

## Barras Comprimidas

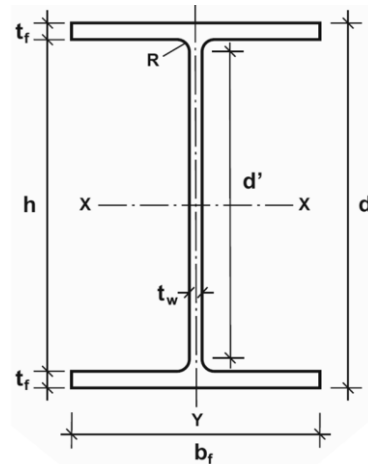
**Exercício 1** – Encontre a maior força de compressão,  $N_{c,Rd}$ , que uma coluna engastada e livre (adote  $k_x=k_y=k_z=2,0$ ) de comprimento  $L=285$  cm pode suportar, sem enrijecedores transversais, escolhendo o perfil W310x28,3 kg/m. Adote aço com as seguintes propriedades mecânicas:  $f_y=41,5$  kN/cm<sup>2</sup>,  $E=20000$  kN/cm<sup>2</sup> e  $G=7700$  kN/cm<sup>2</sup>.

TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b <sub>f</sub> mm	ESPESSURA			d'	Área cm <sup>2</sup>	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r <sub>t</sub> cm	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	ESBELTEZ		C <sub>w</sub> cm <sup>6</sup>	u m <sup>2</sup> /m	BITOLA in x lb/ft
				t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm	h mm			I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>			MESA-λ <sub>y</sub> b <sub>f</sub> /2t <sub>f</sub>	ALMA-λ <sub>x</sub> d'/t <sub>w</sub>			
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4,181	0,67	W 6 x 8,5
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48	6,683	0,69	W 6 x 12
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1.229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20,417	0,88	W 6 x 15
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1.384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48	10,206	0,69	W 6 x 16
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30,277	0,90	W 6 x 20
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2.244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67	39,930	0,91	W 6 x 25
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44	8,222	0,77	W 8 x 10
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1.686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31	11,098	0,79	W 8 x 13
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2.029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42	13,868	0,79	W 8 x 15
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2.611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34	32,477	0,92	W 8 x 18
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3.168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	29,34	40,822	0,93	W 8 x 21
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3.437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90	69,502	1,03	W 8 x 24
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4.114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86	83,948	1,04	W 8 x 28
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4.543	447,6	8,81	495,3	1.535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36	141,342	1,19	W 8 x 31
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5.298	514,4	8,90	572,5	1.784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85	166,710	1,19	W 8 x 35
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4.977	488,0	8,85	551,3	1.673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28	155,075	1,20	HP 8 x 36
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6.140	584,8	8,99	655,9	2.041	199,1	5,18	303,0	5,64	47,69	7,22	17,32	195,418	1,20	W 8 x 40
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7.660	709,2	9,17	803,2	2.537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80	249,976	1,22	W 8 x 48
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9.498	855,7	9,26	984,2	3.139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06	317,844	1,23	W 8 x 58
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2.291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,92	13,735	0,88	W 10 x 12
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2.939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97	18,629	0,89	W 10 x 15
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3.473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4	2,58	7,06	6,07	36,10	22,955	0,89	W 10 x 17
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4.046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9	2,62	10,34	5,10	34,38	27,636	0,90	W 10 x 19
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4.937	382,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7	3,86	10,44	8,02	36,03	73,104	1,07	W 10 x 22
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6.057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1	3,93	17,63	6,56	33,27	93,242	1,08	W 10 x 26
W 250 x 44,8	44,8	266	148	7,6	13,0	240	220	57,6	7.158	538,2	11,15	606,3	704	95,1	3,50	146,4	3,96	27,14	5,69	28,95	112,398	1,09	W 10 x 30
HP 250 x 62,0 (H)	62,0	246	256	10,5	10,7	225	201	79,6	8.728	709,6	10,47	790,5	2.995	234,0	6,13	357,8	6,89	33,46	11,96	19,10	417,130	1,47	HP 10 x 42
W 250 x 73,0 (H)	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	11.257	889,9	11,02	983,3	3.880	305,5	6,47	463,1	7,01	56,94	8,94	23,33	552,900	1,48	W 10 x 49
W 250 x 80,0 (H)	80,0	256	255	9,4	15,6	225	201	101,9	12.550	980,5	11,10	1.088,7	4.313	338,3	6,51	513,1	7,04	75,02	8,17	21,36	622,878	1,49	W 10 x 54
HP 250 x 85,0 (H)	85,0	254	260	14,4	14,4	225	201	108,5	12.280	966,9	10,64	1.093,2	4.225	325,0	6,24	499,6	7,00	82,07	9,03	13,97	605,403	1,50	HP 10 x 57
W 250 x 89,0 (H)	89,0	260	256	10,7	17,3	225	201	113,9	14.237	1.095,1	11,18	1.224,4	4.841	378,2	6,52	574,3	7,06	102,81	7,40	18,82	712,351	1,50	W 10 x 60
W 250 x 101,0 (H)	101,0	264	257	11,9	19,6	225	201	128,7	16.352	1.238,8	11,27	1.395,0	5.549	431,8	6,57	656,3	7,10	147,70	6,56	16,87	828,031	1,51	W 10 x 68
W 250 x 115,0 (H)	115,0	269	259	13,5	22,1	225	201	146,1	18.920	1.406,7	11,38	1.597,4	6.405	494,6	6,62	752,7	7,16	212,00	5,86	14,87	975,265	1,53	W 10 x 77
W 310 x 21,0	21,0	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2	3.776	249,2	11,77	291,9	98	19,5	1,90	31,4	2,42	3,27	8,86	53,25	21,628	0,98	W 12 x 14
W 310 x 23,8	23,8	305	101	5,6	6,7	292	272	30,7	4.346	285,0	11,89	333,2	116	22,9	1,94	36,9	2,45	4,65	7,54	48,50	25,594	0,99	W 12 x 16
W 310 x 28,3	28,3	309	102	6,0	8,9	291	271	36,5	5.500	356,0	12,28	412,0	158	31,0	2,08	49,4	2,55	8,14	5,73	45,20	35,441	1,00	W 12 x 19
W 310 x 32,7	32,7	313	102	6,6	10,8	291	271	42,1	6.570	449,5	12,49	485,3	192	37,6	2,13	59,8	2,58	12,91	4,72	41,12	43,612	1,00	W 12 x 22

