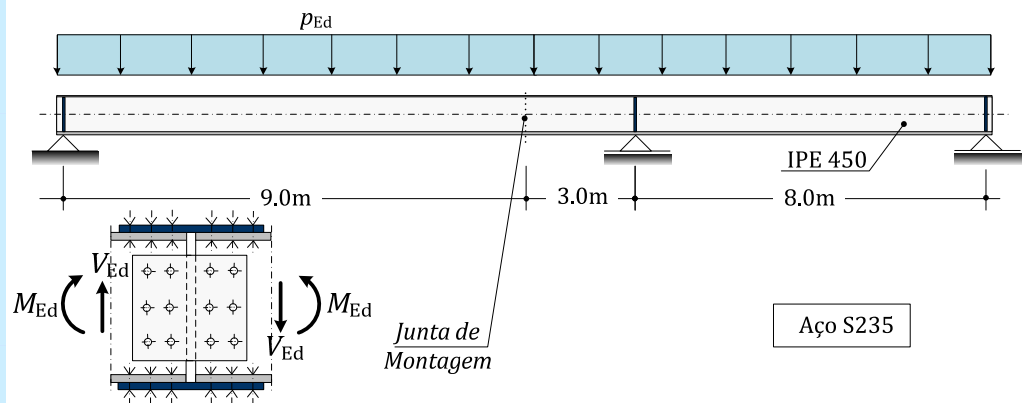


ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

Exemplo 5

Viga contínua IPE450 em S235 com uma junta de montagem aparafusada com parafusos cl.8.8.

- Dimensionar a ligação dos banzos para uma força igual à resistência dos banzos à tracção.
- Dimensionar a ligação das almas para uma força igual à resistência da alma ao esforço transversal.
- Verificar se, para a carga de serviço $p_{serviço} = 20 \text{ kN/m}$, é assegurado o não escorregamento da ligação da categoria B.



- Esforços de dimensionamento em ELU da ligação aparafusada ao corte
 - Banzos $V_{Ed,1} = A_{Banzo} \cdot f_y = 190 \times 14,6 \times 0,235 = 652 \text{ kN}$
 - Alma $V_{Ed,2} = A_{Alma} \cdot f_y = (450 - 2 \times 14,6) \times 9,4 \times 0,235/\sqrt{3} = 537 \text{ kN}$

ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

Exemplo 5

- Parafusos dos banzos ao corte simples
 - 6 M20 cl.8.8 $V_{Rd,1} = 6 \times 94,1 = 565 \text{ kN} < V_{Ed,1} \times$
 - 6 M24 cl.8.8 $V_{Rd,1} = 6 \times 135,6 = 814 \text{ kN} \geq V_{Ed,1} \checkmark$
- Dimensionamento da chapa de cobre-junta dos banzos
 - Pré-dimensionamento da espessura da chapa

$$N_{Rd,chapa} = \min \{ N_{pl,Rd}; N_{u,Rd} \} \cong 652 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = t_p \cdot 0,190 \cdot 235 = 652 \text{ kN} \rightarrow t_p = 15 \text{ mm}$$

$$N_{u,Rd} = t_p \cdot (0,190 - 2 \times 0,026) \times 0,9 \times \frac{360}{1,25} = 652 \text{ kN} \rightarrow t_p = 18,2 \text{ mm}$$
 Adoptar: $t_p = 18 \text{ mm}$
 - Distâncias e espaçamentos entre parafusos na chapa

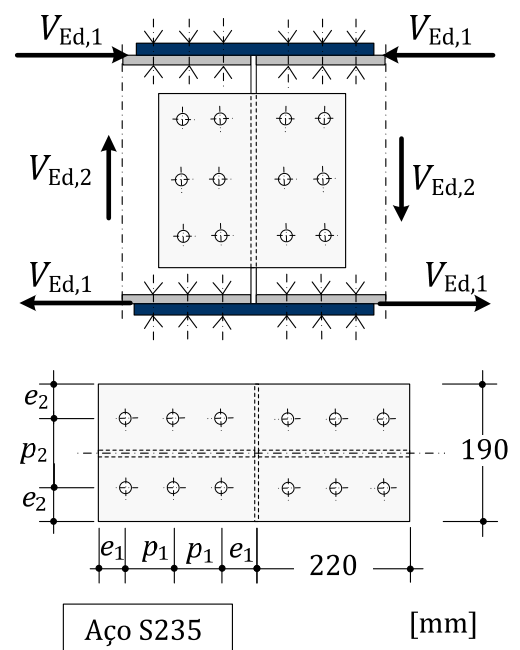
Adoptar uma pormenorização compacta para reduzir o comprimento da chapa

