

Ligações Parafusadas

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

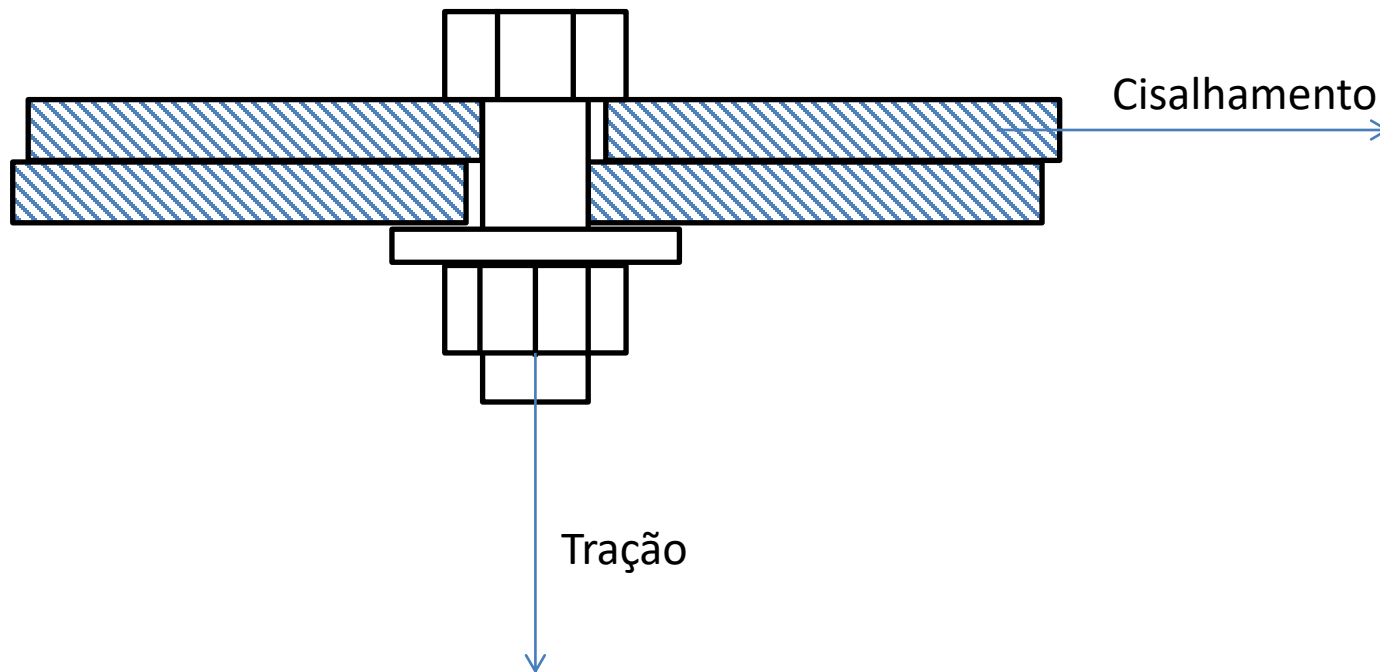
Ligações Metálicas



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

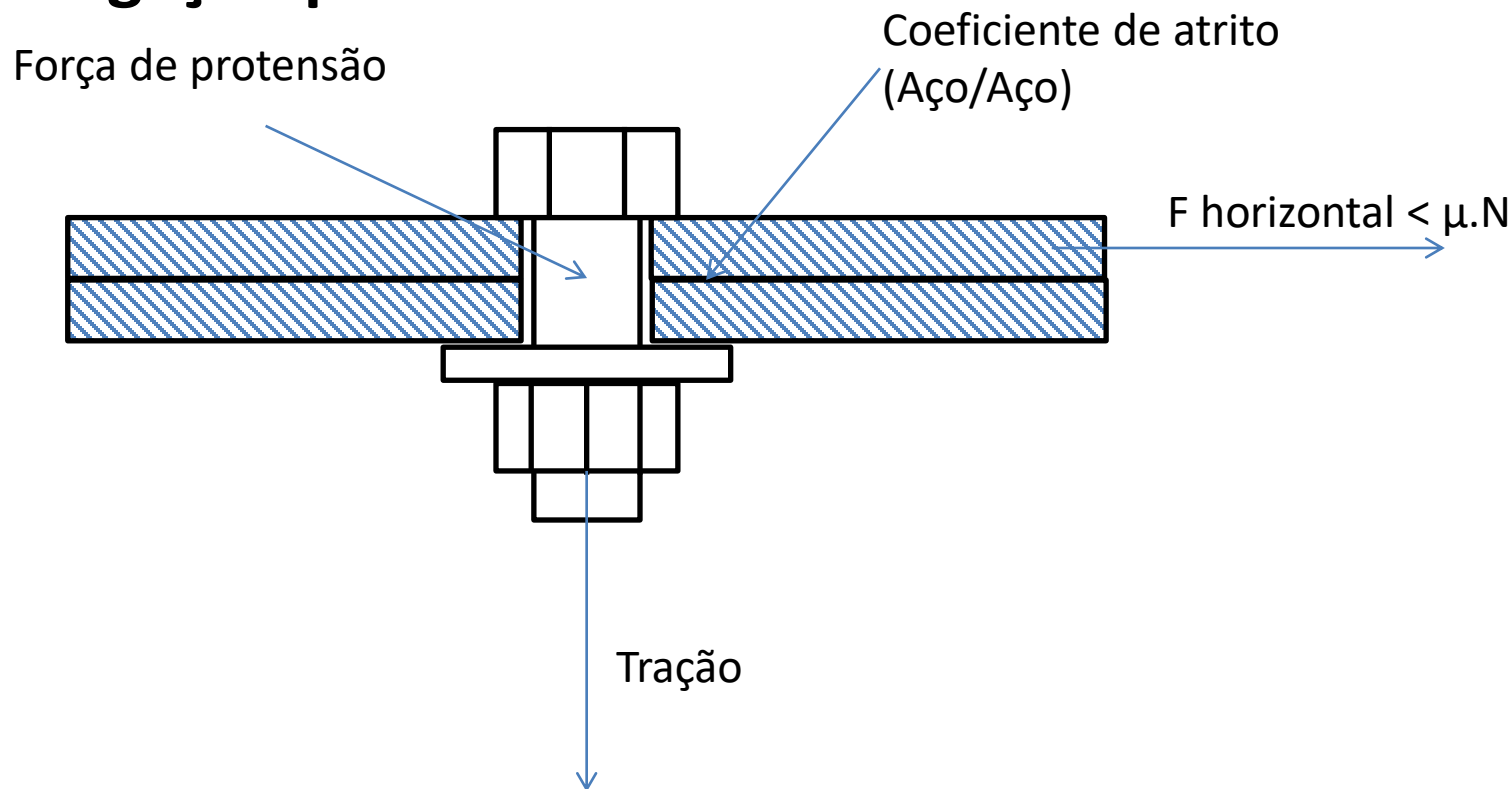
Tipos de ligação parafusada

Ligação por CONTATO



Tipos de ligação parafusada

Ligação por Atrito



Parafusos

Parafusos de Baixo
Carbono (Parafusos
Comuns)

ASTM A307
ISSO-898-1 Classe 4.6

- Sem especificação de torque
- Ligação de contato (sempre)

Parafusos de Alta
resistência

ASTM A325
ASTM A490
ISSO-4016

- Podem ser especificados com força de protensão
 - Aceitam dimensionamento por atrito

Parafusos

Tabela 7 – Limite de escoamento e resistência à tração.

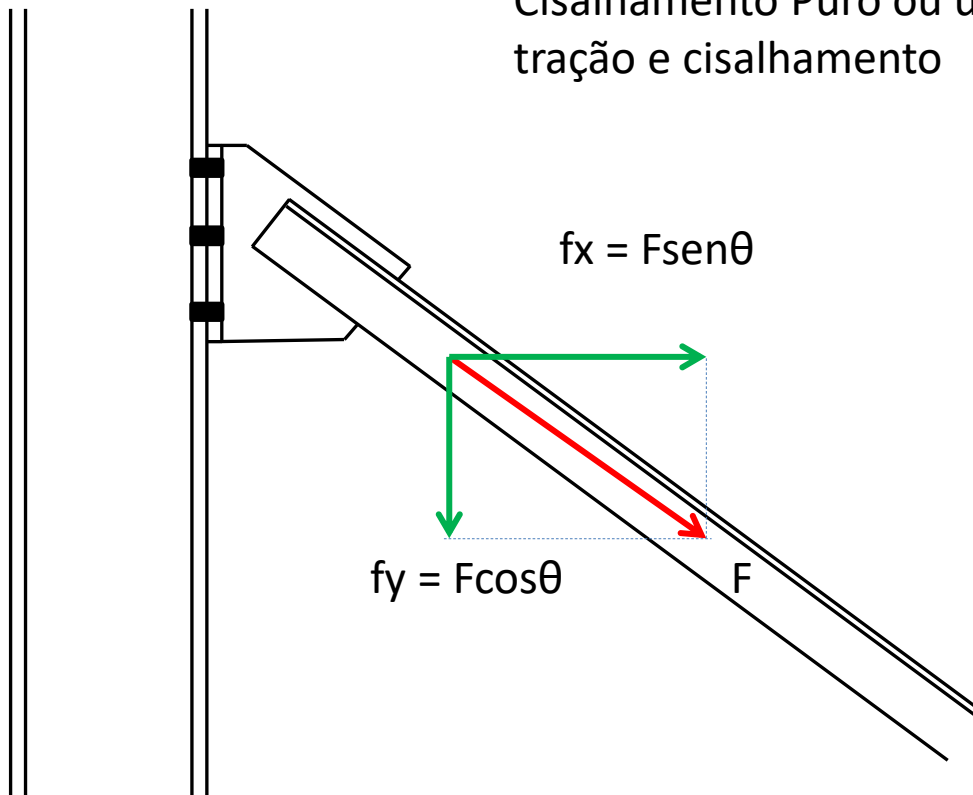
Especificação	f_{yb} (MPa)	f_{ub} (MPa)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)
ASTM A325 ^a	635	825	$16 \leq d_b \leq 24$	$\frac{1}{2} \leq d_b \leq 1$
	560	725	$24 < d_b \leq 36$	$1 < d_b \leq 1 \frac{1}{2}$
ASTM A490 ^b	895	1.035	$16 \leq d_b \leq 36$	$\frac{1}{2} \leq d_b \leq 1 \frac{1}{2}$
ASTM A307	-	415	-	$\frac{1}{2} \leq d_b \leq 4$
ISO 898-1 Classe 4.6	235	400	$12 \leq d_b \leq 36$	-
ISO 4016 Classe 8.8	640	800	$12 \leq d_b \leq 36$	-
ISO 4016 Classe 10.9	900	1.000	$12 \leq d_b \leq 36$	-

^a Disponíveis também com resistência à corrosão atmosférica comparável à dos aços AR 350 COR ou à dos aços ASTM A588.

^b Parafusos ASTM A490 não devem ser galvanizados.

