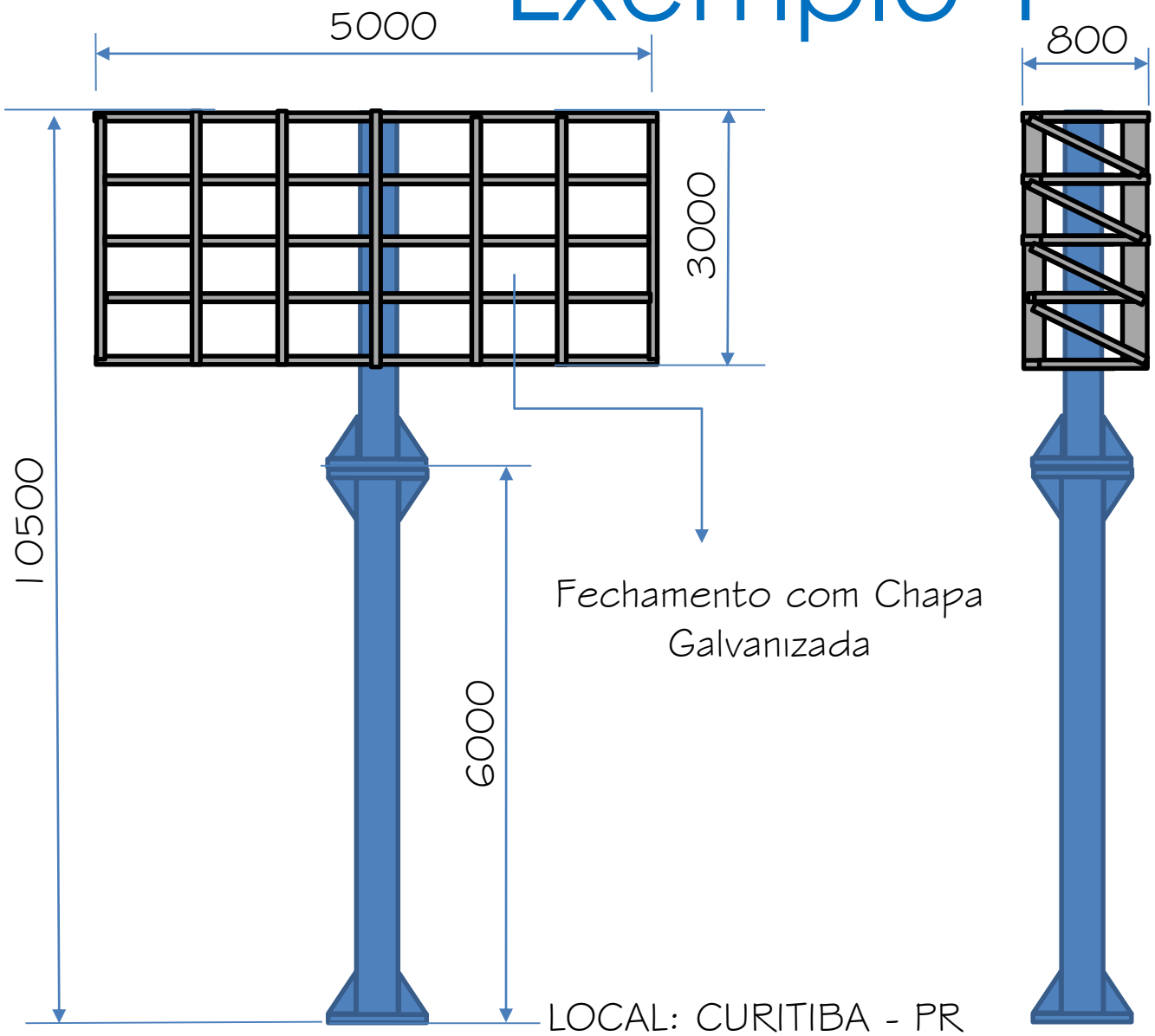
Exemplo de Cálculo – TOTEM DE PROPAGANDAS

Cálculo de um Totem de Propaganda

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Exemplo 1


5000
800
3000
10500
6000
Fechamento com Chapa Galvanizada
LOCAL: CURITIBA - PR

Exemplo 1

Determinação da pressão dinâmica do vento

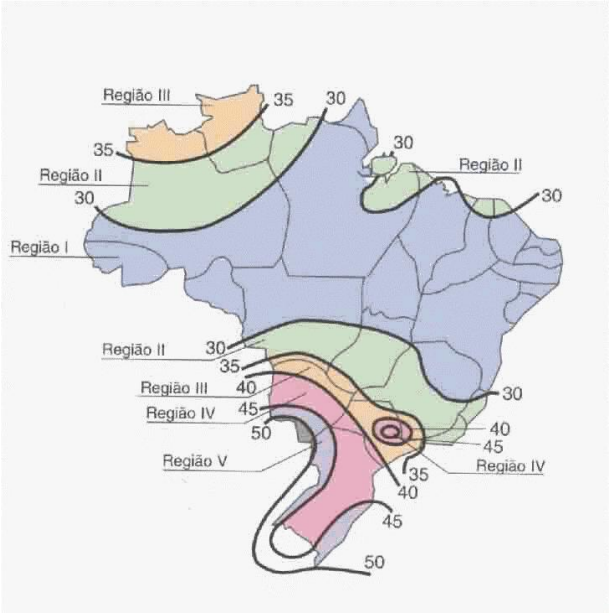


Tabela 1 - Parâmetros meteorológicos

Categoria	z_g (m)	Parâmetro	Classes A	Classes B	Classes C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		F_r	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

$$V_0 = 45m/s$$

$$\boxed{S1 = 1{,}0 \ - Terreno\ Plano\ ou\ fracamente\ acidentado}$$

$$S2 = CATEG.IV, CLASSE\ A \rightarrow S_2 = b.F_r.\left(\frac{z}{10}\right)^p$$

$$S_{2(10{,}5m)} = 0{,}86\,.\,1{,}00.\left(\frac{10{,}5}{10}\right)^{0{,}12} = \boxed{0{,}865}$$

$$S_{2(7{,}5m)} = 0{,}86\,.\,1{,}00.\left(\frac{7{,}5}{10}\right)^{0{,}12} = \boxed{0{,}83}$$

$$S_{2(0{,}5m)} = 0{,}86\,.\,1{,}00.\left(\frac{10{,}5}{10}\right)^{0{,}12} = \boxed{0{,}60}$$

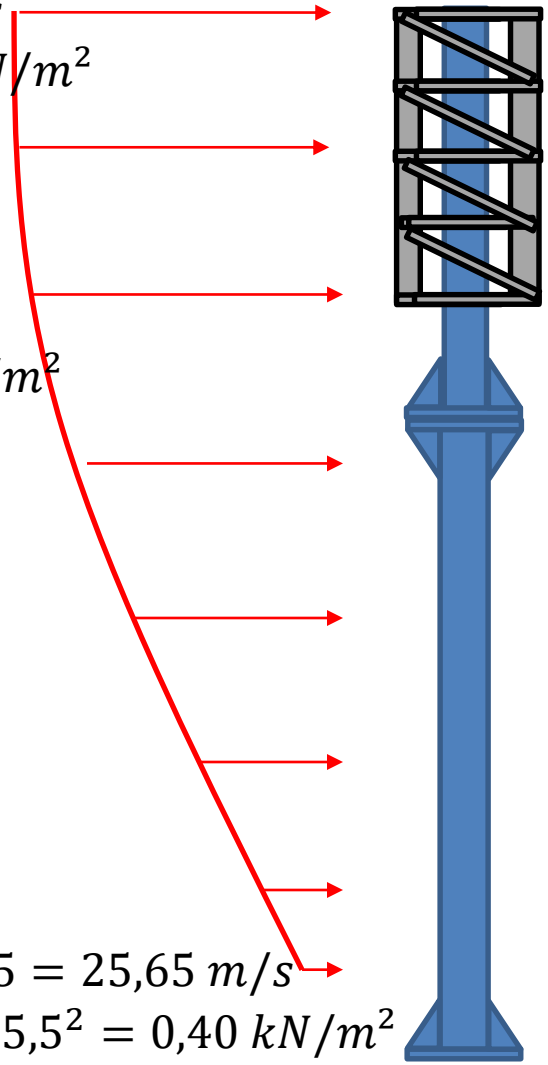
$$\boxed{S_3 = 0{,}95}$$

$$Vk = 45 \,.\, 1 \,.\, 0{,}865 \,.\, 0{,}95 = 36{,}98 m/s$$

$$q_{10,5m} = 0{,}613.36{,}98^2 = 0{,}84\ kN/m^2$$

$$Vk = 45 \,.\, 1 \,.\, 0{,}83 \,.\, 0{,}95 = 35{,}5 m/s$$

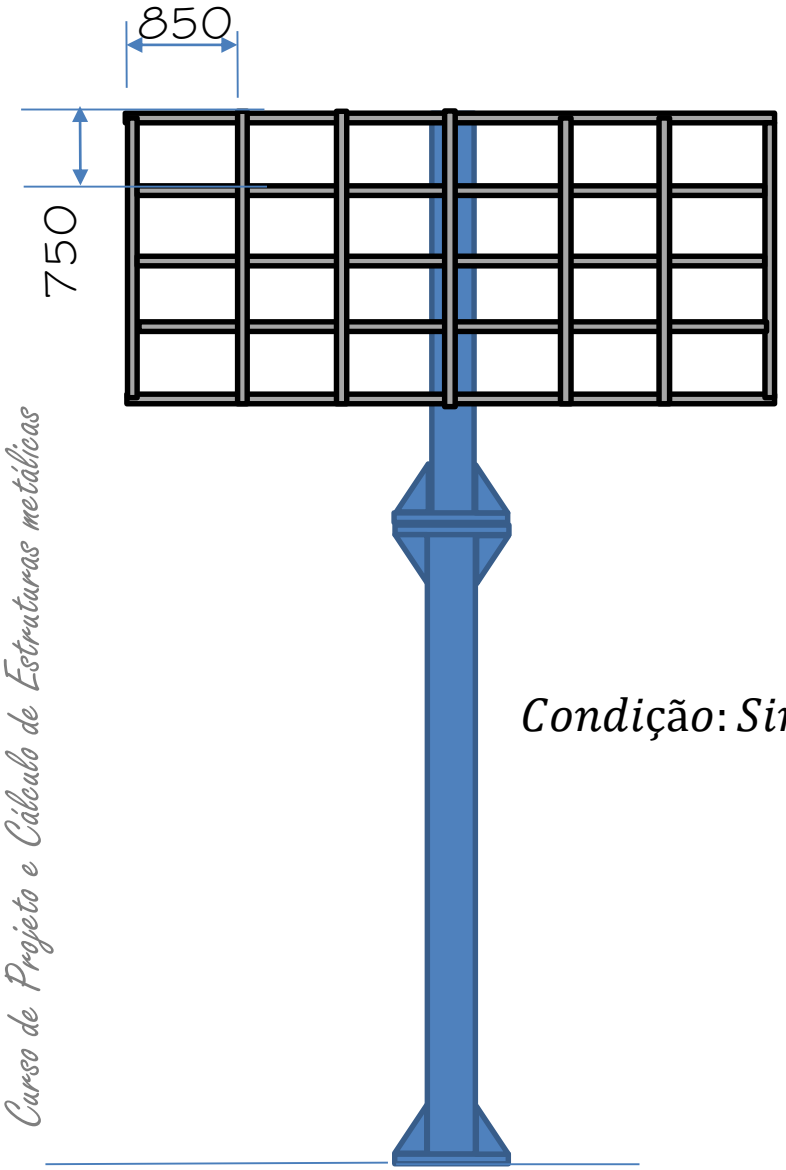
$$q_{7,5m} = 0{,}613.35{,}5^2 = 0{,}77\ kN/m^2$$



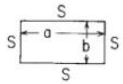
$$Vk = 45 \,.\, 1 \,.\, 0{,}60 \,.\, 0{,}95 = 25{,}65\ m/s$$

$$q_{0,5m} = 0{,}613.25{,}5^2 = 0{,}40\ kN/m^2$$

Determinação da espessura da chapa, com base em uma modulação 0,75m x 0,85m



1. Rectangular plate; all edges simply supported



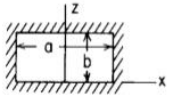
1a. Uniform over entire plate

(At center) $\sigma_{max} = \sigma_b = \frac{\beta q b^2}{t^2}$ and $y_{max} = \frac{-\alpha q b^4}{E t^3}$

(At center of long sides) $R_{max} = \gamma q b$

a/b	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	∞
β	0.2874	0.3762	0.4530	0.5172	0.5688	0.6102	0.7134	0.7410	0.7476	0.7500
α	0.0444	0.0616	0.0770	0.0906	0.1017	0.1110	0.1335	0.1400	0.1417	0.1421
γ	0.420	0.455	0.478	0.491	0.499	0.503	0.505	0.502	0.501	0.500

8. Rectangular plate, all edges fixed



8a. Uniform over entire plate

(At center of long edge) $\sigma_{max} = \frac{-\beta_1 q b^2}{t^2}$

(At center) $\sigma = \frac{\beta_2 q b^2}{t^2}$ and $y_{max} = \frac{\alpha q b^4}{E t^3}$

a/b	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	∞
β_1	0.3078	0.3834	0.4356	0.4680	0.4872	0.4974	0.5000
β_2	0.1386	0.1794	0.2094	0.2286	0.2406	0.2472	0.2500
α	0.0138	0.0188	0.0226	0.0251	0.0267	0.0277	0.0284

Critério 1

$$t = \sqrt[3]{\frac{250.\alpha.q.b^4}{E.a}}$$

Critério 2

$$t = b.\sqrt{\frac{\beta.\sigma_{sd}}{Fy}}$$

$$Condição: Simplesmente\ apoiada\ (Tabela\ 1)$$

$$\frac{a}{b} = \frac{850}{750} = 1{,}13$$

$$\beta = \frac{(1{,}13 - 1{,}0)}{(1{,}2 - 1{,}0)}.(0{,}3762 - 0{,}2874) + 0{,}2874 = 0{,}3451$$

$$t = 75\,.\sqrt{\frac{0{,}3451\,.\,1{,}4\,.\,0{,}84\,.\,10^{-4}}{24}} = 0{,}097cm = 0{,}97mm$$

Determinação da espessura da chapa, com base em uma modulação 0,75m x 0,85m

TABELA DE PESOS DE CHAPAS REVESTIDAS

CHAPAS (BLANKS) - TABELA DE PESOS

			DIMENSÃO DA CHAPA (M)			
Bitola (esp - mm)	Tipo Revest	Peso / m²	2,0 x 1,0	2,0 x 1,20	3,0 x 1,0	3,0 x 1,20
Ch30 - 0,35mm	ZN - Zincada	2,80	5,60	6,720	8,400	10,080
	GL - Galvalume	2,66	5,32	6,384	7,980	9,576
Ch28 - 0,43mm	ZN - Zincada	3,44	6,88	8,256	10,320	12,384
	GL - Galvalume	3,27	6,54	7,843	9,804	11,765
Ch26 - 0,50mm	ZN - Zincada	4,00	8,00	9,600	12,000	14,400
	GL - Galvalume	3,80	7,60	9,120	11,400	13,680
Ch24 - 0,65mm	ZN - Zincada	5,20	10,40	12,480	15,600	18,720
	GL - Galvalume	4,94	9,88	11,856	14,820	17,784
Ch22 - 0,80mm	ZN - Zincada	6,40	12,80	15,360	19,200	23,040
	GL - Galvalume	6,08	12,16	14,592	18,240	21,888
Ch20 - 0,95mm	ZN - Zincada	7,60	15,20	18,240	22,800	27,360
	GL - Galvalume	7,22	14,44	17,328	21,660	25,992

