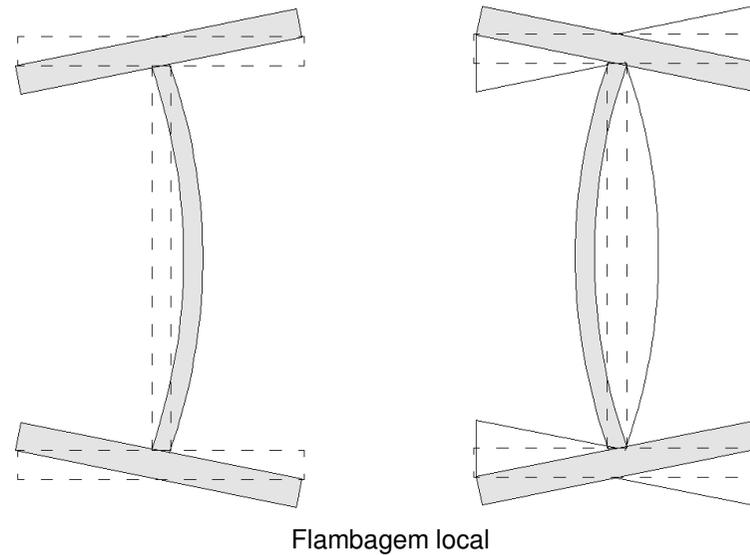
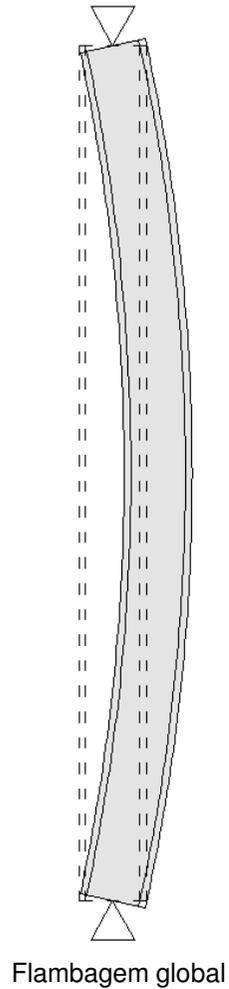


# ESTRUTURAS EM AÇO

## 08 – Barras submetidas a compressão (ABNT NBR 8800:2024)

- **FLAMBAGEM:** O modo de colapso de barras comprimidas pode estar associado à instabilidade por flambagem (local ou global).



- A ocorrência da flambagem global (por flexão) depende da esbeltez da peça ( $\lambda$ ).
- A ocorrência da flambagem local depende da esbeltez da chapa ( $b/t$ ).
- Primeiros estudos sobre flambagem são atribuídos ao matemático suíço Leonard Euler (1707-1783)
- A carga axial máxima que uma coluna pode suportar sem que ocorra flambagem é denominada carga crítica ( $P_{cr}$ ).

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

$$I = A \cdot r^2$$

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A \cdot r^2}{A \cdot L^2} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(L/r)^2}$$



➤ Índice de esbeltez:

$$\lambda = \frac{L}{r}$$

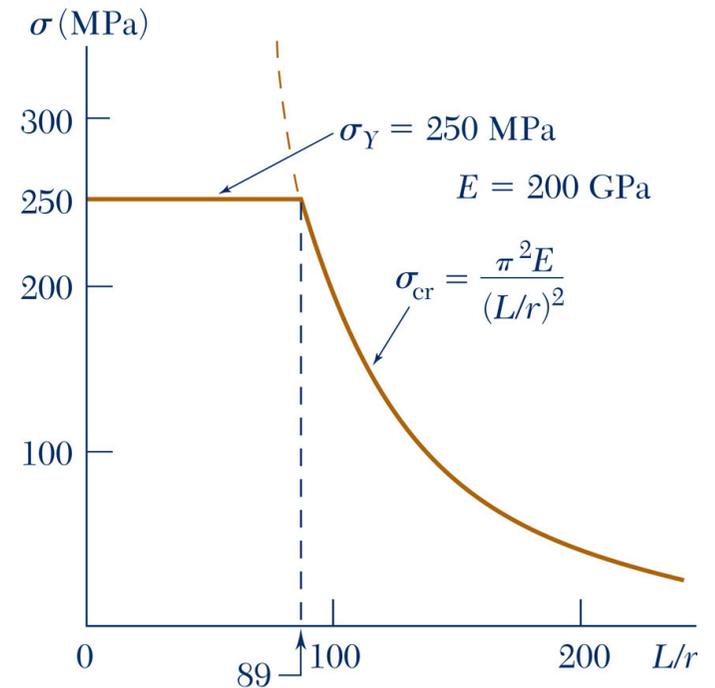
$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(\lambda)^2} = f_y$$

➤ Esbeltez limite de plastificação:

$$\lambda_{pl} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{f_y}}$$

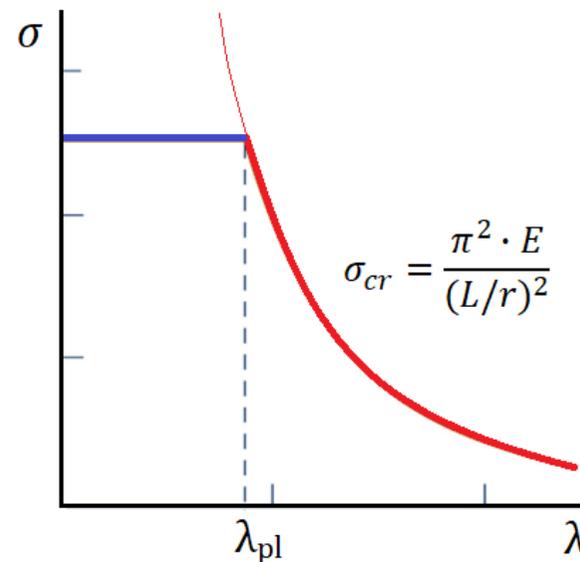
➤ Índice de esbeltez reduzido:

$$\lambda_0 = \frac{\lambda}{\lambda_{pl}} = \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{f_y}}} = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_y}{P_{cr}}}$$



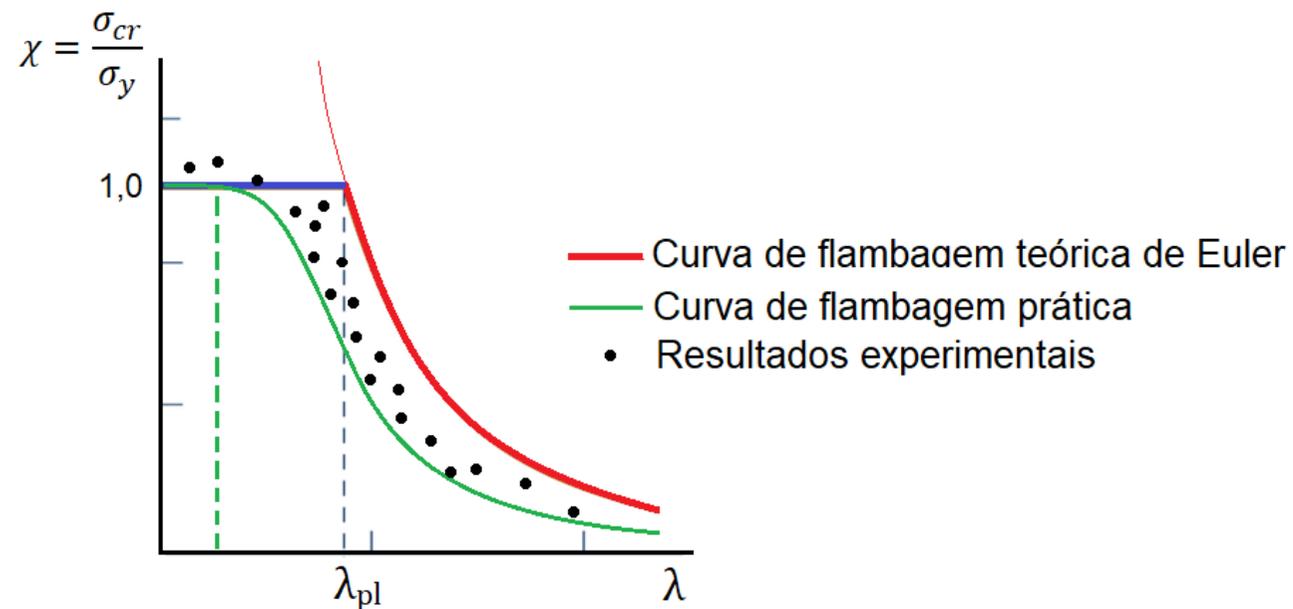
## Hipóteses teóricas de Euler:

- Em barras curtas ( $\lambda < \lambda_{pl}$ ) não há flambagem global e a falha ocorre por plastificação da seção;
- Em barras longas ( $\lambda \geq \lambda_{pl}$ ) ocorre flambagem global por flexão.