Dimensionamento de ligações do tipo CONTATO

Apresentam esforços de Tração Pura, Cisalhamento Puro ou uma combinação de tração e cisalhamento



Resistência à tração

$$F_{rd} = \frac{0,75 \cdot A_b \cdot F_{ub}}{1,35}$$

Para barras roscadas deve atender também

$$F_{rd} = \frac{A_b \cdot F_{yb}}{1,10}$$

Dimensionamento de ligações do tipo CONTATO

Resistência à tração

$$Frd = \frac{0,75 \cdot A_b \cdot F_{ub}}{1,35}$$

Para barras roscadas
deve atender também

$$Frd = \frac{A_b \cdot F_{yb}}{1,10}$$

Resistência ao cisalhamento

$$Frd = \frac{\theta \cdot A_b \cdot F_{ub}}{1,35}$$

sendo:

$\theta = 0,4$ se o cisalhamento é na rosca

$\theta = 0,5$ se o cisalhamento não é na rosca

Dimensionamento de ligações do tipo CONTATO

Tabela 9 – Resistência de cálculo dos parafusos em ligações por contato para $\gamma_{a2}=1,25$ (kN)

ESPECIFICAÇÃO ASTM		DIÂMETRO NOMINAL										
		1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/8"	1 1/4"	1 3/8"	1 1/2"	1 3/4"	2"
		ÁREA BRUTA mm ²										
		126	198	285	388	506	641	792	958	1140	1552	2027
A307	TRAÇÃO	29,1	45,7	65,7	89,5	116,7	147,8	182,6	220,9	262,8	357,8	467,3
	FORÇA CORTANTE	15,5	24,3	35,0	47,7	62,2	78,8	97,4	117,8	140,2	190,8	249,2
A325	TRAÇÃO	57,8	90,8	130,6	177,8	231,9	258,2	319,0	385,9	459,2	625,1	816,4
	FORÇA CORT. (ROSCA FORA PL. DE CORTE)	38,5	60,5	87,1	118,6	154,6	172,1	212,7	257,2	306,1	416,7	544,3
	FORÇA CORT. (ROSCA NO PL.DE CORTE)	30,8	48,4	69,7	94,8	123,7	137,7	170,1	205,8	244,9	333,4	435,4
A490	TRAÇÃO	72,5	113,9	163,9	223,1	291,0	368,6	455,4	550,9	655,5	892,4	1165,5
	FORÇA CORT. (ROSCA FORA PL.DE CORTE)	48,3	75,9	109,3	148,7	194,0	245,7	303,6	367,2	437,0	594,9	777,0
	FORÇA CORT. (ROSCA NO PL.DE CORTE)	38,6	60,7	87,4	119,0	155,2	196,6	242,9	293,8	349,6	475,9	621,6
ESPECIFICAÇÃO ISO 898 CLASSE 4.6		DIÂMETRO NOMINAL										
		M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36	M42	M48
		ÁREA BRUTA (BASEADA NO DIÂMETRO NOMINAL) mm ²										
		113	201	314	380	452	573	707	855	1018	1385	1810
TRAÇÃO		25,1	44,7	69,8	84,4	100,4	127,3	157,1	190,0	226,2	307,8	402,2
FORÇA CORTANTE		13,4	23,8	37,2	45,0	53,6	67,9	83,8	101,3	120,7	164,1	214,5

Dimensionamento de ligações do tipo CONTATO

Tração e cisalhamento combinados

$$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}}\right)$$

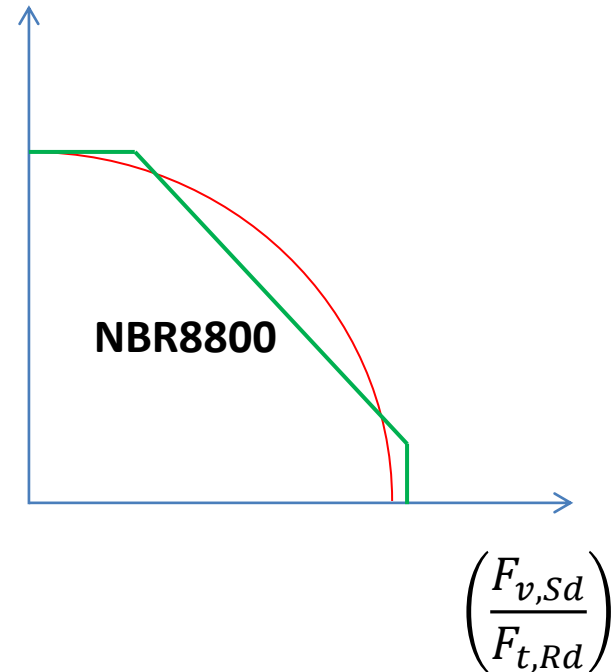
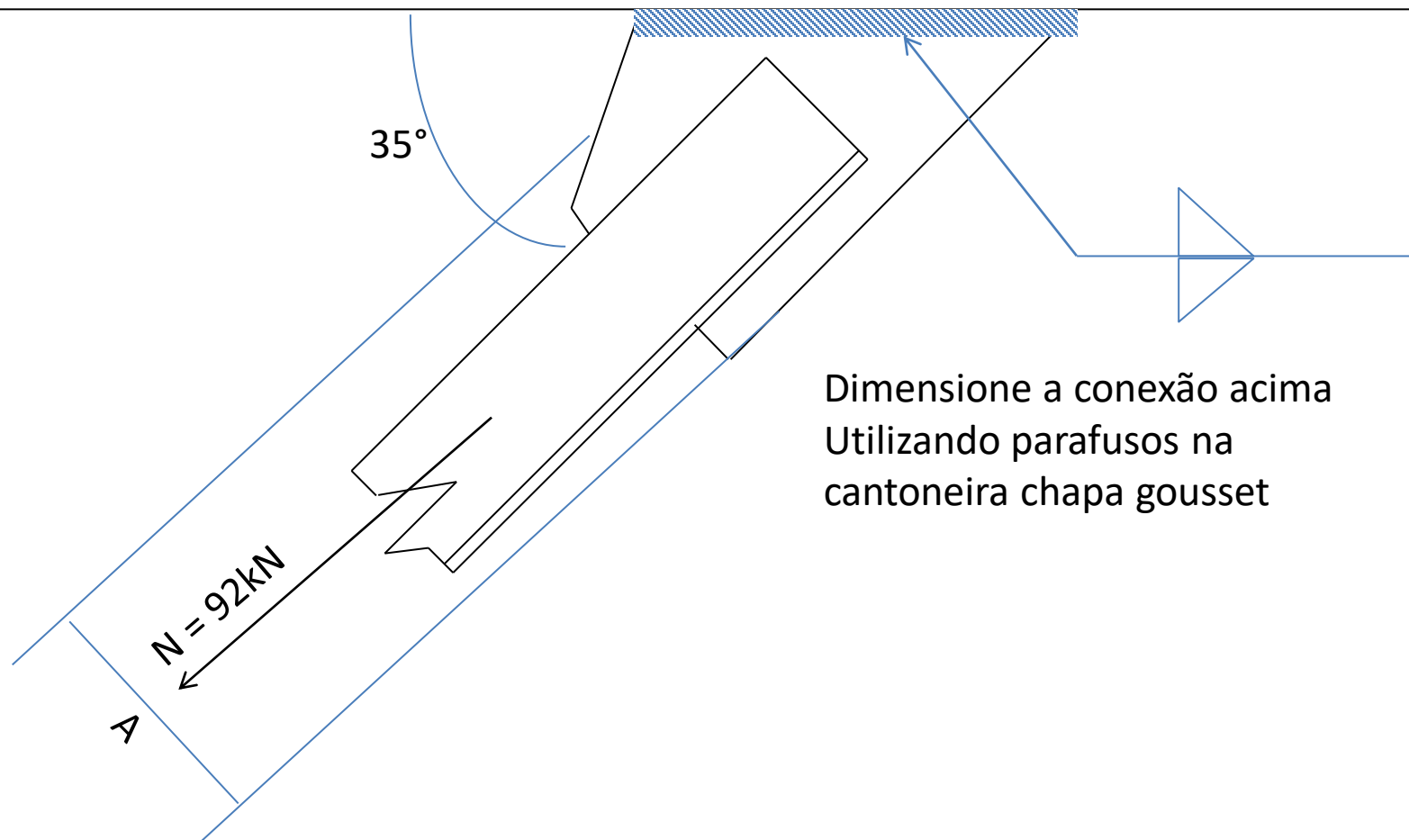


Tabela 10 - Tração e cortante combinadas

Tipo de parafuso	Limitação da resistência à tração
Parafusos baixo carbono e barras rosqueadas em geral	$F_{t,Sd} \leq \frac{f_{ub}A_b}{\gamma_{a2}} - 1,90F_{v,Sd}$
Parafusos de alta resistência ASTM A325/A490	$F_{t,Sd} \leq \frac{f_{ub}A_b}{\gamma_{a2}} - 1,90F_{v,Sd}$ (nota 1) $F_{t,Sd} \leq \frac{f_{ub}A_b}{\gamma_{a2}} - 1,50F_{v,Sd}$ (nota 2)
Nota 1: plano de corte passa pela rosca.	
Nota 2: plano de corte não passa pela rosca.	

Exercício 01

Mesa Superior W150X18,00 ASTM A572GR50



Dimensione a conexão acima
Utilizando parafusos na
cantoneira chapa gousset

Exercício 01

$$\frac{A_g \cdot F_y}{1,1} = 92kN$$

$$A_g = \frac{1,1 \cdot 92}{25} = 4,05cm^2$$

Adotaremos inicialmente 2''X3/16''

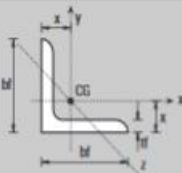


Tabela E.1 — Cantoneiras de abas iguais
Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f		$I_x = I_y$	$W_x = W_y$	$r_x = r_y$	r_{xmn}	x
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm
1/2"	1,270	0,55	0,70	1/8"	0,317	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	1,588	0,71	0,90	1/8"	0,317	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	1,905	0,87	1,11	1/8"	0,317	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	2,220	1,04	1,32	1/8"	0,317	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
		1,49	1,90	3/16"	0,476	0,79	0,54	0,66	0,48	0,74
1"	2,540	1,19	1,48	1/8"	0,317	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
		1,73	2,19	3/16"	0,476	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	2,84	1/4"	0,635	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
1 1/4"	3,175	1,50	1,93	1/8"	0,317	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
		2,20	2,77	3/16"	0,476	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	3,62	1/4"	0,635	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
1 1/2"	3,810	1,83	2,32	1/8"	0,317	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3,42	3/16"	0,476	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	4,45	1/4"	0,635	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
1 3/4"	4,445	2,14	2,71	1/8"	0,317	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	4,00	3/16"	0,476	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	5,22	1/4"	0,635	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
		5,04	6,45	5/16"	0,794	11,20	3,77	1,32	0,86	1,41
2"	5,080	2,46	3,10	1/8"	0,317	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	4,58	3/16"	0,476	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	6,06	1/4"	0,635	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	7,42	5/16"	0,794	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
		6,99	8,76	3/8"	0,952	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63
2 1/2"	6,350	4,57	5,80	3/16"	0,476	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
		6,10	7,67	1/4"	0,635	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	9,48	5/16"	0,794	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
		8,78	11,16	3/8"	0,952	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
3"	7,620	5,52	7,03	3/16"	0,476	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
		7,29	9,29	1/4"	0,635	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	11,48	5/16"	0,794	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
		10,71	13,61	3/8"	0,952	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
		12,34	15,67	7/16"	1,111	83,00	15,60	2,31	1,47	2,31
		14,00	17,74	1/2"	1,270	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36
4"	10,160	9,81	12,51	1/4"	0,635	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
		12,19	15,48	5/16"	0,794	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	18,45	3/8"	0,952	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	21,35	7/16"	1,111	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	24,19	1/2"	1,270	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00
		21,26	26,96	9/16"	1,429	254,00	36,10	3,07	1,98	3,07
		23,35	29,73	5/8"	1,588	279,00	39,40	3,05	1,96	3,12
5"	12,700	18,30	23,29	3/8"	0,952	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53
		24,10	30,64	1/2"	1,270	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63
		29,80	37,8	5/8"	1,588	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76
		35,10	44,76	3/4"	1,905	653,00	73,80	3,81	2,46	3,86
6"	15,240	22,22	28,12	3/8"	0,952	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17
		29,20	37,09	1/2"	1,270	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27
		36,00	45,86	5/8"	1,588	1,007,00	93,50	4,67	2,97	4,39
		42,70	54,44	3/4"	1,905	1,173,00	109,90	4,65	2,97	4,52
		49,30	62,76	7/8"	2,222	1,327,00	124,60	4,60	2,97	4,62

Exercício 01

Utilizaremos 2 parafusos, portanto cada parafuso deve receber 46 kN de esforço cortante

$$Frd = \frac{\theta \cdot A_b \cdot F_{ub}}{1,35} \quad Frd = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot F_{ub}}{4 \cdot 1,35} \quad D = \sqrt{\frac{1,35 \cdot 4 \cdot F_{Sd}}{0,4 \cdot \pi \cdot F_{ub}}}$$

$$D = \sqrt{\frac{1,35 \cdot 4 \cdot 46}{0,4 \cdot \pi \cdot 41,5}} \quad D = \sqrt{\frac{1,35 \cdot 4 \cdot 46}{0,4 \cdot \pi \cdot 41,5}} = 2,18cm \approx \frac{7}{8} (22,22mm \text{ ASTM A307})$$

$$D = \sqrt{\frac{1,35 \cdot 4 \cdot 46}{0,4 \cdot \pi \cdot 82,5}} = 1,54cm \approx 5/8 (15,87mm \text{ ASTM A325})$$

