

**ECV 113 – ESTRUTURAS DE CONCRETO, METÁLICAS E  
DE MADEIRA**

***AULA 01: ASPECTOS GERAIS DAS  
ESTRUTURAS DE AÇO***

*Prof. Ana Paula Moura*  
*ana.paula.moura@live.com*

# 1. OS METAIS FERROSOS

***“Metais ferrosos são ligas de ferro e carbono em que a porcentagem de ferro supera 90% e a porcentagem máxima de carbono é 5%.”***

MATERIAL	TEOR DE CARBONO (%)	RESISTÊNCIA A TRAÇÃO (MPa)	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)
AÇO	MÁX 1,7	200 A 1200	IGUAL
FERRO FUNDIDO	1,8 A 4,5	40	2 A 4 VEZES
FERRO LAMINADO	MÁX 0,12	320 A 350	2 A 4 VEZES

# 1. OS METAIS FERROSOS

***QUAIS AS CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS  
DOS AÇOS ESTRUTURAIS?***

## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

### SÉCULO XII:

- Tirantes e pendurais de ferro fundido

### SÉCULO XVI:

- Estruturas de telhado em ferro fundido;
- Análise de estruturas em crescimento.

### SÉCULO XVIII:

- Cúpulas de igrejas e pontes em ferro fundido.

## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

1779: Ponte em ferro fundido de Coalbrookdale sobre o rio Severn, na Inglaterra com vão de 30m.



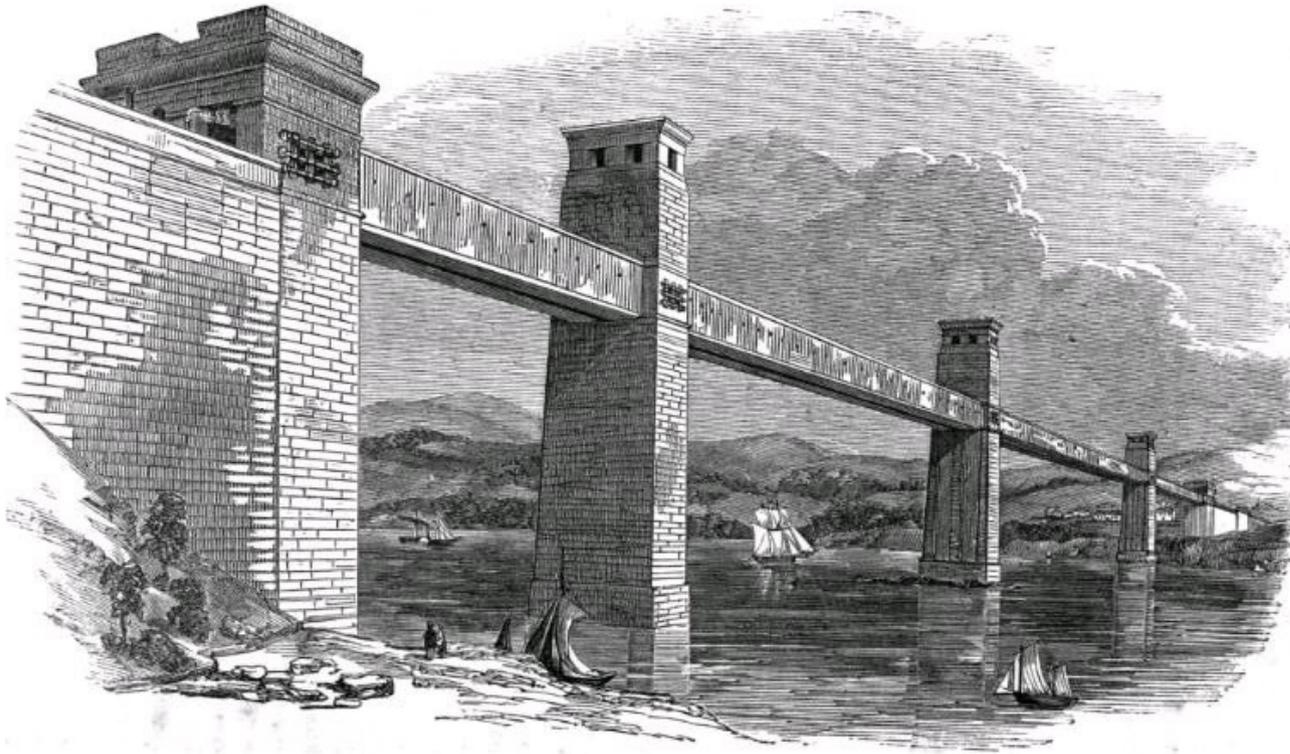
## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

### SÉCULO XIX (1800 a 1850):

- Evolução do cálculo estrutural;
- Desenvolvimento de sistemas estruturais;
- Laminação de perfis;
- Construção de edifícios;
- Expansão das ferrovias.

## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

1850: Ponte Britânia, em ferro fundido, no estreito de Menai, com vãos de 70 m, 140 m, conduzindo em seu interior uma linha ferroviária.



## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

1850: Ponte Brittonia, em ferro fundido, no estreito de Menai, com vãos de 70 m, 140 m, conduzindo em seu interior uma linha ferroviária.



## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

### SÉCULO XIX (1850 a 1900):

- Acidentes relacionados as estruturas;
- Desenvolvimento do processo industrial da fabricação do aço – Henry Bessemer;
- Marco inicial do aço como material estrutural.

## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

1867-1875: Ponte Eads em aço sobre o rio Mississípi em Saint Louis, Estados Unidos, com vão central de 158 m.



## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

1885: Home Insurance Building, em Chicago, edifício de 10 pavimentos, o primeiro do mundo com estrutura em aço.



## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

### SÉCULO XX:

- Desenvolvimento do estudo do comportamento das estruturas;
- Invenção da solda elétrica;
- Parafusos resistentes a corrosão.

## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

1919: Ponte Quebec sobre o rio St Lawrence no Canadá, com vão central de 549 m, o maior em treliça do mundo.



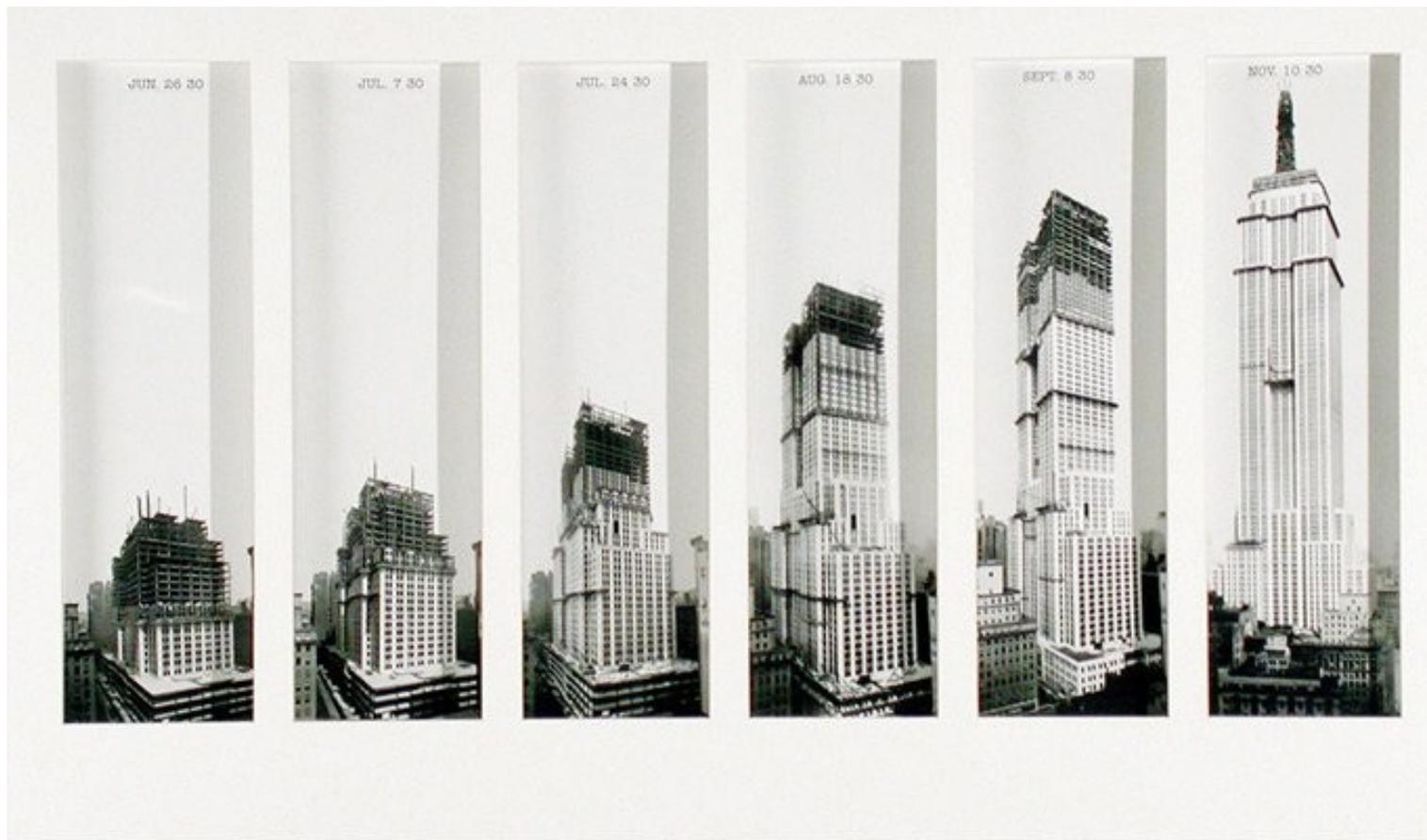
## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

1974: Ponte Rio Niterói, vão central de 300m, maior do mundo em viga reta de alma cheia;



## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

1931: Empire States, Nova York, EUA, Altura 381m, construído a uma taxa de 4,5 pavimentos por semana.



## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

1931: Empire States, Nova York, EUA, Altura 381m, construído a uma taxa de 4,5 pavimentos por semana.



## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

1931: Empire States, Nova York, EUA, Altura 381m, construído a uma taxa de 4,5 pavimentos por semana.



## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

### A REALIDADE BRASILEIRA:

- Galpões industriais;
- Plataformas petrolíferas;
- Edificações comerciais horizontais – shoppings, revendedoras de veículos, quadras;
- Torres de transmissão de energia elétrica e de telecomunicações.

## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

### A REALIDADE BRASILEIRA:

- E os edifícios residenciais, comerciais e públicos?
- Produtor mundial de aço;
- Indústrias siderúrgicas reconhecidas internacionalmente que fabricam o próprio aço e também os perfis estruturais.

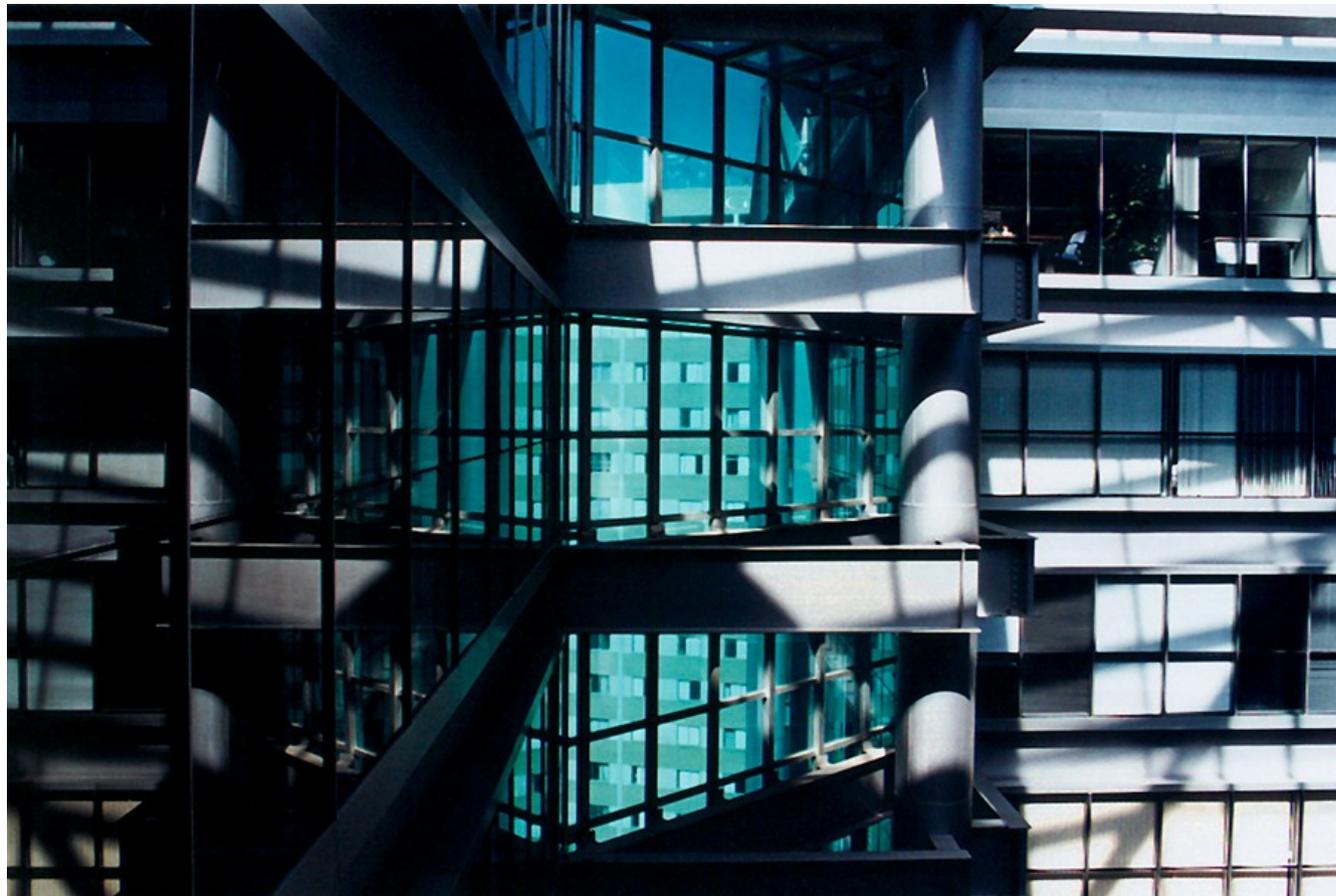
## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

1992: Centro empresarial do aço, em são paulo com 14 andares e 43 m de altura.



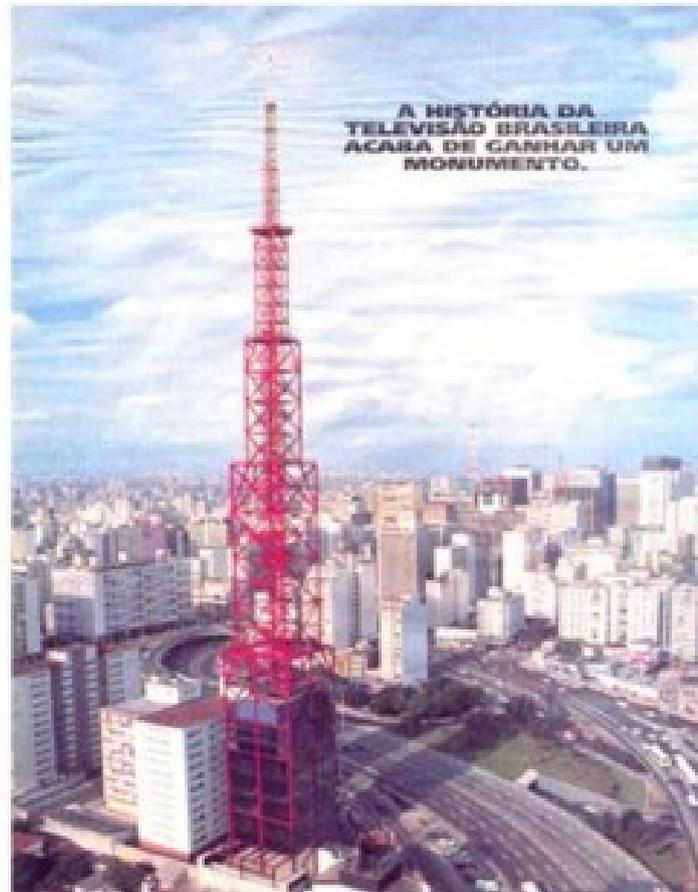
## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

1992: Centro empresarial do aço, em são paulo com 14 andares e 43 m de altura.



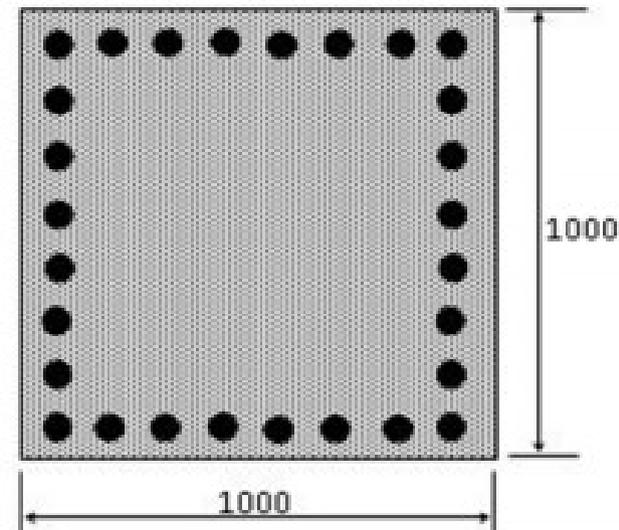
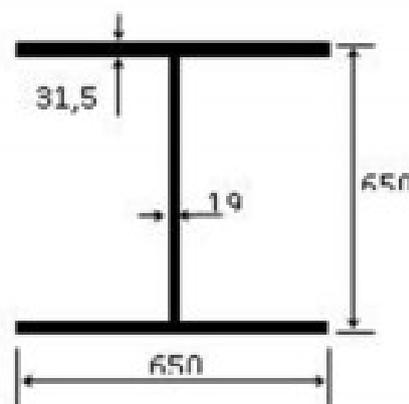
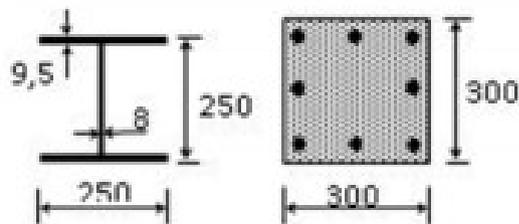
## 2. HISTÓRICO DO USO DO AÇO

1996: Antena da Rede Bandeirantes de Televisão, São Paulo, 212 m de altura.



