

# **ESTRUTURAS METÁLICAS**

**Prof. Alexandre Augusto Pescador Sardá**

# Corrosão

Reação do aço com alguns elementos presentes no ambiente em que se encontra exposto, sendo o produto desta reação muito similar ao minério de ferro.

Promove a perda de seção das peças, podendo se constituir em causa principal de colapso.

Proteção contra corrosão dos aços expostos ao ar é usualmente feita por pintura ou por galvanização.

Em geral as peças metálicas recebem uma ou duas demãos de tinta de fundo (primer) após a limpeza e antes de se iniciar a fabricação em oficina, e posteriormente são aplicadas uma ou duas demãos da tinta de acabamento.

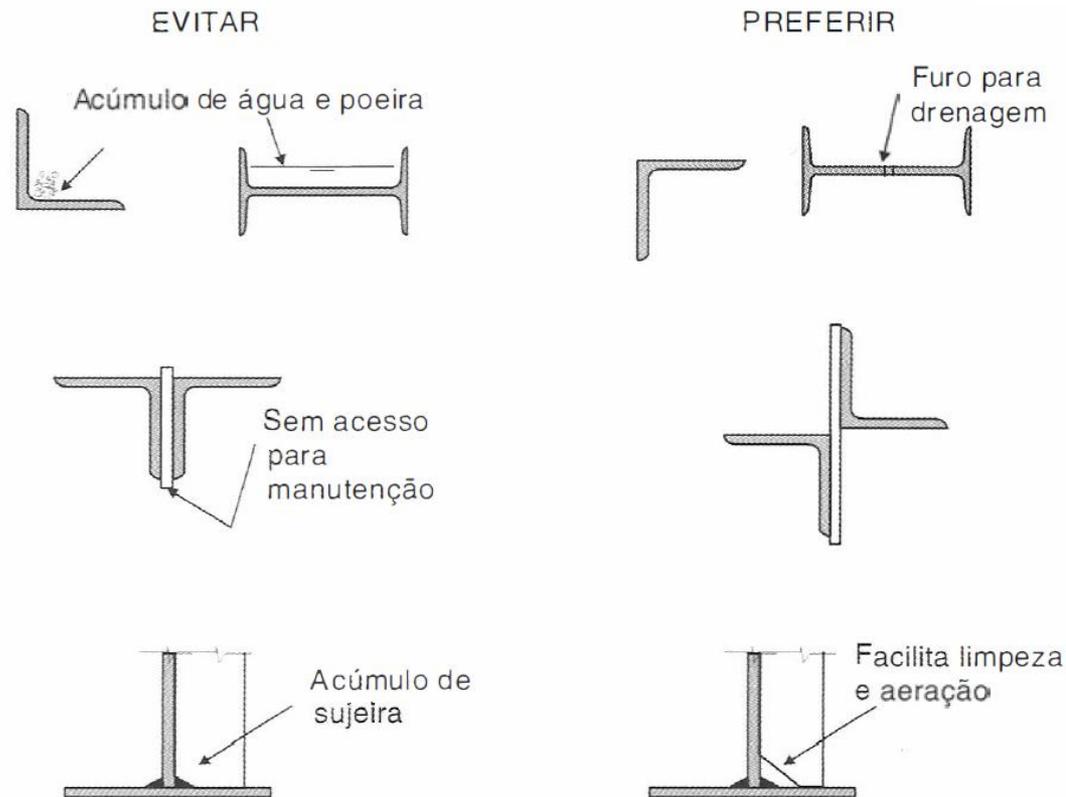
A **galvanização** consiste na adição, por imersão, de uma camada de zinco às superfícies de aço, após a adequada limpeza das mesmas.

A adição de cobre na composição química do aço aumenta sua resistência à corrosão, ao ser exposto ao ar, desenvolvendo uma película (pátina) produzida pela própria corrosão, que se transforma em uma barreira reduzindo a evolução do processo.

# Corrosão

Algumas providências a serem adotadas:

- evitar pontos de umidade e sujeira;
- promover a drenagem e aeração
- evitar pontos inacessíveis à manutenção e pintura
- evitar o contato entre materiais diferentes (ex: aço e alumínio), intercalando um isolante elétrico entre eles.



Detalhes para prevenir a corrosão em estruturas expostas à ação de intempéries.

## Tipos de produtos estruturais

- chapas;
- barras;
- perfis laminados;
- Fios trefilados;
- Cordoalhas;
- Cabos.

Chapas, barras e perfis laminados: são fabricados em laminadores que, em sucessivos passes, dão ao aço preaquecido a seção desejada;

Fios trefilados: obtidos a frio puxando uma barra de aço por meio de feiras com diâmetros decrescentes. Utiliza-se lubrificantes para evitar superaquecimento dos fios e das feiras.

Cordoalhas e os cabos são formados por associação de fios.

Perfis estruturais podem ainda ser fabricados por dobramento de chapas ou por associação de chapas soldadas.

## Produtos laminados

Chapas, barras e perfis.

Barras: As barras são produtos laminados nos quais duas dimensões são pequenas em relação à terceira.

As barras são laminadas em seção circular, quadrada ou retangular alongada (barras chatas)



## Produtos laminados

**Chapas:** uma dimensão (a espessura) é muito menor que as outras duas (largura e comprimento)

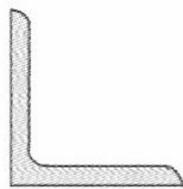


**Tabela 1.3** Chapas Grossas e Chapas Finas

Chapas	Fabricação	Espessuras	Utilização em construção
Grossas	A quente	$> 5,0$ mm	Estruturas metálicas em geral
Finas	A quente	1,2–5,0 mm	Perfis de chapas dobradas (Fig. 1.21)
	A frio	0,3–2,65 mm	Acessórios de construção como calhas, rufos etc.

## Produtos laminados

**Perfis laminados:** grande eficiência estrutural, em forma de H, I, C, L.



L

(abas iguais)

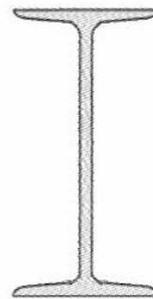


L

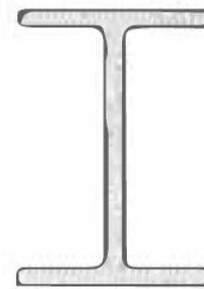
(abas desiguais)



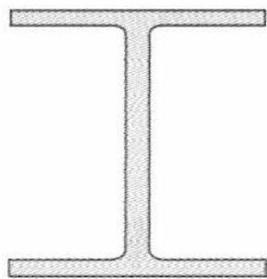
U



I(S)

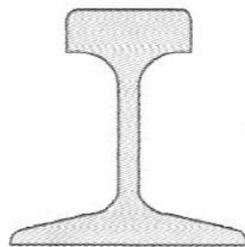


W

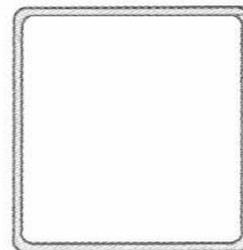


HP

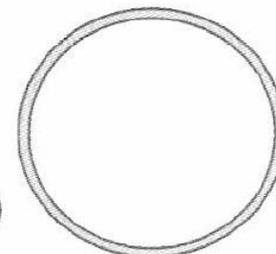
(d)



(e)



(f)



## Produtos laminados

### **Indústria Norte-Americana:**

Perfil I – S (standard beam), com mesas de faces internas inclinadas.

Perfis tipos I aba larga e H – W (wide flange), com mesas de faces paralelas.

H – HP, com mesas de faces paralelas e espessura constante.

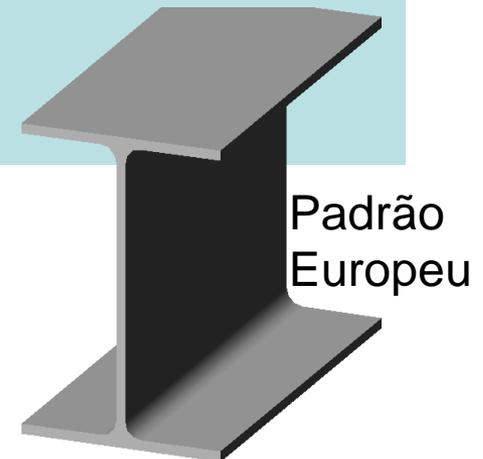
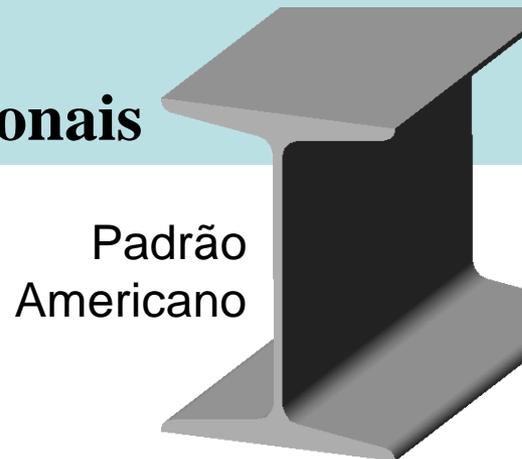
Um perfil laminado pode ser designado pelas suas dimensões externas nominais (altura, ou altura x largura), seguidas da massa do perfil em kg/m.

Ex: W 360 x 32,9 (perfil W de altura igual a 349 mm, massa 32,9 kg/m).

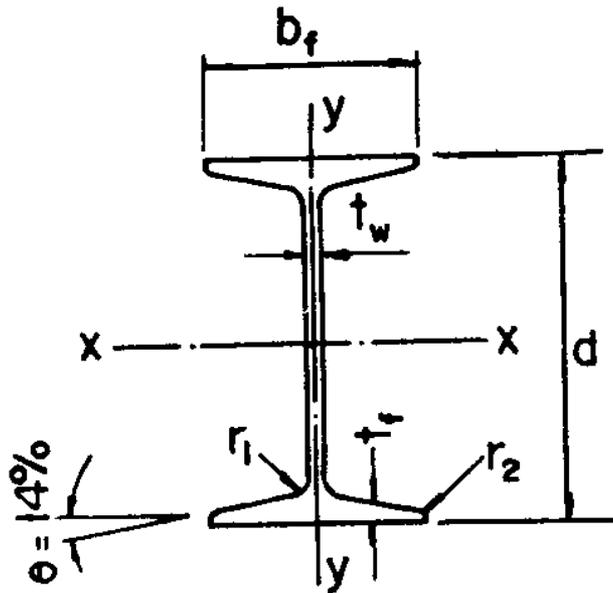
- ***Perfis laminados padrão americano ou abas paralelas***

obtidos diretamente dos laminadores das siderúrgicas. Estão disponíveis no mercado em forma de I, H, U e L.

- **Padrão americano com fator peso/inércia maior que os perfis com abas paralelas**
- **Ligações difíceis que exigem calços e arruelas especiais**
- **Limites dimensionais**



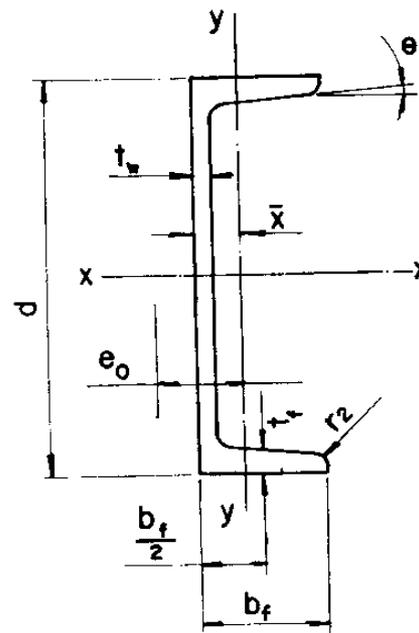
## *Especificação de Perfis laminados padrão americano*



