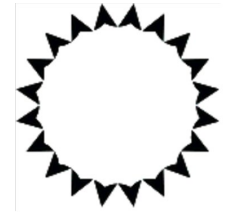




PEF2603
Estruturas na Arquitetura III
Sistemas Reticulados e Laminares



PÓRTICOS

Aplicação em problemas de flexão composta

(Aula 4 – 17/04/2023)

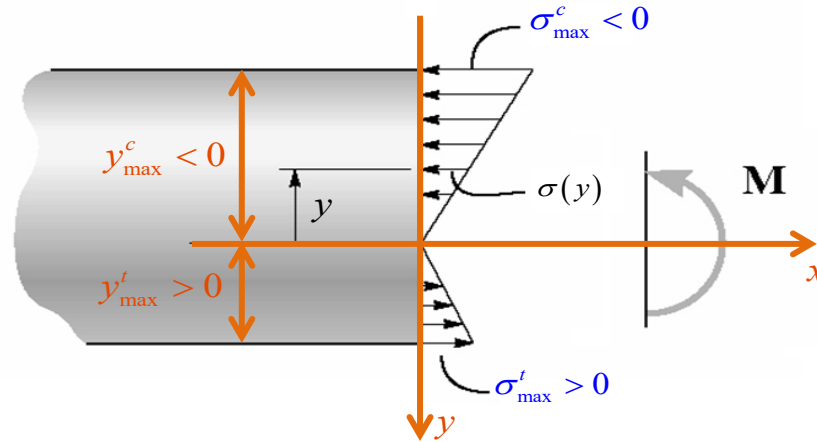
Professores

Ruy Marcelo O. Pauletti , Leila Meneghetti Valverdes e Luís A. G. Bitencourt Jr.



Módulos de Resistência à Flexão: W_c , W_t

*Flexão simples,
Seção transversal
assimétrica:*



$$\sigma = \frac{M}{I_{z0}} y$$

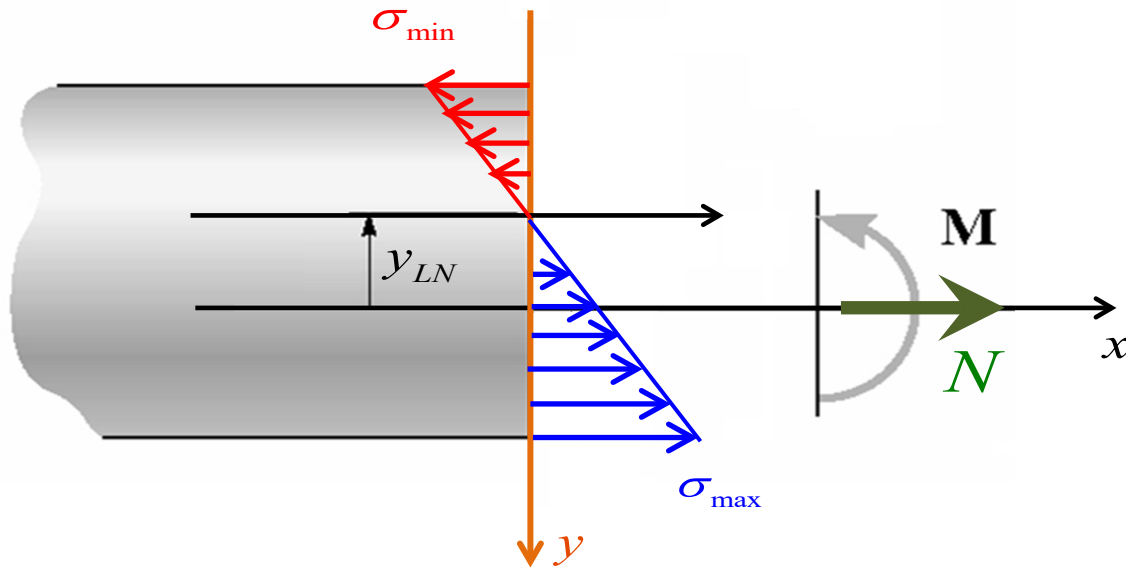
$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\min} = \sigma_{\max}^c = \frac{M}{I_{z0}} y_{\max}^c < 0 \Rightarrow W_c = \left| \frac{I_{z0}}{y_{\max}^c} \right| \Rightarrow \sigma_{\max}^c = -\frac{M}{W_c} \\ \sigma_{\max} = \sigma_{\max}^t = \frac{M}{I_{z0}} y_{\max}^t > 0 \Rightarrow W_t = \left| \frac{I_{z0}}{y_{\max}^t} \right| \Rightarrow \sigma_{\max}^t = \frac{M}{W_t} \end{array} \right.$$