# 3. VANTAGENS DO AÇO COMO MATERIAL ESTRUTURAL

## 3.1. ELEVADA RESISTÊNCIA



Força axial de 1500 kN

- $A_{aço} = 65,98 \text{ cm}^2$
- $A_{concreto} = 900,0 \text{ cm}^2$
- $P_{aço} = 150 \text{ kg}$
- $P_{concreto} = 680 \text{ kg}$

\* Pilar de 3 m de comprimento.

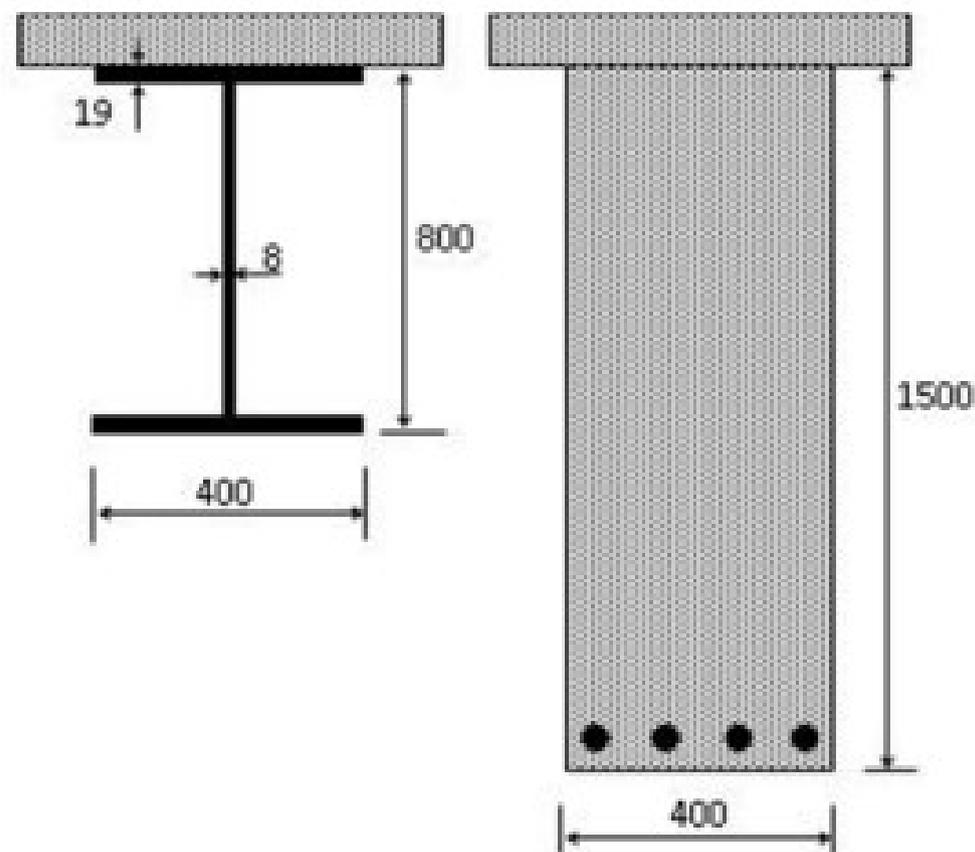
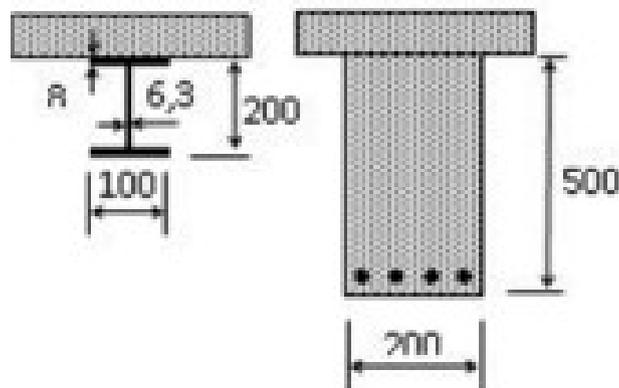
Força axial de 15000 kN

- $A_{aço} = 521,0 \text{ cm}^2$
- $A_{concreto} = 10000,0 \text{ cm}^2$
- $P_{aço} = 1200 \text{ kg}$
- $P_{concreto} = 7500 \text{ kg}$

# 3. VANTAGENS DO AÇO COMO MATERIAL ESTRUTURAL

## 3.1. ELEVADA RESISTÊNCIA

Viga biapoiada com 5m e 15m de vão com um carregamento de 20 kN/m e 70 kN/m, respectivamente.



# 3. VANTAGENS DO AÇO COMO MATERIAL ESTRUTURAL

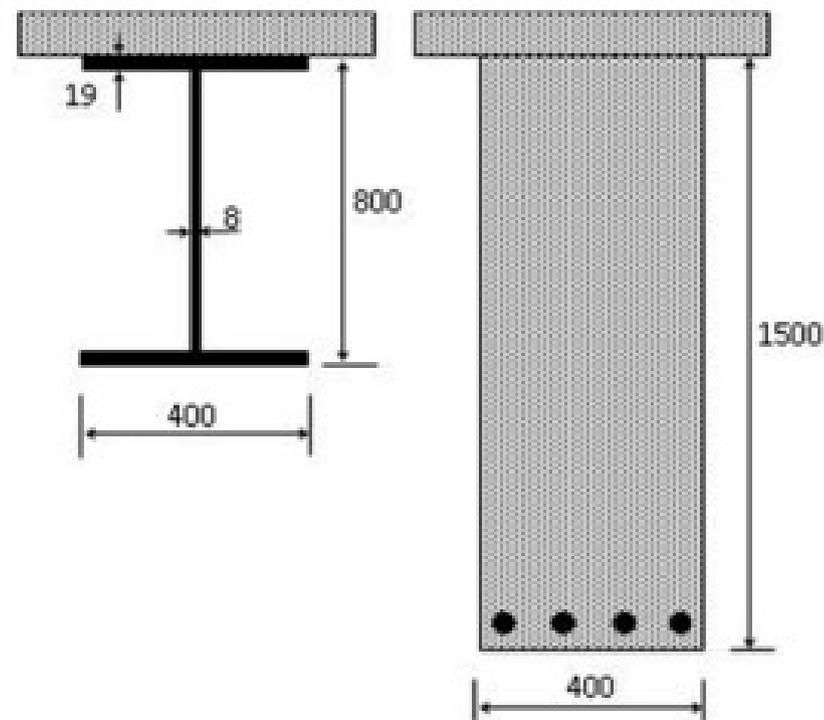
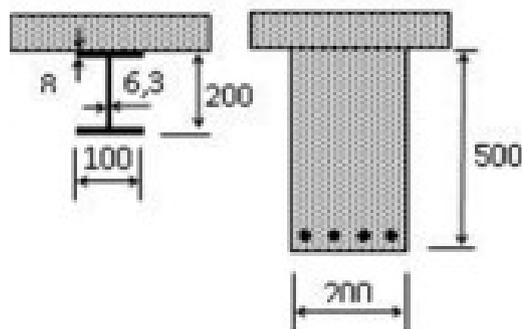
## 3.1. ELEVADA RESISTÊNCIA

Vão de 5 m

- $A_{\text{aço}} = 28,0 \text{ cm}^2$
- $A_{\text{concreto}} = 1000,0 \text{ cm}^2$
- $P_{\text{aço}} = 110 \text{ kg}$
- $P_{\text{concreto}} = 1300 \text{ kg}$

Vão de 15 m

- $A_{\text{aço}} = 213,0 \text{ cm}^2$
- $A_{\text{concreto}} = 6000,0 \text{ cm}^2$
- $P_{\text{aço}} = 2500 \text{ kg}$
- $P_{\text{concreto}} = 22500 \text{ kg}$



