}$$

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

$$\tau_{Rd} : \underline{188.18} \text{ MPa}$$

Onde:

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$\tau_{Rd} : \underline{160.48 \text{ MPa}}$$

Onde:

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3).

$$\chi : \underline{0.853}$$

Sendo:

$$\lambda_0 : \underline{0.617}$$

$$\tau_e : \underline{544.17 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_E : \underline{108.83 \text{ MPa}}$$

Onde:

k_v : Coeficiente de flambagem (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3).

$$k_v : \underline{5.00}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

ν : Coeficiente de Poisson.

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

t: Espessura.

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

h: Largura.

$$h : \underline{248.60 \text{ mm}}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00 \text{ MPa}}$$

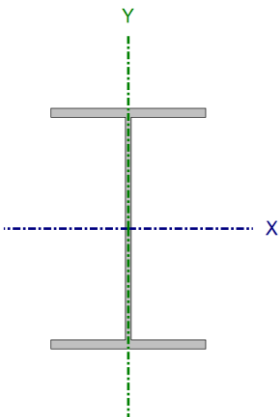
γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

Também para a viga mais solicitada do pavimento tipo, temos:

Perfil: W 200 x 26.6

Material: Aço (A-572 345MPa)



Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I _x ⁽¹⁾ (cm4)	I _y ⁽¹⁾ (cm4)	I _t ⁽²⁾ (cm4)
N227	N131	2.550	34.20	2611.00	330.00	7.65
Notas: (1) <i>Inércia em relação ao eixo indicado</i> (2) <i>Momento de inércia à torção uniforme</i>						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	1.00	2.00	0.00	1.00		
L _K	2.550	5.100	0.000	2.550		
C _b	-		1.000			
Notação: β: <i>Coeficiente de flambagem</i> L _K : <i>Comprimento de flambagem (m)</i> C _b : <i>Fator de modificação para o momento crítico</i>						

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	NM _x M _y	T	NMVT	σ τ f	
N227/N131	λ ≤ 200.0 Passa	η = 0.7	η = 1.4	x: 0 m η = 77.9	x: 0 m η < 0.1	η < 0.1	x: 2.55 m η = 12.2	x: 0 m η = 78.3	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	x: 2.55 m η = 15.1	PASSA η = 78.3

Notação:

λ: Limitação do índice de esbeltez

N_t: Resistência à tração

N_c: Resistência à compressão

M_x: Resistência à flexão eixo X

M_y: Resistência à flexão eixo Y

V_x: Resistência ao esforço cortante X

V_y: Resistência ao esforço cortante Y

NM_xM_y: Resistência ao esforço axial e flexão combinados

T: Resistência à torção

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

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

x: Distância à origem da barra

η: Coeficiente de aproveitamento (%)

N.A.: Não aplicável

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

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

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

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

Deve satisfazer:

η : 0.779 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N227, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·SCU1.

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

$M_{Sd}^+ :$ 69.00 kN·m

Já que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G).

$32.79 \leq 137.24$

Onde:

$\lambda :$ 32.79

Sendo:

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

$h :$ 190.20 mm

t_w : Espessura da alma.

$t_w :$ 5.80 mm

$\lambda_r :$ 137.24

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$E :$ 200000 MPa

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$f_y :$ 345.00 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:

$M_{Rd} :$ 88.54 kN·m

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$M_{Rd} :$ 118.68 kN·m

Onde:

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

$W_x :$ 252.27 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$f_y :$ 345.00 MPa

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$\gamma_{a1} :$ 1.10

(b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

Não é necessário, pois o comprimento de flambagem lateral é nulo.

(c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$7.92 \leq 9.15$

$$M_{Rd} : \underline{88.54} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda : \underline{7.92}$$

Sendo:

b_f : Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{133.00} \text{ mm}$$

t_f : Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{8.40} \text{ mm}$$

$$\lambda_p : \underline{9.15}$$

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$M_{pl} : \underline{97.39} \text{ kN}$$

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{282.30} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

(d) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$32.79 \leq 90.53$$

$$M_{Rd} : \underline{88.54} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda : \underline{32.79}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{190.20} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

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

$$\lambda_p : \underline{90.53}$$

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$M_{pl} : \underline{97.39} \text{ kN}$$

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{282.30} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

Deve satisfazer:

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N227, para a combinação de ações PP+CP1+1.4·V4.

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

$$M_{Sd} < \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{16.70} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$$M_{Rd} : \underline{23.35} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_y : \underline{49.62} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

(b) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$7.92 \leq 9.15$$

$$M_{Rd} : \underline{23.93} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda : \underline{7.92}$$

Sendo:

b_f : Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{133.00} \text{ mm}$$

t_f : Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{8.40} \text{ mm}$$

$$\lambda_p : \underline{9.15}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$M_{pl} : \underline{26.32} \text{ kN}$$

Onde:

Z_y : Módulo de resistência plástico.

$$Z_y : \underline{76.30} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

(c) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA
(ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$32.79 > 26.97$$

$$32.79 \leq 33.71$$

$$M_{Rd} : \underline{16.70} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda : \underline{32.79}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{190.20} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

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

$$\lambda_p : \underline{26.97}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$\lambda_r : \underline{33.71}$$

Sendo:

$$E: \text{Módulo de elasticidade do aço.} \quad E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$$f_y: \text{Resistência ao escoamento do aço.} \quad f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$M_{pl} : \underline{26.32} \text{ kN}$$

Onde:

$$Z_y: \text{Módulo de resistência plástico.} \quad Z_y : \underline{76.30} \text{ cm}^3$$

$$f_y: \text{Resistência ao escoamento do aço.} \quad f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$M_r : \underline{17.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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 .

$$W_{ef,y} : \underline{49.62} \text{ cm}^3$$

$$f_y: \text{Resistência ao escoamento do aço.} \quad f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{a1}: \text{Coeficiente de segurança do material.} \quad \gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Resistência ao esforço axial e flexão combinados (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.783} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N227, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·SCU1+0.84·V4.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{5.35} \text{ kN}$$

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

$$M_{x,Sd}^+ : \underline{69.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{y,Sd}^- < \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$0.008 < 0.200$$

$$\eta : \underline{0.783}$$

Onde:

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

$$N_{c,Rd} : \underline{655.17} \text{ kN}$$

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

$$M_{x,Rd} : \underline{88.54} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{16.70} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistência a interações de esforços e momento de torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.151} \quad \checkmark$$

O coeficiente de aproveitamento desfavorável produz-se no nó N131, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·SCU1+0.84·V4 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:

$$\tau_{Sd} : \underline{-25.39} \text{ MPa}$$

Onde:

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

Sendo:

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

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

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

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

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

$$I_y : \underline{330.00} \text{ cm}^4$$

t: Espessura.

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

$$\tau_{Vy,Sd} : \underline{-25.39} \text{ MPa}$$

Sendo:

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

$$V_{y,Sd}^+ : \underline{27.56} \text{ kN}$$

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

$$S_x : \underline{139.53} \text{ cm}^3$$

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

$$I_x : \underline{2611.00} \text{ cm}^4$$

t: Espessura.

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

$$\tau_{TSd} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

Sendo:

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

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

J: Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{7.65} \text{ cm}^4$$

t: Espessura.

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

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

$$\tau_{Rd} : \underline{168.18} \text{ MPa}$$

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

$$\tau_{Rd} : \underline{188.18} \text{ MPa}$$

Onde:

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$\tau_{Rd} : \underline{168.18} \text{ MPa}$$

Onde:

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3).

$$\chi : \underline{0.894}$$

Sendo:

$$\lambda_0 : \underline{0.518}$$

$$\tau_e : \underline{770.86} \text{ MPa}$$

$$\sigma_E : \underline{154.17} \text{ MPa}$$

Onde:

k_v : Coeficiente de flambagem (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3).

$$k_v : \underline{5.00}$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

ν : Coeficiente de Poisson.

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

t : Espessura.

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

h : Largura.

$$h : \underline{198.60} \text{ mm}$$

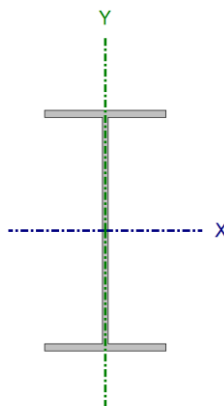
f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

Para a viga secundária mais solicitadas, temos:

Perfil: W 200 x 19.3							
Material: Aço (A-572 345MPa)							
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
	Inicial	Final		Área (cm²)	$I_x^{(1)}$ (cm4)	$I_y^{(1)}$ (cm4)	$I_t^{(2)}$ (cm4)
	N228	N227	3.170	25.10	1686.00	116.00	4.02
	Notas:						
	<i>(1) Inércia em relação ao eixo indicado</i>						
	<i>(2) Momento de inércia à torção uniforme</i>						
		Flambagem		Flambagem lateral			
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
	b	1.00	1.00	0.00	1.00		
	L_K	3.170	3.170	0.000	3.170		
C_b	-		1.000				
Notação:							
<i>b</i> : Coeficiente de flambagem							
<i>L_K</i> : Comprimento de flambagem (m)							
<i>C_b</i> : Fator de modificação para o momento crítico							

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	l	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	$NMVT$	$s t f$	
N228/N227	$l \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$h = 1.5$	$x: 1.585 \text{ m}$ $h = 35.7$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$x: 0 \text{ m}$ $h = 12.1$	$x: 1.585 \text{ m}$ $h = 36.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $h = 36.2$

Notação:

l : 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

$s t f$: Resistência a interações de esforços e momento de torção

x : Distância à origem da barra

h : 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 será executada, já que não existe momento fletor.

⁽³⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

⁽⁴⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

⁽⁵⁾ Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.

⁽⁶⁾ Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

Deve satisfazer:

$$h : 0.357 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 1.585 m do nó N228, para a combinação de ações 1.5•PP+1.5•CP1+1.5•SCU1.

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

$$M_{sd}^+ : 21.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Já que ' $l \leq l_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G).

Onde:

$$I : 32.76$$

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas. **h** : 190.00 mm

t_w: Espessura da alma. **t_w** : 5.80 mm

$$I_r : 137.24$$

Sendo:

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço. **f_y** : 345.00 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:

$$M_{Rd} : 59.78 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$$M_{Rd} : 78.15 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_x: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. **W_x** : 166.11 cm³

f_y: Resistência ao escoamento do aço. **f_y** : 345.00 MPa

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material. **g_{a1}** : 1.10

(b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

Não é necessário, pois o comprimento de flambagem lateral é nulo.

(c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$7.85 \leq 9.15$$

$$M_{Rd} : 59.78 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$I : 7.85$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida. **b_f** : 102.00 mm

t_r: Espessura da mesa comprimida. **t_r : 6.50 mm**

l_p : 9.15

Sendo:

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço. **f_y : 345.00 MPa**

M_{pl} : 65.76 kN

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico. **Z_x : 190.60 cm³**

f_y: Resistência ao escoamento do aço. **f_y : 345.00 MPa**

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material. **g_{a1} : 1.10**

(d) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

32.76 £ 90.53

M_{Rd} : 59.78 kN·m

Onde:

l : 32.76

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. **h : 190.00 mm**

t_w: Espessura da alma. **t_w : 5.80 mm**

l_p : 90.53

Sendo:

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço. **f_y : 345.00 MPa**

M_{pl} : 65.76 kN

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico. **Z_x : 190.60 cm³**

f_y: Resistência ao escoamento do aço. **f_y : 345.00 MPa**

ga1: Coeficiente de segurança do material.

ga1 : 1.10

Também calculada pela planilha CBCA

Materiais	
Concreto	Aço do Perfil
Classe de Concreto (f_{ck} , MPa): 30	Tensão de Escoamento (f_{yk} , MPa): 350
Peso Próprio (kN/m^3): 30	Módulo de Elasticidade (E_s , MPa): 200000

Perfil	
escolha da lista (acima) ou monte um perfil customizado (chegar primeiro se perfil já é de série)	
Obs.: valores em mm	
Altura (d): 203	Opções: 203
Alt. Alma (h): 190	
Exp. Alma (t_a): 5,8	5,8
Larg. Mesa Sup. (b_s): 105	105
Exp. Mesa Sup. (t_s): 6,5	6,5
Larg. Mesa Inf. (b_i): 101	101
Exp. Mesa Inf. (t_i): 6,5	6,5


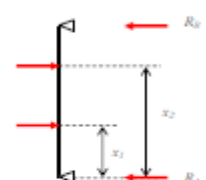
Pos. CG (inferior):	102,5 mm
Massa:	19,2 kg/m
Área:	24,41 cm ²
Inércia x (I_x):	1624 cm ⁴
Módulo Resistente x (W_{ex}):	162 cm ³
Módulo Resistente y (W_{ey}):	158 cm ³
Rato de Giro x (r_x):	8,16 cm
Módulo Plástico (Z_x):	184 cm ³
Inércia y (I_y):	119 cm ⁴
Módulo Resistente y (W_{ey}):	23 cm ³
Rato de Giro y (r_y):	2,21 cm
Módulo Plástico y (Z_y):	36 cm ³
Rato de Giro Torção (r_t):	2,70 cm
Inércia Torção (I_t):	3,16 cm ⁴
Coef. Empenamento (C_w):	11401 cm ⁶
λ/t_a : 33	$(\lambda/t_a)_{lim}$ 90 136
$b_s/2t_s$: 8	$h/t_w \leq 3,76 (E/f_y)^{1/4}$
$b_i/2t_i$: 8	

Dados da Viga e Laje:	
Vão livre: 3,17 m	
Vão lajes esquerda: 2,55 m	
Apoio lajes esq.: 1 direção	
Vão lajes direita: 2,55 m	
Apoio lajes dir.: 1 direção	
Viga Escondida: não	
Largura Efetiva (b): 0,79 m	
Enchimento: EPS	
Largura bloco b_b (mm): 320	
Altura bloco h_b (mm): 80	
Largura base b_1 (mm): 120	
Tipo de Laje: Deck	t_d (mm): 70
Altura total (mm): 120	t_w (mm): 50
Peso Concreto: 2,85 kN/m ²	
Deck: METFORM MF50 1,25 mm	
Peso Próprio Deck: 0,13 kN/m ²	
Altura Deck (mm): 50	Onda (cm): 30,5
nervuras: perpendiculares	Ondas: 10
bf (mm): 152,5	
hf (mm): 50	

Carregamentos				
Permanentes:	kN/m ²	(kN/m)	Vigas diretamente apoiadas (máx. 8 em cada lado):	
Peso Próprio Vigas:		0,19	Reações sobre viga de aço (em kN, antes e depois da cura)*	
Peso Próprio Laje:	2,98	-	x (m) antes da cura depois da cura	
Pardeis (direta):	1,00	0,00	1	* Reações de apoio das vigas submetidas apenas às cargas de peso próprio da estrutura
Revestimento:	0,50	-	2	* Reações de apoio das vigas submetidas às cargas totais após a cura do concreto
Divisórias:	0,13	-	3	
Pardeis (dist.):	0,25	-	4	
Fôrro:	0,00	-	5	
Proteção:	0,00	-		
Variações:				
Sobrecarga:	2,00	-		
Sobrecarga Constr.:	0,00	-		

Cargas por área - kN/m ²	
distribuída antes da cura:	2,98
permanente dist. após cura:	4,06
total dist. após cura:	6,06

Cargas lineares - kN/m	
Carga antes da cura:	0,19
Carga perm. após cura:	0,19

Reações de Apoio (x/majoração, em kN)	
RA (Antes da Cura):	12,4
RB (Antes da Cura):	12,4
RA (Depois da Cura):	28,0
RB (Depois da Cura):	28,0

Conectores de Cisalhamento	
Conector:	stud
Grau de Interação:	0,50
Grau de Interação Mínimo:	0,40

Pino com Cabeça (Stud)	
Diâmetro do conector (mm):	19
Conector/grupo:	2
Resistência última de 1 conector (kN):	46,3
Número Necessário de Conectores (vão):	18
Grupo de 2 em cada uma das 10 nervuras (grau de interação pode ser adotado igual a 0,6)	OK
Espessura mínima flange (t _{fl}) (para soldagem fora da alma)	7,6 (OK)