**I 254 x 37,7kg/m**

**I 10" x 37,7kg/m**

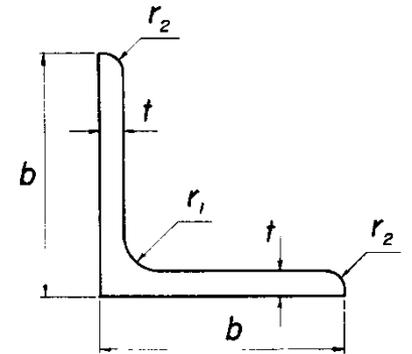
Primeira alma



**U 203x 17,1kg/m**

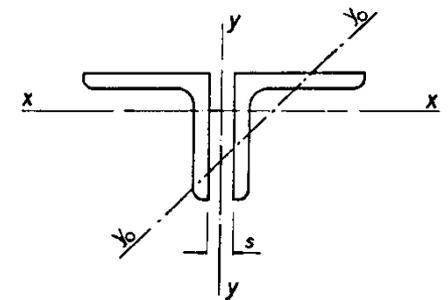
**U 8" x 17,1kg/m**

Primeira alma



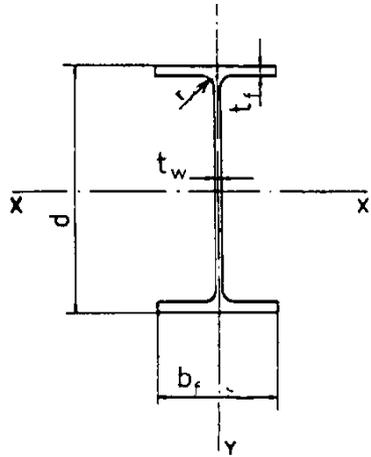
**L50x50x3,0**

**L50x3,0**

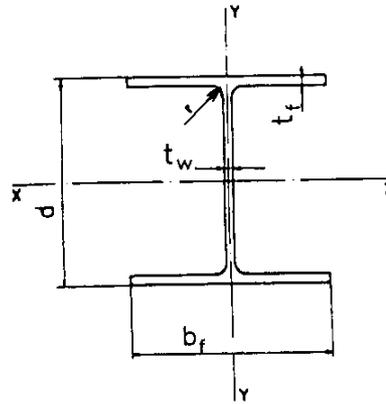


**2L50x3,0**

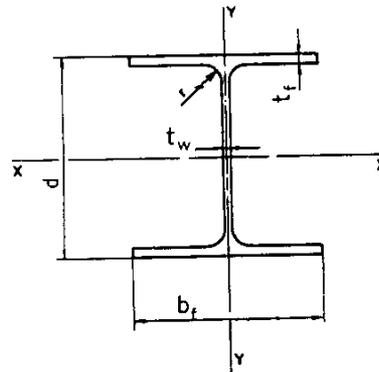
# *Perfis laminados de abas paralelas*



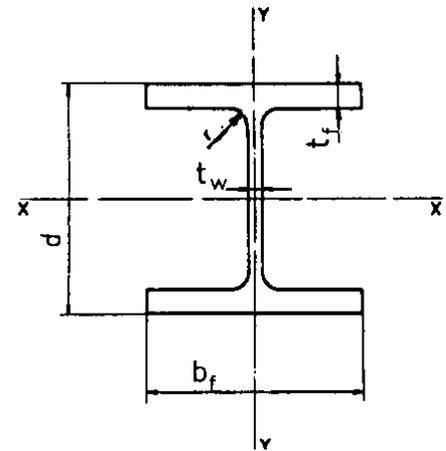
**IP**



**HPM**



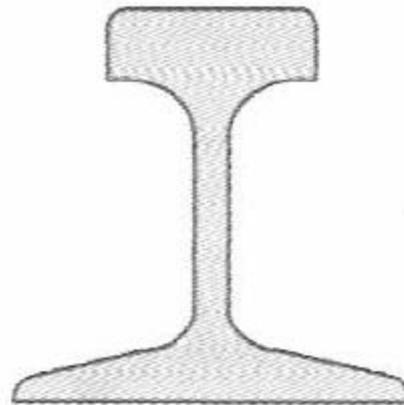
**HPL**



**HPP**

## Trilhos

Produtos laminados destinados a servir de apoio para as rodas metálicas de pontes rolantes ou trens. A seção do trilho ferroviário apresenta uma base de apoio, uma alma vertical e um boleto sobre o qual a roda se apóia.



# Metais Ferrosos

Contraventamento: Sistema de ligação entre os elementos principais de uma estrutura com a finalidade de aumentar a rigidez da construção. É, em engenharia civil, um sistema de proteção de edificações contra a ação do vento.

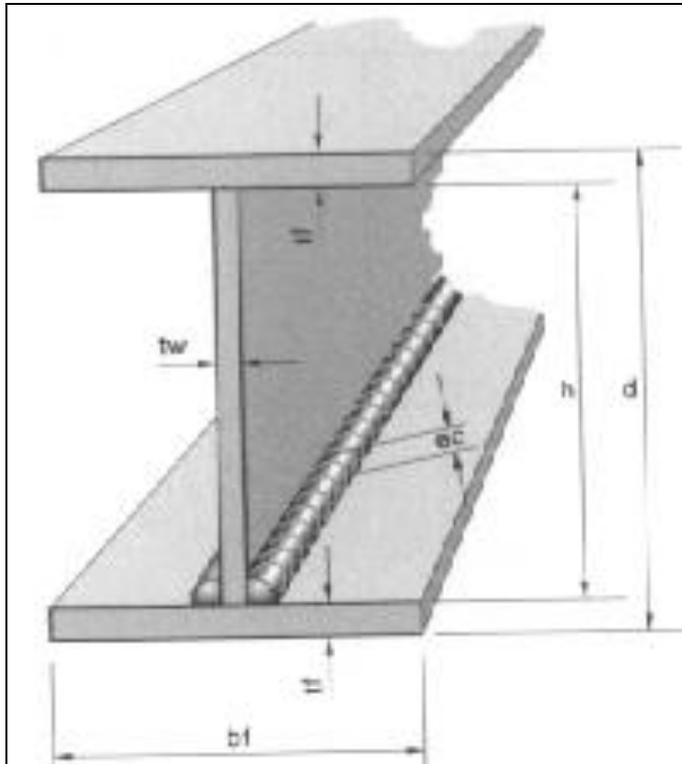
Em edifícios mais baixos, não é necessário considerar a ação do vento para o dimensionamento da estrutura, todavia, para edifícios altos, o contraventamento torna-se um importante subsistema predial.

No caso de estruturas em aço, pode ser concebido por meio de barras esbeltas de travamento em X, assim, faz-se com que o sistema trabalhe sob tração ao invés de flexão, e sua rigidez cresce consideravelmente.

No caso de estruturas de concreto, os próprios elementos estruturais – pilares, vigas, lajes e, em alguns casos, paredes – servem como estruturas de contraventamento, formando pórticos resistentes na direção da ação do vento.

- ***Perfis soldados***

obtidos através da **soldagem** de várias chapas. Estão disponíveis no mercado em forma de I (composição de três chapas).

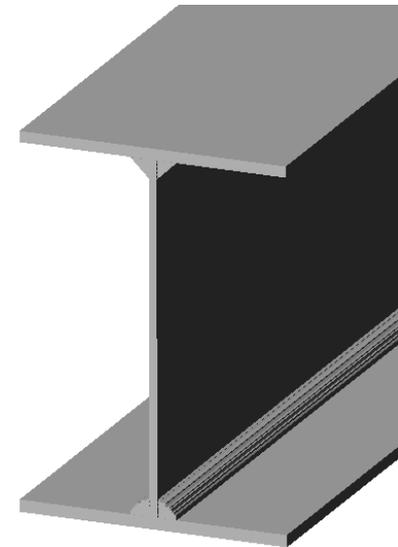


## Séries Existentes

VS → altura/largura  $\leq 4$

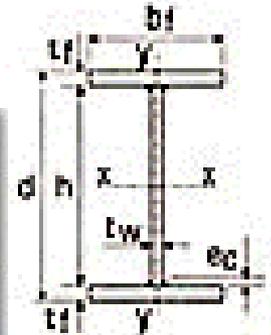
CS → altura/largura = 1

CVS →  $1 < \text{altura/largura} \leq 1,5$



# Produtos para Estruturas

## Especificação de perfis soldados - série CVS

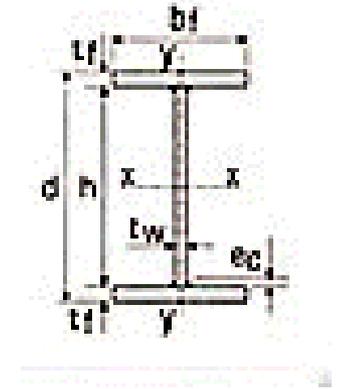


PERFIL	DIMENSÕES (mm)					A cm <sup>2</sup>	EIXO X-X				EIXO Y-Y				rT cm	IT cm <sup>4</sup>	ec mm	U m <sup>2</sup> /m	P Kg/m
	d	bf	tf	tw	h		I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>					
* 300 x 47	300	200	9,5	8,0	281,0	60,5	9499	633	12,5	710	1268	127	4,58	194,5	5,28	16,4	5	1,38	47,5
* 300 x 57	300	200	12,5	8,0	275,0	72,0	11725	782	12,8	870	1668	167	4,81	254,4	5,39	30,9	5	1,38	56,5
* 300 x 67	300	200	16,0	8,0	268,0	85,4	14202	947	12,9	1052	2134	213	5,00	324,3	5,48	59,5	6	1,38	67,1
* 300 x 70	300	200	16,0	9,5	268,0	89,5	14442	963	12,7	1079	2135	214	4,89	326,0	5,43	62,7	6	1,38	70,2
* 300 x 79	300	200	19,0	9,5	262,0	100,9	16449	1097	12,8	1231	2535	254	5,01	385,9	5,48	99,5	6	1,38	79,2
* 300 x 85	300	200	19,0	12,5	262,0	108,8	16899	1127	12,5	1282	2538	254	4,83	390,2	5,40	110	6	1,38	85,4
* 300 x 95	300	200	22,4	12,5	255,2	121,5	19031	1269	12,5	1447	2991	299	4,96	458,0	5,46	168	8	1,38	95,4
* 300 x 55	300	250	9,5	8,0	281,0	70,0	11504	767	12,8	848	2475	198	5,95	301,4	6,71	19,2	5	1,58	54,9
* 300 x 66	300	250	12,5	8,0	275,0	84,5	14310	954	13,0	1050	3256	261	6,21	395,0	6,83	37,5	5	1,58	66,3
* 300 x 80	300	250	16,0	8,0	268,0	101,4	17432	1162	13,1	1280	4168	333	6,41	504,3	6,91	73,1	6	1,58	79,6
* 300 x 83	300	250	16,0	9,5	268,0	105,5	17672	1178	12,9	1307	4169	333	6,29	506,0	6,86	76,4	6	1,58	82,8
* 300 x 94	300	250	19,0	9,5	262,0	119,9	20206	1347	13,0	1498	4950	396	6,43	599,7	6,92	122	6	1,58	94,1
* 300 x 100	300	250	19,0	12,5	262,0	127,8	20665	1377	12,7	1549	4952	396	6,23	604,0	6,84	133	6	1,58	100,3
* 300 x 113	300	250	22,4	12,5	255,2	143,9	23355	1557	12,7	1758	5837	467	6,37	710,0	6,90	205	8	1,58	113,0
* 350 x 73	350	250	12,5	9,5	325,0	93,4	20524	1173	14,8	1306	3258	261	5,91	398,0	6,69	42,2	5	1,68	73,3
* 350 x 87	350	250	16,0	9,5	318,0	110,2	24874	1421	15,0	1576	4169	334	6,15	507,2	6,80	77,8	6	1,68	86,5
* 350 x 98	350	250	19,0	9,5	312,0	124,6	28454	1626	15,1	1803	4950	396	6,30	600,8	6,87	124	6	1,68	97,8

# Produtos para Estruturas

## Especificação de perfis soldados - serie VS

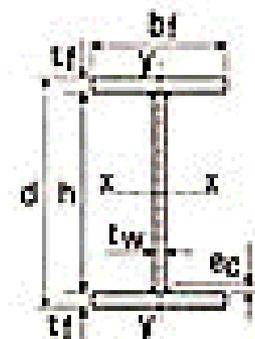
PERFIL	DIMENSÕES (mm)					A cm <sup>2</sup>	EIXO X-X				EIXO Y-Y				rT cm	IT cm <sup>4</sup>	ec mm	U m <sup>2</sup> /m	P Kg/m
	d	bf	tf	tw	h		I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>					
200 x 19	200	120	6,3	4,75	187,4	24,0	1679	168	8,36	188	182	30,3	2,75	46,4	3,17	2,7	3	0,87	18,9
200 x 22	200	120	8,0	4,75	184,0	27,9	2017	202	8,50	225	231	38,4	2,87	58,6	3,23	4,8	5	0,87	21,9
200 x 25	200	120	9,5	4,75	181,0	31,4	2305	230	8,57	256	274	45,6	2,95	69,4	3,27	7,5	5	0,87	24,6
200 x 20	200	130	6,3	4,75	187,4	25,3	1797	180	8,43	200	231	35,5	3,02	54,3	3,45	2,9	3	0,91	19,8
200 x 23	200	130	8,0	4,75	184,0	29,5	2165	216	8,56	240	293	45,1	3,15	68,6	3,52	5,1	5	0,91	23,2
200 x 26	200	130	9,5	4,75	181,0	33,3	2477	248	8,63	274	348	53,5	3,23	81,3	3,55	8,1	5	0,91	26,1
200 x 21	200	140	6,3	4,75	187,4	26,5	1916	192	8,50	213	288	41,2	3,30	62,8	3,74	3,0	3	0,95	20,8
200 x 24	200	140	8,0	4,75	184,0	31,1	2312	231	8,62	255	366	52,3	3,43	79,4	3,80	5,5	5	0,95	24,4
200 x 28	200	140	9,5	4,75	181,0	35,2	2650	265	8,68	292	435	62,1	3,51	94,1	3,84	8,7	5	0,95	27,6
250 x 21	250	120	6,3	4,75	237,4	26,4	2775	222	10,3	251	182	30,3	2,62	46,7	3,10	2,9	3	0,97	20,7
250 x 24	250	120	8,0	4,75	234,0	30,3	3319	266	10,5	297	231	38,4	2,76	58,9	3,17	5,0	5	0,97	23,8
250 x 27	250	120	9,5	4,75	231,0	33,8	3787	303	10,6	338	274	45,6	2,85	69,7	3,22	7,7	5	0,97	26,5
250 x 23	250	140	6,3	4,75	237,4	28,9	3149	252	10,4	282	288	41,2	3,16	63,1	3,67	3,2	3	1,05	22,7
250 x 26	250	140	8,0	4,75	234,0	33,5	3788	303	10,6	336	366	52,3	3,30	79,7	3,74	5,6	5	1,05	26,3
250 x 30	250	140	9,5	4,75	231,0	37,6	4336	347	10,7	383	435	62,1	3,40	94,4	3,79	8,9	5	1,05	29,5
250 x 25	250	160	6,3	4,75	237,4	31,4	3524	282	10,6	313	430	53,8	3,70	82,0	4,24	3,5	3	1,13	24,7
250 x 29	250	160	8,0	4,75	234,0	36,7	4257	341	10,8	375	546	68,3	3,86	103,7	4,32	6,3	5	1,13	28,8
250 x 33	250	160	9,5	4,75	231,0	41,4	4886	391	10,9	429	649	81,1	3,96	122,9	4,36	10,0	5	1,13	32,5
300 x 23	300	120	6,3	4,75	287,4	28,8	4201	280	12,1	320	182	30,3	2,51	47,0	3,04	3,0	3	1,07	22,6
300 x 26	300	120	8,0	4,75	284,0	32,7	5000	333	12,4	376	231	38,4	2,66	59,2	3,12	5,1	5	1,07	25,7
300 x 29	300	120	9,5	4,75	281,0	36,1	5690	379	12,5	425	274	45,6	2,75	70,0	3,17	7,9	5	1,07	28,4
300 x 25	300	140	6,3	4,75	287,4	31,3	4744	316	12,3	357	288	41,2	3,04	63,4	3,60	3,4	3	1,15	24,6



