

# Dimensionamento de peças tracionadas

*Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas*

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

## 5.2.2 Força axial resistente de cálculo

A força axial de tração resistente de cálculo,  $N_{t,Rd}$ , a ser usada no dimensionamento, exceto para barras redondas com extremidades rosqueadas e barras ligadas por pinos, é o menor dos valores obtidos, considerando-se os estados-limites últimos de escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida, de acordo com as expressões indicadas a seguir:

a) para escoamento da seção bruta

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

b) para ruptura da seção líquida

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}}$$

onde:

$A_g$  é a área bruta da seção transversal da barra;

$A_e$  é a área líquida efetiva da seção transversal da barra, determinada conforme 5.2.3;

$f_y$  é a resistência ao escoamento do aço;

$f_u$  é a resistência à ruptura do aço.

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

## 5.2.7 Barras redondas com extremidades rosqueadas

A força axial de tração resistente de cálculo,  $N_{t,Rd}$ , das barras redondas com extremidades rosqueadas, é o menor dos valores, considerando os estados-limites últimos de escoamento da seção bruta e de ruptura da parte rosqueada. Tais valores devem ser obtidos de acordo com 5.2.2a) e 6.3.3.1, respectivamente.

## 5.2.8 Limitação do índice de esbeltez

**5.2.8.1** Recomenda-se que o índice de esbeltez das barras tracionadas, tomado como a maior relação entre o comprimento destravado e o raio de giração correspondente ( $L/r$ ), excetuando-se tirantes de barras redondas pré-tensionadas ou outras barras que tenham sido montadas com pré-tensão, não supere 300 (ver 5.2.8.3).

**5.2.8.2** Recomenda-se que perfis ou chapas, separados uns dos outros por uma distância igual à espessura de chapas espaçadoras, sejam interligados através dessas chapas espaçadoras, de modo que o maior índice de esbeltez de qualquer perfil ou chapa, entre essas ligações, não ultrapasse 300, conforme exemplifica a Figura 10 (ver 5.2.8.3).

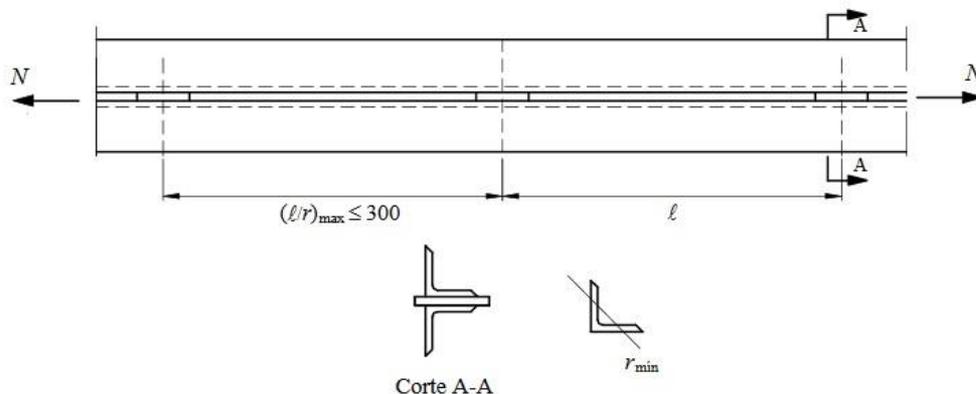
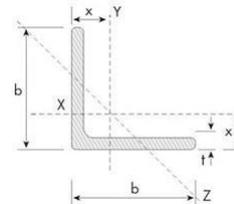
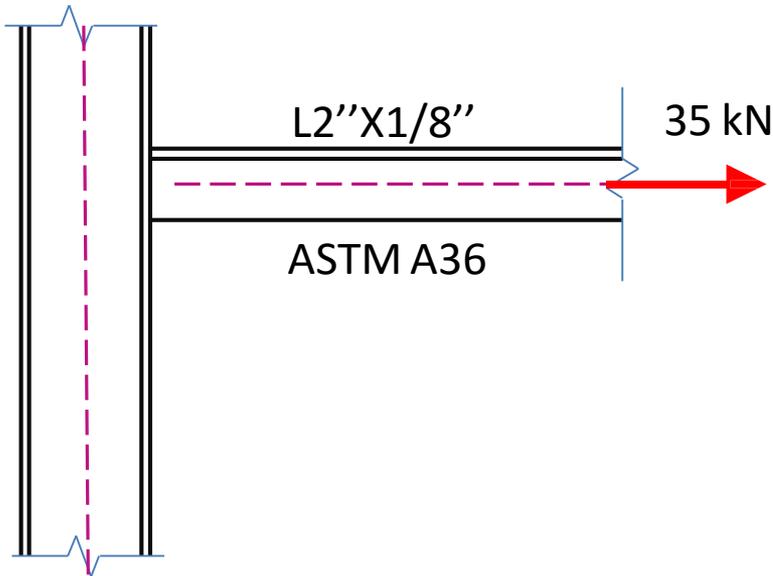


Figura 10 — Barra composta tracionada

**5.2.8.3** No caso das recomendações de 5.2.8.1 ou 5.2.8.2 não serem adotadas, o responsável técnico pelo projeto estrutural deve estabelecer novos limites para garantir que as barras tracionadas tenham um comportamento adequado em condições de serviço.

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



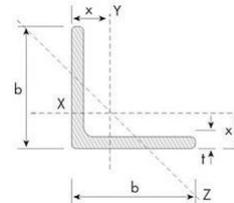
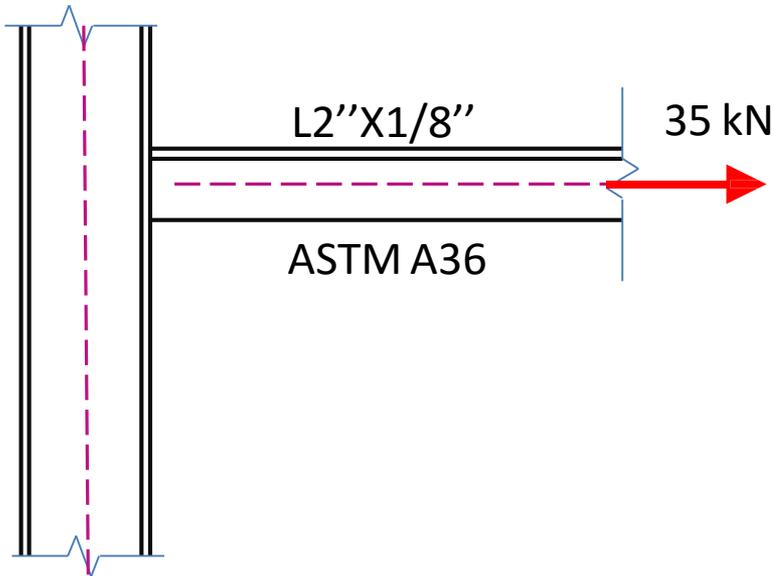
**Passo 1: extrair propriedades necessárias**

Área da seção transversal ( $A_g$ ) = 3,10 cm<sup>2</sup>

$F_y$  = 25 kN/cm<sup>2</sup> (ASTM A 36)

bf	Peso Nominal	tf	Área	Jx=Jy	Wx=Wy	rx=ry	rz mín.	x		
pol	mm	Kg/m	pol	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm	
5/8"	15,880	0,57		0,250						
3/4"	19,050	0,71		0,250						
1/2"	12,700	0,55	1/8"	0,317	0,70	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	15,880	0,71	1/8"	0,317	0,90	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	19,050	0,87	1/8"	0,317	1,11	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	22,200	1,04	1/8"	0,317	1,32	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
1"	25,400	1,19	1/8"	0,317	1,48	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
		1,73	3/16"	0,476	2,19	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	1/4"	0,635	2,84	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
1.1/4"	31,750	1,50	1/8"	0,317	1,93	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
		2,20	3/16"	0,476	2,77	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	1/4"	0,635	3,62	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
1.1/2"	38,100	1,83	1/8"	0,317	2,32	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3/16"	0,476	3,42	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	1/4"	0,635	4,45	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
1.3/4"	44,450	2,14	1/8"	0,317	2,71	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	3/16"	0,476	4,00	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	1/4"	0,635	5,22	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
2"		2,46	1/8"	0,317	3,10	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	3/16"	0,476	4,58	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	1/4"	0,635	6,06	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	5/16"	0,794	7,42	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
		6,99	3/8"	0,952	8,76	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63
2.1/2"	63,500	4,57	3/16"	0,476	5,80	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
		6,10	1/4"	0,635	7,67	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	5/16"	0,794	9,48	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
		8,78	3/8"	0,952	11,16	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
3"	76,200	5,52	3/16"	0,476	7,03	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
		7,29	1/4"	0,635	9,29	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	5/16"	0,794	11,48	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
		10,71	3/8"	0,952	13,61	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
	14,00	1/2"	1,270	17,74	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36	
3.1/2"	88,900	8,56	1/4"	0,635	10,90	83,70	13,00	2,77	1,76	2,46
		10,59	5/16"	0,794	13,50	102,00	16,00	2,75	1,75	2,52
		12,58	3/8"	0,952	16,00	121,00	19,20	2,75	1,75	2,58
4"	101,600	9,81	1/4"	0,635	12,51	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
		12,19	5/16"	0,794	15,48	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	3/8"	0,952	18,45	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	7/16"	1,111	21,35	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	1/2"	1,270	24,19	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00
5"	127,000	12,34	1/4"	0,635	15,73	251,63	27,09	4,00	2,53	3,41
		15,31	5/16"	0,794	19,50	308,00	33,40	3,97	2,53	3,47
		18,30	3/8"	0,952	23,29	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53
		24,10	1/2"	1,270	30,64	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63
		29,80	5/8"	1,588	37,80	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76
	23,52	7/16"	1,111	26,96	416,68	45,71	3,93	2,50	3,58	
6"	152,400	22,20	3/8"	0,952	28,10	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17
		29,20	1/2"	1,270	37,09	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27
		36,00	5/8"	1,588	45,86	1.007,00	93,50	4,67	2,97	4,39
		42,70	3/4"	1,905	54,44	1.173,00	109,90	4,65	2,97	4,52
8"	203,200	48,70	5/8"	1,588	62,90	2.472,40	168,90	6,31	4,01	5,66
		57,90	3/4"	1,905	73,81	2.901,10	199,90	6,27	3,99	5,79

