

# **ESTRUTURAS METÁLICAS**

**Prof. Alexandre Augusto Pescador Sardá**

# Metais Ferrosos

## Formas usuais de Metais Ferrosos

Ferro fundido;

Ferro forjado;

Aço.

# Metais Ferrosos

**Aço** e o **ferro fundido** são ligas de ferro e carbono, com outros elementos de dois tipos: elementos residuais decorrentes do processo de fabricação (Silício, Manganês, Fósforo e Enxofre), e elementos adicionados com o intuito de melhorar as características físicas e mecânicas do material denominados elementos de liga.

**Aço: liga ferro carbono** em que o teor de carbono varia desde 0,008% até 2,11% (Chiaverini, 1996).

O carbono aumenta a resistência do aço, porém o torna mais frágil.

Os aços com baixo teor de carbono têm menor resistência à tração, porém são mais dúcteis.

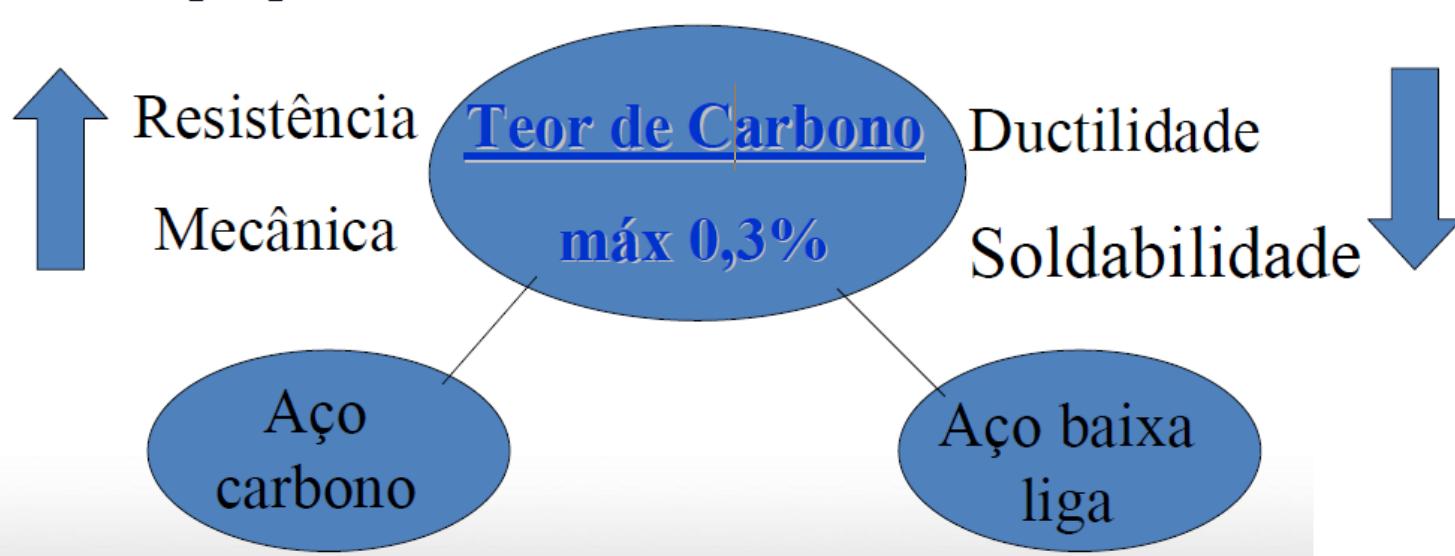
As resistências à ruptura por tração ou compressão dos aços utilizados em estruturas são iguais, variando entre 300 Mpa até 1200 Mpa.

# Metais Ferrosos

## O Material Aço

Aço:

Liga metálica composta basicamente de ferro (98%) e carbono, com adições de outros elementos (silício, maganês, fósforo e etc.) que melhoram determinadas propriedades do aço.



# Aços Estruturais

**Aços-carbono:** contêm teores normais de elementos residuais;

**Aços-liga:** aços-carbono acrescidos de elementos de liga ou apresentando altos valores de elementos residuais.

## **Aços para estruturas:**

requeridas propriedades de boa ductilidade, homogeneidade e soldabilidade, além de elevada relação entre a tensão resistente e a de escoamento. (Chiaverini, 1996)

A resistência à corrosão é também importante só sendo, entretanto, alcançada com pequenas adições de **cobre**.

# O Material Aço

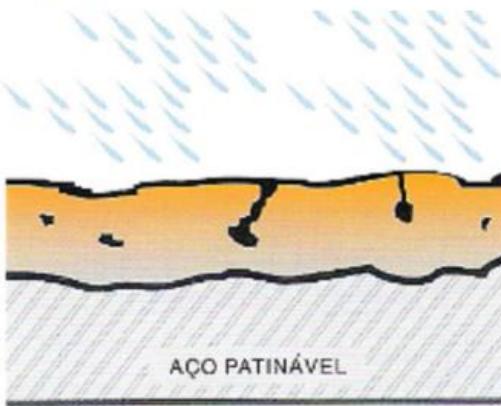
## Aços baixa liga e alta resistência a corrosão:

Esses aços, quando expostos a intempéries, desenvolvem em sua superfície uma camada de óxido aderente que funciona como barreira protetora. São os chamados *aços patináveis*

Adição de Cr, Cu, Al, Ni, V



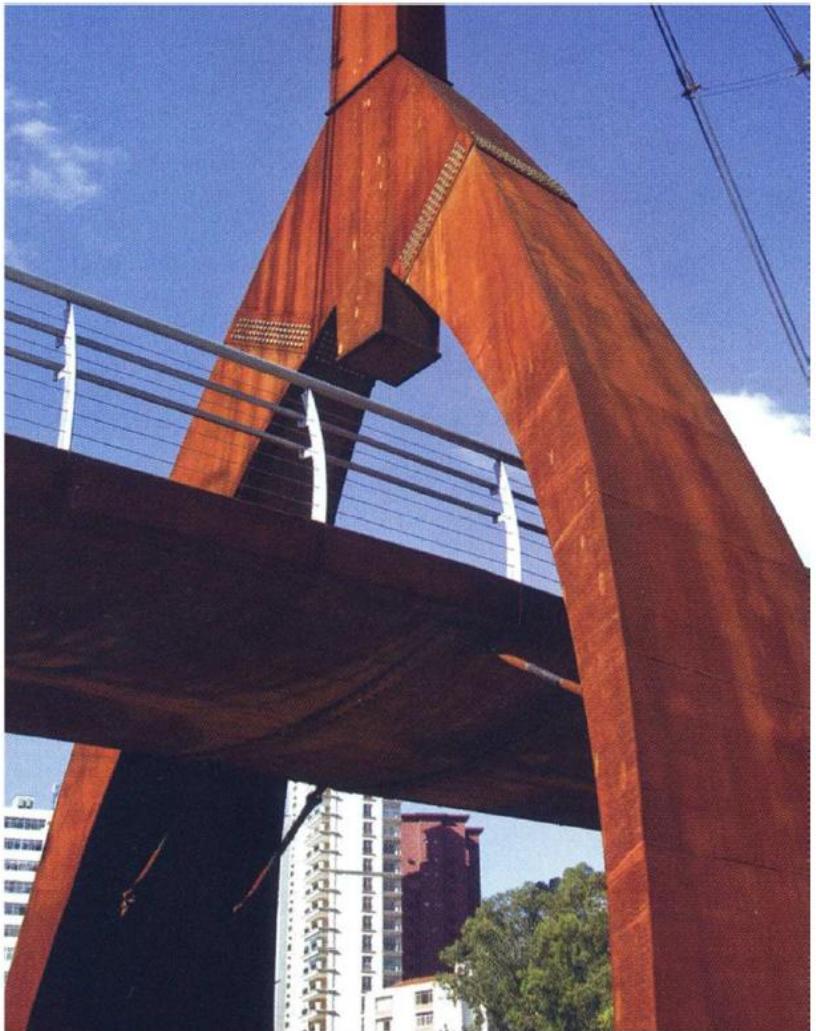
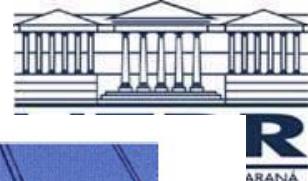
A água atravessa a camada de ferrugem pelos poros e fissuras, atingindo o metal.



Fino filme aderente de ferrugem (pátina), no qual sais insolúveis de sulfato bloquem poros e fissuras, protegendo o metal.

EX.: USI-SAC300, COS-AR-COR 500, ZAR 280, ASTM A-242

# Tipos de aço estrutural



Uma de suas principais características é a camada de óxido de cor avermelhada que se forma quando ocorre a exposição do aço aos agentes corrosivos do ambiente.