$A_g = 36,50$  cm<sup>2</sup>  
 $I_x = 5500,0$  cm<sup>4</sup>  
 $r_x = 12,28$  cm  
 $I_y = 158$  cm<sup>4</sup>  
 $r_y = 2,08$  cm  
 $I_t = 8,14$  cm<sup>4</sup>  
 $C_w = 35441,0$  cm<sup>6</sup>  
 $d' = 27,10$  cm  
 $t_w = 0,60$  cm  
 $b_f = 10,20$  cm  
 $t_f = 0,89$  cm

$L = 285$  cm  
 $E = 20000$  kN/cm<sup>2</sup>  
 $G = 7700$  kN/cm<sup>2</sup>  
 $k_x = k_y = k_z = 2,0$   
 $f_y = 41,5$  kN/cm<sup>2</sup>  
 $\gamma_{a1} = 1,10$



	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem						
Valores teóricos de $K_x$ ou $K_y$	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0

## Cálculo de Q

→Alma AA (Grupo 2)

$$b/t = \frac{d'}{t_w} = \frac{27,10}{0,60} = 45,17$$

$$(b/t)_{\text{lim}} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{20000}{41,5}} = 32,71$$

$$Q_a = 1,0 \quad \text{se} \quad \frac{b}{t} \leq (b/t)_{\text{lim}}$$

$$Q_a = \frac{A_{\text{ef}}}{A_g} \quad \text{se} \quad \frac{b}{t} > (b/t)_{\text{lim}}$$

$$\chi = 1,0$$

$$\sigma = \chi f_y$$

$$C_a = 0,34$$

$$b_{\text{ef}} = 1,92t \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[ 1 - \frac{C_a}{b/t} \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right] = 21,11$$