Peso de chapa de cada lado do painel: 7,60 kg/m² x (3 x 5) = 114 kg x 2 = 228 kg

Determinação da bitola do tubo redondo

$$Vk = 45 \,.\, 1 \,.\, 0{,}865 \,.\, 0{,}95 = 36{,}98 m/s$$

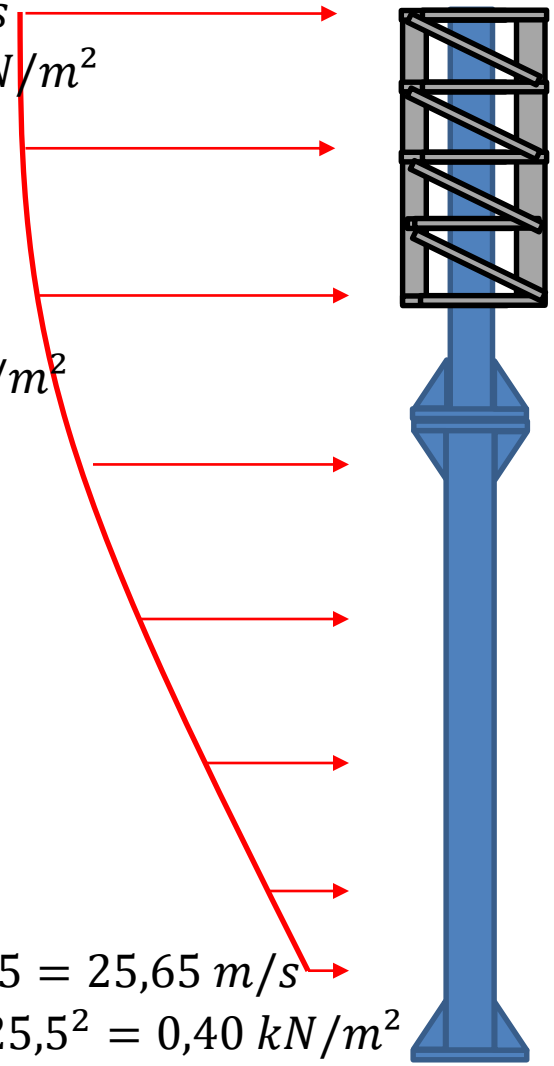
$$q_{10,5m} = 0{,}613.36{,}98^2 = 0{,}84\ kN/m^2$$

$$Vk = 45 \,.\, 1 \,.\, 0{,}83 \,.\, 0{,}95 = 35{,}5 m/s$$

$$q_{7,5m} = 0{,}613.35{,}5^2 = 0{,}77\ kN/m^2$$

$$Vk = 45 \,.\, 1 \,.\, 0{,}60 \,.\, 0{,}95 = 25{,}65\ m/s$$

$$q_{0,5m} = 0{,}613.25{,}5^2 = 0{,}40\ kN/m^2$$

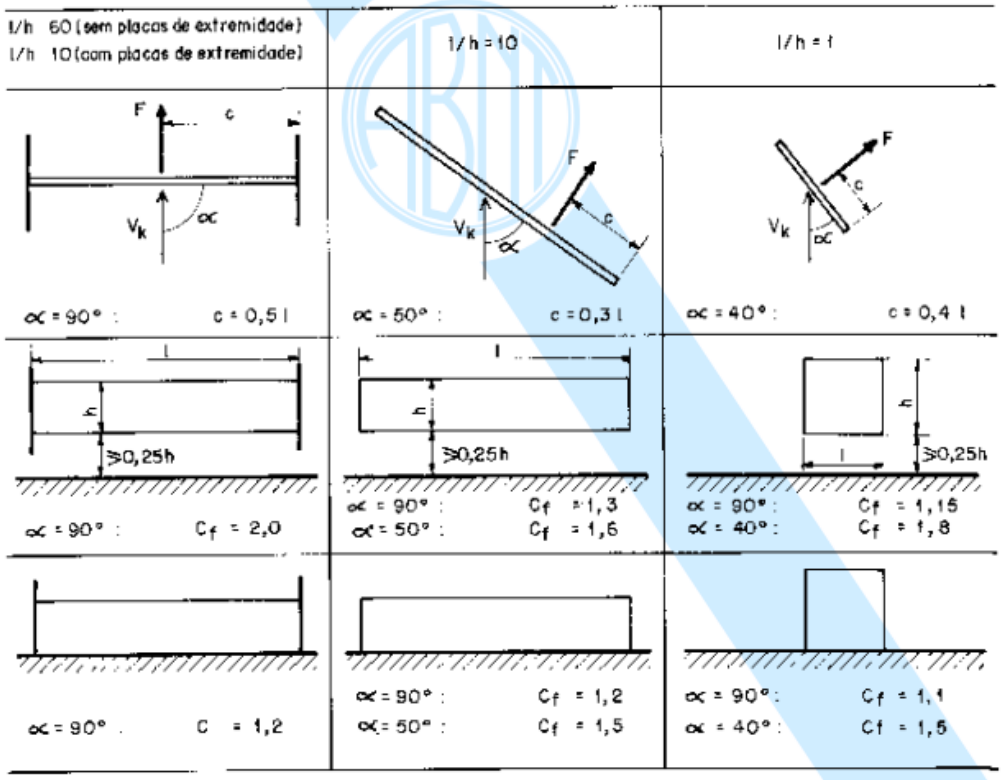


Região 1 (PLACA)

Região 2 (reticulado)

Esforço de vento na região da placa

Tabela 16 - Coeficientes de força, C_f, para muros e placas retangulares



$$\frac{L}{h} = \frac{5}{3} = 1{,}67$$

Obter Cf e c por interpolação entre 1 e 10

$$C_{f(90)} = \frac{1{,}67-1}{(10-1)}.(1{,}30-1{,}15)+1{,}15 = 1{,}161$$

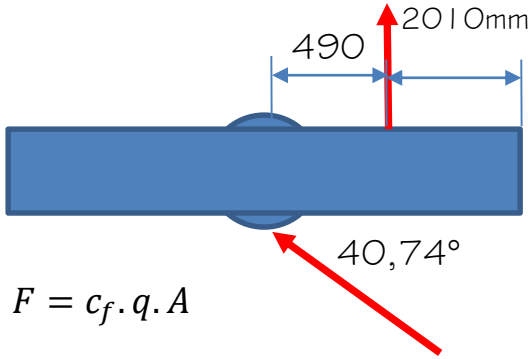
$$\theta = \frac{1{,}67-1}{10-1}.(50° - 40°) + 40° = 40{,}74°$$

$$C_{f(\theta)} = \frac{1{,}67-1}{(10-1)}.(1{,}60-1{,}80)+1{,}80 = 1{,}785$$

$$c = \frac{1{,}67-1}{10-1}.(0{,}31 - 0{,}41) + 0{,}41 = 0{,}402$$

Hipótese 1: Vento 40,74°

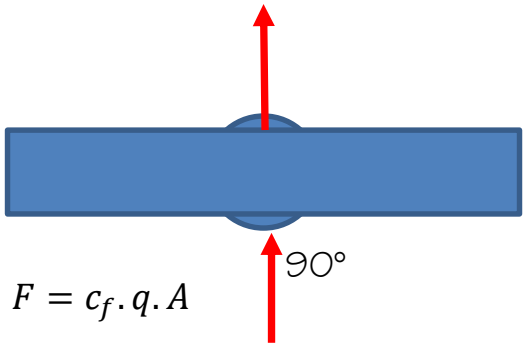
F= 0,402 x 5000 = 2010mm



$$F = c_f.q.A$$

$$F = 1{,}785.\frac{0{,}84 + 0{,}77}{2}.3.5 = 21{,}55\ kN$$

Hipótese 2: Vento 90°

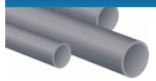


$$F = c_f.q.A$$

$$F = 1{,}161.\frac{0{,}84 + 0{,}77}{2}.3.5 = 14{,}02\ kN$$

Determinação da bitola do tubo redondo

HOME | A EMPRESA | PRODUTOS | SERVIÇOS | LOCALIZAÇÃO | CONTATOS | Busca de produtos | OK



Tubo SCH 40 e 80 - NBR 5590

Schedule 40 - Norma NBR 5590			
Diâmetro		Espessura	Peso teórico
pol.	mm	mm	kg/m
1/2"	21,30	2,77	1,26
3/4"	26,70	2,87	1,68
1"	33,40	3,38	2,50
1.1/4"	42,20	3,56	3,38
1.1/2"	48,30	3,68	4,05
2"	60,30	3,91	5,43
2.1/2"	73,00	5,16	8,62
3"	88,90	5,49	11,28
3.1/2"	101,60	5,74	13,56
4"	114,30	6,02	16,06
5"	141,30	6,55	21,75
6"	168,30	7,11	28,23
8"	219,10	8,18	42,48
10"	273,05	9,27	60,23
12"	323,84	10,31	79,64

Schedule 80 - Norma NBR 5590			
Diâmetro		Espessura	Peso teórico
pol.	mm	mm	kg/m
1/2"	21,30	3,73	1,62
3/4"	26,70	3,91	2,19
1"	33,40	4,55	3,23
1.1/4"	42,20	4,85	4,46
1.1/2"	48,30	5,08	5,40
2"	60,30	5,54	7,47
2.1/2"	73,00	7,01	11,40
3"	88,90	7,62	15,25
3.1/2"	101,60	8,08	18,60
4"	114,30	8,56	22,29
5"	141,30	9,52	30,92
6"	168,30	10,97	42,51
8"	219,10	12,70	64,56
10"	273,05	15,10	95,87
12"	323,84	17,47	131,88

Tabela A.3 – Requisitos de propriedades mecânicas de tração

Grau de aço	Limite de resistência *LR* mín. MPa (psi)	Limite de escoamento *LE* mín. MPa (psi)
A	330 (48 000)	205 (30 000)
B	415 (60 000)	240 (35 000)

NOTA O alongamento mínimo é definido conforme o especificado em 5.4.5.

NBR5590 – Tubos de Aço Carbono

$$Estimativa\ do\ diâmetro\ do\ tubo\ (t \approx 10mm)$$

$$M = 1{,}4\,.\,21{,}55\,.\,900 = 27153\ \text{kN.cm}$$

$$M_{Rd} = W_x.\frac{F_y}{1{,}1} \rightarrow M_{Rd} = \frac{I_x}{R}.\frac{F_y}{1{,}1} \rightarrow M_{Rd} = \frac{\pi.\cancel{R^3}.t}{\cancel{R}}\frac{F_y}{1{,}1} \rightarrow M_{Rd} = \frac{\pi.R^2t.F_y}{1{,}1}$$

$$R = \sqrt{\frac{1{,}1\,.\,M_{Sd}}{\pi.t.F_y}} \rightarrow R = \sqrt{\frac{1{,}1\,.\,27153}{\pi.1{,}0.24}} \rightarrow R = 19{,}90cm \rightarrow D = 39{,}8cm$$

$$Podemos\ seguir\ com\ os\ tubos\ mais\ comerciais\ (SCH80) ou\ adotar\ bitolas\ maiores$$

Determinação da bitola do tubo redondo

$$Estimativa\ do\ diâmetro\ do\ tubo\ (t \approx 9{,}53mm)$$

$$R = \sqrt{\frac{1{,}1\ .\ 27153}{\pi .\ 0{,}953.25}} \rightarrow R = 20{,}38cm \rightarrow D \approx 40cm$$

$$Adotaremos\ diâmetro\ 406{,}4mm$$

A espessura final será determinada após o cálculo completo

Tubo Schedule NBR-5590 / ASTM-A106 / ASTM-A333 / API-5L

SPECIAL TUBOS E AÇOS

Diâmetro			Parede mm	Peso KG/M	Denon. Conf. API 5L	SCHED Nº	Pressão Teste Min.	
Pol.(")	Ext. mm	Int. mm					KG/CM2	PSI
12"	323,80	311,14	6,35	49,71	-	20	57	820
		307,04	8,38	65,18	-	30	75	1090
		304,74	9,53	73,86	STD	-	95	1340
		303,18	10,31	79,70	-	40	95	1340
		298,40	12,70	97,43	XS	-	115	1650
		295,26	14,27	108,92	-	60	130	1850
		288,84	17,48	132,04	-	80	160	2270
		282,56	20,62	154,16	-	-	160	2270
		280,92	21,44	159,86	-	100	195	2800
		273,00	25,40	186,91	XXS	120	195	2800
		257,16	33,32	238,68	-	160	195	2800
		273,00	25,40	186,97	XXS	120	195	2800
		257,16	33,32	238,68	-	160	195	2800
14"	355,60	342,90	6,35	54,96	-	10	-	-
		339,76	7,92	67,90	-	20	-	-
		336,54	9,53	81,33	STD	30	30	1310
		333,34	11,13	94,55	-	40	90	1500
		330,20	12,70	107,39	XS	-	105	1700
		325,42	15,09	126,71	-	60	125	1780
		317,50	19,05	158,10	-	80	160	2250
		307,94	23,83	194,96	-	100	-	-
		300,02	27,79	224,65	-	120	-	-
		292,10	31,75	253,56	-	140	-	-
		284,18	35,71	281,70	-	160	-	-
16"	406,40	393,70	6,35	62,64	-	10	45	660
		390,56	7,92	77,83	-	20	60	820
		387,36	9,53	93,27	STD	30	70	980
		381,00	12,70	123,30	XS	40	90	1310
		373,08	16,66	160,12	-	60	120	1720
		363,52	21,44	203,53	-	80	155	2220
		354,02	26,19	245,56	-	100	190	2710
		344,48	30,96	286,64	-	120	210	3000
		333,34	36,53	333,19	-	140	210	3000
		325,42	40,49	365,36	-	160	210	3000

Determinação da bitola do tubo redondo

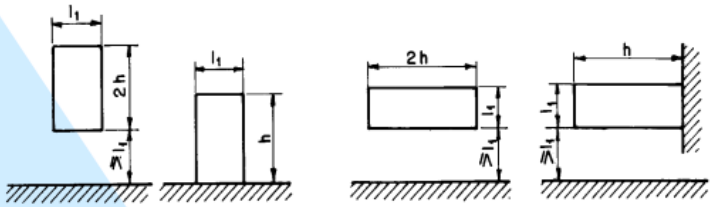
7.3 Barras prismáticas de seção circular

Para barras prismáticas de seção circular, os coeficientes de arrasto C_a dependem do valor do número de Reynolds, Re, e são dados na Tabela 13. Os valores de C_a dados nesta tabela aplicam-se a todas as superfícies de rugosidade uniformemente distribuídas, de altura menor que 1/100 do diâmetro d da barra, isto é, são válidos para todos os acabamentos normais de superfície.