Conector Perfil U:	
Espessura da mesa (mm):	3
Espessura da alma (mm):	3
Comprimento do Perfil (mm):	100
Resistência última de 1 conector (kN):	95,5
Número Total de Conectores:	18
Espacamento de conectores (cm):	17,6

Verificação para solicitações antes da cura (viga não escorada)			
1. Verificações Estado Limite Último			
Coefficiente de Segurança:	Carga Permanente (γ _p):	1,4	Carga Variável (γ _v):
Combinação de Ações:	$F_d = \gamma_p \times F_p + \gamma_v \times F_v$ (reações de vigas consideradas permanentes)		
Referência de Cálculo:	x = 0	x = 3,17	
Cortante Esq. (kN):	-17,29		
Cortante Dir. (kN):	17,29		
Momento (kNm):	0,00	0,00	
Mom. Máx. (kNm):	13,71	em x = 1,59	Cort. Máx. (kN):
Reações (kN):	17,29	17,29	17,29
1.1. Flambagem Lateral por Torção (FLT) (desconsidere FLT se houver contenção lateral)			
Comprimento desatado (m):	8,00	A	44,2
Momento Solitante:	13,7 kNm	A _y	42,1
Momento Resistente:	57,7 kNm	A _x	127,5
		M _{pl}	39,6 kNm
		M _{el}	77,2 kNm
		M _{pr}	243,1 kNm
1.2. Flambagem Local da Mesa (FLM)			
Momento Solitante:	13,7 kNm	A	8,1
Momento Resistente:	58,5 kNm	A _y	9,00
	checar	A _x	22,7
		M _{pl}	311,8 kNm
		M _{pr}	39,6 kNm
1.3. Flambagem Local da Alma (FLA)			
Momento Solitante:	13,7 kNm	A	32,8
Momento Resistente:	58,5 kNm	A _y	88,0
		A _x	137,7

Verificação para solicitações depois da cura			
1. Verificações Estado Limite Último - Anexo O NBR8800			
Coefficiente de Segurança:	Carga Permanente (γ _p):	1,35	Carga Variável (γ _v):
Combinação de Ações:	$F_d = \gamma_p \times F_p + \gamma_v \times F_v$ (reações de vigas consideradas permanentes)		
Referência de Cálculo:	x = 0	x = 3,17	
Cortante Esq. (kN):	-39,06		
Cortante Dir. (kN):	39,06		
Momento (kNm):	0,00	0,00	
Mom. Máx. (kNm):	30,95	em x = 1,59	Cort. Máx. (kN):
Reações (kN):	39,06	39,06	39,06
1.1. Momento Fletor (para $h/t_w \leq 3,76(E/F_y)^{1/4}$) (Análise Plástica)			
Momento Resistente de Cálculo:	118,27 kNm	Momento Solitante (kNm):	31,0
Resistência Máxima Parcela de Concreto:	1010,4 kN	$R_{pc} = (0,85F_{ck}/\gamma_c) \times b \times d$	
Resistência Máxima Parcela de Aço:	776,7 kN	$R_{st} = (F_y/\gamma_s) \times A_{st}$	
Resistência da Conexão:	300,3 kN	Q_{st}	
Posição das Linhas Neutras (a partir do tipo da laje e do tipo do perfil)	26,9 mm	5,81 mm	
Interação Parcela de grau 0,5			
1.2. Momento Fletor (para $3,76(E/F_y)^{1/4} < h/t_w \leq 5,7(E/F_y)^{1/4}$) (Análise Elástica)			
Verificação de tensões no aço e no concreto:			
Tensão no aço:	110,8 MPa	limite:	318,2 MPa
Tensão no concreto:	8,8 MPa		21,4 MPa
Verificação adicional para Viga Não Escorada:			

Tensão no aço:	152,6 MPa	318,2	N.A.
1.3. Esforço Cortante (Obs.: sem entalhe/encosto)			
Cortante Resistente de Cálculo:	224,8	kN	33
Cortante Solicitante:	39,1	kN	59
			73
2. Verificação dos Estados Limites de Serviço			
Inércias e centros de gravidade (a partir da face inferior):			
Seção metálica:	1624	cm ⁴	C. G.: 10,3 cm
Seção Mista, Interação total:			
Instantâneas:	8196	cm ⁴	C. G.: 24,1 cm
			$W_{el,yef}$ 339,8
			$W_{pl,yef}$ 3002,0
Longa Duração:	5594	cm ⁴	C. G.: 19,5 cm
			$W_{el,yef}$ 302,7
			$W_{pl,yef}$ 459,4
Seção Mista, Interação Parcial:			
Instantâneas:	6271	cm ⁴	$W_{el,yef}$ 286,7
Longa Duração:	4643	cm ⁴	$W_{pl,yef}$ 260,5
2.1. Estado Limite de Deformação Excessiva		Limite (L/350): 0,91cm	OK
2.1.1. Viga não-escurada			
(a) flecha antes da cura do concreto (cm):	0,32	(Inércia do perfil, peso próprio (a) e viga)	
(b) acréscimo após a cura do concreto (cm):	0,69	(Inércia mista, com efeitos de longa duração)	
(c) flecha devido a 50% da sobrecarga (cm):	0,63	(Inércia mista, sem efeitos de longa duração)	
(d) total (a+b+c)(cm):	0,64	OK	
Importante: caso a <u>laje seja escurada</u> , a parcela (a) deverá ser reduzida!			

Para as vigas da escada, foram obtidos:

Perfil: U 304.8									
Material: Aço (A-572 345MPa)									
	Nós		Compriment o (m)	Características mecânicas					
	Inicia I	Fina I		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm4)	I _y ⁽¹⁾ (cm4)	I _t ⁽²⁾ (cm4)	x _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
	N1	N2	5.425	42.4 7	5316.4 6	166.9 4	13.5 3	- 17.75	0.00
	Notas:								
	(1) <i>Inércia em relação ao eixo indicado</i>								
	(2) <i>Momento de inércia à torção uniforme</i>								
	(3) <i>Coordenadas do centro de gravidade</i>								
	Flambagem			Flambagem lateral					
	Plano ZX		Plano ZY	Aba sup.		Aba inf.			
β	0.07		1.00	1.00		1.00			
L _K	0.400		5.425	5.425		5.425			
C _b	-			1.000					
Notação:									
β: Coeficiente de flambagem									
L _K : Comprimento de flambagem (m)									
C _b : Fator de modificação para o momento crítico									

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
N1/N2	x: 0 m $\lambda \leq 200.0$ Passa	x: 5.425 m $\eta = 0.5$	x: 0 m $\eta = 1.0$	x: 2.713 m $\eta = 38.6$	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 2.4$	x: 2.374 m $\eta = 38.1$	N.A. ⁽³⁾	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	PASSA $\eta = 38.6$

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	$NMVT$	$\sigma \tau f$	
<p>Notação:</p> <p>λ: Limitação do índice de esbeltez</p> <p>N_t: Resistência à tração</p> <p>N_c: Resistência à compressão</p> <p>M_x: Resistência à flexão eixo X</p> <p>M_y: Resistência à flexão eixo Y</p> <p>V_x: Resistência ao esforço cortante X</p> <p>V_y: Resistência ao esforço cortante Y</p> <p>NM_xM_y: Resistência ao esforço axial e flexão combinados</p> <p>T: Resistência à torção</p> <p>$NMVT$: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante</p> <p>$\sigma \tau f$: Resistência a interações de esforços e momento de torção</p> <p>x: Distância à origem da barra</p> <p>η: Coeficiente de aproveitamento (%)</p> <p>N.A.: Não aplicável</p>												
<p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):</p> <p>(1) A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.</p> <p>(2) A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.</p> <p>(3) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.</p> <p>(4) Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.</p> <p>(5) Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.</p>												

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.386} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 2.713 m do nó N1, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·SCU1.

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

$$M_{Sd}^+ : \underline{13.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Já que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G).

$$39.35 \leq 137.24$$

Onde:

$$\lambda : \underline{39.35}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{279.40} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

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

$$\lambda_r : \underline{137.24}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

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:

$$M_{Rd} : \underline{33.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$$M_{Rd} : \underline{164.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_x : \underline{348.85} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

(b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$273.64 > 144.70$$

$$M_{Rd} : \underline{33.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda : \underline{273.64}$$

Sendo:

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

$$L_{b,sup} : \underline{5.425} \text{ m}$$

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

$$r_y : \underline{1.98} \text{ cm}$$

$$\lambda_r : \underline{144.70}$$

Sendo:

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

$$I_y : \underline{166.94} \text{ cm}^4$$

J: Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{13.53} \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção transversal.

$$C_w : \underline{30193.10} \text{ cm}^6$$

$$\beta_1 : \underline{0.031} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_r : \underline{84.25} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Sendo:

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

$$W_x : \underline{348.85} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$\sigma_r : \underline{103.50} \text{ MPa}$$

$$M_{cr} : \underline{37.33} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Sendo:

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

$$C_b : \underline{1.00}$$

$$M_{pl} : \underline{143.41} \text{ kN}$$

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{415.68} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

(c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$5.88 \leq 9.15$$

$$M_{Rd} : \underline{130.37} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda : \underline{5.88}$$

Sendo:

b_f : Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{74.70} \text{ mm}$$

t_f : Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{12.70} \text{ mm}$$

$$\lambda_p : \underline{9.15}$$

Sendo:

$$E: \text{Módulo de elasticidade do aço.} \quad E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$$f_y: \text{Resistência ao escoamento do aço.} \quad f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$M_{pl} : \underline{143.41} \text{ kN}$$

Onde:

$$Z_x: \text{Módulo de resistência plástico.} \quad Z_x : \underline{415.68} \text{ cm}^3$$

$$f_y: \text{Resistência ao escoamento do aço.} \quad f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{a1}: \text{Coeficiente de segurança do material.} \quad \gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

(d) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$39.35 \leq 90.53$$

$$M_{Rd} : \underline{130.37} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda : \underline{39.35}$$

Sendo:

$$h: \text{Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.} \quad h : \underline{279.40} \text{ mm}$$

$$t_w: \text{Espessura da alma.} \quad t_w : \underline{7.10} \text{ mm}$$

$$\lambda_p : \underline{90.53}$$

Sendo:

$$E: \text{Módulo de elasticidade do aço.} \quad E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$$f_y: \text{Resistência ao escoamento do aço.} \quad f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$M_{pl} : \underline{143.41} \text{ kN}$$

Onde:

$$Z_x: \text{Módulo de resistência plástico.} \quad Z_x : \underline{415.68} \text{ cm}^3$$

$$f_y: \text{Resistência ao escoamento do aço.} \quad f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{a1}: \text{Coeficiente de segurança do material.} \quad \gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.024} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·SCU1.

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

$$V_{Sd} : \underline{9.66} \text{ kN}$$

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

$$39.35 \leq 59.22$$

$$V_{Rd} : \underline{407.24} \text{ kN}$$

Onde:

$$\lambda : \underline{39.35}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{279.40} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

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

$$\lambda_p : \underline{59.22}$$

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.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$V_{pl} : \underline{447.96} \text{ kN}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w : \underline{21.64} \text{ cm}^2$$

d: Altura total da seção transversal.
 γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

d : 304.80 mm
 γ_{a1} : 1.10

Resistência ao esforço axial e flexão combinados (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)

Deve satisfazer:

η : 0.381 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 2.374 m do nó N1, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1+1.5·SCU1.

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

$N_{c,Sd}$: 0.77 kN

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

$M_{x,Sd}^+$: 12.90 kN·m

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

$M_{y,Sd}^-$: 0.00 kN·m

0.001 < 0.200

η : 0.381

Onde:

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

$N_{c,Rd}$: 625.40 kN

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

$M_{x,Rd}$: 33.94 kN·m

$M_{y,Rd}$: 9.42 kN·m

Para as ligações, a partir do CYPECAD, obteve-se como ligação de base os dados abaixo

1) Pilar W 250 x 25.3

Soldas (ABNT NBR 8800:2008)

Limitações (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.6)

6.2.6.2 Soldas de filete

6.2.6.2.1 O tamanho mínimo da perna de uma solda de filete é dado na Tabela 10, em função da parte menos espessa soldada.

6.2.6.2.2 O tamanho máximo da perna de uma solda de filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas é o seguinte:

- a) ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material;
- b) ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm, a não ser que nos desenhos essa solda seja indicada como reforçada durante a execução, de modo a obter a espessura total desejada da garganta.

6.2.6.2.3 O comprimento efetivo de uma solda de filete, dimensionada para uma solicitação de cálculo qualquer, não pode ser inferior a 4 vezes seu tamanho da perna e a 40 mm.

AWS D1.1/D1.1M, Complementary specifications.

2.3.3.7 Effective Throat of Skewed T-Joints.

The effective throat of a skewed T-joint in angles between 60° and 30° shall be the minimum distance from the root to the diagrammatic face, less the Z loss reduction dimension. The effective throat of a skewed T-joint in angles between 80° and 60° and in angles greater than 100° shall be taken as the shortest distance from the joint root to the weld face.

Força resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.5)

6.2.5.1 A força resistente de cálculo, $F_{w,Rd}$, dos diversos tipos de solda está indicada na Tabela 8, na qual A_w é a área efetiva da solda, A_{MB} é a área do metal-base (produto do comprimento da solda pela espessura do metal-base menos espesso), f_y é a menor resistência ao escoamento entre os metais-base da junta e f_w a resistência mínima à tração do metal da solda.

Força resistente de cálculo das soldas, Tabela 8		
Tipo de solda	Tipo de solicitação e orientação	Força resistente de cálculo, $F_{w,Rd}$
Filete	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda.	Não precisa ser considerado.
	Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas).	Metal-base deve atender a 6.5 onde: Metal da solda:
2) O valor de γ_{w2} é igual a 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,15 para combinações excepcionais.		

6.2.4 Exigências relativas ao metal da solda e aos procedimentos de soldagem

6.2.4.1 Na Tabela 7, extraída da AWS D1.1, são apresentados alguns metais-base e eletrodos de solda que podem ser usados em procedimentos de soldagem pré-qualificados. Mais informações podem ser obtidas na AWS D1.1.

Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)								
Descrição	Tipo	P.S.	t (mm)	Comprimento		Perna		
				$l_{w,min}$ (mm)	l_w (mm)	$d_{w,min}$ (mm)	$d_{w,max}$ (mm)	d_w (mm)
Soldadura perimetral à placa	De ângulo	SMAW	6	40	795	3	6	6
<p><i>P.S.: Procedimento de soldagem.</i> <i>t: Menor espessura do metal-base.</i> <i>l_w: Comprimento total da solda.</i> <i>d_w: Perna da solda.</i></p>								

Verificação de cordões de soldadura															
Descrição	Perna (mm)	t (mm)	l _w (mm)	Eléctrode	Metal - base	Cisalhamento (Metal da solda)			Tensões (Metal-base)			Coeficientes de ponderação			
				f _w (N/mm ²)	f _y (N/mm ²)	S _d (N/mm ²)	R _d (N/mm ²)	Aprov. (%)	S _d (N/mm ²)	R _d (N/mm ²)	Aprov. (%)	γ _{a1}	γ _{w1}	γ _{w2}	
Soldadura perimetral à placa	6	6	795	E70XX (485.0)	250.0	Não precisa ser considerado.									
<i>Sd: Solicitação de cálculo</i> <i>Rd: Resistente de cálculo</i> <i>- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.</i>															

2) Placa de ancoragem

Referência: -Placa base: Largura X: 250 mm Largura Y: 400 mm Espessura: 15 mm -Parafusos: 4Ø15.87 mm L=80 cm Dobra a 180 graus -Disposição: Posição X: Centrada Posição Y: Centrada -Enrijecedores: Paralelos X: - Paralelos Y: 1(100x30x5.0)		
Verificação	Valores	Estado
Distância mínima entre chumbadores: <i>3 diâmetros</i>	Mínimo: 47 mm Calculado: 170 mm	Passa
Distância mínima chumbador-perfil: <i>1.5 diâmetros</i>	Mínimo: 23 mm Calculado: 47 mm	Passa
Distância mínima chumbador-borda: <i>2 diâmetros</i>	Mínimo: 31 mm Calculado: 40 mm	Passa
Esbeltez dos enrijecedores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 42.6	Passa

Referência: -Placa base: Largura X: 250 mm Largura Y: 400 mm Espessura: 15 mm -Parafusos: 4Ø15.87 mm L=80 cm Dobra a 180 graus -Disposição: Posição X: Centrada Posição Y: Centrada -Enrijecedores: Paralelos X: - Paralelos Y: 1(100x30x5.0)		
Verificação	Valores	Estado
Comprimento mínimo do parafuso: <i>Calcula-se o comprimento de ancoragem necessário por aderência.</i>	Mínimo: 44 cm Calculado: 80 cm	Passa
Ancoragem chumbador no concreto: - Tração: - Cortante: - Tração + Cortante:	Máximo: 68.49 kN Calculado: 54.66 kN Máximo: 47.95 kN Calculado: 8.66 kN Máximo: 68.49 kN Calculado: 67.04 kN	Passa Passa Passa
Tração chumbadores:	Máximo: 113.16 kN Calculado: 54.66 kN	Passa
Tensão de Von Mises nos chumbadores:	Máximo: 571.5 MPa Calculado: 283.653 MPa	Passa
Esmagamento chumbador na placa: <i>Limite de esforço de corte em um chumbador atuando contra a placa</i>	Máximo: 133.9 kN Calculado: 8.66 kN	Passa
Tensão de Von Mises em seções globais: - Direita: - Esquerda: - Acima: - Abaixo:	Máximo: 250 MPa Calculado: 225.137 MPa Calculado: 226.083 MPa Calculado: 146.985 MPa Calculado: 185.471 MPa	Passa Passa Passa Passa
Flecha global equivalente: <i>Limite da deformabilidade dos balanços</i> - Direita: - Esquerda: - Acima: - Abaixo:	Mínimo: 250 Calculado: 563.938 Calculado: 560.818 Calculado: 10319.6 Calculado: 8056.72	Passa Passa Passa Passa
Tensão de Von Mises local: <i>Tensão por tração de chumbadores sobre placas em balanço</i>	Máximo: 250 MPa Calculado: 0 MPa	Passa
Todas as verificações foram cumpridas		
Informação adicional: - Relação ruptura desfavorável seção de concreto: 0.134		

Limitações (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.6)**6.2.6.2 Soldas de filete**

6.2.6.2.1 O tamanho mínimo da perna de uma solda de filete é dado na Tabela 10, em função da parte menos espessa soldada.