# Produtos para Estruturas

## Especificação de perfis soldados - série CS

PERFIL	DIMENSÕES (mm)					A cm <sup>2</sup>	EIXO X-X				EIXO Y-Y				rT cm	IT cm <sup>4</sup>	ec mm	U m <sup>2</sup> / m	P Kg/ m
	d	bf	tf	tw	h		Ix cm <sup>4</sup>	Wx cm <sup>3</sup>	rx cm	Zx cm <sup>3</sup>	Iy cm <sup>4</sup>	Wy cm <sup>3</sup>	ry cm	Zy cm <sup>3</sup>					
* 250 x 52	250	250	9,5	8,0	231,0	66,0	7694	616	10,8	678	2475	198	6,12	300,6	6,79	18,4	5	1,48	51,8
* 250 x 63	250	250	12,5	8,0	225,0	80,5	9581	766	10,9	843	3256	260	6,36	394,2	6,89	36,6	5	1,48	63,2
* 250 x 66	250	250	12,5	9,5	225,0	83,9	9723	778	10,8	862	3257	261	6,23	395,7	6,84	39,3	5	1,48	65,8
* 250 x 76	250	250	16,0	8,0	218,0	97,4	11659	933	10,9	1031	4168	333	6,54	503,5	6,97	72,3	6	1,48	76,5
* 250 x 79	250	250	16,0	9,5	218,0	100,7	11788	943	10,8	1049	4168	333	6,43	504,9	6,92	75,0	6	1,48	79,1
* 250 x 84	250	250	16,0	12,5	218,0	107,3	12047	964	10,6	1085	4170	334	6,24	508,5	6,84	83,5	6	1,48	84,2
* 250 x 90	250	250	19,0	9,5	212,0	115,1	13456	1076	10,8	1204	4949	396	6,56	598,5	6,98	121	6	1,48	90,4
* 250 x 95	250	250	19,0	12,5	212,0	121,5	13694	1096	10,6	1238	4951	396	6,38	602,0	6,90	129	6	1,48	95,4
* 250 x 108	250	250	22,4	12,5	205,2	137,7	15451	1236	10,6	1406	5837	467	6,51	708,0	6,96	202	8	1,48	108,1
* 300 x 62	300	300	9,5	8,0	281,0	79,5	13509	901	13,0	986	4276	285	7,33	432,0	8,14	22,1	5	1,78	62,4
* 300 x 76	300	300	12,5	8,0	275,0	97,0	16894	1126	13,2	1229	5626	375	7,62	566,9	8,27	44,0	5	1,78	76,1
* 300 x 95	300	300	16,0	9,5	268,0	121,5	20902	1393	13,1	1534	7202	480	7,70	726,0	8,30	90,0	6	1,78	95,3
* 300 x 102	300	300	16,0	12,5	268,0	129,5	21383	1426	12,8	1588	7204	480	7,46	730,5	8,20	100	6	1,78	101,7
* 300 x 109	300	300	19,0	9,5	262,0	138,9	23962	1597	13,1	1765	8552	570	7,85	860,9	8,36	145	6	1,78	109,0
* 300 x 115	300	300	19,0	12,5	262,0	146,8	24412	1627	12,9	1816	8554	570	7,63	865,2	8,27	155	6	1,78	115,2
* 300 x 122	300	300	19,0	16,0	262,0	155,9	24936	1662	12,6	1876	8559	571	7,41	871,8	8,18	176	6	1,77	122,4
* 300 x 131	300	300	22,4	12,5	255,2	166,3	27680	1845	12,9	2069	10084	672	7,79	1018	8,34	243	8	1,78	130,5
* 300 x 138	300	300	22,4	16,0	255,2	175,2	28165	1878	12,7	2126	10089	673	7,59	1024	8,25	263	8	1,77	137,6
* 300 x 149	300	300	25,0	16,0	250,0	190,0	30521	2035	12,7	2313	11259	751	7,70	1141	8,30	350	8	1,77	149,2
* 350 x 93	350	350	12,5	9,5	325,0	118,4	27646	1580	15,3	1727	8935	511	8,69	773,0	9,56	55,2	5	2,08	92,9



## Tubos

Os tubos são produtos ocos, de seção circular, retangular ou quadrada. Eles podem ser produzidos em laminadores especiais (tubos sem costura) ou com chapa dobrada e soldada (tubos com costura).



(a)



(b)



(c)



(d)

Perfis de chapa dobrada: (a) perfil U; (b) perfil complexo; (c) perfil S; (d) perfil Z.

## Fios, cordoalhas e cabos

Os fios ou arames são obtidos por trefilação. Fabricam-se fios de aço doce e também de aço duro (aço de alto carbono).

Os fios de aço duro são empregados em molas, cabos de protensão de estruturas etc.

As cordoalhas são formadas por três ou sete fios arrumados em forma de hélice. O módulo de elasticidade da cordoalha é quase tão elevado quanto o de uma barra maciça de aço.

Os cabos de aço são formados por fios trefilados finos, agrupados em arranjos helicoidais variáveis. São muito flexíveis, o que permite seu emprego em moitões para multiplicação de forças. Porém, o módulo de elasticidade é baixo, cerca de 50% de uma barra maciça.

$$E = 195.000 \text{ MPa (cordoalha)}$$

## Fios, cordoalhas e cabos

Os fios ou arames são obtidos por trefilação. Fabricam-se fios de aço doce e também de aço duro (aço de alto carbono).

Os fios de aço duro são empregados em molas, cabos de protensão de estruturas etc.

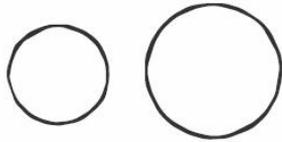
As cordoalhas são formadas por três ou sete fios arrumados em forma de hélice. O módulo de elasticidade da cordoalha é quase tão elevado quanto o de uma barra maciça de aço.

Os cabos de aço são formados por fios trefilados finos, agrupados em arranjos helicoidais variáveis. São muito flexíveis, o que permite seu emprego em moitões para multiplicação de forças. Porém, o módulo de elasticidade é baixo, cerca de 50% de uma barra maciça.

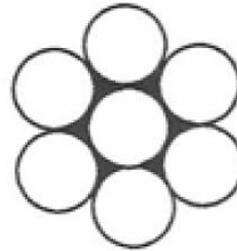
$$E = 195.000 \text{ MPa (cordoalha)}$$

# Produtos Siderúrgicos Estruturais

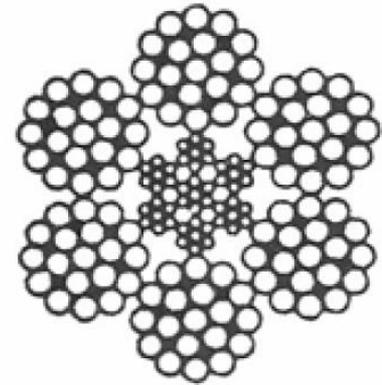
## Fios, cordoalhas e cabos



(a) Fios trefilados



(b) Cordoalha de sete fios



(c) Cabo de aço

## Ligações de peças metálicas

As estruturas de aço são formadas por associação de peças ligadas entre si. Os meios de ligação tem grande importância.

Conectores ou solda.

Conectores (rebites, parafusos) são colocados em furos que atravessam as peças a ligar.

A ligação por solda consiste em fundir as partes em contato de modo a provocar coalescência das mesmas.

XIX: rebites meio de ligação mais utilizados;

Últimos decênios: a solda se transformou no elemento preponderante de ligação.

## Elementos Estruturais

Os principais elementos estruturais metálicos são:

- Elementos lineares alongados (hastes ou barras);
- Elementos bidimensionais ou planos (placas ou chapas)

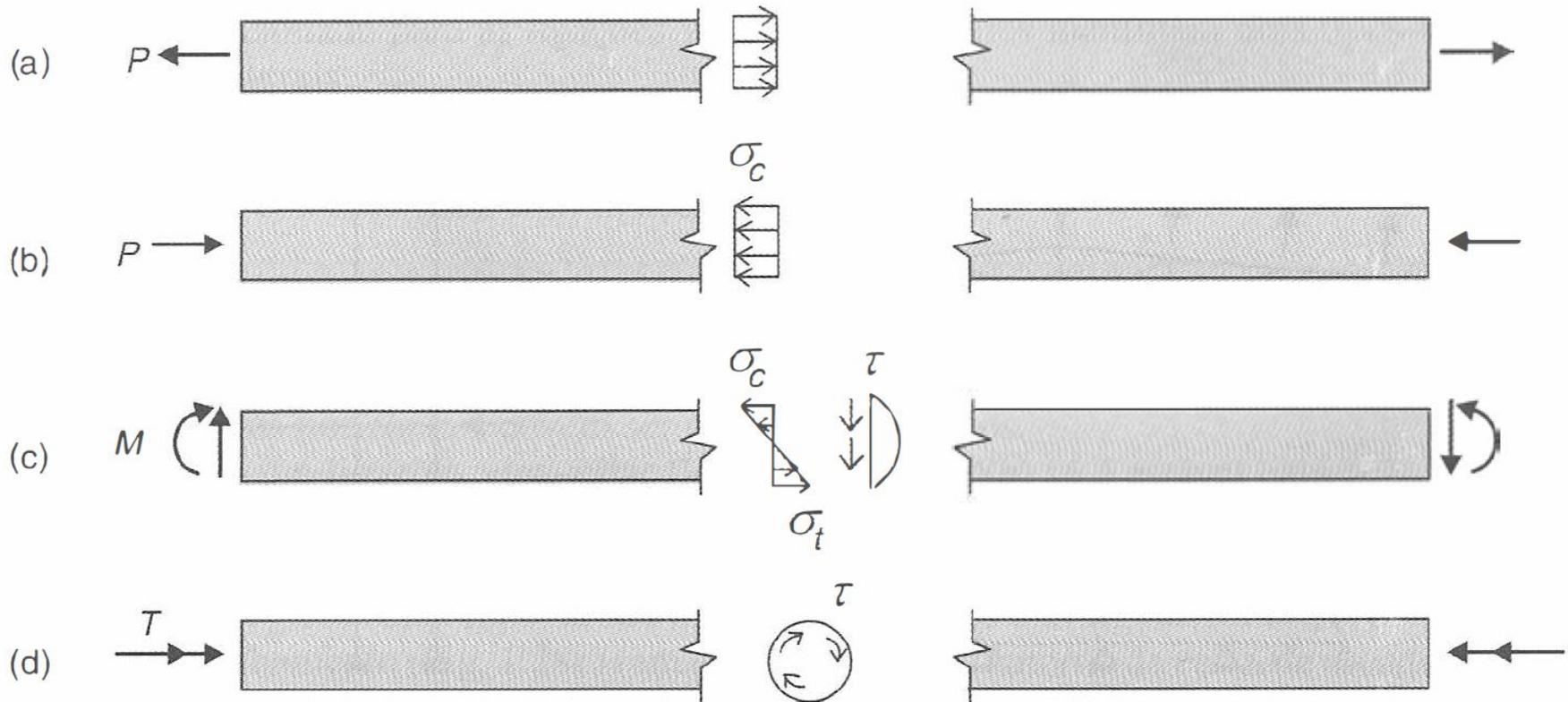
## Hastes

As hastes formam elementos alongados cujas dimensões transversais são pequenas em relação ao comprimento.