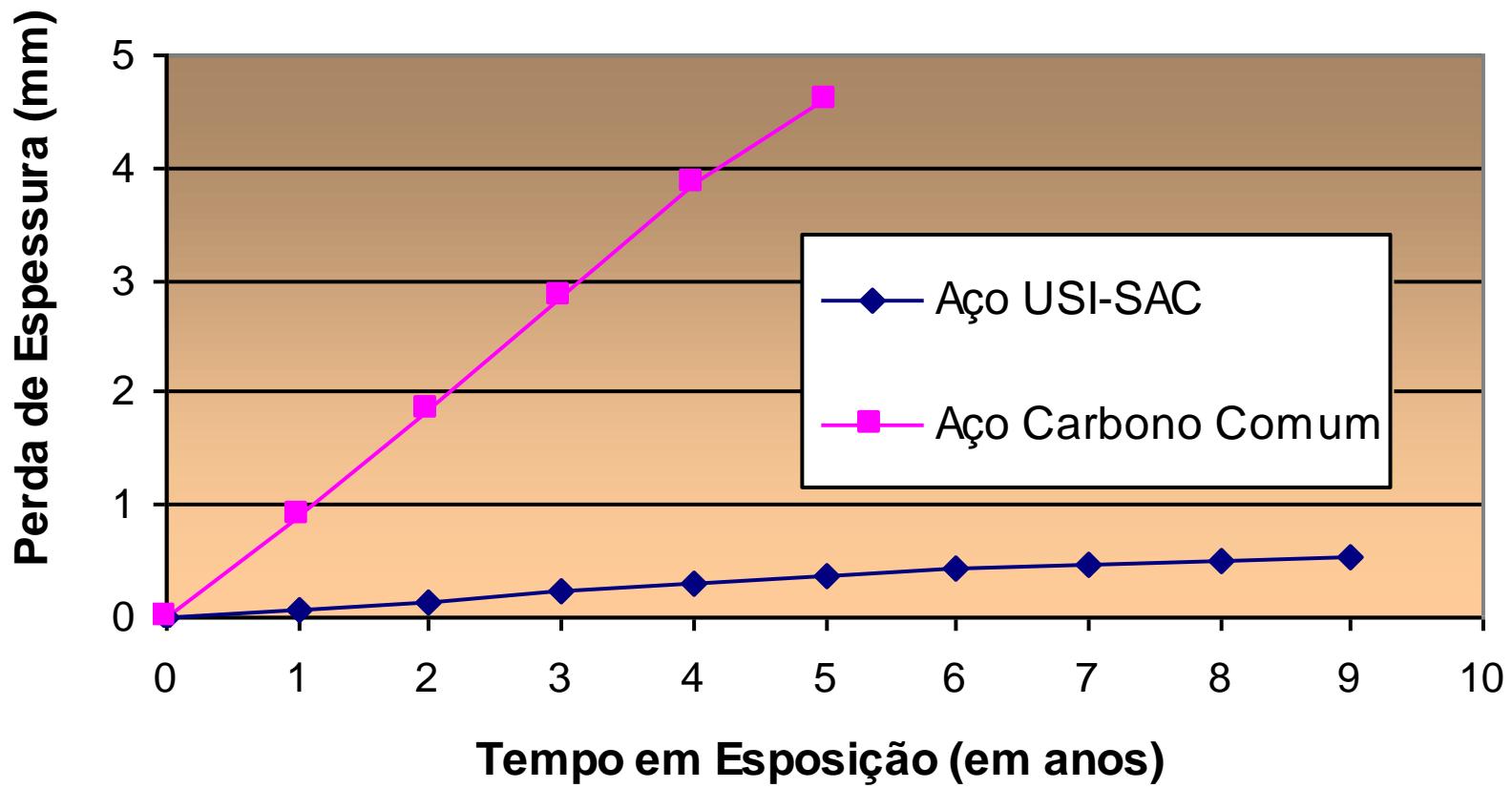
# Estrutura de aço corten, de Richard Serra, em Londres.



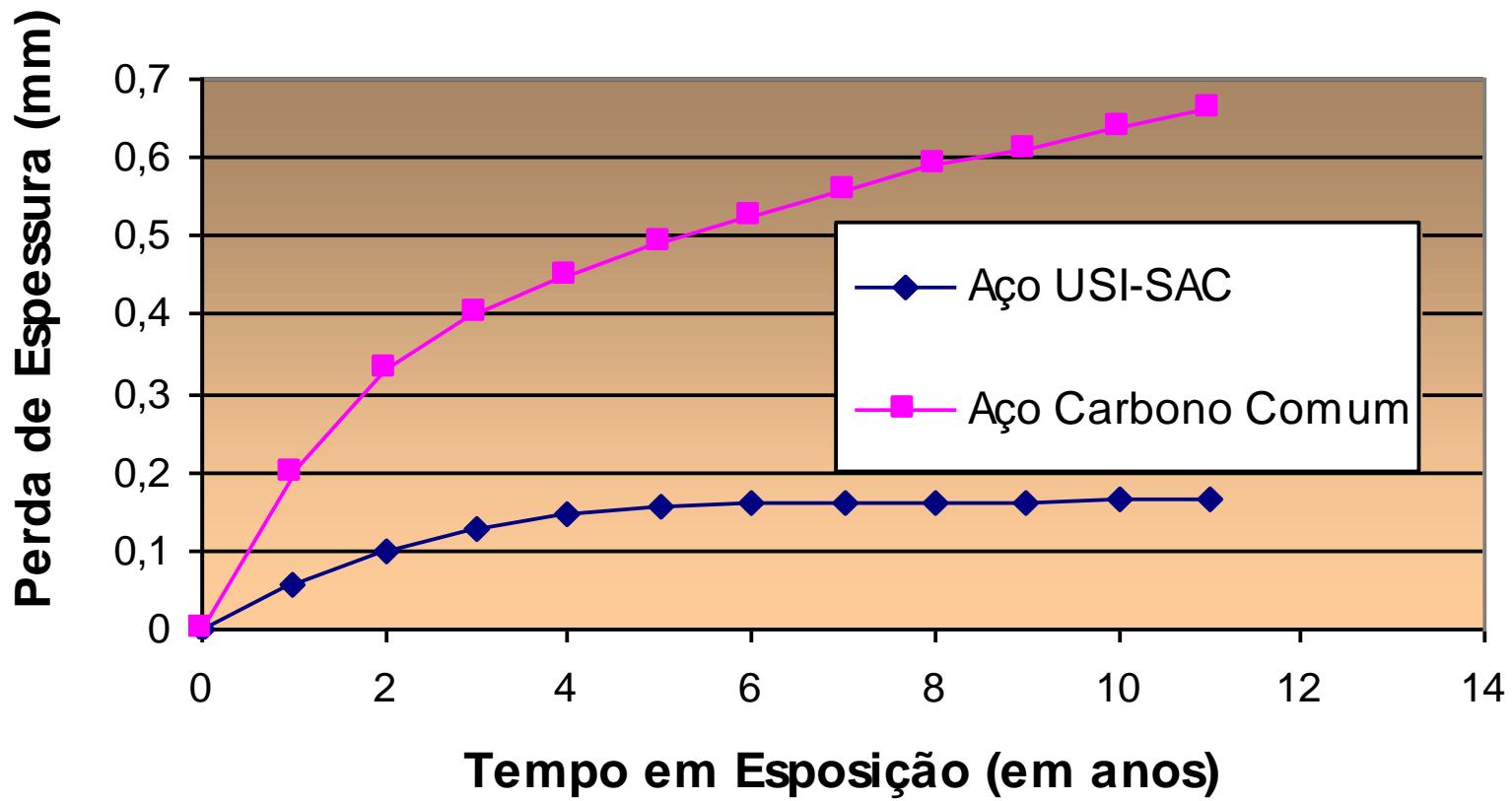
Os aços patináveis são utilizados no mundo todo na construção de edifícios de múltiplos andares, passarelas, pontes, defensas, viadutos, torres de transmissão, telhas, edifícios industriais, entre outros.

Uma das principais características do aço patinável, é que sob certas condições ambientais de exposição aos agentes corrosivos, este tipo de aço pode desenvolver uma película de óxido de cor avermelhada aderente e protetora, chamada de pátina, que atua reduzindo a velocidade do ataque dos agentes corrosivos presentes no meio ambiente.

## Atmosfera Marinha (Arraial do Cabo - RJ)



## Atmosfera Industrial Local: Tobata - Japão



# Propriedades do Aço

**Tabela A1.1** Constantes Físicas dos Aços (faixa normal de temperaturas atmosféricas)

Constante Física	Valor
Módulo de deformação longitudinal, $E$	200.000–210.000* MPa
Coeficiente de Poisson, $\nu$	0.3
Coeficiente de dilatação térmica, $\beta$	$12 \times 10^{-6}$ por °C
Massa específica, $\rho$	7 850 kg/m <sup>3</sup>

\*Faixa de variação dos valores médios de  $E$ : valor adotado pela NBR8800 = 200.000MPa.