6.2.6.2.2 O tamanho máximo da perna de uma solda de filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas é o seguinte:

- a) ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material;
- b) ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm, a não ser que nos desenhos essa solda seja indicada como reforçada durante a execução, de modo a obter a espessura total desejada da garganta.

6.2.6.2.3 O comprimento efetivo de uma solda de filete, dimensionada para uma solicitação de cálculo qualquer, não pode ser inferior a 4 vezes seu tamanho da perna e a 40 mm.

AWS D1.1/D1.1M, Complementary specifications.

2.3.3.7 Effective Throat of Skewed T-Joints.

The effective throat of a skewed T-joint in angles between 60° and 30° shall be the minimum distance from the root to the diagrammatic face, less the Z loss reduction dimension. The effective throat of a skewed T-joint in angles between 80° and 60° and in angles greater than 100° shall be taken as the shortest distance from the joint root to the weld face.

Força resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.5)

6.2.5.1 A força resistente de cálculo, $F_{w,Rd}$, dos diversos tipos de solda está indicada na Tabela 8, na qual A_w é a área efetiva da solda, A_{MB} é a área do metal-base (produto do comprimento da solda pela espessura do metalbase menos espesso), f_y é a menor resistência ao escoamento entre os metais-base da junta e f_w a resistência mínima à tração do metal da solda.

Força resistente de cálculo das soldas, Tabela 8		
Tipo de solda	Tipo de solicitação e orientação	Força resistente de cálculo, $F_{w,Rd}$
Filete	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda.	Não precisa ser considerado.
	Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas).	Metal-base deve atender a 6.5 onde: Metal da solda:

Força resistente de cálculo das soldas, Tabela 8		
Tipo de solda	Tipo de solicitação e orientação	Força resistente de cálculo, $F_{w,Rd}$
2) O valor de γ_{w2} é igual a 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,15 para combinações excepcionais.		

6.2.4 Exigências relativas ao metal da solda e aos procedimentos de soldagem

6.2.4.1 Na Tabela 7, extraída da AWS D1.1, são apresentados alguns metais-base e eletrodos de solda que podem ser usados em procedimentos de soldagem pré-qualificados. Mais informações podem ser obtidas na AWS D1.1.

Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)								
Descrição	Tipo	P.S.	t (mm)	Comprimento		Perna		
				$l_{w,min}$ (mm)	l_w (mm)	$d_{w,min}$ (mm)	$d_{w,max}$ (mm)	d_w (mm)
Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à placa base	De ângulo	SMAW	5	40	72	3	5	5
Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à peça	De ângulo	SMAW	5	40	85	3	5	5
Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à placa base	De ângulo	SMAW	5	40	72	3	5	5
Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à peça	De ângulo	SMAW	5	40	85	3	5	5
<p><i>P.S.: Procedimento de soldagem.</i> <i>t: Menor espessura do metal-base.</i> <i>l_w: Comprimento total da solda.</i> <i>d_w: Perna da solda.</i></p>								

Verificação de cordões de soldadura														
Descrição	Perna (mm)	t (mm)	l _w (mm)	Eléctro de	Metal - base	Cisalhamento (Metal da solda)			Tensões (Metal-base)			Coeficientes de ponderação		
				f _w (N/mm ²)	f _y (N/mm ²)	S _d (N/mm ²)	R _d (N/mm ²)	Aprov. (%)	S _d (N/mm ²)	R _d (N/mm ²)	Aprov. (%)	γ _{a1}	γ _{w1}	γ _{w2}
Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à placa base	5	5	72	E60XX (415.0)	250.0	Não precisa ser considerado.								
Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à peça	5	5	85	E70XX (485.0)	250.0	Não precisa ser considerado.								

Verificação de cordões de soldadura																
Descrição	Perna (mm)	t (mm)	l _w (mm)	Eléctro de	Metal - base	Cisalhamento (Metal da solda)			Tensões (Metal- base)			Coeficient es de ponderaçã o				
				f _w (N/mm ²)	f _y (N/mm ²)	Sd (N/mm ²)	Rd (N/mm ²)	Apro v. (%)	Sd (N/mm ²)	Rd (N/mm ²)	Apro v. (%)	γ _{a1}	γ _{w1}	γ _{w2}		
Enrijeced or y-y (x = 0): Soldadur a à placa base	5	5	72	E60XX (415.0)	250.0	Não precisa ser considerado.										
Enrijeced or y-y (x = 0): Soldadur a à peça	5	5	85	E70XX (485.0)	250.0	Não precisa ser considerado.										
Sd: Solicitação de cálculo Rd: Resistente de cálculo - Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.																

Para a ligação de viga com viga, obteve-se os dados baixo:

1) Viga principal

- Verificações por ligação com elemento "
- Verificações por ligação com elemento 'Viga secundária (a) W 200 x 19.3'
- Alma

Resistência ao punçoamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em Quadro 7.13 EN 1993-1-8:2005)

Deve satisfazer a condição:

$$0.62 \text{ kN} \leq 116.86 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

F_{Sd} : 0.62 kN

F_{Rd}: Força resistente de cálculo ao punção.

F_{Rd} : 116.86 kN

onde:

A_g: Área bruta da seção transversal.

A_g : 645 mm²

B_{ep} : 48 mm

t: Espessura.

t : 5.8 mm

t_p: Espessura do elemento de ligação.

t_p : 8.0 mm

h_p: Altura do elemento de ligação.

h_p : 170 mm

h_w: Altura da alma.

h_w : 207 mm

d_p: Distância da chapa ao bordo mais próximo

d_p : 104 mm

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 345.00 N/mm²

γ_{a1}: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

γ_{a1} : 1.10

Resistência à tração da alma (Critério de CYPE Ingenieros)

Deve satisfazer a condição:

$$0.02 \text{ kN} \leq 127.24 \text{ kN} \quad \checkmark$$

F_{Sd}: Esforço solicitante perpendicular da alma.

F_{Sd} : 0.02 kN

F_{Rd}: Resistência à tração da alma.

F_{Rd} : 127.24 kN

onde:

t_w: Espessura da alma.

t_w : 5.8 mm

t_p: Espessura do elemento de ligação.

t_p : 8.0 mm

w: Perna do filete.

w : 5.0 mm

d_{min}: Menor distância até a linha de ruptura.

d_{min} : 2.0 mm

d_{max}: Maior distância até a linha de ruptura.

d_{max} : 2.0 mm

l_{max}: Comprimento máximo da linha de ruptura.

l_{max} : 174.0 mm

h_p: Largura da chapa de extremidade.

h_p : 170 mm

k_m: Coeficiente de interação.

k_m : 0.35

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 345.00 N/mm²

γ_{a1}: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

γ_{a1} : 1.10

– Verificações por ligação com elemento 'Viga secundária (b) W 200 x 19.3'

– Alma

Resistência ao punçoamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em Quadro 7.13 EN 1993-1-8:2005)

Deve satisfazer a condição:

$$0.62 \text{ kN} \leq 116.86 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd} : \underline{0.62} \text{ kN}$$

F_{Rd} : Força resistente de cálculo ao punção.

$$F_{Rd} : \underline{116.86} \text{ kN}$$

onde:

A_g : Área bruta da seção transversal.

$$A_g : \underline{645} \text{ mm}^2$$

$$B_{ep} : \underline{48} \text{ mm}$$

t : Espessura.

$$t : \underline{5.8} \text{ mm}$$

t_p : Espessura do elemento de ligação.

$$t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$$

h_p : Altura do elemento de ligação.

$$h_p : \underline{170} \text{ mm}$$

h_w : Altura da alma.

$$h_w : \underline{207} \text{ mm}$$

d_p : Distância da chapa ao bordo mais próximo

$$d_p : \underline{104} \text{ mm}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

Resistência à tração da alma (Critério de CYPE Ingenieros)

Deve satisfazer a condição:

$$0.00 \text{ kN} \leq 123.98 \text{ kN} \quad \checkmark$$

F_{Sd} : Esforço solicitante perpendicular da alma.

$$F_{Sd} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

F_{Rd} : Resistência à tração da alma.

$$F_{Rd} : \underline{123.98} \text{ kN}$$

onde:

t_w : Espessura da alma.	t_w : <u>5.8</u> mm
t_p : Espessura do elemento de ligação.	t_p : <u>8.0</u> mm
w : Perna do filete.	w : <u>5.0</u> mm
d_{min} : Menor distância até a linha de ruptura.	d_{min} : <u>2.0</u> mm
d_{max} : Maior distância até a linha de ruptura.	d_{max} : <u>2.0</u> mm
l_{max} : Comprimento máximo da linha de ruptura.	l_{max} : <u>174.0</u> mm
h_p : Largura da chapa de extremidade.	h_p : <u>170</u> mm
k_m : Coeficiente de interação.	k_m : <u>0.34</u>
f_y : Resistência ao escoamento do aço.	f_y : <u>345.00</u> N/mm ²
γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.	γ_{a1} : <u>1.10</u>

2) Viga secundária (a) W 200 x 19.3

– Chapa lateral

Barras prismáticas submetidas a momento fletor e força cortante (ABNT NBR 8800:2008, 5.4)

No dimensionamento das barras submetidas a momento fletor e força cortante, devem ser atendidas as seguintes condições:

$$0.28 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 11.83 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

$$3.44 \text{ kN} \leq 185.55 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	M_{Sd} : <u>0.28</u> kN·m
M_{Rd} : Momento fletor resistente de cálculo, determinado conforme 5.4.2.	M_{Rd} : <u>11.83</u> kN·m
V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	V_{Sd} : <u>3.44</u> kN
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo, determinada conforme 5.4.3.	V_{Rd} : <u>185.55</u> kN

Adicionalmente deve ser atendida a seguinte equação de interação.

$$0.03 \leq 1$$

5.4.2 Momento fletor resistente de cálculo

O momento fletor resistente de cálculo, M_{Rd} , deve ser determinado de acordo com o Anexos G ou H.

G.2.6 Para as seções sólidas circulares e retangulares fletidas em relação ao eixo de menor momento de inércia:

$$M_{Rd} : \underline{11.83} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{pl} : Momento fletor de plastificação da seção transversal, igual ao produto do módulo de resistência plástico (Z) pela resistência ao escoamento do aço (f_y).

$$M_{pl} : \underline{14.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Z: Módulo de resistência plástico.

$$Z : \underline{41905} \text{ mm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

5.4.3 Força cortante resistente de cálculo

A força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é dada por:

$$V_{Rd} : \underline{185.55} \text{ kN}$$

A força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento é dada por:

Nessa equação, é a.

A_w : Área efetiva de cisalhamento.

$$A_w : \underline{986} \text{ mm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

Tensão de Von Mises na chapa lateral (ABTN NBR 8800:2008, 5.5.2.3)

Para a verificação da rotura da chapa lateral deve ser cumprida a seguinte expressão, onde σ , τ_{yz} e τ_{xz} são as tensões do ponto mais desfavorável da seção inicial:

$$101.14 \text{ N/mm}^2 \leq 313.64 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

onde:

σ : Tensão normal

$$\sigma : \underline{97.50} \text{ N/mm}^2$$

τ_{yz} : Tensão tangencial yz

$$\tau_{yz} : \underline{-15.32} \text{ N/mm}^2$$

τ_{xz} : Tensão tangencial xz

τ_{xz} : -2.53 N/mm²

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 345.00 N/mm²

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

γ_{a1} : 1.10

Resistência a flambagem local (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABTN NBR 8800:2008, 5.3)

Deve satisfazer a condição:

$$46.71 \text{ N/mm}^2 \leq 287.28 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

onde:

$\sigma_{c,Sd}$: Tensão axial de compressão solicitante de cálculo.

$\sigma_{c,Sd}$: 46.71 N/mm²

$\sigma_{c,Rd}$: Tensão axial de compressão resistente de cálculo.

$\sigma_{c,Rd}$: 287.28 N/mm²

onde:

χ : Fator de redução associado à resistência à compressão.

χ : 0.92

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

Q : 1

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 345.00 N/mm²

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

γ_{a1} : 1.10

O fator de redução associado à resistência à compressão, χ_r , é dado por:

- para

onde:

λ_0 : 0.46

β : Coeficiente de encurvadura.

β : 2.00

L : Distância até a primeira coluna de parafusos.

L : 40 mm

t : Espessura da chapa.

t : 8.0 mm

E : Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000.00 N/mm²

Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3)

Deve satisfazer a condição:

$$0.36 \leq 1 \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd,y} : \underline{14.29} \text{ kN}$$

$$F_{Sd,z} : \underline{15} \text{ kN}$$

$F_{c,Rd}$: Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda.

onde:

$$F_{c,Rd,y} : \underline{81.28} \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd,z} : \underline{47.54} \text{ kN}$$

onde:

t : Espessura da parte ligada.

$$t : \underline{8.0} \text{ mm}$$

l_f : Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada.

$$l_{f,y} : \underline{33} \text{ mm}$$

$$l_{f,z} : \underline{15} \text{ mm}$$

d_b : Diâmetro do parafuso.

$$d_b : \underline{13} \text{ mm}$$

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6)

Deve satisfazer a condição:

$$45.00 \text{ kN} \leq 169.52 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd} : \underline{45.00} \text{ kN}$$

$F_{t,Rd}$: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento.

$$F_{t,Rd} : \underline{169.52} \text{ kN}$$

onde:

A_n : Área líquida sujeita à rasgamento.

$$A_n : \underline{1017} \text{ mm}^2$$

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

– Alma

Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3)

Deve satisfazer a condição:

$$0.51 \leq 1 \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd,y} : \underline{14.29} \text{ kN}$$

$$F_{Sd,z} : \underline{15} \text{ kN}$$

$F_{c,Rd}$: Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda.

onde:

$$F_{c,Rd,y} : \underline{58.93} \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd,z} : \underline{33.31} \text{ kN}$$

onde:

t : Espessura da parte ligada.

$$t : \underline{5.8} \text{ mm}$$

l_f : Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada.

$$l_{f,y} : \underline{93} \text{ mm}$$

$$l_{f,z} : \underline{14} \text{ mm}$$

d_b : Diâmetro do parafuso.

$$d_b : \underline{13} \text{ mm}$$

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6)

Deve satisfazer a condição:

$$45.00 \text{ kN} \leq 121.93 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd} : \underline{45.00} \text{ kN}$$

$F_{t,Rd}$: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento.

$$F_{t,Rd} : \underline{121.93} \text{ kN}$$

onde:

A_n : Área líquida sujeita à rasgamento.

$$A_n : \underline{732} \text{ mm}^2$$

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 345.00 N/mm²

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

γ_{a1} : 1.10

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

γ_{a2} : 1.35

Resistência a flambagem local (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABTN NBR 8800:2008, 5.3)

Deve satisfazer a condição:

$$125.34 \text{ N/mm}^2 \leq 204.52 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

onde:

$\sigma_{c,Sd}$: Tensão axial de compressão solicitante de cálculo.