Dependendo da solicitação predominante, as hastes podem ser classificadas em:

- tirantes;
- Colunas ou escoras (compressão axial)
- Vigas (cargas transversais produzindo momentos fletores e esforços cortantes)
- Eixos (torção)

## Hastes



Tipos de hastes, em função da solicitação predominante: (a) tirante; (b) coluna; (c) viga; (d) eixo da torção.

# Hastes

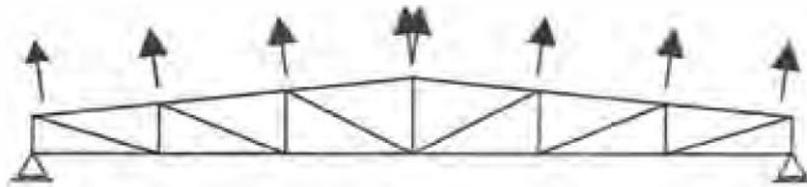
Nas aplicações práticas, os elementos lineares trabalham sob a ação de solicitações combinadas. Os esforços longitudinais de tração e compressão geralmente atuam com excentricidade em relação ao eixo das peças, dando origem a solicitações de flexotração e flexocompressão, respectivamente. Nas hastes comprimidas, as deformações transversais da peça dão origem a solicitações adicionais de flexocompressão. Esse efeito, denominado de segunda ordem porque altera a geometria inicial da haste, é de grande importância nos elementos muito alongados, conduzindo à ruptura da peça por flambagem.

# Placas

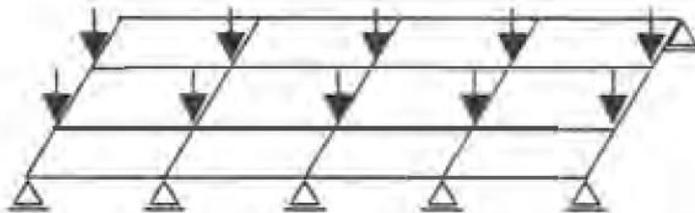
As placas são elementos de espessura pequena em relação à largura e ao comprimento. As placas são utilizadas isoladamente ou como elementos constituintes de sistemas planos ou espaciais.

# SISTEMAS PLANOS DE ELEMENTOS LINEARES

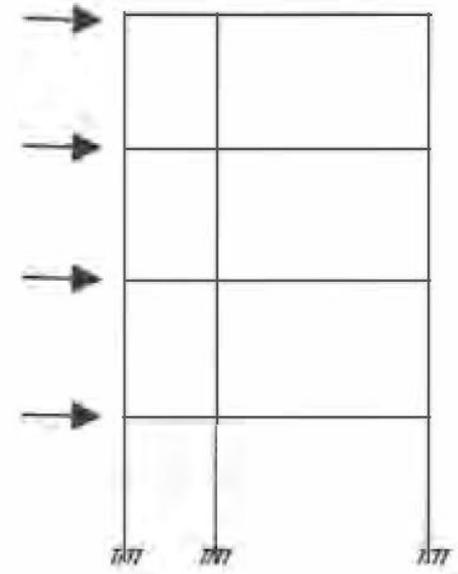
Formados pela combinação dos principais elementos lineares (tirantes, colunas, vigas), constituindo as estruturas portantes das construções civis.



Treliza



Grelha

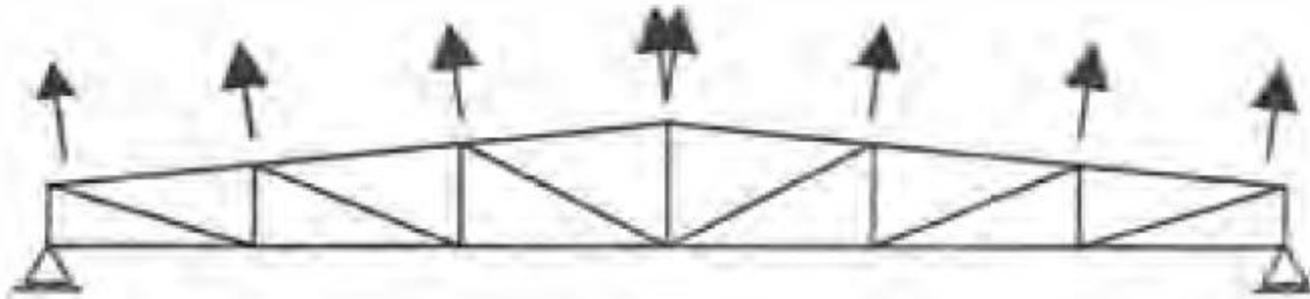


Pórtico plano

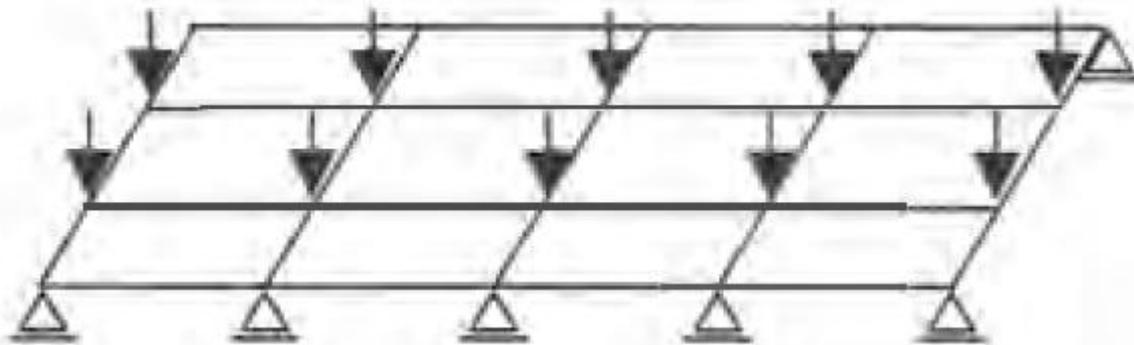
**Treliças:** sistema utilizado tipicamente em coberturas de edifícios industriais (galpões).

Nas treliças as hastes trabalham predominantemente a tração ou compressão simples.

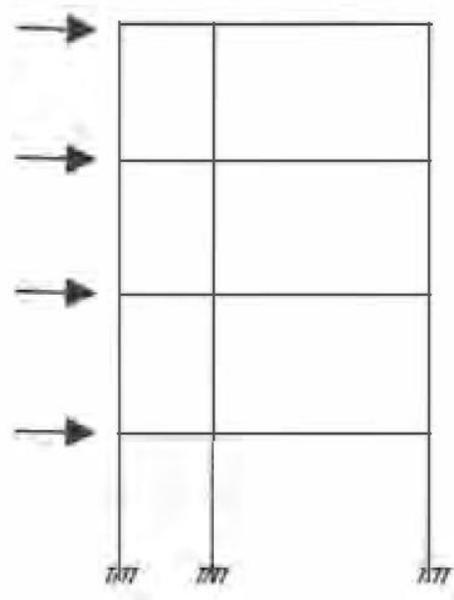
Modelo teórico tem os nós rotulados, porém na prática apresentam nós rígidos, os quais introduzem momentos fletores nas hastes. Entretanto, como as hastes individuais são geralmente esbeltas, as tensões de flexão resultam pequenas.



**Grelha plana:** sistema formado por dois feixes de vigas, ortogonais ou oblíquas, suportando conjuntamente cargas atuando na direção perpendicular ao plano da grelha. São utilizadas em pisos de edifícios e superestruturas de pontes.

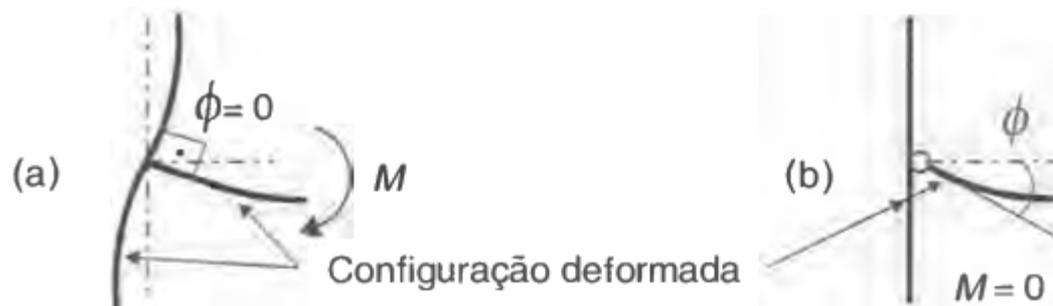


**Pórticos (quadros):** sistemas formados por associação de hastes retilíneas ou curvilíneas com ligações rígidas entre si. Sistema estrutural típico de edificações.



Ligações ideais.

- A) impede completamente a rotação relativa entre a viga e o pilar;
- B) ligaçãoa rotulada: deixa livre a rotação relativa viga pilar (fi)

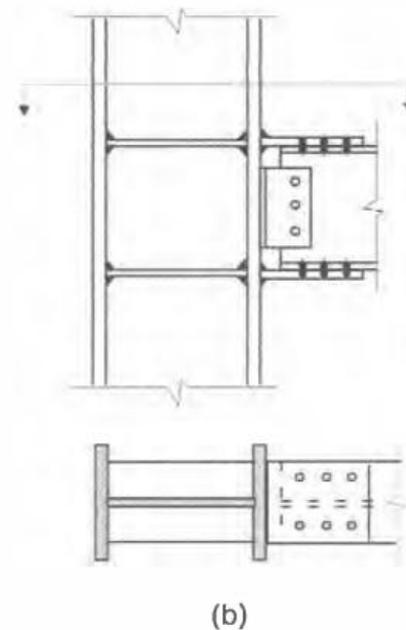
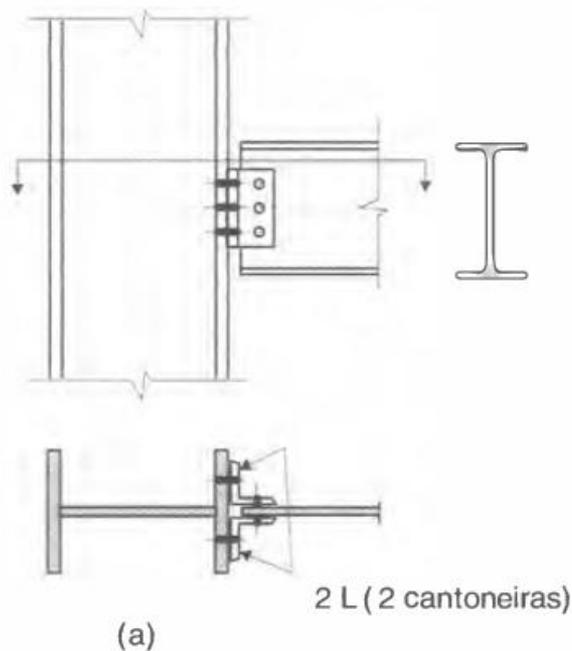


Ligações ideais: (a) ligação perfeitamente rígida; (b) ligação rotulada.

Na prática, os comportamentos de alguns detalhes de ligação podem ser assemelhados a um ou outro caso ideal de ligação.

a) Ligação viga pilar pode ser considerada como rotulada.

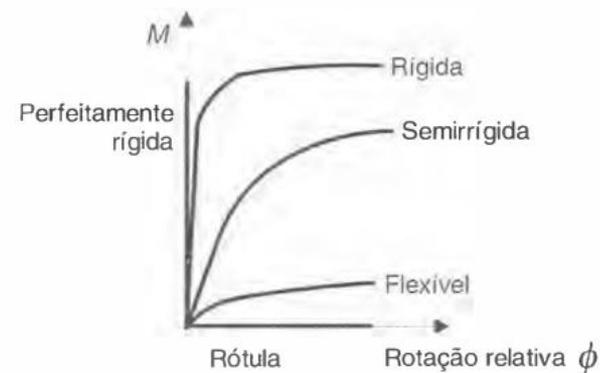
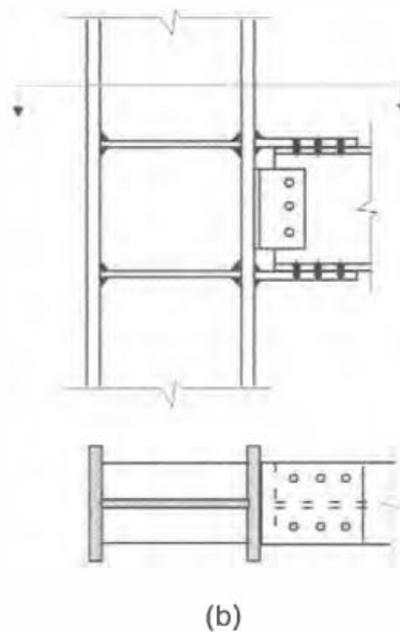
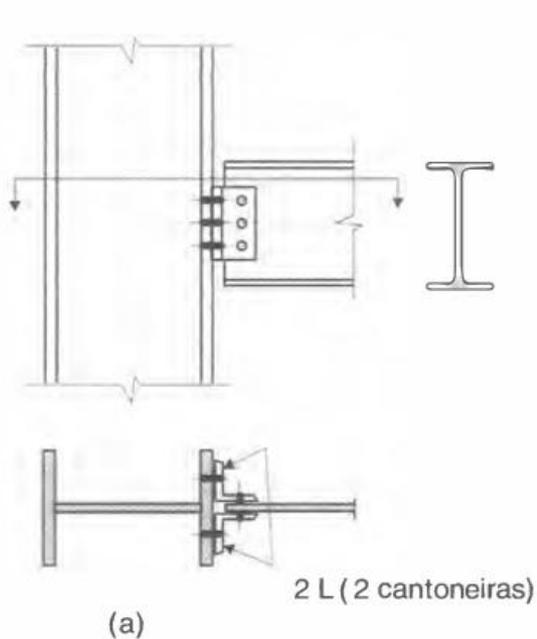
b) Ligação com chapas de topo e base além de cantoneiras pode ser classificada como rígida.