# Propriedades do Ferro

**Tabela A1.2** Propriedades Mecânicas dos Ferros Fundido (*cast iron*) e Forjado (*wrought iron*)

Propriedade	Material			
	Ferro Fundido Cinzento A48 N.º 20	Ferro Fundido Maleável A47. Gr 32510	Ferro de Lingote Recozido 0,02% C	Ferro Forjado 0,10% C ( <i>wrought iron</i> )
• Tensão de escoamento à compressão $f_{cv0.2}$ (MPa)	560	230	150	210
• Tensão de escoamento à tração $f_{v0.2}$ (MPa)	—	230	170	210
• Tensão de ruptura à tração $f_u$ (MPa)	140 (min)	350	290	350
• Módulo de elasticidade $E$ (GPa)	77 (min)	170	210	190
• Módulo de cisalhamento $G$ (GPa)	28	70	84	70
• Elongação (% em base 2")	1	10	45	30
• Dureza Brinell	130	120	70	100
• Resistência à fadiga (2 milhões de ciclos) — flexão reversível (MPa)	80	180	180	170

**Tabela A1.3** Composição Química de Alguns Aços Fabricados no Brasil

Nomenclatura	Composição Química (%)							Limite de Escoamento (MPa)	Tensão de Ruptura (MPa)	Alongamento (% em 200 mm)
	C <sub>máx</sub>	Si <sub>máx</sub>	Mn <sub>máx</sub>	P <sub>máx</sub>	S <sub>máx</sub>	Cu <sub>min</sub>	Outros			
1 - ASTM A36	0,26	0,40		0,04	0,05			250	400 (min)	18
2 - ASTM A242 Gr. 1	0,15	—	1,00	0,15	0,05	0,20		345	485	18
ASTM A242 Gr. 2	0,20	—	1,35	0,04	0,05	0,20			485	18
3 - ASTM A572 Gr. 50	0,23	0,40	1,35	0,04	0,05	—	Nb 0,005-0,05	345	450	18
4 - USI - SAC - 300 (antigo 41)	0,20	0,50-1,50	1,50	0,060	0,020	0,05-0,40	Cr 0,60	300	400 a 550	5-12,7
5 - USI - SAC - 350 (antigo 50)	0,25	0,50-1,50	1,50	0,060	0,020	0,05-0,40	Cr 0,60	350	500 a 650	5-12,7

Notas: 1 - aço-carbono

3 - aço de baixa liga e alta resistência mecânica

4 - aço de baixa liga e média resistência mecânica, resistente à corrosão atmosférica

2, 5 - aços de baixa liga e alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica

4, 5 - aços fabricados pela Usiminas para chapas grossas e tiras a quente (catálogo Usiminas)

# Aços Estruturais

Classificação	Denominação	Produto	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Aços-carbono	A36	Perfis		400
		Chapas	250	a
		Barras <sup>3)</sup>		550
	A500	Perfis	230	310
			290	400
	A570	Chapas	275	380
			310	415
			345	450
			380	480
			290	415
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	A572	Perfis	345	450
			415	520
			450	550
		Chapas e barras <sup>3)</sup>	290	415
			345	450
			380	485
			415	520
			450	550
			345	
			a	450
			450	
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica	A242	Perfis	345	480
			315	460
		Chapas e barras <sup>3)</sup>	345	480
			315	460
			290	435
	A588	Perfis	345	485
		Chapas e barras <sup>3)</sup>	345	485

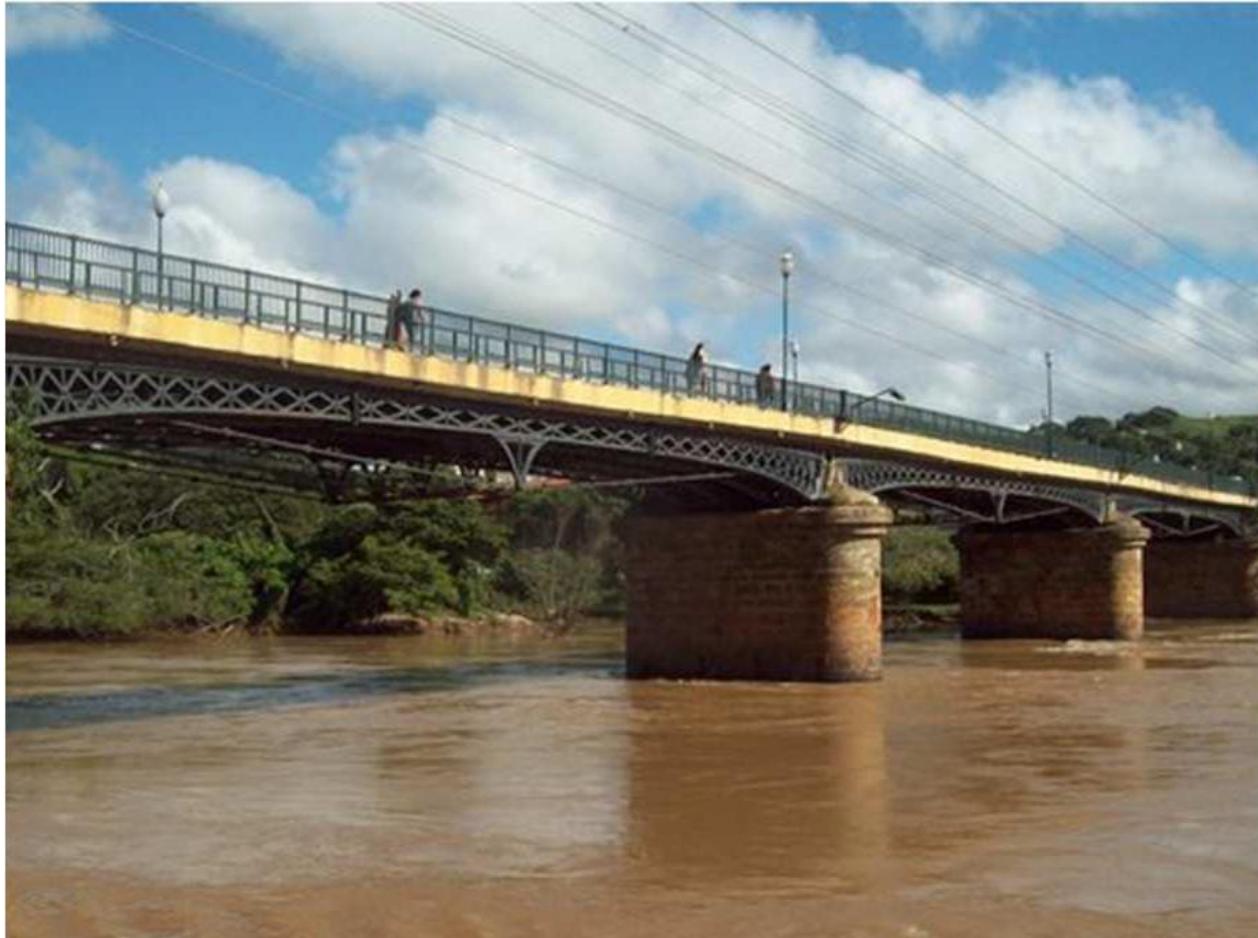
# Introdução e Histórico

Primeira ponte em **ferro fundido**, Coalbrookdale, sobre o rio Severn, Inglaterra. Vão de 30 metros, construído em 1779.



# Introdução e Histórico

Brasil: 1857 – Ponte sobre o Rio Paraíba do Sul – Rio de Janeiro. Ferro fundido.  
Vão de 30 m vencidos por arcos atirantado, sendo os arcos constituídos de peças de ferro fundido montadas por encaixe e o tirante em ferro forjado



# Introdução e Histórico

Brasil: 1857 – Ponte sobre o Rio Paraíba do Sul –



# Introdução e Histórico

Meados sec XIX – ferro fundido substituído pelo ferro forjado que oferecia maior segurança

» 1850 – 1880: pontes ferroviárias em trelicas.

Grande número de acidentes com estas obras tornou patente a necessidade de estudos mais aprofundados e de material de melhores características.

Aço (0 a 1,7% de carbono):

- » 1856 - Forno de Bessemer (produção de aço em alta escala)
- » 1864 – Forno Martin (Maior capacidade)
- » 1867 – Forno Siemens-Martin

# Introdução e Histórico

Aço

– 1884: Viaduct de Garabit, Sul da Franca. Vão de 165 m, construída por G.Eiffel.



# Introdução e Histórico

1890: Ponte Firth of Fourth, Edimburgo - Escócia. Vão de 521 m.  
(Recorde mundial)



# Introdução e Histórico

1890: Ponte Firth of Fourth, Edimburgo - Escócia. Vão de 521 m.



# Introdução e Histórico

1900: Estação Ferroviária Quai d'Orsay em Paris.





# Introdução e Histórico

Torre Eiffel, 1889 – Paris

300 m de altura

1700 toneladas de aço

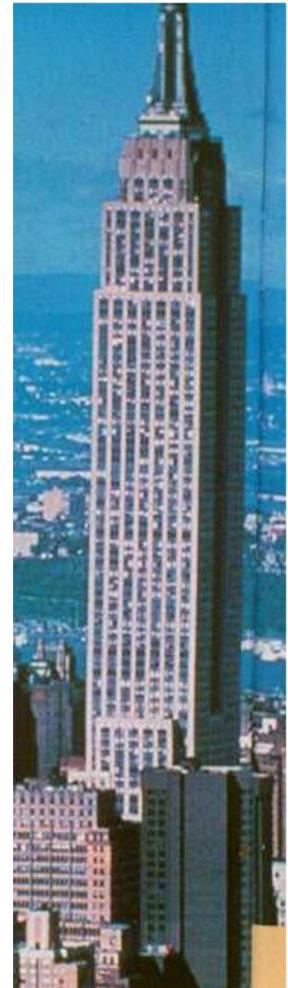
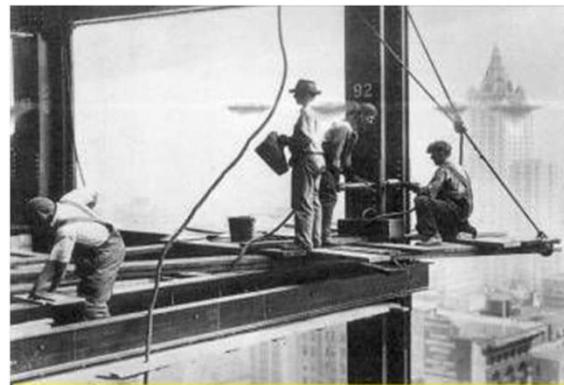
# Introdução e Histórico

Destaques no Mundo:

Empire State Building, 1931 – New York

380 m de altura

102 andares



# Introdução e Histórico

Meados sec XX – utilizou-se quase que exclusivamente o aço carbono com resistência à ruptura de cerca de 370 Mpa.