$\sigma_{c,Sd}$: 125.34 N/mm²

$\sigma_{c,Rd}$: Tensão axial de compressão resistente de cálculo.

$\sigma_{c,Rd}$: 204.52 N/mm²

onde:

χ : Fator de redução associado à resistência à compressão.

χ : 0.65

Q: Fator de redução total associado à flambagem local.

Q : 1

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 345.00 N/mm²

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

γ_{a1} : 1.10

O fator de redução associado à resistência à compressão, χ_r , é dado por:

- para

onde:

λ_0 : 1.01

β : Coeficiente de encurvadura.

β : 2.00

L: Distância até a primeira coluna de parafusos.

L : 64 mm

t: Espessura da chapa.

t : 5.8 mm

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000.00 N/mm²

Soldas (ABNT NBR 8800:2008)

Limitações (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.6)

6.2.6.2 Soldas de filete

6.2.6.2.1 O tamanho mínimo da perna de uma solda de filete é dado na Tabela 10, em função da parte menos espessa soldada.

6.2.6.2.2 O tamanho máximo da perna de uma solda de filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas é o seguinte:

- a) ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material;
- b) ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm, a não ser que nos desenhos essa solda seja indicada como reforçada durante a execução, de modo a obter a espessura total desejada da garganta.

6.2.6.2.3 O comprimento efetivo de uma solda de filete, dimensionada para uma solicitação de cálculo qualquer, não pode ser inferior a 4 vezes seu tamanho da perna e a 40 mm.

AWS D1.1/D1.1M, Complementary specifications.

2.3.3.7 Effective Throat of Skewed T-Joints.

The effective throat of a skewed T-joint in angles between 60° and 30° shall be the minimum distance from the root to the diagrammatic face, less the Z loss reduction dimension. The effective throat of a skewed T-joint in angles between 80° and 60° and in angles greater than 100° shall be taken as the shortest distance from the joint root to the weld face.

Força resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.5)

6.2.5.1 A força resistente de cálculo, $F_{w,Rd}$, dos diversos tipos de solda está indicada na Tabela 8, na qual A_w é a área efetiva da solda, A_{MB} é a área do metal-base (produto do comprimento da solda pela espessura do metalbase menos espesso), f_y é a menor resistência ao escoamento entre os metais-base da junta e f_w a resistência mínima à tração do metal da solda.

Força resistente de cálculo das soldas, Tabela 8		
Tipo de solda	Tipo de solicitação e orientação	Força resistente de cálculo, $F_{w,Rd}$
Filete	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda.	Não precisa ser considerado.
	Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas).	Metal-base deve atender a 6.5 onde: Metal da solda:
2) O valor de γ_{w2} é igual a 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,15 para combinações excepcionais.		

6.2.4 Exigências relativas ao metal da solda e aos procedimentos de soldagem

6.2.4.1 Na Tabela 7, extraída da AWS D1.1, são apresentados alguns metais-base e eletrodos de solda que podem ser usados em procedimentos de soldagem pré-qualificados. Mais informações podem ser obtidas na AWS D1.1.

Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)								
Descrição	Tipo	P.S.	t (mm)	Comprimento		Perna		
				$l_{w,min}$ (mm)	l_w (mm)	$d_{w,min}$ (mm)	$d_{w,max}$ (mm)	d_w (mm)
Detalhe da solda da chapa lateral.	De ângulo	SMAW	6	40	170	3	6	5
<p><i>P.S.: Procedimento de soldagem.</i> <i>t: Menor espessura do metal-base.</i> <i>l_w: Comprimento total da solda.</i> <i>d_w: Perna da solda.</i></p>								

Verificação de cordões de soldadura														
Descrição	Perna (mm)	t (mm)	l _w (mm)	Eléctrodo	Metal - base	Cisalhamento (Metal da solda)			Tensões (Metal-base)			Coeficientes de ponderação		
				f _w (N/mm ²)	f _y (N/mm ²)	S _d (N/mm ²)	R _d (N/mm ²)	Aprov. (%)	S _d (N/mm ²)	R _d (N/mm ²)	Aprov. (%)	γ _{a1}	γ _{w1}	γ _{w2}
Detalhe da solda da chapa lateral.	5	6	170	E70XX (485.0)	345.0	51.1	215.6	23.70	36.1	188.2	19.19	1.10	1.25	1.35
S _d : Solicitação de cálculo R _d : Resistente de cálculo - Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.														

Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3)

6.3.3.1 Tração

A força de tração resistente de cálculo de um parafuso tracionado ou de uma barra redonda rosqueada tracionada é dada por:

onde:

f_{ub} : Resistência à ruptura do material do parafuso ou barra redonda rosqueada à tração.

A_{be} : Área efetiva.

6.3.3.2 Cisalhamento

A força de cisalhamento resistente de cálculo de um parafuso ou barra redonda rosqueada é, por plano de corte, igual a:

a) para parafusos de alta resistência e barras redondas rosqueadas, quando o plano de corte passa pela rosca e para parafusos comuns em qualquer situação:

onde A_b é a área bruta, baseada no diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada, d_b , dada em 6.3.2.2.

6.3.3.3 Pressão de contato em furos

A força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda, é dada por:

a) no caso de furos-padrão, furos alargados, furos pouco alongados em qualquer direção e furos muito alongados na direção da força:

- quando a deformação no furo para forças de serviço for uma limitação de projeto

onde:

L_f : Distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda livre.

d_b : Diâmetro do parafuso.

t : Espessura da parte ligada.

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

6.3.3.4 Tração e cisalhamento combinados

Quando ocorrer a ação simultânea de tração e cisalhamento, deve ser atendida a seguinte equação de interação:

onde:

$F_{t,Sd}$: Força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada.

$F_{v,Sd}$: Força de cisalhamento solicitante de cálculo no plano considerado do parafuso ou barra redonda rosqueada.

$F_{t,Rd}$ e $F_{v,Rd}$ são dados respectivamente em $F_{v,Rd}$

Alternativamente ao uso da equação da interação, a força de tração solicitante de cálculo ($F_{t,Sd}$) por parafuso ou barra redonda rosqueada deve atender às exigências:

Meio de ligação	Limitação adicional do valor da força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada
Parafusos ASTM A325	(1)
	(2)
(1) Plano de corte passa pela rosca. (2) Plano de corte não passa pela rosca.	

6.3.7 Pega longa

Exceto nos casos dos parafusos de alta resistência montados com protensão inicial, quando o comprimento de pega excede $5 d_b$, a força de cisalhamento resistente de cálculo dos parafusos ou barras redondas rosqueadas deve ser reduzida em 1% para cada 1,5 mm adicionais de pega (d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada).

6.3.9 Espaçamento mínimo entre furos

A distância entre centros de furos-padrão, alargados ou alongados, não pode ser inferior a $2,7 d_b$, sendo d_b o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

6.3.10 Espaçamento máximo entre parafusos

O espaçamento máximo entre parafusos que ligam uma chapa a um perfil ou a outra chapa, em contato contínuo, deve ser determinado como a seguir:

- a) em elementos pintados ou não sujeitos à corrosão, o espaçamento não pode exceder 24 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 300 mm;
- b) em elementos sujeitos à corrosão atmosférica, executados com aços resistentes à corrosão, não pintados, o espaçamento não pode exceder 14 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 180 mm.

6.3.11 Distância mínima de um furo às bordas

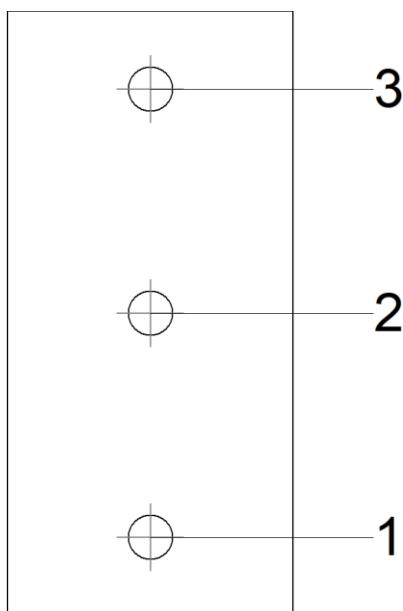
6.3.11.1 Furos-padrão

A distância do centro de um furo-padrão a qualquer borda de uma parte ligada não pode ser inferior ao valor indicado na Tabela 14, na qual d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

Tabela 14 - Distância mínima do centro de um furo-padrão à borda		
Diâmetro d_b pol	Borda cortada com serra ou tesoura (mm)	Borda laminada ou cortada a maçarico (mm)
1/2"	22	19

6.3.12 Distância máxima de um parafuso ou barra rosqueada às bordas

Para qualquer borda de uma parte ligada, a distância do centro do parafuso, ou barra redonda rosqueada, mais próximo até essa borda não pode exceder a 12 vezes a espessura da parte ligada considerada, nem 150 mm.



Disposições constructivas						
Parafuso	Descrição	Diâmetro do furo (mm)	Distâncias de um furo às bordas		Distâncias entre furos	
			x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
1	1/2"x1 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	14.3	30	22	--	63
2	1/2"x1 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	14.3	30	--	--	63
3	1/2"x1 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	14.3	30	22	--	63
--: Não precisa ser considerado.						

Resistência										
Parafuso	Cisalhamento				Tração				Interação tração e esforço transverso	Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Seção transversal	20.714	30.965	66.89	Espiga	2.367	55.986	4.23	66.89	66.89
	Esmagamento	20.714	57.353	36.12	Punção	2.367	87.241	2.71		
2	Seção transversal	15.000	30.965	48.44	Espiga	2.367	55.986	4.23	48.44	48.44
	Esmagamento	15.000	81.280	18.45	Punção	2.367	87.241	2.71		
3	Seção transversal	20.714	30.965	66.89	Espiga	2.367	55.986	4.23	66.89	66.89
	Esmagamento	20.714	81.280	25.49	Punção	2.367	87.241	2.71		

3) Viga secundária (b) W 200 x 19.3

– Chapa lateral

Barras prismáticas submetidas a momento fletor e força cortante (ABNT NBR 8800:2008, 5.4)

No dimensionamento das barras submetidas a momento fletor e força cortante, devem ser atendidas as seguintes condições:

$$0.27 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 11.83 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

$$3.37 \text{ kN} \leq 185.55 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{0.27} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{Rd} : Momento fletor resistente de cálculo, determinado conforme 5.4.2.

$$M_{Rd} : \underline{11.83} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{3.37} \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo, determinada conforme 5.4.3.

$$V_{Rd} : \underline{185.55} \text{ kN}$$

Adicionalmente deve ser atendida a seguinte equação de interação.

$$0.03 \leq 1$$

5.4.2 Momento fletor resistente de cálculo

O momento fletor resistente de cálculo, M_{Rd} , deve ser determinado de acordo com o Anexos G ou H.

G.2.6 Para as seções sólidas circulares e retangulares fletidas em relação ao eixo de menor momento de inércia:

$$M_{Rd} : \underline{11.83 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

M_{pl} : Momento fletor de plastificação da seção transversal, igual ao produto do módulo de resistência plástico (Z) pela resistência ao escoamento do aço (f_y).

$$M_{pl} : \underline{14.46 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Z: Módulo de resistência plástico.

$$Z : \underline{41905 \text{ mm}^3}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00 \text{ N/mm}^2}$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

5.4.3 Força cortante resistente de cálculo

A força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é dada por:

$$V_{Rd} : \underline{185.55 \text{ kN}}$$

A força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento é dada por:

Nessa equação, é a.

A_w : Área efetiva de cisalhamento.

$$A_w : \underline{986 \text{ mm}^2}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00 \text{ N/mm}^2}$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

Tensão de Von Mises na chapa lateral (ABTN NBR 8800:2008, 5.5.2.3)

Para a verificação da rotura da chapa lateral deve ser cumprida a seguinte expressão, onde σ , τ_{yz} e τ_{xz} são as tensões do ponto mais desfavorável da seção inicial:

$$99.34 \text{ N/mm}^2 \leq 313.64 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

onde:

σ : Tensão normal	σ : <u>95.63</u> N/mm ²
τ_{yz} : Tensão tangencial yz	τ_{yz} : <u>-15.32</u> N/mm ²
τ_{xz} : Tensão tangencial xz	τ_{xz} : <u>2.47</u> N/mm ²
f_y : Resistência ao escoamento do aço.	f_y : <u>345.00</u> N/mm ²
γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.	γ_{a1} : <u>1.10</u>

Resistência a flambagem local (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABTN NBR 8800:2008, 5.3)

Deve satisfazer a condição:

$$46.71 \text{ N/mm}^2 \leq 287.28 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

onde:

$\sigma_{c,Sd}$: Tensão axial de compressão solicitante de cálculo.	$\sigma_{c,Sd}$: <u>46.71</u> N/mm ²
$\sigma_{c,Rd}$: Tensão axial de compressão resistente de cálculo.	$\sigma_{c,Rd}$: <u>287.28</u> N/mm ²

onde:

χ : Fator de redução associado à resistência à compressão.	χ : <u>0.92</u>
Q : Fator de redução total associado à flambagem local.	Q : <u>1</u>
f_y : Resistência ao escoamento do aço.	f_y : <u>345.00</u> N/mm ²
γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.	γ_{a1} : <u>1.10</u>

O fator de redução associado à resistência à compressão, χ_r , é dado por:

- para

onde:

	λ_0 : <u>0.46</u>
β : Coeficiente de encurvadura.	β : <u>2.00</u>
L : Distância até a primeira coluna de parafusos.	L : <u>40</u> mm
t : Espessura da chapa.	t : <u>8.0</u> mm
E : Módulo de elasticidade do aço.	E : <u>200000.00</u> N/mm ²

Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3)

Deve satisfazer a condição:

$$0.36 \leq 1 \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd,y} : \underline{14.29} \text{ kN}$$

$$F_{Sd,z} : \underline{15} \text{ kN}$$

$F_{c,Rd}$: Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda.

onde:

$$F_{c,Rd,y} : \underline{81.28} \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd,z} : \underline{47.54} \text{ kN}$$

onde:

t : Espessura da parte ligada.

$$t : \underline{8.0} \text{ mm}$$

l_f : Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada.

$$l_{f,y} : \underline{33} \text{ mm}$$

$$l_{f,z} : \underline{15} \text{ mm}$$

d_b : Diâmetro do parafuso.

$$d_b : \underline{13} \text{ mm}$$

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6)

Deve satisfazer a condição:

$$45.00 \text{ kN} \leq 169.52 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd} : \underline{45.00} \text{ kN}$$

$F_{t,Rd}$: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento.

$$F_{t,Rd} : \underline{169.52} \text{ kN}$$

onde:

A_n : Área líquida sujeita à rasgamento.

$$A_n : \underline{1017} \text{ mm}^2$$

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

– Alma

Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3)

Deve satisfazer a condição:

$$0.51 \leq 1 \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd,y} : \underline{14.29} \text{ kN}$$

$$F_{Sd,z} : \underline{15} \text{ kN}$$

$F_{c,Rd}$: Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda.

onde:

$$F_{c,Rd,y} : \underline{58.93} \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd,z} : \underline{33.31} \text{ kN}$$

onde:

t : Espessura da parte ligada.

$$t : \underline{5.8} \text{ mm}$$

l_f : Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada.

$$l_{f,y} : \underline{93} \text{ mm}$$

$$l_{f,z} : \underline{14} \text{ mm}$$

d_b : Diâmetro do parafuso.

$$d_b : \underline{13} \text{ mm}$$

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6)

Deve satisfazer a condição:

$$45.00 \text{ kN} \leq 121.93 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd} : \underline{45.00} \text{ kN}$$

$F_{t,Rd}$: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento.

$$F_{t,Rd} : \underline{121.93} \text{ kN}$$

onde:

A_n : Área líquida sujeita à rasgamento.

$$A_n : \underline{732} \text{ mm}^2$$

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.	f_u : <u>450.00</u> N/mm ²
f_y : Resistência ao escoamento do aço.	f_y : <u>345.00</u> N/mm ²
γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.	γ_{a1} : <u>1.10</u>
γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.	γ_{a2} : <u>1.35</u>

Resistência a flambagem local (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABTN NBR 8800:2008, 5.3)

Deve satisfazer a condição:

$$125.34 \text{ N/mm}^2 \leq 204.52 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

onde:

$\sigma_{c,Sd}$: Tensão axial de compressão solicitante de cálculo.	$\sigma_{c,Sd}$: <u>125.34</u> N/mm ²
$\sigma_{c,Rd}$: Tensão axial de compressão resistente de cálculo.	$\sigma_{c,Rd}$: <u>204.52</u> N/mm ²

onde:

χ : Fator de redução associado à resistência à compressão.	χ : <u>0.65</u>
Q: Fator de redução total associado à flambagem local.	Q : <u>1</u>
f_y : Resistência ao escoamento do aço.	f_y : <u>345.00</u> N/mm ²
γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.	γ_{a1} : <u>1.10</u>

O fator de redução associado à resistência à compressão, χ , é dado por:

- para

onde:

	λ_0 : <u>1.01</u>
β : Coeficiente de encurvadura.	β : <u>2.00</u>
L: Distância até a primeira coluna de parafusos.	L : <u>64</u> mm
t: Espessura da chapa.	t : <u>5.8</u> mm
E: Módulo de elasticidade do aço.	E : <u>200000.00</u> N/mm ²

Soldas (ABNT NBR 8800:2008)

Limitações (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.6)

6.2.6.2 Soldas de filete

6.2.6.2.1 O tamanho mínimo da perna de uma solda de filete é dado na Tabela 10, em função da parte menos espessa soldada.