Falha por plastificação | Falha por flambagem global

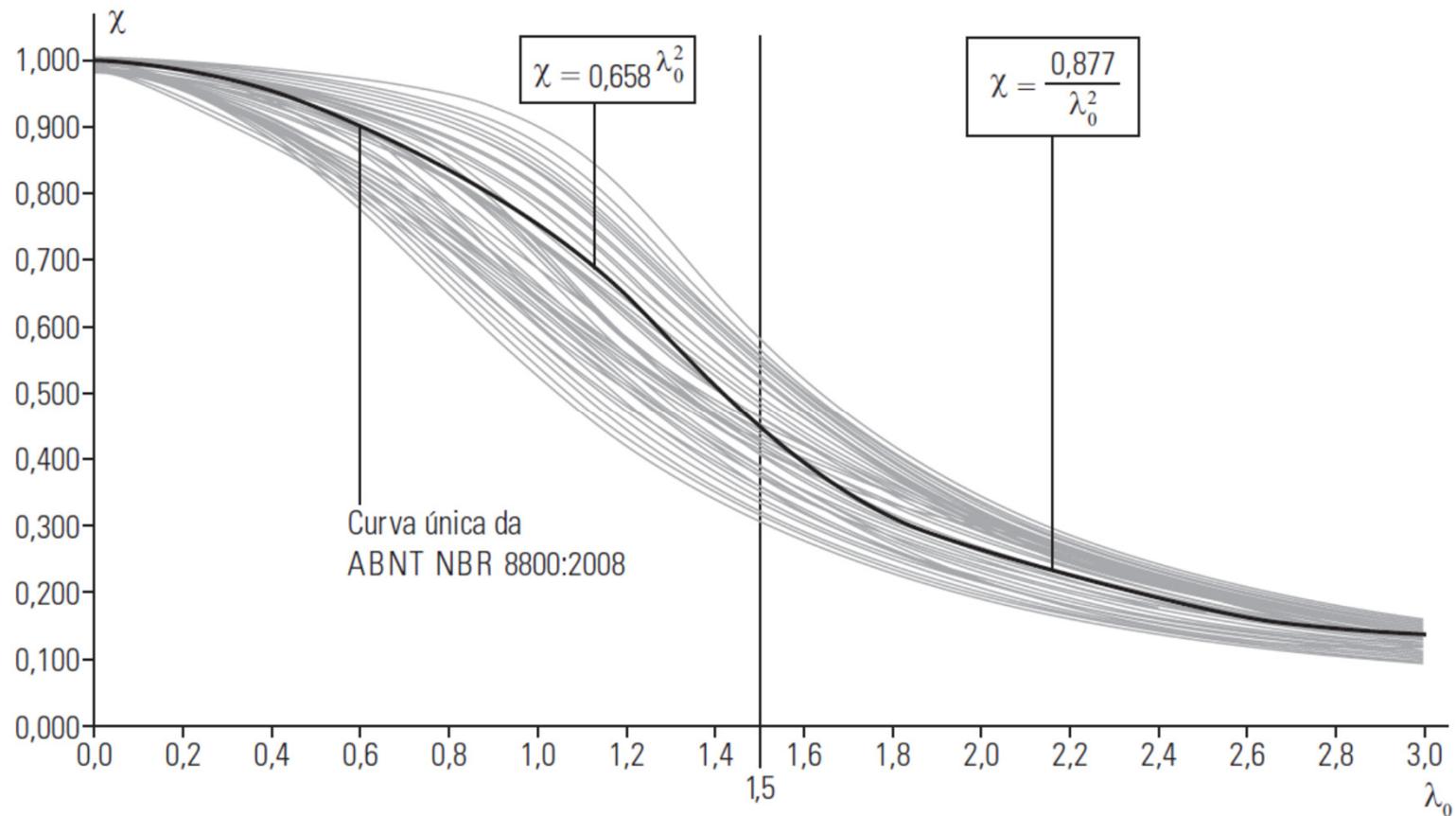
- Os resultados práticos evidenciam alterações no comportamento pelas imperfeições inerentes ao sistema estrutural.



Fonte: Adaptado de Pfiel e Pfiel (2009)

- Fator de redução de resistência à flambagem global:  $\chi = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y}$

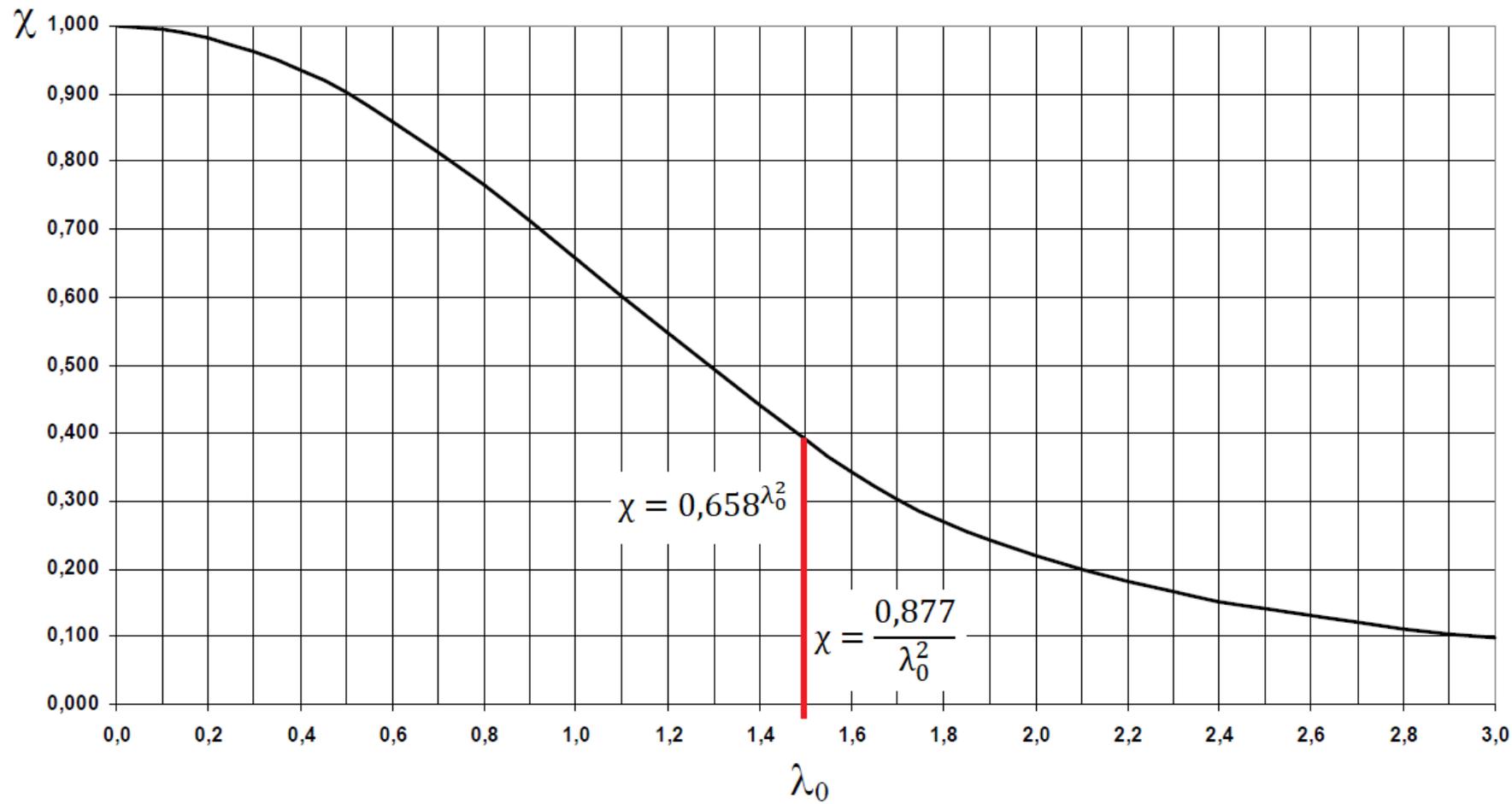
A distribuição de tensões residuais varia de perfil para perfil, logo inúmeras curvas existem para o fator de redução  $\chi$ .



Fonte: FAKURY, CASTRO E SILVA e CALDAS (2016).

Prof. Dr. Rodrigo Bordignon





Valor de  $\chi$  em função do índice de esbeltez  $\lambda_0$



## ABNT NBR 8800:2024

### 5.3 - Barras prismáticas submetidas à força axial de compressão

No dimensionamento, deve ser atendida a condição:

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd}$$

ou a taxa de utilização da barra:

$$\frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

onde:

$N_{c,Sd}$  é a força axial de compressão solicitante de cálculo;

$N_{c,Rd}$  é a força axial de compressão resistente de cálculo.