7.3.1 A força de arrasto é calculada por:

$$F_a = C_a \; q \, K \, l \, d$$

Tabela 10 - Coeficientes de arrasto, C_a, para corpos de seção constante



Vento perpendicular ao plano da figura

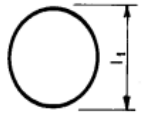
Planta		$Re^{(A)} \times 10^{-5}$	h/l1 1/2	1	2	5	10	20	∞
→ 	liso (metal, concreto, alvenaria rebocada)	≤ 3,5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
		≥ 4,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6
	com rugosidade ou saliências = 0,02 l_1	Todos valores	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,2
	com rugosidade ou saliências = 0,08 l_1	Todos valores	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4

Tabela 11 - Valores do fator de redução, K, para barras de comprimento finito

l/c_a ou l/d	2	5	10	20	40	50	100	∞
Barras prismáticas de seção circular em regime subcrítico ($Re < 4{,}2 \cdot 10^5$)	0,58	0,62	0,68	0,74	0,82	0,87	0,98	1,0
Barras prismáticas de seção circular em regime acima do crítico ($Re \geq 4{,}2 \cdot 10^5$)	0,80	0,80	0,82	0,90	0,98	0,99	1,0	1,0
Barras prismáticas de faces planas	0,62	0,66	0,69	0,81	0,87	0,90	0,95	1,0

$$R_e = 70000 . V_k . d$$

$$R_{e(7{,}5m)} = 70000.35{,}5.0{,}406 = 10{,}08 \, .10^5$$

$$R_{e(0{,}5m)} = 70000.25{,}65.0{,}406 = 7{,}3.10^5$$

$$\frac{h}{L1} = \frac{7500}{406{,}4} = 18{,}45$$

$$C_a \approx 0{,}6 \rightarrow K \approx 0{,}90$$

$$F_{a(7{,}5m)} = C_a . q . K . L . d$$

$$F_{a(7{,}5m)} = \frac{0{,}6.0{,}77.0{,}90.7{,}5.0{,}406}{7{,}5} = 0{,}1688 \; kN/m$$

$$F_{a(0{,}5m)} = \frac{0{,}6.0{,}40.0{,}90.7{,}5.0{,}406}{7{,}5} = 0{,}087 \; kN/m$$

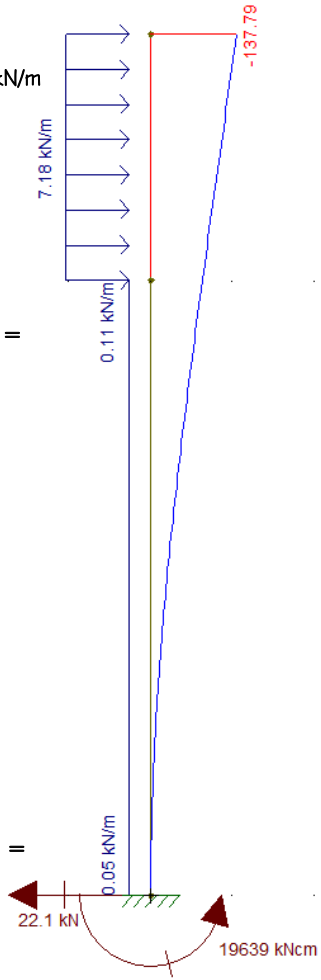
Análise dos Estados Limites de Serviço

Vento 40,74°

21,55/3m= 7,18 kN/m

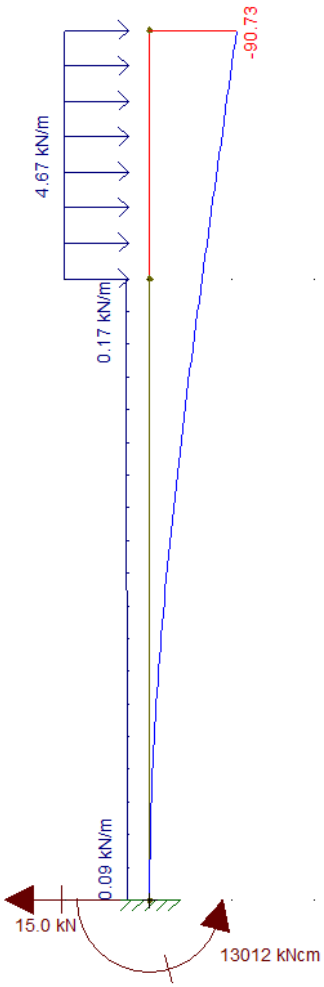
0,1688.sen40,74 =

0,087.sen40,74 =



Vento 90°

14,02/3m= 7,18 kN/m



C.2 Considerações de projeto

C.2.1 Os valores máximos requeridos para os deslocamentos verticais e horizontais são dados em C.3. Esses valores são empíricos e servem para comparação com os resultados da análise estrutural, feita conforme C.2.2. Em alguns casos, limites mais rigorosos podem ter que ser adotados, considerando, por exemplo, o uso da edificação, as características dos materiais de acabamento, o funcionamento adequado de equipamentos, questões de ordem econômica e a percepção de desconforto.

C.2.2 Os deslocamentos devem ser calculados conforme 4.9.8, levando-se em conta a possibilidade de ocorrência de deformações plásticas no estado-limite de serviço. O efeito da rigidez à rotação das ligações, dependendo de avaliação do responsável pelo projeto, pode ter que ser também considerado.

C.2.3 O responsável técnico pelo projeto deve analisar criteriosamente cada situação e decidir se determinado deslocamento pode ser considerado um estado-limite reversível ou não. Na falta de uma melhor avaliação, se um elemento estrutural suportar somente componentes não sujeitos à fissuração e se seu comportamento em serviço for elástico, pode-se considerar o deslocamento excessivo como um estado-limite reversível. Por outro lado, se o elemento estrutural suportar componentes sujeitos à fissuração ou se o seu deslocamento em serviço levar à ocorrência de deformações plásticas, deve-se entender seu deslocamento excessivo como um estado-limite irreversível.

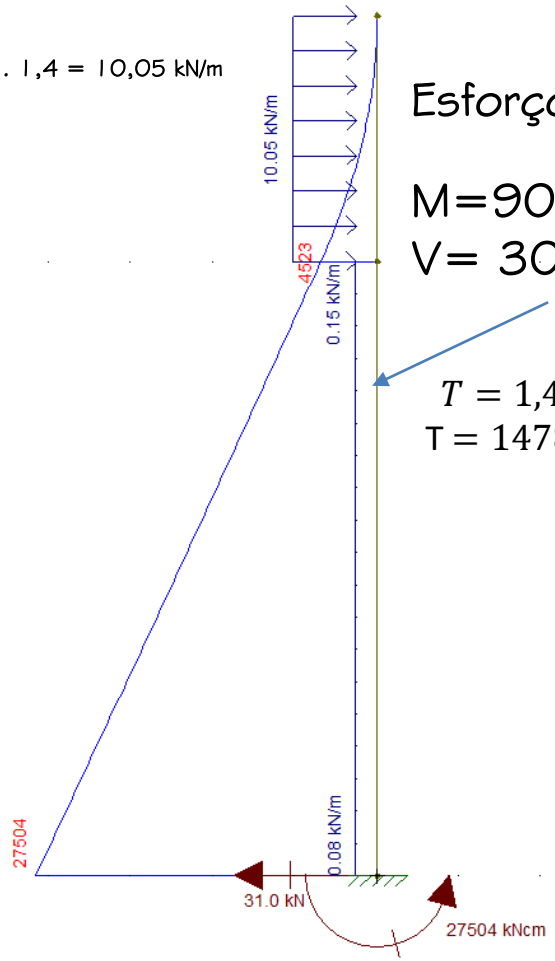
Nesse caso, a norma não contém nenhum exemplo semelhante na tabela C. I e adotaremos o seguinte raciocínio lógico:

Não há problemas com fissurações de elementos, e os deslocamentos calculados podem ocorrer uma vez a cada 50 anos, com probabilidade ocorrência de 63%. Como as compressões atuantes são devido ao peso próprio dos elementos apenas, não há justificativa para uma análise de segunda ordem.
Portanto ao fim da análise de Estados Limites Últimos, se as tensões atuantes estiverem abaixo da do limite de escoamento, significa que o equipamento está dentro do regime elástico, portanto sujeito a um estado reversível de tensões, e a estrutura estará automaticamente aprovada para ELS.

Análise dos Estados Limites Últimos

Vento 40,74°

7,18 . 1,4 = 10,05 kN/m

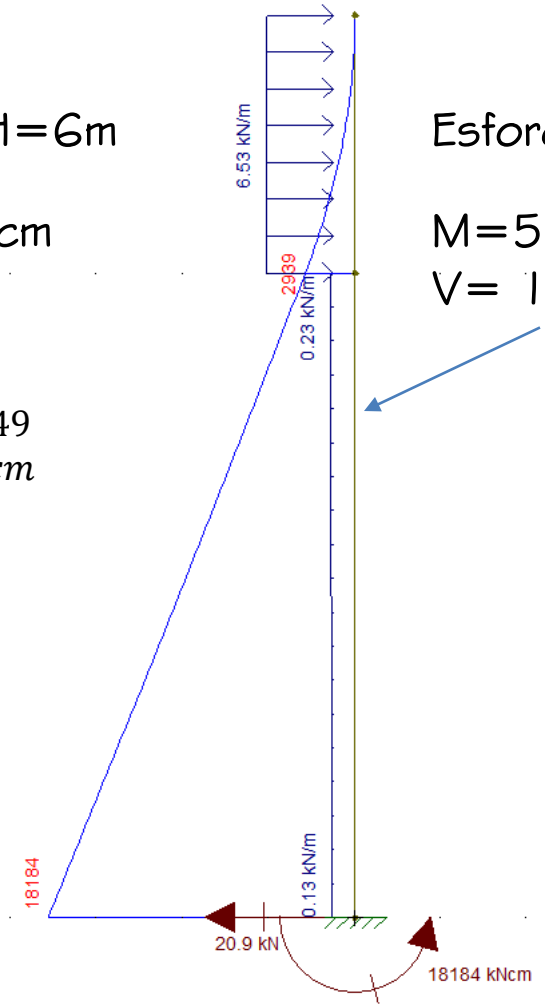


Esforços em H=6m

M=9012 kN.cm
V= 30,4 kN

$T = 1{,}4 \,.\, 21{,}55 \,.\, 49$
$T = 1478{,}33\ kN.cm$

Vento 90°



Esforços em H=6m

M=5900 kN.cm
V= 19,9 kN

Verificacão da resistência à flexão:

G.2.7 Para as seções tubulares circulares, para o estado-limite de flambagem local da parede do tubo, o único aplicável, com D/t não superior a $0{,}45E/f_y$, tem-se:

b) $M_{Rd} = \dfrac{M_{p\ell}}{\gamma_{a1}}$, para $\lambda \le \lambda_p$

c) $M_{Rd} = \dfrac{1}{\gamma_{a1}}\left(\dfrac{0{,}021E}{D/t} + f_y\right)W$, para $\lambda_p < \lambda \le \lambda_r$

d) $M_{Rd} = \dfrac{1}{\gamma_{a1}}\dfrac{0{,}33E}{D/t}W$, para $\lambda > \lambda_r$

com:

$$\lambda = \frac{D}{t}$$

$$\lambda_p = \frac{0{,}07E}{f_y}$$

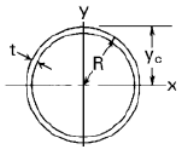
$$\lambda_r = \frac{0{,}31E}{f_y}$$

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{406{,}4}{9{,}53} = 42{,}65$$

$$\lambda_p = 0{,}07.\frac{E}{F_y} = \frac{0{,}07.20000}{24} = 58{,}3$$

$$Z = 4R^2t = 4.\left(\frac{40{,}64}{2}\right)^2.0{,}953 = 1574cm^4$$

$$M_{Rd} = Z.\frac{F_y}{1{,}1} = \frac{1574.24}{1{,}1} = 34342\ kN.cm$$

17. Very thin annulus 	$A = 2\pi Rt$ $y_c = R$	$I_x = I_y = \pi R^3 t$ $r_x = r_y = 0.707R$	$Z_x = Z_y = 4R^2 t$ $SF_x = SF_y = \frac{4}{\pi}$

Análise dos Estados Limites Últimos

Tentativa com Espessura 6,35 (SCH10)

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{406{,}4}{6{,}35} = 64 \qquad \lambda_p = 0{,}07.\frac{E}{F_y} = \frac{0{,}07.20000}{24} = 58{,}3 \qquad \lambda_r = 0{,}31.\frac{E}{F_y} = 258{,}3$$

$$M_{Rd} = \left(\frac{0{,}021E}{\frac{D}{t}} + \mathrm{F_y}\right).\frac{\mathrm{W}}{1{,}1} \qquad W = \frac{I}{R} = \frac{\pi.R^3 t}{R} = \pi.20{,}32^2.0{,}635 = 823{,}70cm^3$$

$$M_{Rd} = \left(\frac{0{,}021.20000}{64} + 24\right).\frac{823{,}70}{1{,}1} = 22885\ \mathrm{kN.cm}\ - \text{Não aprovado}$$

Tentativa com Espessura 7,92 (SCH20)

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{406{,}4}{7{,}92} = 51{,}31 \qquad Z = 4R^2t = 4.\left(\frac{40{,}64}{2}\right)^2.0{,}792 = 1308cm^4$$

$$M_{Rd} = Z.\frac{F_y}{1{,}1} = \frac{1308.24}{1{,}1} = 28538\ kN.cm$$

Verificação da torção

5.5.2.1.2 Nas seções tubulares circulares de diâmetro D e espessura t, o momento de torção resistente de cálculo é igual ao maior dos valores a seguir:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{1{,}23 W_T E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{5/4} \sqrt{\frac{L}{D}}} \leq \frac{0{,}60 W_T f_y}{\gamma_{a1}}$$

e

$$T_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{0{,}60 W_T E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{3/2}} \leq \frac{0{,}60 W_T f_y}{\gamma_{a1}}$$

Nessas expressões, L é o comprimento da barra e W_T o módulo de resistência à torção, que pode ser tomado como:

$$W_T = \frac{\pi (D-t)^2 t}{2}$$

$$W_t = \frac{\pi.(40{,}64 - 0{,}792)^2.0{,}792}{2} = 1975\ cm^3$$

$$T_{Rd(1)} = \frac{1{,}23.W_t.E}{1{,}1\ .\left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{5}{4}} \sqrt{\frac{L}{D}}} = \frac{1{,}23.1975.20000}{1{,}1\ .\left(\frac{40{,}64}{0{,}792}\right)^{\frac{5}{4}} \sqrt{\frac{600}{40{,}64}}} = \frac{48585000}{580{,}46} = 83700\ kn.cm$$