Ruptura da Seção Líquida

$$\frac{C_t \cdot A_n \cdot F_u}{1,35} \rightarrow 92 \quad \frac{C_t \cdot (A_g - (d_p + 0,35) \cdot t_f) \cdot F_u}{1,35} \rightarrow 92 \quad l_c = \frac{e_c}{\left(1 - \frac{1,35 \cdot F_{Sd}}{(A_g - t_f \cdot d_p + 0,35) \cdot F_u}\right)}$$

$$l_c = \frac{1,45}{\left(1 - \frac{1,35 \cdot 92}{(4,58 - 0,476 \cdot 2,22 + 0,35) \cdot 40}\right)} = 7,31cm \quad \text{Parafuso } 7/8 \text{ ASTM A307}$$

$$l_c = \frac{1,45}{\left(1 - \frac{1,35 \cdot 92}{(4,58 - 0,476 \cdot 1,587 + 0,35) \cdot 40}\right)} = 5,66cm \quad \text{Parafuso } 5/8 \text{ ASTM A325}$$

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Exercício 01

Dimensionamento da Chapa de ligação

$$M_{Sd} = 46 \cdot \cos 35^\circ \cdot 5,6 + 46 \cdot \cos 35^\circ \cdot 9,1 - 46 \cdot \sin 35^\circ \cdot 14,2 - 46 \cdot \sin 35^\circ \cdot 19,1 = -324,69 \text{ Horário}$$

$$H_{Sd} = 92 \cdot \cos 35^\circ = 75,36 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 92 \cdot \sin 35^\circ = 52,77 \text{ kN}$$

$$\sigma_t = \frac{M}{W} + \frac{V_{Sd}}{A} \rightarrow \frac{25}{1,1} = \frac{6 \cdot 324,69}{t \cdot 25,7^2} + \frac{52,77}{t \cdot 25,7} \quad t = 0,22 \text{ cm}$$

$$\sigma_v = \frac{H_{Sd}}{A} \rightarrow \frac{0,6 \cdot 25}{1,1} = \frac{75,36}{t \cdot 25,7} \rightarrow t = 0,215$$

Adotaremos 3/16" (4,76mm)

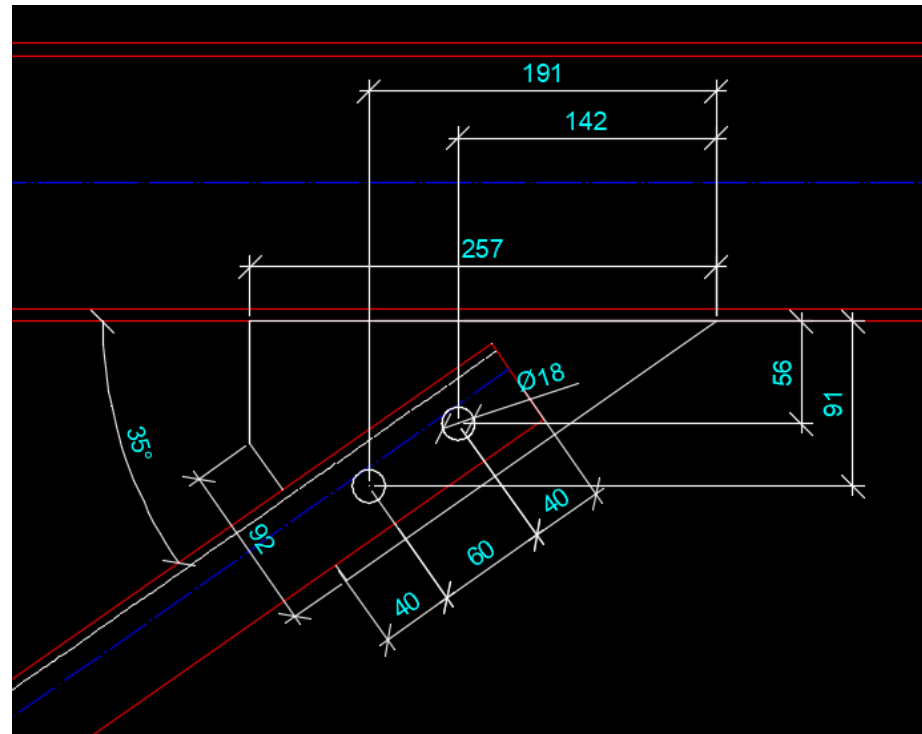
Pressão de contato (item 6.3.3.3 NBR8800)

$$N_{t,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot l_f \cdot F_u}{1,35} \rightarrow 46 = \frac{1,5 \cdot t \cdot 4 \cdot 40}{1,35} \rightarrow t = 0,258 \text{ cm}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{3 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u}{1,35} \rightarrow 46 = \frac{3 \cdot 1,587 \cdot t \cdot 40}{1,35} \rightarrow t = 0,326 \text{ cm}$$

$$\frac{b}{t} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \frac{9,1}{t} = 15,84 \rightarrow t = 0,57 \text{ cm}$$

Adotaremos 1/4" (6,35mm)



Exercício 01

Dimensionamento da Solda

$$I = 4 \cdot \left(\frac{t \cdot 5^3}{12} + t \cdot 5 \cdot 9,3^2 + \frac{t \cdot 2,5^3}{12} + t \cdot 2,5 \cdot 1,25^2 \right) \quad I = 1792 \cdot t$$

$$A = 6 \cdot 5 \cdot t \rightarrow A = 30 \cdot t$$

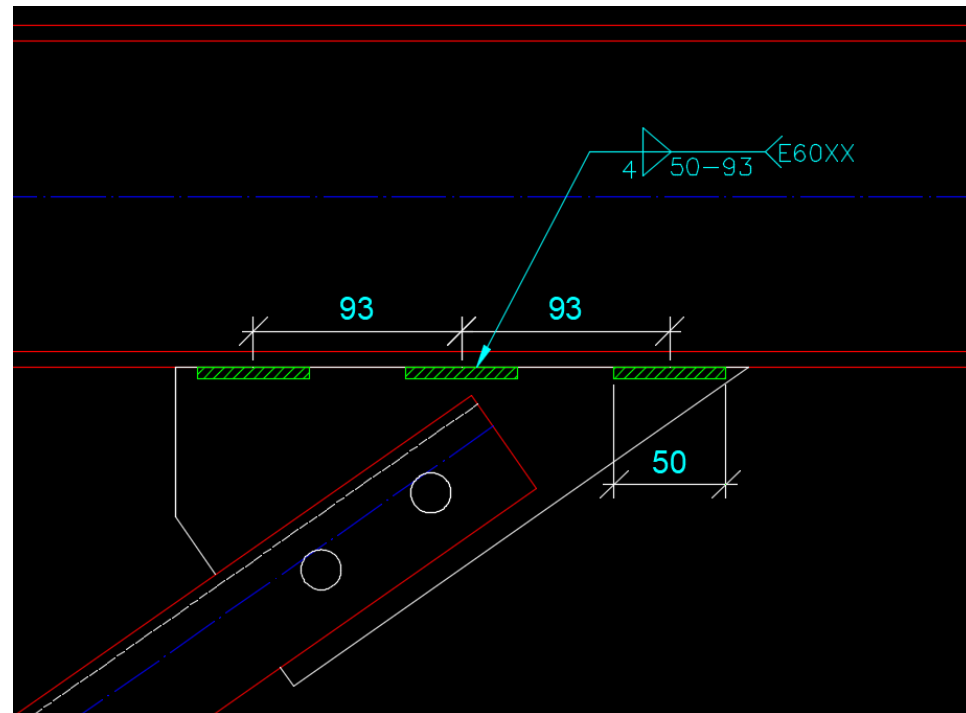
$$\tau_R = \sqrt{\left(M \cdot \frac{y}{I} + \frac{V_{sd}}{A} \right)^2 + \left(\frac{H_{sd}}{A} \right)^2}$$

$$\tau_R = \sqrt{\left(324,69 \cdot \frac{(9,3 + 2,5)}{1792 \cdot t} + \frac{52,77}{30 \cdot t} \right)^2 + \left(\frac{75,36}{30 \cdot t} \right)^2}$$

$$\left(\frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot F_w}{1,35} \right)^2 = \left(324,69 \cdot \frac{(9,3 + 2,5)}{1792 \cdot t} + \frac{52,77}{30 \cdot t} \right)^2 + \left(\frac{75,36}{30 \cdot t} \right)^2$$

$$\left(\frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot 41,5}{1,35} \right)^2 = \frac{15,18 + 6,31}{t^2}$$

$$t = \sqrt{\frac{21,49}{170}} \rightarrow t = 0,355 \text{ cm} \quad \text{Adotar } dw = 4 \text{ mm E60XX}$$



Conexões por atrito

Para conexões com furos alargados (oblongos)

$$F_{f,Rd} = \frac{1,13 \cdot \mu \cdot C_h \cdot F_{tb} \cdot n_s}{\gamma_e} \cdot \left(1 - \frac{F_{t,Sd}}{1,13 \cdot F_{tb}} \right)$$

Para conexões com furo padrão

$$F_{f,Rk} = 0,80 \cdot \mu \cdot C_h \cdot F_{tb} \cdot n_s \cdot \left(1 - \frac{F_{t,Sk}}{1,80 \cdot F_{tb}} \right)$$

Onde:

F_{tb} é a força de protensão mínima por parafuso considerada como sendo 70% da resistência mínima à tração do parafuso, ou seja: $F_{tb} = 0,70 A_f f_{ub}$. Para valores das forças de protensão mínimas na montagem de parafusos ASTM, a tabela 15 da NBR 8800:2008 é reproduzida na Tabela 11 a seguir.

A_e é a área efetiva à tração ou área resistente dada na tabela 14, a seguir;

$F_{t,Sd}$, caso exista, é a força de tração solicitante de cálculo no parafuso que reduz a força de protensão, calculada com as combinações últimas de ações;

N_s é o número de planos de deslizamento;

γ_e é o coeficiente de ponderação da resistência, dado na tabela 8;

μ é o coeficiente médio de atrito dado na tabela 12;

C_h é um fator de furo dado na tabela 13.

Conexões por atrito

Tabela 12 – Coeficientes médios de atrito.

Superfície	Coeficiente médio de atrito μ
Superfícies laminadas, limpas, isentas de óleos ou graxas, sem pintura e superfícies galvanizadas a quente com rugosidade aumentada manualmente por meio de escova de aço.	0,35
Superfícies jateadas sem pintura.	0,50
Superfícies galvanizadas a quente.	0,20

Tabela 13 – Fatores de furo.

Tipo de furo	Fator de furo C_h
Furos padrão	1,00
Furos alargados ou pouco alongados	0,85
Furos muito alongados	0,70

Conexões por atrito

Tabela 15 — Força de protensão mínima em parafusos ASTM

Diâmetro d_b		F_{Tb} kN	
pol	mm	ASTM A325	ASTM A490
1/2		53	66
5/8		85	106
	16	91	114
3/4		125	156
	20	142	179
	22	176	221
7/8		173	216
	24	205	257
1		227	283
	27	267	334
1 1/8		250	357
	30	326	408
1 1/4		317	453
	36	475	595
1 1/2		460	659

Conexões por atrito

6.7.4.4 Aperto com chave calibrada ou chave manual com torquímetro

6.7.4.4.1 Não existe uma relação geral entre força de protensão em parafusos e torque aplicado durante o aperto da porca, devido a vários fatores, incluindo as condições de atrito nas superfícies com movimento relativo. Não podem ser usadas tabelas de torque baseadas em experiências passadas ou fornecidas em literatura técnica. Assim, as prescrições dadas em 6.7.4.4.2 devem ser obedecidas quando forem usados métodos de aperto baseados no torque.