Os aços de maior resistência começaram a ser empregados em escala crescente a partir de 1950.

Nas décadas de 1960/70, difundiu-se o emprego de aços de baixa liga, sem ou com tratamento térmico.

No Brasil, a indústria siderúrgica foi implantada após a Segunda Guerra Mundial, com a construção da CSN no Rio de Janeiro.

# Introdução e Histórico

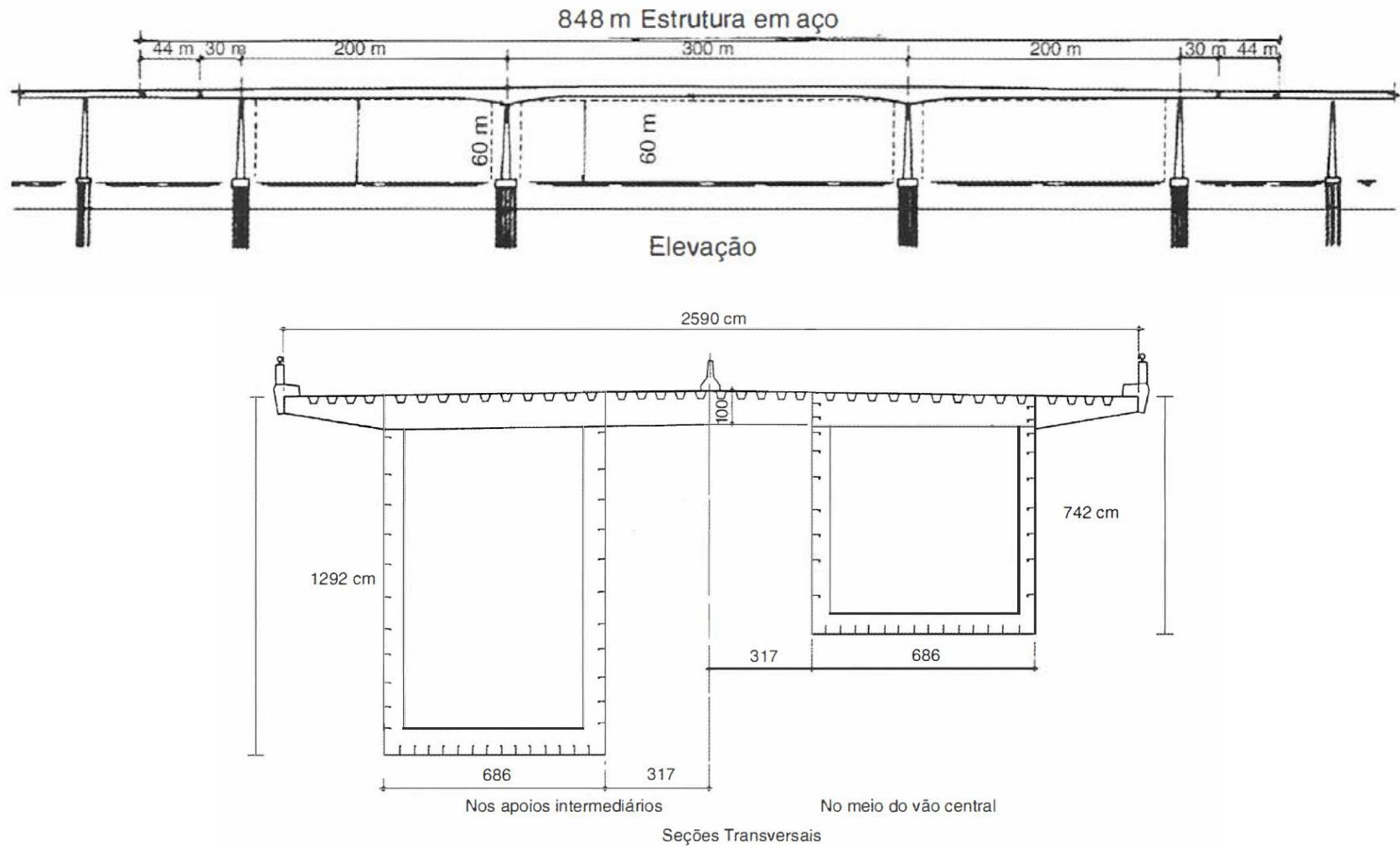
1957 – Edificio Garagem América, SP



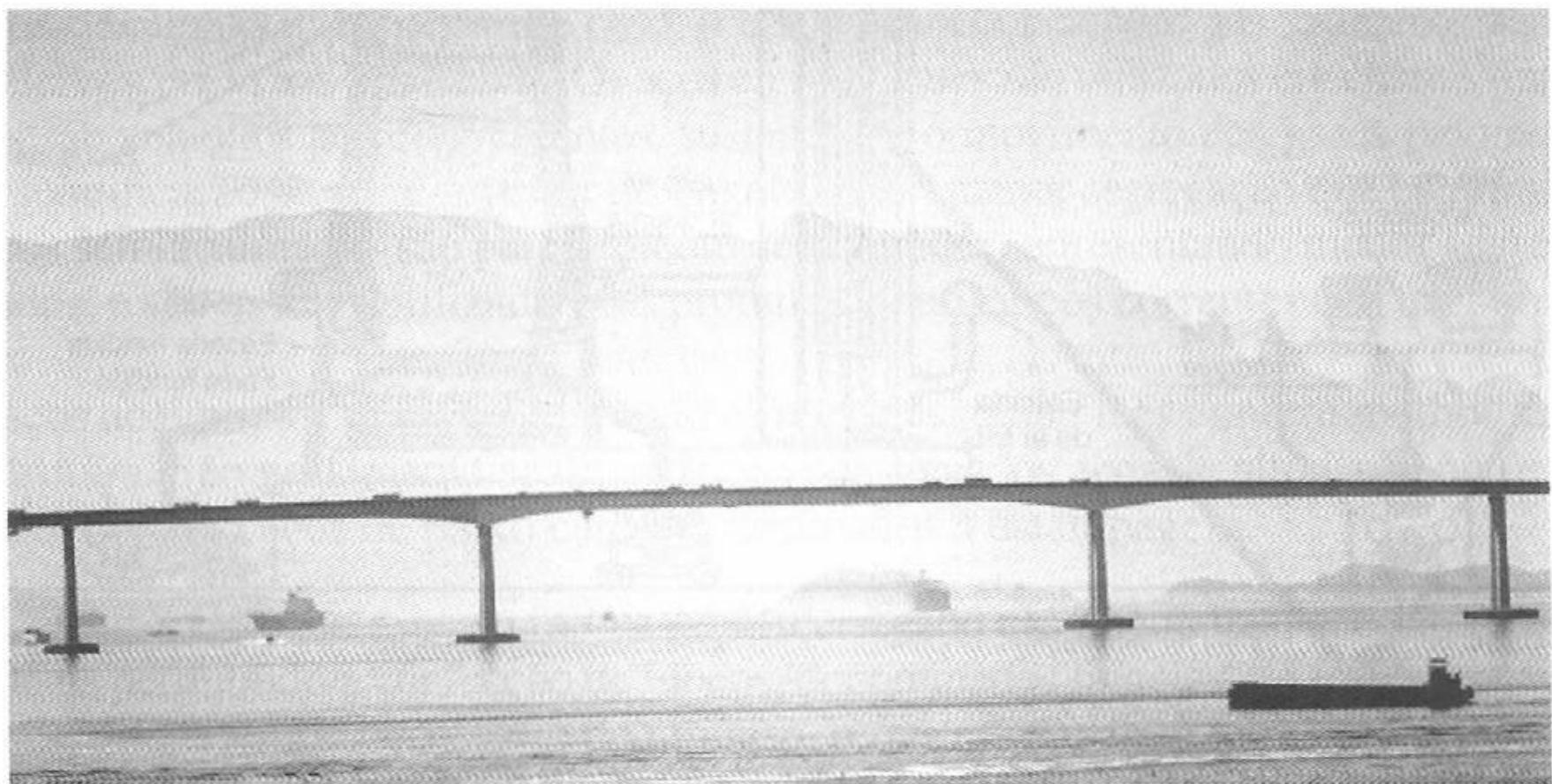
1959 – Edificio Palácio do Comércio, SP



## Ponte Rio-Niterói:



## Ponte Rio-Niterói:



# Principais aplicações

- Telhados
- Edifícios Industriais, Residenciais e Comerciais
- Residências
- Hangares
- Pontes e Viadutos
- Pontes Rolantes e Equipamentos de Transporte (Esteiras)
- Reservatórios
- Torres
- Guindastes
- Postes
- Passarelas
- Indústria Naval
- Escadas
- Mezaninos
- Silos
- Heliportos

# Influência da composição química

- Carbono - principal elemento para aumento da resistência
- Cobre – aumenta de forma muito eficaz a resistência à corrosão atmosférica e a resistência à fadiga
- Cromo – aumenta a resistência mecânica à abrasão e à corrosão atmosférica reduzindo, porém, a soldabilidade
- Enxofre – entra no processo de obtenção, mas pode causar retração à quente ou mesmo ruptura frágil, assim como, teores elevados podem causar porosidade e fissuração na soldagem
- Silício – aumenta a resistência e a tenacidade e reduz a soldabilidade
- Titânio – aumenta o limite de resistência, a resistência à abrasão e a resistência à deformação lenta, sendo muito importante a fim de se evitar o envelhecimento
- Vanádio – aumenta o limite da resistência, a resistência à abrasão e a resistência à deformação lenta sem prejudicar a soldabilidade e a tenacidade