Verificação da torção

5.5.2.1.2 Nas seções tubulares circulares de diâmetro D e espessura t, o momento de torção resistente de cálculo é igual ao maior dos valores a seguir:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{1{,}23 W_T E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{5/4} \sqrt{\frac{L}{D}}} \leq \frac{0{,}60 W_T f_y}{\gamma_{a1}}$$

e

$$T_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{0{,}60 W_T E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{3/2}} \leq \frac{0{,}60 W_T f_y}{\gamma_{a1}}$$

Nessas expressões, L é o comprimento da barra e W_T o módulo de resistência à torção, que pode ser tomado como:

$$W_T = \frac{\pi (D-t)^2 t}{2}$$

$$W_t = \frac{\pi . (40{,}64 - 0{,}792)^2 . 0{,}792}{2} = 1975\ cm^3$$

$$T_{Rd(2)} = \frac{0{,}60 . W_t . E}{1{,}1 . \left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{3}{2}}} = \frac{0{,}60 . 1975 . 20000}{1{,}1 . \left(\frac{40{,}64}{0{,}792}\right)^{\frac{3}{2}}} = 58615\ \text{kN.cm}$$

Análise dos Estados Limites Últimos

Verificação da torção

5.5.2.1.2 Nas seções tubulares circulares de diâmetro D e espessura t, o momento de torção resistente de cálculo é igual ao maior dos valores a seguir:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{1{,}23 W_T E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{5/4} \sqrt{\frac{L}{D}}} \leq \frac{0{,}60 W_T f_y}{\gamma_{a1}}$$

e

$$T_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{0{,}60 W_T E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{3/2}} \leq \frac{0{,}60 W_T f_y}{\gamma_{a1}}$$

Nessas expressões, L é o comprimento da barra e W_T o módulo de resistência à torção, que pode ser tomado como:

$$W_T = \frac{\pi (D-t)^2 t}{2}$$

$$W_t = \frac{\pi.(40{,}64 - 0{,}792)^2.0{,}792}{2} = 1975\ cm^3$$

$$T_{Rd(3)} = \frac{0{,}60.W_t.F_y}{1{,}1} = \frac{0{,}60.1975.24}{1{,}1} = 25854 > 1478\ OK!$$

O Trd é a verificação elástica (3)

Verificar redução da seção a partir de H = 6m

$$M_{Rd} = Z.\frac{F_y}{1{,}1} \rightarrow Z = \frac{1{,}1.M_{Sd}}{F_y} \rightarrow 4R^2t = \frac{1{,}1.M_{Sd}}{F_y}$$

$$R = \sqrt{\frac{1{,}1.M_{Sd}}{4.t.F_y}} \qquad R = \sqrt{\frac{1{,}1.9012}{4.t.24}} \rightarrow R = 10{,}16\sqrt{\frac{1}{t}}$$

Adotando espessura #6,35mm

$$D = 20{,}32\sqrt{\frac{1}{0{,}635}} \rightarrow D = 25{,}5cm$$

Diâmetro			Parede mm	Peso Kg/M	Denon. Conf. API 5L	SCHED Nº	Pressão Teste Min.	
Pol.(")	Ext. mm	Int. mm					KG/CM2	PSI
		181,00	19,05	93,98	-	-	-	-
		177,86	20,62	100,92	-	140	195	2800
		174,64	22,23	107,92	XXS	-	195	2800
		173,08	23,01	111,27	-	160	195	2800
10"	273,00	260,30	6,35	41,77	-	20	65	930
		257,45	7,80	51,01	-	30	65	930
		254,46	9,27	60,29	STD	40	100	1430
		247,60	12,70	81,52	XS	60	140	1950
		242,82	15,09	95,97	-	80	165	2320
		236,48	18,26	114,71	-	100	195	2800
		230,12	21,44	133,00	-	120	195	2800
		222,20	25,40	155,09	XXS	140	195	2800
		215,84	28,58	172,26	-	160	195	2800
		311,14	6,35	49,71	-	20	57	820
		307,04	8,38	65,18	-	30	75	1090
		304,74	9,53	73,86	STD	-	95	1340
		303,18	10,31	79,70		40	95	1340

Iniciaremos com Tubo 10'' SCH 20

Análise dos Estados Limites Últimos

Tentativa com Espessura 6,35 (10'' SCH20)

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{273}{6{,}35} = 42{,}99 \qquad Z = 4R^2t = 4.\left(\frac{27{,}3}{2}\right)^2.0{,}635 = 473{,}25cm^4$$

$$M_{Rd} = Z.\frac{F_y}{1{,}1} = \frac{473{,}25.24}{1{,}1} = 10325\ kN.cm$$

Verificação da torção

5.5.2.1.2 Nas seções tubulares circulares de diâmetro D e espessura t, o momento de torção resistente de cálculo é igual ao maior dos valores a seguir:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{1{,}23 W_T E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{5/4} \sqrt{\frac{L}{D}}} \leq \frac{0{,}60 W_T f_y}{\gamma_{a1}}$$

e

$$T_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{0{,}60 W_T E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{3/2}} \leq \frac{0{,}60 W_T f_y}{\gamma_{a1}}$$

Nessas expressões, L é o comprimento da barra e W_T o módulo de resistência à torção, que pode ser tomado como:

$$W_T = \frac{\pi (D-t)^2 t}{2}$$

$$W_t = \frac{\pi . (27{,}3 - 0{,}635)^2 . 0{,}635}{2} = 709{,}21\ cm^3$$

$$T_{Rd(1)} = \frac{1{,}23 . W_t . E}{1{,}1 . \left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{5}{4}} \sqrt{\frac{L}{D}}} = \frac{1{,}23 . 709{,}21 . 20000}{1{,}1 . \left(\frac{27{,}3}{0{,}635}\right)^{\frac{5}{4}} \sqrt{\frac{450}{27{,}3}}} = \frac{17446566}{491{,}65} = 35485{,}74\ kn.cm$$

Análise dos Estados Limites Últimos

Verificação da torção

5.5.2.1.2 Nas seções tubulares circulares de diâmetro D e espessura t, o momento de torção resistente de cálculo é igual ao maior dos valores a seguir:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{1{,}23 W_T E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{5/4} \sqrt{\frac{L}{D}}} \leq \frac{0{,}60 W_T f_y}{\gamma_{a1}}$$

e

$$T_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{0{,}60 W_T E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{3/2}} \leq \frac{0{,}60 W_T f_y}{\gamma_{a1}}$$

Nessas expressões, L é o comprimento da barra e W_T o módulo de resistência à torção, que pode ser tomado como:

$$W_T = \frac{\pi (D-t)^2 t}{2}$$

$$W_t = \frac{\pi.(27{,}3 - 0{,}635)^2.0{,}635}{2} = 709{,}21\ cm^3$$

$$T_{Rd(2)} = \frac{0{,}60.W_t.E}{1{,}1\ .\left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{3}{2}}} = \frac{0{,}60.709{,}21.20000}{1{,}1\ .\left(\frac{27{,}3}{0{,}635}\right)^{\frac{3}{2}}} = 27446\ \mathrm{kN.cm}$$

Análise dos Estados Limites Últimos

Verificação da torção

5.5.2.1.2 Nas seções tubulares circulares de diâmetro D e espessura t, o momento de torção resistente de cálculo é igual ao maior dos valores a seguir:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{1{,}23 W_T E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{5/4} \sqrt{\frac{L}{D}}} \leq \frac{0{,}60 W_T f_y}{\gamma_{a1}}$$

e

$$T_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{0{,}60 W_T E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{3/2}} \leq \frac{0{,}60 W_T f_y}{\gamma_{a1}}$$

Nessas expressões, L é o comprimento da barra e W_T o módulo de resistência à torção, que pode ser tomado como:

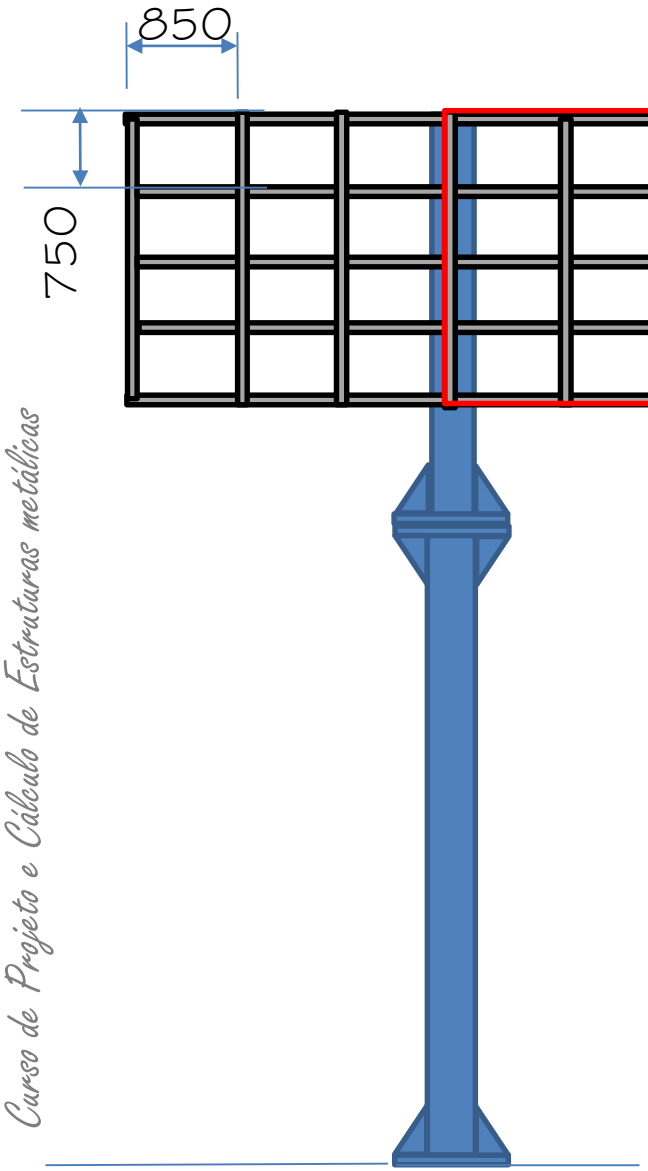
$$W_T = \frac{\pi (D-t)^2 t}{2}$$

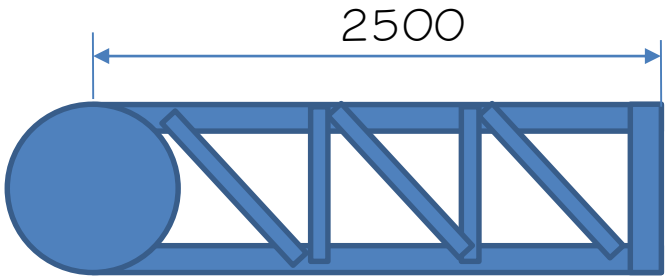
$$W_t = \frac{\pi.(27{,}3 - 0{,}635)^2.0{,}635}{2} = 709{,}21\ cm^3$$

$$T_{Rd(3)} = \frac{0{,}60.W_t.F_y}{1{,}1} = \frac{0{,}60.709{,}21\ .\ 24}{1{,}1} = 9593{,}67 > 1478\ OK!$$

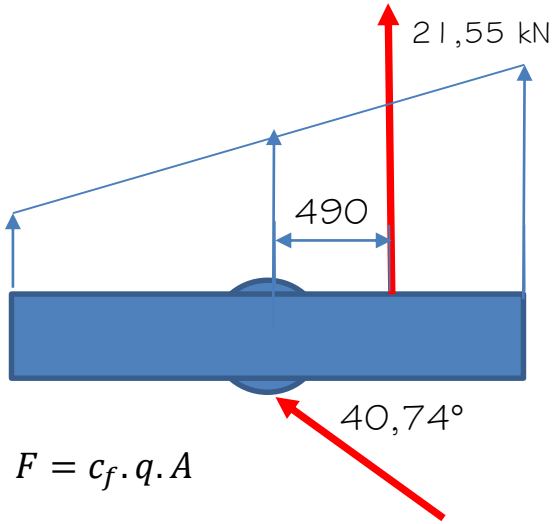
O Trd é a verificação (3) :9593,67 kN.cm

Cálculo da Treliça do painel





Formato da carga distribuída:



$$F = c_f . q . A$$

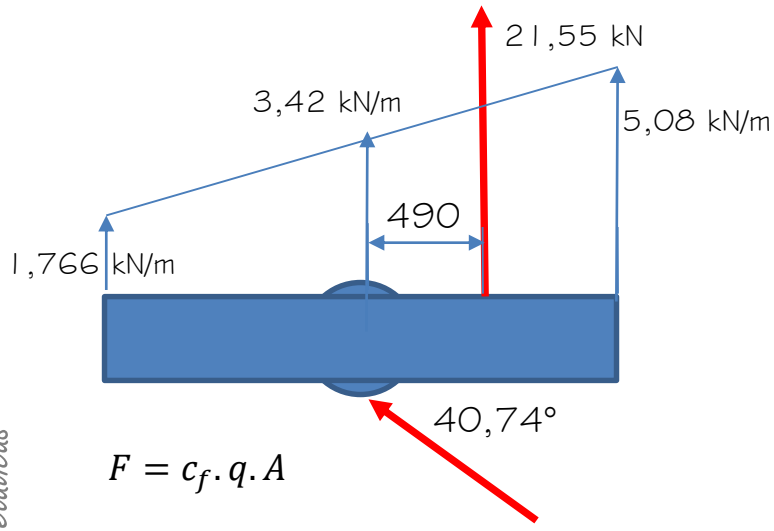
$$F = 1{,}785 . \frac{0{,}84 + 0{,}77}{2} . 3 . 5 = 21{,}55\ kN$$