### 5.3.2 - Força axial resistente de cálculo

A força axial de compressão resistente de cálculo, deve ser determinada pela expressão:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

onde:

- $\chi$  é o fator de redução associado à resistência à compressão;
- $A_{ef}$  é a área efetiva da seção transversal da barra;
- $f_y$  é a resistência ao escoamento do aço;
- $\gamma_{a1}$  coeficiente de ponderação da resistência ao escoamento.



### 5.3.3 - Fator de redução $\chi$

O fator de redução associado à resistência à compressão,  $\chi$ , é dado por:

$$\lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0,658\lambda_0^2$$

$$\lambda_0 > 1,5 \rightarrow \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

O índice de esbeltez reduzido,  $\lambda_0$ , é dado por:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_y}{N_e}}$$

onde  $N_e$  é a força axial de flambagem elástica.

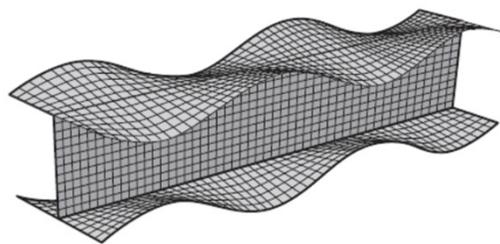


## Flambagem local de barras axialmente comprimidas

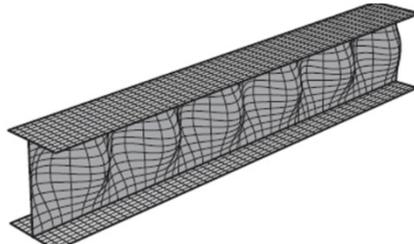
Os elementos que fazem parte das seções transversais usuais, são classificados em:

AA - duas bordas longitudinais vinculadas;

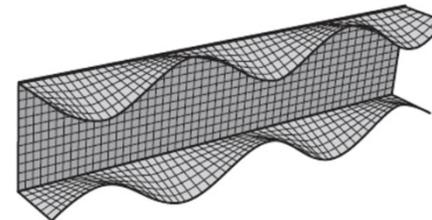
AL - apenas uma borda longitudinal vinculada.



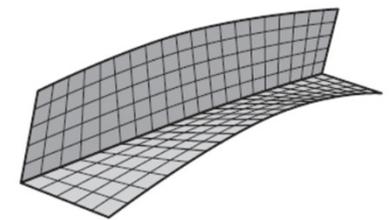
(a) Mesas (elementos AL) de perfil I ou H



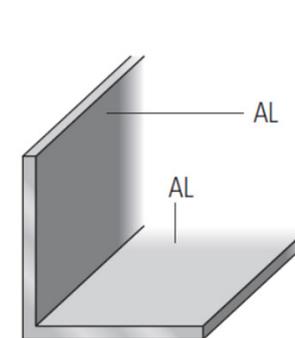
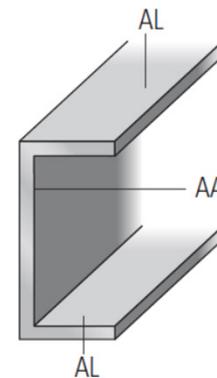
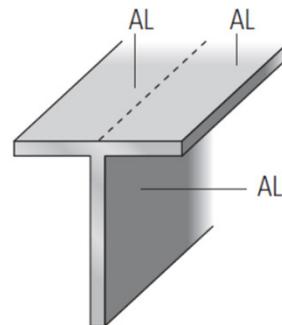
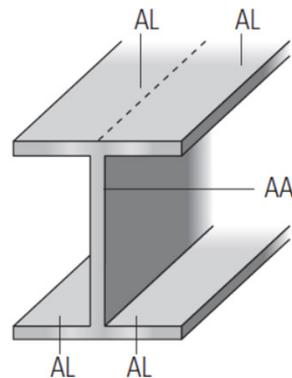
(b) Alma (elemento AA) de perfil I



(c) Mesas (elementos AL) de perfil U



(d) Abas (elementos AL) de cantoneira



Fonte: FAKURY, CASTRO E SILVA e CALDAS (2016).

Prof. Dr. Rodrigo Bordignon



### 5.3.4 Área efetiva da seção transversal

A  $A_{ef}$  deve ser considerada igual à área bruta,  $A_g$ , se todos os elementos componentes da seção transversal possuírem relação entre largura e espessura igual ou inferior ao valor limite:

$$\frac{b}{t} \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} \rightarrow A_{ef} = A_g$$

Nas barras em que um ou mais elementos componentes da seção transversal possuírem relação  $(b/t)$  maior que  $(b/t)_{lim}$ , devem ser calculadas as larguras efetivas de cada elemento:

$$\frac{b}{t} \leq \frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{lim}}{\sqrt{\chi}} \rightarrow b_{ef} = b$$

$$\frac{b}{t} > \frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{lim}}{\sqrt{\chi}} \rightarrow b_{ef} = b \left( 1 - c_1 \sqrt{\frac{\sigma_{el}}{\chi \cdot f_y}} \right) \sqrt{\frac{\sigma_{el}}{\chi \cdot f_y}}$$

onde:

$b$  é a largura do elemento;

$b_{ef}$  é a largura efetiva do elemento;

$\sigma_{el}$  é a tensão de flambagem local, que pode ser calculada pela equação a seguir ou por análise de estabilidade:

$$\sigma_{el} = \left( c_2 \frac{\left( \frac{b}{t} \right)_{lim}}{\frac{b}{t}} \right)^2 f_y$$

$c_1$  e  $c_2$  são fatores dados na tabela:

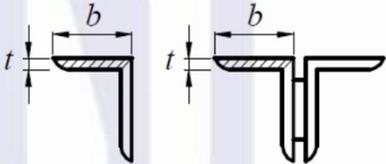
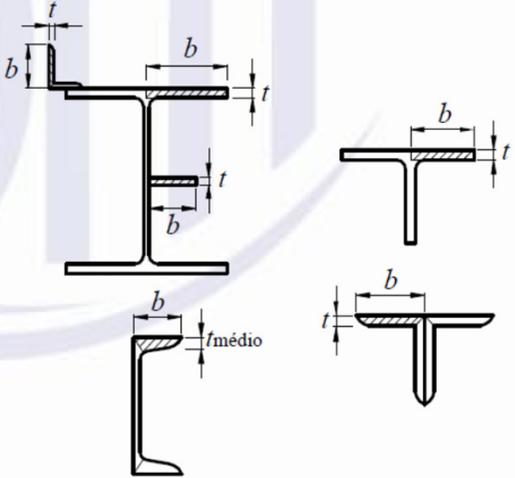
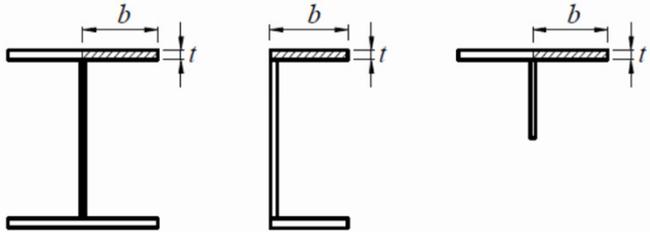
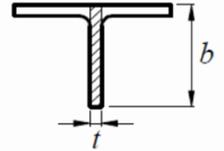
**Tabela 5 – Fatores  $c_1$  e  $c_2$  para cálculo de flambagem local**

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



Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de $b$ e $t$	$(b/t)_{lim}$
AA	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesas ou almas de seções tubulares retangulares (ver 5.1.3)</li> <li>- Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas</li> </ul>		$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Almas de seções I, H ou U</li> <li>- Mesas ou almas de seção-caixão</li> <li>- Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1</li> </ul>		$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$



AL	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas espaçadoras</li> </ul>		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesas de seções I, H, T ou U laminadas</li> <li>- Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas</li> <li>- Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas</li> </ul>		$0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesas de seções I, H, T ou U soldadas<sup>a</sup></li> </ul>		$0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}}$
	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Almas de seções T</li> </ul>		$0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
<p><sup>a</sup> <math>k_c = 4/\sqrt{h/t_w}</math>, sendo <math>0,35 \leq k_c \leq 0,76</math></p>				

A área efetiva de seções tubulares circulares é calculada conforme a seguir:

$$\frac{D}{t} \leq 0,11 \frac{E}{f_y} \rightarrow A_{ef} = A_g$$

$$0,11 \frac{E}{f_y} < \frac{D}{t} \leq 0,45 \frac{E}{f_y} \rightarrow A_{ef} = \left[ \frac{0,038 E}{D/t} \frac{E}{f_y} + \frac{2}{3} \right] A_g$$

onde

$D$  é o diâmetro externo da seção tubular circular;

$t$  é a espessura da parede do tubo.