6.7.4.4.2 As chaves calibradas, quando usadas, devem ser reguladas para fornecer uma protensão pelo menos 5% superior à protensão mínima dada na Tabela 15. As chaves devem ser calibradas pelo menos uma vez por dia de trabalho, para cada diâmetro de parafuso a instalar. Elas devem ser recalibradas quando forem feitas mudanças significativas no equipamento ou quando for notada uma diferença significativa nas condições de superfície dos parafusos, porcas e arruelas. A calibração deve ser feita através do aperto de três parafusos típicos de cada diâmetro, retirados do lote de parafusos a serem instalados, em um dispositivo capaz de indicar a tração real no parafuso. Na calibração deve ser certificado que, durante a instalação dos parafusos na estrutura, a calibragem escolhida não produza uma rotação da porca ou da cabeça do parafuso, a partir da posição de pré-torque, superior à indicada na Tabela 16. Caso sejam usadas chaves manuais com torquímetro, quando o torque for atingido as porcas devem estar em movimento de aperto. Durante a instalação de vários parafusos na mesma ligação, aqueles já apertados previamente devem ser conferidos com a chave e reapertados caso tenham “folgado” durante o aperto de parafusos subseqüentes, até que todos os parafusos atinjam o aperto desejado.

Tabela 16 — Rotação da porca a partir da posição de pré-torque ^a

Comprimento do parafuso (medido da parte inferior da cabeça à extremidade)	Disposição das faces externas das partes parafusadas		
	Ambas as faces normais ao eixo do parafuso	Uma das faces normal ao eixo do parafuso e a outra face inclinada não mais que 1:20 (sem arruela biselada)	Ambas as faces inclinadas em relação ao plano normal ao eixo do parafuso não mais que 1:20 (sem arruelas biseladas)
Inferior ou igual a 4 diâmetros	1/3 de volta	1/2 volta	2/3 de volta
Acima de 4 diâmetros até no máximo 8 diâmetros, inclusive	1/2 volta	2/3 de volta	5/6 de volta
Acima de 8 diâmetros até no máximo 12 diâmetros ^b	2/3 de volta	5/6 de volta	1 volta

^a A rotação da porca é considerada em relação ao parafuso, sem levar em conta o elemento que está sendo girado (porca ou parafuso). Para parafusos instalados com 1/2 volta ou menos, a tolerância na rotação é de mais ou menos 30°; para parafusos instalados com 2/3 de volta ou mais, a tolerância na rotação é de mais ou menos 45°.

^b Nenhuma pesquisa foi feita para estabelecer o procedimento a ser usado para aperto pelo método da rotação da porca, para comprimentos de parafusos superiores a 12 diâmetros. Portanto, a rotação necessária deve ser determinada por ensaios em um dispositivo adequado que meça a tração, simulando as condições reais.

Conexões por atrito

A área efetiva à tração ou área resistente de um parafuso é um valor compreendido entre a área bruta e a área da raiz da rosca. Essa área pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$A_e = 0,25d_b^2 \left(1 - k \frac{P}{d_b}\right)^2$$

Onde:

P = passo da rosca

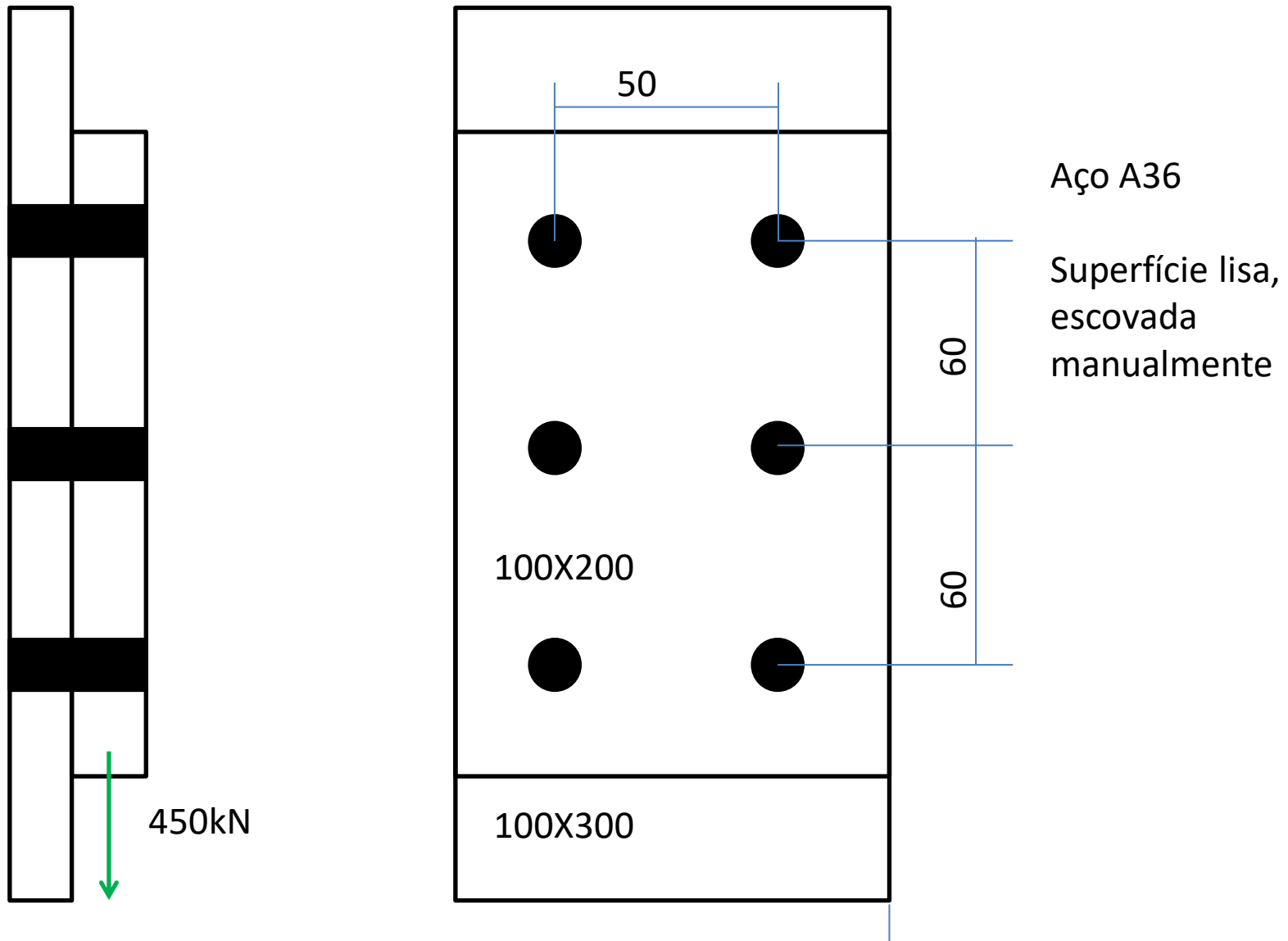
K = 0,9743 para roscas UNC (parafusos ASTM) e 0,9382 para rosca métrica ISO grossa.

A tabela 14 apresenta os valores da área efetiva à tração (A_e) e da área bruta (A_b) dos parafusos com rosca UNC e ISO.

Tabela 14 - Valores de A_e e A_b

ISO	UNC	P (mm)	A_b (cm ²)	A_e (cm ²)	A_e/A_b
M 12		1,75	1,13	0,84	0,75
	12,5	1,95	1,26	0,92	0,73
	16	2,31	1,98	1,46	0,74
M 16		2,00	2,01	1,57	0,78
	19	2,54	2,85	2,15	0,75
M 20		2,50	3,14	2,45	0,78
M 22		2,50	3,80	3,03	0,80
	22,2	2,82	3,88	2,93	0,77
M 24		3,00	4,52	3,53	0,78
	25	3,18	5,06	3,91	0,77
M 27		3,00	5,73	4,59	0,80
	28,5	3,63	6,41	4,92	0,77
M 30		3,50	7,07	5,61	0,79
	32	3,63	7,92	6,25	0,79
M 33		3,50	8,55	6,94	0,81
	35	4,23	9,58	7,45	0,78
M 36		4,00	10,18	8,17	0,80
	38	4,23	11,40	9,07	0,80
M 42		4,50	13,85	11,20	0,81
	44	5,08	15,52	12,26	0,79
M 48		5,00	18,10	14,70	0,81
	50	5,64	20,27	16,13	0,80

Exercício 02



Exercício 02

Passo 1- Determinar o diâmetro necessário aos parafusos

$$F_{f,Rk} = 0,80 \cdot \mu \cdot C_h \cdot F_{tb} \cdot n_s \cdot \left(1 - \frac{F_{t,Sk}}{1,80 \cdot F_{tb}} \right)$$

Passo 1- Determinar o parafuso à partir da força de protensão mínima (Ftb)

$$\frac{450}{6} = 0,80 \cdot 0,35 \cdot 1,0 \cdot F_{tb} \cdot 1,0 \cdot \left(1 - \frac{0}{1,80 \cdot F_{tb}} \right)$$

$$F_{tb} = \frac{450}{0,8 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 6} \quad F_{tb} = 267,84 \text{ kN}$$

Exercício 02

Tabela 11 – Força de protensão mínima em parafusos de alta resistência.

Diâmetro do parafuso: d_b		Força de protensão mínima: F_{Tb} (kN)	
polegadas	mm	ASTM A325	ASTM A490
$\frac{1}{2}$		53	66
$\frac{5}{8}$		85	106
	16	91	114
$\frac{3}{4}$		125	156
	20	142	179
	22	176	221
$\frac{7}{8}$		173	216
	24	205	257
1		227	283
	27	267	334
$1 \frac{1}{8}$		250	357
	30	326	408
$1 \frac{1}{4}$		317	453
	36	475	595
$1 \frac{1}{2}$		460	659

Selecionado 6 parafusos ASTM A325 M27 com força de protensão mínima de 267 kN

Poderíamos selecionar A490 de 1''

Exercício 02

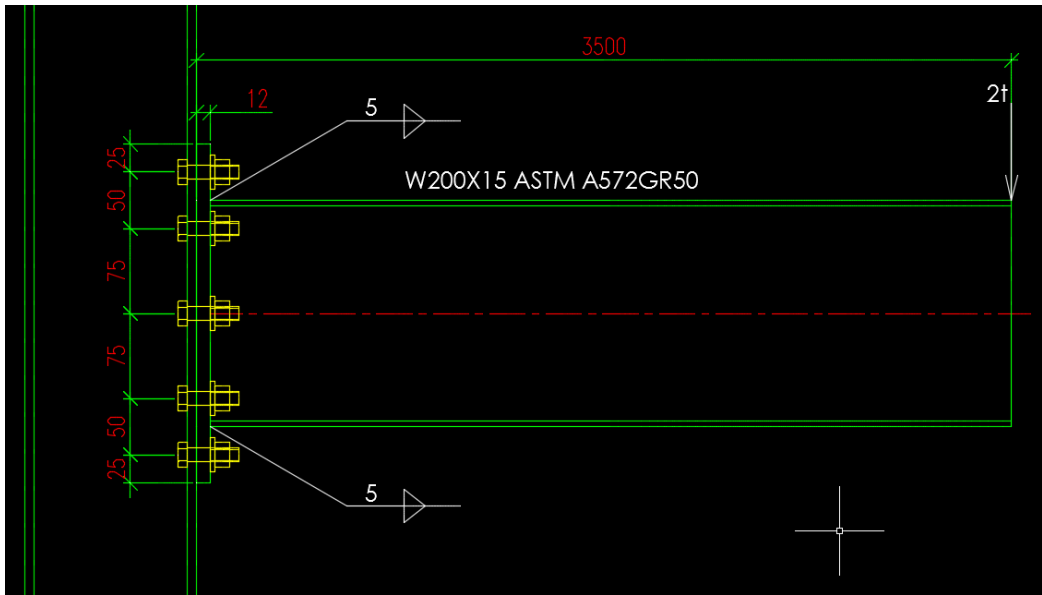
Passo 2- Determinar espessura das chapas

$$N_{t,Rd} = \frac{Ag.Fy}{1,1} \quad 10.t = \frac{1,1.450}{25} \quad t = 1,98cm = 19,8mm$$