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



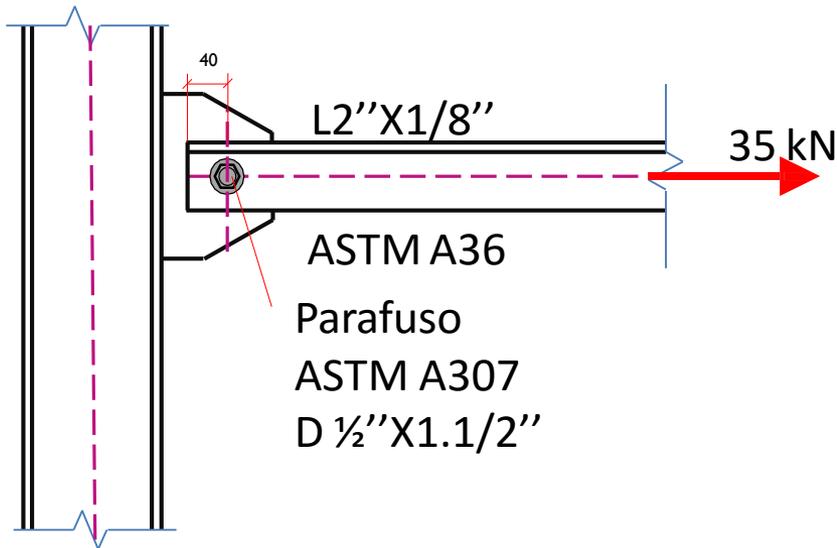
**Passo 2: por se tratar de verificação de resistência de perfil à tração, sem furos, verifica-se o escoamento na seção bruta**

$$N_t, R_d = \frac{A_g \cdot F_y}{\gamma_1} = \frac{3,10 \cdot 25}{1,1} = 70,45 \text{ kN} > 35 \text{ kN} \text{ OK!}$$

**Perfil está sendo submetido a 50% de sua capacidade nominal de projeto**

pol	bf	mm	Peso Nominal Kg/m	pol	tf	cm	Área cm²	Jx=Jy cm⁴	Wx=Wy cm³	rx=ry cm	rz mín. cm	x cm
5/8"	15,880	0,57		0,250								
3/4"	19,050	0,71		0,250								
1/2"	12,700	0,55	1/8"	0,317	0,70	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43		
5/8"	15,880	0,71	1/8"	0,317	0,90	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51		
3/4"	19,050	0,87	1/8"	0,317	1,11	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59		
7/8"	22,200	1,04	1/8"	0,317	1,32	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66		
1"	25,400	1,19	1/8"	0,317	1,48	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76		
		1,73	3/16"	0,476	2,19	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81		
		2,22	1/4"	0,635	2,84	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86		
1.1/4"	31,750	1,50	1/8"	0,317	1,93	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89		
		2,20	3/16"	0,476	2,77	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97		
		2,86	1/4"	0,635	3,62	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02		
1.1/2"	38,100	1,83	1/8"	0,317	2,32	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07		
		2,68	3/16"	0,476	3,42	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12		
		3,48	1/4"	0,635	4,45	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19		
1.3/4"	44,450	2,14	1/8"	0,317	2,71	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22		
		3,15	3/16"	0,476	4,00	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30		
		4,12	1/4"	0,635	5,22	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35		
2"	50,800	2,46	1/8"	0,317	3,10	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40		
		3,63	3/16"	0,476	4,58	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45		
		4,74	1/4"	0,635	6,06	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50		
		5,83	5/16"	0,794	7,42	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55		
		6,99	3/8"	0,952	8,76	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63		
2.1/2"	63,500	4,57	3/16"	0,476	5,80	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75		
		6,10	1/4"	0,635	7,67	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83		
		7,44	5/16"	0,794	9,48	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88		
		8,78	3/8"	0,952	11,16	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93		
3"	76,200	5,52	3/16"	0,476	7,03	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08		
		7,29	1/4"	0,635	9,29	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13		
		9,07	5/16"	0,794	11,48	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21		
		10,71	3/8"	0,952	13,61	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26		
		14,00	1/2"	1,270	17,74	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36		
3.1/2"	88,900	8,56	1/4"	0,635	10,90	83,70	13,00	2,77	1,76	2,46		
		10,59	5/16"	0,794	13,50	102,00	16,00	2,75	1,75	2,52		
		12,58	3/8"	0,952	16,00	121,00	19,20	2,75	1,75	2,58		
4"	101,600	9,81	1/4"	0,635	12,51	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77		
		12,19	5/16"	0,794	15,48	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84		
		14,57	3/8"	0,952	18,45	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90		
		16,80	7/16"	1,111	21,35	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95		
		19,03	1/2"	1,270	24,19	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00		
5"	127,000	12,34	1/4"	0,635	15,73	251,63	27,09	4,00	2,53	3,41		
		15,31	5/16"	0,794	19,50	308,00	33,40	3,97	2,53	3,47		
		18,30	3/8"	0,952	23,29	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53		
		24,10	1/2"	1,270	30,64	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63		
		29,80	5/8"	1,588	37,80	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76		
23,52	7/16"	1,111	26,96	416,68	45,71	3,93	2,50	3,58				
6"	152,400	22,20	3/8"	0,952	28,10	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17		
		29,20	1/2"	1,270	37,09	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27		
		36,00	5/8"	1,588	45,86	1.007,00	93,50	4,67	2,97	4,39		
		42,70	3/4"	1,905	54,44	1.173,00	109,90	4,65	2,97	4,52		
8"	203,200	48,70	5/8"	1,588	62,90	2.472,40	168,90	6,31	4,01	5,66		
		57,90	3/4"	1,905	73,81	2.901,10	199,90	6,27	3,99	5,79		

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Nesse caso devemos calcular a área efetiva da peça.

Subtrai-se da área bruta o diâmetro de todos os furos padrão + 2mm multiplicados pela espessura

Tabela 12 — Dimensões máximas de furos para parafusos e barras redondas rosqueadas

	Diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada $d_b$	Diâmetro do furo-padrão	Diâmetro do furo alargado	Dimensões do furo pouco alongado	Dimensões do furo muito alongado
Dimensões em milímetros	$\leq 24$	$d_b + 1,5$	$d_b + 5$	$(d_b + 1,5) \times (d_b + 6)$	$(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$
	27	28,5	33	28,5 $\times$ 35	28,5 $\times$ 67,5
	$\geq 30$	$d_b + 1,5$	$d_b + 8$	$(d_b + 1,5) \times (d_b + 9,5)$	$(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$
Dimensões em polegadas	$\leq 7/8$	$d_b + 1/16$	$d_b + 3/16$	$(d_b + 1/16) \times (d_b + 1/4)$	$(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$
	1	1 1/16	1 1/4	1 1/16 $\times$ 1 5/16	1 1/16 $\times$ 2 1/2
	$\geq 1 1/8$	$d_b + 1/16$	$d_b + 5/16$	$(d_b + 1/16) \times (d_b + 3/8)$	$(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$

$$d' = 12,7 + 1,5 + 2,00 = 16,2mm$$

$$A_n = A_g - d' \cdot t$$

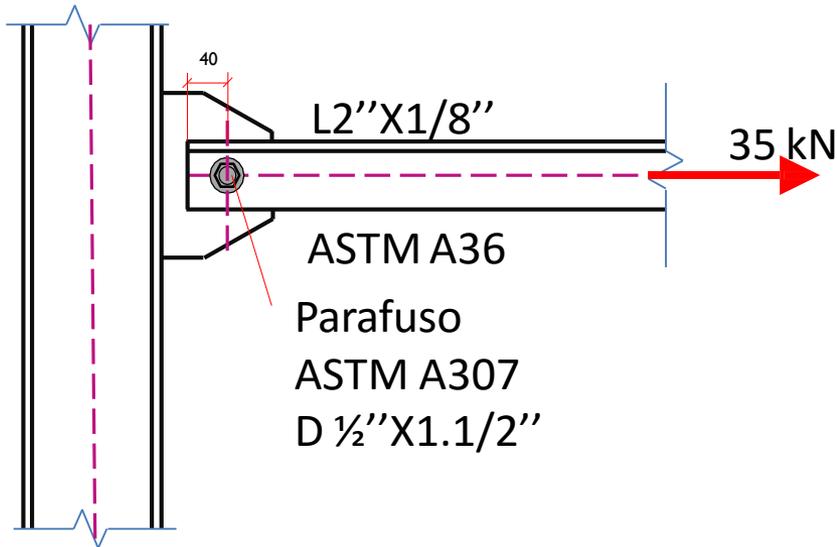
$$A_n = 3,10 - 1,62 \cdot 0,318$$

$$A_n = 3,10 - 1,62 \cdot 0,318$$

$$A_n = 3,10 - 0,5152$$

$$A_n = 2,58cm^2$$

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Quando há furos, fazemos duas verificações, uma para a região dos furos (à ruptura) e outra para a região sem furos (ao escoamento)

Seleciona-se o valor mais crítico

Verificação da seção líquida à ruptura

$$N_t, R_d = \frac{A_n \cdot F_u}{\gamma_2} = \frac{2,58 \cdot 40}{1,35} = 76,44 \text{ kN} > 35 \text{ kN} \text{ OK!}$$

Verificação da seção bruta ao escoamento

$$N_t, R_d = \frac{A_g \cdot F_y}{\gamma_1} = \frac{3,10 \cdot 25}{1,1} = 70,45 \text{ kN} > 35 \text{ kN} \text{ OK!}$$

## LEMBRETE

Tabela 3 — Valores dos coeficientes de ponderação das resistências  $\gamma_m$

Combinações	Aço estrutural <sup>a</sup>		Concreto $\gamma_c$	Aço das armaduras $\gamma_s$
	$\gamma_a$			
	Escoamento, flambagem e instabilidade $\gamma_{a1}$	Ruptura $\gamma_{a2}$		
Normais	1,10	1,35	1,40	1,15
Especiais ou de construção	1,10	1,35	1,20	1,15
Excepcionais	1,00	1,15	1,20	1,00

<sup>a</sup> Inclui o aço de fôrma incorporada, usado nas lajes mistas de aço e concreto, de pinos e parafusos.