# Aplicações

## Termoelétrica da Cemig



# Aplicações

Torres



Silos



# Aplicações



Ginásios e Estadios



# Aplicações



Aeroporto - Natal



# Aplicações

## Mercado Central de Fortaleza



# Aplicações

Passarela – Belo Horizonte



Ponte - JK



# Aplicações

## Edifícios



# Aplicações

## Galpões



## Coberturas

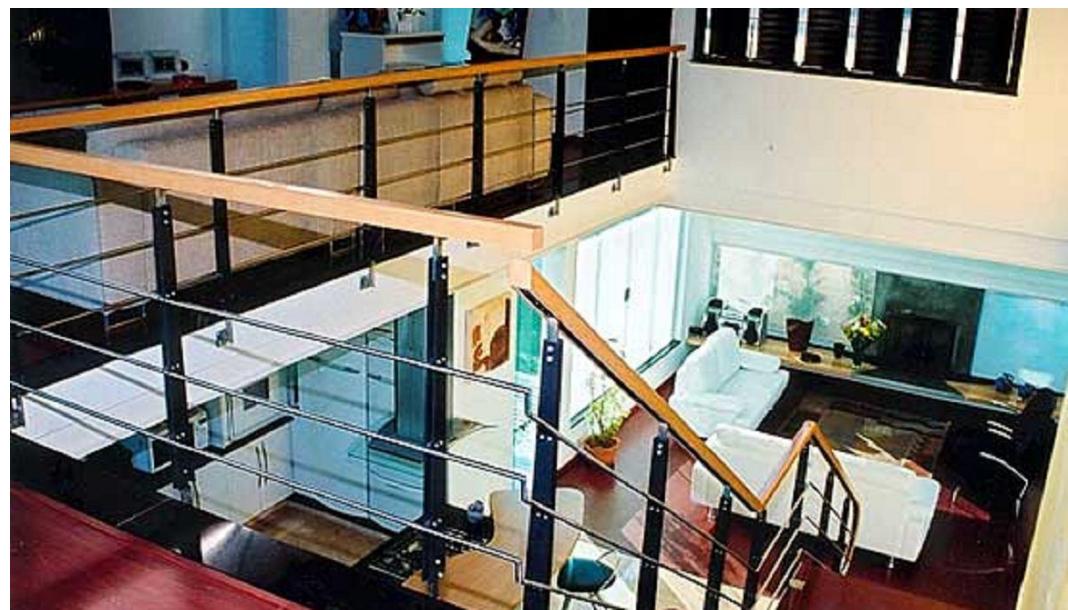


## Ponte rodoviária sobre o rio Paraná (SP/MS)





## Residências



# Vantagens do Aço

- a) **Alta resistência** do material nos diversos estados de solicitação – tração, compressão, flexão, etc., o que permite aos elementos estruturais suportarem grandes esforços apesar das dimensões relativamente pequenas dos perfis que os compõem.
- b) Apesar da alta massa específica do aço, na ordem de 7850 kg/m<sup>3</sup>, as estruturas metálicas são **mais leves** do que, por exemplo, as estruturas de concreto armado, proporcionando, assim, fundações menos onerosas.
- c) As propriedades dos materiais oferecem grande margem de segurança, em vista do seu processo de fabricação que proporciona **material único e homogêneo**, com limites de escoamento, ruptura e módulo de elasticidade bem definidos.
- d) As dimensões dos elementos estruturais oferecem grande margem de segurança, pois por terem sido fabricados em oficinas, são seriados e sua montagem é mecanizada, permitindo prazos mais curtos de execução de obras.

# Vantagens do Aço

- e) Apresenta **possibilidade de desmontagem** da estrutura e seu posterior reaproveitamento em outro local.
- f) Apresenta **possibilidade de substituição** de perfis componentes da estrutura com facilidade, o que permite a realização de eventuais reforços de ordem estrutural, caso se necessite estruturas com maior capacidade de suporte de cargas.
- g) Apresenta possibilidade de maior reaproveitamento de material em estoque, ou mesmo, sobras de obra, permitindo emendas devidamente dimensionadas, que diminuem as perdas de materiais, em geral corrente em obras.

# Desvantagens do Aço

- a) Limitação de fabricação em função do transporte até o local da montagem final, assim como custo desse mesmo transporte, em geral bastante oneroso.
- b) Necessidade de tratamento superficial das peças estruturais contra oxidação devido ao contato com o ar, sendo que esse ponto tem sido minorado através da utilização de perfis de alta resistência à corrosão atmosférica, cuja capacidade está na ordem de quatro vezes superior aos perfis de aço carbono convencionais.
- c) Necessidade de mão-de-obra e equipamentos especializados para a fabricação e montagem.
- d) Limitação, em algumas ocasiões, na disponibilidade de perfis estruturais, sendo sempre aconselhável antes do início de projetos estruturais, verificar junto ao mercado fornecedor, os perfis que possam estar em falta nesse mercado.
- e) Sensibilidade estrutural em caso de incêndio

## *Constantes físicas – NBR 8800 (2008)*

Massa específica.....  $\rho=7850 \text{ kg/m}^3$

Módulo de elasticidade.....  $E=200000 \text{ MPa}$

Módulo de elasticidade transversal...  $G=77000 \text{ MPa}$

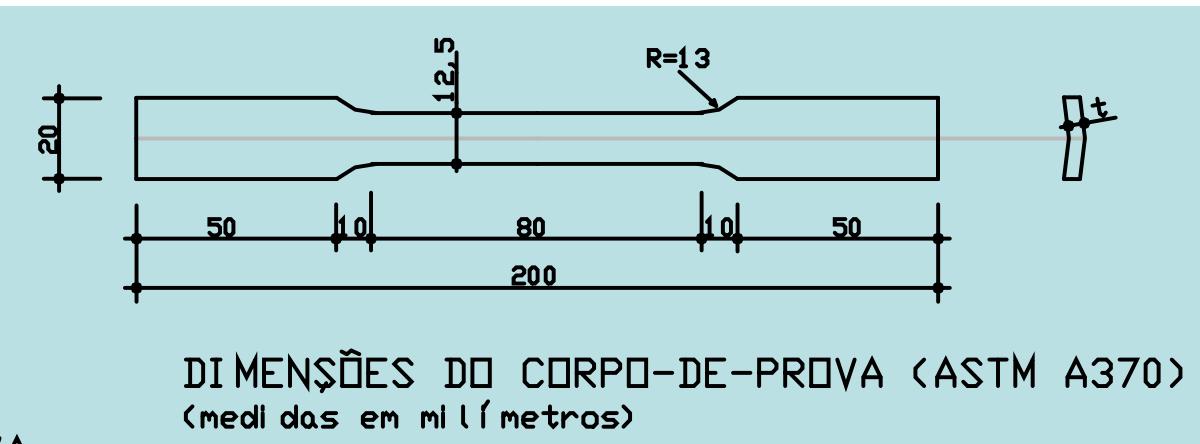
Coeficiente de Poisson.....  $\nu=0,3$

Coeficiente de dilatação térmica.....  $\beta=12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$