Não é prevista a utilização de seções tubulares circulares com relação:  $\frac{D}{t} > 0,45 \frac{E}{f_y}$



### 5.3.5 - Força axial de flambagem

a) para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_x^2}$$

b) para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia y da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_y^2}$$

c) para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L_z^2} + G \cdot J \right]$$



onde:

- $L_x$  é o comprimento destravado associado à flexão em relação ao eixo x;  
 $I_x$  é o momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo x;  
 $L_y$  é o comprimento destravado associado à flexão em relação ao eixo y;  
 $I_y$  é o momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo y;  
 $L_z$  é o comprimento destravado associado à torção;  
 $E$  é o módulo de elasticidade do aço;  
 $C_w$  é o constante de empenamento da seção transversal;  
 $G$  é o módulo de elasticidade transversal do aço;  
 $J$  é a constante de torção da seção transversal ( $I_\theta$ );  
 $r_o$  é o raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento:

$$r_o = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_o^2 + y_o^2)}$$

onde:

- $r_x$  e  $r_y$  são os raios de giração em relação aos eixos x e y, respectivamente;  
 $x_o$  e  $y_o$  são as coordenadas do centro de cisalhamento em relação ao centro geométrico da seção.

### **5.3.7 - Limitação do índice de esbeltez**

Recomenda-se que o índice de esbeltez das barras comprimidas, incluindo as barras compostas atuando como uma unidade, considerado como a maior relação entre o comprimento destravado associado à flexão e o raio de giração correspondente, não supere 200.

No caso da recomendação anterior não ser atendida, o responsável técnico pelo projeto estrutural deve estabelecer novos limites para garantir que as barras comprimidas tenham um comportamento adequado em condições de serviço.

$$\lambda = \frac{L}{r} = \frac{L}{\sqrt{I/A_g}}$$



## **4.10.5 Sistemas resistentes a ações horizontais**

**4.10.5.1** Por conveniência de análise, é possível identificar, dentro da estrutura, subestruturas que, devido à sua grande rigidez a ações horizontais, resistem à totalidade ou à maior parte dessas ações. Essas subestruturas são chamadas subestruturas de contraventamento e podem ser sistemas em forma de treliça, paredes de cisalhamento, incluindo aquelas que delimitam os núcleos de serviço das edificações, e pórticos nos quais a estabilidade é assegurada pela rigidez à flexão das barras e pela capacidade de transmissão de momentos das ligações.

**4.10.5.2** Os elementos que não participam dos sistemas resistentes a ações horizontais são ditos elementos contraventados. As forças que estabilizam esses elementos devem ser transferidas para as subestruturas de contraventamento e ser consideradas no dimensionamento destas últimas.

**4.10.5.3** Os elementos que não dependem das subestruturas de contraventamento para sua estabilidade são ditos elementos isolados. São elementos cujo comportamento independe do restante da estrutura.



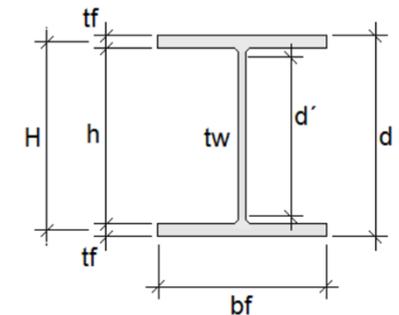
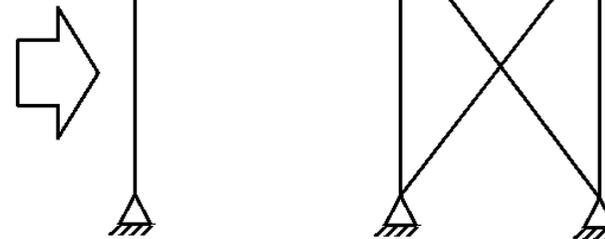
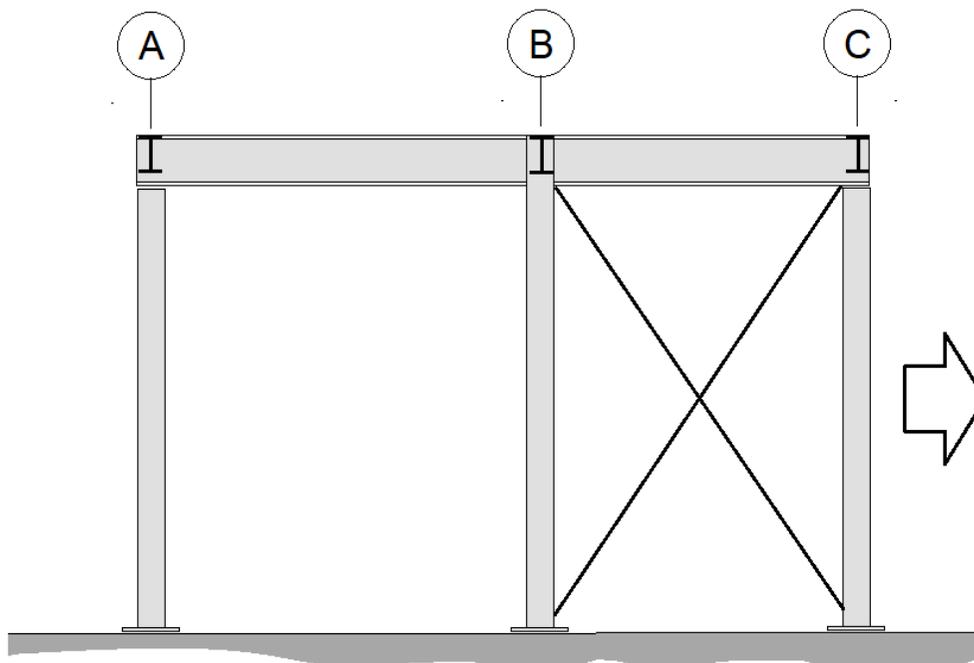
**4.10.6.1** ..., define-se comprimento destravado de uma barra como a distância entre dois pontos de contenção lateral ou entre um ponto de contenção lateral e uma extremidade.

Um ponto de contenção lateral pode ser:

- a) um nó de uma barra de uma subestrutura de contraventamento formada por um sistema em treliça ou por um pórtico no qual a estabilidade é assegurada pela rigidez à flexão das barras e pela capacidade de transmissão de momentos das ligações;
- b) um ponto qualquer das subestruturas de contraventamentos citadas em 4.10.6.1-a) devidamente ligado (ver 4.10.3) a um nó dessas subestruturas;
- c) um nó de um elemento contraventado devidamente ligado (ver 4.10.3) a uma subestrutura de contraventamento.



**Exemplo - 8.1:** Na estrutura abaixo, a coluna mais solicitada está sujeita a uma carga de compressão de 3000 kN ( $N_{c,Sd}$ ). Considerando esta coluna composta por um perfil HP310x110 com 5325 mm de comprimento total ( $L$ ), verificar a capacidade resistente à compressão ( $N_{c,Rd}$ ) e a respectiva taxa de utilização.



HP310x110(H)  
 $A_g = 141 \text{ cm}^2$   
 $m = 110 \text{ kg/m}$   
 $d = 308 \text{ mm}$   
 $d' = 245 \text{ mm}$   
 $t_w = 15,4 \text{ mm}$   
 $h = 277 \text{ mm}$   
 $t_f = 15,5 \text{ mm}$   
 $b_f = 310 \text{ mm}$   
 $I_x = 23703 \text{ cm}^4$   
 $r_x = 12,97 \text{ cm}$   
 $I_y = 7707 \text{ cm}^4$   
 $r_y = 7,39 \text{ cm}$   
 $C_w = 1646104 \text{ cm}^6$   
 $I_t = 125,68 \text{ cm}^4$