Na prática, os comportamentos de alguns detalhes de ligação podem ser assemelhados a um ou outro caso ideal de ligação.

a) Ligação viga pilar pode ser considerada como rotulada.

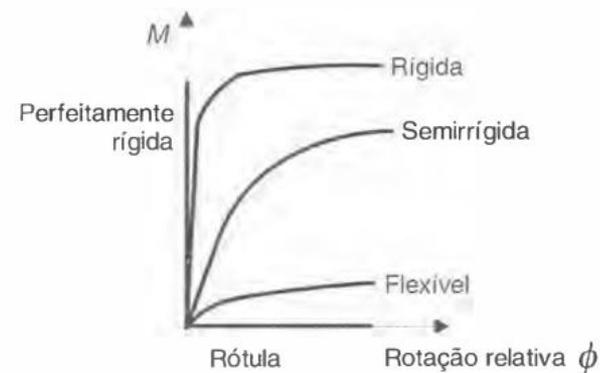
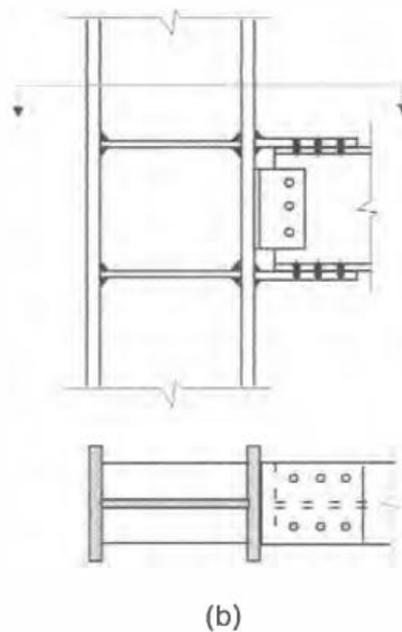
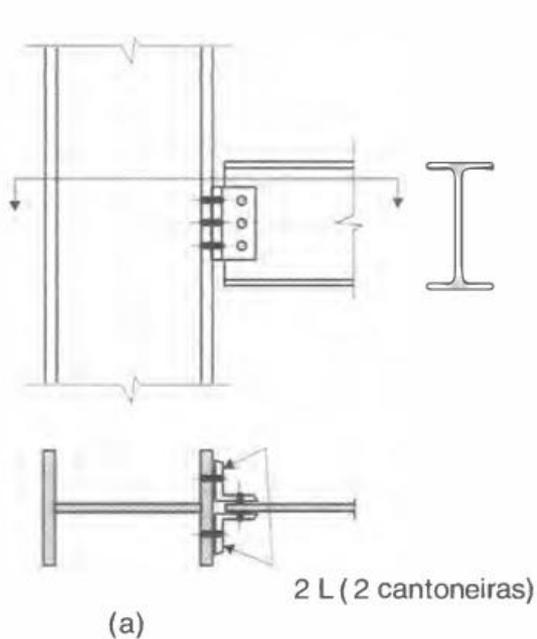
b) Ligação com chapas de topo e base além de cantoneiras pode ser classificada como rígida.



Na prática, os comportamentos de alguns detalhes de ligação podem ser assemelhados a um ou outro caso ideal de ligação.

a) Ligação viga pilar pode ser considerada como rotulada.

b) Ligação com chapas de topo e base além de cantoneiras pode ser classificada como rígida.



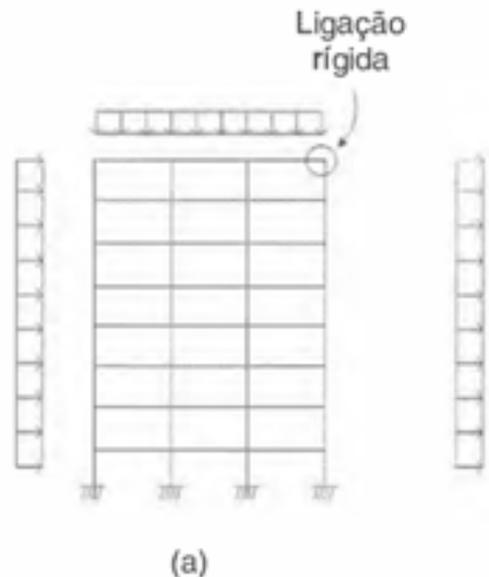
# ESTRUTURAS APORTICADAS PARA EDIFICAÇÕES

Pode-se identificar dois tipos de esquemas estruturais:

- a) Pórtico com ligações rígidas;
- b) Estrutura contraventada com ligações flexíveis.

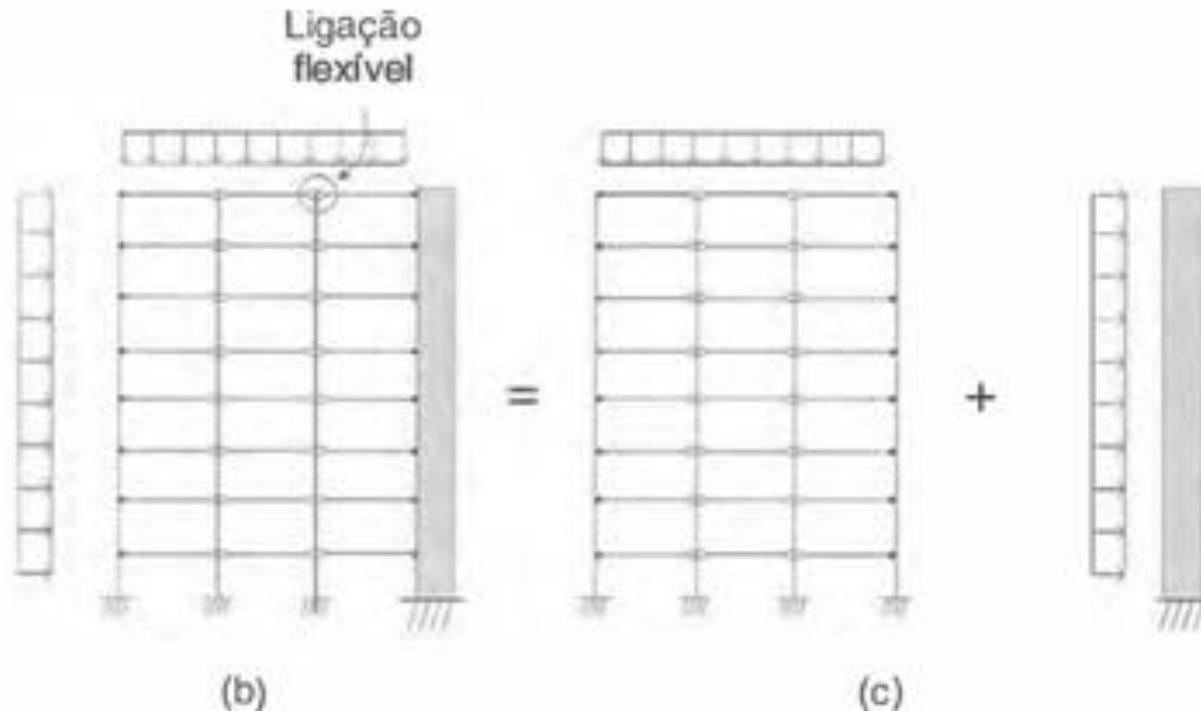
O modelo estrutural de um pórtico com ligações rígidas é ilustrado. Esse tipo é estável para ação das cargas verticais e horizontais.

A rigidez lateral do pórtico depende da rigidez à flexão dos elementos de viga e de pilar, e os deslocamentos horizontais devem ser mantidos pequenos.



# ESTRUTURAS APORTICADAS PARA EDIFICAÇÕES

A estrutura com ligações viga-pilar flexíveis só é estável para a ação de cargas verticais. Para resistir às ações horizontais, os pilares funcionam isolados (sem ação de pórtico); por isso deve-se associar uma subestrutura com grande rigidez à flexão, denominada contraventamento, que pode ser composta de uma ou mais paredes diafragma, ou paredes de cisalhamento.

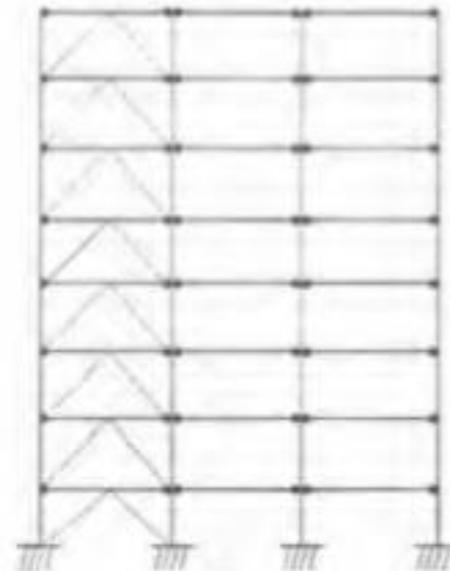
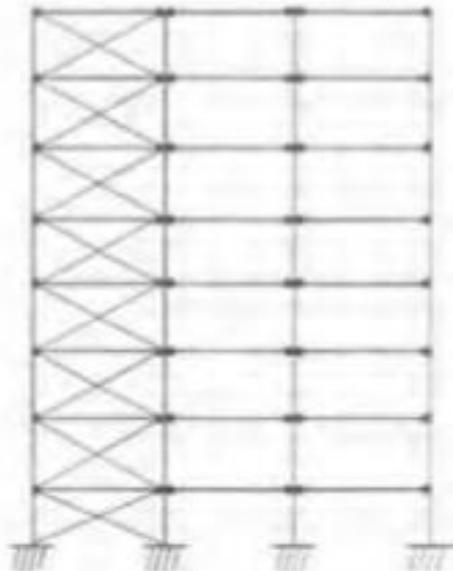


# ESTRUTURAS APORTICADAS PARA EDIFICAÇÕES

As ligações flexíveis são mais simples de serem instaladas e têm menor custo em relação às ligações rígidas.

Por outro lado, a necessidade de incluir as subestruturas de contraventamento leva à concentração das forças horizontais nas suas fundações, enquanto no pórtico as forças horizontais se distribuem pelas fundações de todos os pilares. Além disso, o contraventamento treliçado pode produzir efeitos negativos do ponto de vista arquitetônico, como, por exemplo, a obstrução oferecida para posicionamento das janelas e portas da edificação.

Para contornar este inconveniente, as diagonais em X podem ser dispostas em K.

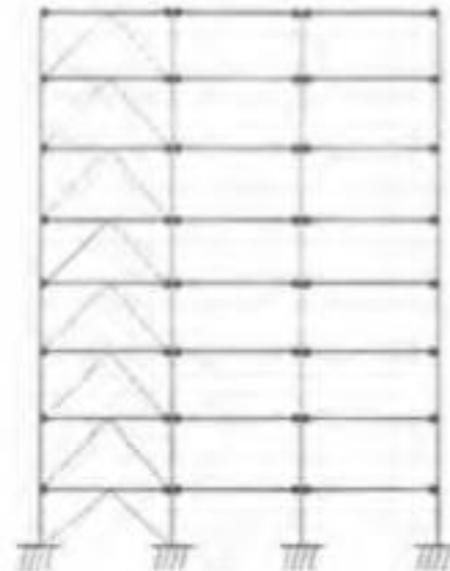
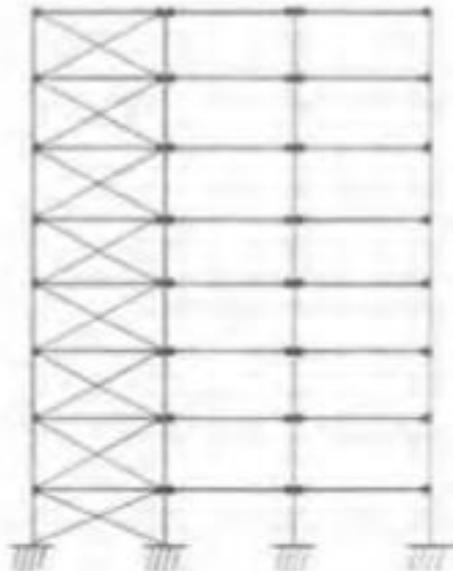


# ESTRUTURAS APORTICADAS PARA EDIFICAÇÕES

As ligações flexíveis são mais simples de serem instaladas e têm menor custo em relação às ligações rígidas.