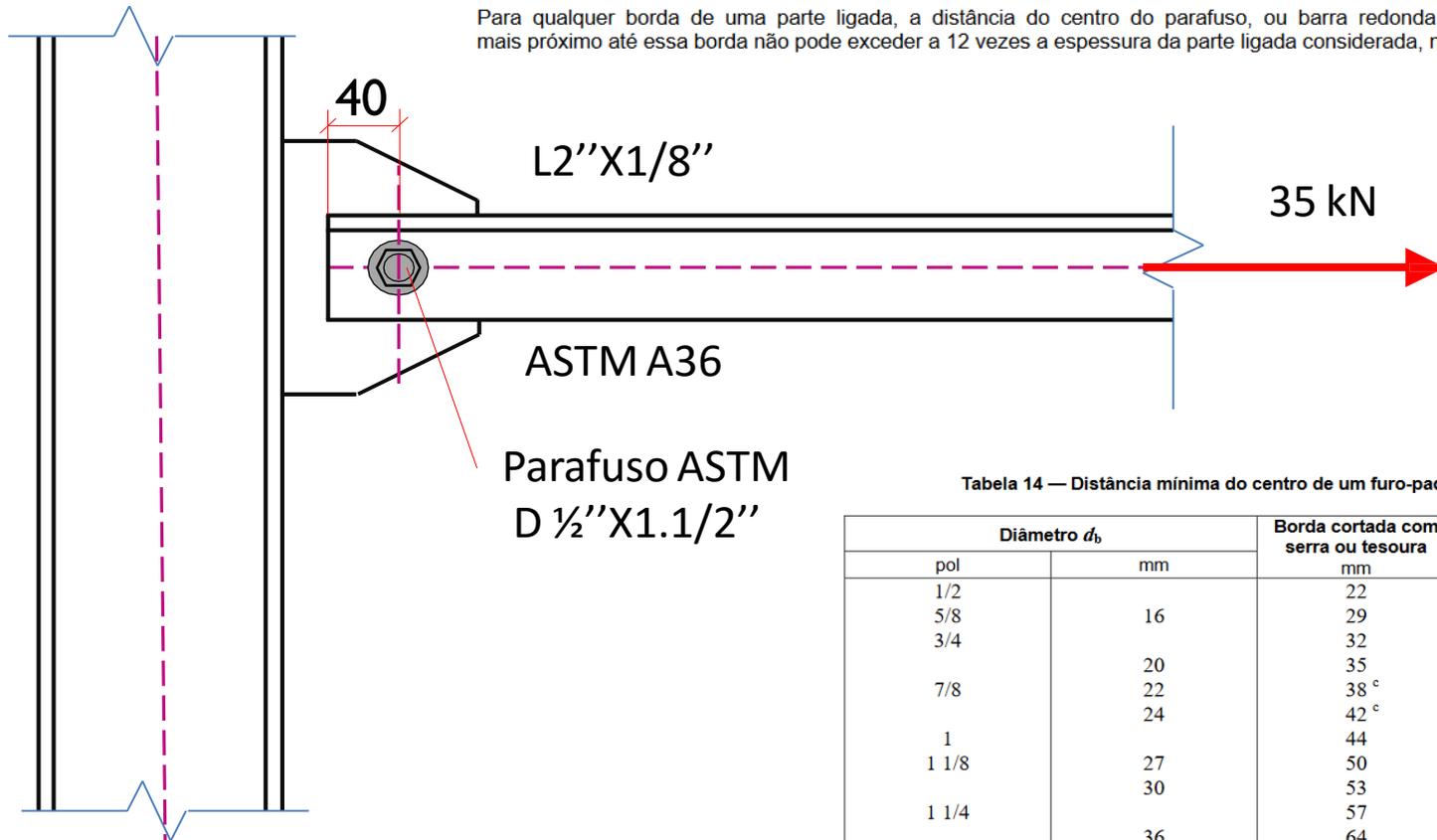
Valor crítico (Resistência nominal do perfil à tração)

*Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas*

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

## 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 à essa borda não pode exceder a 12 vezes a espessura da parte ligada considerada, nem 150 mm.



Distância máxima:  $12 \times 3,18 = 38,16 \text{ mm} \sim 40 \text{ mm}$  - pode se considerar OK

Tabela 14 — Distância mínima do centro de um furo-padrão à borda <sup>a)</sup>

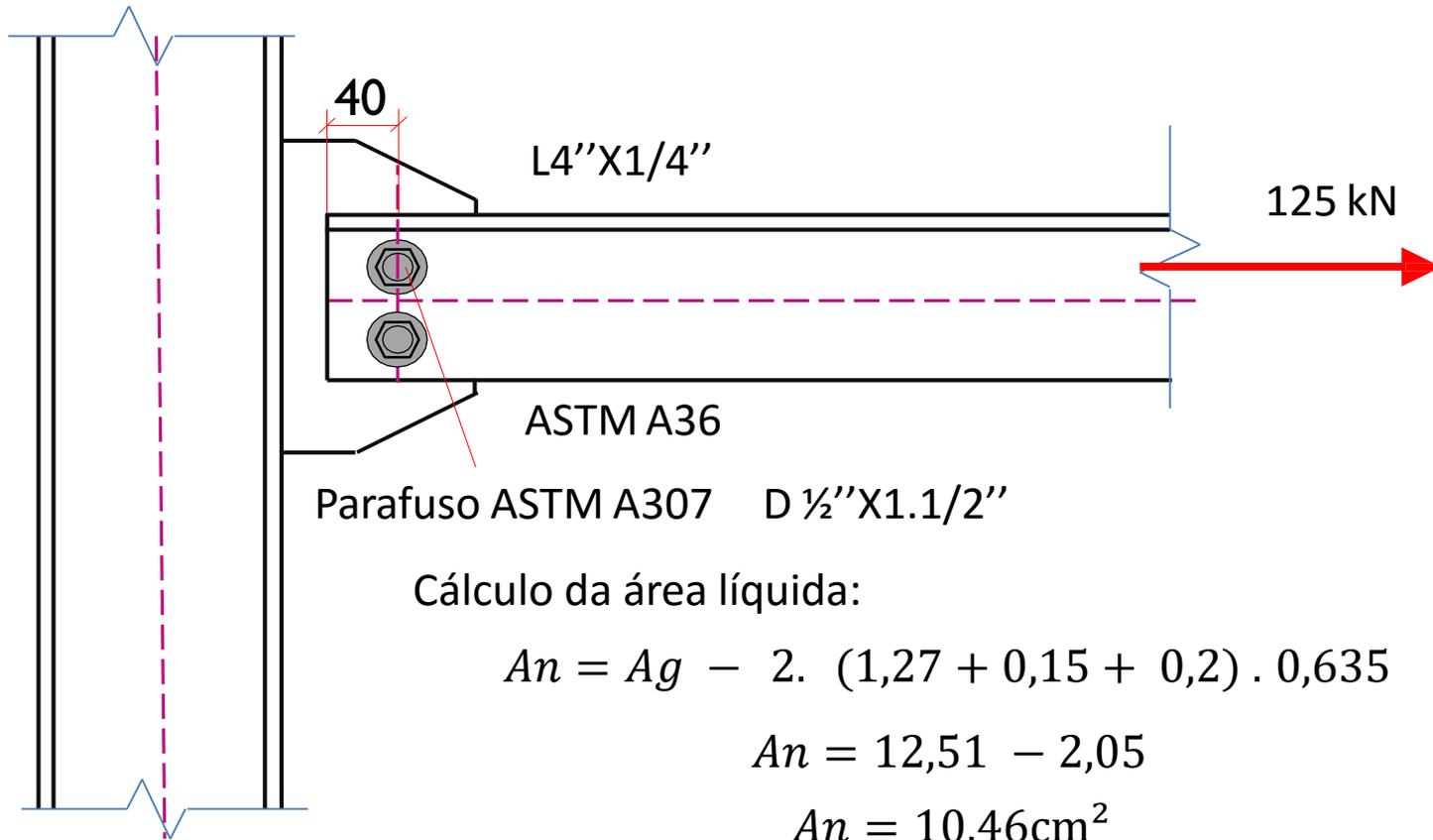
Diâmetro $d_b$		Borda cortada com serra ou tesoura mm	Borda laminada ou cortada a maçarico <sup>b)</sup> mm
pol	mm		
1/2		22	19
5/8	16	29	22
3/4		32	26
	20	35	27
7/8	22	38 <sup>c)</sup>	29
	24	42 <sup>c)</sup>	31
1		44	32
1 1/8	27	50	38
	30	53	39
1 1/4		57	42
	36	64	46
> 1 1/4	> 36	$1,75 d_b$	$1,25 d_b$

<sup>a)</sup> São permitidas distâncias inferiores às desta Tabela, desde que a equação aplicável de 6.3.3.3 seja satisfeita.