Prof. Dr. Rodrigo Bordignon



# TABELA DE BITOLAS PERFIS ESTRUTURAIS W E HP



BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	ESPESSURA					EIXO X - X				EIXO Y - Y				ESBELTEZ		C <sub>w</sub> cm <sup>6</sup>	u m <sup>2</sup> /m	BITOLA in x lb/ft			
			b <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm	h mm	d' mm	Área cm <sup>2</sup>	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>	r <sub>t</sub> cm				l <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	Mesa - λ <sub>t</sub> b <sub>f</sub> /2.t <sub>f</sub>	Alma - λ <sub>w</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	1229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20,477	0,88	W 6 x 15
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1384	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	1739	221,5	6,72	247,5	558	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30,277	0,90	W 6 x 20
HP 310 x 110,0 (H)	110,0	308	310	15,4	15,5	277	245	141,0	23703	1539,1	12,97	1730,6	7707	497,3	7,39	763,7	8,33	125,66	10,00	15,91	1.646.104	1,80	HP 12 x 74
W 310 x 117,0 (H)	117,0	314	307	11,9	18,7	277	245	149,9	27563	1755,8	13,56	1952,8	9024	587,9	7,76	893,1	8,44	161,61	8,21	20,55	1.965.950	1,80	W 12 x 79
HP 310 x 125,0 (H)	125,0	312	312	17,4	17,4	277	245	159,0	27076	1735,6	13,05	1963,3	8823	565,6	7,45	870,6	8,38	177,98	8,97	14,09	1.911.029	1,81	HP 12 x 84
W 310 x 129,0 (H)*	129,0	318	308	13,1	20,6	277	245	165,4	30819	1938,3	13,65	2167,8	10039	651,9	7,79	991,2	8,48	214,66	7,48	18,89	2.218.146	1,81	W 12 x 87
HP 310 x 132 (H)*	132,0	314	313	18,3	18,3	277	245	167,5	28731	1830,0	13,10	2075,5	9371	598,8	7,48	922,4	8,41	206,79	8,55	13,41	2.044.445	1,82	HP 12 x 89
W 310 x 143,0 (H)*	143,0	323	309	14,0	22,9	277	245	182,5	34812	2155,8	13,81	2422,2	11270	729,4	7,86	1109,2	8,52	288,76	6,75	17,51	2.535.314	1,83	W 12 x 96
W 310 x 158,0 (H)*	158,0	327	310	15,5	25,1	277	245	200,7	38681	2365,8	13,88	2875,7	12474	804,8	7,88	1225,2	8,55	379,96	6,18	15,79	2.839.709	1,84	W 12 x 106
W 310 x 179,0 (H)*	179,0	333	313	18,0	28,1	277	245	227,9	44580	2877,5	13,99	3056,2	14378	918,7	7,94	1401,7	8,62	541,03	5,57	13,60	3.337.666	1,85	W 12 x 120
W 310 x 202,0 (H)*	202,0	341	315	20,1	31,8	277	245	258,3	52030	3051,6	14,19	3513,7	16589	1053,2	8,01	1608,7	8,69	777,99	4,95	12,21	3.959.374	1,87	W 12 x 136
W 360 x 32,9	32,9	349	127	5,8	8,5	332	308	42,1	8358	479,0	14,09	547,6	291	45,9	2,63	72,0	3,20	9,15	7,47	53,10	84,111	1,17	W 14 x 22
W 360 x 39,0	39,0	353	128	6,5	10,7	332	308	50,2	10331	585,3	14,35	667,7	375	58,6	2,73	91,9	3,27	15,83	5,98	47,32	109.551	1,18	W 14 x 26
W 360 x 44,6	44,6	352	171	6,9	9,8	332	308	57,7	12258	696,5	14,58	784,3	818	95,7	3,77	148,0	4,43	16,70	8,72	44,70	239.091	1,35	W 14 x 30
W 360 x 51,0	51,0	355	171	7,2	11,6	332	308	64,8	14222	801,2	14,81	899,5	968	113,3	3,87	174,7	4,49	24,85	7,37	42,75	284.994	1,36	W 14 x 34
W 360 x 58	58,0	358	172	7,9	13,1	332	308	72,5	16143	901,8	14,92	1014,8	1113	129,4	3,92	199,8	4,53	34,45	6,56	38,96	330.394	1,37	W 14 x 38
W 360 x 64,0	64,0	347	203	7,7	13,5	320	288	81,7	17890	1031,1	14,80	1145,5	1885	185,7	4,80	284,5	5,44	44,57	7,52	37,40	523.362	1,46	W 14 x 43
W 360 x 72,0	72,0	350	204	8,6	15,1	320	288	91,3	20169	1152,5	14,86	1285,9	2140	209,8	4,84	321,8	5,47	61,18	6,75	33,47	599.082	1,47	W 14 x 48
W 360 x 79,0	79,0	354	205	9,4	16,8	320	288	101,2	22713	1283,2	14,98	1437,0	2416	235,7	4,89	361,9	5,51	82,41	6,10	30,68	695.701	1,48	W 14 x 53
W 360 x 91,0 (H)	91,0	353	254	9,5	16,4	320	288	115,9	26755	1515,9	15,19	1680,1	4483	353,0	6,22	538,1	6,90	92,61	7,74	30,34	1.268.709	1,68	W 14 x 61
W 360 x 101,0 (H)	101,0	357	255	10,5	18,3	320	286	129,5	30279	1696,3	15,29	1888,9	5063	397,1	6,25	606,1	6,93	128,47	6,97	27,28	1.450.410	1,68	W 14 x 68
W 360 x 110,0 (H)	110,0	360	256	11,4	19,9	320	288	140,6	33155	1841,9	15,36	2059,3	5570	435,2	6,29	664,5	6,96	161,93	6,43	25,28	1.609.070	1,69	W 14 x 74
W 360 x 122,0 (H)	122,0	363	257	13,0	21,7	320	288	155,3	36599	2016,5	15,35	2269,8	6147	478,4	6,29	732,4	6,98	212,70	5,92	22,12	1.787.806	1,70	W 14 x 82
W 410 x 38,8	38,8	399	140	6,4	8,8	381	357	50,3	12777	640,5	15,94	736,8	404	57,7	2,83	90,9	3,49	11,89	7,95	55,84	153.190	1,32	W 16 x 26
W 410 x 46,1	46,1	403	140	7,0	11,2	381	357	59,2	15690	778,7	16,27	891,1	514	73,4	2,95	115,2	3,55	20,06	6,25	50,94	196.571	1,33	W 16 x 31
W 410 x 53,0	53,0	403	177	7,5	10,9	381	357	68,4	18734	929,7	16,55	1052,2	1009	114,0	3,84	176,9	4,56	23,38	8,12	47,63	387.194	1,48	W 16 x 36
W 410 x 60,0	60,0	407	178	7,7	12,8	381	357	76,2	21707	1066,7	16,88	1201,5	1205	135,4	3,98	209,2	4,65	33,78	6,95	46,42	467.404	1,49	W 16 x 40
W 410 x 67,0	67,0	410	179	8,8	14,4	381	357	86,3	24678	1203,8	16,91	1362,7	1379	154,1	4,00	239,0	4,67	48,11	6,22	40,59	538.546	1,50	W 16 x 45
W 410 x 75,0	75,0	413	180	9,7	16,0	381	357	95,8	27616	1337,3	16,98	1518,6	1559	173,2	4,03	269,1	4,70	65,21	5,83	36,80	612.784	1,51	W 16 x 50
W 410 x 85,0	85,0	417	181	10,9	18,2	381	357	108,6	31858	1518,4	17,07	1731,7	1804	199,3	4,08	310,4	4,74	94,48	4,97	32,72	715.165	1,52	W 16 x 57
W 460 x 52,0	52,0	450	152	7,6	10,8	428	404	66,6	21370	949,8	17,91	1095,9	634	83,5	3,09	131,7	3,79	21,79	7,04	53,21	304.837	1,47	W 18 x 35
W 460 x 60,0	60,0	455	153	8,0	13,3	428	404	76,2	25652	1127,6	18,35	1292,1	796	104,1	3,23	163,4	3,89	34,60	5,75	50,55	387.230	1,49	W 18 x 40
W 460 x 68,0	68,0	459	154	9,1	15,4	428	404	87,6	29851	1300,7	18,46	1495,4	941	122,2	3,28	192,4	3,93	52,29	5,00	44,42	461.163	1,50	W 18 x 46
W 460 x 74,0	74,0	457	190	9,0	14,5	428	404	94,9	33415	1462,4	18,77	1657,4	1661	174,8	4,18	271,3	4,93	52,97	6,55	44,89	611.417	1,64	W 18 x 50
W 460 x 82,0	82,0	460	191	9,9	16,0	428	404	104,7	37157	1615,5	18,84	1836,4	1862	195,0	4,22	303,3	4,96	70,62	5,97	40,81	915.745	1,64	W 18 x 55
W 460 x 89,0	89,0	463	192	10,5	17,7	428	404	114,1	41105	1775,8	18,98	2019,4	2093	218,0	4,28	339,0	5,01	92,49	5,42	38,44	1.035.073	1,65	W 18 x 60
W 460 x 97,0	97,0	466	193	11,4	19,0	428	404	123,4	44658	1916,7	19,03	2187,4	2283	236,6	4,30	368,8	5,03	115,05	5,08	35,44	1.137.180	1,66	W 18 x 65
W 460 x 106,0	106,0	469	194	12,6	20,8	428	404	135,1	48978	2088,6	19,04	2304,6	2515	259,3	4,32	405,7	5,05	148,19	4,71	32,05	1.280.063	1,67	W 18 x 71



Índice de esbeltez da barra comprimida:

$$\frac{L_x}{r_x} \leq 200 \rightarrow \frac{5325 \text{ mm}}{129,7 \text{ mm}} = 41,06 \leq 200 \rightarrow \text{ok!}$$

$$\frac{L_y}{r_y} \leq 200 \rightarrow \frac{5325 \text{ mm}}{73,9 \text{ mm}} = 72,06 \leq 200 \rightarrow \text{ok!}$$



Flambagem por flexão em relação ao eixo x da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_x^2} = \frac{\pi^2 (200 \cdot 10^3) (23703 \cdot 10^4)}{5325^2}$$

$$N_{ex} = 16500376 \text{ N}$$

Flambagem por flexão em relação ao eixo y da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_y^2} = \frac{\pi^2 (200 \cdot 10^3) (7707 \cdot 10^4)}{5325^2}$$

$$N_{ey} = 5365076 \text{ N}$$



## Flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L_z^2} + G \cdot J \right]$$

$$r_0 = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2)} = \sqrt{(129,7^2 + 73,9^2 + 0^2 + 0^2)} = 149,28 \text{ mm}$$