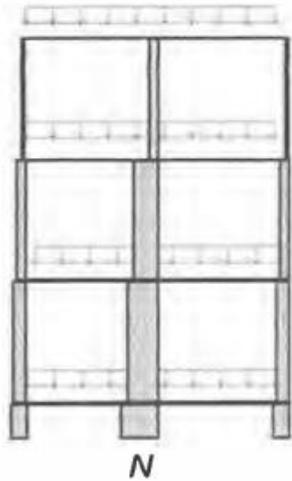
Por outro lado, a necessidade de incluir as subestruturas de contraventamento leva à concentração das forças horizontais nas suas fundações, enquanto no pórtico as forças horizontais se distribuem pelas fundações de todos os pilares. Além disso, o contraventamento treliçado pode produzir efeitos negativos do ponto de vista arquitetônico, como, por exemplo, a obstrução oferecida para posicionamento das janelas e portas da edificação.

Para contornar este inconveniente, as diagonais em X podem ser dispostas em K.

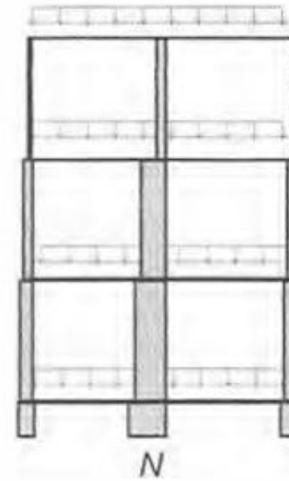
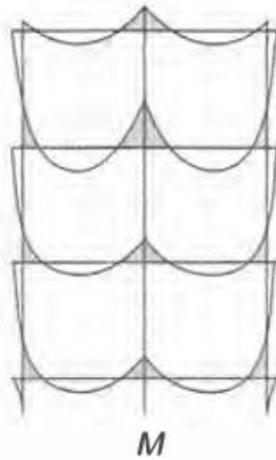


# ESTRUTURAS APORTICADAS PARA EDIFICAÇÕES

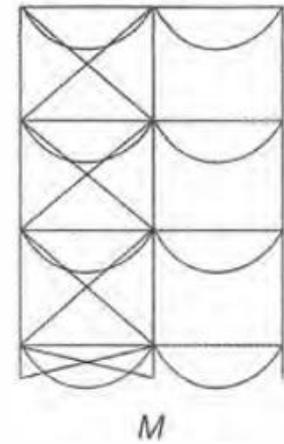
Sob a ação de cargas verticais, tanto as vigas quanto os pilares ficam sujeitos a momentos fletores; os pilares encontram-se sob flexocompressão. Já na estrutura contraventada, os pilares ficam sujeitos a compressão axial e as vigas à flexão.



(a)

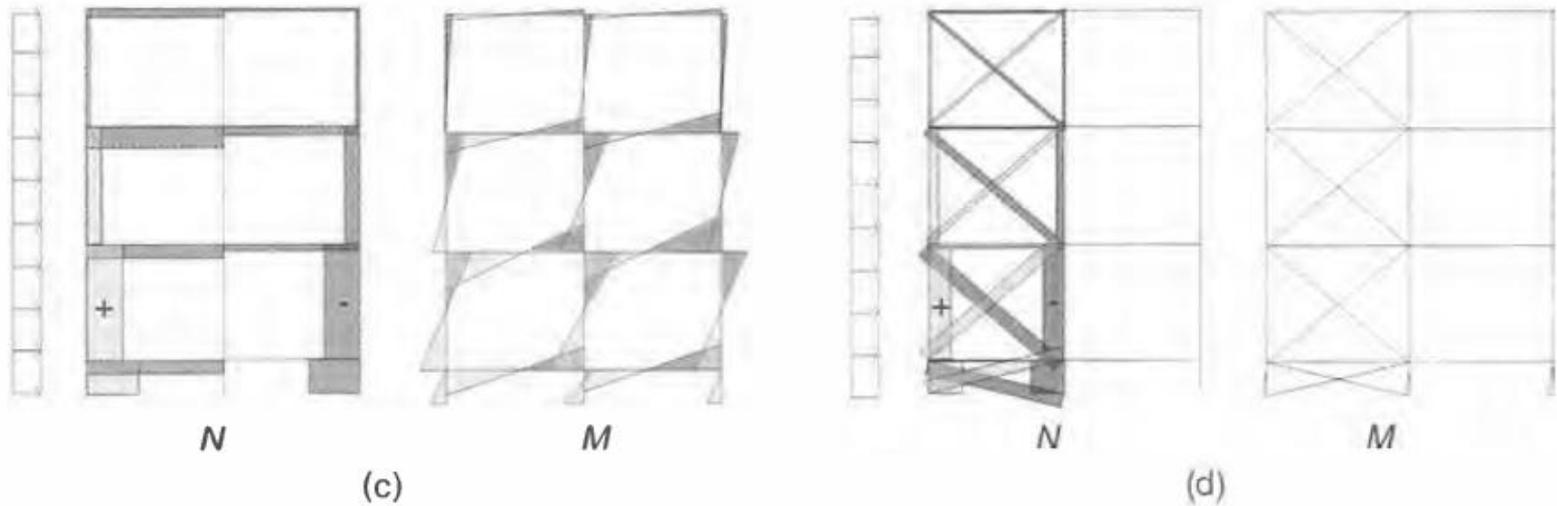


(b)



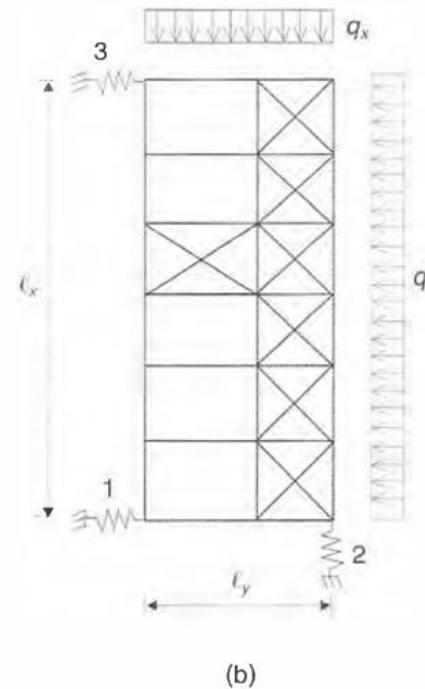
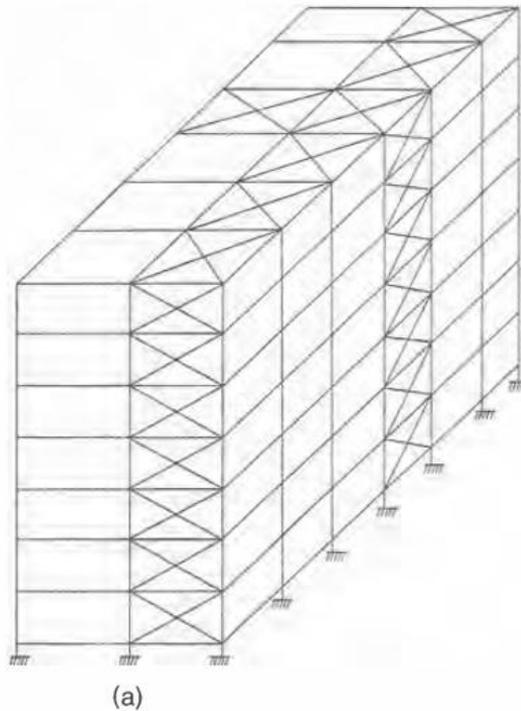
# ESTRUTURAS APORTICADAS PARA EDIFICAÇÕES

Sob a ação de cargas horizontais, desenvolvem-se esforços de flexão em todos os elementos do pórtico, enquanto na estrutura com ligações flexíveis é a subestrutura de contraventamento que é mobilizada.



# ESTRUTURAS APORTICADAS PARA EDIFICAÇÕES

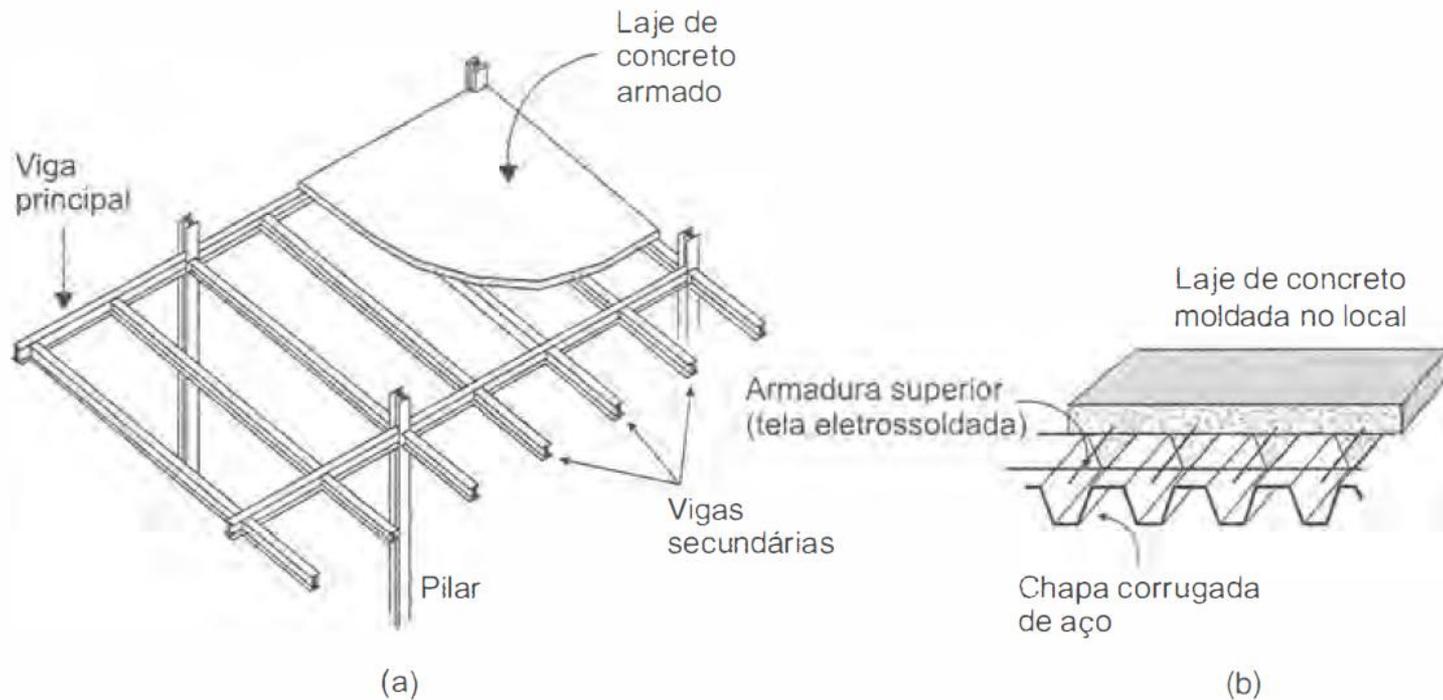
Esquema de um edifício com ligações viga-pilar flexíveis e com contraventamentos treliçados nos pórticos de fachada. Sob ação das cargas horizontais, o piso de cada andar funciona como uma estrutura no plano horizontal “apoiada” nos contraventamentos da fachada. Devem existir no mínimo três sistemas de contraventamento os quais devem estar dispostos de maneira a prover equilíbrio ao piso como corpo-rígido. Para isso, a estrutura de piso deve ter rigidez e resistência suficientes para distribuir as ações horizontais entre os sistemas de contraventamento, por exemplo, formando-se uma estrutura treliçada horizontal com as vigas de piso.