Seções simétricas:

$$\left\{ \begin{array}{l} y_{\max}^c = -y_{\max}^t \\ W_c = W_t = W \end{array} \right. \Rightarrow \sigma_{\max}^{t,c} = \pm \frac{M}{W}$$



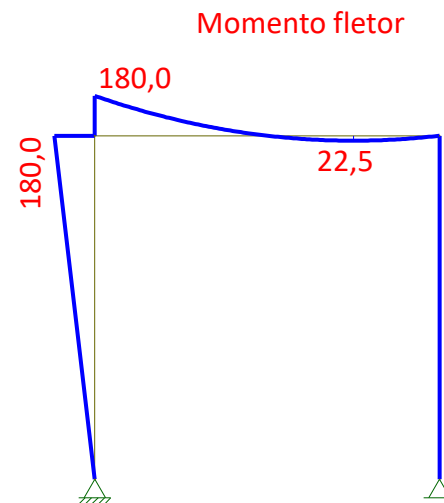
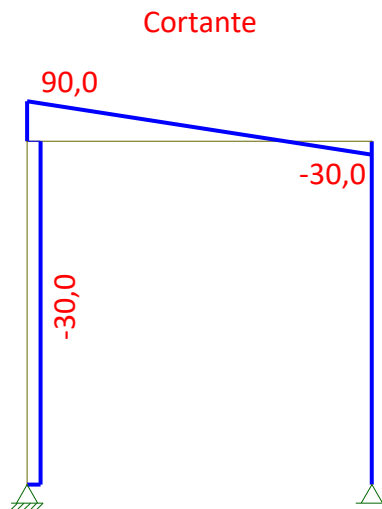
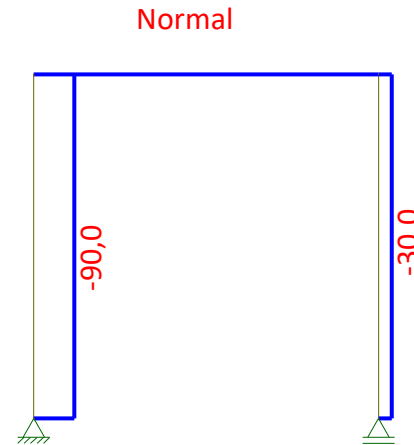
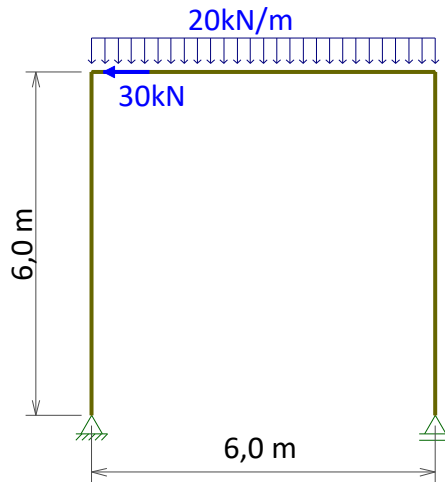
Flexão composta



$$\sigma_{\min, \max} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W_{c,t}}$$