Carga média (Caso a resultante fosse no centro):

$$Q_{Média} = \frac{21{,}55}{5} = 4{,}31\ kN/m$$

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Formato da carga distribuída:



$$F = c_f . q . A$$

$$F = 1{,}785 . \frac{0{,}84 + 0{,}77}{2} . 3 . 5 = 21{,}55\ kN$$

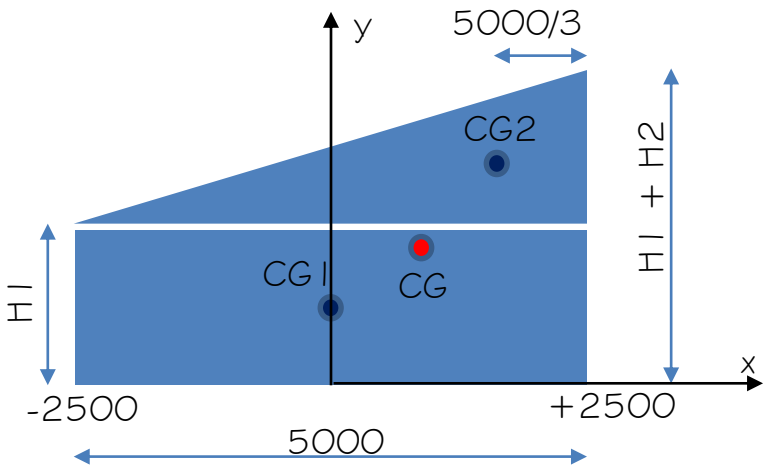
$$A_{ret} = H_1 . 5$$

$$A_{Triang.} = H_2 . \frac{5}{2}$$

$$A_{Trapézio} = 21{,}55 = H_1 . 5 + H_2 . \frac{5}{2}$$

$$A_{Trapézio} = 5 . \left(H_1 + \frac{H_2}{2}\right)$$

Cálculo das arestas do trapézio, cujo CG é posicionado a 490mm da mediana da base e cuja área seja 21,55 kN



$$X_{cg} = 0{,}49 = \frac{(A_{triang} . x_{cgtri} + A_{Ret} . x_{cgret})}{A_{trapézio}}$$

$$\frac{H_2 . 2{,}5 . \left(2{,}5 - \frac{5}{3}\right) + \cancel{H_1 . 5.0}}{5 . \left(H_1 + \frac{H_2}{2}\right)} = 0{,}49$$

$$0{,}83 H_2 = 0{,}49 . (2 . H_1 + H_2) \qquad H_2 = 2{,}88\ H_1$$

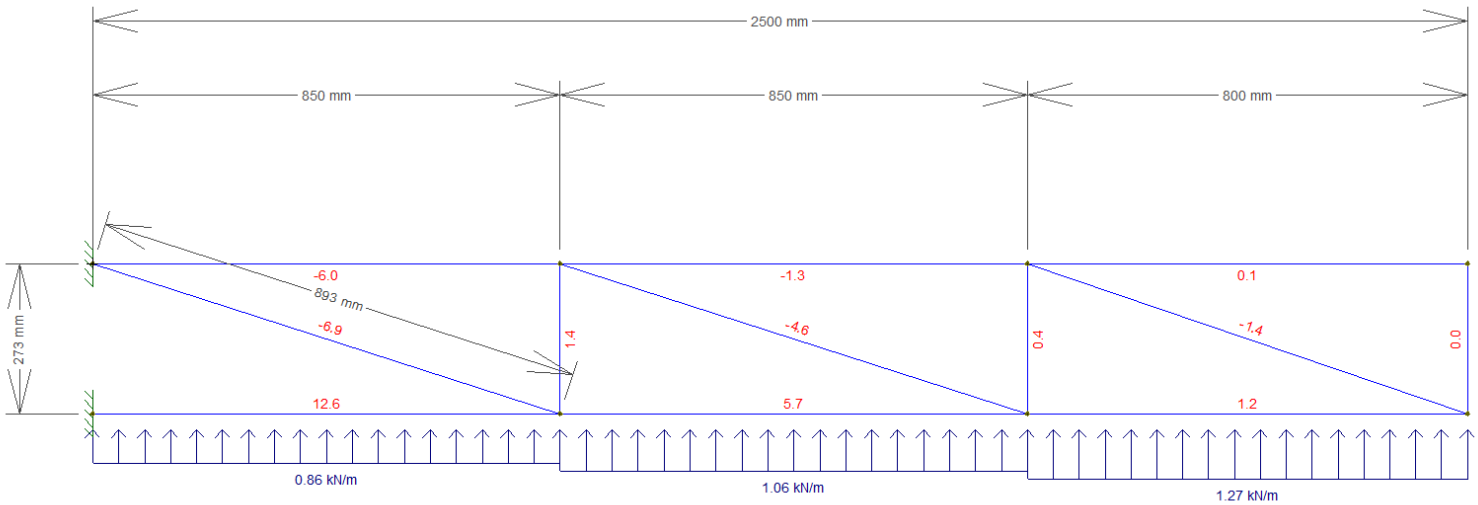
$$5 . \left(H_1 + \frac{2{,}88 . H_1}{2}\right) = 21{,}55 \rightarrow H_1 = 1{,}766\ kN$$

$$H_2 = 2{,}88 .\ 1{,}766 \rightarrow \mathrm{H}_2 = 5{,}086\ \mathrm{kN}$$

Carga média na região a ser calculada: Qm=(5,08 +3,42)/2 = 4,25 kN/m

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Lançamento no Ftool – Plano Horizontal (Primeira estimativa)



Carga Máxima de Compressão: 6,9 kN x 1,4 = 9,66 kN

Tentativa 1: Adotaremos Perfil Tubular Quadrado 30X30X2,00mm

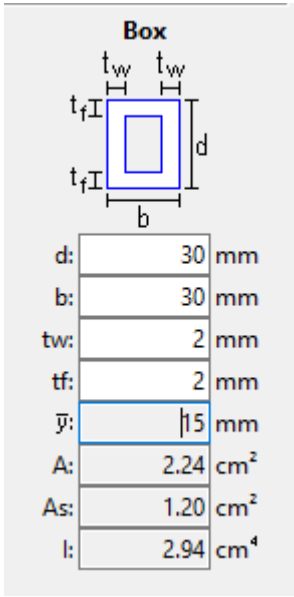
Flambagem Global:

$$N_e = \frac{\pi^2 . E . I}{(k.L)^2} = \frac{\pi^2 . 20000.2{,}94}{(1\,.\,89{,}3)^2} = 72{,}77\ kN$$

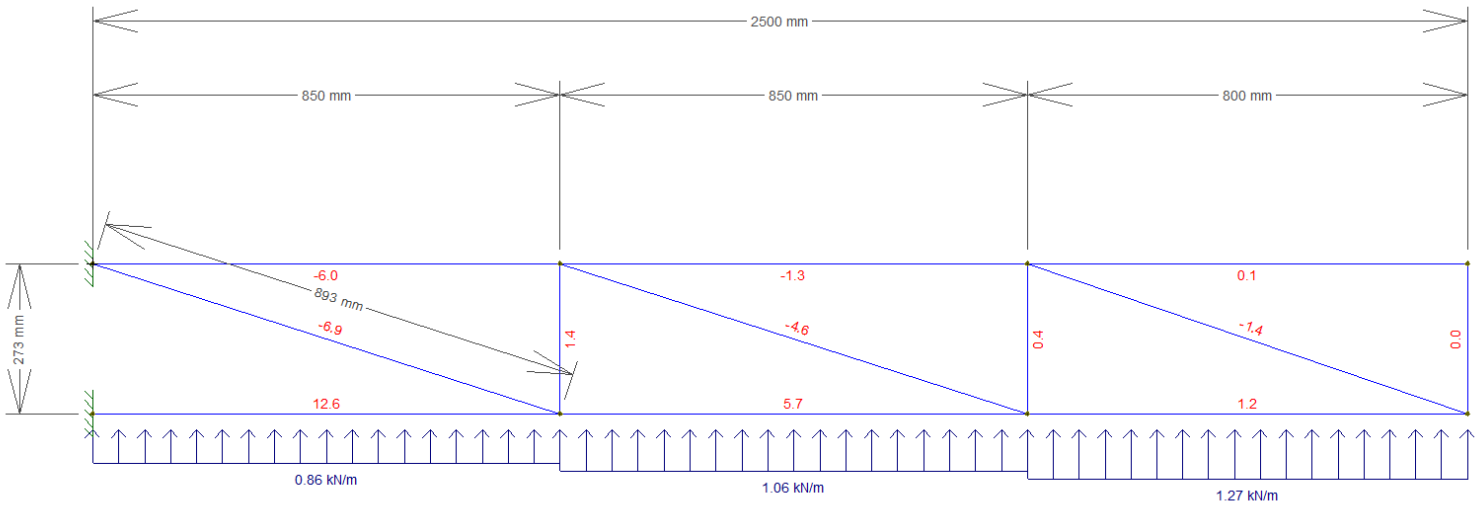
$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q.A_g.F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1.\ 2{,}24\,.\,24}{72{,}77}} = 0{,}86$$

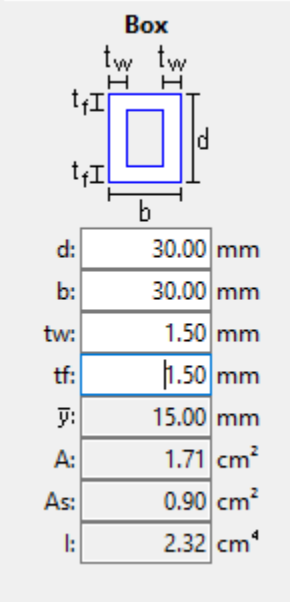
$$\chi = 0{,}658_0^{\lambda^2} = 0{,}658^{0{,}86^2} = 0{,}734$$

$$N_e = \frac{\chi . Q . A_g . F_y}{1{,}1} = \frac{0{,}734.1{,}0.2{,}94.24}{1{,}1} = 47{,}08\ kN$$



Lançamento no Ftool – Plano Horizontal (Primeira estimativa)





Carga Máxima de Compressão: 6,9 kN x 1,4 = 9,66 kN

Tentativa 3: Adotaremos Perfil Tubular Quadrado 30X30X1,5mm

Flambagem Global:

$$N_e = \frac{\pi^2 . E . I}{(k.L)^2} = \frac{\pi^2 . 20000.2{,}32}{(1\,.\,89{,}3)^2} = 57{,}42\ kN$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q . A_g . F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1.\ 1{,}71\,.\,24}{57{,}42}} = 0{,}845$$

$$\chi = 0{,}658_0^{\lambda^2} = 0{,}658^{0{,}845^2} = 0{,}7416$$

$$N_e = \frac{\chi . Q . A_g . F_y}{1{,}1} = \frac{0{,}7416.1{,}0.1{,}71.24}{1{,}1} = 27{,}66\ kN$$

Seguiremos nessa bitola por questões construtivas

Lançamento do Plano vertical

Peso da chapa: 7,60 kg/m², linearizando temos: 0,076 . 0,75m = 0,057 kN/m

O painel todo leva 130m de tubo quadrado 30X30X1,5mm, portanto temos o peso total de tubos de 1,71cm² x 0,7850 x 130 = 174,5 kg

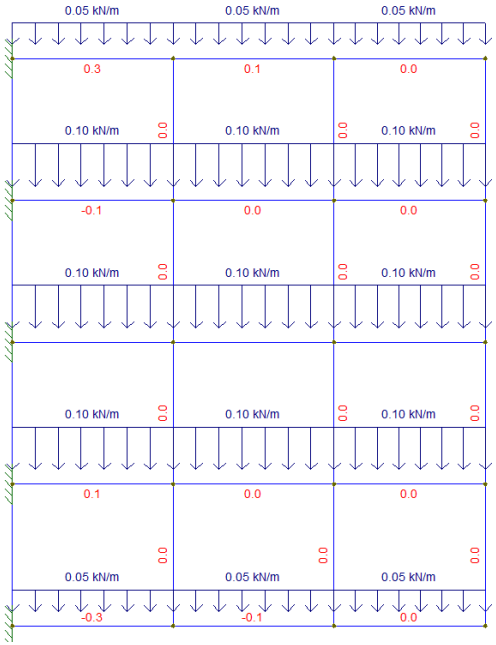
Dividindo por 2, temos 87,25 kg em cada face, o que nos resulta em 5,82 kg/m²

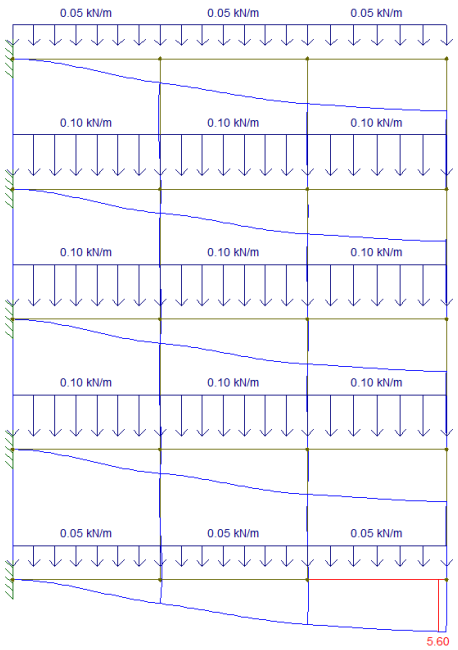
Linearizando temos 0,0582 . 0,75 = 0,044 kN/m

Como existe a possibilidade de ser instalado Lona no painel, utilizaremos como padrão a lona para impressão 440g, que carrega a estrutura com 0,44kg/m²

Que linearizando tems 0,0044 . 0,75 = 0,0033 kN/m

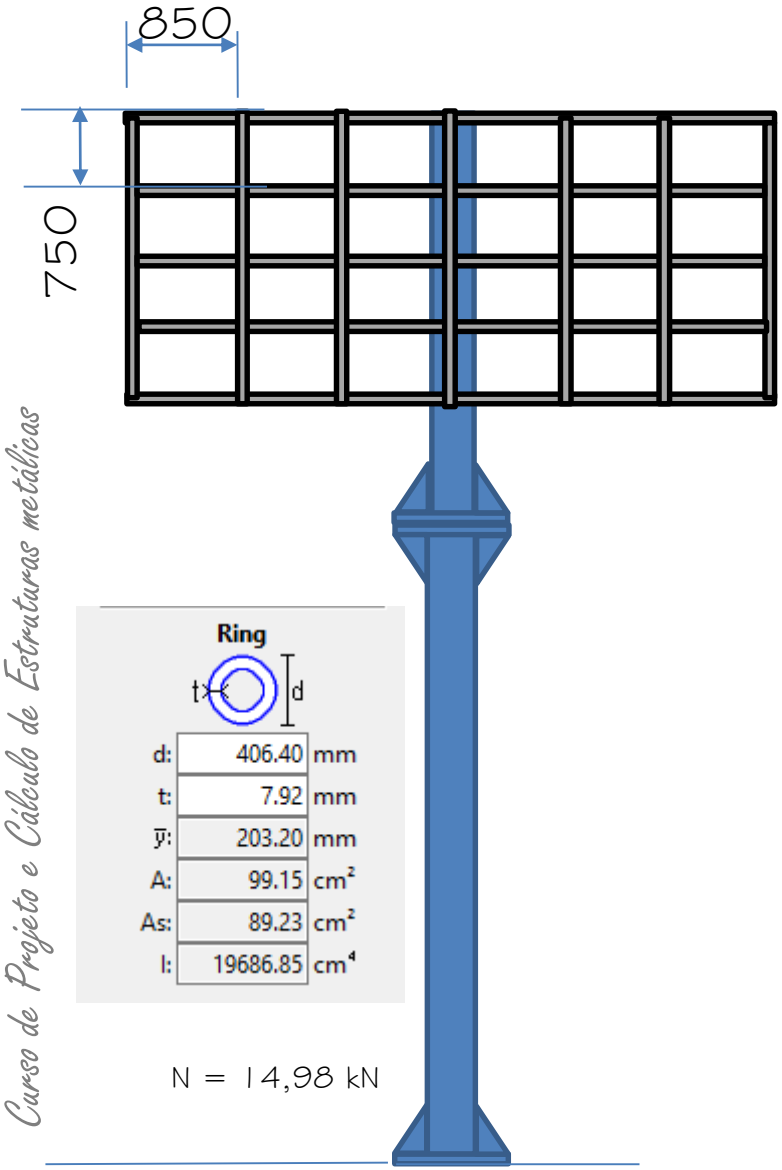
Somando as cargas, nas treliças centrais temos 0,057 + 0,044 + 0,0033 = 0,1043 kN/m
Nas treliças periféricas teremos a metade, ou seja, 0,052 kN/m





Não há um limite de flecha estabelecido, mas como referência podemos adotar o mesmo limite para terças de cobertura, L/180

Lim = 2500/180 = 13,88mm>5,60 OK!



