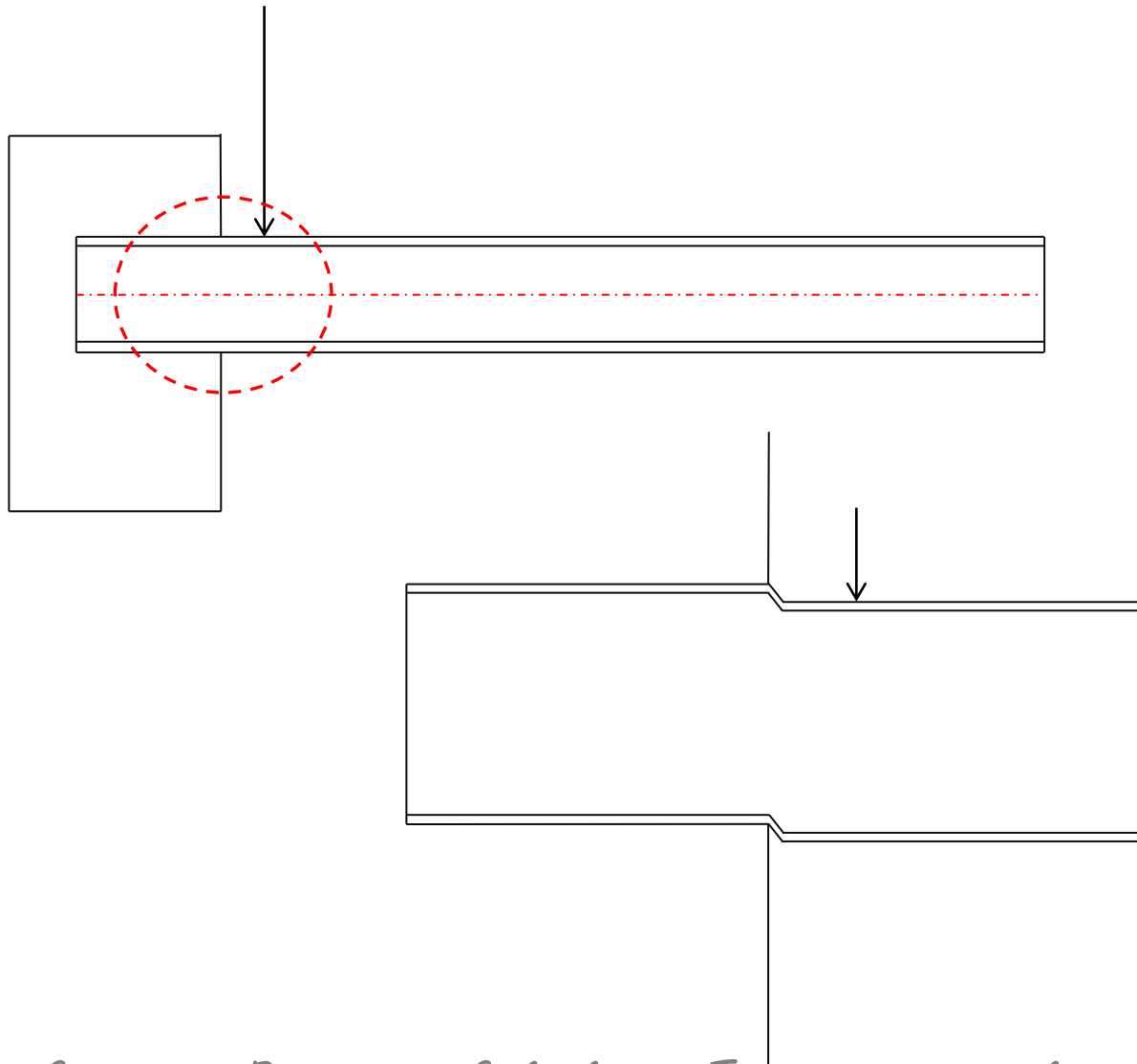


Esforço Cortante

Flexo-tração e Flexo Compressão



Força Cortante



Força cortante resistente de cálculo:

Para perfis I, H e U fletidos em relação ao eixo de maior inércia

Passo 01: Comparar esbeltez da alma com dois limites (inferior e superior)

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

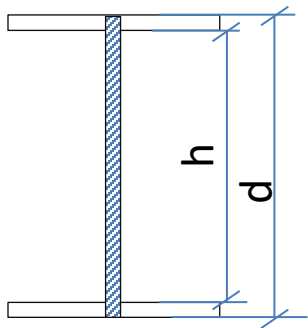
$$V_{Rd} = \frac{0,60 \cdot A_w \cdot F_y}{1,1}$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}}$$

$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda} \cdot \frac{0,60 \cdot A_w \cdot F_y}{1,1}$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}}$$

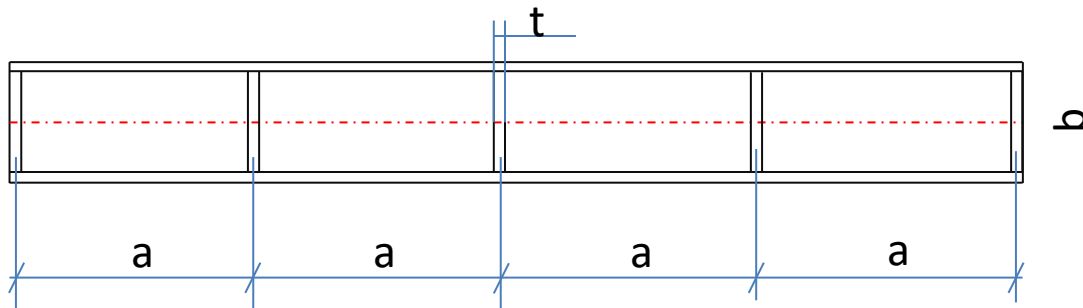
$$V_{Rd} = 1,24 \cdot \left(\frac{\lambda_p}{\lambda}\right)^2 \cdot \frac{0,60 \cdot A_w \cdot F_y}{1,1}$$



$$A_w = d \cdot t_w$$

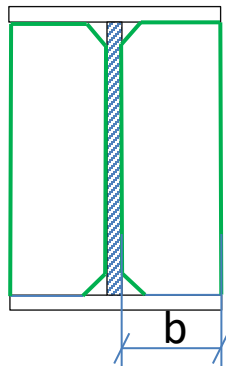
$$k_v = \begin{cases} 5,34, & \text{para almas sem enrijecedores transversais e para } \frac{a}{h} > 3 \\ 5,0 + \frac{5}{(a/h)^2}, & \text{para todos os outros casos} \end{cases}$$

Força cortante resistente de cálculo:



Cálculo da espessura mínima do enrijecedor

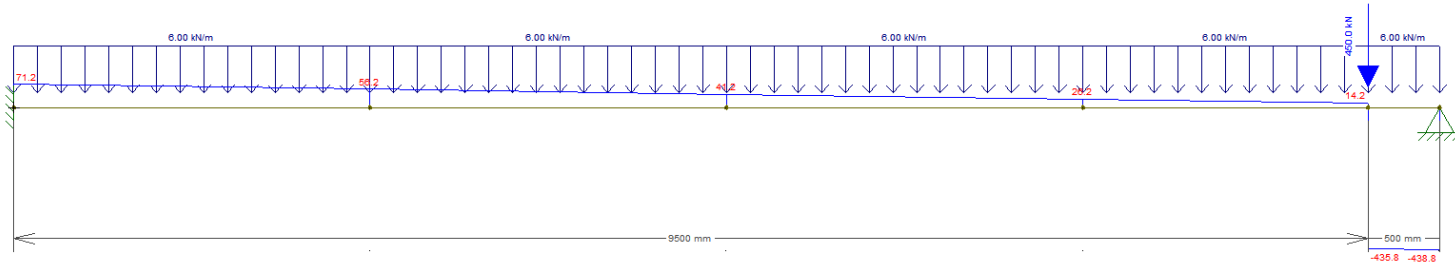
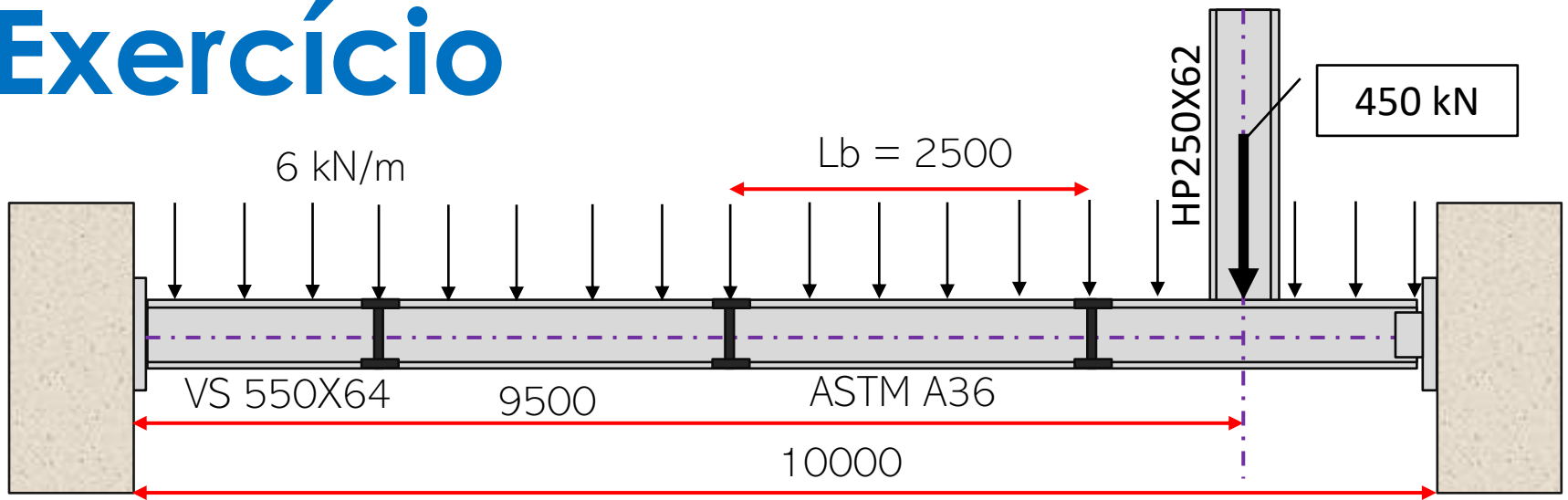
$$\frac{b}{t} < 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$