Exemplo 1: escolha de bitola comercial em problema de flexão composta



Flexão Composta

$$N_{\max} = -90kN; \quad M_{\max} = 180kNm$$

Esforços máximos para a coluna da esquerda

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} \leq \bar{\sigma}$$

Arbitrando: $\bar{\sigma} = 200MPa$

Determinação dos parâmetros para escolha da bitola comercial

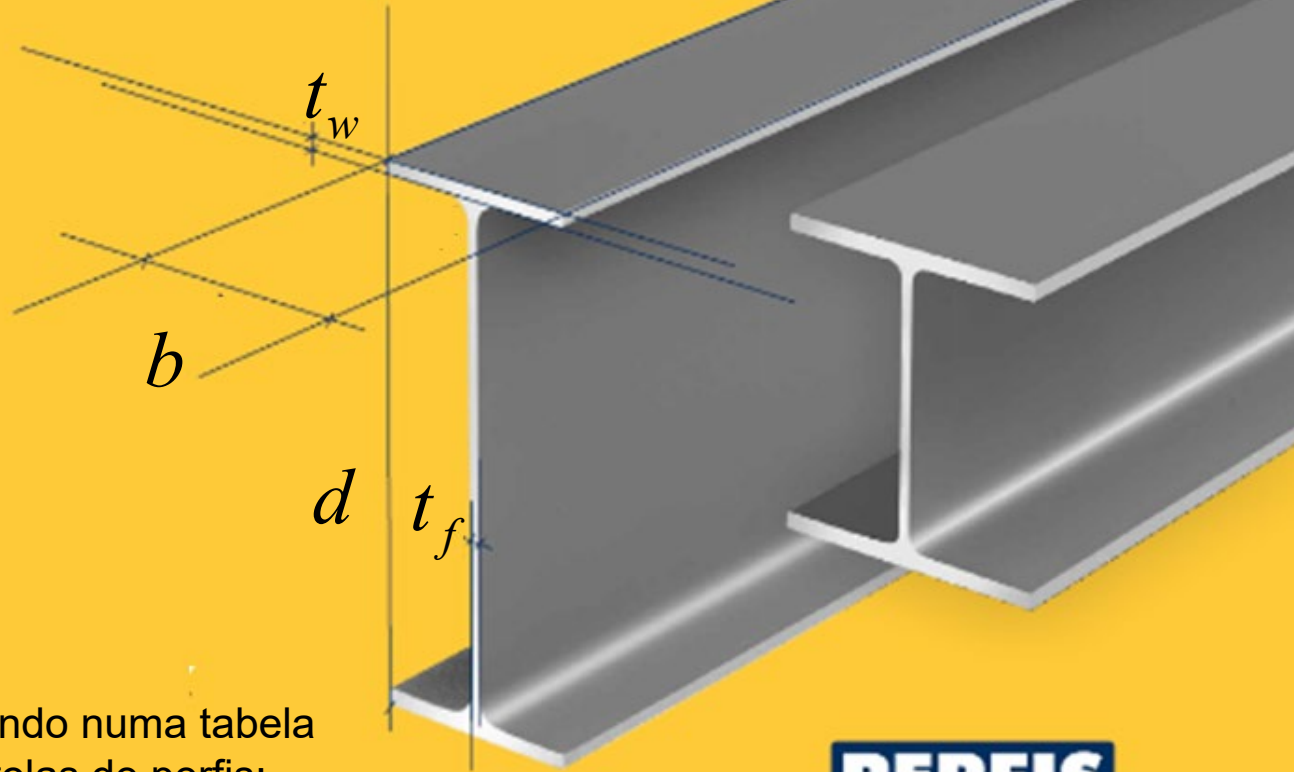
Chutes iniciais para σ_N e σ_M

$$\sigma_N = \frac{N}{A} \cong \frac{\bar{\sigma}}{10} \quad \Rightarrow \quad A \cong \frac{10N}{\bar{\sigma}}$$
$$\therefore A \cong \frac{10 \times 90 \times 10^3}{200 \times 10^6} = 0.0045m^2 = 45cm^2$$
$$\sigma_M = \frac{M}{W} = 0.9\bar{\sigma} \quad \Rightarrow \quad W \cong \frac{M}{0.9\bar{\sigma}}$$
$$\therefore W \cong \frac{180 \times 10^3}{0.9 \times 200 \times 10^6} = 0.001m^3 = 1000cm^3$$

Notem que essas proporções são bastante arbitrárias, e podem não ser as melhores!



TABELA DE BITOLAS



Procurando numa tabela de bitolas de perfis:

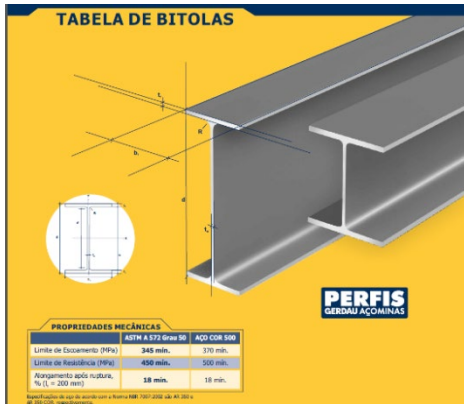
PERFIS
GERDAU AÇOMINAS

PROPRIEDADES MECÂNICAS		
	ASTM A 572 Grau 50	AÇO COR 500
Limite de Escoamento (MPa)	345 mín.	370 mín.
Limite de Resistência (MPa)	450 mín.	500 mín.
Alongamento após ruptura, % (l = 200 mm)	18 mín.	18 mín.