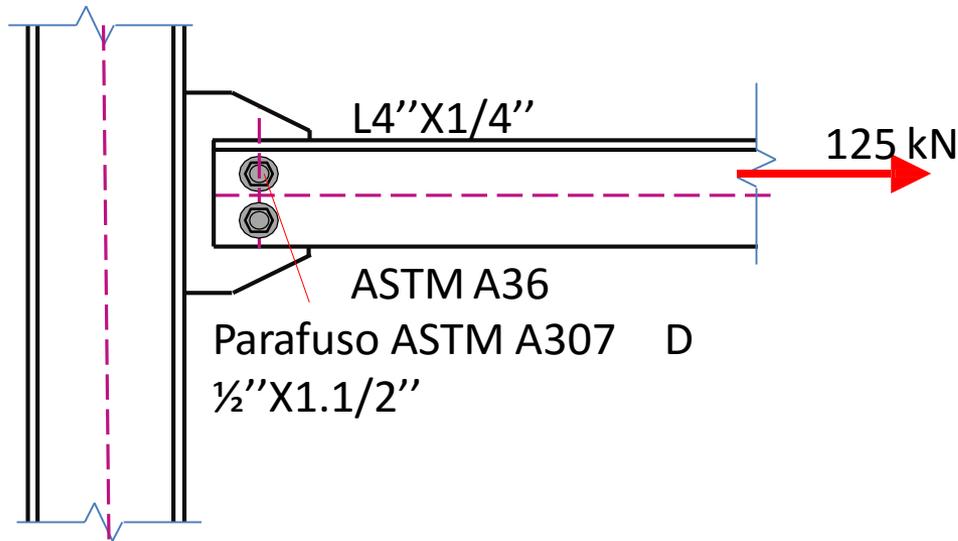
<sup>b)</sup> Nesta coluna, as distâncias podem ser reduzidas de 3 mm, quando o furo está em um ponto onde a força solicitante de cálculo não exceda 25 % da força resistente de cálculo.

<sup>c)</sup> Nas extremidades de cantoneiras de ligação de vigas e de chapas de extremidade para ligações flexíveis, esta distância pode ser igual a 32 mm.

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Verificação da seção líquida à ruptura

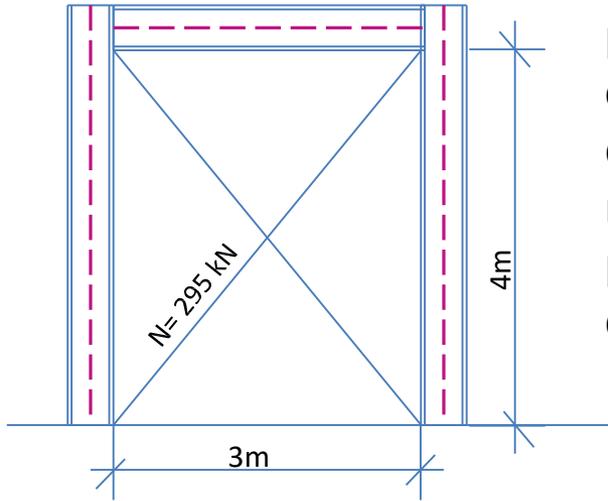
$$N_t, R_d = \frac{A_n \cdot F_u}{\gamma_2} = \frac{10,46 \cdot 40}{1,35} = 309,92 \text{ kN} > 125 \text{ kN} \text{ OK!}$$

Verificação da seção bruta ao escoamento

$$N_t, R_d = \frac{A_g \cdot F_y}{\gamma_1} = \frac{12,51 \cdot 25}{1,1} = 284,3 \text{ kN} > 125 \text{ kN} \text{ OK!}$$

Valor crítico (Resistência nominal do perfil à tração)

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Selecionar um perfil de cantoneira laminada adequado para suportar o esforço de tração de um pórtico contraventado conforme a figura. Considerar utilização de AÇO ASTM A36. as duas barras do contraventamento não são conectadas no encontro dos nós. Considerar perfil simples. Não há furos na ligação. Cargas já estão devidamente majoradas.

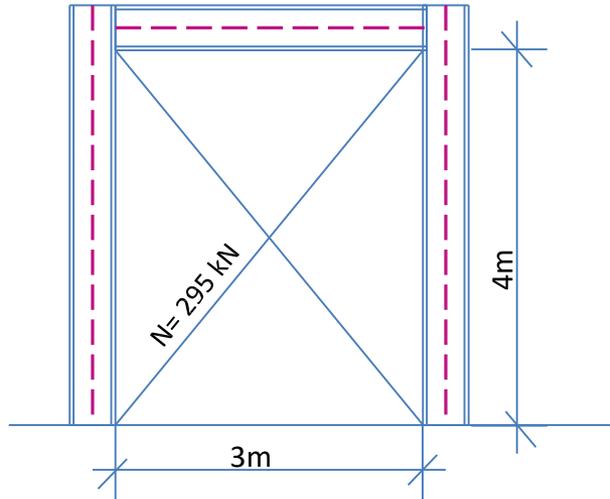
Passo 1. Descobrir o raio de giração ( $r$ ) necessário:

$$L^2 = 3^2 + 4^2 = 5m$$

$$\lambda_{max} = 300$$

$$300 = \frac{500}{r} \quad r = \frac{500}{300} \quad r = 1,67cm$$

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Já sabemos que o raio de giração mínimo é

$$r = 1,67 \text{ cm}$$

Agora precisamos descobrir qual a área mínima para resistir ao esforço axial de tração:

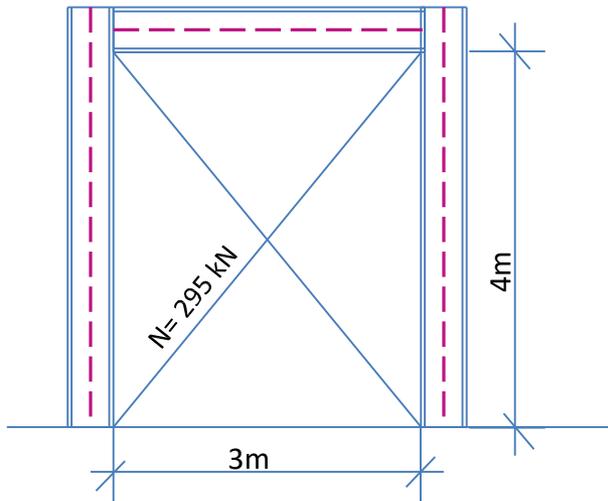
$$N_t, R_d = \frac{A_g \cdot F_y}{\gamma_1}$$

$$295 = \frac{A_g \cdot 25}{1,1}$$

$$A_g = \frac{295 \cdot 1,1}{25}$$

$$A_g = 12,98 \text{ cm}^2$$

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



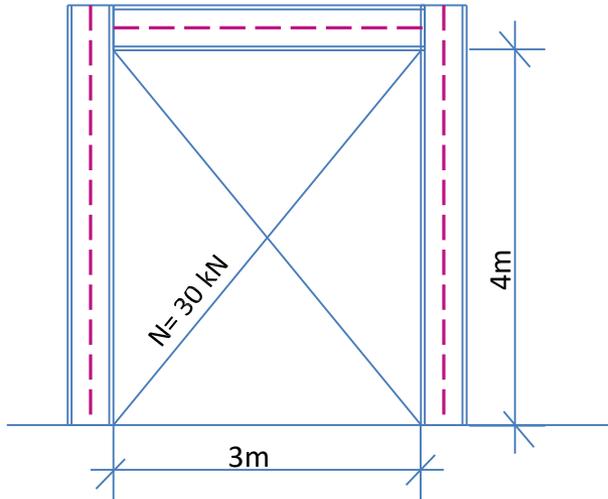
Buscar na tabela de cantoneiras um perfil que atenda às duas restrições:

$$R > 1,67\text{cm}$$

$$A_g > 12,98\text{cm}^2$$

bf	Peso Nominal	tf	Área	Jx=Jy	Wx=Wy	rx=ry	rz mín.	x		
pol	mm	Kg/m	pol	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm	
5/8"	15,880	0,57		0,250						
3/4"	19,050	0,71		0,250						
1/2"	12,700	0,55	1/8"	0,317	0,70	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	15,880	0,71	1/8"	0,317	0,90	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	19,050	0,87	1/8"	0,317	1,11	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	22,200	1,04	1/8"	0,317	1,32	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
		1,19	1/8"	0,317	1,48	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
		1,73	3/16"	0,476	2,19	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	1/4"	0,635	2,84	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
		1,50	1/8"	0,317	1,93	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
		2,20	3/16"	0,476	2,77	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	1/4"	0,635	3,62	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
		1,83	1/8"	0,317	2,32	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3/16"	0,476	3,42	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	1/4"	0,635	4,45	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
		2,14	1/8"	0,317	2,71	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	3/16"	0,476	4,00	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	1/4"	0,635	5,22	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
		2,46	1/8"	0,317	3,10	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	3/16"	0,476	4,58	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	1/4"	0,635	6,06	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	5/16"	0,794	7,42	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
		6,99	3/8"	0,952	8,76	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63
		4,57	3/16"	0,476	5,80	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
		6,10	1/4"	0,635	7,67	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	5/16"	0,794	9,48	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
		8,78	3/8"	0,952	11,16	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
		5,52	3/16"	0,476	7,03	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
		7,29	1/4"	0,635	9,29	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	5/16"	0,794	11,48	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
		10,71	3/8"	0,952	13,61	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
		14,00	1/2"	1,270	17,74	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36
		8,56	1/4"	0,635	10,90	83,70	13,00	2,77	1,76	2,46
		10,59	5/16"	0,794	13,50	102,00	16,00	2,75	1,75	2,52
		12,58	3/8"	0,952	16,00	121,00	19,20	2,75	1,75	2,58
		9,81	1/4"	0,635	12,51	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
		12,19	5/16"	0,794	15,48	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	3/8"	0,952	18,45	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	7/16"	1,111	21,35	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	1/2"	1,270	24,19	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00
		12,34	1/4"	0,635	15,73	251,63	27,09	4,00	2,53	3,41
		15,31	5/16"	0,794	19,50	308,00	33,40	3,97	2,53	3,47
		18,30	3/8"	0,952	23,29	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53
		24,10	1/2"	1,270	30,64	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63
		29,80	5/8"	1,588	37,80	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76
		23,52	7/16"	1,111	26,96	416,68	45,71	3,93	2,50	3,58
		22,20	3/8"	0,952	28,10	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17
		29,20	1/2"	1,270	37,09	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27
		36,00	5/8"	1,588	45,86	1.007,00	93,50	4,67	2,97	4,39
		42,70	3/4"	1,905	54,44	1.173,00	109,90	4,65	2,97	4,52
		48,70	5/8"	1,588	62,90	2.472,40	168,90	6,31	4,01	5,66
		57,90	3/4"	1,905	73,81	2.901,10	199,90	6,27	3,99	5,79

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Agora considere o mesmo caso com uma carga menor.