6.2.6.2.2 O tamanho máximo da perna de uma solda de filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas é o seguinte:

- a) ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material;
- b) ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm, a não ser que nos desenhos essa solda seja indicada como reforçada durante a execução, de modo a obter a espessura total desejada da garganta.

6.2.6.2.3 O comprimento efetivo de uma solda de filete, dimensionada para uma solicitação de cálculo qualquer, não pode ser inferior a 4 vezes seu tamanho da perna e a 40 mm.

AWS D1.1/D1.1M, Complementary specifications.

2.3.3.7 Effective Throat of Skewed T-Joints.

The effective throat of a skewed T-joint in angles between 60° and 30° shall be the minimum distance from the root to the diagrammatic face, less the Z loss reduction dimension. The effective throat of a skewed T-joint in angles between 80° and 60° and in angles greater than 100° shall be taken as the shortest distance from the joint root to the weld face.

Força resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.5)

6.2.5.1 A força resistente de cálculo, $F_{w,Rd}$, dos diversos tipos de solda está indicada na Tabela 8, na qual A_w é a área efetiva da solda, A_{MB} é a área do metal-base (produto do comprimento da solda pela espessura do metalbase menos espesso), f_y é a menor resistência ao escoamento entre os metais-base da junta e f_w a resistência mínima à tração do metal da solda.

Força resistente de cálculo das soldas, Tabela 8		
Tipo de solda	Tipo de solicitação e orientação	Força resistente de cálculo, $F_{w,Rd}$
Filete	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda.	Não precisa ser considerado.
	Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas).	Metal-base deve atender a 6.5 onde: Metal da solda:
2) O valor de γ_{w2} é igual a 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,15 para combinações excepcionais.		

6.2.4 Exigências relativas ao metal da solda e aos procedimentos de soldagem

6.2.4.1 Na Tabela 7, extraída da AWS D1.1, são apresentados alguns metais-base e eletrodos de solda que podem ser usados em procedimentos de soldagem pré-qualificados. Mais informações podem ser obtidas na AWS D1.1.

Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)								
Descrição	Tipo	P.S.	t (mm)	Comprimento		Perna		
				$l_{w,min}$ (mm)	l_w (mm)	$d_{w,min}$ (mm)	$d_{w,max}$ (mm)	d_w (mm)
Detalhe da solda da chapa lateral.	De ângulo	SMAW	6	40	170	3	6	5
<p><i>P.S.: Procedimento de soldagem.</i> <i>t: Menor espessura do metal-base.</i> <i>l_w: Comprimento total da solda.</i> <i>d_w: Perna da solda.</i></p>								

Verificação de cordões de soldadura														
Descrição	Perna (mm)	t (mm)	l_w (mm)	Eléctrodo	Metal - base	Cisalhamento (Metal da solda)			Tensões (Metal-base)			Coeficientes de ponderação		
				f_w (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	S_d (N/mm ²)	R_d (N/mm ²)	Apro v. (%)	S_d (N/mm ²)	R_d (N/mm ²)	Apro v. (%)	γ_{a1}	γ_{w1}	γ_{w2}
Detalhe da solda da chapa lateral.	5	6	170	E70XX (485.0)	345.0	50.8	215.6	23.56	35.9	188.2	19.08	1.1 0	1.2 5	1.3 5
<p><i>S_d: Solicitação de cálculo</i> <i>R_d: Resistente de cálculo</i> <i>- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.</i></p>														

Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3)

6.3.3.1 Tração

A força de tração resistente de cálculo de um parafuso tracionado ou de uma barra redonda rosqueada tracionada é dada por:

onde:

f_{ub} : Resistência à ruptura do material do parafuso ou barra redonda rosqueada à tração.

A_{be} : Área efetiva.

6.3.3.2 Cisalhamento

A força de cisalhamento resistente de cálculo de um parafuso ou barra redonda rosqueada é, por plano de corte, igual a:

a) para parafusos de alta resistência e barras redondas rosqueadas, quando o plano de corte passa pela rosca e para parafusos comuns em qualquer situação:

onde A_b é a área bruta, baseada no diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada, d_b , dada em 6.3.2.2.

6.3.3.3 Pressão de contato em furos

A força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda, é dada por:

a) no caso de furos-padrão, furos alargados, furos pouco alongados em qualquer direção e furos muito alongados na direção da força:

- quando a deformação no furo para forças de serviço for uma limitação de projeto

onde:

L_f : Distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda livre.

d_b : Diâmetro do parafuso.

t : Espessura da parte ligada.

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

6.3.3.4 Tração e cisalhamento combinados

Quando ocorrer a ação simultânea de tração e cisalhamento, deve ser atendida a seguinte equação de interação:

onde:

$F_{t,Sd}$: Força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada.

$F_{v,Sd}$: Força de cisalhamento solicitante de cálculo no plano considerado do parafuso ou barra redonda rosqueada.

$F_{t,Rd}$ e $F_{v,Rd}$ são dados respectivamente em $F_{v,Rd}$

Alternativamente ao uso da equação da interação, a força de tração solicitante de cálculo ($F_{t,Sd}$) por parafuso ou barra redonda rosqueada deve atender às exigências:

Meio de ligação	Limitação adicional do valor da força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada
Parafusos ASTM A325	(1)
	(2)
(1) Plano de corte passa pela rosca.	
(2) Plano de corte não passa pela rosca.	

6.3.7 Pega longa

Exceto nos casos dos parafusos de alta resistência montados com protensão inicial, quando o comprimento de pega excede $5 d_b$, a força de cisalhamento resistente de cálculo dos parafusos ou barras redondas rosqueadas deve ser reduzida em 1% para cada 1,5 mm adicionais de pega (d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada).

6.3.9 Espaçamento mínimo entre furos

A distância entre centros de furos-padrão, alargados ou alongados, não pode ser inferior a $2,7 d_b$, sendo d_b o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

6.3.10 Espaçamento máximo entre parafusos

O espaçamento máximo entre parafusos que ligam uma chapa a um perfil ou a outra chapa, em contato contínuo, deve ser determinado como a seguir:

- a) em elementos pintados ou não sujeitos à corrosão, o espaçamento não pode exceder 24 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 300 mm;
- b) em elementos sujeitos à corrosão atmosférica, executados com aços resistentes à corrosão, não pintados, o espaçamento não pode exceder 14 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 180 mm.

6.3.11 Distância mínima de um furo às bordas

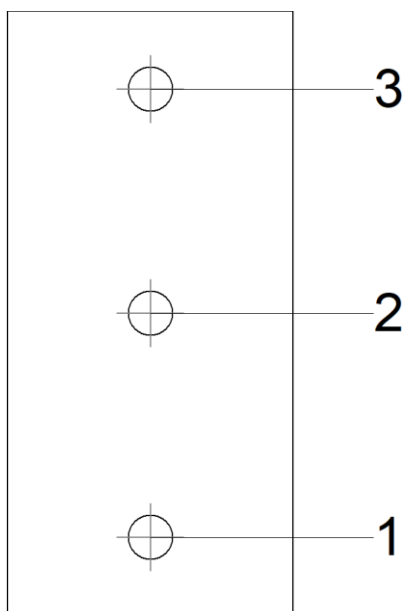
6.3.11.1 Furos-padrão

A distância do centro de um furo-padrão a qualquer borda de uma parte ligada não pode ser inferior ao valor indicado na Tabela 14, na qual d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

Tabela 14 - Distância mínima do centro de um furo-padrão à borda		
Diâmetro d_b pol	Borda cortada com serra ou tesoura (mm)	Borda laminada ou cortada a maçarico (mm)
1/2"	22	19

6.3.12 Distância máxima de um parafuso ou barra rosqueada às bordas

Para qualquer borda de uma parte ligada, a distância do centro do parafuso, ou barra redonda rosqueada, mais próximo até essa borda não pode exceder a 12 vezes a espessura da parte ligada considerada, nem 150 mm.



Disposições constructivas						
Parafuso	Descrição	Diâmetro do furo (mm)	Distâncias de um furo às bordas		Distâncias entre furos	
			x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
1	1/2"x1 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	14.3	30	22	--	63
2	1/2"x1 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	14.3	30	--	--	63
3	1/2"x1 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	14.3	30	22	--	63
--: Não precisa ser considerado.						

Resistência										
Parafuso	Cisalhamento				Tração				Interação tração e esforço transversal	Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Seção transversal	20.714	30.965	66.89	Espiga	2.318	55.986	4.14	66.89	66.89
	Esmagamento	20.714	57.353	36.12	Punção	2.318	87.241	2.66		
2	Seção transversal	15.000	30.965	48.44	Espiga	2.318	55.986	4.14	48.44	48.44
	Esmagamento	15.000	81.280	18.45	Punção	2.318	87.241	2.66		
3	Seção transversal	20.714	30.965	66.89	Espiga	2.318	55.986	4.14	66.89	66.89
	Esmagamento	20.714	81.280	25.49	Punção	2.318	87.241	2.66		

Para a ligação pilar-viga, foram obtidos os dados abaixo:

Verificações

1) Pilar W 250 x 25.3

- Verificações por ligação com elemento "
- Verificações por ligação com elemento 'Viga (a) W 200 x 26.6'
- Aba

Resistência à flexão da mesa do pilar (Critério de CYPE Ingenieros)

A verificação não é necessária.

Resistência ao punçoamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em Quadro 7.13 EN 1993-1-8:2005)

A verificação não é necessária.

- Verificações por ligação com elemento 'Viga (c) W 200 x 19.3'
- Alma

Resistência ao punçoamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em Quadro 7.13 EN 1993-1-8:2005)

Deve satisfazer a condição:

$$28.19 \text{ kN} \leq 408.66 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd} : \underline{28.19} \text{ kN}$$

F_{Rd} : Força resistente de cálculo ao punção.

$$F_{Rd} : \underline{408.66} \text{ kN}$$

onde:

A_g : Área bruta da seção transversal.

$$A_g : \underline{2172} \text{ mm}^2$$

t : Espessura.

$$t : \underline{6.1} \text{ mm}$$

t_p : Espessura do elemento de ligação.

$$t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$$

h_p : Altura do elemento de ligação.

$$h_p : \underline{170} \text{ mm}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

Resistência à flexão da alma (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em Quadro 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Deve satisfazer a condição:

$$28.02 \text{ kN} \leq 72.50 \text{ kN} \quad \checkmark$$

F_{Sd} : Esforço de cálculo perpendicular à alma.

$$F_{Sd} : \underline{28.02} \text{ kN}$$

F_{Rd} : Resistência de cálculo da alma à flexão.

$$F_{Rd} : \underline{72.50} \text{ kN}$$

onde:

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{6.1} \text{ mm}$$

k_m : Coeficiente de interação.

$$k_m : \underline{1.00}$$

$$\mu : \underline{0.76}$$

h_p : Largura da chapa de extremidade.

$$h_p : \underline{170} \text{ mm}$$

h_{iw} : Altura da alma, tomada como a distância entre faces internas das mesas.

$$h_{iw} : \underline{224} \text{ mm}$$

$$\beta : \underline{0.04}$$

t_p : Espessura do elemento de ligação.

$$t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M5} : Coeficiente de ponderação da resistência

$$\gamma_{M5} : \underline{1.00}$$

– Verificações por ligação com elemento 'Viga (b) W 200 x 19.3'

– Alma

Resistência ao punçoamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em Quadro 7.13 EN 1993-1-8:2005)

Deve satisfazer a condição:

$$29.72 \text{ kN} \leq 408.66 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd} : \underline{29.72} \text{ kN}$$

F_{Rd} : Força resistente de cálculo ao punção.

$$F_{Rd} : \underline{408.66} \text{ kN}$$

onde:

A_g : Área bruta da seção transversal.

$$A_g : \underline{2172} \text{ mm}^2$$

t : Espessura.

$$t : \underline{6.1} \text{ mm}$$

t_p : Espessura do elemento de ligação.

$$t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$$

h_p : Altura do elemento de ligação.

$$h_p : \underline{170} \text{ mm}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

Resistência à flexão da alma (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em Quadro 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Deve satisfazer a condição:

$$29.54 \text{ kN} \leq 72.50 \text{ kN} \quad \checkmark$$

F_{Sd} : Esforço de cálculo perpendicular à alma.

$$F_{Sd} : \underline{29.54} \text{ kN}$$

F_{Rd}: Resistência de cálculo da alma à flexão.

F_{Rd} : 72.50 kN

onde:

t_w: Espessura da alma.

t_w : 6.1 mm

k_m: Coeficiente de interação.

k_m : 1.00

μ : 0.76

h_p: Largura da chapa de extremidade.

h_p : 170 mm

h_{iw}: Altura da alma, tomada como a distância entre faces internas das mesas.

h_{iw} : 224 mm

β : 0.04

t_p: Espessura do elemento de ligação.

t_p : 8.0 mm

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 345.00 N/mm²

γ_{M5}: Coeficiente de ponderação da resistência

γ_{M5} : 1.00

2) Viga (a) W 200 x 26.6

– Chapa lateral

Barras prismáticas submetidas a momento fletor e força cortante (ABNT NBR 8800:2008, 5.4)

No dimensionamento das barras submetidas a momento fletor e força cortante, devem ser atendidas as seguintes condições:

0.01 kN·m ≤ 11.83 kN·m ✓

0.10 kN ≤ 185.55 kN ✓

onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

M_{Sd} : 0.01 kN·m

M_{Rd}: Momento fletor resistente de cálculo, determinado conforme 5.4.2.

M_{Rd} : 11.83 kN·m

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Sd} : 0.10 kN

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo, determinada conforme 5.4.3.

V_{Rd} : 185.55 kN

Adicionalmente deve ser atendida a seguinte equação de interação.

$$0.00 \leq 1$$

5.4.2 Momento fletor resistente de cálculo

O momento fletor resistente de cálculo, M_{Rd} , deve ser determinado de acordo com o Anexos G ou H.