Especificações de aço de acordo com a Norma NBR 7007:2002 são A572 50 e A572 500, respectivamente.



Procurando numa
tabela de bitolas
de perfis:



$$A \approx 45\text{cm}^2 \quad W \approx 1000\text{cm}^3$$

W360x64:
A=81.7cm²; W=1031cm³



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			
				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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
HP 310 x 79,0 (H)	79,0	299	306	11,0	11,0	277	245	100,0	16.316	1.091,3	12,77	1.210,1	5.258	343,7	7,25	525,4
HP 310 x 93,0 (H)	93,0	303	308	13,1	13,1	277	245	119,2	19.682	1.299,1	12,85	1.450,3	6.387	414,7	7,32	635,5
W 310 x 97,0 (H)	97,0	308	305	9,9	15,4	277	245	123,6	22.284	1.447,0	13,43	1.594,2	7.286	477,8	7,68	725,0
W 310 x 107,0 (H)	107,0	311	306	10,9	17,0	277	245	136,4	24.839	1.597,3	13,49	1.768,2	8.123	530,9	7,72	806,1
HP 310 x 110,0 (H)	110,0	308	310	15,4	15,5	277	245	141,0	23.703	1.539,1	12,97	1.730,6	7.707	497,3	7,39	763,7
W 310 x 117,0 (H)	117,0	314	307	11,9	18,7	277	245	149,9	27.563	1.755,6	13,56	1.952,6	9.024	587,9	7,76	893,1
HP 310 x 125,0 (H)	125,0	312	312	17,4	17,4	277	245	159,0	27.076	1.735,6	13,05	1.963,3	8.823	565,6	7,45	870,6
W 360 x 32,9	32,9	349	127	5,8	8,5	332	308	42,1	8.358	479,0	14,09	547,6	291	45,9	2,63	72,0
W 360 x 39,0	39,0	353	128	6,5	10,7	332	308	50,2	10.331	585,3	14,35	667,7	375	58,6	2,73	91,9
W 360 x 44,0	44,0	352	171	6,9	9,8	332	308	57,7	12.258	696,5	14,58	784,3	818	95,7	3,77	148,0
W 360 x 51,0	51,0	355	171	7,2	11,6	332	308	64,8	14.222	801,2	14,81	899,5	968	113,3	3,87	174,7
W 360 x 57,8	57,8	358	172	7,9	13,1	332	308	72,5	16.143	901,9	14,92	1.014,8	1.113	129,4	3,92	199,8
W 360 x 64,0	64,0	347	203	7,7	13,5	320	288	81,7	17.890	1.031,1	14,80	1.145,5	1.885	185,7	4,80	284,5
W 360 x 72,0	72,0	350	204	8,6	15,1	320	288	91,3	20.169	1.152,5	14,86	1.285,9	2.140	209,8	4,84	321,8
W 360 x 79,0	79,0	354	205	9,4	16,8	320	288	101,2	22.713	1.283,2	14,98	1.437,0	2.416	235,7	4,89	361,9
W 360 x 91,0 (H)	91,0	353	254	9,5	16,4	320	288	115,9	26.755	1.515,9	15,19	1.680,1	4.483	353,0	6,22	538,1
W 360 x 101,0 (H)	101,0	357	255	10,5	18,3	320	286	129,5	30.279	1.696,3	15,29	1.888,9	5.063	397,1	6,25	606,1
W 360 x 110,0 (H)	110,0	360	256	11,4	19,9	320	288	140,6	33.155	1.841,9	15,36	2.059,3	5.570	435,2	6,29	664,5
W 360 x 122,0 (H)	122,0	363	257	13,0	21,7	320	288	155,3	36.599	2.016,5	15,35	2.269,8	6.147	478,4	6,29	732,4