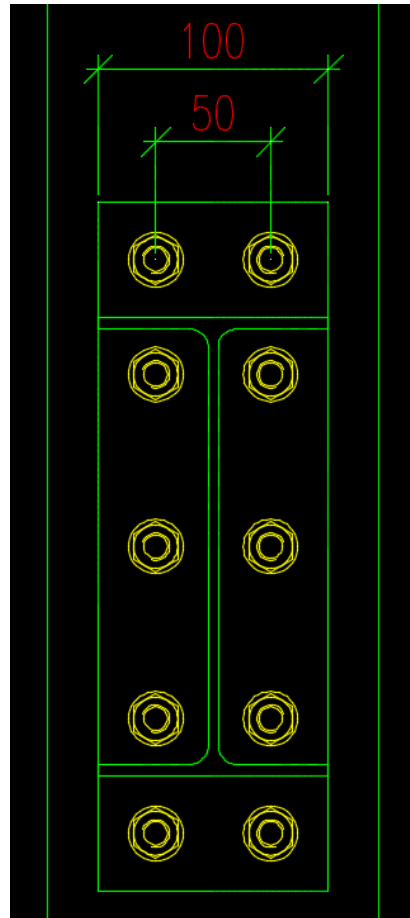
$$N_{t,Rd} = \frac{An.Fu}{1,35} \quad 450 = \frac{(10 - 2.(2,7 + 0,35)).t.40}{1,35}$$

$$t = \frac{450.1,35}{3,9.40} = 3,89cm$$

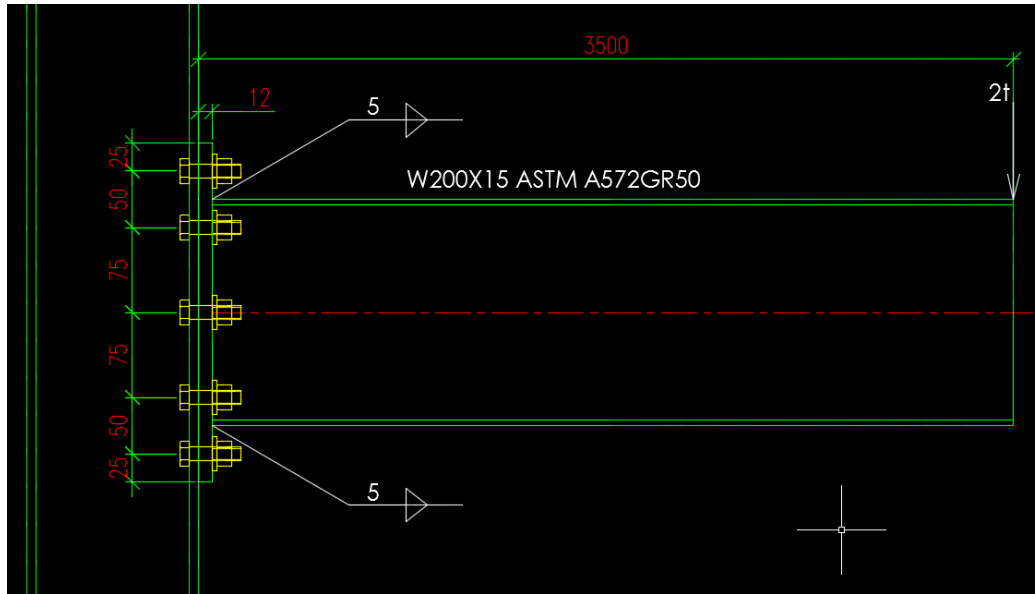
Exercício 03



Determinar se os parafusos ASTM A325
Diam. 12mm podem ser aprovados nas
condições acima.



Exercício 03



$$M_{sd} = P \cdot L \rightarrow 20 \text{ kN} \cdot 350 \text{ cm} = 7000 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Esforço cortante nos parafusos:

$$V_{sd} = \frac{P}{n} = \frac{20}{10} = 2 \text{ kN}$$

Exercício 03

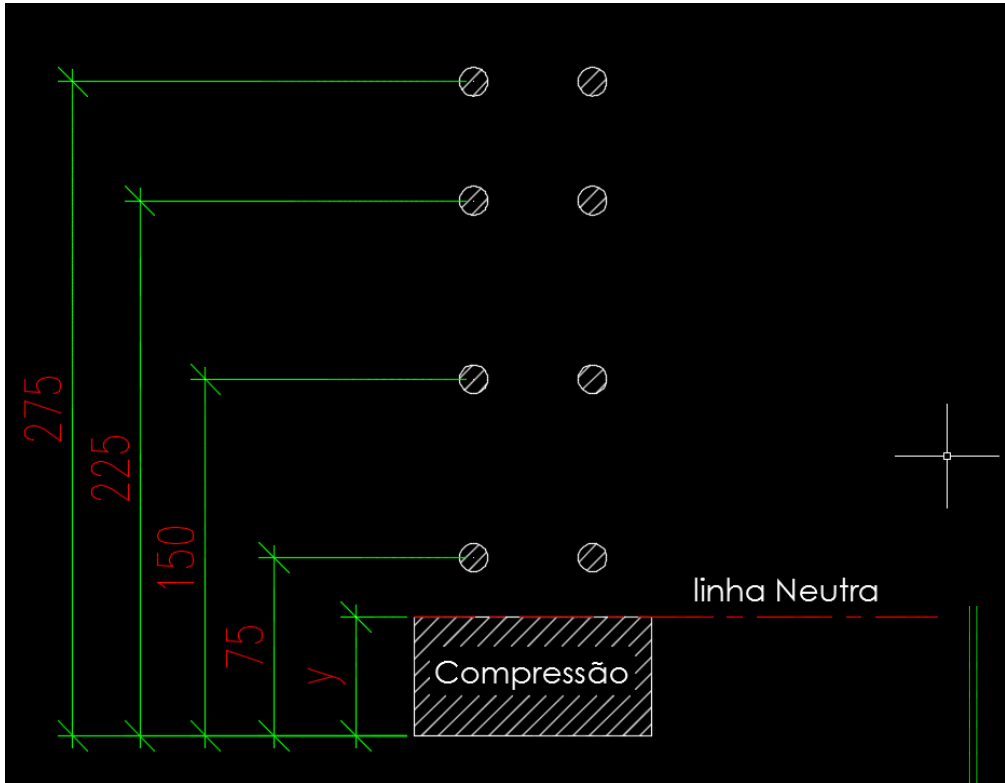


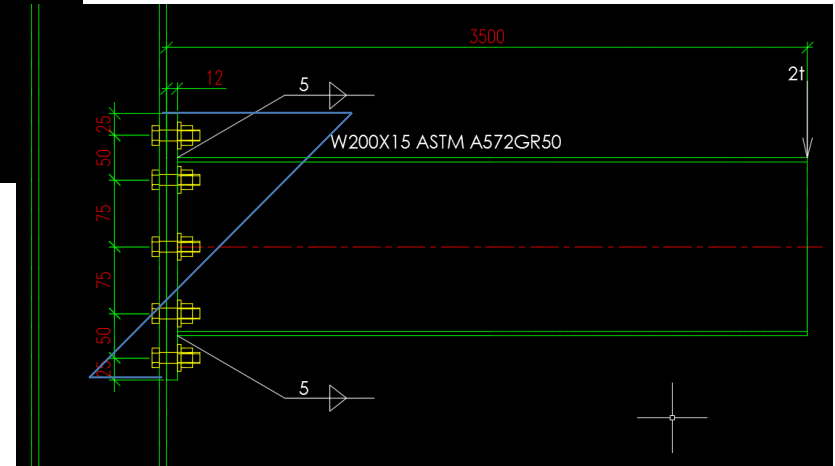
Figura geométrica gerada no plano de seção da ligação.

Os parafusos superiores estarão sujeitos à tração e cisalhamento, enquanto na região da compressão haverá apenas cisalhamento nos parafusos

Em geral $y = 1/6$ da altura total da chapa ($300/6 = 50\text{mm}$)

Mas podemos ser mais precisos:

A figura gerada pelo plano parafusado, tem uma incógnita y , que pode ser encontrada igualando-se os momentos estáticos das figuras geométricas acima e abaixo da linha neutra



Exercício 03

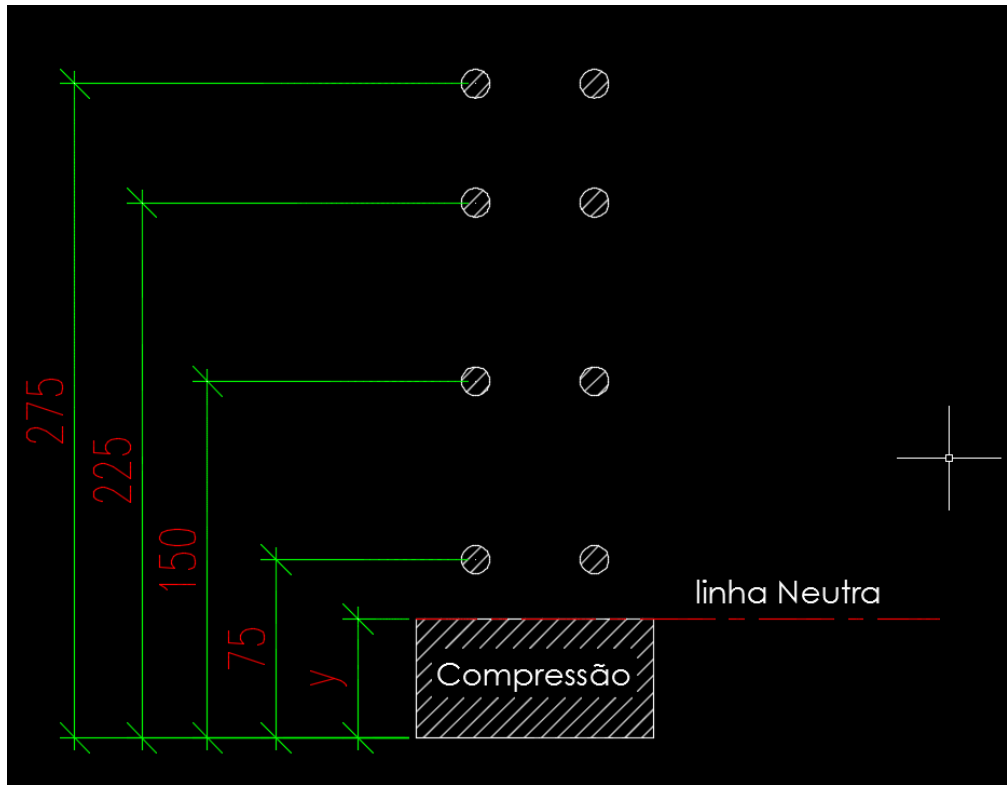


Tabela de Momentos Estáticos

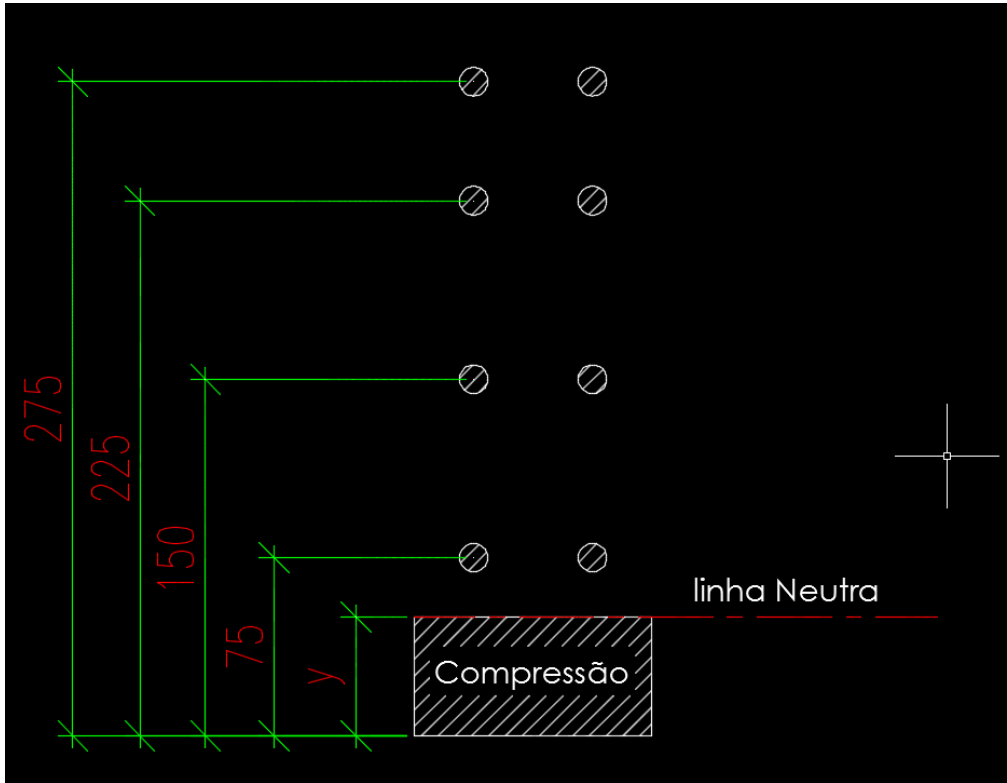
Seções	Momento estático	Seções	Momento estático
1. Rectângulo 	$S_x = \frac{bh^2}{2}$ $S_y = \frac{b^2h}{2}$	4. Meio-círculo 	$S_x = \frac{r^3}{1,5}$ $S_{x'} = -\frac{\pi r^2}{2} (a + 0,57759r)$
2. Triângulo 	$S_x = \frac{bh^2}{6}$ $S_{x'} = -\frac{bh^2}{3}$	5. Quarto de círculo 	$S_x = -\frac{r^3}{3}$ $S_{x'} = 0,45232 r^3$
3. Círculo 	$S_x = \frac{\pi d^3}{8}$ $S_{x'} = -\frac{\pi d^2}{4} (a + \frac{d}{2})$	6. Parábola 	$S_x = \frac{bh^2}{2,5}$ $S_{x'} = \frac{bh}{3} (a + \frac{h}{2,5})$