Tabela de perfis: $p_2 = 100 \text{ mm} > p_{2,min} = 70 \text{ mm}$

Distância: $e_2 = \frac{190-100}{2} = 45 \text{ mm} > e_{2,min} = 35 \text{ mm}$

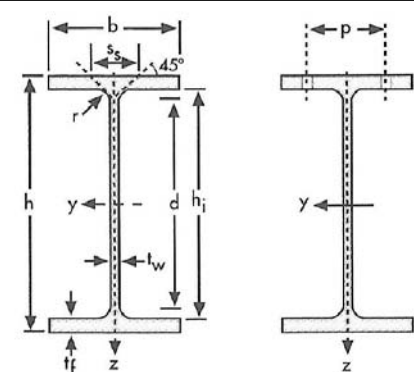
Distância: $e_1 = 45 \text{ mm}$ (valor da tabela)

Espaçamento: $p_1 = 65 \text{ mm}$ (valor da tabela)



ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

Perfil	Gkg/m	Dimensões					A cm ²	Dimensões de Construção				A ₁ m ² /m	A ₂ m ² /t	I _y cm ⁴	W _{pl,y} cm ³	W _{pl,z} cm ³	i _y cm	A _{ce} cm ²	I _z cm ⁴	
		h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm		h ₁ mm	d mm	Ø	P _{max} mm									
IPE 80	6.0	80	46	3.8	5.2	5	7.64	69.6	59.6	-	-	-	0.328	54.69	80.1	20.0	23.22	3.24	3.57	8.49
IPE 100	8.1	100	55	4.1	5.7	7	10.32	88.6	74.6	-	-	-	0.400	49.33	171.0	34.2	39.41	4.07	5.08	15.92
IPE 120	10.4	120	64	4.4	6.3	7	13.21	107.4	93.4	-	-	-	0.475	45.82	317.8	53.0	60.73	4.90	6.31	27.67
IPE 140	12.9	140	73	4.7	6.9	7	16.43	126.2	112.2	-	-	-	0.551	42.70	541.2	77.3	88.34	5.74	7.64	44.92
IPE 360	57.1	360	170	8.0	12.7	18	72.73	334.6	298.6	M22	88	88	1.353	23.70	16,270.0	903.6	1,019.00	14.95	35.14	1,043.00
IPE 400	66.3	400	180	8.6	13.5	21	84.46	373.0	331.0	M22	96	98	1.467	22.12	23,130.0	1,156.0	1,307.00	16.55	42.69	1,318.00
IPE 450	77.6	450	190	9.4	14.6	21	98.82	420.8	378.8	M24	102	102	1.605	20.69	33,740.0	1,500.0	1,702.00	18.48	50.85	1,676.00
IPE 500	90.7	500	200	10.2	16.0	21	115.50	468.0	426.0	M24	102	112	1.744	19.23	48,200.0	1,928.0	2,194.00	20.43	59.87	2,142.00
IPE 550	106.0	550	210	11.1	17.2	24	134.40	515.6	467.6	M24	110	122	1.877	17.78	67,120.0	2,441.0	2,787.00	22.35	72.34	2,668.00
IPE 600	122.0	600	220	12.0	19.0	24	156.00	562.0	514.0	M27	116	118	2.015	16.45	92,080.0	3,069.0	3,512.00	24.30	83.78	3,387.00



ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

Exemplo 5

- Dimensionamento da chapa de cobre-junta dos banzos

iii) Resistência ao esmagamento da chapa / banzos

$$N_{b,Rd,chapa} = \frac{t_p}{10} \times 82,5 \times 6 \text{ paraf.} = 891 \text{ kN} \geq V_{Ed,1} = 652 \text{ kN} \checkmark$$

$$N_{b,Rd,banzos} = \frac{t_b}{10} \times 82,5 \times 6 \text{ paraf.} = 723 \text{ kN} \geq V_{Ed,1} = 652 \text{ kN} \checkmark$$