Peso do painel = (0,1043 x 2,5 x 3 + 0,052 x 2,5 x 2) x 4 = 4,169 kN

Verificação do tubo inferior à compressão:

Compressão = 1,4.(Ppainel + Ptubo Superior+ Ptubo Inf)
Compressão = 1,4 . (4,169 + 0,4177 . 4,5+ 0,7762 . 6) = 14,98 kN

$$N_e = \frac{\pi^2 . E . I}{(k.L)^2} = \frac{\pi^2 . 20000.19686}{(2\,.600)^2} = 5400\ kN$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q.A_g.F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1.\ 99{,}15\,.24}{5400}} = 0{,}663$$

$$\chi = 0{,}658_0^{\lambda^2} = 0{,}658^{0{,}663^2} = 0{,}832$$

F.4 Paredes de seções tubulares circulares

Nas seções tubulares circulares, o fator de redução para flambagem local da parede é dado por:

a) $Q = 1{,}00$ para $\frac{D}{t} \le 0{,}11\frac{E}{f_y}$

b) $Q = \frac{0{,}038}{D/t}\frac{E}{f_y} + \frac{2}{3}$ para $0{,}11\frac{E}{f_y} < \frac{D}{t} \le 0{,}45\frac{E}{f_y}$

onde:

D é o diâmetro externo da seção tubular circular;

t é a espessura da parede.

F.4.2 Não é prevista a utilização de seções tubulares circulares com D/t superior a $0{,}45\frac{E}{f_y}$.

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{406{,}4}{9{,}53} = 42{,}65 \qquad 0{,}11.\frac{E}{F_y} = \frac{0{,}11.20000}{24} = 91{,}66 \rightarrow Q = 1$$

$$N_{Rd} = \frac{\chi.Q.A_g.F_y}{1{,}1} = \frac{0{,}832.1{,}0.99{,}15.24}{1{,}1} = 1799{,}85\ kN\ Peça\ aprovada$$

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

$$\tau_{Cr} = 0{,}60.F_y = 0{,}60.24 = 14{,}4\ kN/cm^2$$

5.4.3.6 Seções tubulares circulares

Em seções tubulares circulares fletidas em relação a um eixo central de inércia, a força cortante resistente de cálculo, V_{Rd}, é dada por:

$$V_{Rd} = \frac{0{,}5\ \tau_{cr}\ A_g}{\gamma_{a1}}$$

com τ_{cr} igual ao maior dos seguintes valores

$$\tau_{cr} = \frac{1{,}60\ E}{\sqrt{\frac{L_v}{D}}\left(\frac{D}{t_d}\right)^{5/4}} \leq 0{,}60\ f_y$$

$$\tau_{cr} = \frac{0{,}78\ E}{\left(\frac{D}{t_d}\right)^{3/2}} \leq 0{,}60\ f_y$$

$$\tau_{Cr} = \frac{1{,}60.20000}{\sqrt{\frac{600}{40{,}6}}.\left(\frac{40{,}6}{0{,}93\ .\ 0{,}792}\right)^{5/4}} = 55{,}42\ kN/cm^2$$

$$\tau_{Cr} = \frac{0{,}78.20000}{\left(\frac{40{,}6}{0{,}93\ .\ 0{,}792}\right)^{3/2}} = 38{,}11\ kN/cm^2$$

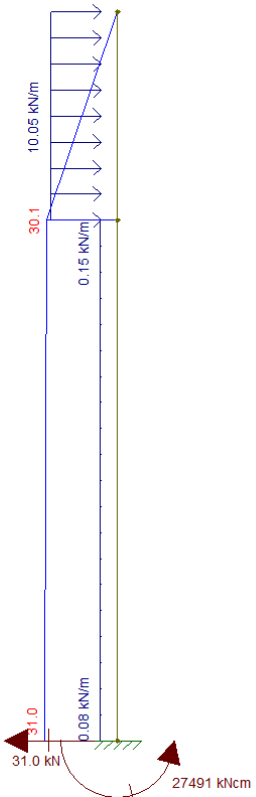
onde:

D é o diâmetro externo da seção transversal;

t_d é a espessura de cálculo da parede da seção transversal, tomada igual a 0,93 vez a espessura nominal para tubos com costura igual à espessura nominal para tubos sem costura;

L_v é a distância entre as seções de forças cortantes máxima e nula.

$$V_{Rd} = \frac{0{,}5.\ 14{,}4\ .99{,}15}{1{,}1} = 649\ kN > 31\ OK!$$



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

5.5.2.2 Seções tubulares circulares e retangulares submetidas a momento de torção, força axial, momento fletor e força cortante em relação a um dos eixos centrais de inércia

Quando o momento de torção solicitante de cálculo, T_{Sd}, for inferior ou igual a 20 % do momento de torção resistente de cálculo, T_{Rd}, o efeito da torção pode ser desprezado. Nesse caso, a interação entre os efeitos da força axial e do momento fletor e força cortante segundo um dos eixos centrais de inércia da seção transversal deve ser determinada de acordo com 5.5.1. Quando T_{Sd} for superior a 20 % de T_{Rd}, deve ser utilizada a seguinte expressão de interação:

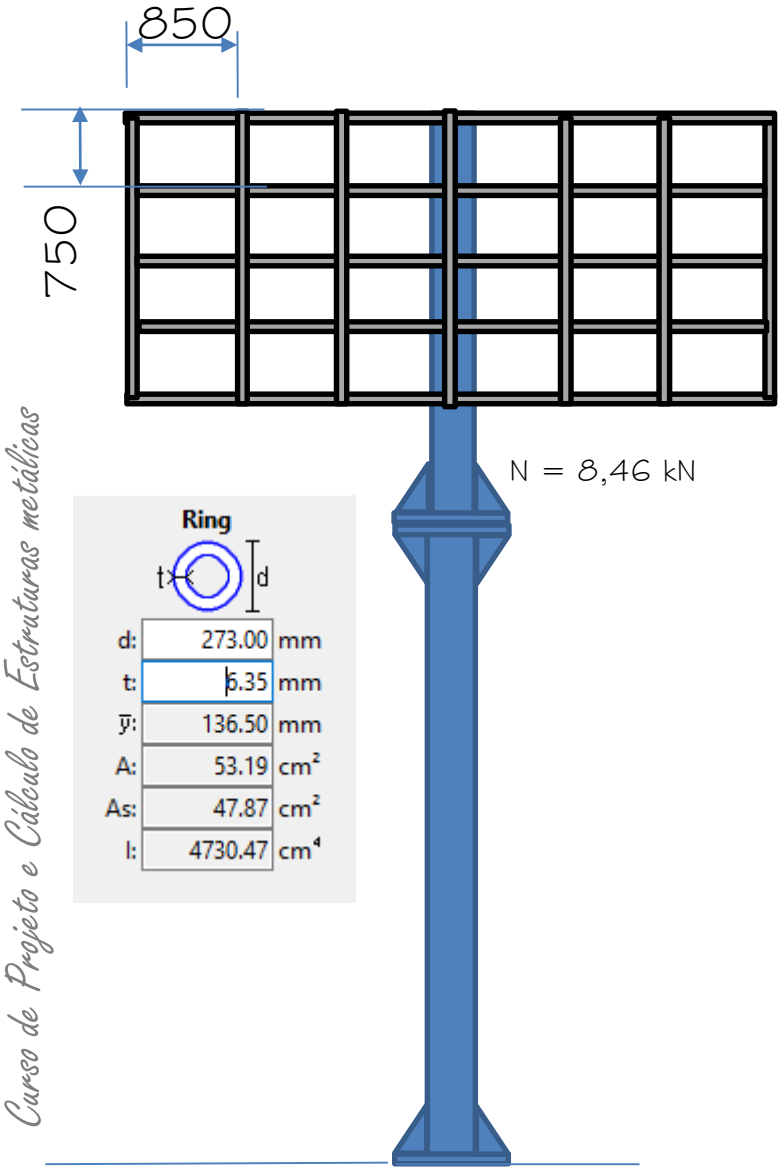
$$\left(\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}}+\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right)+\left(\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}+\frac{T_{Sd}}{T_{Rd}}\right)^2 \leq 1{,}0$$

$$\frac{T_{Sd}}{T_{Rd}} = \frac{1478}{25854} = 5{,}71\% \ \rightarrow Adotar\ 5.5.1$$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = \frac{14{,}98}{1799{,}85} = 0{,}83\% < 20\%$$

$$\frac{N_{Sd}}{2N_{Rd}} + \left(\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right) = \frac{14{,}98}{2.1799{,}85} + \left(\frac{27504}{28528}\right) = 0{,}968 \rightarrow Aprovado\ 97\%$$

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas



Peso do painel = (0,1043 x 2,5 x 3 + 0,052 x 2,5 x 2) x 4 = 4,169 kN

Verificação do tubo Superior à compressão:

Compressão = 1,4.(Ppainel + Ptubo Superior)
Compressão = 1,4 . (4,169 + 0,4177 . 4,5) = 8,46 kN

$$N_e = \frac{\pi^2 . E . I}{(k . L)^2} = \frac{\pi^2 . 20000.4730,47}{(2 . 450)^2} = 1152,78\ kN$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q . A_g . F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1.\ 53,91 . 24}{1152,78}} = 1,06$$

$$\chi = 0,658_0^{\lambda^2} = 0,658^{1,06^2} = 0,625$$

F.4 Paredes de seções tubulares circulares

Nas seções tubulares circulares, o fator de redução para flambagem local da parede é dado por:

a) $Q = 1,00$ para $\frac{D}{t} \leq 0,11 \frac{E}{f_y}$

b) $Q = \frac{0,038}{D/t} \frac{E}{f_y} + \frac{2}{3}$ para $0,11 \frac{E}{f_y} < \frac{D}{t} \leq 0,45 \frac{E}{f_y}$

onde:

D é o diâmetro externo da seção tubular circular;

t é a espessura da parede.

F.4.2 Não é prevista a utilização de seções tubulares circulares com D/t superior a $0,45 \frac{E}{f_y}$.

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{273}{6,35} = 42,99 \qquad 0,11 . \frac{E}{F_y} = \frac{0,11.20000}{24} = 92 \rightarrow Q = 1$$

$$N_{Rd} = \frac{\chi . Q . A_g . F_y}{1,1} = \frac{0,625 .1,0 .53,89 .24}{1,1} = 734,86\ kN\ Peça\ aprovada$$

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

$$\tau_{Cr} = 0{,}60.F_y = 0{,}60.24 = 14{,}4\ kN/cm^2$$

5.4.3.6 Seções tubulares circulares

Em seções tubulares circulares fletidas em relação a um eixo central de inércia, a força cortante resistente de cálculo, V_{Rd}, é dada por:

$$V_{Rd} = \frac{0{,}5\ \tau_{cr}\ A_g}{\gamma_{a1}}$$

com τ_{cr} igual ao maior dos seguintes valores

$$\tau_{cr} = \frac{1{,}60\ E}{\sqrt{\frac{L_v}{D}}\left(\frac{D}{t_d}\right)^{5/4}} \leq 0{,}60\ f_y$$

$$\tau_{cr} = \frac{0{,}78\ E}{\left(\frac{D}{t_d}\right)^{3/2}} \leq 0{,}60\ f_y$$

$$\tau_{Cr} = \frac{1{,}60.20000}{\sqrt{\frac{450}{27{,}3}}.\left(\frac{27{,}3}{0{,}93\ .\ 0{,}635}\right)^{5/4}} = 65{,}38\ kN/cm^2$$

$$\tau_{Cr} = \frac{0{,}78.20000}{\left(\frac{27{,}3}{0{,}93\ .\ 0{,}635}\right)^{3/2}} = 49{,}63\ kN/cm^2$$

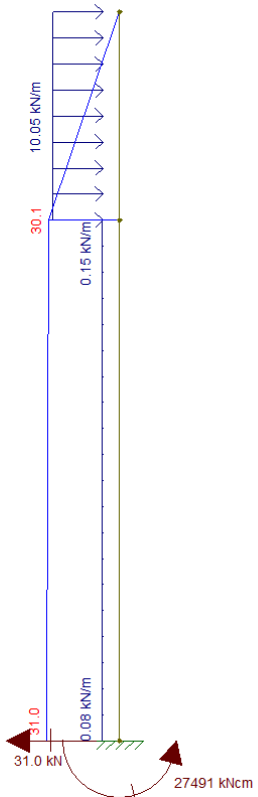
onde:

D é o diâmetro externo da seção transversal;

t_d é a espessura de cálculo da parede da seção transversal, tomada igual a 0,93 vez a espessura nominal para tubos com costura igual à espessura nominal para tubos sem costura;

L_v é a distância entre as seções de forças cortantes máxima e nula.

$$V_{Rd} = \frac{0{,}5.\ 14{,}4\ .53{,}19}{1{,}1} = 348\ kN > 30\ OK!$$



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

5.5.2.2 Seções tubulares circulares e retangulares submetidas a momento de torção, força axial, momento fletor e força cortante em relação a um dos eixos centrais de inércia

Quando o momento de torção solicitante de cálculo, T_{Sd}, for inferior ou igual a 20 % do momento de torção resistente de cálculo, T_{Rd}, o efeito da torção pode ser desprezado. Nesse caso, a interação entre os efeitos da força axial e do momento fletor e força cortante segundo um dos eixos centrais de inércia da seção transversal deve ser determinada de acordo com 5.5.1. Quando T_{Sd} for superior a 20 % de T_{Rd}, deve ser utilizada a seguinte expressão de interação:

$$\left(\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}}+\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right)+\left(\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}+\frac{T_{Sd}}{T_{Rd}}\right)^2 \leq 1{,}0$$

$$\frac{T_{Sd}}{T_{Rd}} = \frac{1478}{9593{,}67} = 15{,}4\% \ \rightarrow Adotar\ 5.5.1$$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = \frac{8{,}46}{734{,}86} = 1{,}15\% < 20\%$$

$$\frac{N_{Sd}}{2N_{Rd}} + \left(\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right) = \frac{8{,}46}{2.734{,}86} + \left(\frac{9012}{10325}\right) = 0{,}878 \rightarrow Aprovado\ 88\%$$