G.2.6 Para as seções sólidas circulares e retangulares fletidas em relação ao eixo de menor momento de inércia:

$$M_{Rd} : \underline{11.83} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{pl} : Momento fletor de plastificação da seção transversal, igual ao produto do módulo de resistência plástico (Z) pela resistência ao escoamento do aço (f_y).

$$M_{pl} : \underline{14.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Z: Módulo de resistência plástico.

$$Z : \underline{41905} \text{ mm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

5.4.3 Força cortante resistente de cálculo

A força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é dada por:

$$V_{Rd} : \underline{185.55} \text{ kN}$$

A força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento é dada por:

Nessa equação, é a.

A_w : Área efetiva de cisalhamento.

$$A_w : \underline{986} \text{ mm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

Tensão de Von Mises na chapa lateral (ABTN NBR 8800:2008, 5.5.2.3)

Para a verificação da rotura da chapa lateral deve ser cumprida a seguinte expressão, onde σ , τ_{yz} e τ_{xz} são as tensões do ponto mais desfavorável da seção inicial:

$$73.94 \text{ N/mm}^2 \leq 313.64 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

onde:

σ : Tensão normal	σ : <u>-46.71</u> N/mm ²
τ_{yz} : Tensão tangencial yz	τ_{yz} : <u>-33.09</u> N/mm ²
τ_{xz} : Tensão tangencial xz	τ_{xz} : <u>0.00</u> N/mm ²
f_y : Resistência ao escoamento do aço.	f_y : <u>345.00</u> N/mm ²
γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.	γ_{a1} : <u>1.10</u>

Resistência a flambagem local (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABTN NBR 8800:2008, 5.3)

Deve satisfazer a condição:

$$46.71 \text{ N/mm}^2 \leq 287.28 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

onde:

$\sigma_{c,Sd}$: Tensão axial de compressão solicitante de cálculo.	$\sigma_{c,Sd}$: <u>46.71</u> N/mm ²
$\sigma_{c,Rd}$: Tensão axial de compressão resistente de cálculo.	$\sigma_{c,Rd}$: <u>287.28</u> N/mm ²

onde:

χ : Fator de redução associado à resistência à compressão.	χ : <u>0.92</u>
Q : Fator de redução total associado à flambagem local.	Q : <u>1</u>
f_y : Resistência ao escoamento do aço.	f_y : <u>345.00</u> N/mm ²
γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.	γ_{a1} : <u>1.10</u>

O fator de redução associado à resistência à compressão, χ_r , é dado por:

- para

onde:

$$\lambda_0 : \underline{0.46}$$

β : Coeficiente de encurvadura.	β : <u>2.00</u>
L : Distância até a primeira coluna de parafusos.	L : <u>40</u> mm
t : Espessura da chapa.	t : <u>8.0</u> mm
E : Módulo de elasticidade do aço.	E : <u>200000.00</u> N/mm ²

Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3)

Deve satisfazer a condição:

$$0.36 \leq 1 \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd,y} : \underline{14.29} \text{ kN}$$

$$F_{Sd,z} : \underline{15} \text{ kN}$$

$F_{c,Rd}$: Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda.

onde:

$$F_{c,Rd,y} : \underline{81.28} \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd,z} : \underline{47.54} \text{ kN}$$

onde:

t : Espessura da parte ligada.

$$t : \underline{8.0} \text{ mm}$$

l_f : Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada.

$$l_{f,y} : \underline{33} \text{ mm}$$

$$l_{f,z} : \underline{15} \text{ mm}$$

d_b : Diâmetro do parafuso.

$$d_b : \underline{13} \text{ mm}$$

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6)

Deve satisfazer a condição:

$$45.00 \text{ kN} \leq 169.52 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd} : \underline{45.00} \text{ kN}$$

$F_{t,Rd}$: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento.

$$F_{t,Rd} : \underline{169.52} \text{ kN}$$

onde:

A_n : Área líquida sujeita à rasgamento.

$$A_n : \underline{1017} \text{ mm}^2$$

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

γ_{a1} : 1.10

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

γ_{a2} : 1.35

– Alma

Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3)

Deve satisfazer a condição:

$$0.37 \leq 1 \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$F_{Sd,y}$: 14.29 kN

$F_{Sd,z}$: 15 kN

$F_{c,Rd}$: Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda.

onde:

$F_{c,Rd,y}$: 53.03 kN

$F_{c,Rd,z}$: 58.93 kN

onde:

t : Espessura da parte ligada.

t : 5.8 mm

l_f : Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada.

$l_{f,y}$: 23 mm

$l_{f,z}$: 49 mm

d_b : Diâmetro do parafuso.

d_b : 13 mm

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

f_u : 450.00 N/mm²

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

γ_{a2} : 1.35

Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6)

Deve satisfazer a condição:

$$45.00 \text{ kN} \leq 171.14 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

F_{Sd} : 45.00 kN

$F_{t,Rd}$: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento.

$F_{t,Rd}$: 171.14 kN

onde:

A_n : Área líquida sujeita à rasgamento.	A_n : <u>1027</u> mm ²
f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.	f_u : <u>450.00</u> N/mm ²
f_y : Resistência ao escoamento do aço.	f_y : <u>345.00</u> N/mm ²
γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.	γ_{a1} : <u>1.10</u>
γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.	γ_{a2} : <u>1.35</u>

Resistência a flambagem local (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 5.3)

A verificação não é necessária.

Soldas (ABNT NBR 8800:2008)

Limitações (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.6)

6.2.6.2 Soldas de filete

6.2.6.2.1 O tamanho mínimo da perna de uma solda de filete é dado na Tabela 10, em função da parte menos espessa soldada.

6.2.6.2.2 O tamanho máximo da perna de uma solda de filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas é o seguinte:

- a) ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material;
- b) ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm, a não ser que nos desenhos essa solda seja indicada como reforçada durante a execução, de modo a obter a espessura total desejada da garganta.

6.2.6.2.3 O comprimento efetivo de uma solda de filete, dimensionada para uma solicitação de cálculo qualquer, não pode ser inferior a 4 vezes seu tamanho da perna e a 40 mm.

AWS D1.1/D1.1M, Complementary specifications.

2.3.3.7 Effective Throat of Skewed T-Joints.

The effective throat of a skewed T-joint in angles between 60° and 30° shall be the minimum distance from the root to the diagrammatic face, less the Z loss reduction

dimension. The effective throat of a skewed T-joint in angles between 80° and 60° and in angles greater than 100° shall be taken as the shortest distance from the joint root to the weld face.

Força resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.5)

6.2.5.1 A força resistente de cálculo, $F_{w,Rd}$, dos diversos tipos de solda está indicada na Tabela 8, na qual A_w é a área efetiva da solda, A_{MB} é a área do metal-base (produto do comprimento da solda pela espessura do metalbase menos espesso), f_y é a menor resistência ao escoamento entre os metais-base da junta e f_w a resistência mínima à tração do metal da solda.

Força resistente de cálculo das soldas, Tabela 8		
Tipo de solda	Tipo de solicitação e orientação	Força resistente de cálculo, $F_{w,Rd}$
Filete	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda.	Não precisa ser considerado.
	Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas).	Metal-base deve atender a 6.5 onde: Metal da solda:
2) O valor de γ_{w2} é igual a 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,15 para combinações excepcionais.		

6.2.4 Exigências relativas ao metal da solda e aos procedimentos de soldagem

6.2.4.1 Na Tabela 7, extraída da AWS D1.1, são apresentados alguns metais-base e eletrodos de solda que podem ser usados em procedimentos de soldagem pré-qualificados. Mais informações podem ser obtidas na AWS D1.1.

Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)								
Descrição	Tipo	P.S.	t (mm)	Comprimento		Perna		
				$l_{w,min}$ (mm)	l_w (mm)	$d_{w,min}$ (mm)	$d_{w,max}$ (mm)	d_w (mm)
Detalhe da solda da chapa lateral.	De ângulo	SMAW	8	40	170	5	8	5
<p><i>P.S.: Procedimento de soldagem.</i> <i>t: Menor espessura do metal-base.</i> <i>l_w: Comprimento total da solda.</i> <i>d_w: Perna da solda.</i></p>								

Verificação de cordões de soldadura														
Descrição	Perna (mm)	t (mm)	l _w (mm)	Eléctrode	Metal - base	Cisalhamento (Metal da solda)			Tensões (Metal-base)			Coeficientes de ponderação		
				f _w (N/mm ²)	f _y (N/mm ²)	Sd (N/mm ²)	Rd (N/mm ²)	Apro V. (%)	Sd (N/mm ²)	Rd (N/mm ²)	Apro V. (%)	γ _{a1}	γ _{w1}	γ _{w2}
Detalhe da solda da chapa lateral.	5	8	170	E70XX (485.0)	345.0	37.4	215.6	17.37	26.5	188.2	14.07	1.10	1.25	1.35
<i>Sd: Solicitação de cálculo</i> <i>Rd: Resistente de cálculo</i> <i>- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.</i>														

Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3)

6.3.3.1 Tração

A força de tração resistente de cálculo de um parafuso tracionado ou de uma barra redonda rosqueada tracionada é dada por:

onde:

f_{ub}: Resistência à ruptura do material do parafuso ou barra redonda rosqueada à tração.

A_{be}: Área efetiva.

6.3.3.2 Cisalhamento

A força de cisalhamento resistente de cálculo de um parafuso ou barra redonda rosqueada é, por plano de corte, igual a:

a) para parafusos de alta resistência e barras redondas rosqueadas, quando o plano de corte passa pela rosca e para parafusos comuns em qualquer situação:

onde A_b é a área bruta, baseada no diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada, d_b, dada em 6.3.2.2.

6.3.3.3 Pressão de contato em furos

A força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda, é dada por:

a) no caso de furos-padrão, furos alargados, furos pouco alongados em qualquer direção e furos muito alongados na direção da força:

- quando a deformação no furo para forças de serviço for uma limitação de projeto

onde:

L_f : Distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda livre.

d_b : Diâmetro do parafuso.

t : Espessura da parte ligada.

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

6.3.3.4 Tração e cisalhamento combinados

Quando ocorrer a ação simultânea de tração e cisalhamento, deve ser atendida a seguinte equação de interação:

onde:

$F_{t,Sd}$: Força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada.

$F_{v,Sd}$: Força de cisalhamento solicitante de cálculo no plano considerado do parafuso ou barra redonda rosqueada.

$F_{t,Rd}$ e $F_{v,Rd}$ são dados respectivamente em $F_{v,Rd}$

Alternativamente ao uso da equação da interação, a força de tração solicitante de cálculo ($F_{t,Sd}$) por parafuso ou barra redonda rosqueada deve atender às exigências:

Meio de ligação	Limitação adicional do valor da força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada
Parafusos ASTM A325	(1)
	(2)
(1) Plano de corte passa pela rosca. (2) Plano de corte não passa pela rosca.	

6.3.7 Pega longa

Exceto nos casos dos parafusos de alta resistência montados com protensão inicial, quando o comprimento de pega excede $5 d_b$, a força de cisalhamento resistente de cálculo dos parafusos ou barras redondas rosqueadas deve ser reduzida em 1% para cada 1,5 mm adicionais de pega (d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada).

6.3.9 Espaçamento mínimo entre furos

A distância entre centros de furos-padrão, alargados ou alongados, não pode ser inferior a $2,7 d_b$, sendo d_b o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

6.3.10 Espaçamento máximo entre parafusos

O espaçamento máximo entre parafusos que ligam uma chapa a um perfil ou a outra chapa, em contato contínuo, deve ser determinado como a seguir:

- a) em elementos pintados ou não sujeitos à corrosão, o espaçamento não pode exceder 24 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 300 mm;
- b) em elementos sujeitos à corrosão atmosférica, executados com aços resistentes à corrosão, não pintados, o espaçamento não pode exceder 14 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 180 mm.

6.3.11 Distância mínima de um furo às bordas

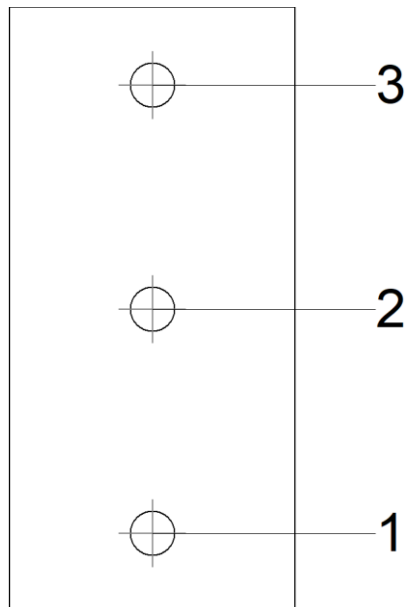
6.3.11.1 Furos-padrão

A distância do centro de um furo-padrão a qualquer borda de uma parte ligada não pode ser inferior ao valor indicado na Tabela 14, na qual d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

Tabela 14 - Distância mínima do centro de um furo-padrão à borda		
Diâmetro d_b pol	Borda cortada com serra ou tesoura (mm)	Borda laminada ou cortada a maçarico (mm)
1/2"	22	19

6.3.12 Distância máxima de um parafuso ou barra rosqueada às bordas

Para qualquer borda de uma parte ligada, a distância do centro do parafuso, ou barra redonda rosqueada, mais próximo até essa borda não pode exceder a 12 vezes a espessura da parte ligada considerada, nem 150 mm.



Disposições constructivas						
Parafuso	Descrição	Diâmetro do furo (mm)	Distâncias de um furo às bordas		Distâncias entre furos	
			x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
1	1/2"x1 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	14.3	30	22	--	63
2	1/2"x1 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	14.3	30	--	--	63
3	1/2"x1 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	14.3	30	22	--	63

--: Não precisa ser considerado.

Resistência										
Parafuso	Cisalhamento				Tração				Interação tração e esforço transverso	Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Seção transversal	20.714	30.965	66.89	Espiga	0.000	55.986	0.00	66.89	66.89
	Esmagamento	20.714	57.353	36.12	Punção	0.000	87.241	0.00		
2	Seção transversal	15.000	30.965	48.44	Espiga	0.000	55.986	0.00	48.44	48.44
	Esmagamento	15.000	81.280	18.45	Punção	0.000	87.241	0.00		
3	Seção transversal	20.714	30.965	66.89	Espiga	0.000	55.986	0.00	66.89	66.89

Resistência										
Parafuso	Cisalhamento				Tração				Interação tração e esforço transversal	Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
	Esmagamento	20.714	81.280	25.49	Punção	0.000	87.241	0.00		

3) Viga (c) W 200 x 19.3

– Chapa lateral

Barras prismáticas submetidas a momento fletor e força cortante (ABNT NBR 8800:2008, 5.4)

No dimensionamento das barras submetidas a momento fletor e força cortante, devem ser atendidas as seguintes condições:

$$0.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 11.83 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 185.55 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{Rd} : Momento fletor resistente de cálculo, determinado conforme 5.4.2.

$$M_{Rd} : \underline{11.83} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{0.10} \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo, determinada conforme 5.4.3.

$$V_{Rd} : \underline{185.55} \text{ kN}$$

Adicionalmente deve ser atendida a seguinte equação de interação.

$$0.00 \leq 1$$

5.4.2 Momento fletor resistente de cálculo

O momento fletor resistente de cálculo, M_{Rd} , deve ser determinado de acordo com o Anexos G ou H.

G.2.6 Para as seções sólidas circulares e retangulares fletidas em relação ao eixo de menor momento de inércia:

$$M_{Rd} : \underline{11.83} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{pl} : Momento fletor de plastificação da seção transversal, igual ao produto do módulo de resistência plástico (Z) pela resistência ao escoamento do aço (f_y).

$$M_{pl} : \underline{14.46 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Z: Módulo de resistência plástico.

$$Z : \underline{41905 \text{ mm}^3}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00 \text{ N/mm}^2}$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

5.4.3 Força cortante resistente de cálculo

A força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é dada por:

$$V_{Rd} : \underline{185.55 \text{ kN}}$$

A força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento é dada por:

Nessa equação, é a.