# SISTEMA DE PISOS PARA EDIFICAÇÕES

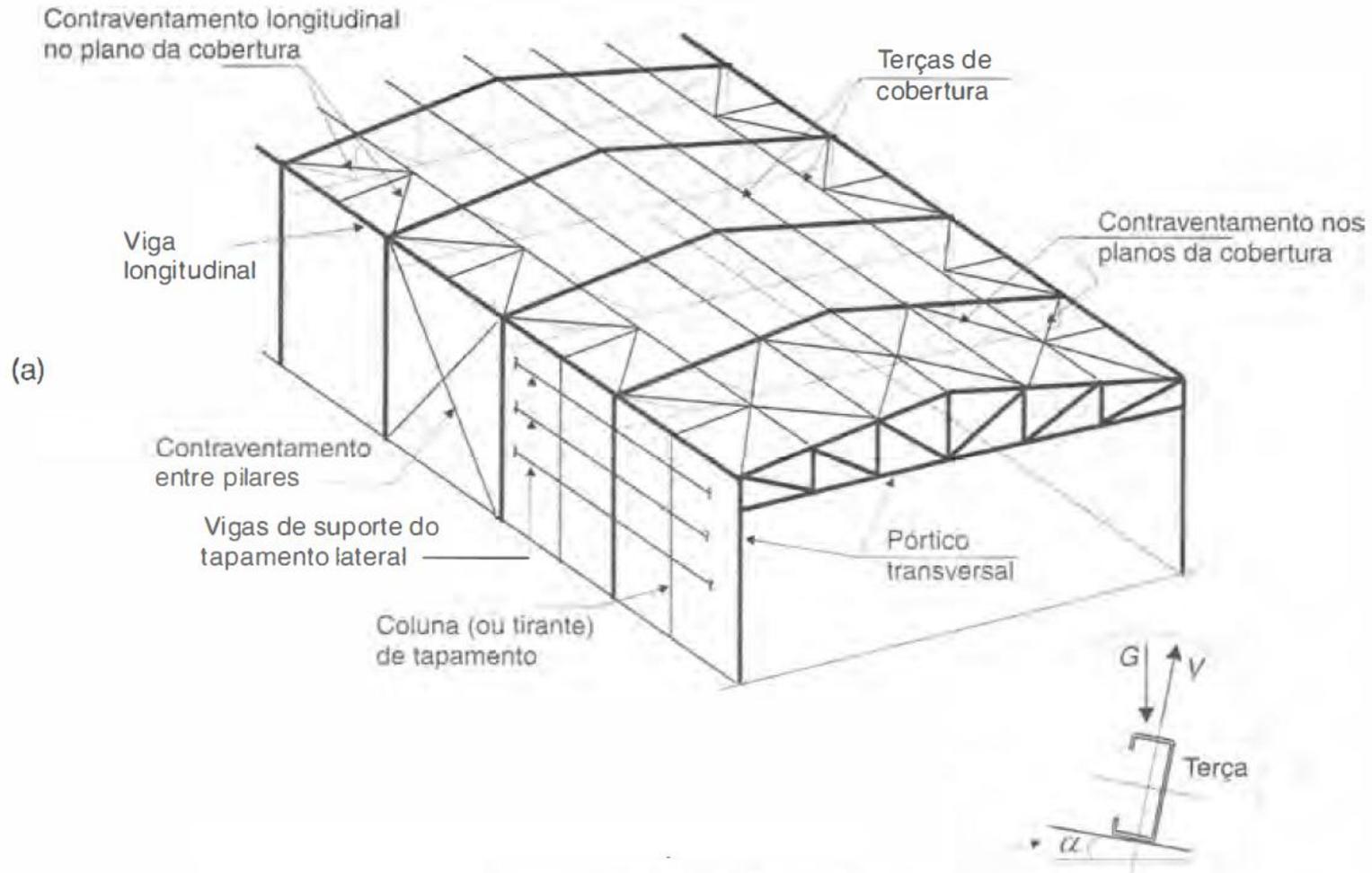
As estruturas de piso em edificações são compostas de vigas principais e secundárias associadas a painéis de laje de concreto armado.

As vigas principais são geralmente compostas por perfis I, em cujas almas podem ser executadas aberturas com ou sem reforços para permitir a passagem de tubulações.

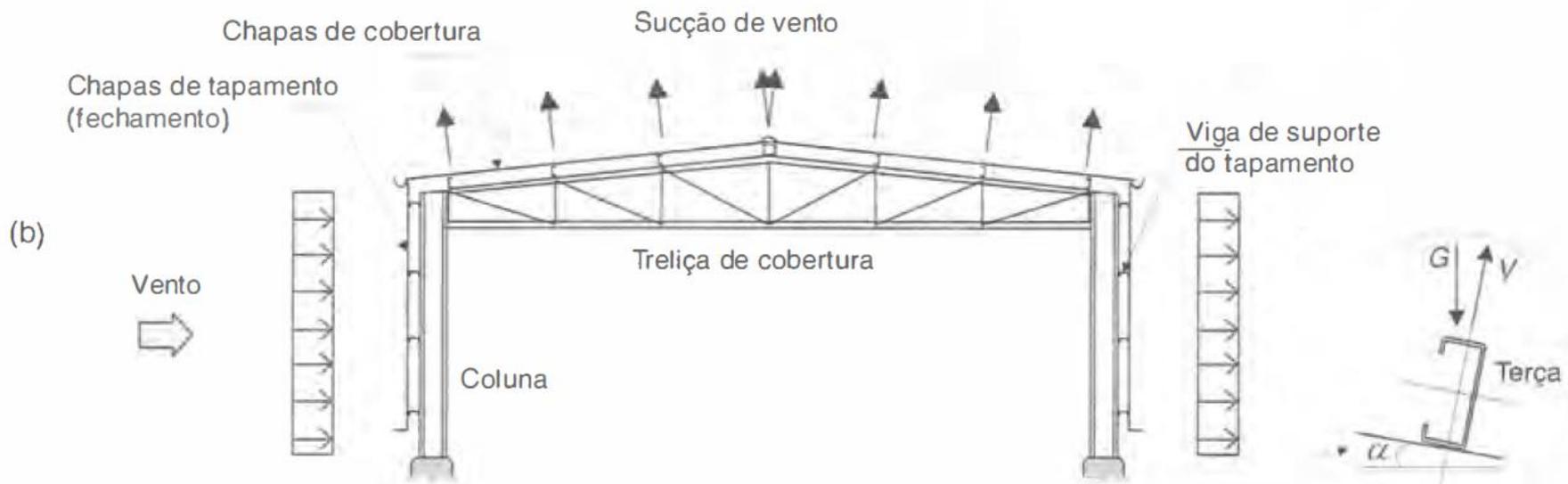


# GALPÕES INDUSTRIAIS SIMPLES

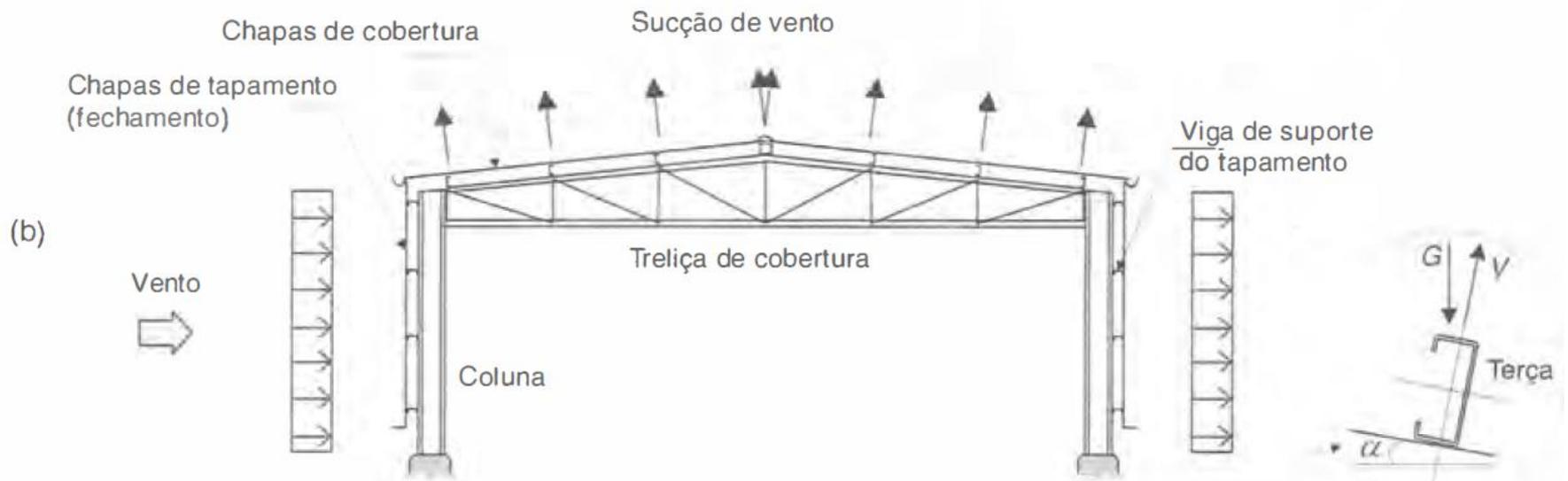
Esquema de um galpão metálico simples formado pela associação de elementos lineares e sistemas planos..



Esquema de um galpão metálico simples formado pela associação de elementos lineares e sistemas planos..



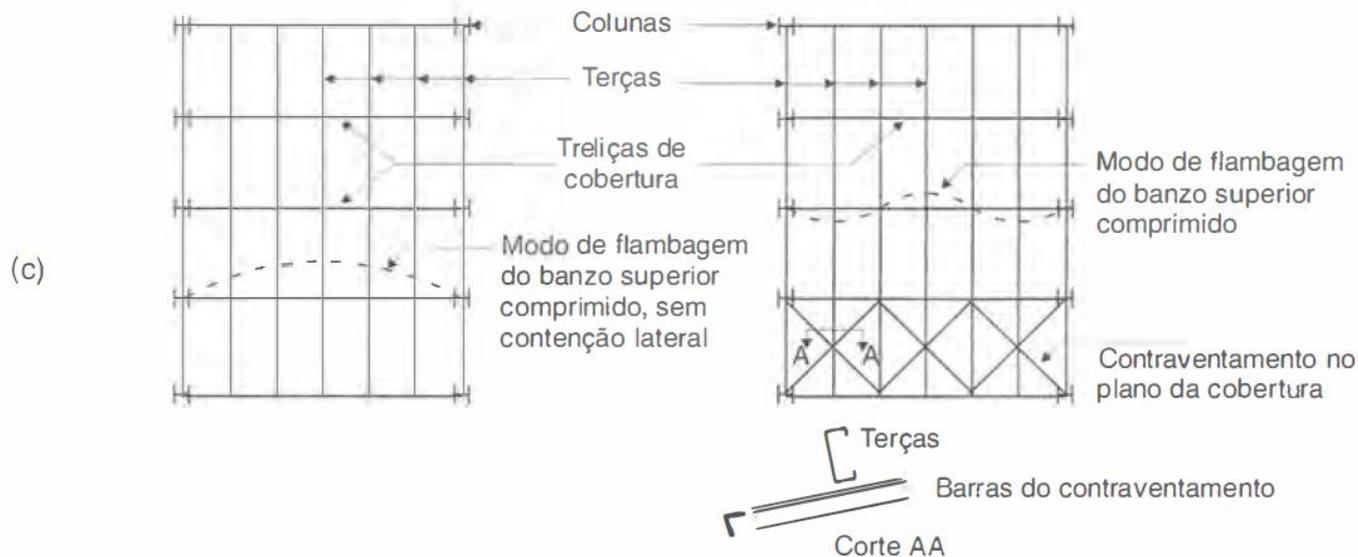
O cobrimento das faces laterais dos galpões é em geral também executado com chapas corrugadas de aço, as quais se apóiam nas vigas de tapamento lateral. Essas vigas destinam-se também a transferir as cargas de vento das fachadas às estruturas principais através do apoio dessas vigas diretamente nas colunas dos pórticos principais.



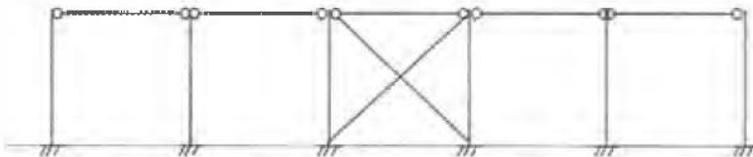
c) Planta da cobertura com e sem contraventamento.

d) Vista longitudinal mostrando o contraventamento entre pilares.

Os sistemas de contraventamento são feitos por barras associadas geralmente em forma de X compondo sistemas treliçados. Esses sistemas são destinados principalmente a fornecer estabilidade espacial ao conjunto, além de distribuir as cargas de vento.