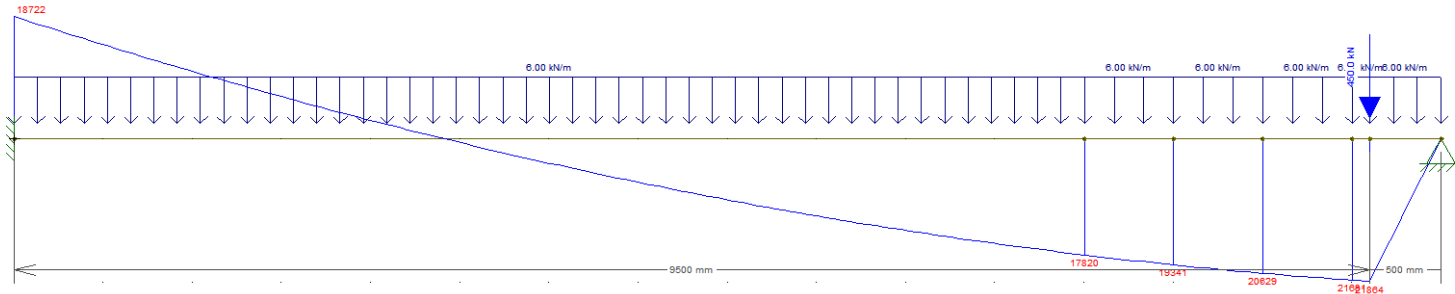
Para ASTM A36 $\frac{b}{t} < 16$

Para ASTM A572 GR50 $\frac{b}{t} < 13,65$

Exercício



$$V_{Sd} = 438,8 \text{ kN}$$



$$M_{Sd} = 21864 \text{ kN.cm}$$

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Profile	Weight	Area	Height	Web		Flange		Axis X - X				Axis Y - Y				rt	lt	Cw	h/tw	b/2tf	d/Af	ec	u	u/A
VS	m	A	d	tw	h	tf	bf	lx	Wx	rx	Zx	ly	Wy	ry	Zy	cm	cm4	cm5			cm ⁻¹	mm	m ² /m	m ⁻¹
	kg/m	cm²	mm	mm	mm	mm	mm	cm4	cm³	cm	cm³	cm4	cm³	cm	cm³									
450x70	70.1	89.3	450	6.3	425	12.5	250	33946	1509	19.5	1652	3256	260	6.04	395	6.75	36.2	1557668	67	10	1.44	5	1.89	212
450x83	83.4	106.3	450	6.3	418	16	250	41523	1845	19.76	2011	4168	333	6.26	504	6.85	71.9	1962042	66	7.8	1.125	6	1.89	178
450x95	95	121	450	6.3	412	19	250	47818	2125	19.88	2315	4949	396	6.4	598	6.91	117.9	2297825	65	6.6	0.947	6	1.89	156
500x61	61.1	77.8	500	6.3	481	9.5	250	34416	1377	21.03	1529	2475	198	5.64	302	6.55	18.4	1488026	76	13.2	2.105	5	1.99	256
500x73	72.5	92.4	500	6.3	475	12.5	250	42768	1711	21.51	1879	3256	260	5.94	395	6.7	36.6	1934052	75	10	1.6	5	1.99	215
500x86	86	109.5	500	6.3	468	16	250	52250	2090	21.84	2281	4168	333	6.17	505	6.81	72.3	2440167	74	7.8	1.25	6	1.99	182
500x97	97.4	124.1	500	6.3	462	19	250	60154	2406	22.02	2621	4949	396	6.31	598	6.87	118.3	2861887	73	6.6	1.053	6	1.99	160
550x64	63.6	81	550	6.3	531	9.5	250	42556	1547	22.92	1728	2475	198	5.53	302	6.5	18.8	1806857	84	13.2	2.316	5	2.09	258
550x75	75	95.6	550	6.3	525	12.5	250	52747	1918	23.49	2114	3256	260	5.84	396	6.65	37	2351125	83	10	1.76	5	2.09	219
550x88	88.4	112.6	550	6.3	518	16	250	64345	2340	23.9	2559	4168	333	6.08	505	6.77	72.7	2970375	82	7.8	1.375	6	2.09	186
550x100	99.9	127.3	550	6.3	512	19	250	74041	2692	24.12	2935	4949	396	6.24	599	6.84	118.7	3487799	81	6.6	1.158	6	2.09	164
600x81	81.2	103.5	600	8	581	9.5	300	62768	2092	24.63	2358	4277	285	6.43	437	7.68	27.2	3726627	73	15.8	2.105	5	2.38	230
600x95	95	121	600	8	575	12.5	300	77401	2580	25.29	2864	5627	375	6.82	572	7.89	49.1	4853760	72	12	1.6	5	2.38	197
600x111	111	141.4	600	8	568	16	300	94091	3136	25.8	3448	7202	480	7.14	729	8.05	91.9	6139008	71	9.4	1.25	6	2.38	168

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{550 - 2.9,5}{6,3} = 84,28$$

$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda} \cdot \frac{0,60 \cdot Aw \cdot Fy}{1,1}$$

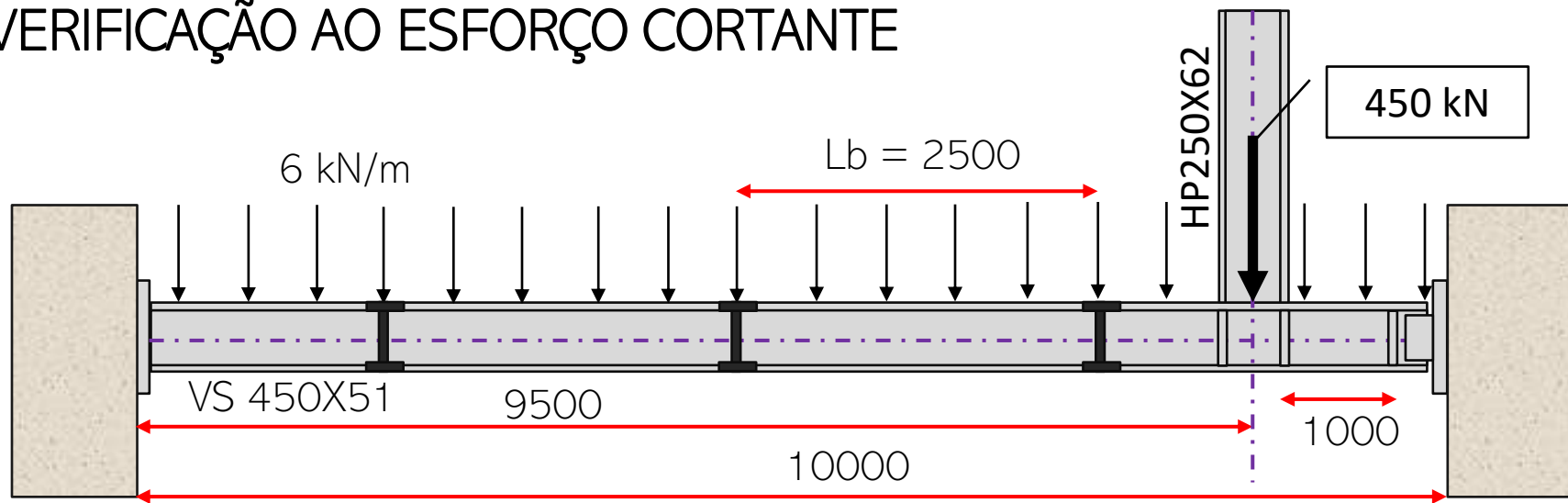
$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{5,34 \cdot 20000}{25}} = 71,89$$

$$V_{Rd} = \frac{71,89}{84,28} \cdot \frac{0,60 \cdot 55 \cdot 0,63 \cdot 25}{1,1} = 403,04 \text{ (Não OK!)}$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} \rightarrow 1,37 \cdot \sqrt{\frac{5,34 \cdot 20000}{25}} \rightarrow 89,54$$