Tabela Gerdau: W360x64: $A=81.7\text{cm}^2$ e $W=1031\text{cm}^3$

$$N_{\max} = -90\text{kN}; \quad M_{\max} = 180\text{kNm}$$

$$\sigma_{N+M} = -\frac{90 \times 10^3}{81,7 \times 10^{-4}} \pm \frac{180 \times 10^3}{1031 \times 10^{-6}} = -11 \times 10^6 \pm 175 \times 10^6 = \begin{cases} -186\text{MPa} \\ +164\text{MPa} \end{cases}$$

Inspecionando ulteriormente a tabela Gerdau, encontra-se ainda W410x60:
 $A=76.2\text{cm}^2$ e $W=1067\text{cm}^3$:

$$\sigma_{N+M} = -\frac{90 \times 10^3}{76,2 \times 10^{-4}} \pm \frac{180 \times 10^3}{1067 \times 10^{-6}} = -12 \times 10^6 \pm 169 \times 10^6 = \begin{cases} -181\text{MPa} \\ +157\text{MPa} \end{cases}$$

$$|\sigma_{\max}^c| = 181\text{MPa} < \bar{\sigma}$$

Escolhe-se a segunda alternativa, de menor consumo! (60kg/m)



Exemplo 2: (2016-P2-Q2 - 3,0):

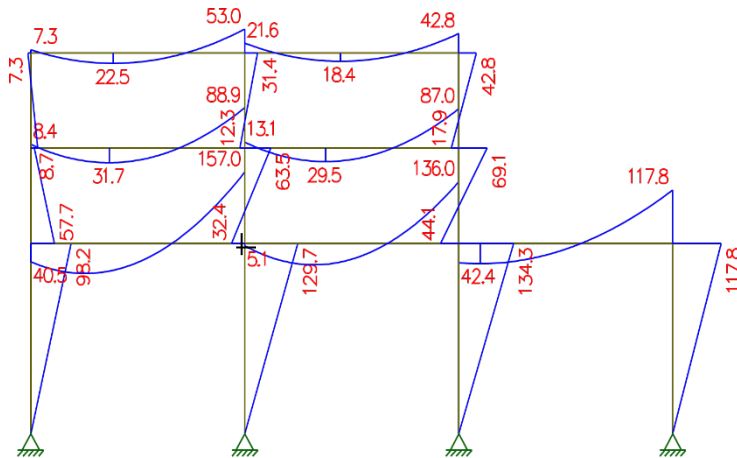
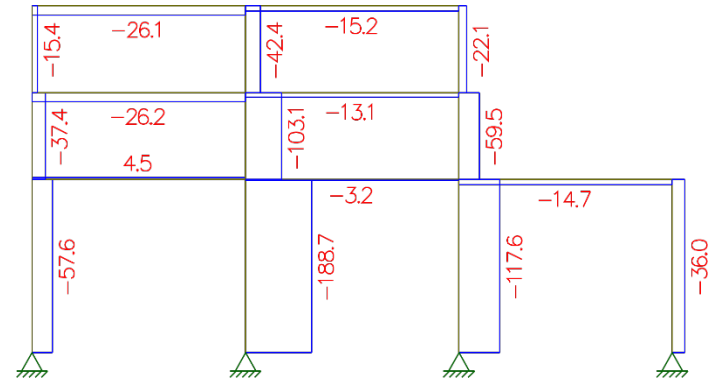
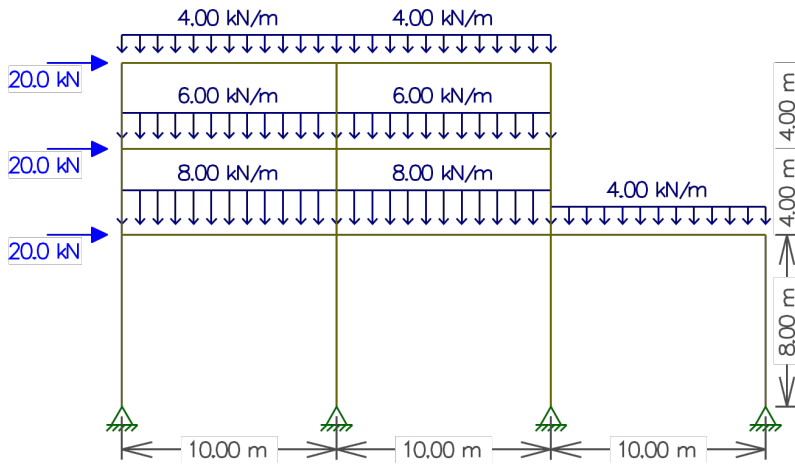
2016-P2-Q2 (3,0): A Figura abaixo mostra os carregamentos em um pórtico plano e os correspondentes diagramas de esforços solicitantes.