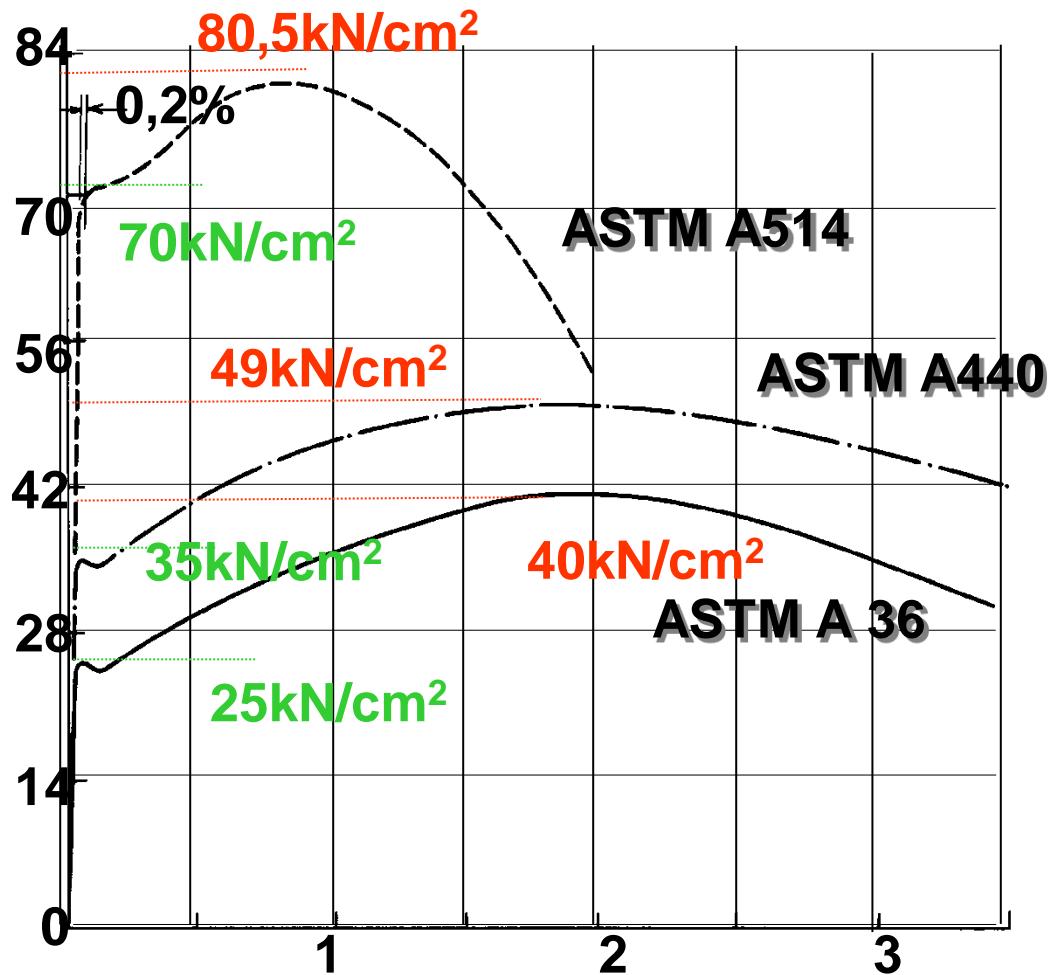
# Propriedades



*Diagrama tensão x deformação*



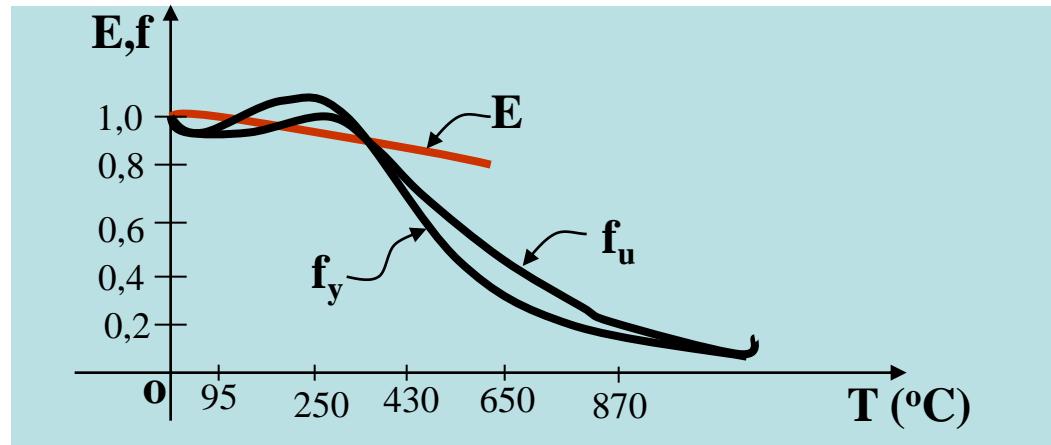
# Diagrama tensão x deformação



# Propriedades

## *Comportamento sob altas temperaturas*

As propriedades mecânicas sofrem modificações sob altas temperaturas



Estruturas submetidas a altas temperaturas  
situação de incêndios

Ações especiais

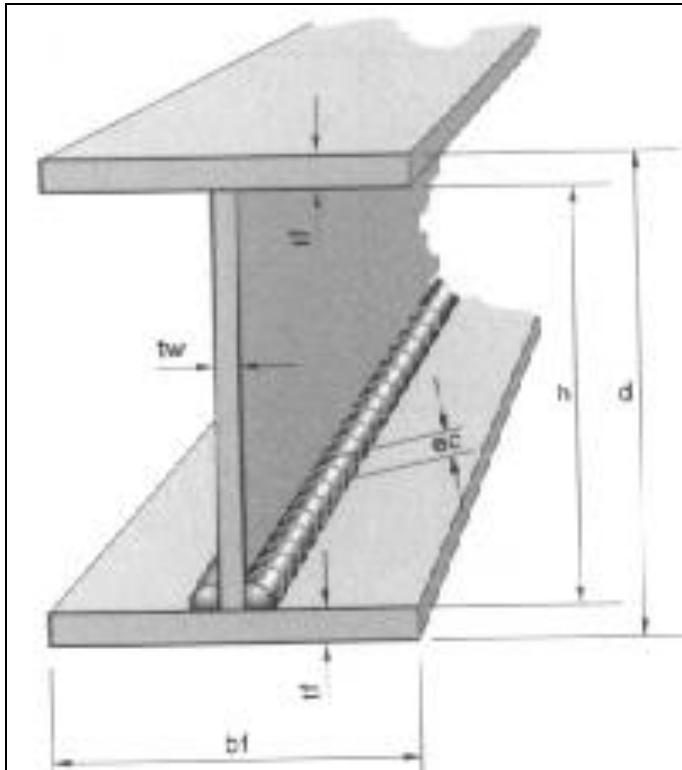
Proteção contra fogo

Deve resistir o tempo suficiente para evacuação do edifício

# Produtos para Estruturas

- ***Perfis soldados***

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

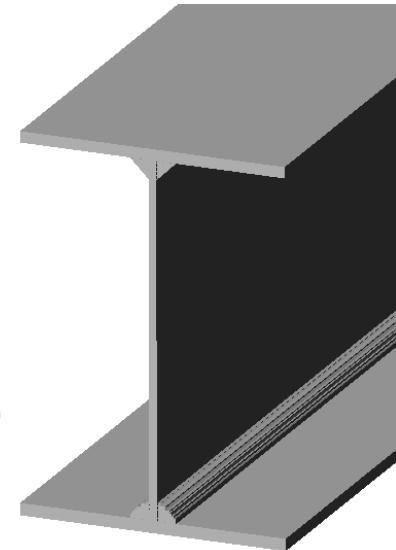


## Séries Existentes

**VS** → altura/largura  $\leq 4$

**CS** → altura/largura = 1

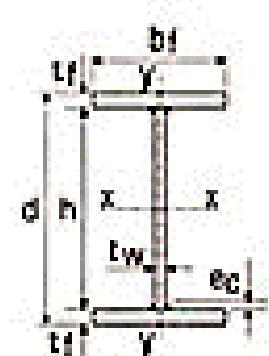
**CVS** →  $1 < \text{altura/largura} \leq 1,5$



# Produtos para Estruturas

## Especificação de perfis soldados - serie VS

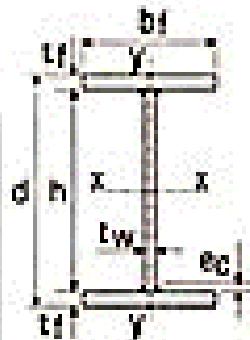
PERFIL	DIMENSÕES (mm)					A	EIXO X-X				EIXO Y-Y				rT	IT	ec	U	P
	d	bf	tf	tw	h		I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	mm	m <sup>2</sup> / m	Kg/ m
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 CVS

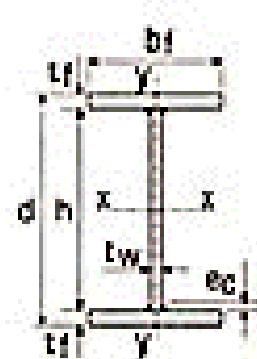
PERFIL	DIMENSÕES (mm)					A	EIXO X-X				EIXO Y-Y				rT	IT	ec	U	P
	d	bf	tf	tw	h		I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	mm	m <sup>2</sup> / m	Kg/ m
* 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

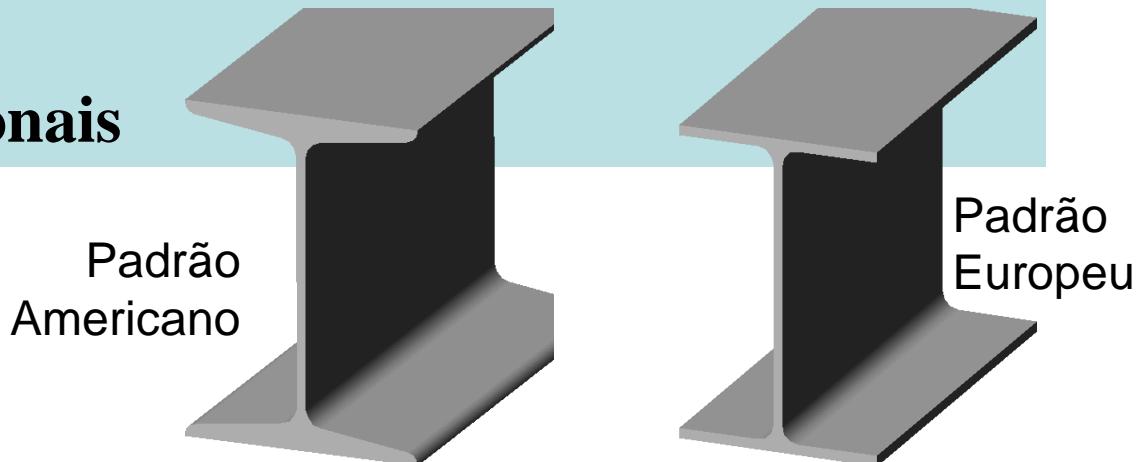
## Especificação de perfis soldados - série CS

PERFIL	DIMENSÕES (mm)					A	EIXO X-X				EIXO Y-Y				rT	IT	ec	U	P
	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>	cm	cm <sup>4</sup>	mm	m <sup>2</sup> / m	Kg/ m
* 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



- ***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.