VERIFICAÇÃO AO ESFORÇO CORTANTE

VERIFICAÇÃO AO ESFORÇO CORTANTE



$$k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \rightarrow k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{100}{53,1}\right)^2} = 6,41 \quad \lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{550 - 2,9,5}{6,3} = 84,28$$

Espessura do Enrijecedor

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{6,41 \cdot 20000}{25}} = 78,77$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} \rightarrow 1,37 \cdot \sqrt{\frac{6,41 \cdot 20000}{25}} \rightarrow 98,10$$

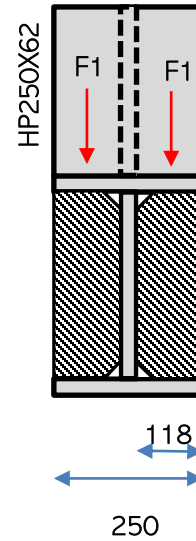
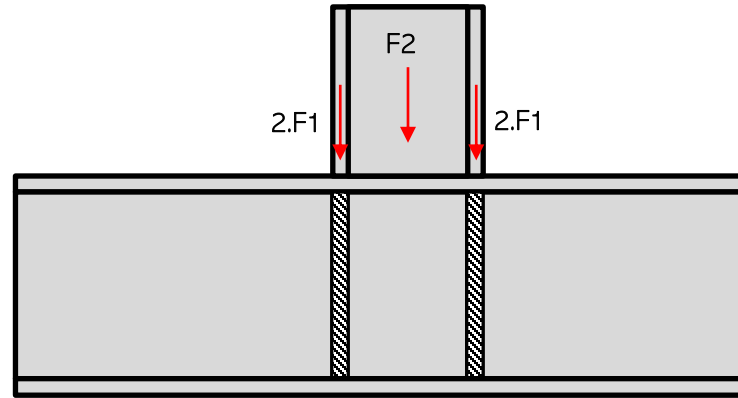
$$\frac{b}{t} < 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad t = \frac{b}{0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}}$$

$$t = \frac{0,5 \cdot (250 - 6,3)}{0,56 \sqrt{\frac{20000}{25}}} = 7,69 \text{ mm}$$

$$V_{Rd} = \frac{78,77}{84,28} \cdot \frac{0,60 \cdot 55 \cdot 0,63 \cdot 25}{1,1} = 441,61 > 438,8 \text{ (OK!)}$$

Adotar Enrijecedor #7,94mm distantes 350mm

Verificação dos enrijecedores de apoio da coluna



HP250X62

$A_g = 79,6 \text{ cm}^2$

$d = 1246 \text{ mm}$

$B_f = 256 \text{ mm}$

$t_w = 10,7 \text{ mm}$

$t_f = 10,5 \text{ mm}$

$$A_m = 25,6 \times 1,05 = 26,88 \text{ cm}^2$$

$$A_a = 79,6 - 2 \times 26,88 = 25,84 \text{ cm}^2$$

$$2 \cdot F_1 = 450 \cdot \frac{26,88}{79,6} \rightarrow F_1 = 75,98 \text{ kN}$$

$$N_{cRd} = \frac{11,8 \cdot 0,794 \cdot 25}{1,1} = 212,94 \text{ kN} > 75,98 \text{ OK!}$$

VERIFICAÇÃO AO MOMENTO FLETOR

Verificação Flambagem Lateral com Torção (FLT)

$$\frac{Lb}{r_y} = \frac{250}{5,53} = 45,20 \quad \lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 49,78$$

Verificação Flambagem Local da Mesa (FLM)

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{250}{2 \cdot 9,5} = 13,15 \quad \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 0,38 \sqrt{\frac{20500}{25}} = 10,88$$
$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{20500}{(25 - 0,3 \cdot 25)/0,4356}} = 21,45$$

6) Para perfis laminados: $M_{cr} = \frac{0,69 E}{\lambda^2} W_c$, $\lambda_r = 0,83 \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}}$

Para perfis soldados: $M_{cr} = \frac{0,90 E k_c}{\lambda^2} W_c$, $\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/k_c}}$

com k_c conforme F.2.

com o coeficiente k_c dado por

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}, \text{ sendo } 0,35 \leq k_c \leq 0,76$$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \rightarrow k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{53,1}{0,63}}} = 0,4356$$

Verificação Flambagem Local da Alma (FLA)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{53,1}{0,63} = 84,28 \quad \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 3,76 \sqrt{\frac{20500}{25}} = 107,65$$

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

SEÇÃO SEMI-COMPACTA AO FLM

$$b) \quad M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{al}} \left[M_{p\ell} - (M_{p\ell} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right], \text{ para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$$

$$M_{Rd,FLM} = \frac{1}{1,1} \cdot \left(1728,25 - (1728,25 - (0,7 \cdot 25 \cdot 1547)) \cdot \frac{13,15 - 10,88}{21,45 - 10,88} \right) = 36124 \text{ kN.cm} > 21864 \text{ kN.cm} - OK!$$

Esforços Combinados

A norma exige que após a verificação dos esforços isolados, façamos a verificação dos perfis sujeitos a esforços combinados

5.5.1 Barras submetidas a momentos fletores, força axial e forças cortantes

5.5.1.1 Em 5.5.1.2 é apresentada a condição a ser atendida pelas barras submetidas aos efeitos combinados de força axial e momento fletor, carregadas de forma que não ocorra torção. Em 5.5.1.3 é apresentada a condição a ser atendida por essas barras para o efeito das forças cortantes.