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Verificação da Chapa de Base

$$M_{Sd} = 27504\ kN.cm \qquad V_{Sd} = 31kN.cm \qquad N_{Sd} = 14{,}98\ kN.cm$$

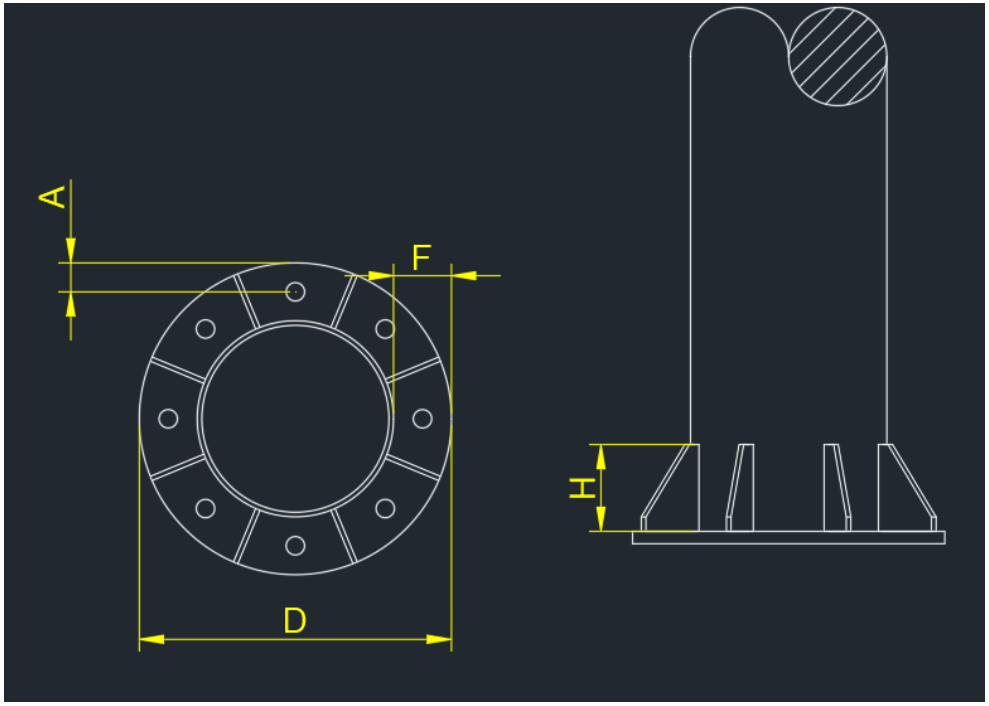
Tensão máxima no concreto, considerando A2/A1 = 1 e concreto Fck 20MPa

$$\sigma_{máx-c} = 0{,}51.F_{ck} = 2.0{,}51 = 1{,}02\ kN/cm^2$$

$$\sigma_c = \frac{N}{A} + \frac{M.y}{I}$$

$$\sigma_c = \frac{N}{\pi.R^2} + \frac{M.R}{(\pi.\frac{R^4}{4})}$$

$$\sigma_c = \frac{N}{\pi.R^2} + \frac{4.M}{(\pi.R^3)}$$



Tentativa 1: D = 406,5 + 2.100=606,5mm

$$\sigma_c = \frac{14{,}98}{\pi.30{,}32^2} + \frac{4.27504}{(\pi.30{,}32^3)} = 1{,}26\frac{kN}{cm^2} > 1{,}02$$

Tentativa 2: D = 406,5 + 2.120=646,5

$$\sigma_c = \frac{14{,}98}{\pi.32{,}32^2} + \frac{4.27504}{(\pi.32{,}32^3)} = 1{,}04\frac{kN}{cm^2} > 1{,}02$$

Tentativa 3: D = 406,5 + 2.125=656,5

$$\sigma_c = \frac{14{,}98}{\pi.32{,}82^2} + \frac{4.27504}{(\pi.32{,}82^3)} = 0{,}99\frac{kN}{cm^2} < 1{,}02\ OK$$

Por conveniência adotaremos diâmetro 660mm

$$\sigma_c = \frac{14{,}98}{\pi.33^2} + \frac{4.27504}{(\pi.33^3)} = 0{,}98\frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_t = \frac{14{,}98}{\pi.33^2} - \frac{4.27504}{(\pi.33^3)} = -0{,}97\frac{kN}{cm^2}$$

Verificação da Chapa de Base

$$M_{Sd} = 27504\ kN.cm \qquad V_{Sd} = 31kN.cm \qquad N_{Sd} = 14{,}98\ kN.cm$$

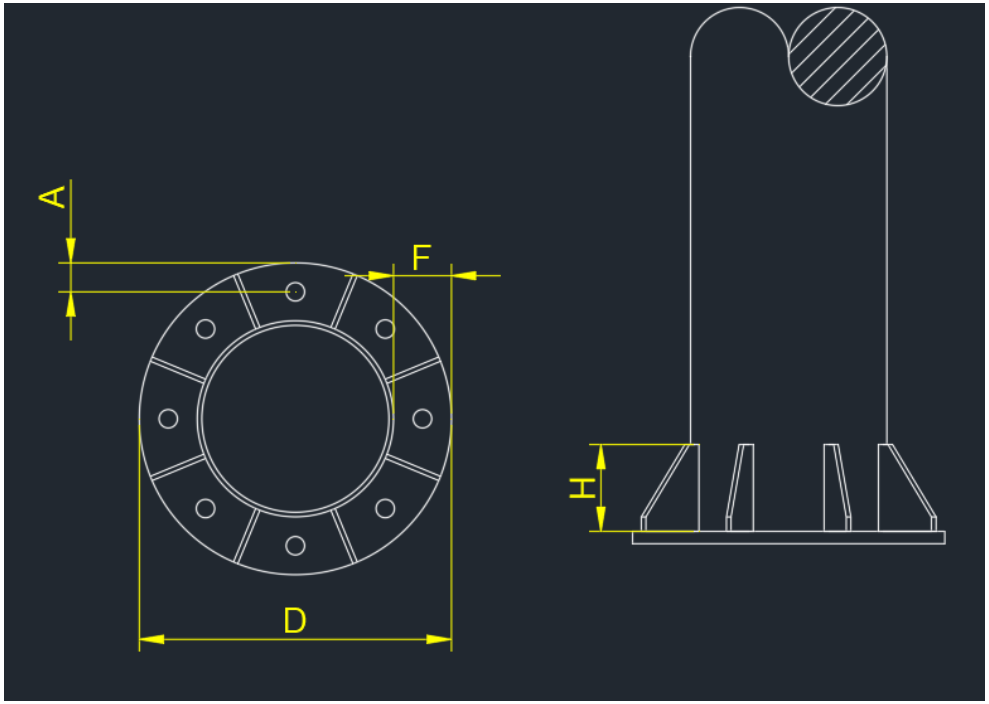
Determinação da espessura da chapa

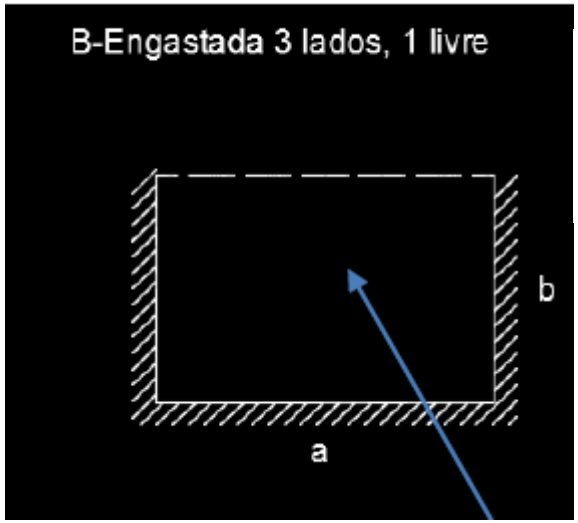
Segmento de arco correspondente ao espaço entre duas nervuras:

$$a = \pi.\frac{D}{8} = \pi.\frac{660}{8} \approx 260mm$$

$$b = \frac{660 - 406{,}4}{2} = 127$$

$$\frac{a}{b} = \frac{260}{127} \approx 2 \ldots \beta = 1{,}2$$





Vinculação B							
a/b	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3
β	0,02	0,08	0,17	0,32	0,73	1,2	2,1

$$t = b.\sqrt{\frac{\beta.\sigma_c}{1{,}35.F_y}} = 12{,}7.\sqrt{\frac{1{,}2.0{,}98}{1{,}35.25}} = 2{,}37cm$$

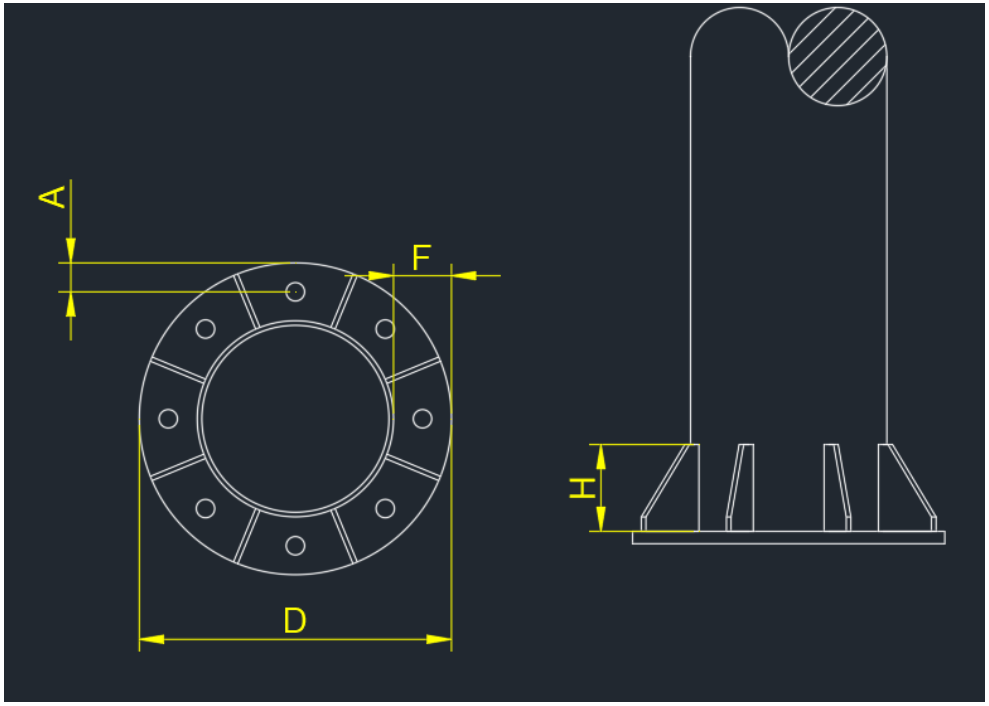
Adotaremos #25,4mm (1 ’’)

Verificação da Chapa de Base

$$M_{Sd} = 27504\ kN.cm \qquad V_{Sd} = 31kN.cm \qquad N_{Sd} = 14{,}98\ kN.cm$$

Determinação da espessura e altura da nervura

Largura de influência de 1 nervura = 260mm



$$M_{ch} = \frac{\sigma_c.b.a^2}{2}$$

$$M_{ch} = \frac{0{,}98.26.12{,}7^2}{2} = 2055\ kN.cm$$

$$t = \frac{6{,}6.M_{ch}}{h^2.F_y} \rightarrow h = \sqrt{\frac{6{,}6.M_{ch}}{t.F_y}}$$

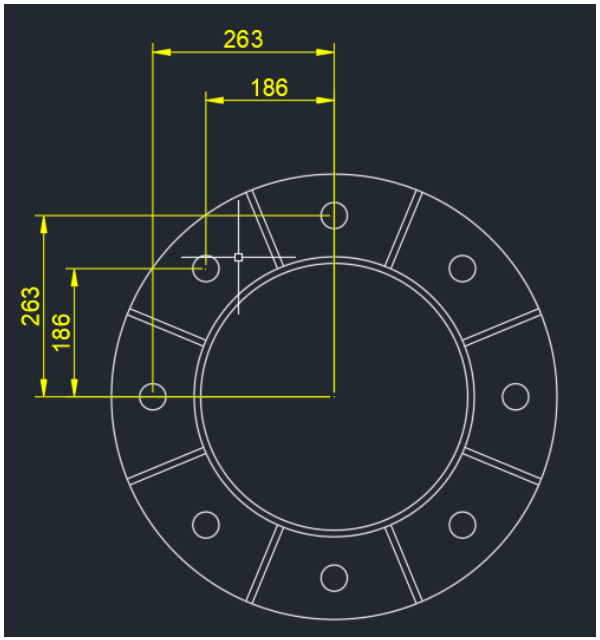
Assumindo a utilização de enrijecedores #8mm

$$h = \sqrt{\frac{6{,}6.2055}{0{,}8.25}} = 26cm\ (260mm)$$

Verificação da Chapa de Base

$$M_{Sd} = 27504\ kN.cm \qquad V_{Sd} = 31kN.cm \qquad N_{Sd} = 14{,}98\ kN.cm \qquad T = 1478\ kN.cm$$

Cálculo do Diâmetro dos chumbadores



$$I_{pUnit} = \sum (x^2 + y^2)$$

$$I_{pUnit} = 2.26{,}3^2 + 4.18{,}6^2 + 2.26{,}3^2 + 4.18{,}6^2 = 5534cm^2$$

Cortante no parafuso mais solicitado devido à torção:

$$F_x = \frac{M.y}{I_p} = \frac{1478.26{,}3}{5534} = 7{,}02\ kN$$

Cortante devido ao esforço horizontal:

$$F_x = \frac{31}{8} = 3{,}88\ kN \qquad V_{Sd} = 7{,}02 + 3{,}88 = 10{,}9\ kN$$

Tração no Chumbador mais externo:

$$c = \frac{\sigma_c.A}{\sigma c + \sigma t} = \frac{0{,}98.66}{0{,}98 + 0{,}97} = 33{,}16cm \qquad a = \frac{A}{2} - \frac{c}{3} = \frac{66}{2} - \frac{33{,}16}{3} = 21{,}95cm$$

$$Y = A - d - \frac{c}{3} = 66 - 6{,}35 - \frac{33{,}16}{3} \rightarrow Y = 48{,}59cm \qquad d_{chu} = \sqrt{1{,}27.\sqrt{\frac{11{,}39.V^2 + 3{,}24.N^2}{Fu^2}}}$$

$$T = \frac{M - N.a}{Y} = \frac{27504 - 14{,}98.21{,}95}{48{,}59} = 559\ kN \qquad d_{chu} = \sqrt{1{,}27.\sqrt{\frac{11{,}39.10{,}9^2 + 3{,}24.559^2}{86^2}}} = 3{,}85cm$$

Adotaremos barra rosqueada 1.3/4 (44,45mm) ASTM A193 B7

Verificação da Chapa de Base

$$M_{Sd} = 27504\ kN.cm \qquad V_{Sd} = 31kN.cm \qquad N_{Sd} = 14{,}98\ kN.cm \qquad T = 1478\ kN.cm$$

Cálculo do Diâmetro dos chumbadores

A 193/A 193M – 03

[F] Classes 1 and 1D are solution treated. Classes 1, 1B, and some 1C (B8R and B8S) products are made from solution treated material. Class 1A (B8A, B8CA, B8MA, B8PA, B8TA, B8LNA, B8MLNA, B8NA, and B8MNA) and some Class 1C (B9RA and B8SA) products are solution treated in the finished condition. Class 2 products are solution treated and strain hardened.