$$A_i = \pi \cdot \frac{D^2}{4} = 1,13 \text{ cm}^2 \quad 10 \cdot \frac{y^2}{2} = \sum 2 * 1,13 \cdot (7,5 - y) + 2 * 1,13(15 - y) + 2 * 1,13 \cdot (22,5 - y) + 2 * 1,13 \cdot (27,5 - y)$$

$$5y^2 = 2,26 \cdot 7,5 - 2,26y + 2,26 \cdot 15 - 2,26y + 2,26 \cdot 22,5 - 2,26y + 2,26 \cdot 27,5 - 2,26y$$

$$b \cdot \frac{y^2}{2} = \sum A_i (d_i - y) \quad 5y^2 + 9,04y - 163,85 = 0$$

Exercício 03



$$5y^2 + 9,04y - 163,85 = 0$$

$$y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$y = \frac{-9,04 \pm \sqrt{9,04^2 - 4 \cdot 5 \cdot (-163,85)}}{2 \cdot 5}$$

$$y = \frac{-9,04 \pm 57,95}{10}$$

$$y_1 = 4,89 \text{ cm}$$

$$y_2 = -6,7 \text{ cm}$$

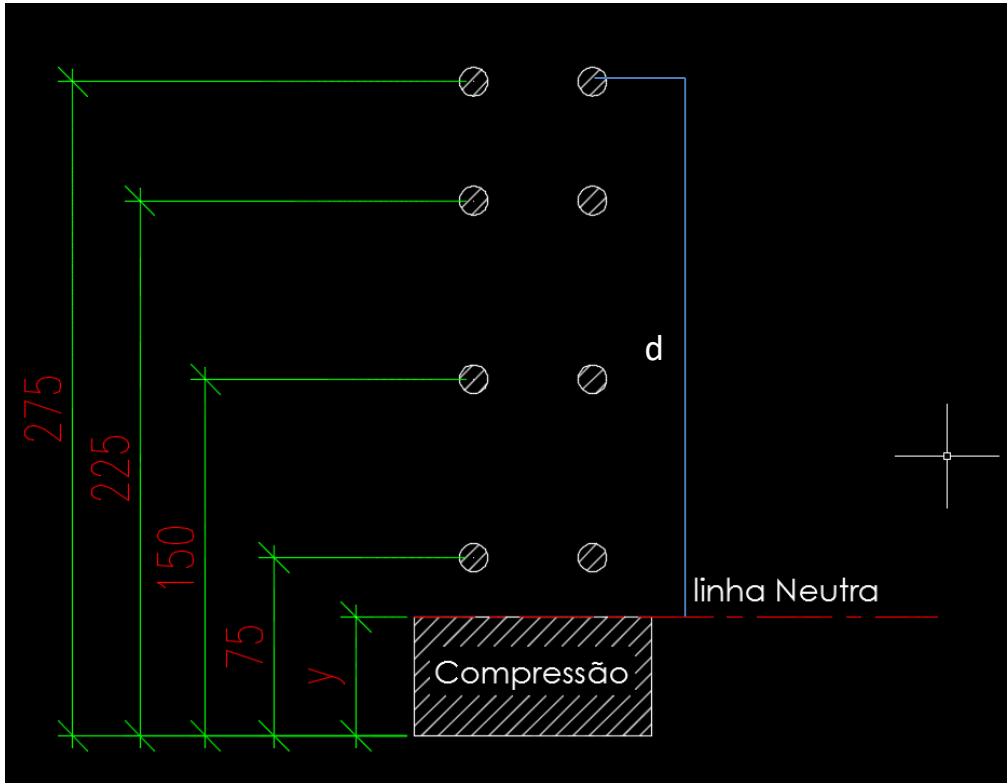
De posse de y , podemos calcular o Momento de inércia da seção

$$I = b \cdot \frac{y^3}{3} + \sum A_i \cdot (d_i - y)^2$$

$$I = 10 \cdot \frac{4,89^3}{3} + \sum .2 \cdot 1,13 [(7,5 - 4,89)^2 + (15 - 4,89)^2 + (22,5 - 4,89)^2 + (27,5 - 4,89)^2]$$

$$I = 389,76 + 2102,58 = 2492,34 \text{ cm}^4$$

Exercício 03



$$\sigma = \frac{M}{W}$$

$$W = \frac{I}{d} = \frac{2492,34}{27,5 - 4,89} = 110,2 \text{ cm}^3$$

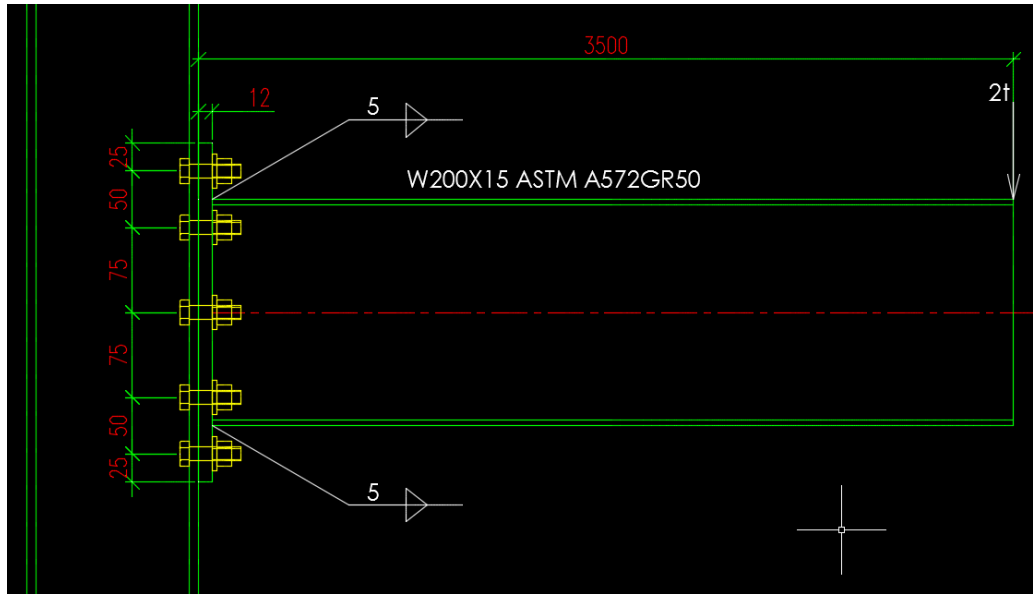
$$\sigma = \frac{7000}{110,2} = 63,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$F = \sigma \cdot A$$

$$F = 63,5 \cdot 1,13 = 71,75 \text{ kN}$$

Exercício 03



Resistência ao cisalhamento - Adotado ASTM A325

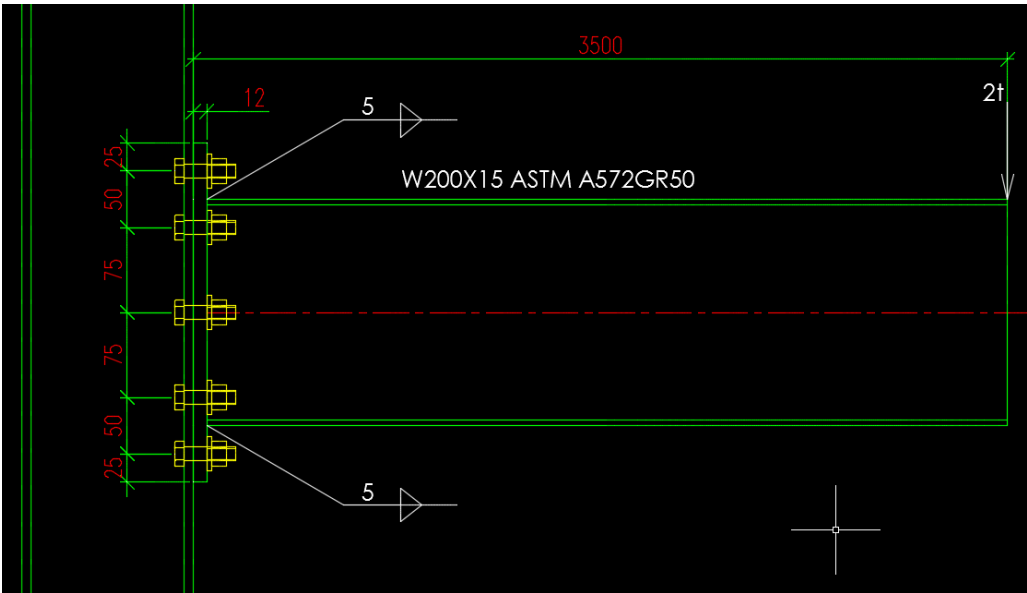
$$Frd = \frac{\theta \cdot A_b \cdot F_{ub}}{1,35} \quad Frd = \frac{0,4 \cdot (1,13) \cdot 82,5}{1,35} \quad Frd = 27,62 \text{ kN} > 2 \text{ kN OK}$$

sendo:

$\theta = 0,4$ se o cisalhamento é na rosca

$\theta = 0,5$ se o cisalhamento não é na rosca

Exercício 03



Resistência à tração

$$F_{rd} = \frac{0,75 \cdot A_b \cdot F_{ub}}{1,35}$$

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

$$F_{rd} = \frac{0,75 \cdot (1,13) \cdot 82,5}{1,35} = 51,79 < 71,75 \text{ Não passa}$$

$$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1,0 \quad \left(\frac{71,75}{51,79} \right)^2 + \left(\frac{2}{27,62} \right)^2 = 1,93 > 1 \text{ Não OK!}$$

$$D = \sqrt{1,27 \cdot \sqrt{\frac{11,39 \cdot 2^2 + 3,24 \cdot 71,75^2}{82,5^2}}} = 2,96 \text{ cm}$$

Refazer a conta, ou....