a) para $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$$

b) para $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2$

$$\frac{N_{Sd}}{2 N_{Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$$

Exercício 1

Realizar todas as verificações nas vigas e colunas do mezanino abaixo

Desconsiderar o efeito de travamento da laje. Uso: Escritórios

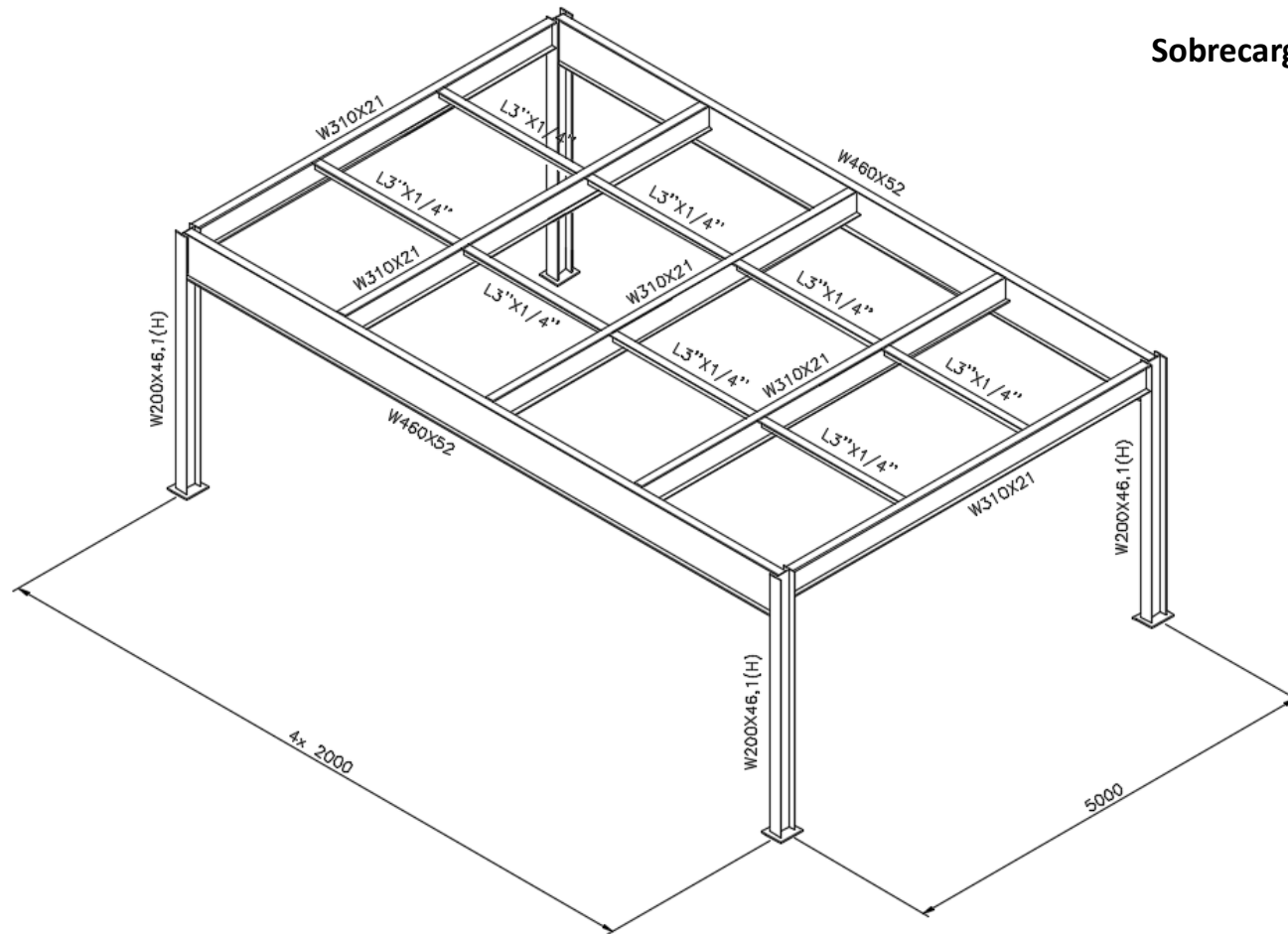
Cargas Permanentes:

Laje: $2,30 \text{ kN/m}^2$

Contrapiso + Piso: $1,00 \text{ kN/m}^2$

Paredes: $1,00 \text{ kN/m}^2$

Sobrecarga de Uso: $2,50 \text{ kN/m}^2$



BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b ₁ mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r _i cm	I _x cm ⁴	ESBELTEZ		C _w cm ⁶	u m ² /m	BITOLA mm x kg/m
				t _w mm	t _f mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³			ABA - λ _y b ₁ / 2t _f	ALMA - λ _x d' / t _w			
				mm	mm																		
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 150 x 13,0
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 150 x 18,0
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 150 x 22,5 (H)
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 150 x 24,0
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 150 x 29,8 (H)
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 150 x 37,1 (H)
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 200 x 15,0
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 200 x 19,3
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 200 x 22,5
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 200 x 26,6
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 200 x 31,3
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 200 x 35,9 (H)
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 200 x 41,7 (H)
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 200 x 46,1 (H)
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 200 x 52,0 (H)
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	13,3	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 200 x 53,0 (H)
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 200 x 59,0 (H)
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 200 x 71,0 (H)
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 200 x 86,0 (H)
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 250 x 17,9
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 250 x 22,3
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 250 x 25,3
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 250 x 28,4
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 250 x 32,7
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 250 x 38,5
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 250 x 44,8
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 250 x 62,0 (H)
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 250 x 73,0 (H)
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 250 x 80,0 (H)
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 250 x 85,0 (H)
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 250 x 89,0 (H)
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 250 x 101,0 (H)
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 250 x 115,0 (H)
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 310 x 21,0
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 310 x 23,8
W 460 x 52,0	52,0	450	152	7,6	10,8	428	404	66,6	21.370	949,8	17,91	1.095,9	634	83,5	3,09	131,7	3,79	21,79	7,04	53,21	304.837	1,47	W 460 x 52,0
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 310 x 32,7
W 310 x 38,7	38,7	310	165	5,8	9,7	291	271	49,7	8.581	553,6	13,14	615,4	727	88,1	3,82	134,9	4,38	13,20	8,51	46,66	163.728	1,25	W 310 x 38,7
W 310 x 44,5	44,5	313	166	6,6	11,2	291	271	57,2	9.997	638,8	13,22	712,8	855	103,0	3,87	158,0	4,41	19,90	7,41	41,00	194.433	1,26	W 310 x 44,5
W 310 x 52,0	52,0	317	167	7,6	13,2	291	271	67,0	11.909	751,4	13,33	842,5	1.026	122,9	3,91	188,8	4,45	31,81	6,33	35,61	236.422	1,27	W 310 x 52,0

Verificação das Vigas Secundárias

ELS: CFS

$$Q_{CFS} = (2,30 + 1,00 + 1,00) \cdot 2 + 0,6 \cdot 2,50 \cdot 2 + 0,21 = 11,81 \text{ kN/m}$$

$$y = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad y = \frac{5 \cdot 0,1181 \cdot 500^4}{384 \cdot 20000 \cdot 3776} = 1,27 \text{ cm} \quad y_{Máx} = \frac{500}{350} = 1,42 \text{ cm} \rightarrow OK!$$

ELU:

$$Q_{ELU} = (1,35 \cdot 2,30 + 1,35 \cdot 1,00 + 1,40 \cdot 1,00 + 1,50 \cdot 2,50) \cdot 2 + 1,25 \cdot 0,21 = 19,47 \text{ kN/m}$$

$$M_{Sd} = \frac{q \cdot L^2}{8} \rightarrow \frac{0,1947 \cdot 500^2}{8} = 6084 \text{ kN.cm}$$

VERIFICAÇÃO AO MOMENTO FLETOR

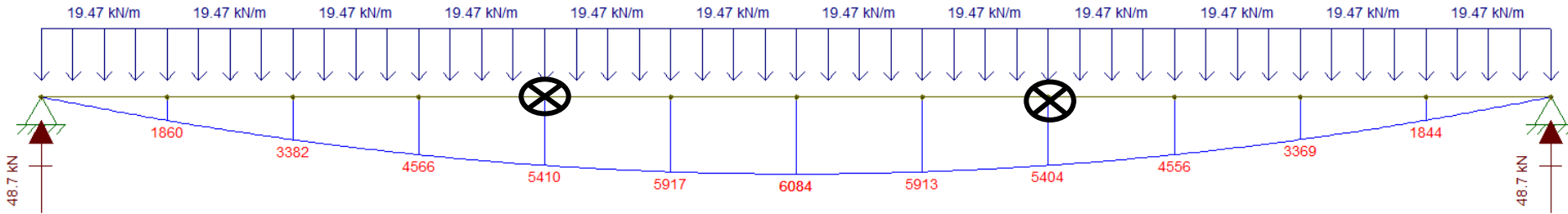
FLM:

$$\frac{b}{t} = \frac{101}{2 \cdot 5,7} = 8,86 \quad \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 0,38 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 9,15 \quad M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{1,1} \quad M_{Rd} = \frac{Z \cdot F_y}{1,1} \quad M_{Rd_{FLM}} = \frac{291,9 \cdot 34,5}{1,1} = 9155 \text{ kN.cm}$$

FLA:

$$\frac{b}{t} = \frac{272}{5,1} = 53,33 \quad \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 3,76 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 90,53 \quad M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{1,1} \quad M_{Rd} = \frac{Z \cdot F_y}{1,1} \quad M_{Rd_{FLA}} = \frac{291,9 \cdot 34,5}{1,1} = 9155 \text{ kN.cm}$$

Verificação das Vigas Secundárias



$$Cb_1 = \frac{12,5 \cdot 5410}{2,5 \cdot 5410 + 3 \cdot 1860 + 4 \cdot 3382 + 3 \cdot 5410} = 1,46 \quad Cb_2 = \frac{12,5 \cdot 6084}{2,5 \cdot 6084 + 3 \cdot 5917 + 4 \cdot 6084 + 3 \cdot 5913} = 1,01$$