iv) Resistência do bloco

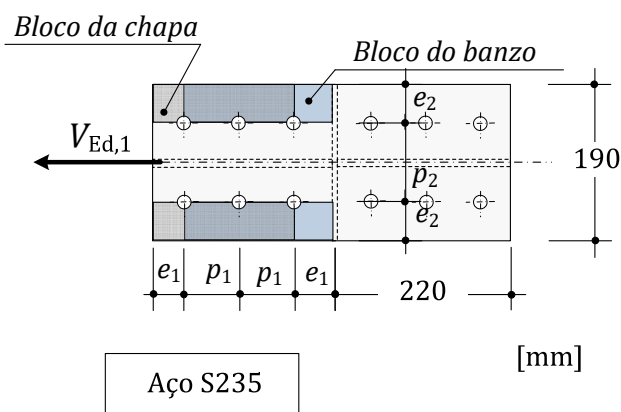
Banzos têm menor espessura logo são condicionantes

$$V_{eff,Rd} = 1,0 \times (2e_2 - d_0) \cdot t_b \cdot \frac{0,360}{1,25} + (2e_1 + 4p_1 - 5 \times d_0) \cdot t_b \cdot \frac{0,235/\sqrt{3}}{1,0} = 705 \text{ kN} \geq V_{Ed,1} = 652 \text{ kN} \checkmark$$

com

$$e_2 = 45 \text{ mm} \quad e_1 = 45 \text{ mm} \quad p_1 = 65 \text{ mm} \quad d_0 = 26 \text{ mm}$$

$$t_b = 14,6 \text{ mm} \quad t_p = 18 \text{ mm}$$



ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

Exemplo 5

- Dimensionamento dos parafusos da alma

2 Chapas de ligação > Parafusos ao corte duplo

$$6 \text{ M12 cl.8.8} \quad V_{Rd,2} = 6 \times 64,7 = 388 \text{ kN} < V_{Ed,2} = 537 \text{ kN} \quad \times$$

$$6 \text{ M16 cl.8.8} \quad V_{Rd,2} = 6 \times 120,6 = 724 \text{ kN} \geq V_{Ed,2} = 537 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Contudo, os parafusos tem adicionalmente que equilibrar o momento flector local dado por

$$2M_{Ed,2} = V_{Ed,2} \cdot (2e_2 + p_2) \rightarrow M_{Ed,2} = 32,2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

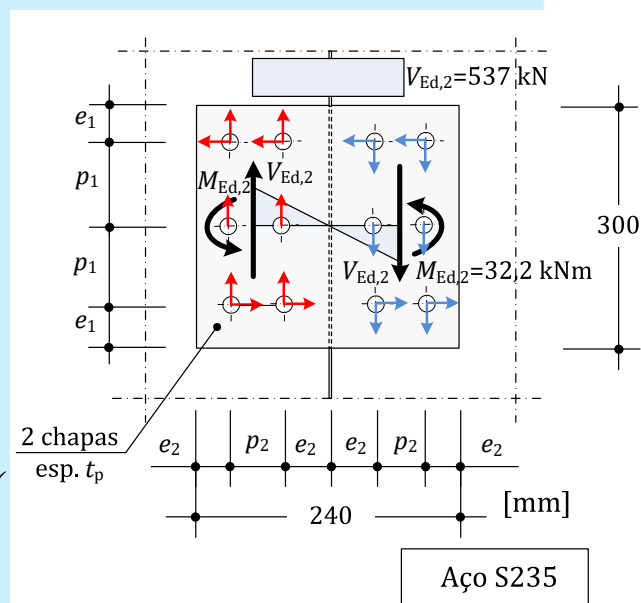
Por equilíbrio:

$$\begin{cases} V_{Ed,paraf.} = \frac{V_{Ed,2}}{6} = 89,5 \text{ kN} \\ H_{Ed,paraf.} = \frac{M_{Ed,2}}{2 \cdot 2 \cdot p_1} = 76,7 \text{ kN} \end{cases} \quad V'_{Ed,paraf.} = \sqrt{89,5^2 + 76,7^2} = 117,9 \leq 120,6 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Em que adoptando uma pormenorização "normal"

$$e_1 = 45 \text{ mm} \quad e_2 = 30 \text{ mm} \quad p_1 = 105 \text{ mm} \quad p_2 = 60 \text{ mm}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm} \quad t_w = 9,4 \text{ mm} \quad t_p = 2 \times 8 \text{ mm}$$



ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

Exemplo 5

- Dimensionamento das chapas de cobre-junta da alma

i) Pré-dimensionamento da espessura das chapas

$$A_{v,z} \cong A_{chapas} \rightarrow t_p = 5085 / 300 = 17 \text{ mm} \rightarrow t_p = 2 \times 8 \text{ mm}$$

ii) Resistência ao esmagamento das chapas

$$N_{b,Rd,chapas} = \frac{t_p}{10} \times 96,0 \times 6 \text{ paraf.} = 922 \text{ kN} \geq V_{Ed,2} = 537 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$N_{b,Rd,alma} = 2,5 \cdot d \cdot t_w \cdot f_u / \gamma_{M2} \times 6 \text{ paraf.} = 650 \text{ kN} \geq V_{Ed,2} = 537 \text{ kN} \quad \checkmark$$

NOTA: Apenas se verifica o esmagamento dos furos da alma porque no caso da alma a distância e_1 é muito maior e existem também os banzos.

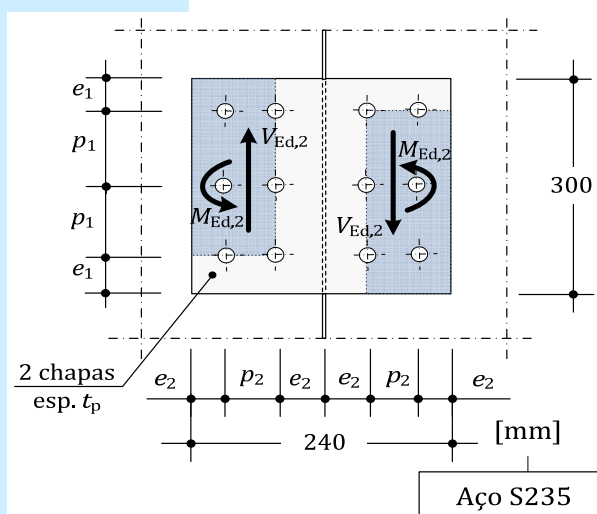
iii) Resistência do bloco das chapas

$$V_{eff,Rd} = 0,5 \times (p_2 + e_2 - 1,5 d_0) \cdot t_p \cdot \frac{0,360}{1,25} + (e_1 + 2 p_1 - 2,5 d_0) \cdot t_p \cdot \frac{0,235 / \sqrt{3}}{1,0} = 163,3 + 512,9 = 676 \text{ kN} \geq V_{Ed,2} = 537 \text{ kN} \quad \checkmark$$

com

$$e_1 = 45 \text{ mm} \quad e_2 = 30 \text{ mm} \quad p_1 = 105 \text{ mm} \quad p_2 = 60 \text{ mm}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm} \quad t_w = 9,4 \text{ mm} \quad t_p = 2 \times 8 \text{ mm}$$



ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

Exemplo 5

- Esforços em serviço na Junta de montagem -JM

$$V_{ser,2} = 83,3 \text{ kN}$$

$$M_{ser,2} = 60,4 \text{ kNm}$$

$$V_{ser,1} = \frac{M_{ser,2}}{0,45} = 134,2 \text{ kN}$$

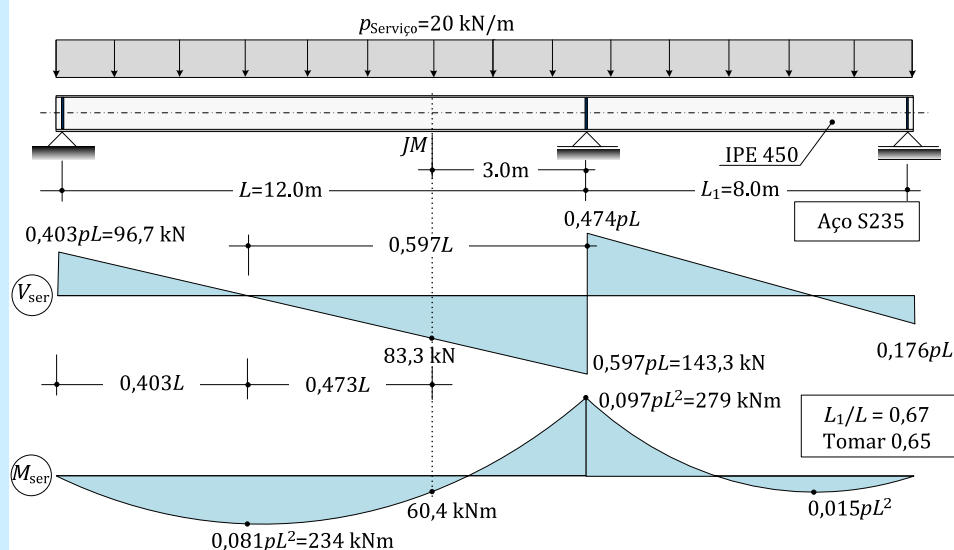
- Esforços em serviço por parafuso

Alma: $V_{paraf.} = 83,3/6 = 13,9 \text{ kN}$

$$H_{paraf.} = \frac{83,3 \cdot 60}{2 \cdot 210} = 11,9 \text{ kN}$$

$$V'_{paraf.} = \sqrt{V_{paraf.}^2 + H_{paraf.}^2} = 18,3 \text{ kN}$$

Banzos: $V_{paraf.} = 134,2/6 = 22,4 \text{ kN}$



ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

Exemplo 5

- Verificação do escorregamento por parafuso

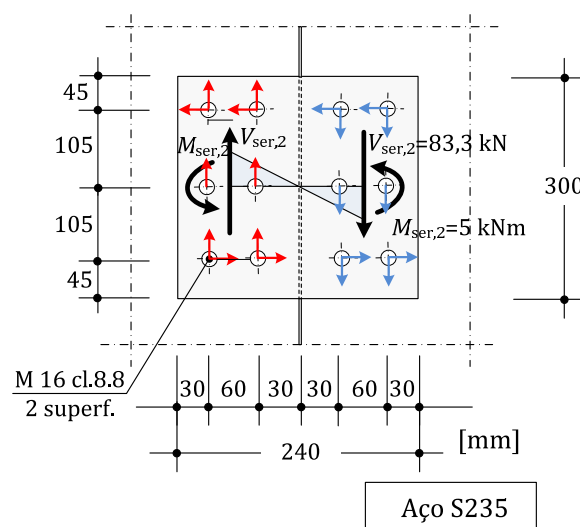
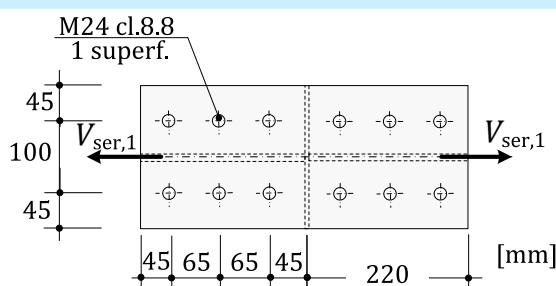
Superfície da classe D → $\mu = 0,2$

Alma: M16 cl.8.8 com duas superfícies de escorregamento

$$F_{S,Rd,ser} = 16,0 \cdot 2 = 32 \text{ kN} \geq V'_{paraf.} = 18,3 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Banzos: M24 cl.8.8 com uma superfície de escorregamento

$$F_{S,Rd,ser} = 35,9 \cdot 1 = 35,9 \text{ kN} \geq V_{paraf.} = 22,4 \text{ kN} \quad \checkmark$$



ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

LIGAÇÕES APARAFUSADAS

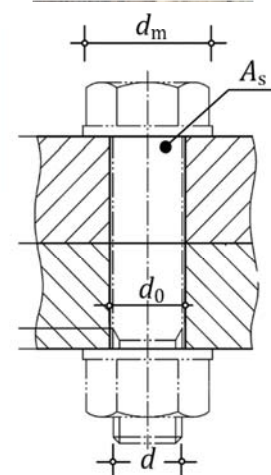
Resistência (valores nominais)

Valores nominais da **tensão de cedência (f_{yb})** e da **tensão última (f_{ub})**

Classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (MPa)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (MPa)	400	400	500	500	600	800	1000

Parafusos pré-esforçados – Só podem ser usados parafusos das classes 8.8 e 10.9.