TABLE 2 Mechanical Requirements — Inch Products

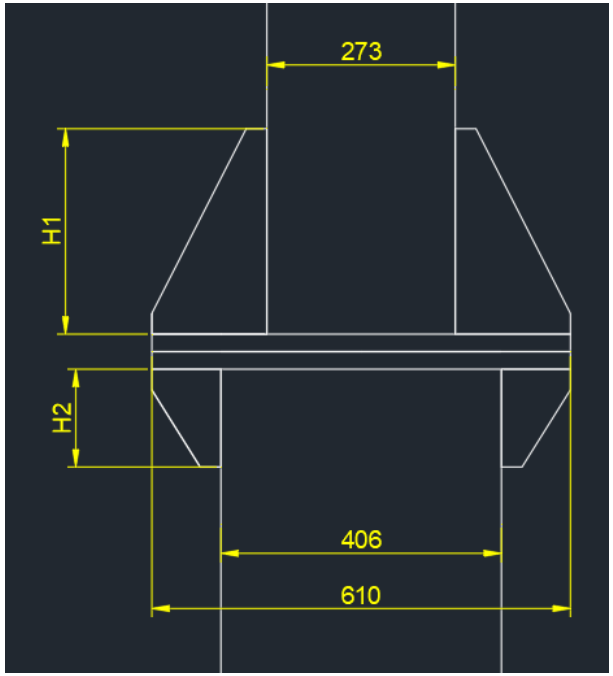
Grade	Diameter, in.	Minimum Tempering Temperature, °F	Tensile Strength, min, ksi	Yield Strength, min, 0.2 % offset, ksi	Elongation in 4D, min, %	Reduction of Area, min, %	Hardness, max
		Ferritic Steels					
B5 4 to 6 % chromium	up to 4, incl	1100	100	80	16	50	. . .
B6 13 % chromium	up to 4, incl	1100	110	85	15	50	. . .
B6X 13 % chromium	up to 4, incl	1100	90	70	16	50	26 HRC
B7 Chromium-molybdenum	2½ and under	1100	125	105	16	50	321 HB or 35 HRC
	over 2½ to 4	1100	115	95	16	50	321 HB or 35 HRC
	over 4 to 7	1100	100	75	18	50	321 HB or 35 HRC
B7M^Chromium-molybdenum	4 and under	1150	100	80	18	50	235 HB or 99 HRB
	over 4 to 7	1150	100	75	18	50	235 BHN or 99 HRB
B16 Chromium-molybdenum-vanadium	2½ and under	1200	125	105	18	50	321 HB or 35 HRC
	over 2½ to 4	1200	110	95	17	45	321 HB or 35 HRC
	over 4 to 8	1200	100	85	16	45	321 HB or 35 HRC

$$F_u = \frac{125ksi}{1{,}44} = 86\ kN/cm^2$$

Profundidade do chumbador = 12.44,45 = 533mm – Adotaremos 550mm

Verificação da ligação na redução flangeada

$$M_{Sd} = 9012\ kN.cm \qquad V_{Sd} = 30{,}4kN.cm \quad N_{Sd} = 8{,}46\ kN.cm \qquad T = 1478\ kN.cm$$



$$\sigma_c = \frac{N}{\pi.R^2} + \frac{4.M}{(\pi.R^3)}$$

$$\sigma_c = \frac{8{,}46}{\pi.30{,}5^2} + \frac{4.9012}{(\pi.30{,}5^3)} = 0{,}41\ kN/cm^2$$

$$\sigma_t = \frac{8{,}46}{\pi.30{,}5^2} - \frac{4.9012}{(\pi.30{,}5^3)} = -0{,}40\ kN/cm^2$$

Determinação da espessura da chapa superior

Segmento de arco correspondente ao espaço entre duas nervuras:

$$a = \pi.\frac{D}{8} = \pi.\frac{610}{8} \approx 239mm$$

$$b = \frac{610 - 273}{2} = 168{,}5$$

$$\frac{a}{b} = \frac{239}{168{,}5} \approx 1{,}41$$

$$\beta = \frac{0{,}41}{0{,}5}.(0{,}73 - 0{,}32) + 0{,}32 = 0{,}66$$

$$t = b.\sqrt{\frac{\beta.\sigma_c}{1{,}35.F_y}} = 16{,}85.\sqrt{\frac{0{,}66.0{,}41}{1{,}35.25}} = 1{,}5cm \approx 16mm$$

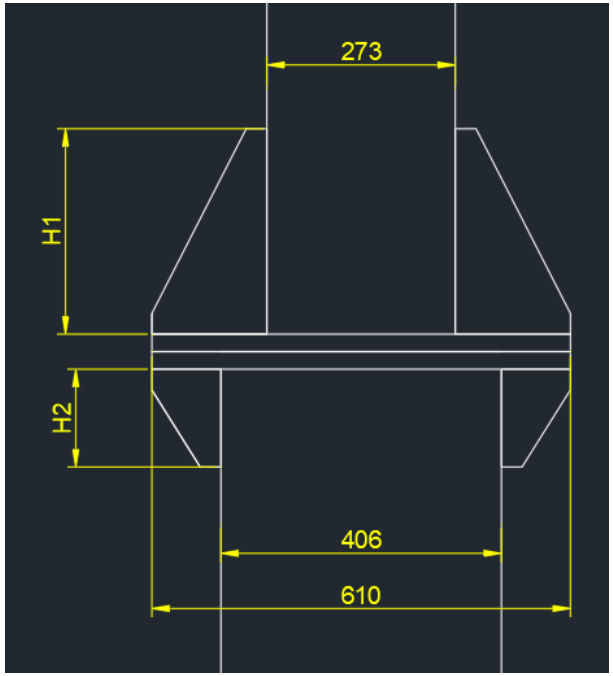
Vinculação B							
a/b	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3
β	0,02	0,08	0,17	0,32	0,73	1,2	2,1

Verificação da ligação na redução flangeada

$$M_{Sd} = 9012\ kN.cm \qquad V_{Sd} = 30{,}4kN.cm \quad N_{Sd} = 8{,}46\ kN.cm \qquad T = 1478\ kN.cm$$

Determinação da espessura e altura da nervura

Largura de influência de 1 nervura = 239mm



$$M_{ch} = \frac{\sigma_c.b.a^2}{2}$$

$$M_{ch} = \frac{0{,}41.23{,}9.16{,}85^2}{2} = 1391\ kN.cm$$

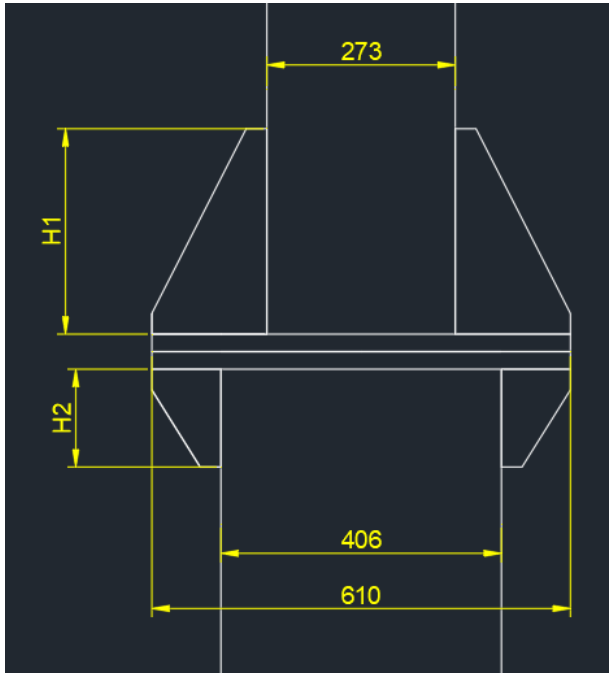
$$t = \frac{6{,}6.M_{ch}}{h^2.F_y} \rightarrow h = \sqrt{\frac{6{,}6.M_{ch}}{t.F_y}}$$

Assumindo a utilização de enrijecedores #8mm

$$h = \sqrt{\frac{6{,}6.1391}{0{,}8.25}} = 21{,}42cm \approx Adotaremos\ 215mm$$

Verificação da ligação na redução flangeada

$$M_{Sd} = 9012\ kN.cm \qquad V_{Sd} = 30{,}4kN.cm \quad N_{Sd} = 8{,}46\ kN.cm \qquad T = 1478\ kN.cm$$



$$\sigma_c = \frac{N}{\pi.R^2} + \frac{4.M}{(\pi.R^3)}$$

$$\sigma_c = \frac{8{,}46}{\pi.30{,}5^2} + \frac{4.9012}{(\pi.30{,}5^3)} = 0{,}41\ kN/cm^2$$

$$\sigma_t = \frac{8{,}46}{\pi.30{,}5^2} - \frac{4.9012}{(\pi.30{,}5^3)} = -0{,}40\ kN/cm^2$$

Determinação da espessura da chapa inferior

Segmento de arco correspondente ao espaço entre duas nervuras:

$$a = \pi.\frac{D}{8} = \pi.\frac{610}{8} \approx 239mm$$

$$b = \frac{610 - 406{,}4}{2} = 101{,}8$$

$$\frac{a}{b} = \frac{239}{101{,}8} \approx 2{,}34$$

$$\beta = \frac{0{,}34}{1}.(2{,}1 - 1{,}2) + 1{,}2 = 1{,}506$$

$$t = b.\sqrt{\frac{\beta.\sigma_c}{1{,}35.F_y}} = 10{,}18.\sqrt{\frac{1{,}506.0{,}41}{1{,}35.25}} = 1{,}37cm \approx 16mm$$

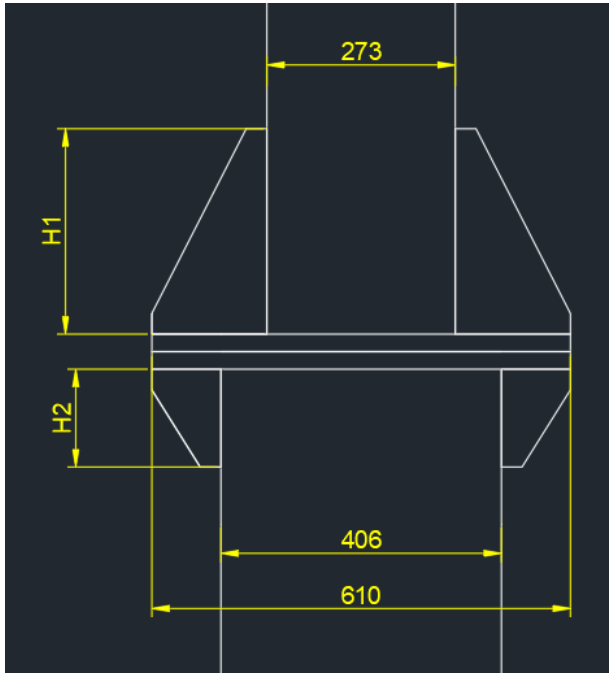
Vinculação B							
a/b	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3
β	0,02	0,08	0,17	0,32	0,73	1,2	2,1

Verificação da ligação na redução flangeada

$$M_{Sd} = 9012\ kN.cm \qquad V_{Sd} = 30{,}4kN.cm \quad N_{Sd} = 8{,}46\ kN.cm \qquad T = 1478\ kN.cm$$

Determinação da espessura e altura da nervura

Largura de influência de 1 nervura = 239mm



$$M_{ch} = \frac{\sigma_c.b.a^2}{2}$$

$$M_{ch} = \frac{0{,}41.23{,}9.10{,}18^2}{2} = 507{,}75\ kN.cm$$

$$t = \frac{6{,}6.M_{ch}}{h^2.F_y} \rightarrow h = \sqrt{\frac{6{,}6.M_{ch}}{t.F_y}}$$

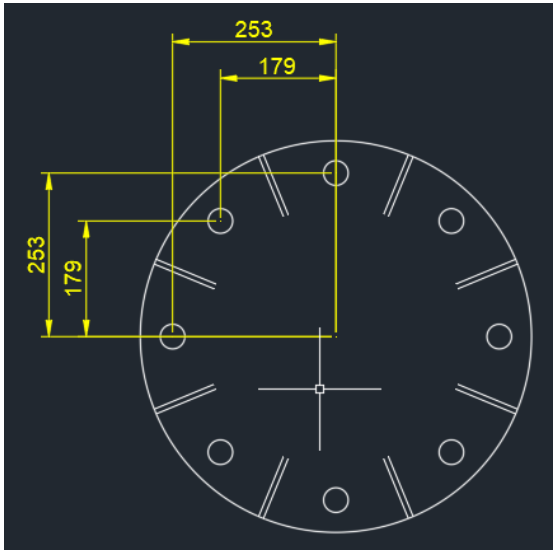
Assumindo a utilização de enrijecedores #8mm

$$h = \sqrt{\frac{6{,}6.507{,}75}{0{,}8.25}} = 12{,}94cm \approx Adotaremos\ 130mm$$

Verificação da ligação na redução flangeada

$$M_{Sd} = 9012\ kN.cm \qquad V_{Sd} = 30{,}4kN.cm \quad N_{Sd} = 8{,}46\ kN.cm \qquad T = 1478\ kN.cm$$

Cálculo do Diâmetro dos parafusos



$$I_{pUnit} = \sum (x^2 + y^2)$$

$$I_{pUnit} = 2.25{,}3^2 + 4.17{,}9^2 + 2.25{,}3^2 + 4.17{,}9^2 = 5123cm^2$$

Cortante no parafuso mais solicitado devido à torção:

$$F_x = \frac{M.y}{I_p} = \frac{1478.25{,}3}{5123} = 7{,}30\ kN$$

Cortante devido ao esforço horizontal:

$$F_x = \frac{30{,}4}{8} = 3{,}80\ kN \qquad V_{Sd} = 7{,}3 + 3{,}80 = 11{,}1\ kN$$

Tração no Chumbador mais externo:

$$c = \frac{\sigma_c.A}{\sigma c + \sigma t} = \frac{0{,}41.61}{0{,}41 + 0{,}40} = 30{,}87cm \qquad a = \frac{A}{2} - \frac{c}{3} = \frac{61}{2} - \frac{30{,}87}{3} = 20{,}21cm$$

$$Y = A - d - \frac{c}{3} = 61 - 5 - \frac{30{,}87}{3} \rightarrow Y = 45{,}71cm \qquad d_{chu} = \sqrt{1{,}27.\sqrt{\frac{11{,}39.V^2 + 3{,}24.N^2}{Fu^2}}}$$

$$T = \frac{M - N.a}{Y} = \frac{9012 - 8{,}46.20{,}21}{45{,}71} = 193{,}4\ kN \qquad d_{chu} = \sqrt{1{,}27.\sqrt{\frac{11{,}39.11{,}1^2 + 3{,}24.193{,}4^2}{82{,}5^2}}} = 2{,}32cm$$

Adotaremos parafusos ASTM A325 DIAM. 25,4mm