FLT: Método 2 (Trecho 2)

$$M_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E I_y}{L_b^2} \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \left(1 + 0,039 \frac{J L_b^2}{C_w} \right)} \quad M_{cr} = \frac{1,01 \cdot \pi^2 \cdot 20000 \cdot 98}{167^2} \cdot \sqrt{\frac{21628}{98} \left(1 + \frac{0,039 \cdot 3,24 \cdot 167^2}{21628} \right)} = 11223,24 \text{ kN.cm}$$

$$M_{pl} = Z \cdot F_y = 291,934,5 = 10070,55 \text{ kN.cm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl}}{M_{cr}}} \quad \lambda_{LT} = \sqrt{\frac{10070,55}{11223,24}} = 0,95$$

$$0,4 < \lambda_{LT} \leq 1,4: \quad \chi_{FLT} = 1,0 - 0,49(\lambda_{LT} - 0,4) \\ \chi_{FLT} = 1,0 - 0,49(0,95 - 0,4) = 0,73$$

$$M_{rdFLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot M_{pl}}{1,1} \rightarrow \frac{0,73 \cdot 10070,55}{1,1} = 6687,76 \text{ cm} > 6084 \text{ OK!} \quad \text{90,1\%}$$

VERIFICAÇÃO AO ESFORÇO CORTANTE

$$V_{Sd} = \frac{0,1947 \cdot 500}{2} = 48,7 \text{ kN} \quad \lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{292}{5,1} = 57,25$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{5,34 \cdot 20000}{34,5}} = 61,20$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} \rightarrow 1,37 \cdot \sqrt{\frac{5,34 \cdot 20000}{34,5}} \rightarrow 76,22$$

$$V_{Rd} = \frac{0,60 \cdot A_w \cdot F_y}{1,1} \rightarrow \frac{0,60 \cdot 30,3 \cdot 0,51 \cdot 34,5}{1,1} = 290,8 \text{ kN} > 48,7 \text{ kN OK! } 16,5\%$$

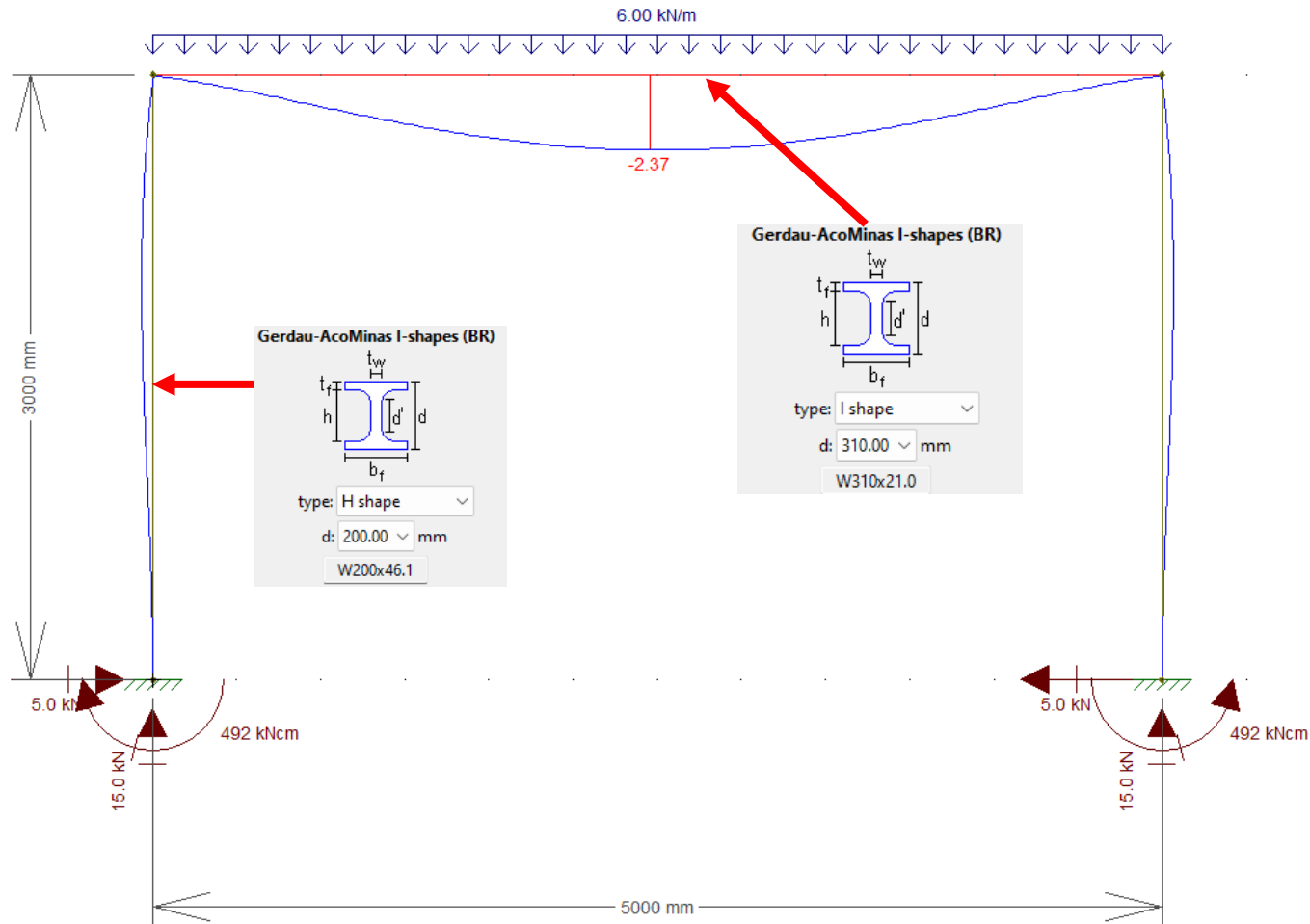
Perfil Aprovado W310X21

Verificação das Vigas Primárias de o vão de 5m

ELS: CFS

$$Q_{CFS} = (2,30 + 1,00 + 1,00) + 0,6 \cdot 2,50 + 0,21 = 6,0 \text{ kN/m}$$

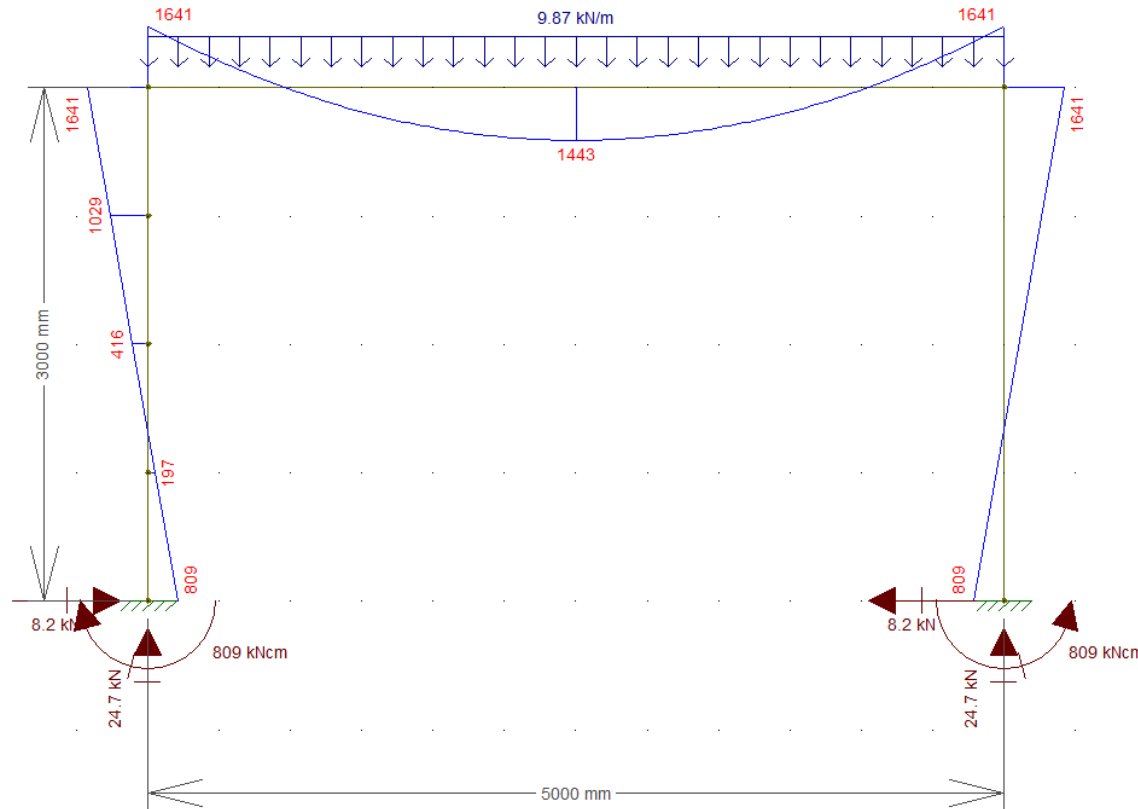
$$y_{Máx} = \frac{500}{350} = 1,42 \text{ cm} \rightarrow OK!$$