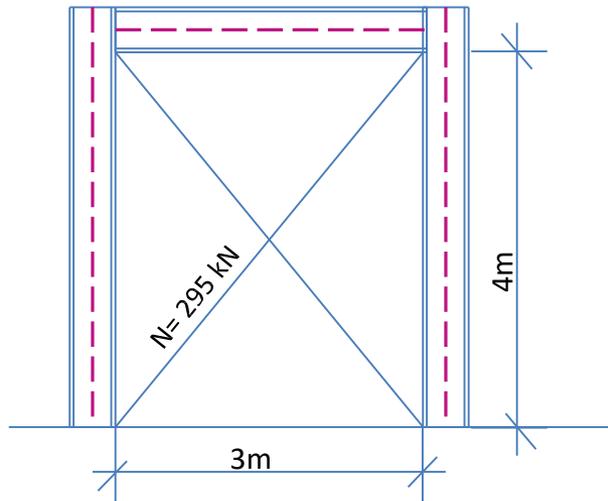
Já sabemos que o raio de giração mínimo é  
 $r = 1,67cm$

$$30 = \frac{A_g \cdot 25}{1,1}$$

$$A_g = \frac{30 \cdot 1,1}{25}$$

$$A_g = 1,32cm^2$$

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Mais leve

Buscar na tabela de cantoneiras um perfil que atenda às duas restrições:

$R > 1,67\text{cm}$   
 $A_g > 1,32\text{cm}^2$

- Critérios para seleção**
- 1 mais leve
  - 2 Disponível no mercado
  - 3 Possível e fácil de montar

pol	bf mm	Peso Nominal Kg/m	pol	tf cm	Área cm <sup>2</sup>	Jx=Jy cm <sup>4</sup>	Wx=Wy cm <sup>3</sup>	rx=ry cm	rz mín. cm	x cm
5/8"	15,880	0,57		0,250						
3/4"	19,050	0,71		0,250						
1/2"	12,700	0,55	1/8"	0,317	0,70	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	15,880	0,71	1/8"	0,317	0,90	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	19,050	0,87	1/8"	0,317	1,11	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	22,200	1,04	1/8"	0,317	1,32	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
1"	25,400	1,19	1/8"	0,317	1,48	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
		1,73	3/16"	0,476	2,19	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	1/4"	0,635	2,84	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
1.1/4"	31,750	1,50	1/8"	0,317	1,93	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
		2,20	3/16"	0,476	2,77	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	1/4"	0,635	3,62	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
1.1/2"	38,100	1,83	1/8"	0,317	2,32	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3/16"	0,476	3,42	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	1/4"	0,635	4,45	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
1.3/4"	44,450	2,14	1/8"	0,317	2,71	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	3/16"	0,476	4,00	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	1/4"	0,635	5,22	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
2"	50,800	2,46	1/8"	0,317	3,10	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	3/16"	0,476	4,58	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	1/4"	0,635	6,06	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	5/16"	0,794	7,42	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
6,99	3/8"	0,952	8,76	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63		
2.1/2"	63,500	4,57	3/16"	0,476	5,80	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
		6,10	1/4"	0,635	7,67	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	5/16"	0,794	9,48	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
		8,78	3/8"	0,952	11,16	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
3"	76,200	5,52	3/16"	0,476	7,03	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
		7,29	1/4"	0,635	9,29	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	5/16"	0,794	11,48	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
		10,71	3/8"	0,952	13,61	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
14,00	1/2"	1,270	17,74	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36		
3.1/2"	88,900	8,56	1/4"	0,635	10,90	83,70	13,00	2,77	1,76	2,46
		10,59	5/16"	0,794	13,50	102,00	16,00	2,75	1,75	2,52
		12,58	3/8"	0,952	16,00	121,00	19,20	2,75	1,75	2,58
4"	101,600	9,81	1/4"	0,635	12,51	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
		12,19	5/16"	0,794	15,48	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	3/8"	0,952	18,45	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	7/16"	1,111	21,35	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	1/2"	1,270	24,19	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00
5"	127,000	12,34	1/4"	0,635	15,73	251,63	27,09	4,00	2,53	3,41
		15,31	5/16"	0,794	19,50	308,00	33,40	3,97	2,53	3,47
		18,30	3/8"	0,952	23,29	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53
		24,10	1/2"	1,270	30,64	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63
		29,80	5/8"	1,588	37,80	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76
23,52	7/16"	1,111	26,96	416,68	45,71	3,93	2,50	3,58		
6"	152,400	22,20	3/8"	0,952	28,10	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17
		29,20	1/2"	1,270	37,09	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27
		36,00	5/8"	1,588	45,86	1.007,00	93,50	4,67	2,97	4,39
		42,70	3/4"	1,905	54,44	1.173,00	109,90	4,65	2,97	4,52
8"	203,200	48,70	5/8"	1,588	62,90	2.472,40	168,90	6,31	4,01	5,66
		57,90	3/4"	1,905	73,81	2.901,10	199,90	6,27	3,99	5,79

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

## 5.2.4 Área líquida

**5.2.4.1** Em regiões com furos, feitos para ligação ou para qualquer outra finalidade, a área líquida,  $A_n$ , de uma barra é a soma dos produtos da espessura pela largura líquida de cada elemento, calculada como segue:

- em ligações parafusadas, a largura dos furos deve ser considerada 2,0 mm maior que a dimensão máxima desses furos, definida em 6.3.6, perpendicular à direção da força aplicada (alternativamente, caso se possa garantir que os furos sejam executados com broca, pode-se usar a largura igual à dimensão máxima);
- no caso de uma série de furos distribuídos transversalmente ao eixo da barra, em diagonal a esse eixo ou em ziguezague, a largura líquida dessa parte da barra deve ser calculada deduzindo-se da largura bruta a soma das larguras de todos os furos em cadeia, e somando-se para cada linha ligando dois furos a quantidade  $s^2/(4g)$ , sendo  $s$  e  $g$ , respectivamente, os espaçamentos longitudinal e transversal (gabarito) entre esses dois furos (Figura 4);
- a largura líquida crítica daquela parte da barra será obtida pela cadeia de furos que produza a menor das larguras líquidas, para as diferentes possibilidades de linhas de ruptura;
- para cantoneiras, o gabarito  $g$  dos furos em abas opostas deve ser considerado igual à soma dos gabaritos, medidos a partir da aresta da cantoneira, subtraída de sua espessura;
- na determinação da área líquida de seção que compreenda soldas de tampão ou soldas de filete em furos, a área do metal da solda deve ser desprezada.

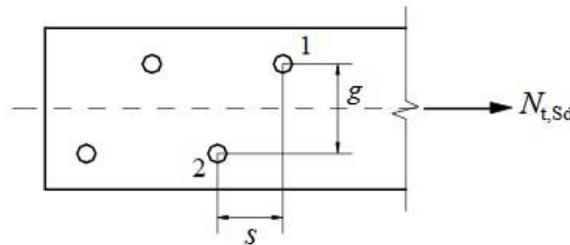
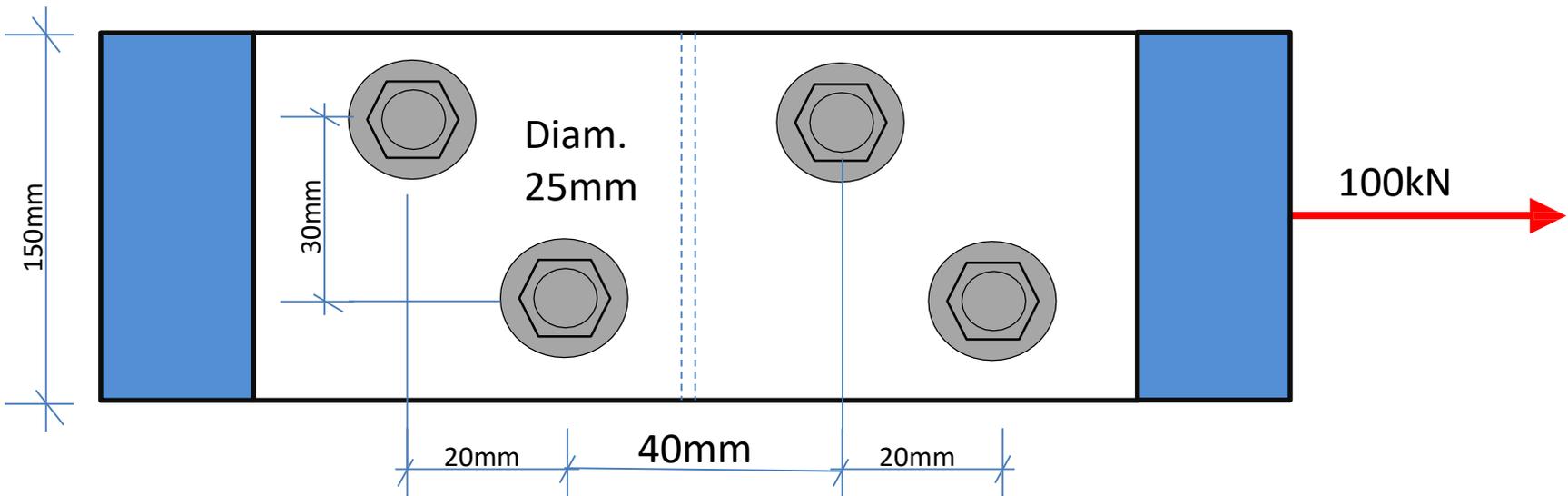