A_w : Área efetiva de cisalhamento.

$$A_w : \underline{986 \text{ mm}^2}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00 \text{ N/mm}^2}$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

Tensão de Von Mises na chapa lateral (ABTN NBR 8800:2008, 5.5.2.3)

Para a verificação da rotura da chapa lateral deve ser cumprida a seguinte expressão, onde σ , τ_{yz} e τ_{xz} são as tensões do ponto mais desfavorável da seção inicial:

$$73.94 \text{ N/mm}^2 \leq 313.64 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

onde:

σ : Tensão normal

$$\sigma : \underline{-46.71 \text{ N/mm}^2}$$

τ_{yz} : Tensão tangencial yz

$$\tau_{yz} : \underline{-33.09 \text{ N/mm}^2}$$

τ_{xz} : Tensão tangencial xz

$$\tau_{xz} : \underline{0.00 \text{ N/mm}^2}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00 \text{ N/mm}^2}$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

Resistência a flambagem local (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABTN NBR 8800:2008, 5.3)

Deve satisfazer a condição:

$$46.71 \text{ N/mm}^2 \leq 287.28 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

onde:

$\sigma_{c,Sd}$: Tensão axial de compressão solicitante de cálculo. $\sigma_{c,Sd} : 46.71 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_{c,Rd}$: Tensão axial de compressão resistente de cálculo. $\sigma_{c,Rd} : 287.28 \text{ N/mm}^2$

onde:

χ : Fator de redução associado à resistência à compressão.

$$\chi : 0.92$$

Q: Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : 1$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 345.00 \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

O fator de redução associado à resistência à compressão, χ_r , é dado por:

- para

onde:

$$\lambda_0 : 0.46$$

β : Coeficiente de encurvadura.

$$\beta : 2.00$$

L: Distância até a primeira coluna de parafusos.

$$L : 40 \text{ mm}$$

t: Espessura da chapa.

$$t : 8.0 \text{ mm}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : 200000.00 \text{ N/mm}^2$$

Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3)

Deve satisfazer a condição:

$$0.36 \leq 1 \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd,y} : 14.29 \text{ kN}$$

$$F_{Sd,z} : 15 \text{ kN}$$

$F_{c,Rd}$: Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda.

onde:

$$F_{c,Rd,y} : \underline{81.28} \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd,z} : \underline{47.54} \text{ kN}$$

onde:

t: Espessura da parte ligada.

$$t : \underline{8.0} \text{ mm}$$

l_f : Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada.

$$l_{f,y} : \underline{33} \text{ mm}$$

$$l_{f,z} : \underline{15} \text{ mm}$$

d_b : Diâmetro do parafuso.

$$d_b : \underline{13} \text{ mm}$$

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6)

Deve satisfazer a condição:

$$45.00 \text{ kN} \leq 169.52 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd} : \underline{45.00} \text{ kN}$$

$F_{t,Rd}$: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento.

$$F_{t,Rd} : \underline{169.52} \text{ kN}$$

onde:

A_n : Área líquida sujeita à rasgamento.

$$A_n : \underline{1017} \text{ mm}^2$$

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

– Alma

Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3)

Deve satisfazer a condição:

$$0.37 \leq 1 \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd,y} : \underline{14.29} \text{ kN}$$

$$F_{Sd,z} : \underline{15} \text{ kN}$$

$F_{c,Rd}$: Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda.

onde:

$$F_{c,Rd,y} : \underline{53.03} \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd,z} : \underline{58.93} \text{ kN}$$

onde:

t : Espessura da parte ligada.

$$t : \underline{5.8} \text{ mm}$$

l_f : Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada.

$$l_{f,y} : \underline{23} \text{ mm}$$

$$l_{f,z} : \underline{49} \text{ mm}$$

d_b : Diâmetro do parafuso.

$$d_b : \underline{13} \text{ mm}$$

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6)

Deve satisfazer a condição:

$$45.00 \text{ kN} \leq 163.92 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd} : \underline{45.00} \text{ kN}$$

$F_{t,Rd}$: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento.

$$F_{t,Rd} : \underline{163.92} \text{ kN}$$

onde:

A_n : Área líquida sujeita à rasgamento.

$$A_n : \underline{983} \text{ mm}^2$$

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

Resistência a flambagem local (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABTN NBR 8800:2008, 5.3)

A verificação não é necessária.

Soldas (ABNT NBR 8800:2008)

Limitações (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.6)

6.2.6.2 Soldas de filete

6.2.6.2.1 O tamanho mínimo da perna de uma solda de filete é dado na Tabela 10, em função da parte menos espessa soldada.

6.2.6.2.2 O tamanho máximo da perna de uma solda de filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas é o seguinte:

- a) ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material;
- b) ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm, a não ser que nos desenhos essa solda seja indicada como reforçada durante a execução, de modo a obter a espessura total desejada da garganta.

6.2.6.2.3 O comprimento efetivo de uma solda de filete, dimensionada para uma solicitação de cálculo qualquer, não pode ser inferior a 4 vezes seu tamanho da perna e a 40 mm.

AWS D1.1/D1.1M, Complementary specifications.

2.3.3.7 Effective Throat of Skewed T-Joints.

The effective throat of a skewed T-joint in angles between 60° and 30° shall be the minimum distance from the root to the diagrammatic face, less the Z loss reduction dimension. The effective throat of a skewed T-joint in angles between 80° and 60° and in angles greater than 100° shall be taken as the shortest distance from the joint root to the weld face.

Força resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.5)

6.2.5.1 A força resistente de cálculo, $F_{w,Rd}$, dos diversos tipos de solda está indicada na Tabela 8, na qual A_w é a área efetiva da solda, A_{MB} é a área do metal-base (produto do comprimento da solda pela espessura do metalbase menos espesso), f_y é a menor resistência ao escoamento entre os metais-base da junta e f_w a resistência mínima à tração do metal da solda.

Força resistente de cálculo das soldas, Tabela 8		
Tipo de solda	Tipo de solicitação e orientação	Força resistente de cálculo, $F_{w,Rd}$
Filete	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda.	Não precisa ser considerado.
	Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas).	Metal-base deve atender a 6.5 onde: Metal da solda:
2) O valor de γ_{w2} é igual a 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,15 para combinações excepcionais.		

6.2.4 Exigências relativas ao metal da solda e aos procedimentos de soldagem

6.2.4.1 Na Tabela 7, extraída da AWS D1.1, são apresentados alguns metais-base e eletrodos de solda que podem ser usados em procedimentos de soldagem pré-qualificados. Mais informações podem ser obtidas na AWS D1.1.

Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)								
Descrição	Tipo	P.S.	t (mm)	Comprimento		Perna		
				$l_{w,min}$ (mm)	l_w (mm)	$d_{w,min}$ (mm)	$d_{w,max}$ (mm)	d_w (mm)
Detalhe da solda da chapa lateral.	De ângulo	SMAW	6	40	170	3	6	5
<p>P.S.: Procedimento de soldagem.</p> <p>t: Menor espessura do metal-base.</p> <p>l_w: Comprimento total da solda.</p> <p>d_w: Perna da solda.</p>								

Verificação de cordões de soldadura														
Descrição	Perna (mm)	t (mm)	l _w (mm)	Eléctrodo	Metal - base	Cisalhamento (Metal da solda)			Tensões (Metal-base)			Coeficientes de ponderação		
				f _w (N/mm ²)	f _y (N/mm ²)	S _d (N/mm ²)	R _d (N/mm ²)	Aprov. (%)	S _d (N/mm ²)	R _d (N/mm ²)	Aprov. (%)	γ _{a1}	γ _{w1}	γ _{w2}
Detalhe da solda da chapa lateral.	5	6	170	E70XX (485.0)	345.0	37.4	215.6	17.37	26.5	188.2	14.07	1.10	1.25	1.35
S _d : Solicitação de cálculo														
R _d : Resistente de cálculo														
- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.														

6.3.3.1 Tração

A força de tração resistente de cálculo de um parafuso tracionado ou de uma barra redonda rosqueada tracionada é dada por:

onde:

f_{ub} : Resistência à ruptura do material do parafuso ou barra redonda rosqueada à tração.

A_{be} : Área efetiva.

6.3.3.2 Cisalhamento

A força de cisalhamento resistente de cálculo de um parafuso ou barra redonda rosqueada é, por plano de corte, igual a:

a) para parafusos de alta resistência e barras redondas rosqueadas, quando o plano de corte passa pela rosca e para parafusos comuns em qualquer situação:

onde A_b é a área bruta, baseada no diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada, d_b , dada em 6.3.2.2.

6.3.3.3 Pressão de contato em furos

A força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda, é dada por:

a) no caso de furos-padrão, furos alargados, furos pouco alongados em qualquer direção e furos muito alongados na direção da força:

- quando a deformação no furo para forças de serviço for uma limitação de projeto

onde:

L_f : Distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda livre.

d_b : Diâmetro do parafuso.

t : Espessura da parte ligada.

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

6.3.3.4 Tração e cisalhamento combinados

Quando ocorrer a ação simultânea de tração e cisalhamento, deve ser atendida a seguinte equação de interação:

onde:

$F_{t,Sd}$: Força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada.

$F_{v,Sd}$: Força de cisalhamento solicitante de cálculo no plano considerado do parafuso ou barra redonda rosqueada.

$F_{t,Rd}$ e $F_{v,Rd}$ são dados respectivamente em $F_{v,Rd}$

Alternativamente ao uso da equação da interação, a força de tração solicitante de cálculo ($F_{t,Sd}$) por parafuso ou barra redonda rosqueada deve atender às exigências:

Meio de ligação	Limitação adicional do valor da força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada
Parafusos ASTM A325	(1)
	(2)
(1) Plano de corte passa pela rosca.	
(2) Plano de corte não passa pela rosca.	

6.3.7 Pega longa

Exceto nos casos dos parafusos de alta resistência montados com protensão inicial, quando o comprimento de pega excede $5 d_b$, a força de cisalhamento resistente de cálculo dos parafusos ou barras redondas rosqueadas deve ser reduzida em 1% para cada 1,5 mm adicionais de pega (d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada).

6.3.9 Espaçamento mínimo entre furos

A distância entre centros de furos-padrão, alargados ou alongados, não pode ser inferior a $2,7 d_b$, sendo d_b o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

6.3.10 Espaçamento máximo entre parafusos

O espaçamento máximo entre parafusos que ligam uma chapa a um perfil ou a outra chapa, em contato contínuo, deve ser determinado como a seguir:

- a) em elementos pintados ou não sujeitos à corrosão, o espaçamento não pode exceder 24 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 300 mm;
- b) em elementos sujeitos à corrosão atmosférica, executados com aços resistentes à corrosão, não pintados, o espaçamento não pode exceder 14 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 180 mm.

6.3.11 Distância mínima de um furo às bordas

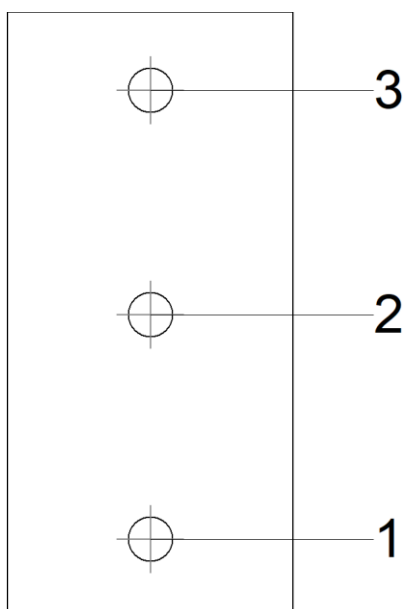
6.3.11.1 Furos-padrão

A distância do centro de um furo-padrão a qualquer borda de uma parte ligada não pode ser inferior ao valor indicado na Tabela 14, na qual d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

Tabela 14 - Distância mínima do centro de um furo-padrão à borda		
Diâmetro d_b	Borda cortada com serra ou tesoura	Borda laminada ou cortada a maçarico
pol	(mm)	(mm)
1/2"	22	19

6.3.12 Distância máxima de um parafuso ou barra rosqueada às bordas

Para qualquer borda de uma parte ligada, a distância do centro do parafuso, ou barra redonda rosqueada, mais próximo até essa borda não pode exceder a 12 vezes a espessura da parte ligada considerada, nem 150 mm.



Disposições construtivas						
Parafuso	Descrição	Diâmetro do furo (mm)	Distâncias de um furo às bordas		Distâncias entre furos	
			x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
1	1/2"x1 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	14.3	30	22	--	63
2	1/2"x1 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	14.3	30	--	--	63
3	1/2"x1 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	14.3	30	22	--	63
--: Não precisa ser considerado.						

Resistência										
Parafuso	Cisalhamento				Tração				Interação tração e esforço transversal	Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
1	Seção transversal	20.714	30.965	66.89	Espiga	0.000	55.986	0.00	66.89	66.89
	Esmagamento	20.714	57.353	36.12	Punção	0.000	87.241	0.00		
2	Seção transversal	15.000	30.965	48.44	Espiga	0.000	55.986	0.00	48.44	48.44
	Esmagamento	15.000	81.280	18.45	Punção	0.000	87.241	0.00		
3	Seção transversal	20.714	30.965	66.89	Espiga	0.000	55.986	0.00	66.89	66.89
	Esmagamento	20.714	81.280	25.49	Punção	0.000	87.241	0.00		

4) Viga (b) W 200 x 19.3

– Chapa lateral

Barras prismáticas submetidas a momento fletor e força cortante (ABNT NBR 8800:2008, 5.4)

No dimensionamento das barras submetidas a momento fletor e força cortante, devem ser atendidas as seguintes condições:

$$0.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 11.83 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 185.55 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	M_{Sd} : <u>0.01</u> kN·m
M_{Rd} : Momento fletor resistente de cálculo, determinado conforme 5.4.2.	M_{Rd} : <u>11.83</u> kN·m
V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	V_{Sd} : <u>0.10</u> kN
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo, determinada conforme 5.4.3.	V_{Rd} : <u>185.55</u> kN

Adicionalmente deve ser atendida a seguinte equação de interação.

$$0.00 \leq 1$$

5.4.2 Momento fletor resistente de cálculo

O momento fletor resistente de cálculo, **M_{Rd}**, deve ser determinado de acordo com o Anexos G ou H.

G.2.6 Para as seções sólidas circulares e retangulares fletidas em relação ao eixo de menor momento de inércia:

	M_{Rd} : <u>11.83</u> kN·m
M_{pl} : Momento fletor de plastificação da seção transversal, igual ao produto do módulo de resistência plástico (Z) pela resistência ao escoamento do aço (f_y).	M_{pl} : <u>14.46</u> kN·m
Z : Módulo de resistência plástico.	Z : <u>41905</u> mm ³
f_y : Resistência ao escoamento do aço.	f_y : <u>345.00</u> N/mm ²
γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.	γ_{a1} : <u>1.10</u>

5.4.3 Força cortante resistente de cálculo

A força cortante resistente de cálculo, **V_{Rd}**, é dada por:

$$\mathbf{V_{Rd}} : \underline{185.55} \text{ kN}$$

A força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento é dada por:

Nessa equação, é a.

A_w : Área efetiva de cisalhamento.	A_w : <u>986</u> mm ²
f_y : Resistência ao escoamento do aço.	f_y : <u>345.00</u> N/mm ²
γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.	γ_{a1} : <u>1.10</u>

Tensão de Von Mises na chapa lateral (ABTN NBR 8800:2008, 5.5.2.3)

Para a verificação da rotura da chapa lateral deve ser cumprida a seguinte expressão, onde σ , τ_{yz} e τ_{xz} são as tensões do ponto mais desfavorável da seção inicial:

$$73.94 \text{ N/mm}^2 \leq 313.64 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

onde:

σ : Tensão normal	σ : <u>-46.71</u> N/mm ²
τ_{yz} : Tensão tangencial yz	τ_{yz} : <u>-33.09</u> N/mm ²
τ_{xz} : Tensão tangencial xz	τ_{xz} : <u>0.00</u> N/mm ²
f_y : Resistência ao escoamento do aço.	f_y : <u>345.00</u> N/mm ²
γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.	γ_{a1} : <u>1.10</u>

Resistência a flambagem local (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABTN NBR 8800:2008, 5.3)

Deve satisfazer a condição:

$$46.71 \text{ N/mm}^2 \leq 287.28 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

onde:

$\sigma_{c,Sd}$: Tensão axial de compressão solicitante de cálculo.	$\sigma_{c,Sd}$: <u>46.71</u> N/mm ²
$\sigma_{c,Rd}$: Tensão axial de compressão resistente de cálculo.	$\sigma_{c,Rd}$: <u>287.28</u> N/mm ²

onde:

χ : Fator de redução associado à resistência à compressão.	χ : <u>0.92</u>
Q: Fator de redução total associado à flambagem local.	Q : <u>1</u>
f_y : Resistência ao escoamento do aço.	f_y : <u>345.00</u> N/mm ²
γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.	γ_{a1} : <u>1.10</u>

O fator de redução associado à resistência à compressão, χ , é dado por:

- para

onde:

λ_0 : 0.46

β : Coeficiente de encurvadura.