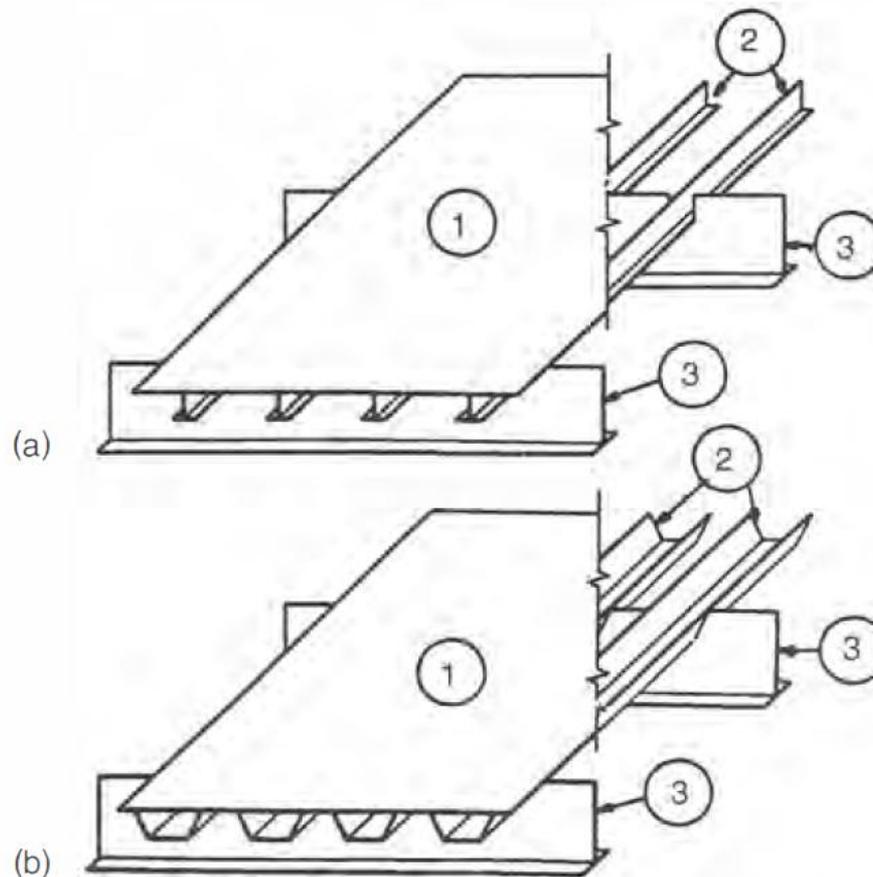


(d)



# SISTEMAS DE ELEMENTOS BIDIMENSIONAIS

Os sistemas planos bidimensionais de elementos bidimensionais em aço são constituídos por chapas dobradas ou reforçadas com enrijecedores soldados. As chapas reforçadas com enrijecedores são muito utilizadas como lajes em pontes de grandes vãos, nas quais há interesse em reduzir o peso próprio da estrutura. Tem inércia maior em uma direção. São chamadas por este motivo placas ortogonalmente anisotrópicas ou ortotrópicas.



# MÉTODOS DE CÁLCULO



Objetivos de um projeto estrutural:

- Garantia de segurança estrutural evitando-se o colápio do sistema.
- Garantia de bom desempenho da estrutura evitando-se a ocorrência de grandes deslocamentos, vibrações, danos locais.

Etapas:

- Anteprojeto ou projeto básico (sistema estrutural, os materiais e o sistema construtivo);
- Dimensionamento ou cálculo estrutural – definidas as dimensões dos elementos da estrutura e suas ligações de maneira a garantir a segurança e o bom desempenho da estrutura;
- Detalhamento – desenhos executivos da estrutura contendo especificações de todos os seus componentes;

# MÉTODOS DE CÁLCULO



Fases de dimensionamento e detalhamento, grande número de regras e recomendações:

- Critérios de garantia de segurança;
- Padrões de testes para caracterização dos materiais e limites dos valores de características mecânicas;
- Definição de níveis de carga que representem a situação mais desfavorável;
- Limites de tolerâncias para imperfeições na execução;
- Regras construtivas.

# ESTADOS LIMITES



Ocorre sempre que a estrutura deixa de satisfazer um de seus objetivos:

- Estados limites últimos;
- Estados limites de utilização.

Os estados limites últimos estão associados à ocorrência de cargas excessivas e conseqüentemente colapso da estrutura devido a:

- perda de equilíbrio como corpo rígido;
- Plastificação total de um elemento estrutural ou de uma seção;
- Ruptura de uma ligação ou seção;
- Flambagem;
- Ruptura por fadiga.

# ESTADOS LIMITES



Os estados limites de utilização estão associados a cargas em serviço:

- Deformações excessivas;
- Vibrações excessivas.

# MÉTODO DAS TENSÕES ADMISSÍVEIS

O dimensionamento utilizando tensões admissíveis se originou dos desenvolvimentos da R.M. em regime elástico.

A tensão resistente é calculada considerando-se que a estrutura pode atingir uma das condições limites citadas anteriormente.

No caso de elemento estrutural submetido à flexão simples sem flambagem latera, a tensão resistente é tomada, neste método, igual à tensão de escoamento  $f_{yk}$ , o que corresponde ao início de plastificação da seção.

$$\sigma_{\max} < \bar{\sigma} = \frac{f_{yk}}{\gamma}$$

$\bar{\sigma} = \textit{tensão admissível}$

# MÉTODO DAS TENSÕES ADMISSÍVEIS



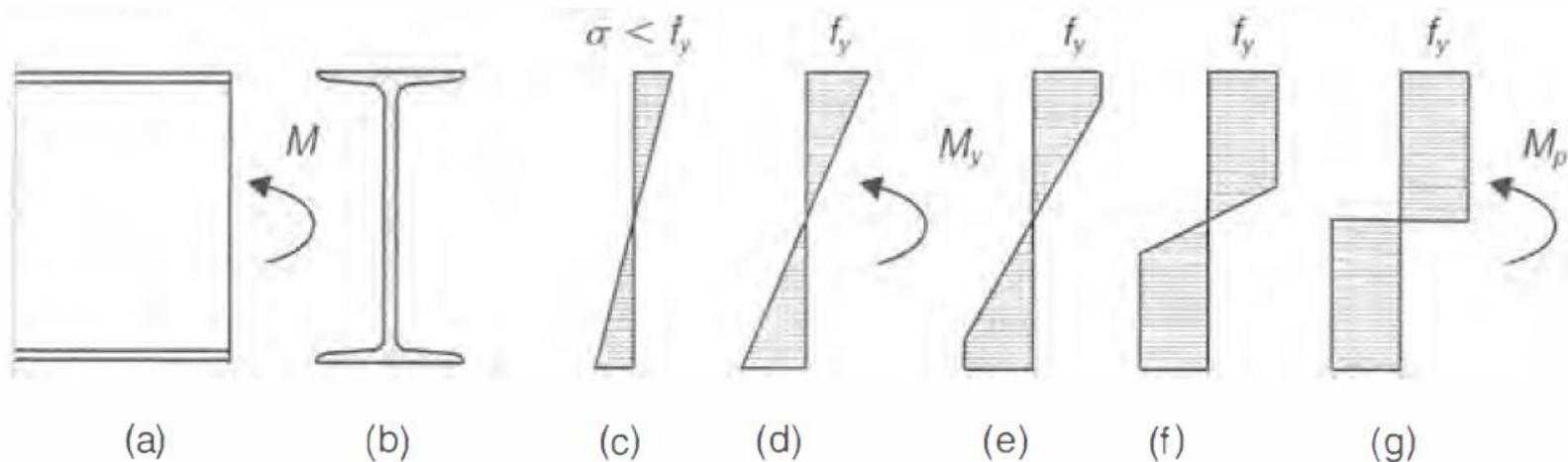
O Método das tensões admissíveis possui as seguintes limitações:

- a) Utiliza-se um único coeficiente de segurança para expressar todas as suas incertezas.
- b) Em sua origem o método previa a análise estrutural em regime elástico com o limite de resistência associado ao início de plastificação da seção mais solicitada. Não se consideravam reservas de resistência existentes após o início da plastificação, nem a redistribuição de momentos fletores causada pela plastificação de uma ou mais seções de estrutura hiperestática.

# MÉTODO DAS TENSÕES ADMISSÍVEIS

Teoria Plástica de Dimensionamento das Seções:

- Vide Figura abaixo;
- Momento  $M_y$  é o momento correspondente ao início de plastificação total da seção. Em sua origem o método previa a análise estrutural em regime elástico com o limite de resistência associado ao início de plastificação da seção mais solicitada. Não se consideravam reservas de resistência existentes após o início da plastificação, nem a redistribuição de momentos fletores causada pela plastificação de uma ou mais seções de estrutura hiperestática.



Tensões normais de flexão e plastificação progressiva da seção.

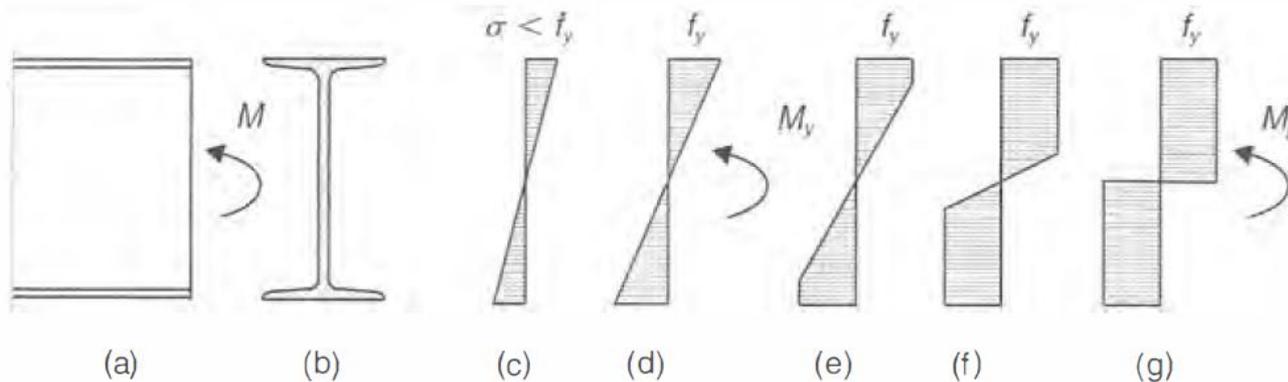
# MÉTODO DAS TENSÕES ADMISSÍVEIS

Teoria Plástica de Dimensionamento das Seções:

- Como  $M_p > M_y$ , o saldo ( $M_p - M_y$ ) constitui uma reserva de resistência em relação ao início de plastificação. Esse saldo é considerado na teoria plástica de dimensionamento (Cap. 11)
- Na teoria plástica de dimensionamento, a carga  $Q_{serv}$  atuante, em serviço, é comparada com a carga  $Q_u$  que produz o colapso da estrutura através da equação de conformidade do método:

$$\gamma Q_{serv} \leq Q_u$$

onde  $\gamma$  é o coeficiente de segurança único aplicado agora às cargas de serviço.



Tensões normais de flexão e plastificação progressiva da seção.

# MÉTODO DAS TENSÕES ADMISSÍVEIS



Método dos Estados Limites:

A garantia de segurança no método dos estados limites é traduzida pela equação da conformidade, para cada seção da estrutura:

$$S_d = S\left(\sum \gamma_{fi} F_i\right) < R_d = R\left(f_k / \gamma_m\right)$$

$S_d$  : *solicitação de projeto*

$R_d$  : *resistência de projeto (função da resist. carac. do mat.)*

$\gamma_{fi}$  : *coeficiente de majoração das cargas ou ações*

$\gamma_{mi}$  : *coeficiente de redução da resistência interna*

Trata-se de um método que considera as incertezas de forma mais racional que o método das tensões admissíveis, além de considerar as reservas de resistência após o início da plastificação.

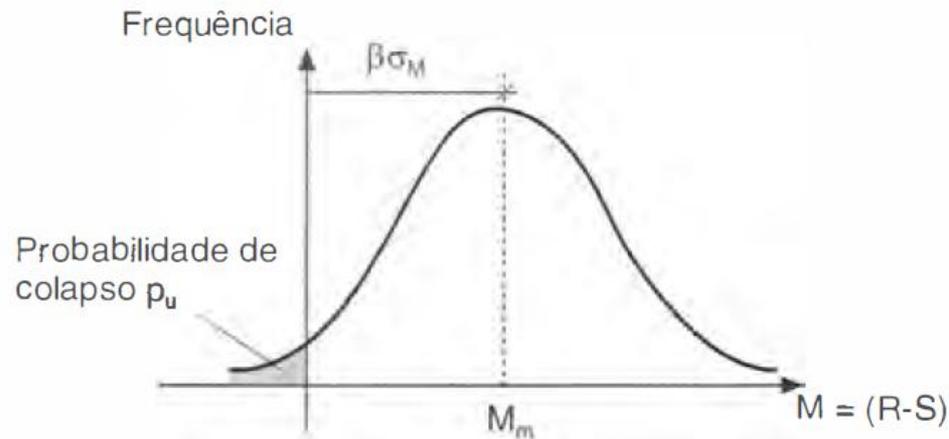
# MÉTODO DAS TENSÕES ADMISSÍVEIS

Método dos Estados Limites:

Na formulação deste método semiprobabilístico a solicitação  $S$  e a resistência  $R$  são tomadas como variáveis aleatórias com distribuições normais de probabilidade.

A segurança das estruturas fica garantida sempre que a diferença  $(R-S)$ , denominada  $M$  margem de segurança, for positiva.

Quanto maior a diferença entre o valor médio e a origem, menor a probabilidade de colapso.



Distribuição de probabilidade da variável  $M$  (margem de segurança), igual à diferença entre a resistência  $R$  e a solicitação  $S$ .

# MÉTODO DAS TENSÕES ADMISSÍVEIS



Porém, as maiores probabilidades de colapso são devidas à existência de erros humanos, que devem ser combatidos.

# REFERÊNCIAS



- Pfeil, W., Pfeil, M., “Estruturas de Aço – Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008”, 8ª edição, LTC.