Verificação das Vigas Primárias de o vão de 5m

ELU:

$$Q_{ELU} = (1,35 \cdot 2,30 + 1,35 \cdot 1,00 + 1,40 \cdot 1,00 + 1,50 \cdot 2,50) + 1,25 \cdot 0,21 = 9,87 \text{ kN/m}$$



$$M_{rd_{FLT}} = 6687,76 \text{ cm} > 16410 \text{ K!}$$

$$V_{Rd} = 290,8 \text{ kN} > 24,7 \text{ OK!}$$

VERIFICAÇÃO À COMPRESSÃO

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_x^2} \rightarrow \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 3776}{500^2} = 2981,41 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_y^2} \rightarrow \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 98}{167^2} = 693,62 \text{ kN}$$

$$r_0^2 = r_x^2 + r_y^2 \rightarrow 11,77^2 + 1,90^2 = 142,15$$

$$N_{ez} = \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L_z^2} + G \cdot J \right]}{r_0^2} \rightarrow \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 21628}{167^2} + 7700 \cdot 3,27 \right]}{142,15} = 1254 \text{ kN}$$

$$N_e = 693,62 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A_g \cdot F_y}{N_e}} \rightarrow \sqrt{\frac{27,2 \cdot 34,5}{693,62}} = 1,35 \quad \chi = 0,658^{\lambda_0^2} \rightarrow \chi = 0,658^{1,35^2} = 0,47$$

Verificação das Vigas Primárias de o vão de 5m

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{mesa}} = \frac{\left(\frac{b_f}{2}\right)}{t_f} = \frac{\left(\frac{101}{2}\right)}{5,1} = 9,90 \quad \text{Elemento AL, Grupo 4} \quad \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 13,48$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{alma}} = \frac{d'}{t_w} = \frac{272}{5,7} = 47,71 \quad \text{Elemento AA, Grupo 2} \quad \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 35,9$$

Bef para alma

$$\frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}}}{\sqrt{\chi}} = \frac{(35,9)}{\sqrt{0,47}} = 52,36 > 47,41, b_{\text{ef alma}} = d' = 27,2 \rightarrow A_{\text{ef}} = A_g = 27,2 \text{ cm}^2$$

$$N_{\text{cRd}} = \frac{\chi \cdot A_{\text{ef}} \cdot F_y}{1,10} = \frac{0,47 \cdot 27,2 \cdot 34,5}{1,10} = 400,95 > 8,2 \text{ kN OK!}$$

VERIFICAÇÃO À COMBINAÇÃO DE ESFORÇOS

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = \frac{8,2}{400,95} = 0,02$$

$$\frac{8,2}{2 \cdot 400,95} + \left(\frac{1641}{6687,76} + 0 \right) = 0,25 < 1 \text{ OK!}$$

a) para $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$$

b) para $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2$

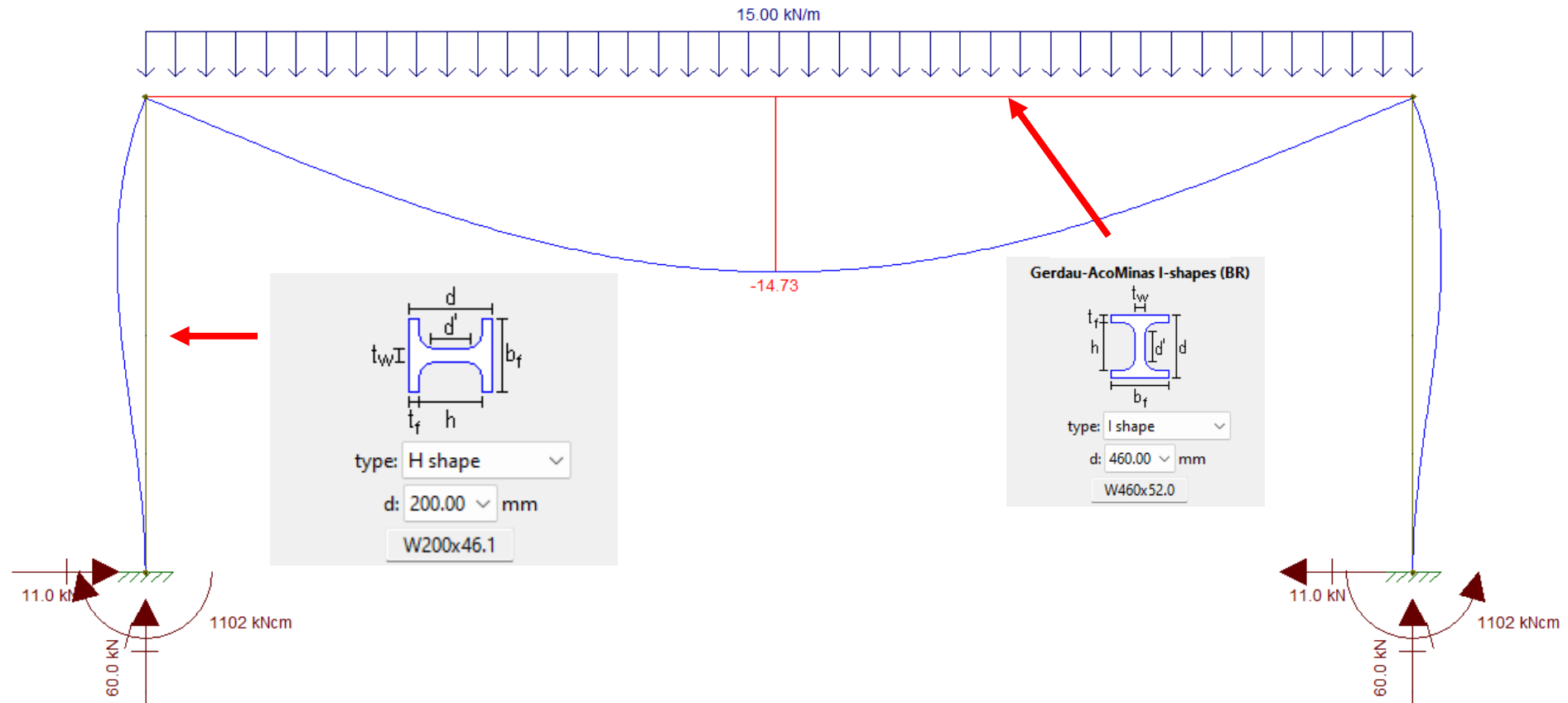
$$\frac{N_{Sd}}{2 N_{Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$$

Verificação das Vigas Primárias de o vão de 8m

ELS: CFS

$$Q_{CFS} = (2,30 + 1,00 + 1,00) \cdot 2,5 + 0,6 \cdot 2,50 \cdot 2,5 + 0,52 = 15 \text{ kN/m}$$