β : 2.00

L: Distância até a primeira coluna de parafusos.

L : 40 mm

t: Espessura da chapa.

t : 8.0 mm

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000.00 N/mm²

Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3)

Deve satisfazer a condição:

$$0.36 \leq 1 \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$F_{Sd,y}$: 14.29 kN

$F_{Sd,z}$: 15 kN

$F_{c,Rd}$: Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda.

onde:

$F_{c,Rd,y}$: 81.28 kN

$F_{c,Rd,z}$: 47.54 kN

onde:

t: Espessura da parte ligada.

t : 8.0 mm

l_f : Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada.

$l_{f,y}$: 33 mm

$l_{f,z}$: 15 mm

d_b : Diâmetro do parafuso.

d_b : 13 mm

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

f_u : 450.00 N/mm²

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

γ_{a2} : 1.35

Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6)

Deve satisfazer a condição:

$$45.00 \text{ kN} \leq 169.52 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo. **F_{Sd}** : 45.00 kN
F_{t,Rd}: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento. **F_{t,Rd}** : 169.52 kN

onde:

A_n: Área líquida sujeita à rasgamento. **A_n** : 1017 mm²
f_u: Resistência à ruptura do aço da parede do furo. **f_u** : 450.00 N/mm²
f_y: Resistência ao escoamento do aço. **f_y** : 345.00 N/mm²
γ_{a1}: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. **γ_{a1}** : 1.10
γ_{a2}: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura. **γ_{a2}** : 1.35

– Alma

Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3)

Deve satisfazer a condição:

$$0.37 \leq 1 \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo. **F_{Sd,y}** : 14.29 kN
F_{Sd,z} : 15 kN

F_{c,Rd}: Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda.

onde:

F_{c,Rd,y} : 53.03 kN
F_{c,Rd,z} : 58.93 kN

onde:

t: Espessura da parte ligada. **t** : 5.8 mm
l_f: Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada. **l_{f,y}** : 23 mm
l_{f,z} : 49 mm
d_b: Diâmetro do parafuso. **d_b** : 13 mm
f_u: Resistência à ruptura do aço da parede do furo. **f_u** : 450.00 N/mm²
γ_{a2}: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura. **γ_{a2}** : 1.35

Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6)

Deve satisfazer a condição:

$$45.00 \text{ kN} \leq 163.92 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo. F_{Sd} : 45.00 kN

$F_{t,Rd}$: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento. $F_{t,Rd}$: 163.92 kN

onde:

A_n : Área líquida sujeita à rasgamento. A_n : 983 mm²

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo. f_u : 450.00 N/mm²

f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 345.00 N/mm²

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. γ_{a1} : 1.10

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura. γ_{a2} : 1.35

Resistência a flambagem local (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 5.3)

A verificação não é necessária.

Soldas (ABNT NBR 8800:2008)

Limitações (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.6)

6.2.6.2 Soldas de filete

6.2.6.2.1 O tamanho mínimo da perna de uma solda de filete é dado na Tabela 10, em função da parte menos espessa soldada.

6.2.6.2.2 O tamanho máximo da perna de uma solda de filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas é o seguinte:

a) ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material;

b) ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm, a não ser que nos desenhos essa solda seja indicada como reforçada durante a execução, de modo a obter a espessura total desejada da garganta.

6.2.6.2.3 O comprimento efetivo de uma solda de filete, dimensionada para uma solicitação de cálculo qualquer, não pode ser inferior a 4 vezes seu tamanho da perna e a 40 mm.

AWS D1.1/D1.1M, Complementary specifications.

2.3.3.7 Effective Throat of Skewed T-Joints.

The effective throat of a skewed T-joint in angles between 60° and 30° shall be the minimum distance from the root to the diagrammatic face, less the Z loss reduction dimension. The effective throat of a skewed T-joint in angles between 80° and 60° and in angles greater than 100° shall be taken as the shortest distance from the joint root to the weld face.

Força resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.5)

6.2.5.1 A força resistente de cálculo, $F_{w,Rd}$, dos diversos tipos de solda está indicada na Tabela 8, na qual A_w é a área efetiva da solda, A_{MB} é a área do metal-base (produto do comprimento da solda pela espessura do metalbase menos espesso), f_y é a menor resistência ao escoamento entre os metais-base da junta e f_w a resistência mínima à tração do metal da solda.

Força resistente de cálculo das soldas, Tabela 8		
Tipo de solda	Tipo de solicitação e orientação	Força resistente de cálculo, $F_{w,Rd}$
Filete	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda.	Não precisa ser considerado.
	Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas).	Metal-base deve atender a 6.5 onde: Metal da solda:
2) O valor de γ_{w2} é igual a 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,15 para combinações excepcionais.		

6.2.4 Exigências relativas ao metal da solda e aos procedimentos de soldagem

6.2.4.1 Na Tabela 7, extraída da AWS D1.1, são apresentados alguns metais-base e eletrodos de solda que podem ser usados em procedimentos de soldagem pré-qualificados. Mais informações podem ser obtidas na AWS D1.1.

Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)								
Descrição	Tipo	P.S.	t (mm)	Comprimento		Perna		
				$l_{w,min}$ (mm)	l_w (mm)	$d_{w,min}$ (mm)	$d_{w,max}$ (mm)	d_w (mm)
Detalhe da solda da chapa lateral.	De ângulo	SMAW	6	40	170	3	6	5

Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)									
Descrição	Tipo	P.S.	t (mm)	Comprimento		Perna			
				l _{w,min} (mm)	l _w (mm)	d _{w,min} (mm)	d _{w,max} (mm)	d _w (mm)	
<p><i>P.S.: Procedimento de soldagen.</i></p> <p><i>t: Menor espessura do metal-base.</i></p> <p><i>l_w: Comprimento total da solda.</i></p> <p><i>d_w: Perna da solda.</i></p>									

Verificação de cordões de soldadura														
Descrição	Perna (mm)	t (mm)	lw (mm)	Eléctrodo	Metal - base	Cisalhamento (Metal da solda)			Tensões (Metal-base)			Coeficientes de ponderação		
				f _w (N/mm ²)	f _y (N/mm ²)	Sd (N/mm ²)	Rd (N/mm ²)	Aprov. (%)	Sd (N/mm ²)	Rd (N/mm ²)	Aprov. (%)	γ _{a1}	γ _{w1}	γ _{w2}
Detalhe da solda da chapa lateral.	5	6	170	E70XX (485.0)	345.0	37.4	215.6	17.37	26.5	188.2	14.07	1.10	1.25	1.35
Sd: Solicitação de cálculo Rd: Resistente de cálculo - Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.														

Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3)

6.3.3.1 Tração

A força de tração resistente de cálculo de um parafuso tracionado ou de uma barra redonda rosqueada tracionada é dada por:

onde:

f_{ub} : Resistência à ruptura do material do parafuso ou barra redonda rosqueada à tração.

A_{be} : Área efetiva.

6.3.3.2 Cisalhamento

A força de cisalhamento resistente de cálculo de um parafuso ou barra redonda rosqueada é, por plano de corte, igual a:

a) para parafusos de alta resistência e barras redondas rosqueadas, quando o plano de corte passa pela rosca e para parafusos comuns em qualquer situação:

onde A_b é a área bruta, baseada no diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada, d_b , dada em 6.3.2.2.

6.3.3.3 Pressão de contato em furos

A força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda, é dada por:

a) no caso de furos-padrão, furos alargados, furos pouco alongados em qualquer direção e furos muito alongados na direção da força:

- quando a deformação no furo para forças de serviço for uma limitação de projeto

onde:

L_f : Distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda livre.

d_b : Diâmetro do parafuso.

t : Espessura da parte ligada.

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

6.3.3.4 Tração e cisalhamento combinados

Quando ocorrer a ação simultânea de tração e cisalhamento, deve ser atendida a seguinte equação de interação:

onde:

$F_{t,Sd}$: Força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada.

$F_{v,Sd}$: Força de cisalhamento solicitante de cálculo no plano considerado do parafuso ou barra redonda rosqueada.

$F_{t,Rd}$ e $F_{v,Rd}$ são dados respectivamente em $F_{v,Rd}$

Alternativamente ao uso da equação da interação, a força de tração solicitante de cálculo ($F_{t,Sd}$) por parafuso ou barra redonda rosqueada deve atender às exigências:

Meio de ligação	Limitação adicional do valor da força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada
Parafusos ASTM A325	(1)
	(2)
(1) Plano de corte passa pela rosca. (2) Plano de corte não passa pela rosca.	

6.3.7 Pega longa

Exceto nos casos dos parafusos de alta resistência montados com protensão inicial, quando o comprimento de pega excede $5 d_b$, a força de cisalhamento resistente de cálculo dos parafusos ou barras redondas rosqueadas deve ser reduzida em 1% para cada 1,5 mm adicionais de pega (d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada).

6.3.9 Espaçamento mínimo entre furos

A distância entre centros de furos-padrão, alargados ou alongados, não pode ser inferior a $2,7 d_b$, sendo d_b o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

6.3.10 Espaçamento máximo entre parafusos

O espaçamento máximo entre parafusos que ligam uma chapa a um perfil ou a outra chapa, em contato contínuo, deve ser determinado como a seguir:

- a) em elementos pintados ou não sujeitos à corrosão, o espaçamento não pode exceder 24 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 300 mm;
- b) em elementos sujeitos à corrosão atmosférica, executados com aços resistentes à corrosão, não pintados, o espaçamento não pode exceder 14 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 180 mm.

6.3.11 Distância mínima de um furo às bordas

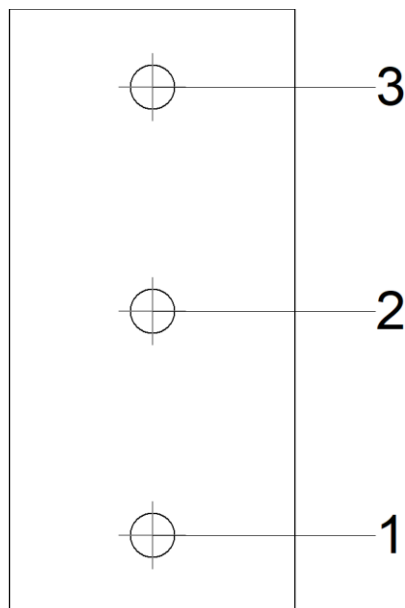
6.3.11.1 Furos-padrão

A distância do centro de um furo-padrão a qualquer borda de uma parte ligada não pode ser inferior ao valor indicado na Tabela 14, na qual d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

Tabela 14 - Distância mínima do centro de um furo-padrão à borda		
Diâmetro d_b pol	Borda cortada com serra ou tesoura (mm)	Borda laminada ou cortada a maçarico (mm)
1/2"	22	19

6.3.12 Distância máxima de um parafuso ou barra rosqueada às bordas

Para qualquer borda de uma parte ligada, a distância do centro do parafuso, ou barra redonda rosqueada, mais próximo até essa borda não pode exceder a 12 vezes a espessura da parte ligada considerada, nem 150 mm.



Disposições construtivas						
Parafuso	Descrição	Diâmetro do furo (mm)	Distâncias de um furo às bordas		Distâncias entre furos	
			x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
1	1/2"x1 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	14.3	30	22	--	63
2	1/2"x1 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	14.3	30	--	--	63
3	1/2"x1 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	14.3	30	22	--	63
---: Não precisa ser considerado.						

Resistência										
Parafuso	Cisalhamento				Tração				Interação tração e esforço transversal	Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Seção transversal	20.714	30.965	66.89	Espiga	0.000	55.986	0.00	66.89	66.89
	Esmagamento	20.714	57.353	36.12	Punção	0.000	87.241	0.00		

Resistência										
Parafuso	Cisalhamento				Tração				Interação tração e esforço transverso	Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
2	Seção transversal	15.000	30.965	48.44	Espiga	0.000	55.986	0.00	48.44	48.44
	Esmagamento	15.000	81.280	18.45	Punção	0.000	87.241	0.00		
3	Seção transversal	20.714	30.965	66.89	Espiga	0.000	55.986	0.00	66.89	66.89
	Esmagamento	20.714	81.280	25.49	Punção	0.000	87.241	0.00		

CONSUMO DE AÇO

RESUMO MATERIAL				
PERFIL	MATERIAL	QTDE (m)	Peso Unitário (kg/m)	Peso Total. (kg)
W360X64	A572-GR.50	13.94	64.00	892.2
W310X44.5	A572-GR.50	273.88	44.50	12187.8
W250X25.3	A572-GR.50	272.78	25.30	6901.3
W200X26.6	A572-GR.50	231.06	26.60	6146.1
W200X19.3	A572-GR.50	477.43	19.30	9214.4
U305X30.7	A36	35.46	30.70	1088.5
PD38X9	A36	0.11	6.27	0.7
PD35X5	S235JR	28.80	0.00	0.0
PD30X7	A36	3.52	3.79	13.4
D25	A36	295.09	3.68	1085.8
D19.05	A325	6.60	2.17	14.3
D15.88	A325	170.27	1.51	257.6
C100X50X17X2	A36	207.33	3.47	719.4
BLL80X80X10	A36	8.16	11.78	96.1
TOTAL PERFIS				38617.6

CHAPARIA				
ESPESSURA (mm)	MATERIAL	QTDE (m ²)	Peso Unitário (kg/m ²)	Peso Total. (kg)
CH. 19	0	2.1	149.9	313.4
CH. 16	0	2.3	124.8	287.1
CH. 13	0	2.1	102.0	216.9
CH. 10	0	5.5	78.5	432.4
CH. 8	0	7.8	62.8	490.6
CH. 6	0	0.2	49.5	11.1
TOTAL CHAPAS				17851.5
TOTAL GERAL				40369.1

TAXA DE AÇO	34,77 kg/m ²
-------------	-------------------------

7. CONCLUSÃO

Para a manutenção da estrutura metálica, é necessário que seja feita periodicamente, como uma manutenção preventiva, para garantir que a estrutura não sofra corrosão, a pintura da estrutura metálica ajuda a proteger e deste modo, garantir que a estrutura esteja sempre em condições de utilização.

A edificação está sendo dimensionada para temperatura ambiente, caso o TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo), for superior a 30 minutos, deve ser analisado a NBR 14323:2013, para que assim, seja considerado armaduras extras. De acordo com a CBCA, a proteção mais utilizada para estruturas metálicas em combate ao fogo é a argamassa projetada cimentícia, que é constituída de gesso, agregados minerais, poliestireno, celulose e água. Ainda assim, há outros modos de ajudar em combate a incêndio, que seria a utilização de chuveiros automáticos, hidrantes e extintores.

As principais vantagens da construção em aço é a agilidade no tempo de construção, visto que os perfis já vem pronto, não é necessário escoramento da estrutura e também a construção é modular. A estrutura é mais leve e ocupa menos espaço, possui alta resistência à corrosão, uma maior praticidade nas montagens e não há desperdícios como ocorre na construção tradicional.

Como o projeto é para um programa habitacional, por ser em estrutura metálica, há vantagem de tempo e agilidade na construção.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 6120 - **Ações para o cálculo de estruturas de edificações** - Rio de Janeiro.

ABNT NBR 14762 - **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio** - Rio de Janeiro.

ABNT NBR 8800 - **Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios** - Rio de Janeiro.

ABNT NBR 6123 - **Forças devido ao vento** - Rio de Janeiro.

PROTEÇÃO Contra o Fogo e Corrosão. **Estrutura**, [s. l.], 2016. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticia/protecao-contr-o-fogo-e-corrosao>. Acesso em: 31 ago. 2023.

TELHAS DE AÇO - METFORM. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://metform.com.br/wp-content/uploads/2022/08/Cata%CC%81logo-Telha-Ed.-2019.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2023.