A tensão admissível do material do pórtico vale $\bar{\sigma} = \begin{cases} 180MPa, & \text{se } 1 \leq n \leq 3 \\ 220MPa, & \text{se } 4 \leq n \leq 6 \\ 260MPa, & \text{se } 7 \leq n \leq 9 \end{cases}$ (onde n é o penúltimo algarismo não-nulo de seu número USP).

- Indique no esquema estrutural as seções transversais críticas para o dimensionamento das vigas e das colunas.
- Escolha uma bitola comercial para as vigas e outra para as colunas, em função dos máximos esforços a que estes elementos ficam sujeitos. A escolha deve garantir a segurança e minimizar o consumo de material. Desconsidere as tensões de cisalhamento e os problemas de estabilidade.
- Em função dos perfis adotados, determine os valores máximos e mínimos das tensões normais nas seções críticas. Esquematize como as tensões variam nessas seções.
- Calcule o peso total do pórtico.

Sugestão: para estimativas iniciais dos perfis, admita $\begin{cases} \bar{\sigma}_N = \bar{\sigma} / 10 \\ \bar{\sigma}_M = 9\bar{\sigma} / 10 \end{cases}$





Nota: A solução desta questão é bastante ampla, dando a possibilidade da escolha de perfis diferentes do que será apresentado a seguir. Os perfis escolhidos nas diversas respostas serão analisados quanto ao critério de garantia da segurança e minimização do peso da estrutura. Contudo, respostas que fogem de maneira substancial a este critério não serão consideradas.



TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _r mm	ESPESSURA		h mm	d'	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y			
				t _w mm	t _r 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
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
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
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
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
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	556	72,6	3,80	110,8
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4543	447,6	8,81	495,3	1535	151,2	5,12	229,5
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5298	514,4	8,90	572,5	1784	174,9	5,16	265,8
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4977	488,0	8,55	551,3	1673	161,7	4,96	248,6
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6140	584,8	8,99	655,9	2041	199,1	5,18	303,0
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7660	709,2	9,17	803,2	2537	246,3	5,28	374,5
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9498	855,7	9,26	984,2	3139	300,4	5,32	458,7
W 200 x 100,0 (H)*	100,0	229	210	14,5	23,7	182	158	127,1	11355	991,7	9,45	1152,2	3664	349,0	5,37	533,4
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4937	382,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1
W 250 x 44,8	44,8	266	148	7,6	13,0	240	220	57,6	7158	538,2	11,15	606,3	704	95,1	3,50	146,4
HP 250 x 62,0 (H)	62,0	246	256	10,5	10,7	225	201	79,6	8728	709,6	10,47	790,5	2995	234,0	6,13	357,8
W 250 x 73,0 (H)	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	11257	889,9	11,02	983,3	3880	305,5	6,47	463,1
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
W 410 x 85,0	85,0	417	181	10,9	18,2	381	357	108,6	31658	1518,4	17,07	1731,7	1804	199,3	4,08	310,4
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
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
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
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
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
W 460 x 89,0	89,0	463	192	10,5	17,7	428	404	114,1	41105	1775,6	18,98	2019,4	2093	218,0	4,28	339,0
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
W 460 x 106,0	106,0	469	194	12,6	20,6	428	404	135,1	48978	2088,6	19,04	2394,6	2515	259,3	4,32	405,7
W 530 x 66,0	66,0	525	165	8,9	11,4	502	478	83,6	34971	1332,2	20,46	1558,0	857	103,9	3,20	166,0
W 530 x 72,0	72,0	524	207	9,0	10,9	502	478	91,6	39969	1525,5	20,89	1755,9	1615	156,0	4,20	244,6
W 530 x 74,0	74,0	529	166	9,7	13,6	502	478	95,1	40969	1548,9	20,76	1804,9	1041	125,5	3,31	200,1
W 530 x 82,0	82,0	528	209	9,5	13,3	501	477	104,5	47569	1801,8	21,34	2058,5	2028	194,1	4,41	302,7
W 530 x 85,0	85,0	535	166	10,3	16,5	502	478	107,7	48453	1811,3	21,21	2099,8	1263	152,2	3,42	241,6