# 3. VANTAGENS DO AÇO COMO MATERIAL ESTRUTURAL

## 3.1. ELEVADA RESISTÊNCIA

**CONCLUSÃO?**

# 3. VANTAGENS DO AÇO COMO MATERIAL ESTRUTURAL

## 3.1. ELEVADA RESISTÊNCIA

- **Obra mais leve;**
- **Solos pouco favoráveis;**
- **Pé direito menor;**
- **Redução dos acabamentos;**
- **Limitação do pé direito pelo arquiteto;**
- **Vencer grandes vãos.**

# 3. VANTAGENS DO AÇO COMO MATERIAL ESTRUTURAL

## 3.2. ELEVADA DUCTIBILIDADE

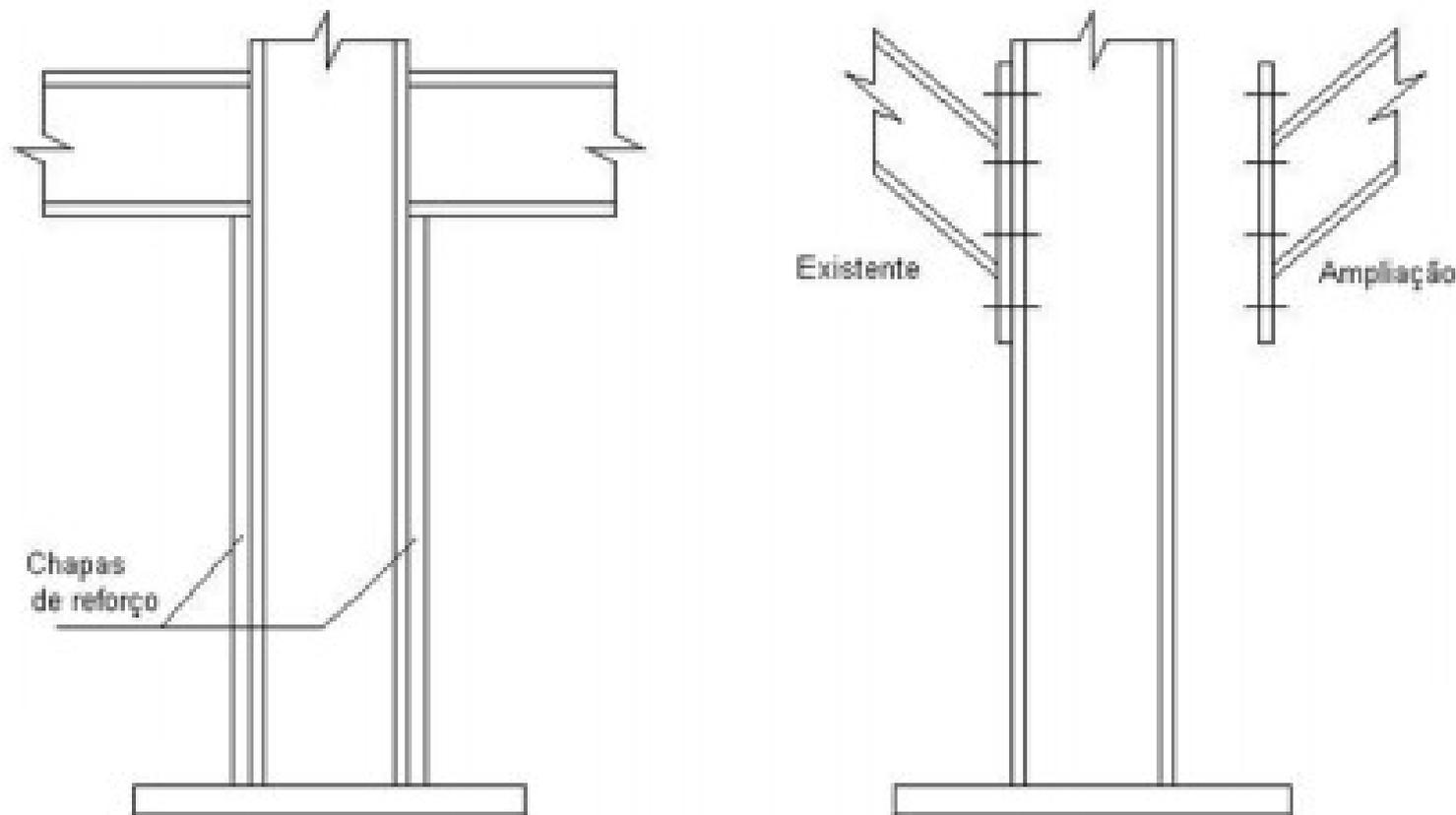
- Deformação antes do rompimento se situa entre 15% e 20%;
- Resistente a choques bruscos.

## 3.3. APROXIMAÇÃO ENTRE TEORIA E REALIDADE

- Material homogêneo e praticamente isotrópico;

# 3. VANTAGENS DO AÇO COMO MATERIAL ESTRUTURAL

## 3.4. FACILIDADE DE REFORÇO E AMPLIAÇÃO



# 3. VANTAGENS DO AÇO COMO MATERIAL ESTRUTURAL

## 3.5. POSSIBILIDADE DE REAPROVEITAMENTO

## 3.6. RAPIDEZ DE EXECUÇÃO - BENEFÍCIOS ECONÔMICOS

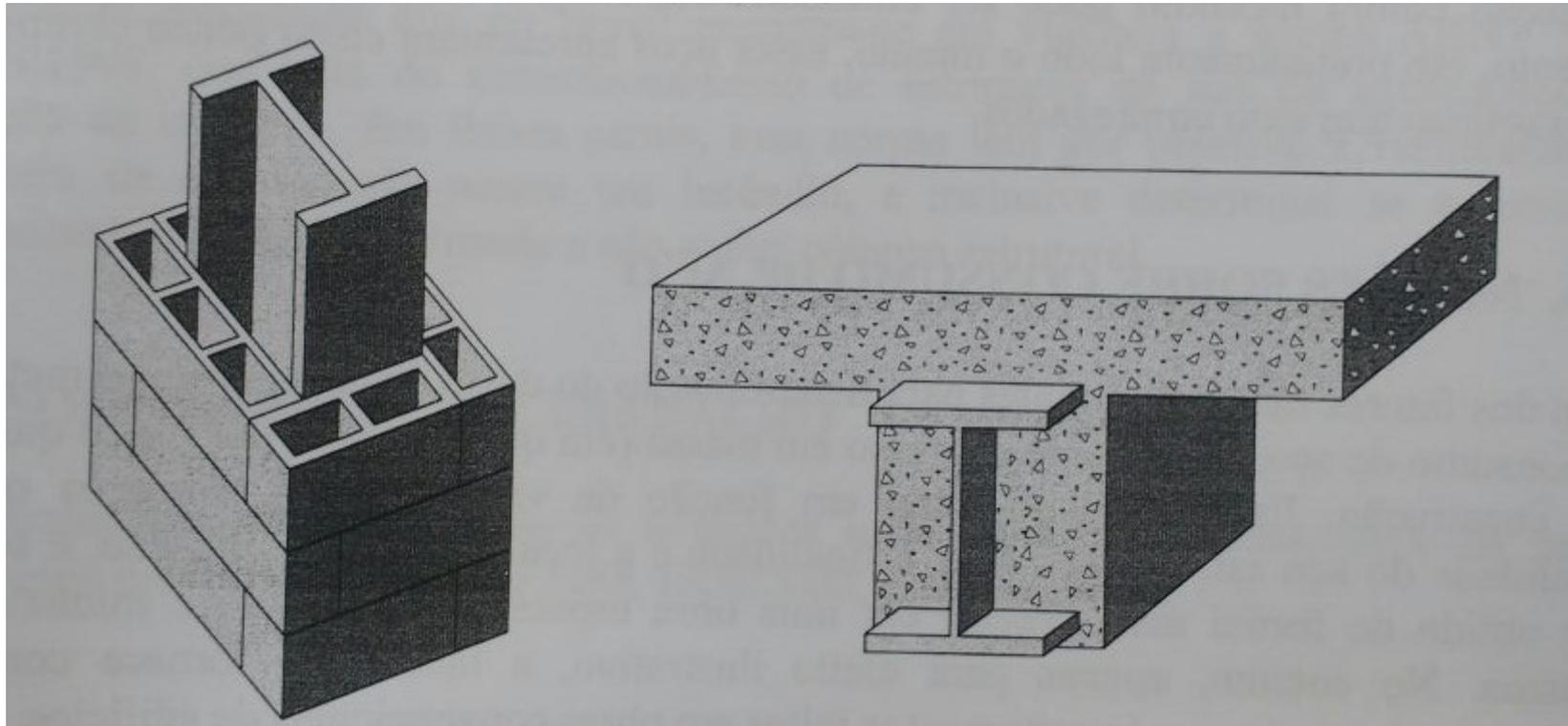
# 4. ASPECTOS NEGATIVOS DO AÇO COMO MATERIAL ESTRUTURAL

## 4.1. CORROSÃO



# 4. ASPECTOS NEGATIVOS DO AÇO COMO MATERIAL ESTRUTURAL

## 4.2. COMPORTAMENTO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO



# 4. ASPECTOS NEGATIVOS DO AÇO COMO MATERIAL ESTRUTURAL

## 4.3. MÃO DE OBRA ESPECIALIZADA



# 5. NOÇÕES SOBRE O CONSUMO DE AÇO

EDIFICAÇÃO	CONSUMO DE AÇO (kg/m <sup>2</sup> )
Edifícios residenciais ou comerciais de até 4 andares	20 a 30
Edifícios residenciais ou comerciais com 4 a 12 andares	30 a 40
Edifícios residenciais ou comerciais com 12 a 30 andares	35 a 50
Residências térreas e sobrados	20 a 40
Centros de compras	30 a 40
Galpões industriais sem ponte rolante	12 a 25
Galpões industriais com ponte rolante de até 250 kN	30 a 60
Coberturas em geral	10 a 20