$$A_{\text{ef}} = A_g - \sum (b - b_{\text{ef}})t = 36,50 - (27,10 - 21,11) \times 0,60 = 32,91 \text{ cm}^2$$

$$Q_a = \frac{A_{\text{ef}}}{A_g} = \frac{32,91}{36,50} = 0,902$$

→Mesa AL (Grupo 4)

$$b/t = \frac{b_f/2}{t_f} = \frac{10,20}{2 \times 0,89} = 5,73$$

$$Q_s = 1,0 \quad \text{se} \quad \frac{b}{t} \leq (b/t)_{\text{lim}} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 12,29$$

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad \text{se} \quad 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0,69E}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad \text{se} \quad \frac{b}{t} > 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = 1,000$$

$$\therefore Q = Q_a Q_s = 0,901$$

## Cálculo de $\chi$

$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2} = \sqrt{12,28^2 + 2,08^2} = 12,455 \text{ cm}$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(k_x L_x)^2} = \frac{\pi^2 \times 20000 \times 5500}{(2,0 \times 285)^2} = 3341,5 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(k_y L_y)^2} = \frac{\pi^2 \times 20000 \times 158}{(2,0 \times 285)^2} = 95,99 \text{ kN}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{(k_z L_z)^2} + G I_t \right] =$$

$$N_{ez} = \frac{1}{12,455^2} \left[ \frac{\pi^2 \times 20000 \times 35441}{(2,0 \times 285)^2} + 7700 \times 8,14 \right] = 542,9 \text{ kN}$$

$$N_e = \min(N_{ex}; N_{ey}; N_{ez}) = 95,99 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{0,901 \times 36,5 \times 41,5}{95,99}} = 3,771$$

$$\text{Se } \lambda_0 \leq 1,5 \quad \text{então} \quad \chi = 0,658 \lambda_0^2$$

$$\text{Se } \lambda_0 > 1,5 \quad \text{então} \quad \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

$$\therefore \chi = 0,061$$

Assim:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,061 \times 0,901 \times 36,5 \times 41,5}{1,10} \therefore N_{c,Rd} = 75 \text{ kN}$$

## Barras Comprimidas

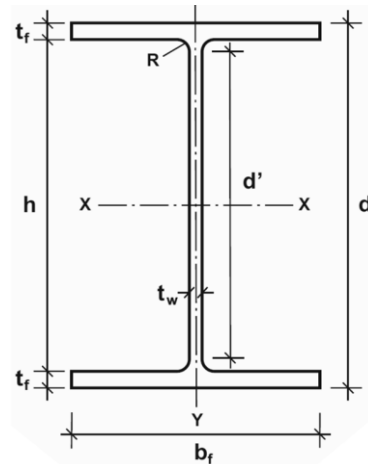
**Exercício 2** – Encontre a maior força de compressão,  $N_{c,Rd}$ , que uma coluna biarticulada (adote  $k_x=k_y=k_z=1,0$ ) de comprimento  $L=260$  cm pode suportar, sem enrijecedores transversais, escolhendo o perfil W250x32,7 kg/m. Adote aço com as seguintes propriedades mecânicas:  $f_y=25,0$  kN/cm<sup>2</sup>,  $E=20000$  kN/cm<sup>2</sup> e  $G=7700$  kN/cm<sup>2</sup>.

TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b <sub>f</sub> mm	ESPESSURA			d'	Área cm <sup>2</sup>	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r <sub>t</sub> cm	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	ESBELTEZ		C <sub>w</sub> cm <sup>6</sup>	u m <sup>2</sup> /m	BITOLA in x lb/ft
				t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm	h mm			I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>			MESA-λ <sub>y</sub> b <sub>f</sub> /2t <sub>w</sub>	ALMA-λ <sub>x</sub> d'/t <sub>w</sub>			
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4,181	0,67	W 6 x 8,5
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48	6,683	0,69	W 6 x 12
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1.229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20,417	0,88	W 6 x 15
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1.384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48	10,206	0,69	W 6 x 16
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30,277	0,90	W 6 x 20
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2.244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67	39,930	0,91	W 6 x 25
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44	8,222	0,77	W 8 x 10
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1.686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31	11,098	0,79	W 8 x 13
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2.029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42	13,868	0,79	W 8 x 15
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2.611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34	32,477	0,92	W 8 x 18
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3.168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50	40,822	0,93	W 8 x 21
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3.437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90	69,502	1,03	W 8 x 24
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4.114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86	83,948	1,04	W 8 x 28
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4.543	447,6	8,81	495,3	1.535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36	141,342	1,19	W 8 x 31
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5.298	514,4	8,90	572,5	1.784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85	166,710	1,19	W 8 x 35
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4.977	488,0	8,55	551,3	1.673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28	155,075	1,20	HP 8 x 36
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6.140	584,8	8,99	655,9	2.041	199,1	5,18	303,0	5,64	47,69	7,22	17,32	195,418	1,20	W 8 x 40
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7.660	709,2	9,17	803,2	2.537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80	249,976	1,22	W 8 x 48
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9.498	855,7	9,26	984,2	3.139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06	317,844	1,23	W 8 x 58
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2.291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,92	13,735	0,88	W 10 x 12
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2.939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97	18,629	0,89	W 10 x 15
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3.473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4	2,58	7,06	6,07	36,10	22,955	0,89	W 10 x 17
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4.046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9	2,62	10,34	5,10	34,38	27,636	0,90	W 10 x 19
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4.937	382,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7	3,86	10,44	8,02	36,03	73,104	1,07	W 10 x 22
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6.057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1	3,93	17,63	6,56	33,27	93,242	1,08	W 10 x 26
W 250 x 44,8	44,8	266	148	7,6	13,0	240	220	57,6	7.158	538,2	11,15	606,3	704	95,1	3,50	146,4	3,96	27,14	5,69	28,95	112,398	1,09	W 10 x 30
HP 250 x 62,0 (H)	62,0	246	256	10,5	10,7	225	201	79,6	8.728	709,6	10,47	790,5	2.995	234,0	6,13	357,8	6,89	33,46	11,96	19,10	417,130	1,47	HP 10 x 42
W 250 x 73,0 (H)	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	11.257	889,9	11,02	983,3	3.880	305,5	6,47	463,1	7,01	56,94	8,94	23,33	552,900	1,48	W 10 x 49
W 250 x 80,0 (H)	80,0	256	255	9,4	15,6	225	201	101,9	12.550	980,5	11,10	1.088,7	4.313	338,3	6,51	513,1	7,04	75,02	8,17	21,36	622,878	1,49	W 10 x 54
HP 250 x 85,0 (H)	85,0	254	260	14,4	14,4	225	201	108,5	12.280	966,9	10,64	1.093,2	4.225	325,0	6,24	499,6	7,00	82,07	9,03	13,97	605,403	1,50	HP 10 x 57
W 250 x 89,0 (H)	89,0	260	256	10,7	17,3	225	201	113,9	14.237	1.095,1	11,18	1.224,4	4.841	378,2	6,52	574,3	7,06	102,81	7,40	18,82	712,351	1,50	W 10 x 60
W 250 x 101,0 (H)	101,0	264	257	11,9	19,6	225	201	128,7	16.352	1.238,8	11,27	1.395,0	5.549	431,8	6,57	656,3	7,10	147,70	6,56	16,87	828,031	1,51	W 10 x 68
W 250 x 115,0 (H)	115,0	269	259	13,5	22,1	225	201	146,1	18.920	1.406,7	11,38	1.597,4	6.405	494,6	6,62	752,7	7,16	212,00	5,86	14,87	975,265	1,53	W 10 x 77
W 310 x 21,0	21,0	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2	3.776	249,2	11,77	291,9	98	19,5	1,90	31,4	2,42	3,27	8,86	53,25	21,628	0,98	W 12 x 14
W 310 x 23,8	23,8	305	101	5,6	6,7	292	272	30,7	4.346	285,0	11,89	333,2	116	22,9	1,94	36,9	2,45	4,65	7,54	48,50	25,594	0,99	W 12 x 16
W 310 x 28,3	28,3	309	102	6,0	8,9	291	271	36,5	5.500	356,0	12,28	412,0	158	31,0	2,08	49,4	2,55	8,14	5,73	45,20	35,441	1,00	W 12 x 19
W 310 x 32,7	32,7	313	102	6,6	10,8	291	271	42,1	6.570	419,8	12,49	485,3	192	37,6	2,13	59,8	2,58	12,91	4,72	41,12	43,612	1,00	W 12 x 22