Resolução para $1 \leq n \leq 3 \Rightarrow \sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} \leq \bar{\sigma} = 180 \text{MPa}$

- A viga mais solicitada encontra-se à esquerda no primeiro pavimento:

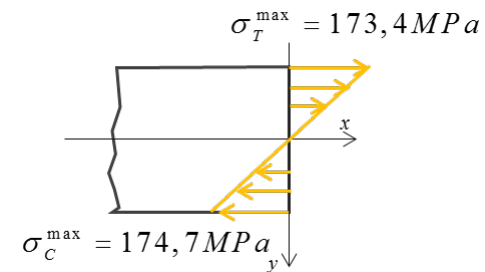
$$N = 4,5 \text{kN} ; M = 157 \text{kNm} \Rightarrow \begin{cases} A \geq \frac{10N}{\bar{\sigma}} = \frac{10 \times 4,5 \times 10^3}{180 \times 10^6} = 0,00025 \text{m}^2 = 2,5 \text{cm}^2 \\ W \geq \frac{10M}{9\bar{\sigma}} = \frac{10 \times 157 \times 10^3}{9 \times 180 \times 10^6} = 0,000969 \text{m}^3 = 969 \text{cm}^3 \end{cases}$$

Como o esforço normal é muito pequeno, a escolha do perfil ser guiada pelo valor estimado para W . Desta forma, obtém-se o perfil W 360 x 58

$$\left. \begin{array}{l} A = 72,5 \text{cm}^2 \\ W = 901,8 \text{cm}^3 \\ \mu = 58 \text{kg} / \text{m} \end{array} \right\} \sigma_c^{\max} = + \frac{4,5 \times 10^3}{72,5 \times 10^{-4}} - \frac{157 \times 10^3}{901,8 \times 10^{-6}} = -173,47 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$|\sigma_c^{\max}| = 174,7 \text{MPa} < \bar{\sigma}$$

$$\sigma_t^{\max} = + \frac{4,5 \times 10^3}{72,5 \times 10^{-4}} + \frac{157 \times 10^3}{901,8 \times 10^{-6}} = 174,71 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \therefore \sigma_t^{\max} = 173,47 \text{MPa}$$



$$\text{Resolução para } 1 \leq n \leq 3 \Rightarrow \sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} \leq \bar{\sigma} = 180 \text{ MPa}$$

- O pilar mais solicitado encontra-se no primeiro pavimento:

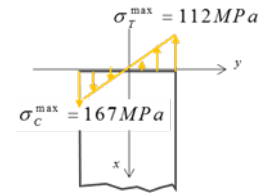
$$N = -188,7 \text{ kN} ; M = 129,7 \text{ kNm} \Rightarrow \begin{cases} A \geq \frac{10N}{\bar{\sigma}} = \frac{10 \times 188,7 \times 10^3}{180 \times 10^6} = 0,01048 \text{ m}^2 = 104,8 \text{ cm}^2 \\ W \geq \frac{10M}{9\bar{\sigma}} = \frac{10 \times 129,7 \times 10^3}{9 \times 180 \times 10^6} = 0,000801 \text{ m}^3 = 801 \text{ cm}^3 \end{cases}$$

Partindo-se destes valores, escolhe-se o perfil W 410x53

$$\left. \begin{array}{l} A = 68,4 \text{ cm}^2 \\ W = 929,7 \text{ cm}^3 \\ \mu = 53 \text{ kg / m} \end{array} \right\} \sigma_c^{\max} = -\frac{188,7 \times 10^3}{68,4 \times 10^{-4}} - \frac{129,7 \times 10^3}{929,7 \times 10^{-6}} = -167,09 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$|\sigma_c^{\max}| = 167,1 \text{ MPa} < \bar{\sigma}$$

$$\sigma_t^{\max} = -\frac{188,7 \times 10^3}{68,4 \times 10^{-4}} + \frac{129,7 \times 10^3}{929,7 \times 10^{-6}} = 111,91 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad \therefore \sigma_t^{\max} = 111,9 \text{ MPa}$$



$$\text{Peso total do pórtico: } m = 70 \times 58 + 56 \times 53 = 7.028 \text{ kg} \approx 7 \text{ t}$$