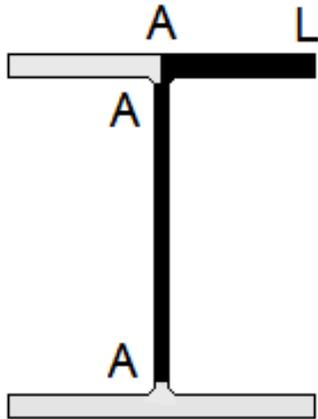
$$N_{ez} = \frac{1}{149,28^2} \left[ \frac{\pi^2 (200 \cdot 10^3) (1646104 \cdot 10^6)}{5325^2} + (77 \cdot 10^3) (125,68 \cdot 10^4) \right]$$

$$N_{ez} = 9484613 \text{ N}$$



## Verificação da Esbeltez Local

### Alma: Elemento AA – Grupo 2



$$\frac{b}{t} = \frac{d'}{t_w}$$

$$\frac{b}{t} \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}}$$

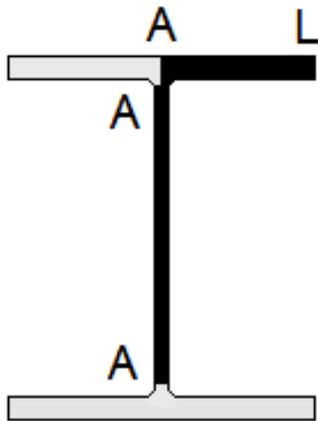
$$\frac{245 \text{ mm}}{15,4 \text{ mm}} \leq 1,49 \sqrt{\frac{200 \cdot 10^3 \text{ MPa}}{345 \text{ MPa}}}$$

$$15,91 \leq 35,87 \rightarrow \text{ok!}$$



## Verificação da Esbeltez Local

### Mesas: Elemento AL – Grupo 4:



$$\frac{b}{t} \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}}$$

$$\frac{310 \text{ mm}/2}{15,5 \text{ mm}} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200 \cdot 10^3 \text{ MPa}}{345 \text{ MPa}}}$$

$$10,00 \leq 13,48 \rightarrow \text{ok!}$$

$$A_{\text{ef}} = A_{\text{g}} = 14100 \text{ mm}^2$$

Índice de esbeltez reduzido:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{14100 \cdot 345}{5365076}} = 0,9522$$

Fator de redução:

$$\lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0,658^{\lambda_0^2} = 0,658^{0,9522^2} = 0,6842$$

Força axial de compressão resistente de cálculo:

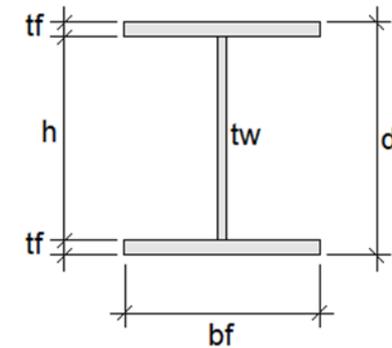
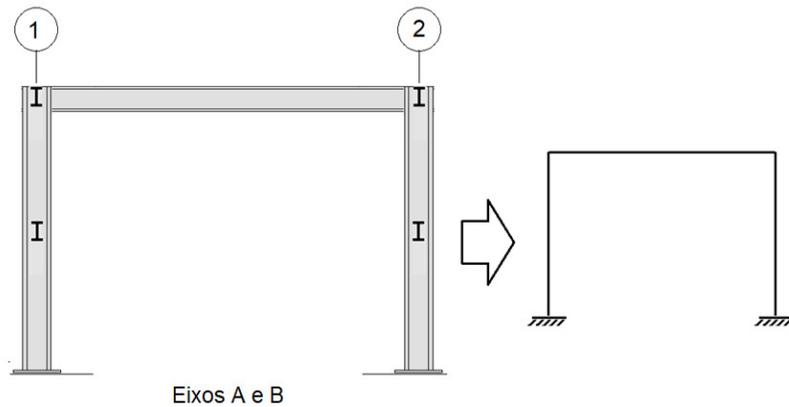
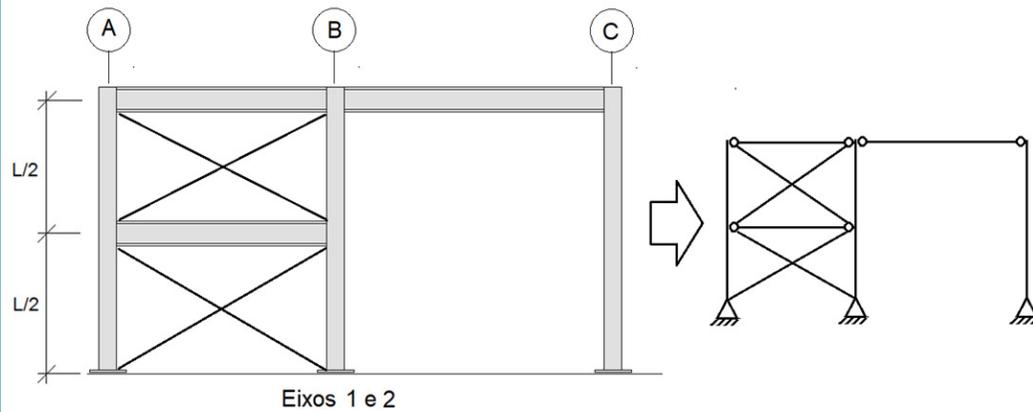
$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,6842 \cdot 14100 \cdot 345}{1,1} = 3025739 \text{ N} = 3025,74 \text{ kN}$$

Taxa de utilização do perfil:

$$\frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} = \frac{3000 \text{ kN}}{3025,74 \text{ kN}} = 0,991 \text{ (99\%)}$$



**Exemplo - 8.2:** As colunas da estrutura abaixo possuem 8,46 metros de altura ( $L$ ) e estão submetidas à uma carga de compressão de 2800 kN ( $N_{c,Sd}$ ). Sabendo que todas são feitas com um perfil CVS400x103, em aço USI CIVIL 300, verifique suas capacidades resistentes à compressão ( $N_{c,Rd}$ ) e as respectivas taxas de utilização.



CVS400x103  
 $A_g = 131 \text{ cm}^2$   
 $m = 102,8 \text{ kg/m}$   
 $d = 400 \text{ mm}$   
 $t_w = 9,5 \text{ mm}$   
 $h = 368 \text{ mm}$   
 $t_f = 16 \text{ mm}$   
 $b_f = 300 \text{ mm}$   
 $I_x = 39355 \text{ cm}^4$   
 $r_x = 17,33 \text{ cm}$   
 $I_y = 7203 \text{ cm}^4$   
 $r_y = 7,42 \text{ cm}$   
 $C_w = 2654208 \text{ cm}^6$   
 $I_t = 92,9 \text{ cm}^4$