$A_g = 42,10$  cm<sup>2</sup>  
 $I_x = 4937,0$  cm<sup>4</sup>  
 $r_x = 10,83$  cm  
 $I_y = 473$  cm<sup>4</sup>  
 $r_y = 3,35$  cm  
 $I_t = 10,44$  cm<sup>4</sup>  
 $C_w = 73104,0$  cm<sup>6</sup>  
 $d' = 22,00$  cm  
 $t_w = 0,61$  cm  
 $b_f = 14,60$  cm  
 $t_f = 0,91$  cm

$L = 260$  cm  
 $E = 20000$  kN/cm<sup>2</sup>  
 $G = 7700$  kN/cm<sup>2</sup>  
 $k_x = k_y = k_z = 1,0$   
 $f_y = 25$  kN/cm<sup>2</sup>  
 $\gamma_{a1} = 1,10$



A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem	(a)	(b)	⊙	(d)	(e)	(f)
Valores teóricos de $K_x$ ou $K_y$	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0

## Cálculo de Q

→Alma AA (Grupo 2)

$$b/t = \frac{d'}{t_w} = \frac{22,00}{0,61} = 36,07$$

$$(b/t)_{\text{lim}} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 42,14$$

$$Q_a = 1,0 \quad \text{se} \quad \frac{b}{t} \leq (b/t)_{\text{lim}}$$

$$Q_a = \frac{A_{\text{ef}}}{A_g} \quad \text{se} \quad \frac{b}{t} > (b/t)_{\text{lim}}$$

$$\chi = 1,0$$

$$\sigma = \chi f_y$$

$$C_a = 0,34$$

$$b_{\text{ef}} = 1,92t \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[ 1 - \frac{C_a}{b/t} \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right]$$

$$A_{\text{ef}} = A_g - \sum (b - b_{\text{ef}})t$$

$$Q_a = 1,000$$

→Mesa AL (Grupo 4)

$$b/t = \frac{b_f/2}{t_f} = \frac{14,60}{2 \times 0,91} = 8,02$$

$$Q_s = 1,0 \quad \text{se} \quad \frac{b}{t} \leq (b/t)_{\text{lim}} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 15,84$$

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad \text{se} \quad 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0,69E}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad \text{se} \quad \frac{b}{t} > 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = 1,000$$

$$\therefore Q = Q_a Q_s = 1,000$$

## Cálculo de $\chi$

$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2} = \sqrt{10,83^2 + 3,35^2} = 11,336 \text{ cm}$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(k_x L_x)^2} = \frac{\pi^2 \times 20000 \times 4937}{(1,0 \times 260)^2} = 14416,0 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(k_y L_y)^2} = \frac{\pi^2 \times 20000 \times 473}{(1,0 \times 260)^2} = 1381,16 \text{ kN}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{(k_z L_z)^2} + G I_t \right] =$$

$$N_{ez} = \frac{1}{11,336^2} \left[ \frac{\pi^2 \times 20000 \times 73104}{(1,0 \times 260)^2} + 7700 \times 10,44 \right] = 2286,6 \text{ kN}$$

$$N_e = \min(N_{ex}; N_{ey}; N_{ez}) = 1381,16 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1,000 \times 42,1 \times 25}{1381,16}} = 0,873$$

$$\text{Se } \lambda_0 \leq 1,5 \quad \text{então} \quad \chi = 0,658 \lambda_0^2$$

$$\text{Se } \lambda_0 > 1,5 \quad \text{então} \quad \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

$$\therefore \chi = 0,726$$

Assim:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,726 \times 1,000 \times 42,1 \times 25,0}{1,10} \therefore N_{c,Rd} = 694 \text{ kN}$$