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Exercício 03

1			
2	NSd (Esforço Axial)	0	kN
3	Msd (Momento Fletor)	7000	kN.cm
4	Vsd (Esforço Cortante)	0	kN
5	A Largura da Chapa	100	mm
6	B (Altura da Chapa)	300	mm
7	Qtd de parafusos por linha	2	Unid

y (cm)	6,16
Momento Estático Superior	189,4
Momento Estático Inferior	189,4
Delta	0,0
Ix (cm4)	3953,3

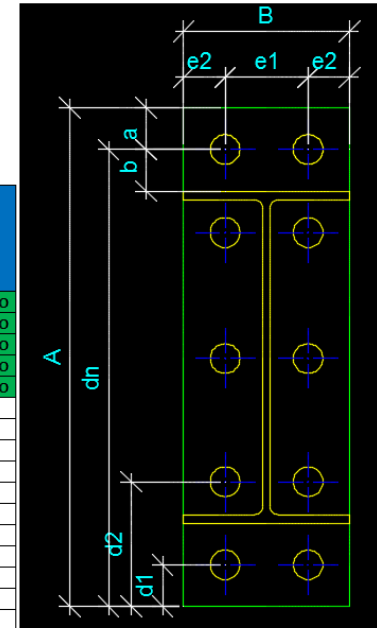
Calcular Y

Fy da Chapa	25	kN/cm ²
Espessura da Chapa	19,00	mm
e1	50	mm
e2	25,00	mm
a	25,00	mm
b	25,0	mm
db	15,87	mm

Calcular Chapa Mais Leve

a'	32,94
e1/2	25
b+0,5db	32,935
p	50,00
d'(mm)	17,47
delta	0,65
a(kN.cm)	102,56
alfa	0,38

APROVADO

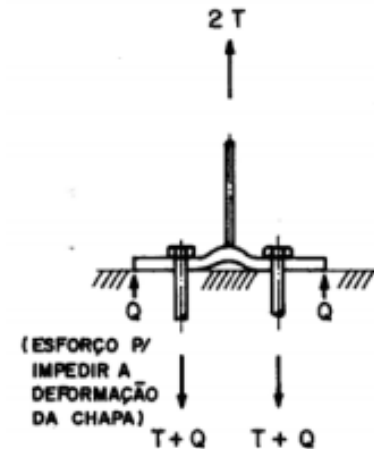
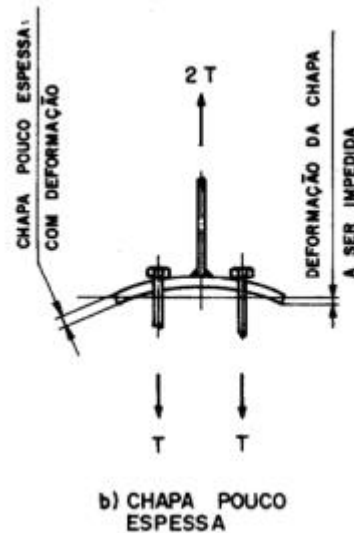
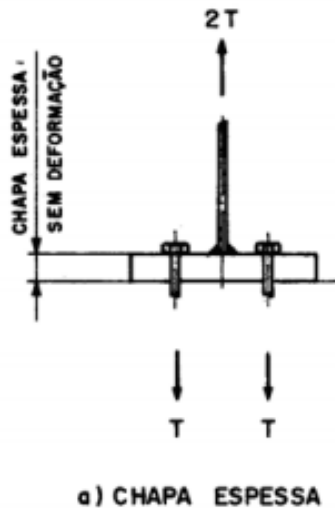


Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Technical drawing of a rectangular plate with dimensions and hole positions. The drawing shows a rectangular plate with overall dimensions A (height) and B (width). The plate features a central rectangular cutout with dimensions $d1$ (width) and $d2$ (height). There are eight circular holes arranged in two columns of four. The distance from the top edge to the center of the first row of holes is a . The distance from the left edge to the center of the first column of holes is b . The distance between the centers of the two columns of holes is $e1$. The distance from the right edge to the center of the first column of holes is $e2$. The distance from the bottom edge to the center of the first row of holes is $d1$. The distance from the left edge to the center of the first column of holes is $d2$. The plate is divided into three horizontal sections: a top section (green), a middle section (blue), and a bottom section (green). The top section contains two holes, the middle section contains four holes, and the bottom section contains two holes. The central cutout is located in the middle section.

Como Determinar a espessura da chapa?

Efeito Alavanca



Como Determinar a espessura da chapa?

Efeito Alavanca

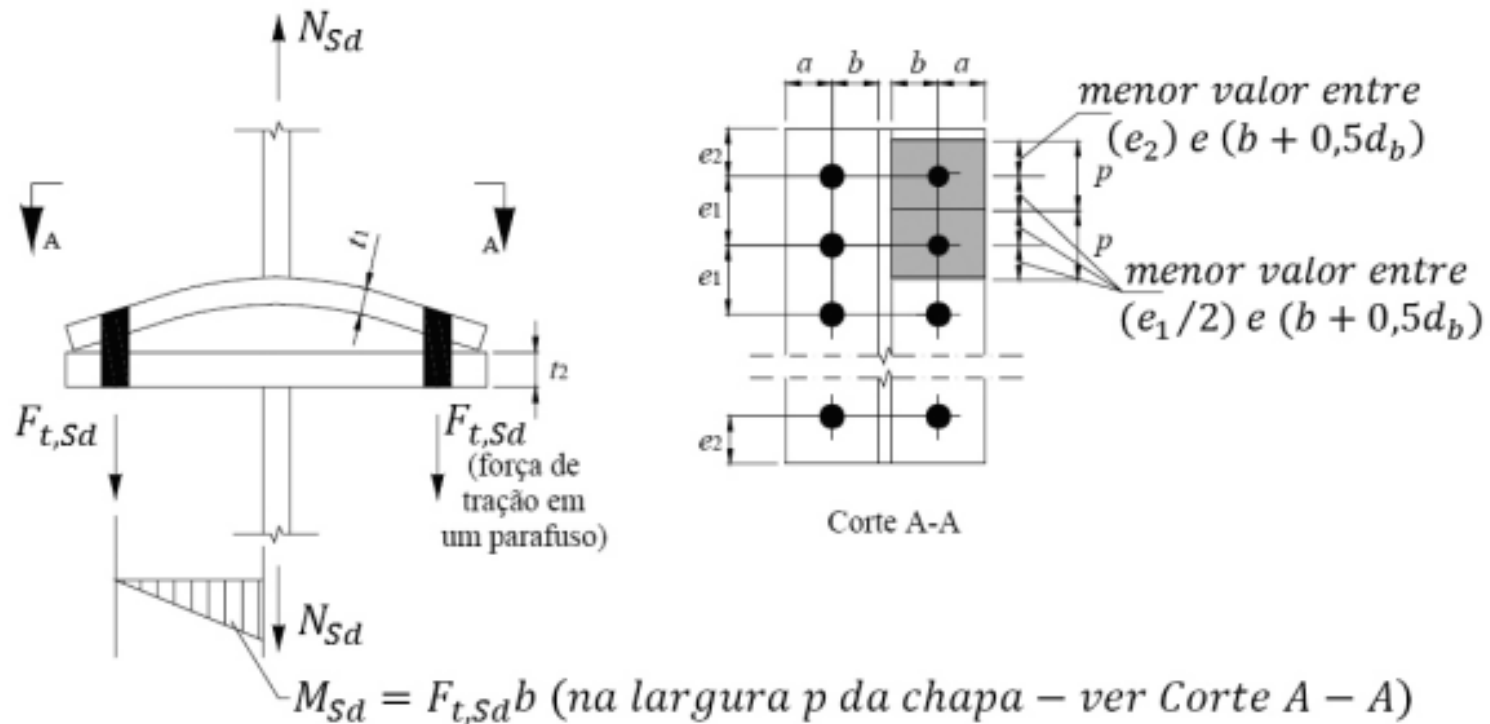


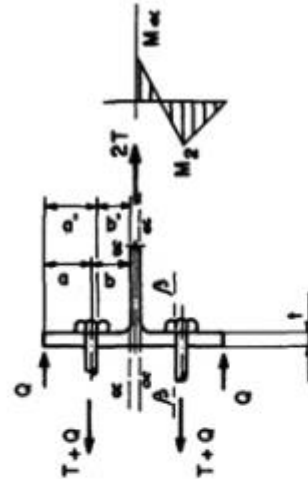
Figura 18 – Efeito alavanca.

Como Determinar a espessura da chapa?

Efeito Alavanca

$$M_{\alpha} = \frac{1,5 * p * t^2 * fy * 1,1}{6}$$

$$\alpha = \frac{T.b' - M_{\alpha}}{\delta M_{\alpha}}$$



$$Q = \frac{T.b' - \frac{p.t^2.fy}{5,33}}{a'}$$

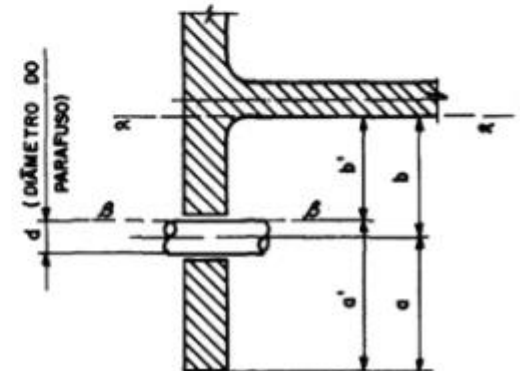
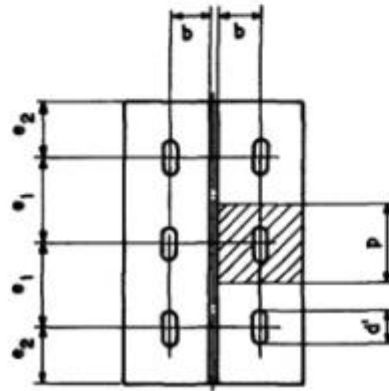
Se $\alpha < 0 \rightarrow$ Chapa grossa

Se $0 < \alpha < 1 \rightarrow$ Efeito Alavanca

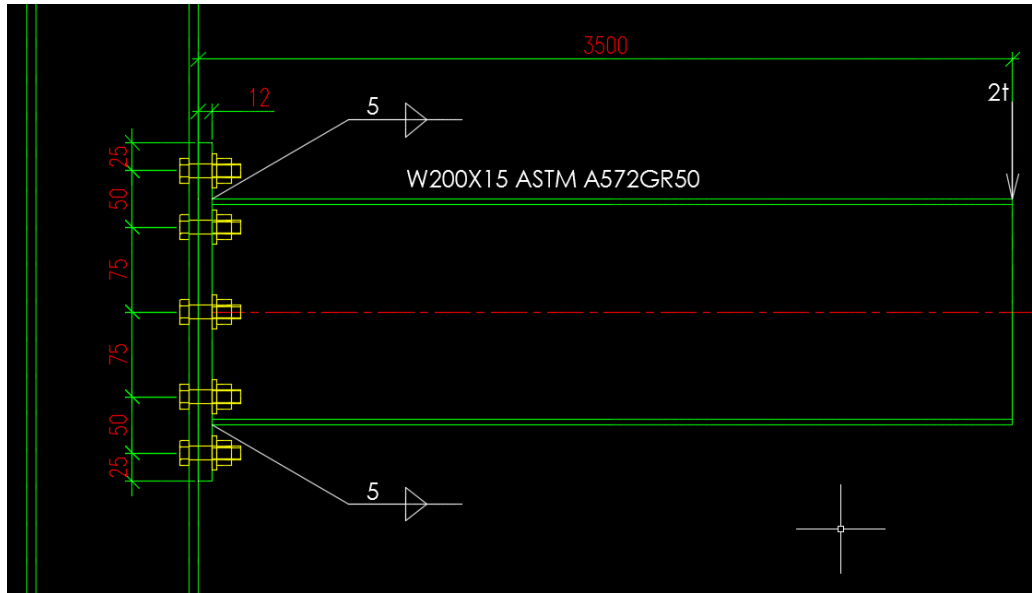
Uma tração adicional atuará no parafuso

Se $\alpha > 1 \rightarrow$ Chapa fina demais

Não atende ao esforço



Exercício 03

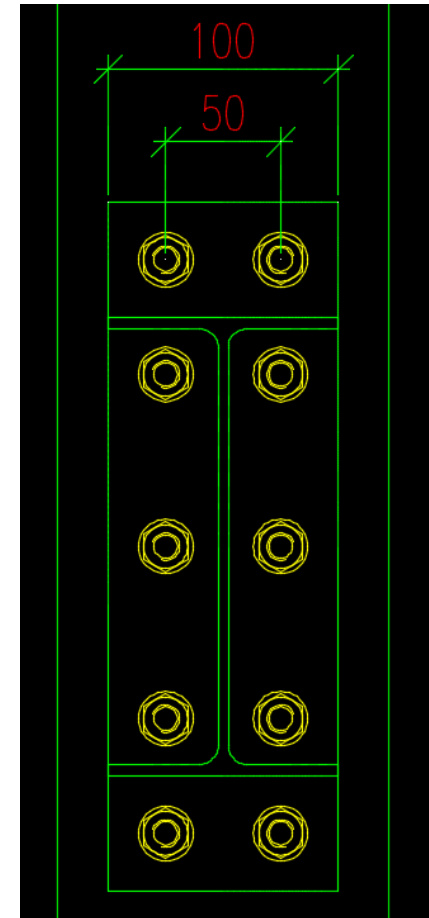


$$e_1 = 5cm \quad e_2 = 2,5cm \quad p = \frac{10}{2} = 5$$

$$a = 2,5cm \quad b = 2,5cm$$

$$a' = 2,5 + \frac{1,587}{2} + 0,15 = 3,44cm$$

$$b' = 2,5 - \frac{1,587}{2} - 0,15 = 1,56cm$$



Exercício 03

Tentativa 1: $t = 16\text{mm}$ $D = 15,87\text{mm}$

$$\frac{T \cdot b' - \frac{p \cdot t^2 \cdot F_y}{5,33}}{\left(\frac{5 - d'}{p}\right) \cdot \left(\frac{p \cdot t^2 \cdot F_y}{5,33}\right)} = \frac{74,76 \cdot 1,56 - \frac{5 \cdot 1,6^2 \cdot 25}{5,33}}{\left(\frac{5 - 1,8}{5}\right) \cdot \left(\frac{5 \cdot 1,6^2 \cdot 25}{5,33}\right)} = 1,47 - \text{Chapa Fina}$$