Prof. Dr. Rodrigo Bordignon



PERFIL CVS	MASSA	ÁREA	ALT.	ALMA			MESAS			EIXO X - X				EIXO Y - Y				rT	IT	Cw	h/tw	bf/2tf	d/af	ec	u	u/A
	m kg/m	A cm <sup>2</sup>	d mm	tw mm	h mm	tf mm	bf mm	lx cm <sup>4</sup>	Wx cm <sup>3</sup>	rx cm	Zx cm <sup>3</sup>	ly cm <sup>4</sup>	Wy cm <sup>3</sup>	ry cm	Zy cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>6</sup>			cm <sup>-1</sup>	mm	m <sup>2</sup> /m	m <sup>-1</sup>		
350 x 73	73,3	93,4	350	9,5	325	12,5	250	20524	1173	14,82	1306	3258	261	5,91	398	6,69	42,2	926971	34	10	1,12	5	1,68	180		
350 x 87	86,5	110,2	350	9,5	318	16	250	24874	1421	15,02	1576	4169	334	6,15	507	6,8	77,8	1162042	33	7,8	0,875	6	1,68	152		
350 x 98	97,8	124,6	350	9,5	312	19	250	28454	1626	15,11	1803	4950	396	6,3	601	6,87	123,8	1355247	33	6,6	0,737	6	1,68	135		
350 x 105	105,2	134	350	12,5	312	19	250	29213	1669	14,77	1876	4953	396	6,08	606	6,77	135,9	1355247	25	6,6	0,737	6	1,68	125		
350 x 118	117,8	150,1	350	12,5	305	22,4	250	33169	1895	14,87	2125	5838	467	6,24	712	6,84	208,7	1565109	24	5,6	0,625	8	1,68	112		
350 x 128	127,6	162,5	350	12,5	300	25	250	35885	2051	14,86	2313	6515	521	6,33	793	6,88	281,6	1719157	24	5	0,56	8	1,68	103		
350 x 136	135,8	173	350	16	300	25	250	36673	2096	14,56	2391	6521	522	6,14	800	6,8	304,8	1719157	19	5	0,56	8	1,67	97		
400 x 82	82,4	105	400	8	375	12,5	300	31680	1584	17,37	1734	5627	375	7,32	569	8,14	45,7	2111572	47	12	1,067	5	1,98	189		
400 x 87	86,8	110,6	400	9,5	375	12,5	300	32339	1617	17,1	1787	5628	375	7,13	571	8,05	50,1	2111572	39	12	1,067	5	1,98	179		
400 x 103	102,8	131	400	9,5	368	16	300	39355	1968	17,33	2165	7203	480	7,42	728	8,18	92,9	2654208	39	9,4	0,833	6	1,98	151		
400 x 116	116,5	148,4	400	9,5	362	19	300	45161	2258	17,44	2483	8553	570	7,59	863	8,26	148,1	3102816	38	7,9	0,702	6	1,98	133		
400 x 125	125,1	159,3	400	12,5	362	19	300	46347	2317	17,06	2581	8556	570	7,33	869	8,14	162	3102816	29	7,9	0,702	6	1,98	124		
400 x 140	140,4	178,8	400	12,5	355	22,4	300	52813	2641	17,19	2931	10086	672	7,51	1022	8,22	249,4	3593060	28	6,7	0,595	8	1,98	111		
400 x 152	152,1	193,8	400	12,5	350	25	300	57279	2864	17,19	3195	11256	750	7,62	1139	8,27	336,9	3955078	28	6	0,533	8	1,98	102		
400 x 162	161,7	206	400	16	350	25	300	58529	2926	16,86	3303	11262	751	7,39	1147	8,17	363,7	3955078	22	6	0,533	8	1,97	96		
450 x 116	116,4	148,3	450	12,5	418	16	300	52834	2348	18,87	2629	7207	480	6,97	736	7,97	110,2	3390408	33	9,4	0,938	6	2,08	140		
450 x 130	129,9	165,5	450	12,5	412	19	300	60261	2678	19,08	2987	8557	570	7,19	871	8,07	165,2	3970641	33	7,9	0,789	6	2,08	126		
450 x 141	141,2	179,9	450	16	412	19	300	62301	2769	18,61	3136	8564	571	6,9	881	7,93	196	3970641	26	7,9	0,789	6	2,07	115		
450 x 156	156,4	199,2	450	16	405	22,4	300	70595	3138	18,83	3530	10094	673	7,12	1034	8,04	283,2	4607612	25	6,7	0,67	8	2,07	104		
450 x 168	168	214	450	16	400	25	300	76346	3393	18,89	3828	11264	751	7,26	1151	8,1	370,5	5080078	25	6	0,6	8	2,07	97		
450 x 177	177,4	226	450	19	400	25	300	77946	3464	18,57	3948	11273	752	7,06	1161	8,01	409,7	5080078	21	6	0,6	8	2,06	91		
450 x 188	188,1	239,6	450	22,4	400	25	300	79759	3545	18,25	4084	11287	752	6,86	1175	7,91	471,7	5080078	18	6	0,6	8	2,06	86		
450 x 206	206,1	262,5	450	19	387	31,5	300	92088	4093	18,73	4666	14197	946	7,35	1452	8,15	720,8	6206603	20	4,8	0,476	8	2,06	78		
450 x 216	216,4	275,7	450	22,4	387	31,5	300	93730	4166	18,44	4794	14211	947	7,18	1466	8,07	781,9	6206603	17	4,8	0,476	8	2,06	75		
500 x 123	122,9	156,5	500	9,5	468	16	350	73730	2949	21,71	3231	11437	654	8,55	991	9,5	109,4	6695817	49	10,9	0,893	6	2,38	152		
500 x 134	133,8	170,5	500	12,5	468	16	350	76293	3052	21,15	3395	11441	654	8,19	998	9,33	127,1	6695817	37	10,9	0,893	6	2,38	140		
500 x 150	149,8	190,8	500	12,5	462	19	350	87240	3490	21,38	3866	13585	776	8,44	1182	9,44	191,4	7853019	37	9,2	0,752	6	2,38	125		
500 x 162	162,4	206,9	500	16	462	19	350	90116	3605	20,87	4052	13593	777	8,11	1193	9,28	225,7	7853019	29	9,2	0,752	6	2,37	115		
500 x 180	180,2	229,6	500	16	455	22,4	350	102403	4096	21,12	4572	16022	916	8,35	1401	9,4	327,5	9127872	28	7,8	0,638	8	2,37	103		
500 x 194	193,9	247	500	16	450	25	350	110952	4438	21,19	4966	17880	1022	8,51	1560	9,48	429,4	10076742	28	7	0,571	8	2,37	96		
500 x 204	204,5	260,5	500	19	450	25	350	113230	4529	20,85	5118	17890	1022	8,29	1572	9,37	473,2	10076742	24	7	0,571	8	2,36	91		
500 x 217	216,5	275,8	500	22,4	450	25	350	115812	4632	20,49	5290	17907	1023	8,06	1588	9,26	542,5	10076742	20	7	0,571	8	2,36	86		
500 x 238	238,2	303,5	500	19	437	31,5	350	134391	5376	21,04	6072	22534	1288	8,62	1969	9,53	836,4	12351583	23	5,6	0,454	8	2,36	78		
500 x 250	249,9	319,4	500	22,4	427	31,5	350	126755	5470	20,72	6225	22550	1289	8,42	1984	9,42	904,9	12351583	20	5,6	0,454	8	2,36	74		



## Colunas: A1 - A2 - B1 - B2

Índice de esbeltez da barra comprimida:

$$\frac{L_x}{r_x} \leq 200 \rightarrow \frac{8460 \text{ mm}}{173,3 \text{ mm}} = 48,82 < 200 \rightarrow \text{ok!}$$

$$\frac{L_y}{r_y} \leq 200 \rightarrow \frac{4230 \text{ mm}}{74,2 \text{ mm}} = 57,00 < 200 \rightarrow \text{ok!}$$

Flambagem por flexão em relação ao eixo x da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_x^2} = \frac{\pi^2 (200 \cdot 10^3) (39355 \cdot 10^4)}{8460^2}$$

$$N_{ex} = 10853978 \text{ N}$$



Flambagem por flexão em relação ao eixo y da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_y^2} = \frac{\pi^2(200 \cdot 10^3)(7203 \cdot 10^4)}{4230^2}$$

$$N_{ey} = 7946254 \text{ N}$$

Flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L_z^2} + G \cdot J \right]$$

$$r_o = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_o^2 + y_o^2)} = \sqrt{(173,3^2 + 74,2^2 + 0^2 + 0^2)} = 188,52 \text{ mm}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{188,52^2} \left[ \frac{\pi^2(200 \cdot 10^3)(2654208 \cdot 10^6)}{4230^2} + (77 \cdot 10^3)(92,9 \cdot 10^4) \right]$$

$$N_{ez} = 10251656 \text{ N}$$



Índice de esbeltez reduzido:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{13100 \cdot 300}{7946254}} = 0,703$$

Fator de redução:

$$\lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0,658^{\lambda_0^2} = 0,658^{0,703^2} = 0,813$$

Verificação da Esbeltez Local: Alma: Elemento AA – Grupo 2

$$\frac{b}{t} \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} \rightarrow \frac{368 \text{ mm}}{9,5 \text{ mm}} \leq 1,49 \sqrt{\frac{200 \cdot 10^3}{300}}$$

38,73 ≥ 38,47 → verificar as larguras efetivas



## Verificação da Esbeltez Local: Mesas: Elemento AL – Grupo 5:

$$\frac{b}{t} \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} \rightarrow \frac{b}{t} \leq 0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}}$$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} = \frac{4}{\sqrt{368/9,5}} = 0,64$$

$$\frac{b}{t} \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} \rightarrow \frac{300/2}{16} \leq 0,64 \sqrt{\frac{200 \cdot 10^3}{(300/0,64)}}$$

$$9,38 \leq 13,22 \rightarrow \text{ok!}$$



## Cálculo das larguras efetivas de cada elemento:

Alma:

$$\frac{b}{t} \leq \frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}}}{\sqrt{\chi}} \rightarrow 38,73 \leq \frac{38,47}{\sqrt{0,813}} \rightarrow 38,73 \leq 42,67 \rightarrow b_{\text{ef}} = b$$

Mesas:

$$\frac{b}{t} \leq \frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}}}{\sqrt{\chi}} \rightarrow 9,38 \leq \frac{13,22}{\sqrt{0,813}} \rightarrow 9,38 \leq 14,66 \rightarrow b_{\text{ef}} = b$$

## Força axial de compressão resistente de cálculo:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{\text{ef}} \cdot f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,813 \cdot 13100 \cdot 300}{1,1} = 2904627 \text{ N} = 2904 \text{ kN}$$