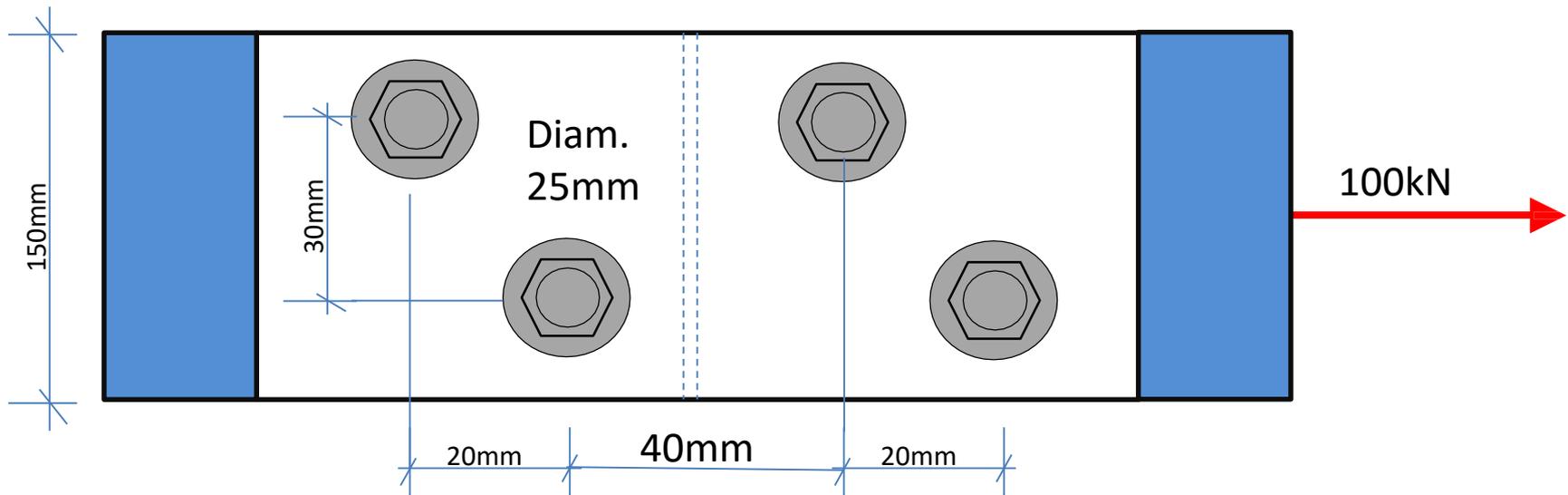
Figura 4 — Ilustração dos espaçamentos  $s$  e  $g$  entre os furos 1 e 2

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Calcular a resistência à tração da barra chata de espessura 10mm ligada pela chapa de ligação (cobrejunta) de espessura 12mm

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



$$A_g = 15\text{cm} \cdot 1,0\text{cm} = 15\text{cm}^2$$

Cálculo da largura efetiva

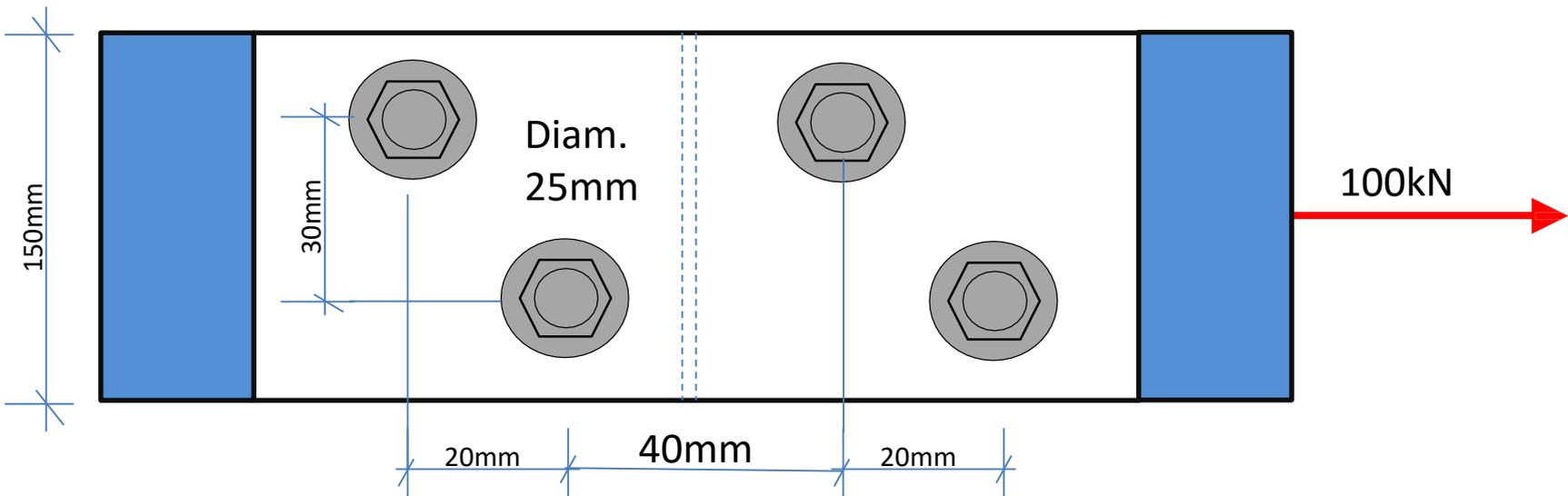
$$h_n = 150 - 2 \cdot (25 + 1,5 + 2) = 93\text{mm} \text{ ou } 9,3\text{cm}$$

$$\text{Área efetiva: } A_n = h_n \cdot t + \frac{2^2}{4 \cdot 3} \cdot t$$

$$A_n = 9,3 \cdot 1,0 + 0,33 \cdot 1,0$$

$$A_n = 9,63\text{cm}^2$$

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Verificação da seção líquida à ruptura

$$N_t, R_d = \frac{A_n \cdot F_u}{\gamma_2} = \frac{9,63 \cdot 40}{1,35} = 285,33kN > 100kN \text{ OK!}$$

Verificação da seção bruta ao escoamento

$$N_t, R_d = \frac{A_g \cdot F_y}{\gamma_1} = \frac{15 \cdot 25}{1,1} = 340kN > 100kN \text{ OK!}$$

Valor crítico (Resistência nominal do perfil à tração)

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

## 5.2.3 Área líquida efetiva

A área líquida efetiva de uma barra,  $A_e$ , é dada por:

$$A_e = C_t A_n$$

onde:

$A_n$  é a área líquida da barra, determinada conforme 5.2.4;

$C_t$  é um coeficiente de redução da área líquida, determinado conforme 5.2.5.

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

## 5.2.5 Coeficiente de redução

O coeficiente de redução da área líquida,  $C_t$ , tem os seguintes valores:

- a) quando a força de tração for transmitida diretamente para cada um dos elementos da seção transversal da barra, por soldas ou parafusos:

$$C_t = 1,00$$

- b) quando a força de tração for transmitida somente por soldas transversais:

$$C_t = \frac{A_c}{A_g}$$

onde  $A_c$  é a área da seção transversal dos elementos conectados;

- c) nas barras com seções transversais abertas, quando a força de tração for transmitida somente por parafusos ou somente por soldas longitudinais ou ainda por uma combinação de soldas longitudinais e transversais para alguns (não todos) elementos da seção transversal (devendo, no entanto, ser usado 0,90 como limite superior, e não se permitindo o uso de ligações que resultem em um valor inferior a 0,60):

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{\ell_c}$$

onde:

$e_c$  é a excentricidade da ligação, igual à distância do centro geométrico da seção da barra,  $G$ , ao plano de cisalhamento da ligação (em perfis com um plano de simetria, a ligação deve ser simétrica em relação a ele e são consideradas, para cálculo de  $C_t$ , duas barras fictícias e simétricas, cada uma correspondente a um plano de cisalhamento da ligação, por exemplo, duas seções T no caso de perfis I ou H ligados pelas mesas ou duas seções U, no caso desses perfis serem ligados pela alma - ver Figura 5);

$\ell_c$  é o comprimento efetivo da ligação (esse comprimento, nas ligações soldadas, é igual ao comprimento da solda na direção da força axial; nas ligações parafusadas é igual a distância do primeiro ao último parafuso da linha de furação com maior número de parafusos, na direção da força axial);