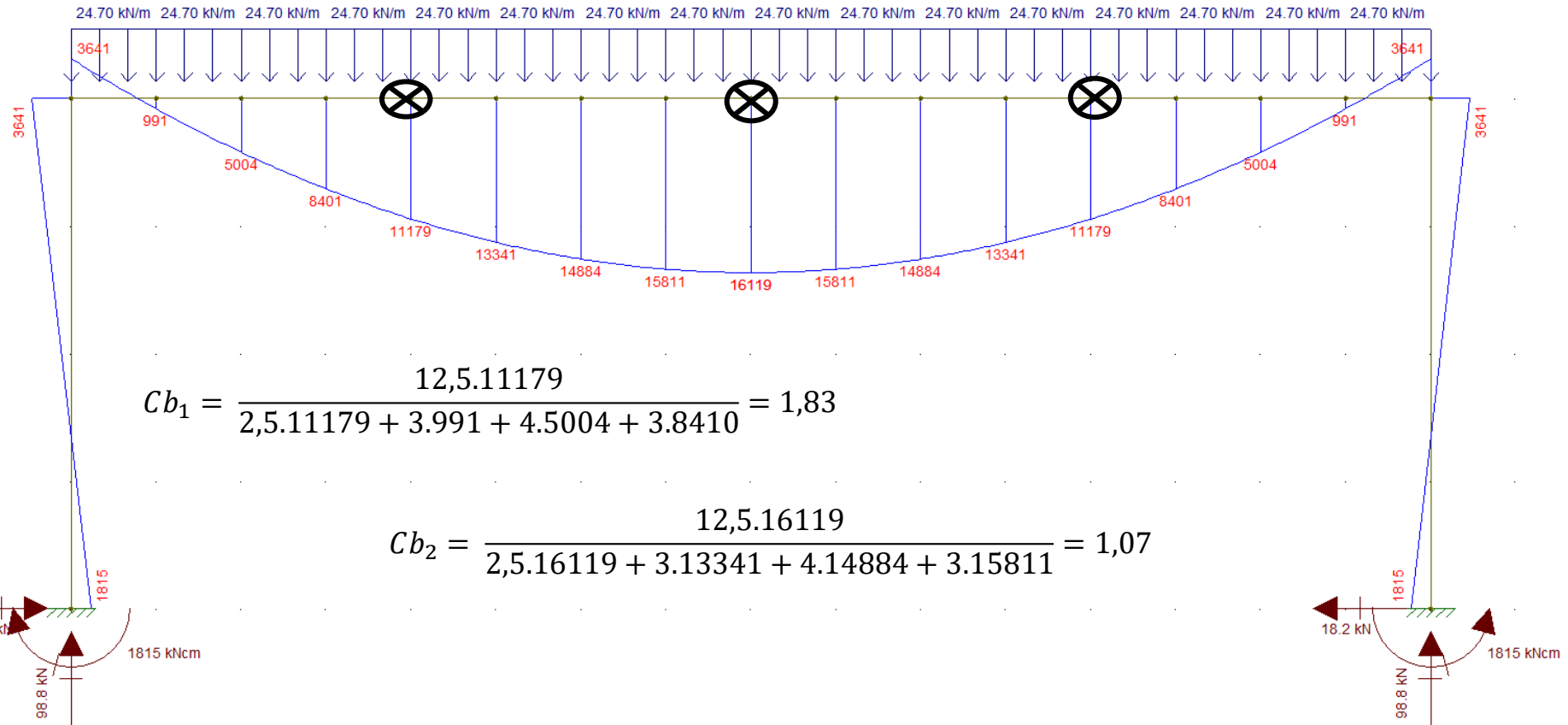
$$y_{Máx} = \frac{800}{350} = 2,28 \text{ cm} \rightarrow OK!$$



Verificação das Vigas Primárias de o vão de 8m

ELU:

$$Q_{ELU} = (1,35 \cdot 2,30 + 1,35 \cdot 1,00 + 1,40 \cdot 1,00 + 1,50 \cdot 2,50) \cdot 2,5 + 1,25 \cdot 0,52 = 24,7 \text{ kN/m}$$



Verificação das Vigas Primárias de o vão de 8m

VERIFICAÇÃO AO MOMENTO FLETOR

FLM:

$$\frac{b}{t} = 7,04 \quad \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 0,38 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 9,15 \quad M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{1,1} \quad M_{Rd} = \frac{Z \cdot F_y}{1,1} \quad M_{Rd_{FLM}} = \frac{1095,9 \cdot 34,5}{1,1} = 34371 \text{ kN.cm}$$

FLA:

$$\frac{b}{t} = 53,21 \quad \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 3,76 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 90,53 \quad M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{1,1} \quad M_{Rd} = \frac{Z \cdot F_y}{1,1} \quad M_{Rd_{FLM}} = \frac{1095,9 \cdot 34,5}{1,1} = 34371 \text{ kN.cm}$$

FLT: Método 2 (Trecho 2)

$$M_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E I_y}{L_b^2} \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \left(1 + 0,039 \frac{J L_b^2}{C_w} \right)} \quad M_{cr} = \frac{1,07 \cdot \pi^2 \cdot 20000 \cdot 634}{200^2} \cdot \sqrt{\frac{304837}{634} \left(1 + \frac{0,039 \cdot 21,79 \cdot 200^2}{304837} \right)} = 77390 \text{ kN.cm}$$

$$M_{pl} = Z \cdot F_y = 1095,9 \cdot 34,5 = 37808,55 \text{ kN.cm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl}}{M_{cr}}} \quad \lambda_{LT} = \sqrt{\frac{37808,55}{77390}} = 0,7 \quad 0,4 < \lambda_{LT} \leq 1,4: \quad \chi_{FLT} = 1,0 - 0,49(\lambda_{LT} - 0,4)$$
$$\chi_{FLT} = 1,0 - 0,49(0,7 - 0,4) = 0,85$$

$$M_{rd_{FLT}} = \frac{\chi_{FLT} \cdot M_{pl}}{1,1} \rightarrow \frac{0,85 \cdot 37808,55}{1,1} = 29319 \text{ cm} > 16119 \text{ OK!} \quad 55\%$$

VERIFICAÇÃO AO ESFORÇO CORTANTE

$$V_{Sd} = 98,8 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{428}{7,6} = 56,31$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{5,34 \cdot 20000}{34,5}} = 61,20$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} \rightarrow 1,37 \cdot \sqrt{\frac{5,34 \cdot 20000}{34,5}} \rightarrow 76,22$$

$$V_{Rd} = \frac{0,60 \cdot A_w \cdot F_y}{1,1} \rightarrow \frac{0,60 \cdot 45 \cdot 0,76 \cdot 34,5}{1,1} = 643,6 \text{ kN} > 98,8 \text{ kN OK!} \quad 16,5\%$$

VERIFICAÇÃO À COMPRESSÃO

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_x^2} \rightarrow \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 21370}{800^2} = 6591 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_y^2} \rightarrow \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 634}{200^2} = 3129 \text{ kN}$$

$$r_0^2 = r_x^2 + r_y^2 \rightarrow 17,91^2 + 3,09^2 = 330,3$$

$$N_{ez} = \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L_z^2} + G \cdot J \right]}{r_0^2} \rightarrow \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 304837}{200^2} + 7700 \cdot 21,79 \right]}{330,3} = 5064 \text{ kN}$$

$$N_e = 3129 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A_g \cdot F_y}{N_e}} \rightarrow \sqrt{\frac{66,6 \cdot 34,5}{3129}} = 0,85 \quad \chi = 0,658^{\lambda_0^2} \rightarrow \chi = 0,658^{0,85^2} = 0,74$$

Verificação das Vigas Primárias de o vão de 8m

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{mesa}} = 7,04 \quad \text{Elemento AL, Grupo 4} \quad \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 13,48$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{alma}} = \frac{d'}{t_w} = 53,21 \quad \text{Elemento AA, Grupo 2} \quad \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 35,9$$

Bef para alma

$$\frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}}}{\sqrt{\chi}} = \frac{(35,9)}{\sqrt{0,74}} = 41,73 < 53,21$$

$$\sigma_{el} = \left(c_2 \cdot \frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}}}{\left(\frac{b}{t}\right)} \right)^2 \cdot F_y \quad \sigma_{el} = \left(1,31 \cdot \frac{35,9}{53,21} \right)^2 \cdot 34,5 = 26,95 \text{ kN/cm}^2$$

$$se \frac{b}{t} > \frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}}}{\sqrt{\chi}} \rightarrow b_{ef} = b \cdot \left(1 - c_1 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{el}}{\chi \cdot F_y}} \right) \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{el}}{\chi \cdot F_y}} \quad b_{ef} = 40,4 \cdot \left(1 - 0,18 \cdot \sqrt{\frac{26,95}{0,74 \cdot 34,5}} \right) \cdot \sqrt{\frac{26,95}{0,74 \cdot 34,5}} = 33,83 \text{ cm}$$

$$A_{ef} = A_g - \sum (b - b_{ef}) \cdot t \quad A_{ef} = 66,6 - (40,4 - 33,83) \cdot 0,76 = 61,60 \text{ cm}^2$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot F_y}{1,10} = \frac{0,74 \cdot 61,60 \cdot 34,5}{1,10} = 1430 > 18,2 \text{ kN OK!}$$

Tabela 5 – Fatores c_1 e c_2 para cálculo de flambagem local

Elemento	c_1	c_2
AA (exceto paredes de seções tubulares retangulares)	0,18	1,31
Paredes de seções tubulares retangulares	0,20	1,38
AL	0,22	1,49