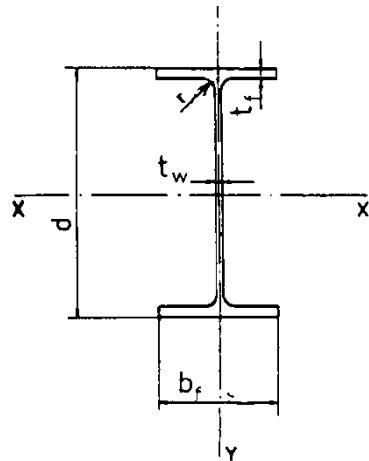
- Padrão americano com fator peso/inércia maior que os perfis com abas paralelas
- Ligações difíceis que exigem calços e arruelas especiais
- Limites dimensionais



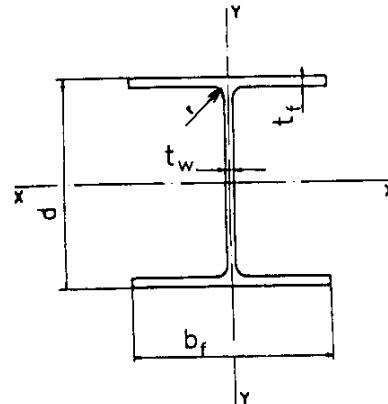
# Produtos para Estruturas

## Perfis laminados de abas paralelas:

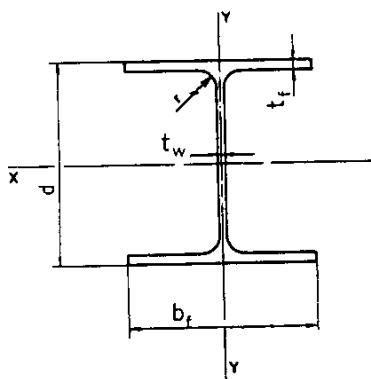
permitem melhores soluções de ligações, encaixes e acabamentos estruturais.



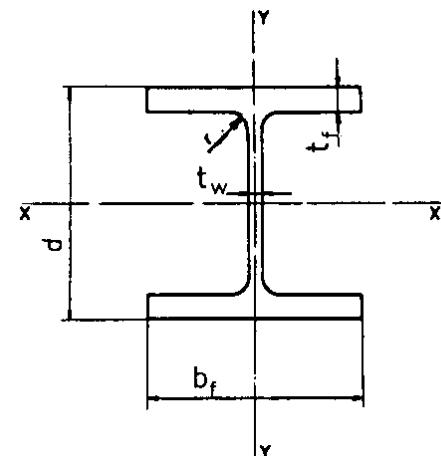
IP



HPM



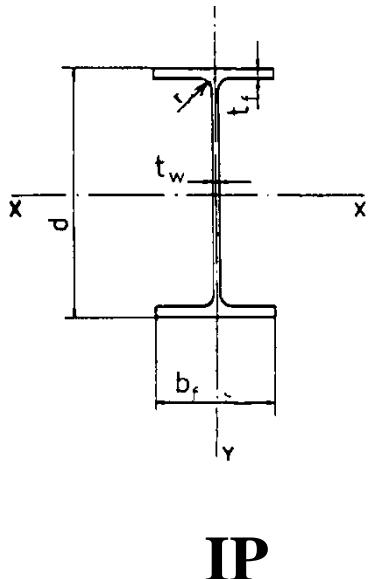
HPL



HPP

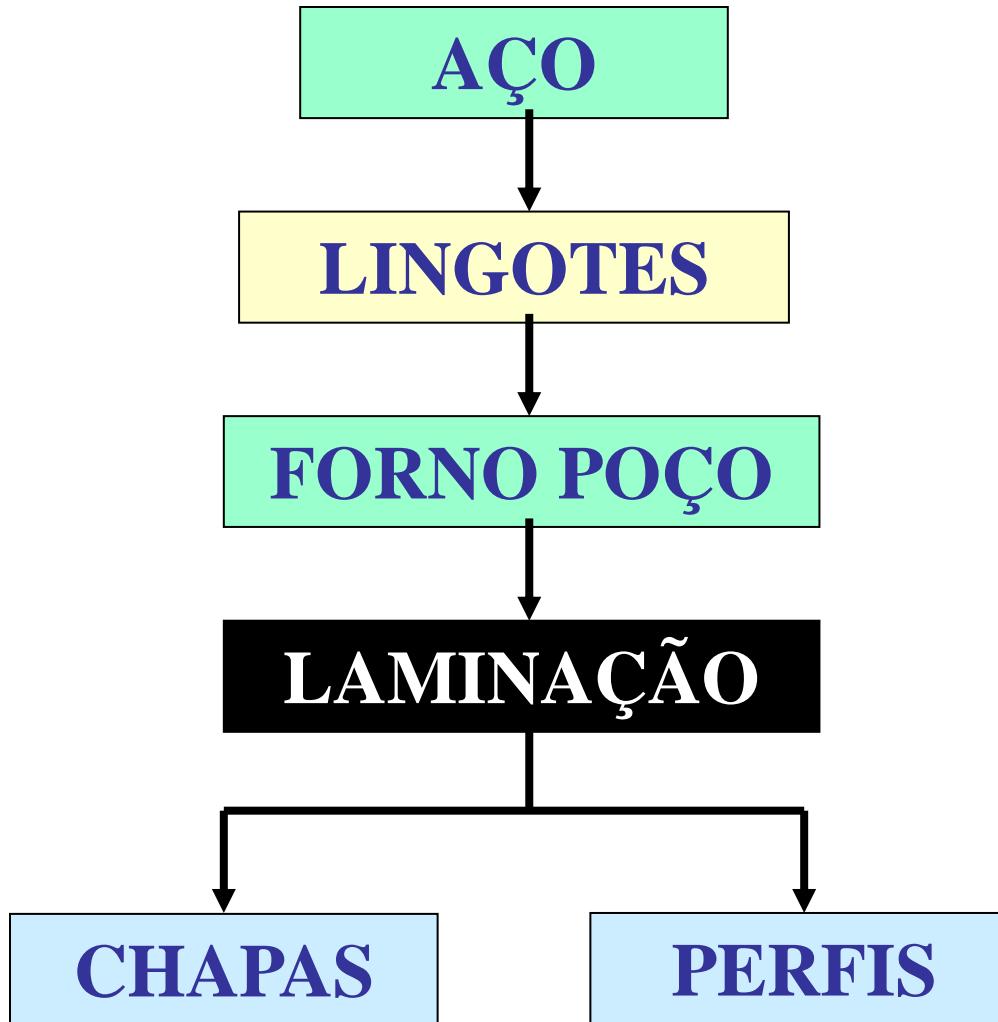
# Produtos para Estruturas

## Perfis laminados de abas paralelas



DESIG.	DIMENSÕES EM mm					A cm <sup>2</sup>	P Kg/m	PROPRIEDADES ELÁSTICAS				
								EIXO X - X			EIXO Y - Y	
	IP	d	b <sub>f</sub>	t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub>	r		I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>
80	80	46	3,8	5,2	5	7,64	6,0	80	20,0	3,24	8,49	3,69
100	100	55	4,1	5,7	7	10,3	8,1	171	34,2	4,07	15,9	5,79
120	120	64	4,4	6,3	7	13,2	10,4	318	53,0	4,90	27,7	8,65
140	140	73	4,7	6,9	7	16,4	12,9	541	77,3	5,74	44,9	12,3
160	160	82	5,0	7,4	9	20,1	15,8	869	109	6,58	68,3	16,7
180	180	91	5,3	8,0	9	23,9	18,8	1320	146	7,42	101	22,2
200	200	100	5,6	8,5	12	28,5	22,4	1940	194	8,26	142	28,5
220	220	110	5,9	9,2	12	33,4	26,2	2770	252	9,11	205	37,3
240	240	120	6,2	9,8	15	39,1	30,7	3890	324	9,97	284	47,3
270	270	135	6,6	10,2	15	45,9	36,1	5790	429	11,2	420	62,2
300	300	150	7,1	10,7	15	53,8	42,2	8360	557	12,5	604	80,5
330	330	160	7,5	11,5	18	62,6	49,1	11770	713	13,7	788	98,5
360	360	170	8,0	12,7	18	72,7	57,1	16270	904	15,0	1040	123
400	400	180	8,6	13,5	21	84,5	66,3	23130	1160	16,5	1320	146
450	450	190	9,4	14,6	21	98,8	77,6	33740	1500	18,5	1680	176