	M12	M16	M20	M24	M27	M30
d [mm]	12	16	20	24	27	30
d_0 [mm]	13	18	22	26	30	33
A_s [mm ²]	84,3	157	245	353	459	561
d_m [mm] – correntes	18,5	23,2	29,2	35,0	40,0	45,0
d_m [mm] – pré-esforçados	21,2	27,0	32,0	41,0	46,0	50,0



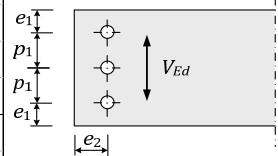
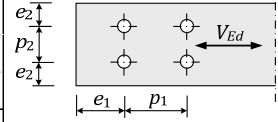
ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

Resistência à tração $F_{t,Rd}$ [kN]		M12	M16	M20	M24	M27	M30
	4.6	24,3	45,2	70,6	101,7	132,2	161,6
	5.6	30,3	56,5	88,2	127,1	165,2	202,0
	8.8	48,6	90,4	141,1	203,3	264,4	323,1
	10.9	60,7	113,0	176,4	254,2	330,5	403,9

Resistência ao corte $F_{v,Rd}$ [kN]	Corte simples	($n = 1$)	M12	M16	M20	M24	M27	M30
		4.6	16,2	30,1	47,0	67,8	88,1	107,7
		5.6	20,2	37,7	58,8	84,7	110,2	134,6
		8.8	32,4	60,3	94,1	135,6	176,3	215,4
		10.9	33,7	62,8	98,0	141,2	183,6	224,4
	Corte duplo	($n = 2$)	M12	M16	M20	M24	M27	M30
		4.6	32,4	60,3	94,1	135,6	176,3	215,4
		5.6	40,5	75,4	117,6	169,4	220,3	269,3
		8.8	64,7	120,6	188,2	271,1	352,5	430,8
		10.9	67,4	125,6	196,0	282,4	367,2	448,8

ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

Resistência ao esmagamento – $F_{b,Rd}$ [kN] para $t_p = 10$ mm	Pormenorização 1 (compacta)	($t_p = 10$ mm)	M12	M16	M20	M24	M27	M30
		e_1 [mm]	25	30	40	45	50	55
		e_2 [mm]	20	25	30	35	40	45
		$p_{1,min}$ [mm]	35	44	57	65	73	80
		$p_{2,min}$ [mm]	39	50	60	70	80	90
		S235	55,4	56,0	73,9	82,5	87,8	101,7
		S275	63,1	63,8	84,2	94,0	100,0	115,8
	S355	72,3	73,2	96,5	107,7	114,7	132,7	
	Pormenorização 2 ("normal")	($t_p = 10$ mm)	M12	M16	M20	M24	M27	M30
		e_1 [mm]	35	45	55	65	75	85
		e_2 [mm]	25	30	35	40	45	50
		$p_{1,min}$ [mm]	45	59	72	85	98	110
		$p_{2,min}$ [mm]	39	54	66	78	90	99
		S235	77,5	96,0	120,0	144,0	162,0	185,5
		S275	88,3	109,3	136,7	164,0	184,5	211,2
S355	101,2	125,3	156,7	188,0	211,5	242,1		



Os valores de $F_{b,Rd}$ correspondem a $t_p = 10$ mm e dois tipos de pormenorizações: compacta – Porm. 1 e “normal” – Porm. 2, que permite uma maior resistência ao esmagamento da chapa; assume-se $f_{ub} \geq f_u$.

ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

Resistência ao escorregamento– ELS $F_{s,Rd,ser}$ [kN/plano]	(n = 1)	μ	M12	M16	M20	M24	M27	M30		
		8.8	0,2	8,6	16,0	24,9	35,9	46,7	57,1	
			0,3	12,9	24,0	37,4	53,9	70,1	85,7	
			0,4	17,2	32,0	49,9	71,9	93,5	114,2	
			0,5	21,5	40,0	62,4	89,9	116,8	142,8	
	10.9	0,2	---	20,0	31,2	44,9	58,4	71,4		
		0,3	---	30,0	46,8	67,4	87,6	107,1		
		0,4	---	40,0	62,4	89,9	116,8	142,8		
		0,5	---	50,0	78,0	112,3	146,0	178,5		
	Resistência ao escorregamento– ELU $F_{s,Rd}$ [kN/plano]	(n = 1)	μ	M12	M16	M20	M24	M27	M30	
			8.8	0,2	7,6	14,1	22,0	31,6	41,1	50,3
				0,3	11,3	21,1	32,9	47,4	61,7	75,4
				0,4	15,1	28,1	43,9	63,3	82,3	100,5
0,5				18,9	35,2	54,9	79,1	102,8	125,7	
10.9		0,2	---	17,6	27,4	39,5	51,4	62,8		
		0,3	---	26,4	41,2	59,3	77,1	94,2		
		0,4	---	35,2	54,9	79,1	102,8	125,7		
		0,5	---	44,0	68,6	98,8	128,5	157,1		