# 6. NORMALIZAÇÃO

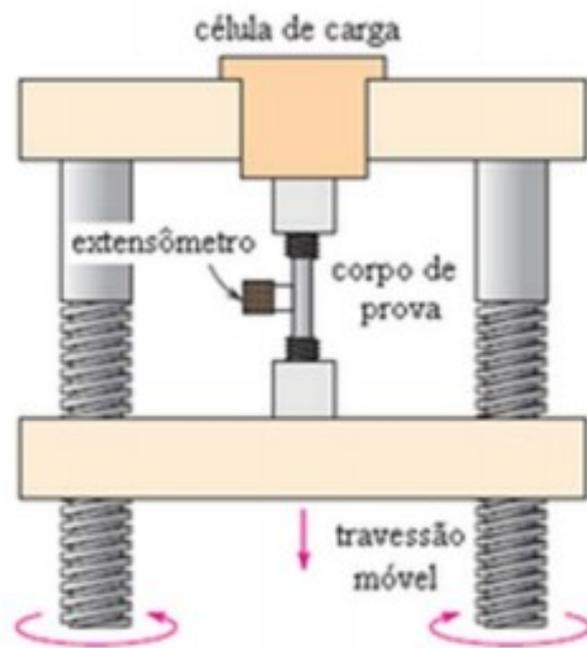
- ABNT NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios
- ABNT NBR 16239:2013 – Projeto De Estruturas De Aço e De Estruturas Mistas de Aço e Concreto De Edificações Com Perfis Tubulares
- ABNT NBR 14762:2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio
- ABNT NBR 14323:2013 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio
- ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações
- ABNT NBR 6120:1980 – Cargas para o cálculo de estruturas

# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS

ABNT NBR ISO 6892-1:2013 Versão Corrigida:2015

Materiais metálicos — Ensaio de Tração - Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente

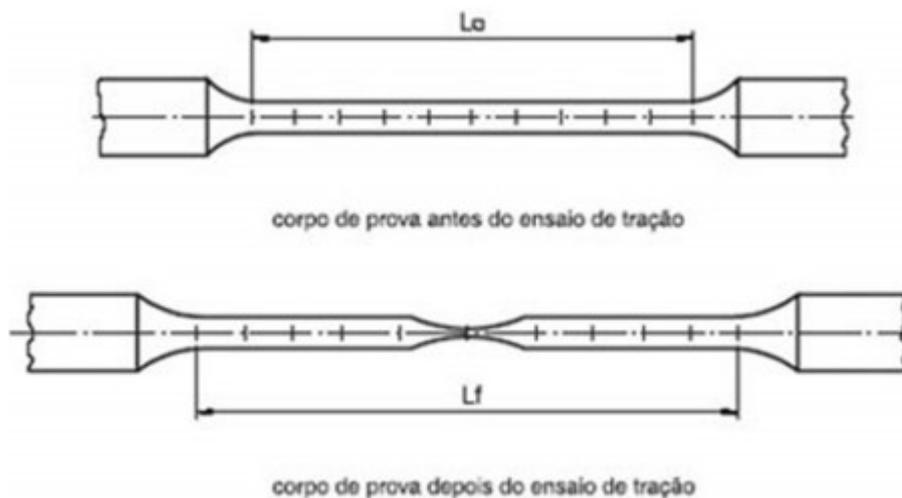


# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS

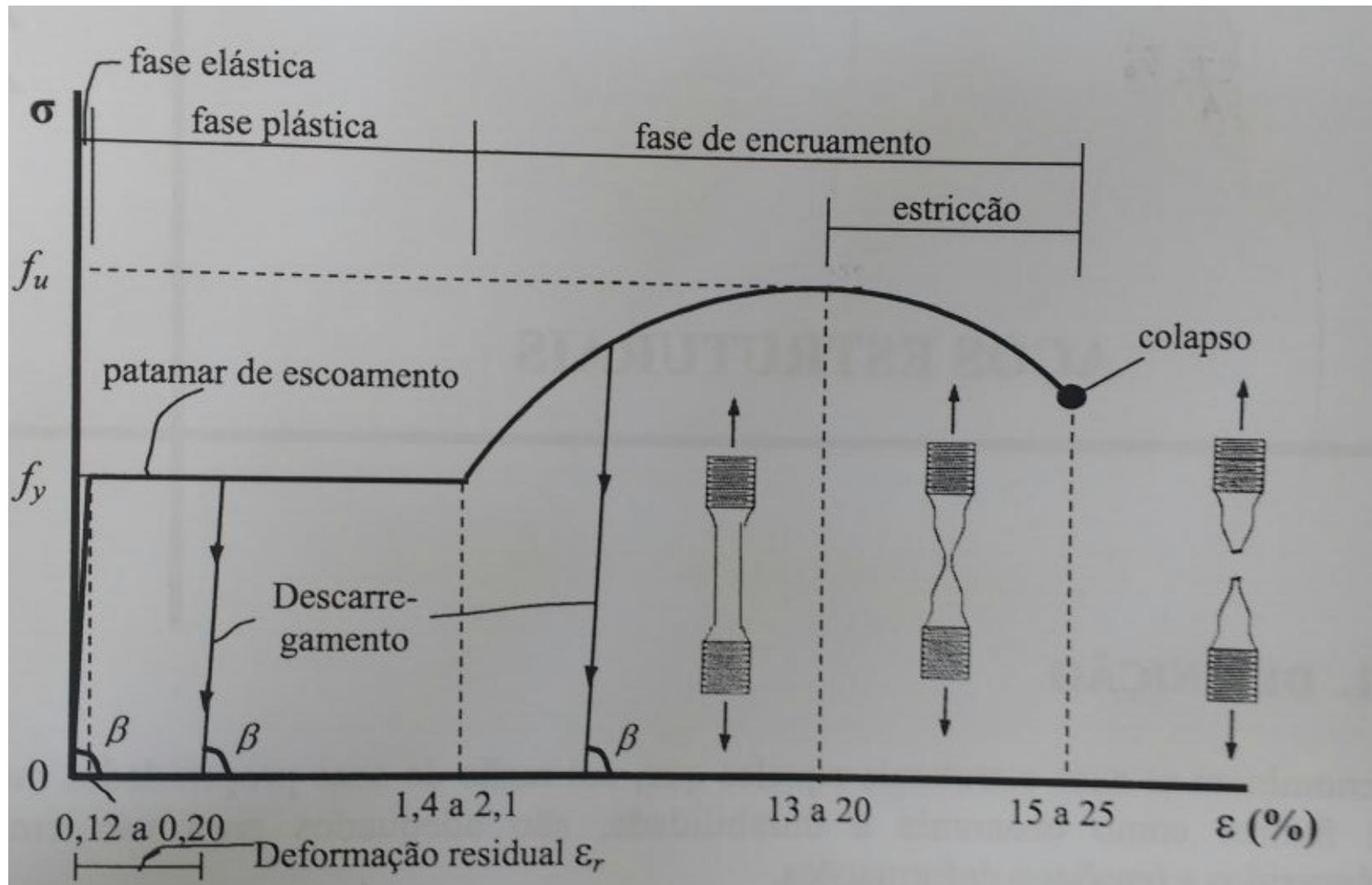
ABNT NBR ISO 6892-1:2013  
Versão Corrigida:2015

Materiais metálicos — Ensaio de Tração - Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente



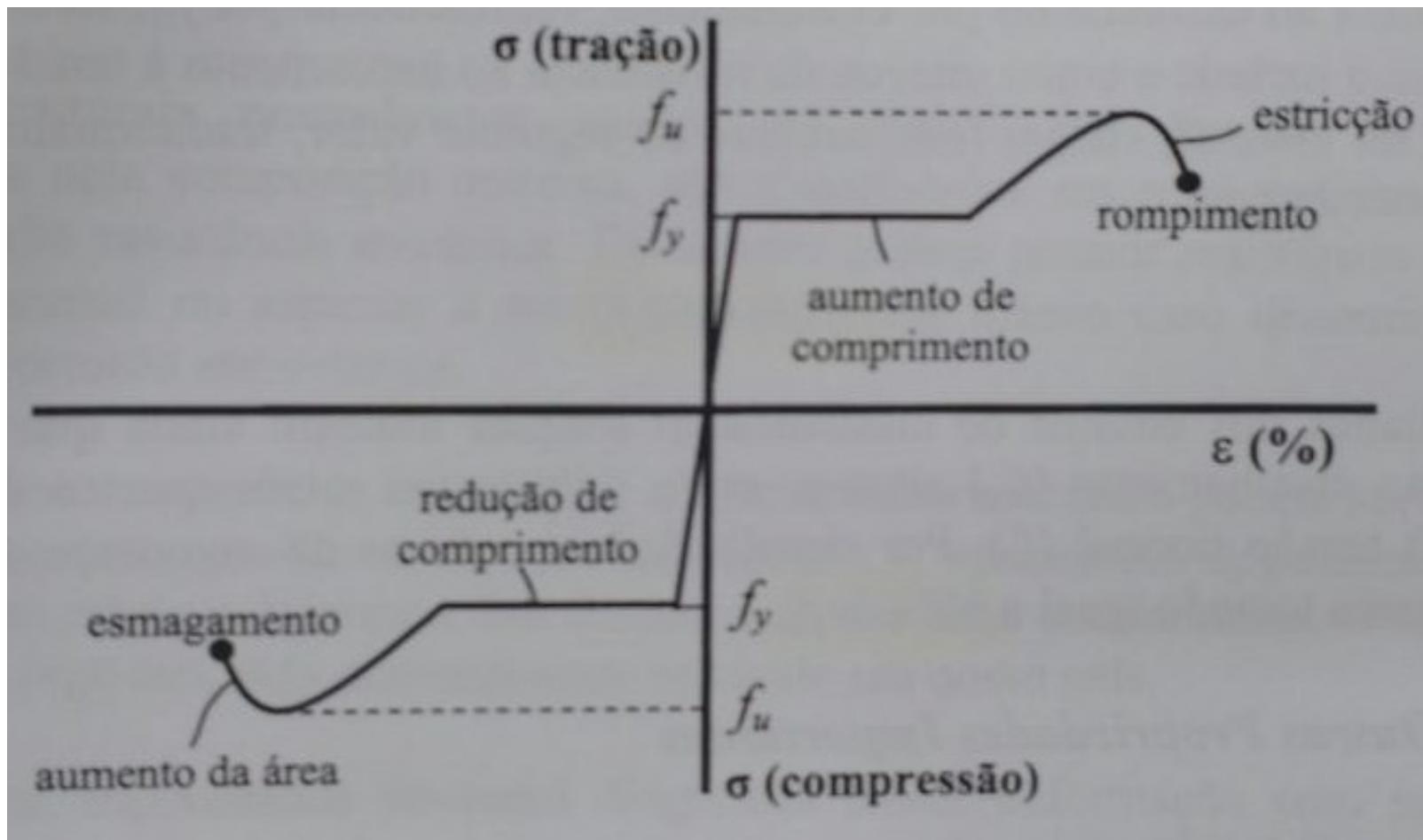
# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS



# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS



# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS

### Propriedades obtidas através do ensaio:

- Módulo de Elasticidade - Módulo de Young - Módulo de deformação longitudinal;

$$E = 200.000 \text{ MPa}$$

- Limite de escoamento ( $f_y$ );
- Limite de resistência a tração ( $f_u$ );
- Ductilidade.

# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS

### Outras propriedades:

- Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )

$$\nu = 0,3$$

- Módulo de Elasticidade Transversal (G)

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{200000}{2(1+0,3)} = 77000 \text{ MPa}$$

- Resistência à fadiga

# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS

### Constantes:

- Peso específico

$$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

- Coeficiente de dilatação térmica

$$\beta_a = 1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

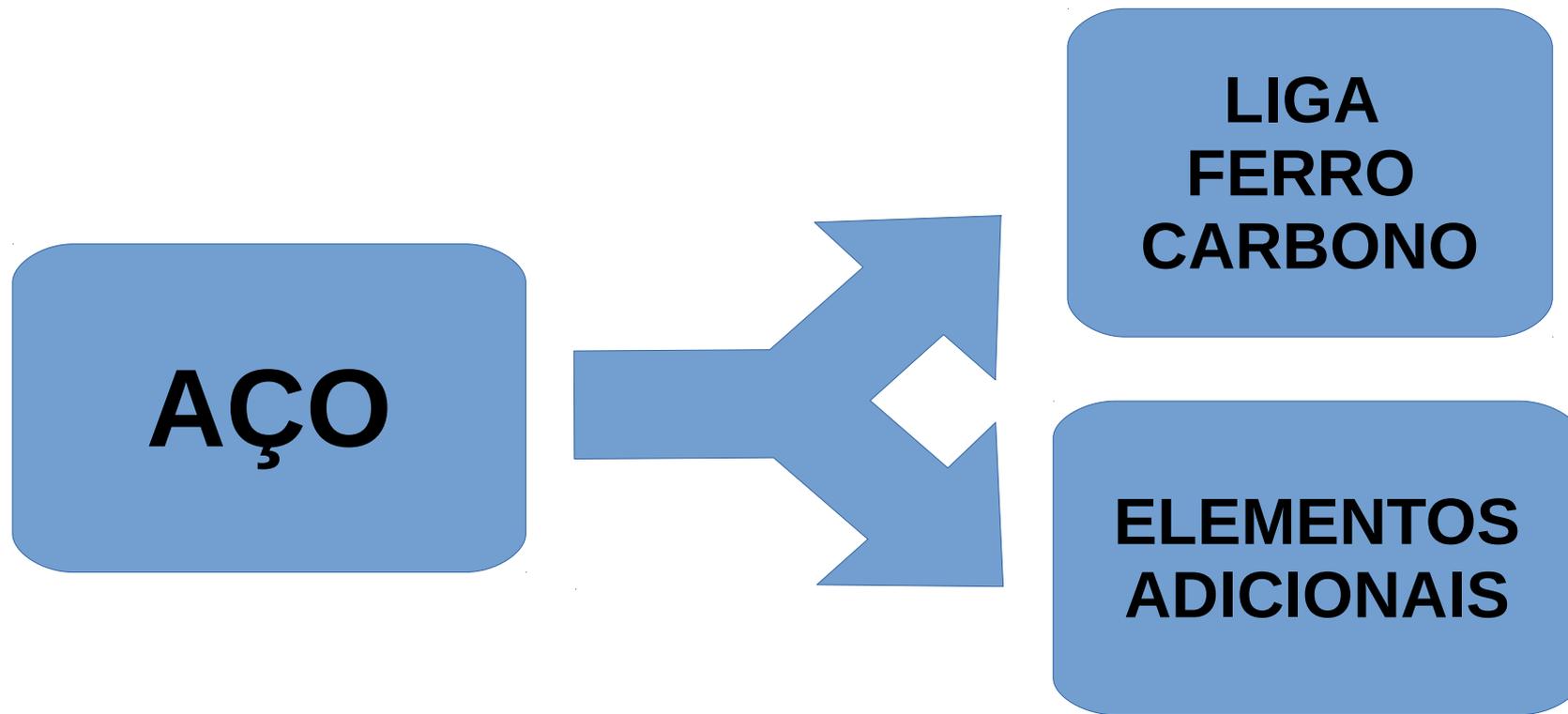
## 7.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

- Carbono: aumenta a resistência, diminui a soldabilidade e a ductilidade.
- Manganês, silício, fósforo, cobre, cromo, nióbio, níquel: de maneira análoga ao carbono.
- Manganês, cobre, cromo, nióbio e níquel: melhoram a resistência à corrosão atmosférica.

***Variando a quantidade de cada elemento, obtêm-se aços com qualidades diferentes.***

# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.3 CLASSIFICAÇÃO



Máximo teor de carbono → 1,7%

# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.3 CLASSIFICAÇÃO

TIPO DE AÇO	RESISTÊNCIA AO ESCOAMENTO MÍNIMA $f_y$ (MPa)	RESISTÊNCIA A RUPTURA MÍNIMA $f_u$ (MPa)
Aço-carbono/comuns/de média resistência	230 a 380	310 a 480
Aço de baixa liga e alta resistência mecânica	290 e 450	415 a 550

- Aços resistentes a corrosão;
- Resistência ao escoamento máxima de 450 MPa;
- Relação entre resistência à ruptura e escoamento mínima de 1,18.

# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.3 CLASSIFICAÇÃO



# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.3 CLASSIFICAÇÃO

Classificação quanto ao teor de carbono:

- Baixo carbono ( $C < 0,30 \%$ )
- Médio carbono ( $0,30 \% \leq C \leq 0,50 \%$ )
- Alto carbono ( $C > 0,50 \%$ )

# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.3 CLASSIFICAÇÃO

### Aço de alta resistência e baixa liga

- Têm sua resistência aumentada, mantendo-se baixo o teor de carbono. Propriedades mecânicas melhoradas pela adição de elementos de liga, tais como Níquel, Cromo, Cobre, Nióbio.

# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.3 CLASSIFICAÇÃO

### Aço de alta resistência e baixa liga

Classificação segundo a ABNT NBR 7007:2011 – Aços carbono e microligados para uso estrutural:

- a) MR 250 – aço de média resistência mecânica.
- b) AR 350 – aço de alta resistência mecânica.
- c) AR 350 COR – aço de alta resistência mecânica e de alta resistência à corrosão atmosférica.
- d) AR 415 – aço de alta resistência mecânica.

# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.3 CLASSIFICAÇÃO

Tabela A.1 — Aços especificados por Normas Brasileiras para uso estrutural <sup>a</sup>

ABNT NBR 7007			ABNT NBR 6648			ABNT NBR 6649 / ABNT NBR 6650		
Aços-carbono e microligados para uso estrutural e geral			Chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural			Chapas finas (a frio/a quente) de aço-carbono para uso estrutural		
Denominação	$f_y$ MPa	$f_u$ MPa	Denominação	$f_y$ MPa	$f_u$ MPa	Denominação	$f_y$ MPa	$f_u$ MPa
MR 250	250	400-560	CG-26	255	410	CF-26	260/260	400/410
AR 350	350	450	CG-28	275	440	CF-28	280/280	440/440
AR 350 COR	350	485				CF-30	---/300	---/490
AR 415	415	520						

# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.3 CLASSIFICAÇÃO

ABNT NBR 5000			ABNT NBR 5004			ABNT NBR 5008		
Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica			Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica			Chapas grossas e bobinas grossas, de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural		
Denominação	$f_y$ MPa	$f_u$ MPa	Denominação	$f_y$ MPa	$f_u$ MPa	Denominação	$f_y$ MPa	$f_u$ MPa
G-30	300	415	F-32/Q-32	310	410	CGR 400	250	380
G-35	345	450	F-35/Q-35	340	450	CGR 500 e CGR 500A	370	490
G-42	415	520	Q-40	380	480			
G-45	450	550	Q-42	410	520			
			Q-45	450	550			
ABNT NBR 5920/ABNT NBR 5921			ABNT NBR 8261					
Chapas finas e bobinas finas (a frio/a quente), de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural			Perfil tubular, de aço-carbono, formado a frio, com e sem costura, de seção circular ou retangular para usos estruturais					
Denominação	$f_y$ MPa	$f_u$ MPa	Denominação	Seção circular		Seções quadrada e retangular		
				$f_y$ MPa	$f_u$ MPa	$f_y$ MPa	$f_u$ MPa	
CFR 400	---/250	---/380	B	290	400	317	400	
CFR 500	310/370	450/490	C	317	427	345	427	
<sup>a</sup> Para limitações de espessura, ver norma correspondente.								

# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.3 CLASSIFICAÇÃO

Tabela A.2 — Aços de uso freqüente especificados pela ASTM para uso estrutural

Classificação	Denominação	Produto	Grupo de perfil <sup>a,b</sup> ou faixa de espessura disponível	Grau	$f_y$ MPa	$f_u$ MPa
Aços-carbono	A36	Perfis	1, 2 e 3	-	250	400 a 550
		Chapas e barras <sup>c</sup>	$t \leq 200$ mm			
	A500	Perfis	4	A	230	310
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	A572	Perfis	1, 2 e 3	42	290	415
				50	345	450
			55	380	485	
			60	415	520	
		Chapas e barras <sup>c)</sup>	1 e 2	65	450	550
			$t \leq 150$ mm	42	290	415
			$t \leq 100$ mm	50	345	450
			$t \leq 50$ mm	55	380	485
	A992 <sup>d</sup>	Perfis	1, 2 e 3	60	415	520
				65	450	550
					-	345 a 450

# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.3 CLASSIFICAÇÃO

Aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica	A242	Perfis	1	-	345	485
			2	-	315	460
			3	-	290	435
		Chapas e barras <sup>c)</sup>	$t \leq 19 \text{ mm}$	-	345	480
			$19 \text{ mm} < t \leq 37,5 \text{ mm}$	-	315	460
			$37,5 \text{ mm} < t \leq 100 \text{ mm}$	-	290	435
	A588	Chapas e barras <sup>c)</sup>	1 e 2	-	345	485
			$t \leq 100 \text{ mm}$	-	345	480
			$100 \text{ mm} < t \leq 125 \text{ mm}$	-	315	460
Aços de baixa liga temperados e auto-revenidos	A913	Perfis	1 e 2	50	345	450
				60	415	520
				65	450	550

<sup>a</sup> Grupos de perfis laminados para efeito de propriedades mecânicas:

- Grupo 1: Perfis com espessura de mesa inferior ou igual a 37,5 mm;
- Grupo 2: Perfis com espessura de mesa superior a 37,5 mm e inferior ou igual a 50 mm;
- Grupo 3: Perfis com espessura de mesa superior a 50 mm;
- Grupo 4: Perfis tubulares.

<sup>b</sup>  $t$  corresponde à menor dimensão ou ao diâmetro da seção transversal da barra.

<sup>c</sup> Barras redondas, quadradas e chatas.

<sup>d</sup> A relação  $f_u/f_y$  não pode ser inferior a 1,18.

# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.3 CLASSIFICAÇÃO

Especificação	Qualidade <sup>1)</sup>	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)	Fabricante
USI CIVIL 300	1	300	400	USIMINAS
USI CIVIL 350	2	350	500	USIMINAS
USI SAC 300	3	300	400	USIMINAS
USI SAC 350	4	350	500	USIMINAS
USI FIRE 350	5	350	490	USIMINAS
CSN COR 420	3	300	420	CSN
CSN COR 500	4	380	500	CSN
COS CIVIL 300	1	300	400	COSIPA
COS CIVIL 350	2	350	490	COSIPA
COS AR COR 300	3	300	400	COSIPA
COS AR COR 350	4	350	490	COSIPA
COS AR COR 400	3	250	380	COSIPA
COS AR COR 400E	3	300	380	COSIPA
COS AR COR 500	4	375	490	COSIPA

<sup>1)</sup> 1: aço-carbono;  
2: aço de baixa liga e alta resistência mecânica;  
3: aço-carbono resistente à corrosão atmosférica;  
4: aço de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica;  
5: aço de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica e ao fogo.

# 7. AÇOS ESTRUTURAIS

## 7.3 CLASSIFICAÇÃO

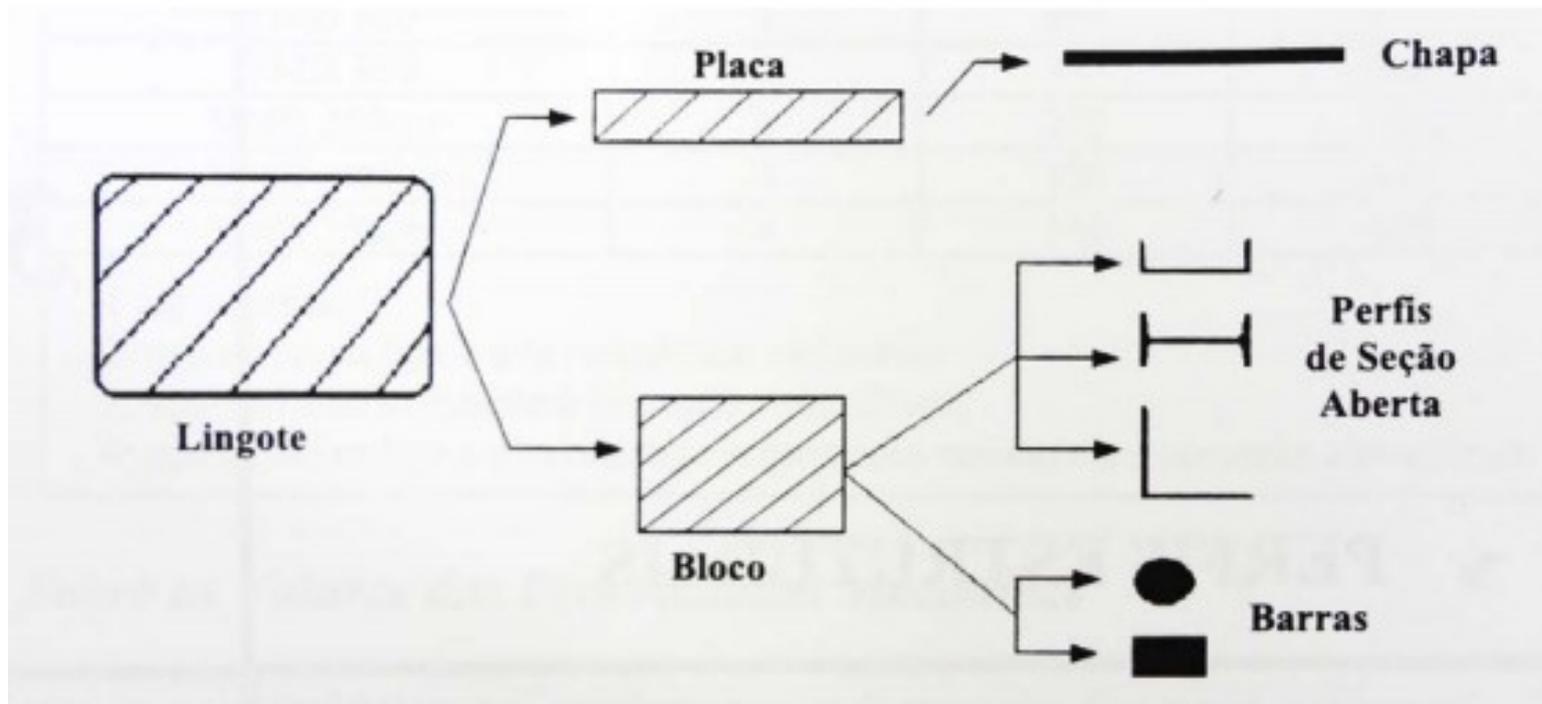
Especificação	Qualidade <sup>1)</sup>	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
VMB 250	1	250	400
VMB 300	1	300	415
VMB 350	2	350	485
VMB 250 <sub>cor</sub>	3	250	400
VMB 300 <sub>cor</sub>	3	300	415
VMB 350 <sub>cor</sub>	4	350	485