Tentativa 2: $t = 19\text{mm}$ $D = 15,87\text{mm}$

$$\frac{T \cdot b' - \frac{p \cdot t^2 \cdot F_y}{5,33}}{\left(\frac{5 - d'}{p}\right) \cdot \left(\frac{p \cdot t^2 \cdot F_y}{5,33}\right)} = \frac{74,76 \cdot 1,56 - \frac{5 \cdot 1,9^2 \cdot 25}{5,33}}{\left(\frac{5 - 1,8}{5}\right) \cdot \left(\frac{5 \cdot 1,9^2 \cdot 25}{5,33}\right)} = 0,58 - \text{Chapa OK, Efeito alavanca}$$

$$Q = \frac{T \cdot b' - \frac{p \cdot t^2 \cdot f_y}{5,33}}{a'} \quad Q = \frac{74,76 \cdot 1,56 - \frac{5 \cdot 1,9^2 \cdot 25}{5,33}}{3,44} = 9,29 \text{ kN}$$

$$Trd = \frac{0,75 \cdot (\pi \cdot 1,587^2) \cdot 82,5}{4 \cdot 1,35} = 90,66 > 74,76 + 9,29 = 84,05 \text{ OK!}$$

$$Vrd = \frac{0,4 \cdot (\pi \cdot 1,587^2) \cdot 82,5}{4 \cdot 1,35} \quad Vrd = 48,35 > 2 \text{ OK!} \quad \left(\frac{84,05}{90,66}\right)^2 + \left(\frac{2}{48,35}\right)^2 = 0,86 < 1 \text{ OK!}$$

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Bases engastadas a Momento Fletor e compressão

$$\sigma_c = \frac{N_{sd}}{A \cdot B} + \frac{M_{sd}}{W} \rightarrow \frac{N_{sd}}{A \cdot B} + \frac{6 \cdot M_{sd}}{B \cdot A^2}$$

$$\sigma_c = \frac{0}{10 \cdot 30} + \frac{6 \cdot 7000}{10 \cdot 30^2} = 4,66 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{N_{sd}}{A \cdot B} - \frac{M_{sd}}{W} \rightarrow \frac{N_{sd}}{A \cdot B} - \frac{6 \cdot M_{sd}}{B \cdot A^2}$$

$$\sigma_t = \frac{0}{10 \cdot 30^2} - \frac{6 \cdot 7000}{10 \cdot 30^2} = -4,66 \text{ kN/cm}^2$$

Tração nos chumbadores:

$$c = \frac{\sigma_c \cdot A}{\sigma_c + \sigma_t} = \frac{4,66 \cdot 30}{4,66 + 4,66} = 15 \text{ cm}$$

$$Y = A - d - \frac{c}{3} = 30 - 5 - \frac{15}{3} = 20 \text{ cm}$$

$$T = \frac{M_{sd} - N_{sd} \cdot a}{Y} = \frac{7000 - 0}{20} = 350 \text{ kN}$$

$$T = \frac{350}{4} = 87,5 \text{ kN por chumbador tracionado}$$

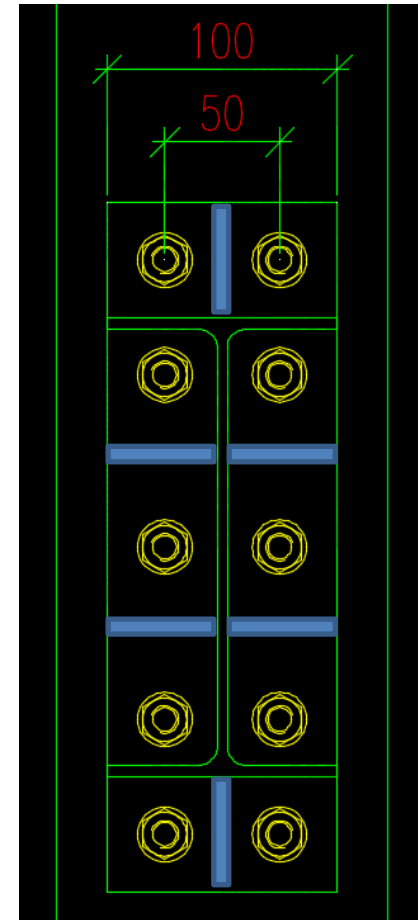
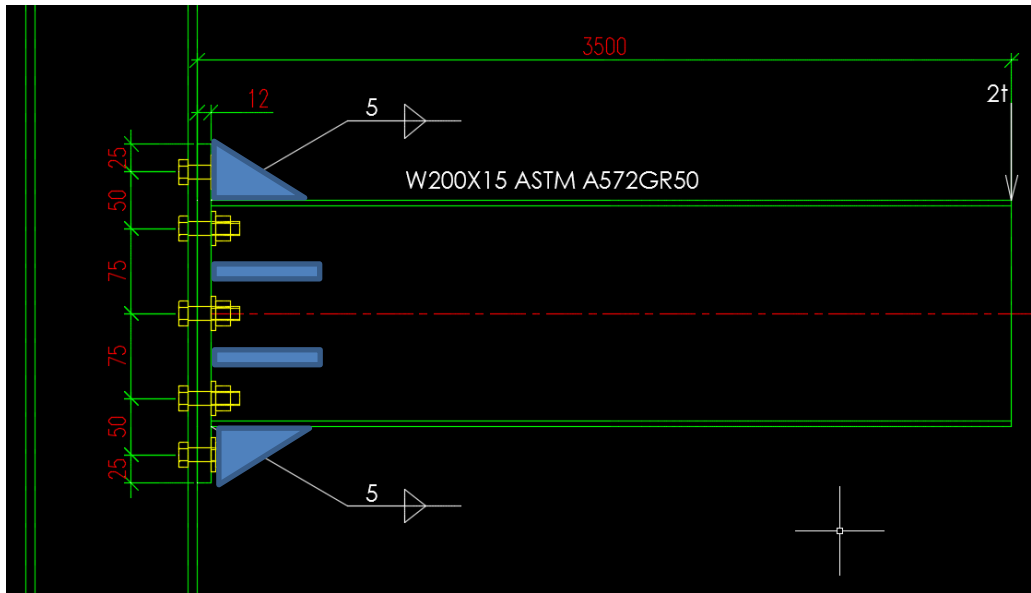
$$M_{ch} = \frac{\sigma_c \cdot f^2}{2} = \frac{4,66 \cdot 5^2}{2} = 58,25 \text{ kN.cm}$$

$$t = 2,10 \cdot \sqrt{\frac{58,25}{25}} = 3,2 \text{ cm} \approx 1.1/4''$$

$$d_p = \sqrt{1,27 \cdot \sqrt{\frac{11,39 \cdot V_{sd}^2 + 3,24 \cdot N_{sd}^2}{Fu^2}}} \rightarrow$$

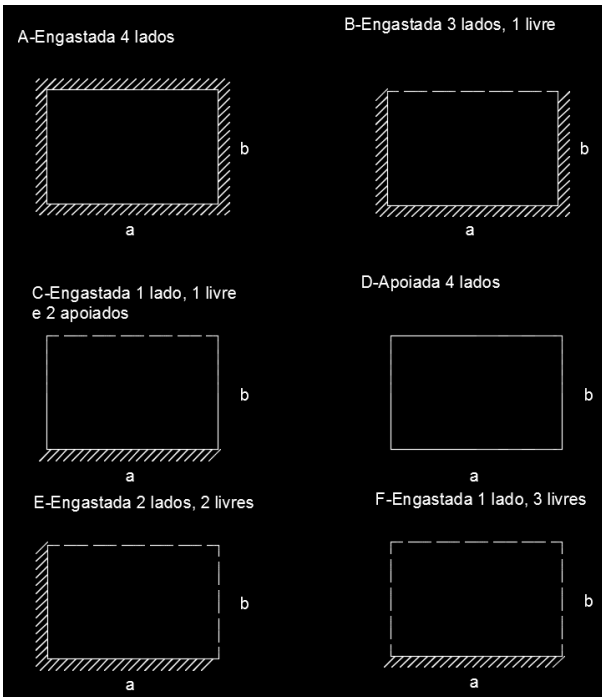
$$d_p = \sqrt{1,27 \cdot \sqrt{\frac{11,39 \cdot 2^2 + 3,24 \cdot 87,5^2}{82,5^2}}} \rightarrow 1,55 \text{ cm} \approx 16 \text{ mm}$$

Pelo método da placa de base



Exercício 03

Extraído do livro "Formulas for Stress and Strain, 5ª Edição" - Roark, R.J & Young, C.W



Vinculação A						
a/b	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
β	0,31	0,38	0,44	0,47	0,49	0,52

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

Vinculação C						
a/b	0,5	0,67	1	1,5	2	infinito
β	0,36	0,45	0,67	0,77	0,79	0,8

Vinculação D							
a/b	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3
β	0,05	0,19	0,39	0,67	1,28	1,8	2,5

Vinculação E							
a/b	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3
β	0,29	0,38	0,45	0,52	0,57	0,61	0,71

Vinculação F						
a/b	0,125	0,25	0,375	0,5	0,75	1
β	0,05	0,19	0,4	0,63	1,25	1,8

Verificação Parte inferior

$$\frac{a}{b} = \frac{5}{5} = 1 \quad t = b \cdot \sqrt{\frac{\beta \cdot \sigma_c}{1,35 \cdot F_y}} \quad t = 5 \cdot \sqrt{\frac{0,29 \cdot 4,66}{1,35 \cdot 25}} = 1 \text{ cm}$$

Central

$$\frac{4,66}{15} = \frac{\sigma_c}{10} \rightarrow \sigma_c = 3,04 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{a}{b} = \frac{6,67}{5} = 1,33 \approx 1,5 \quad t = 5 \cdot \sqrt{\frac{0,73 \cdot 3,04}{1,35 \cdot 25}} = 1,27 \text{ cm} \approx \text{Adotar } 1/2''$$

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Exercício 03

Verificação dos enrijecedores

$$M_{ch} = \frac{\sigma_c \cdot b \cdot a^2}{2} \qquad M_{ch} = \frac{4,66 \cdot 5 \cdot 5^2}{2} = 291,25 \text{ kN.cm}$$

Supondo que tenhamos disponíveis apenas chapas de 4,76mm:

$$h = \sqrt{\frac{6,6 \cdot M_{ch}}{t \cdot F_y}} = \sqrt{\frac{6,6 \cdot 291,5}{0,476 \cdot 25}} = 12,7 \text{ cm}$$

$$M_{ch} = \frac{\sigma_c \cdot b \cdot a^2}{2} \qquad M_{ch} = \frac{3,04 \cdot 6,67 \cdot 5^2}{2} = 253,43 \text{ kN.cm}$$

$$h = \sqrt{\frac{6,6 \cdot M_{ch}}{t \cdot F_y}} = \sqrt{\frac{6,6 \cdot 253,43}{0,476 \cdot 25}} = 11,85 \text{ cm} \text{ --- Adotar } 127 \text{ mm}$$