Taxa de utilização do perfil:  $\frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} = \frac{2800 \text{ kN}}{2904 \text{ kN}} = 0,96$



## Colunas: C1 - C2

Índice de esbeltez da barra comprimida:

$$\frac{L_x}{r_x} \leq 200 \rightarrow \frac{8460 \text{ mm}}{173,3 \text{ mm}} = 48,82 < 200 \rightarrow \text{ok!}$$

$$\frac{L_y}{r_y} \leq 200 \rightarrow \frac{8460 \text{ mm}}{74,2 \text{ mm}} = 114,02 < 200 \rightarrow \text{ok!}$$

Flambagem por flexão em relação ao eixo x da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_x^2} = \frac{\pi^2 (200 \cdot 10^3) (39355 \cdot 10^4)}{8460^2}$$

$$N_{ex} = 10853978 \text{ N}$$



Flambagem por flexão em relação ao eixo y da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_y^2} = \frac{\pi^2(200 \cdot 10^3)(7203 \cdot 10^4)}{8460^2}$$

$$N_{ey} = 1986563 \text{ N}$$

Flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L_z^2} + G \cdot J \right]$$

$$r_o = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_o^2 + y_o^2)} = \sqrt{(173,3^2 + 74,2^2 + 0^2 + 0^2)} = 188,52 \text{ mm}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{188,52^2} \left[ \frac{\pi^2(200 \cdot 10^3)(2654208 \cdot 10^6)}{8460^2} + (77 \cdot 10^3)(92,9 \cdot 10^4) \right]$$

$$N_{ez} = 4072482 \text{ N}$$



Índice de esbeltez reduzido:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{13100 \cdot 300}{1986563}} = 1,407$$

Fator de redução:

$$\lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0,658^{\lambda_0^2} = 0,658^{1,407^2} = 0,437$$

Verificação da Esbeltez Local: Alma: Elemento AA – Grupo 2

$$\frac{b}{t} \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} \rightarrow \frac{368 \text{ mm}}{9,5 \text{ mm}} \leq 1,49 \sqrt{\frac{200 \cdot 10^3}{300}}$$

38,73 ≥ 38,47 → verificar as larguras efetivas



## Verificação da Esbeltez Local: Mesas: Elemento AL – Grupo 5:

$$\frac{b}{t} \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} \rightarrow \frac{b}{t} \leq 0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}}$$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} = \frac{4}{\sqrt{368/9,5}} = 0,64$$

$$\frac{b}{t} \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} \rightarrow \frac{300/2}{16} \leq 0,64 \sqrt{\frac{200 \cdot 10^3}{(300/0,64)}}$$

$$9,38 \leq 13,22 \rightarrow \text{ok!}$$



### Cálculo das larguras efetivas de cada elemento:

Alma:

$$\frac{b}{t} \leq \frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}}}{\sqrt{\chi}} \rightarrow 38,73 \leq \frac{38,47}{\sqrt{0,437}} \rightarrow 38,73 \leq 58,19 \rightarrow b_{\text{ef}} = b$$

Mesas:

$$\frac{b}{t} \leq \frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}}}{\sqrt{\chi}} \rightarrow 9,38 \leq \frac{13,22}{\sqrt{0,437}} \rightarrow 9,38 \leq 20,00 \rightarrow b_{\text{ef}} = b$$

### Força axial de compressão resistente de cálculo:

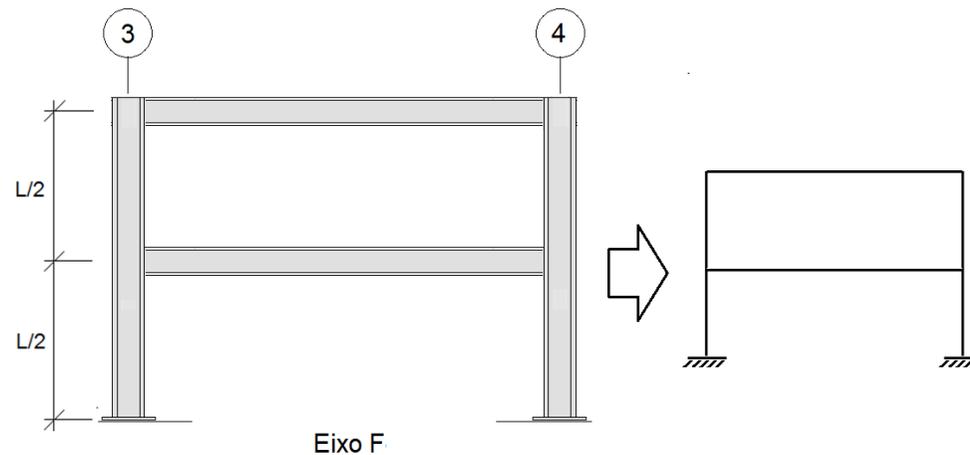
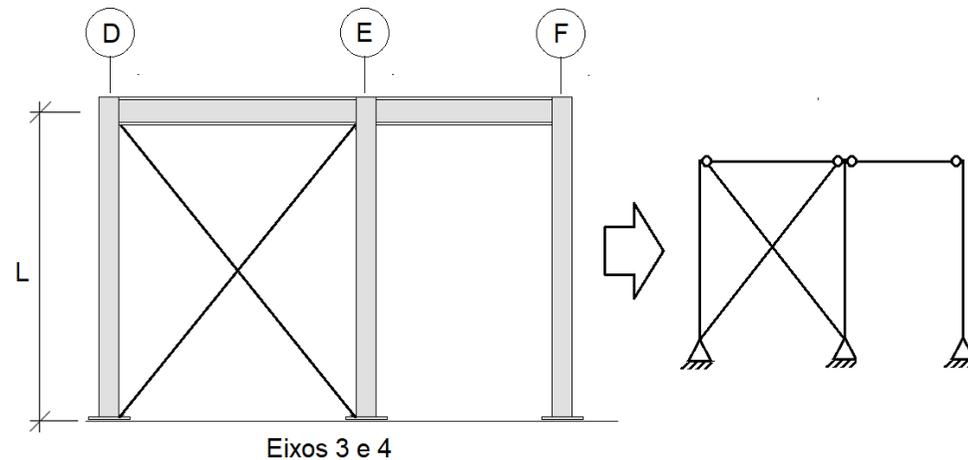
$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{\text{ef}} \cdot f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,437 \cdot 13100 \cdot 300}{1,1} = 1561282 \text{ N} = 1561 \text{ kN}$$

Taxa de utilização do perfil:

$$\frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} = \frac{2800 \text{ kN}}{1561 \text{ kN}} = 1,79$$



**Exercício proposto - 8.1:** A coluna F3 possui 7,9 metros de altura ( $L$ ) e está submetida à uma carga de compressão pura. Sabendo que é feita com um perfil W360x122(H), em aço ASTM A572 G-50, determine a sua capacidade resistente à compressão ( $N_{c,Rd}$ ).



$$N_{c,Rd} = 1550 \text{ kN}$$



- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **ANSI/AISC 360-16**: Specification for Structural Steel Buildings. Chicago: AISC, 2016.
- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **Steel Construction Manual**, 15 ed. Chicago: AISC, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5884**: Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico - Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.
- BAIÃO F. O. T.; SILVA, A. C. V.; QUEIROZ, G.. **Ligações para Estruturas de Aço** – Guia Prático para Estruturas com Perfis Laminados. 3 ed. São Paulo: Gerdau Açominas, 2006.
- BORDIGNON, R. **Modelo momento-rotação de ligações parafusadas entre viga e coluna em aço com dupla cantoneira de alma**. 2022. 212 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2022.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**: Galpões para usos gerais. 4 ed. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2010.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**: Ligações em estruturas metálicas. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2017.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**: Uso fácil: ABNT NBR 8800. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2022.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**: Transporte e montagem. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2005.
- CHAMBERLAIN PRAVIA, Z. M.; FICANHA R.; FABEANE R. **Projeto e cálculo de estruturas de aço**: Edifício industrial detalhado. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- FAKURY, R. H.; CASTRO E SILVA, A. L. R.; CALDAS, R. B. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson, 2016.
- FISHER, J. M.; KLOIBER, L. A. **Steel Design Guide 1**: Base plate and anchor rod design. 2 ed. Ed. Chicago: AISC, 2006.
- LEET, K. M.; UANG, C.; e GILBERT, A. M **Fundamentos da análise estrutural**. Porto Alegre: AMGH, 2010.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço**: dimensionamento prático de acordo com a NBR8800:2008. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- RCSC. **Specification for structural joints using high strength bolts**. Research Council on Structural Connections, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, 2020.



EDUCAÇÃO  
PÚBLICA  
**100%**  
GRATUITA

# MUITO OBRIGADO

Prof. Rodrigo Bordignon  
Engenheiro Civil, Dr.

*[www.ifsul.edu.br](http://www.ifsul.edu.br)  
[rodrigobordignon@ifsul.edu.br](mailto:rodrigobordignon@ifsul.edu.br)*