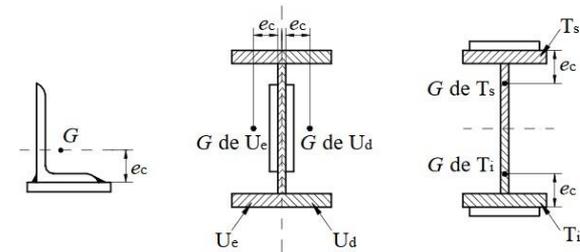


Figura 5 — Ilustração dos valores de  $e_c$  em seções abertas

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

- d) nas chapas planas, quando a força de tração for transmitida somente por soldas longitudinais ao longo de ambas as suas bordas, conforme a Figura 6 (ver 6.2.6.2.3):

$$C_t = 1,00, \text{ para } l_w \geq 2b$$

$$C_t = 0,87, \text{ para } 2b > l_w \geq 1,5b$$

$$C_t = 0,75, \text{ para } 1,5b > l_w \geq b$$

onde:

$l_w$  é o comprimento dos cordões de solda;

$b$  é a largura da chapa (distância entre as soldas situadas nas duas bordas);

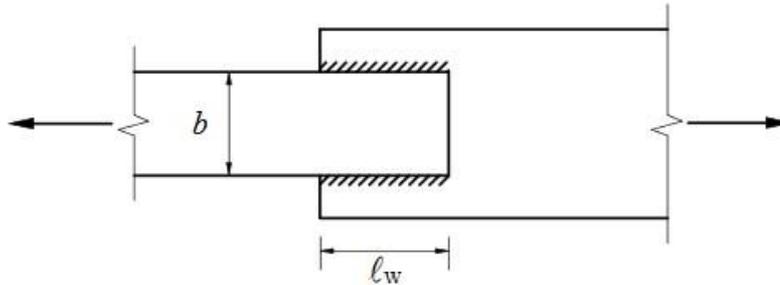


Figura 6 — Chapa plana com força de tração transmitida por solda longitudinal

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

- e) como na alínea c), nas barras com seções tubulares retangulares, quando a força de tração for transmitida por meio de uma chapa de ligação concêntrica ou por chapas de ligação em dois lados opostos da seção, desde que o comprimento da ligação,  $\ell_c$ , não seja inferior à dimensão da seção na direção paralela à(s) chapa(s) de ligação (Figura 7);

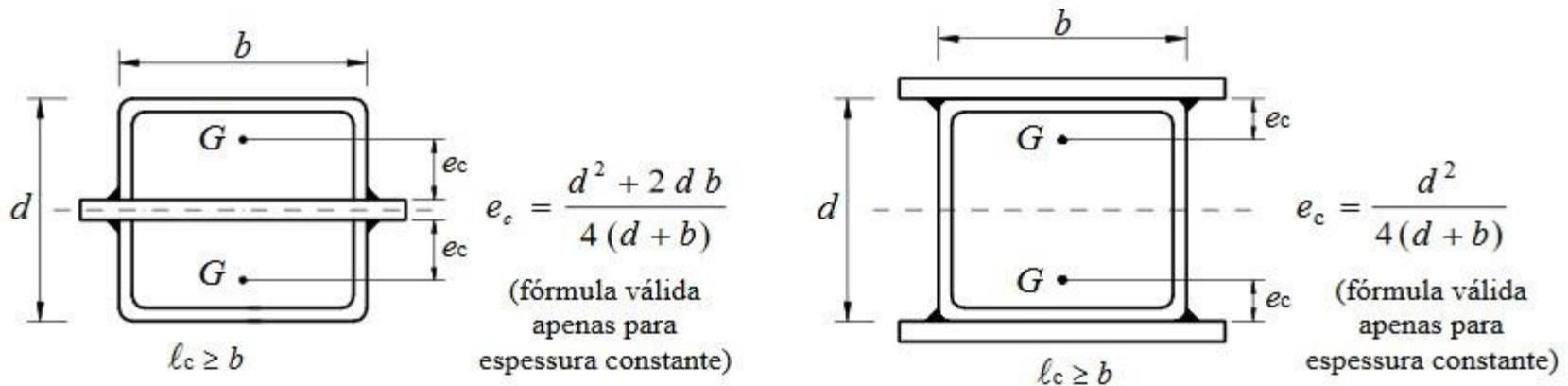


Figura 7 — Ilustração do valor de  $e_c$  em seção tubular retangular

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

- f) nas barras com seções tubulares circulares, quando a força de tração for transmitida por meio de uma chapa de ligação concêntrica (Figura 8):
- se o comprimento da ligação,  $\ell_c$ , for superior ou igual a 1,30 do diâmetro externo da barra:  $C_t = 1,00$ ;
  - como na alínea c), se o comprimento da ligação for superior ou igual ao diâmetro externo da barra e menor que 1,30 vez esse diâmetro.

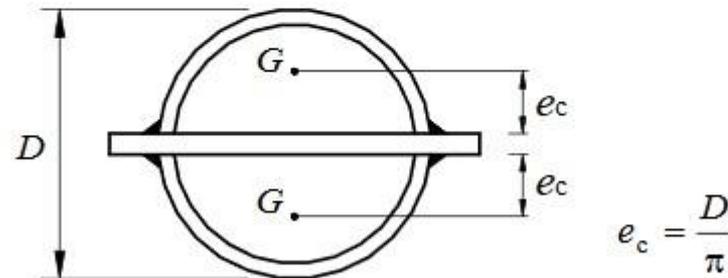
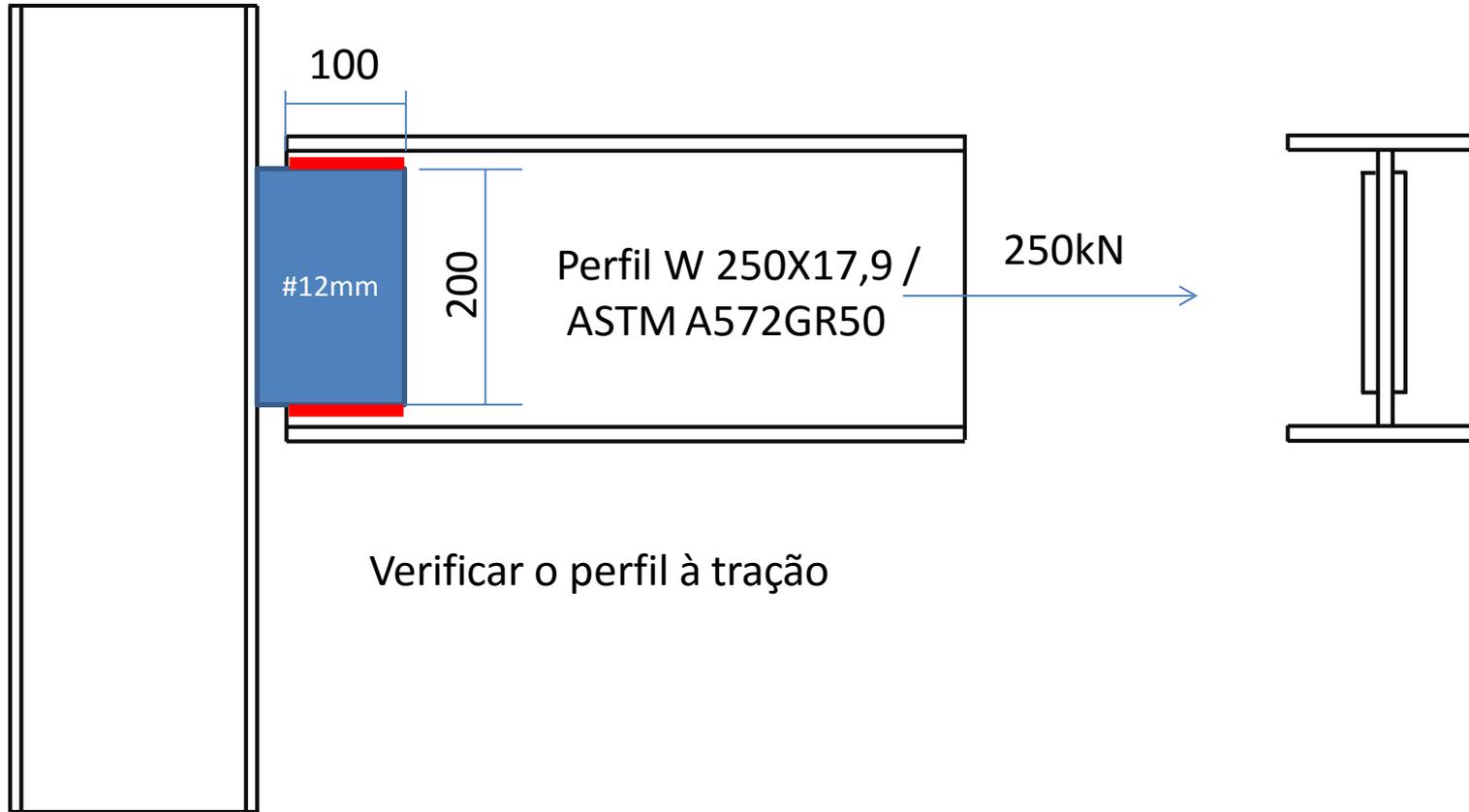
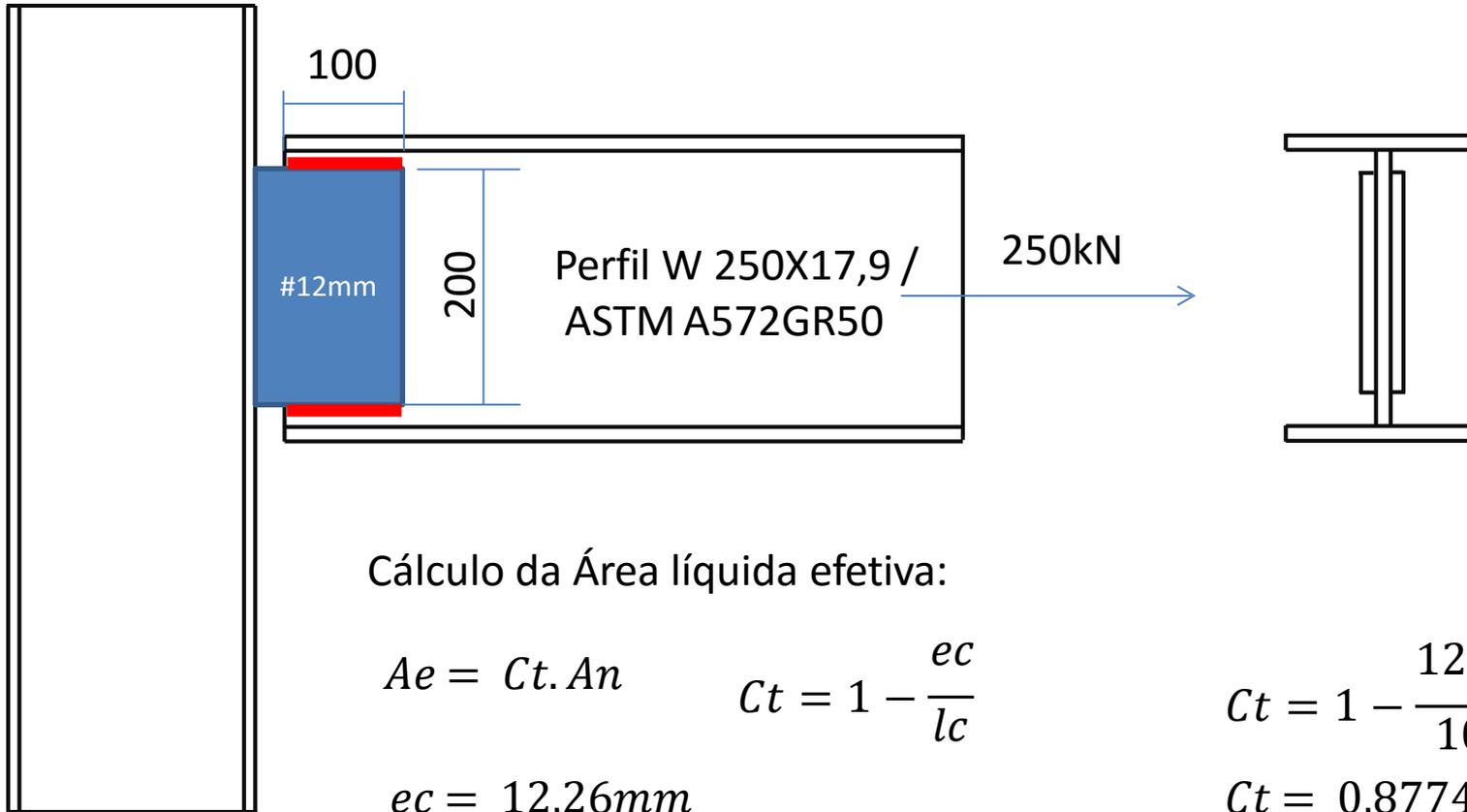