VERIFICAÇÃO À COMBINAÇÃO DE ESFORÇOS

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = \frac{18,2}{1430} = 0,01$$

$$\frac{18,2}{2 \cdot 1430} + \left(\frac{16119}{29319} + 0 \right) = 0,56 < 1 \text{ OK!}$$

a) para $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$$

b) para $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2$

$$\frac{N_{Sd}}{2 N_{Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$$

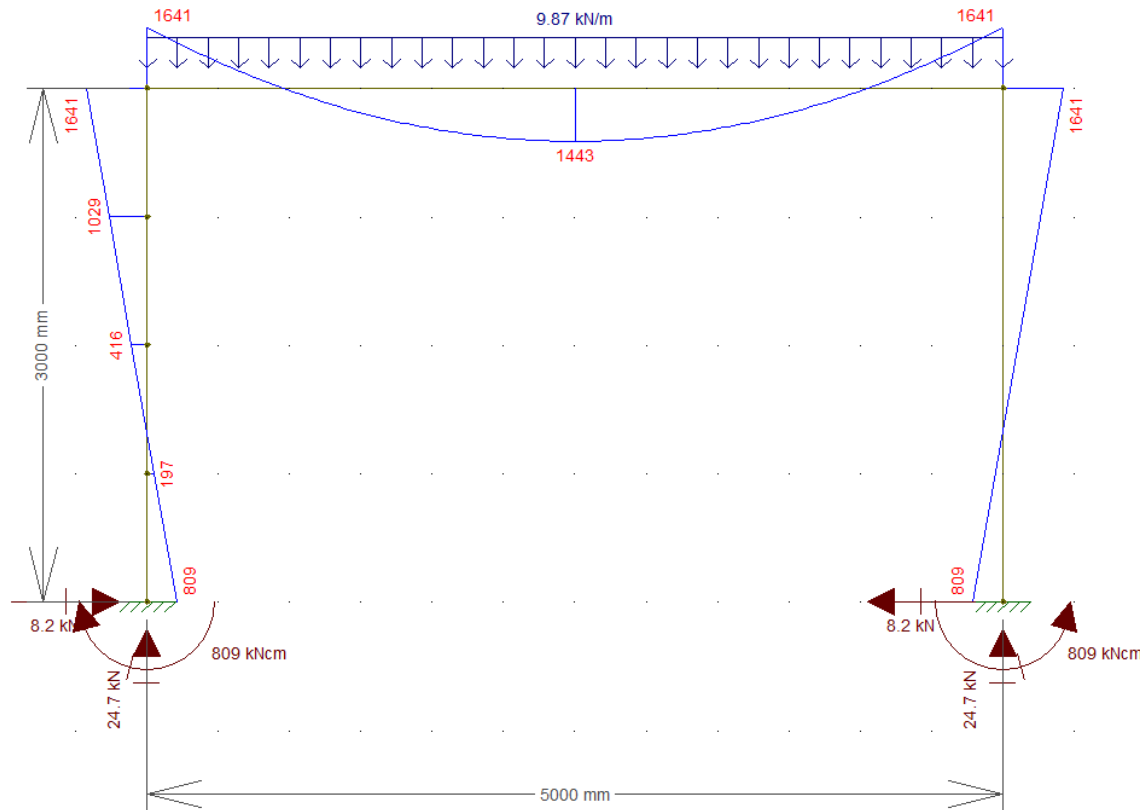
Verificação se a viga W310X21 é eficaz para contenção da viga W460X52

Considerando ligação rígida e contenção exclusivamente à torção:

$$M_{br} = \frac{0,024 \cdot M_{sd} \cdot L}{n \cdot C_b \cdot L_{bb}} \quad M_{br} = \frac{0,024 \cdot 16119,800}{3,1,07,200} = 482 \text{ kN.cm}$$

$$M_{rd_{FLT}} = \frac{\chi_{FLT} \cdot M_{pl}}{1,1} \rightarrow \frac{0,73 \cdot 10070,55}{1,1} = 6687,76 \text{ cm} > 6084 + 482 = 6566 \text{ OK!}$$

VERIFICAÇÃO AO MOMENTO FLETOR EM TORNO DE X-X



$$Cb_1 = \frac{12,5 \cdot 1641}{2,5 \cdot 1641 + 3 \cdot 197 + 4 \cdot 416 + 3 \cdot 1029} = 2,17$$

VERIFICAÇÃO AO MOMENTO FLETOR EM TORNO DE X-X

FLA:

$$\frac{b}{t} = 22,36 \quad \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 3,76 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 90,53 \quad M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{1,1} \quad M_{Rd} = \frac{Z \cdot F_y}{1,1} \quad M_{Rd_{FLM}} = \frac{495,3.34,5}{1,1} = 15534 \text{ kN.cm}$$

FLM:

$$\frac{b}{t} = 9,23 \quad \lambda_r = 0,83 \sqrt{\frac{E}{(F_y - 0,3 \cdot f_y)}} \rightarrow 0,83 \sqrt{\frac{20000}{34,5 - 0,3 \cdot 34,5}} = 23,88$$

$$M_{pl} = Z \cdot F_y = 495,3.34,5 = 17088 \text{ kN.cm}$$

$$M_{Rd} = \frac{\left(M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right)}{1,1} \quad M_{Rd} = \frac{\left(17088 - (17088 - (0,7.447,6.34,5)) \cdot \frac{9,23 - 9,15}{23,88 - 9,15} \right)}{1,1} = 17054 \text{ kN.cm}$$

VERIFICAÇÃO AO MOMENTO FLETOR EM TORNO DE X-X

FLT: Método 2

$$M_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E I_y}{L_b^2} \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \left(1 + 0,039 \frac{J L_b^2}{C_w} \right)} \quad M_{cr} = \frac{2,17 \cdot \pi^2 \cdot 20000 \cdot 1535}{300^2} \cdot \sqrt{\frac{141342}{1535} \left(1 + \frac{0,039 \cdot 22,01 \cdot 300^2}{141342} \right)} = 87181 \text{ kN.cm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl}}{M_{cr}}} \quad \lambda_{LT} = \sqrt{\frac{17088}{87181}} = 0,44$$

$$0,4 < \lambda_{LT} \leq 1,4: \quad \chi_{FLT} = 1,0 - 0,49(\lambda_{LT} - 0,4)$$

$$\chi_{FLT} = 1,0 - 0,49(0,44 - 0,4) = 0,98$$

$$M_{rd_{FLT}} = \frac{\chi_{FLT} \cdot M_{pl}}{1,1} \rightarrow \frac{0,98 \cdot 17088}{1,1} = 15230 \text{ cm} > 1641 \text{ OK!} \quad 10,7\%$$

VERIFICAÇÃO AO MOMENTO FLETOR EM TORNO DE Y-Y

FLM:

$$\frac{b}{t} = 9,23 \quad \lambda_r = 0,83 \sqrt{\frac{E}{(F_y - 0,3 \cdot f_y)}} \rightarrow 0,83 \sqrt{\frac{20000}{34,5 - 0,3 \cdot 34,5}} = 23,88$$

$$M_{Pl} = Z_y \cdot F_y = 229,5 \cdot 34,5 = 7918 \text{ kN.cm}$$

$$M_{Rd} = \frac{\left(M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right)}{1,1}$$

$$M_{Rd} = \frac{\left(7918 - (7918 - (0,7 \cdot 151,2 \cdot 34,5)) \cdot \frac{9,23 - 9,15}{23,88 - 9,15} \right)}{1,1} = 7984 \text{ kN.cm} > 3641 \text{ OK!} \quad 46,11\%$$

VERIFICAÇÃO À COMPRESSÃO

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_x^2} \rightarrow \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 4543}{300^2} = 9964 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_y^2} \rightarrow \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 1535}{200^2} = 3367 \text{ kN}$$

$$r_0^2 = r_x^2 + r_y^2 \rightarrow 8,77^2 + 4,10^2 = 93,7$$

$$N_{ez} = \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L_z^2} + G \cdot J \right]}{r_0^2} \rightarrow \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 141342}{300^2} + 7700 \cdot 22,01 \right]}{93,7} = 5117 \text{ kN}$$

$$N_e = 3367 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A_g \cdot F_y}{N_e}} \rightarrow \sqrt{\frac{58,6 \cdot 34,5}{3367}} = 0,77 \quad \chi = 0,658^{\lambda_0^2} \rightarrow \chi = 0,658^{0,77^2} = 0,78$$

Verificação das Vigas Primárias de o vão de 5m

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{mesa}} = 9,23$$

Elemento AL, Grupo 4

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 13,48$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{alma}} = \frac{d'}{t_w} = 22,36$$

Elemento AA, Grupo 2

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 35,9$$

$$A_{ef} = A_g$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot F_y}{1,10} = \frac{0,78 \cdot 58,6 \cdot 34,5}{1,10} = 1433,6 > 98,8 \text{ kN OK!}$$

VERIFICAÇÃO À COMBINAÇÃO DE ESFORÇOS

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = \frac{98,8}{1433,6} = 0,07$$

$$\frac{98,8}{2 \cdot 1433,6} + \left(\frac{1641}{15230} + \frac{3641}{7984} \right) = 0,60 < 1 \text{ OK!}$$

a) para $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$$

b) para $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2$

$$\frac{N_{Sd}}{2 N_{Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$$