## Processo de fabricação dos perfis laminados

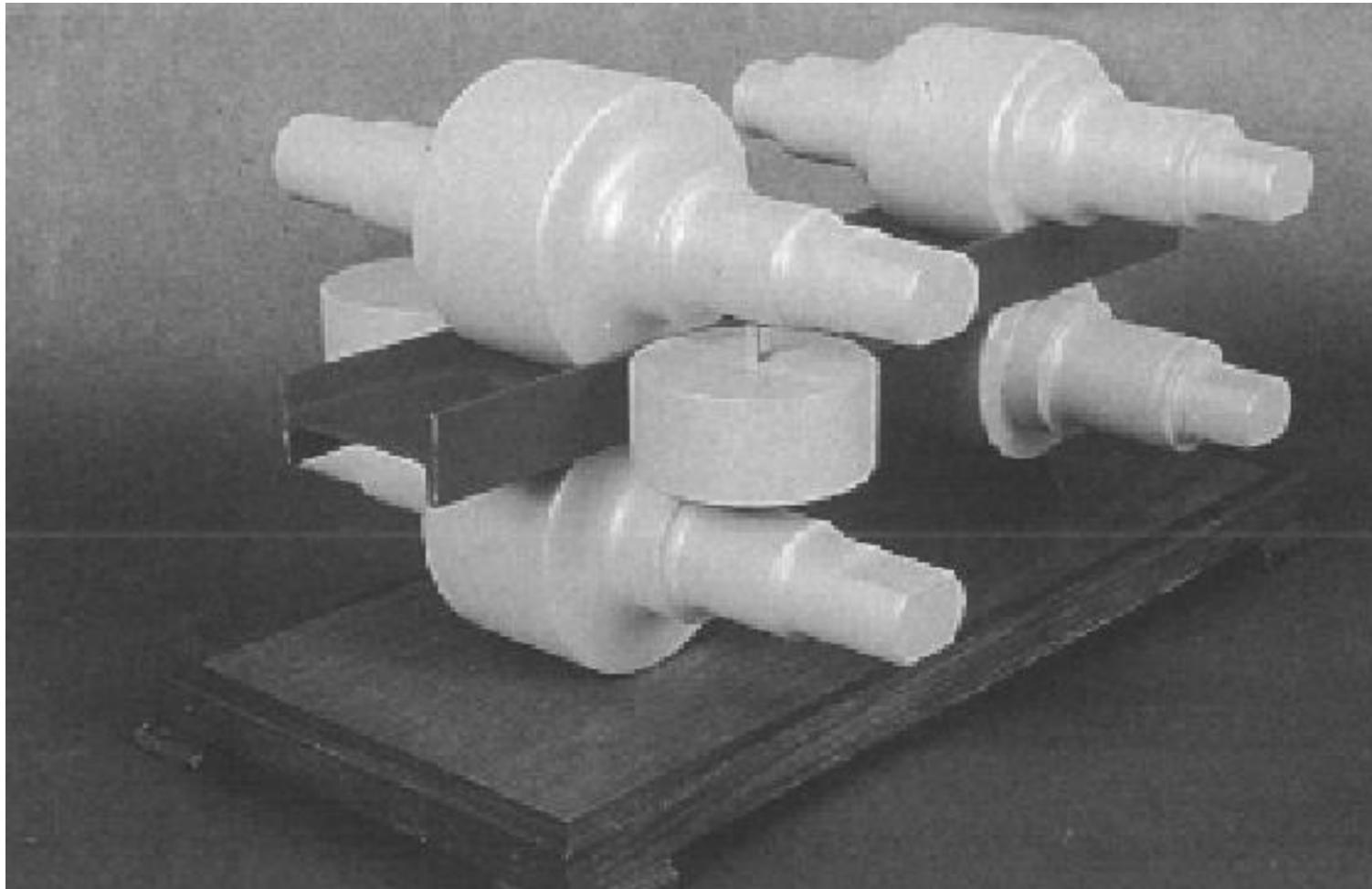


## *Processo de fabricação dos perfis laminados*

- Fase onde os lingotes (barras) de aço são transformados” em chapas e perfis.
- Os laminadores são uma espécie de “rolos” que vão gradativamente conformando os perfis e chapas de aço.

# *Produtos para Estruturas*

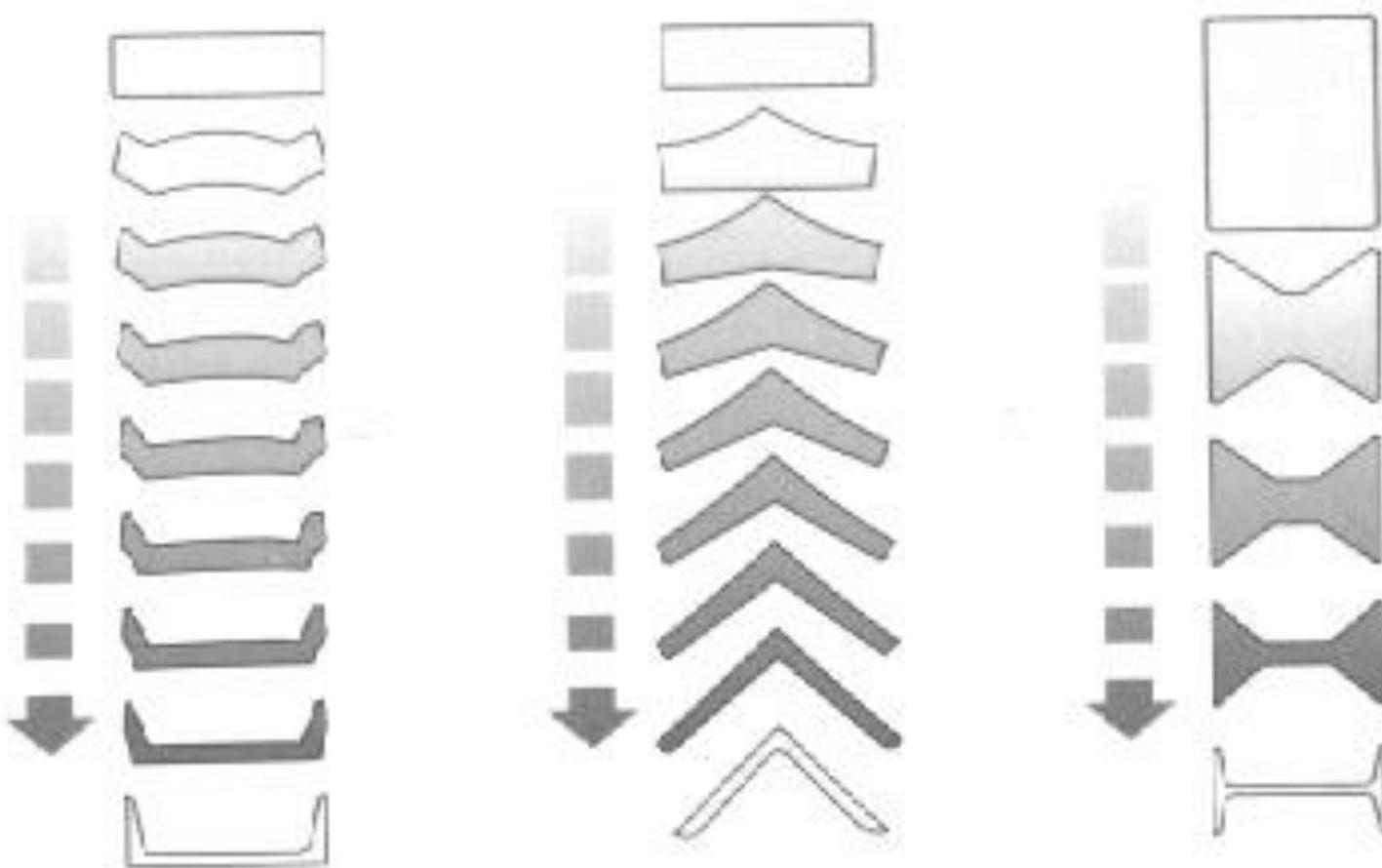
*Processo de fabricação dos perfis laminados*  
*Esquema de um Laminador Universal*



# Produtos para Estruturas

*Processo de fabricação dos perfis laminados*

## *Fases de Laminação*



# O Material Aço

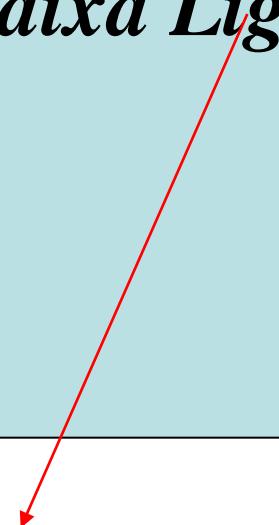
## *Classificação geral dos aços*

*Aços Carbono (Média Resistência)*

*Aços de Alta Resistência e Baixa Liga*

*Aços Tratados Termicamente*

*Aços Resistentes ao Fogo*



**TENDÊNCIA NOS  
PROJETOS ATUAIS**

# O Material Aço

## Aços carbono

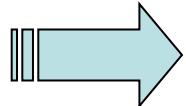
Nos aços carbono tem a resistência garantida pela adição de carbono elementos de liga em baixos teores residuais admissíveis.

	<i>Classe do Aço</i>	<i>F<sub>u</sub> (MPa)</i>	<i>Principais Aplicações</i>
<b>Até 0,3%</b>	<b>Baixo Carbono</b>	< 440	Pontes, Edifícios, tubos e estruturas mecânicas.
<b>0,3% a 0,6%</b>	<b>Médio Carbono</b>	440 a 590	Estruturas de navios e vagões. Estruturas mecânicas e equip. agrícolas.
<b>&gt; 0,6%</b>	<b>Alto Carbono</b>	590 a 780	Peças mecânicas, trilhos e rodas ferroviárias. Equipamentos agrícolas.

## Aços baixa liga

- São aços carbono acrescidos de elementos de liga, que aumentam a resistência à tração e melhoram as propriedades mecânicas do aço.
- Apresentam tensão de escoamento entre 280 e 490 MPa.

Adição de Cr, Cu,  
P, Si,Mn,Ni



Alta resistência mecânica  
Alta resistência a corrosão  
Alta resistência ao fogo

# O Material Aço

## Aços baixa liga e alta resistência ao fogo

### Modificação na composição química dos aços de alta resistência mecânica

#### Composição química dos aços de alta resistência ao fogo

USI-FIRE 490 (% peso)									
C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti
0,15	1,6	0,6	0,03	0,02	0,05	0,6	0,4	0,2	0,15
						0,65		0,6	

#### Propriedades mecânicas do aços de alta resistência ao fogo

Propriedades mecânicas do USI-FIRE 490					
Espessura (mm)	Temperatura ambiente				600 °C
	f <sub>y</sub> (MPa)	f <sub>u</sub> (MPa)	f <sub>y</sub> / f <sub>u</sub>	Al (%)	f <sub>y</sub> (MPa)
9,5	401	600	22	0,66	310
22,4	364	585	21	0,62	288