Figura 8 — Ilustração do valor de  $e_c$  em seção tubular circular

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

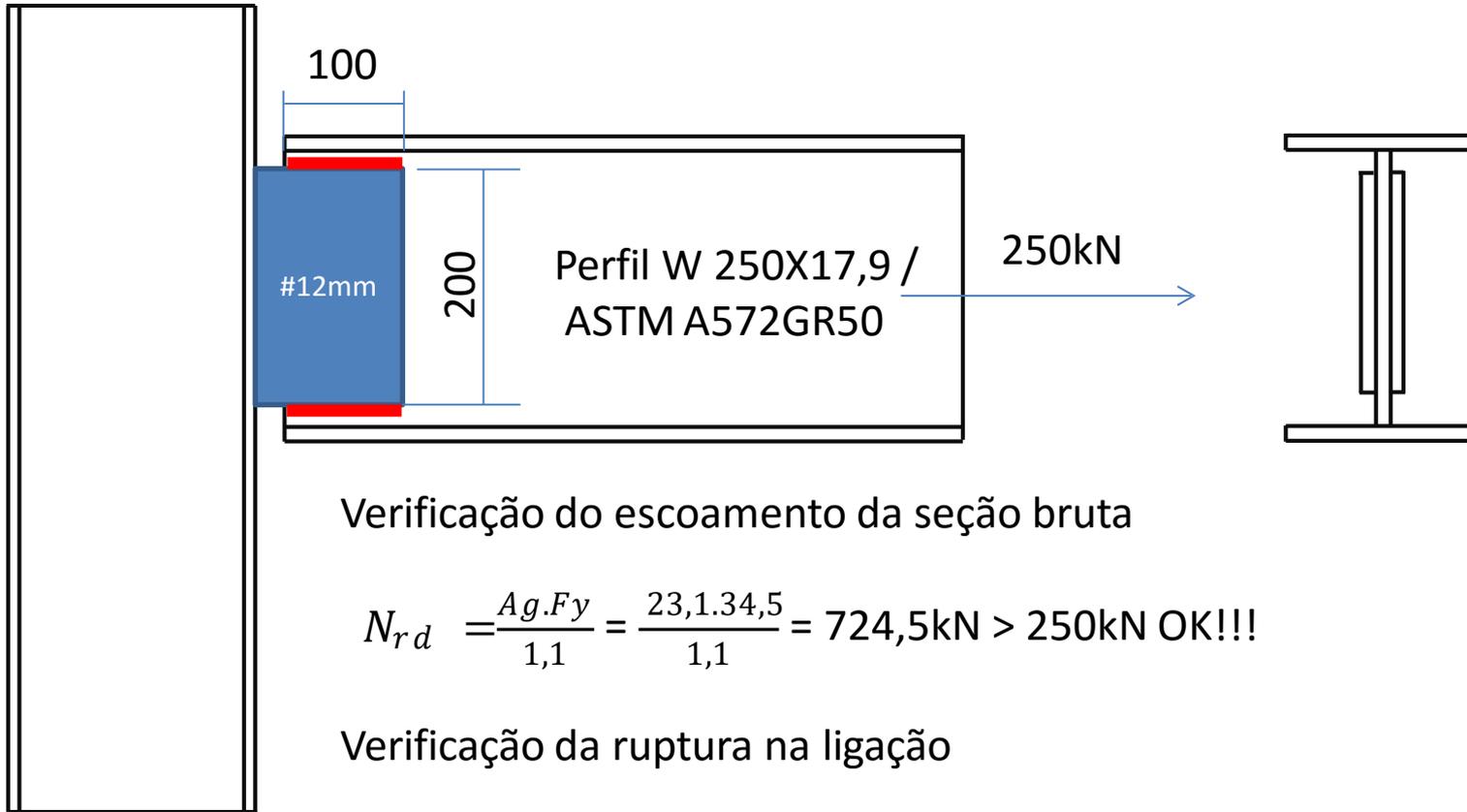


# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Se  $C_t$  for maior que 0,9, adotar 0,9  
Se  $C_t$  for menor que 0,6, rejeitar ligação

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



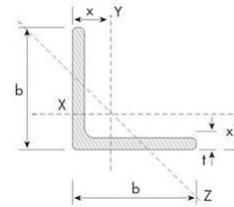
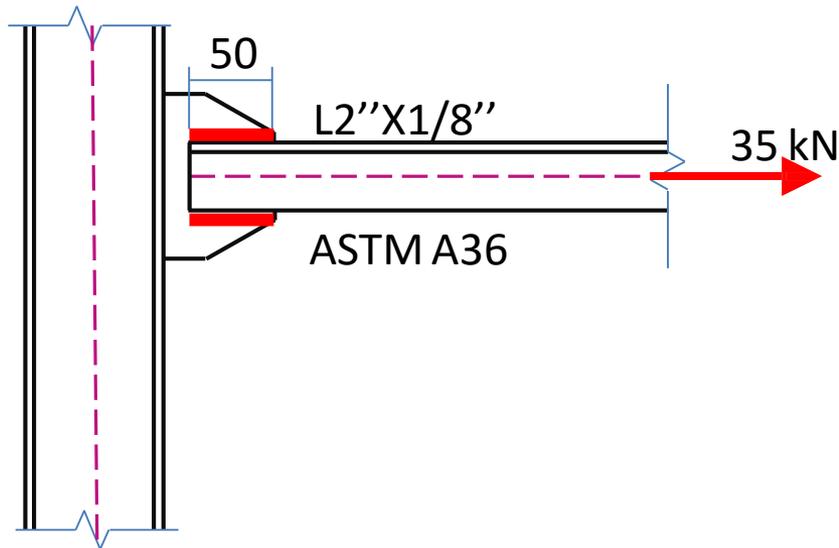
Verificação do escoamento da seção bruta

$$N_{rd} = \frac{A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{23,1 \cdot 34,5}{1,1} = 724,5 \text{ kN} > 250 \text{ kN OK!!!}$$

Verificação da ruptura na ligação

$$N_{rd} = \frac{c \cdot t \cdot A_n \cdot F_u}{1,35} = \frac{0,88 \cdot 23,1 \cdot 40}{1,35} = 602,31 \text{ kN} > 250 \text{ kN OK!!!}$$

# DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



$$ec = 13,64mm$$

Cálculo da Área líquida efetiva:

$$Ae = Ct \cdot An$$
$$Ct = 1 - \frac{13,64}{50}$$
$$Ct = 0,73$$

**Verificação do escoamento da seção bruta**

$$N_{rd} = \frac{3,10 \cdot 25}{1,1} = 70,45 > 35 \text{ kN OK!!!}$$

**Verificação da ruptura na ligação**

$$N_{rd} = \frac{ct \cdot An \cdot Fu}{1,35} = \frac{0,73 \cdot 3,1 \cdot 40}{1,35} = 67,05 > 35 \text{ kN OK!!!}$$