<sup>1)</sup> 1: aço-carbono;  
2: aço de baixa liga e alta resistência mecânica;  
3: aço-carbono resistente à corrosão atmosférica;  
4: aço de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica.

# 8. PERFIS ESTRUTURAIS

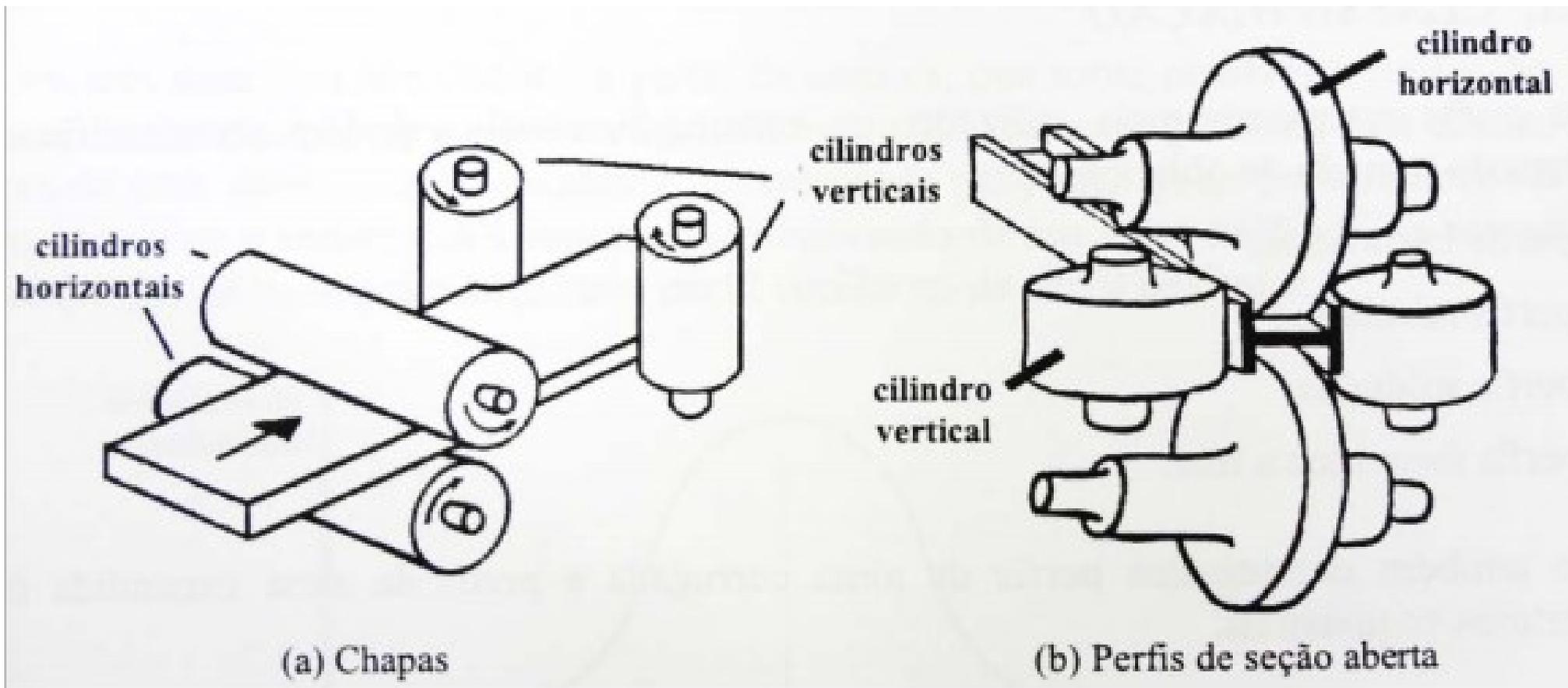
## PERFIS LAMINADOS:

Transformação mecânica da peça pela passagem entre cilindros.



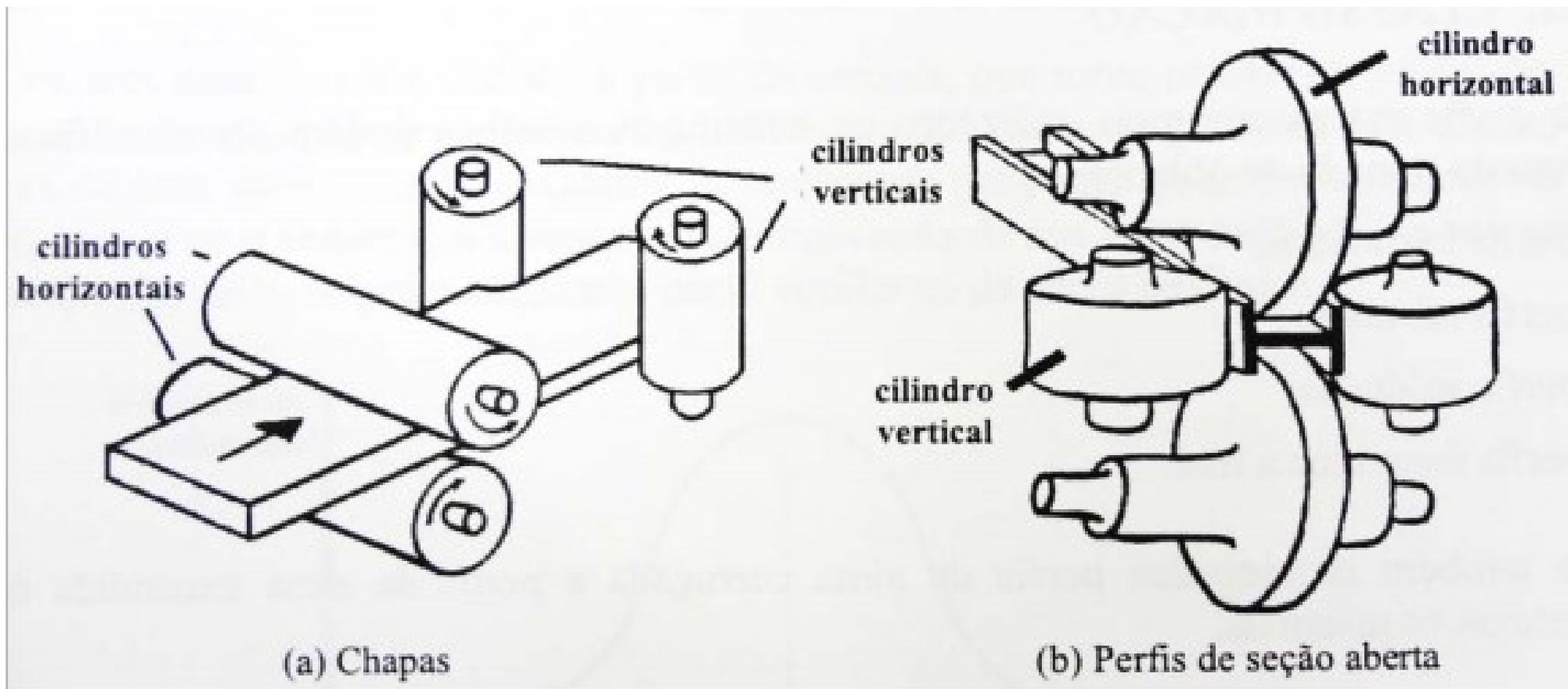
# 8. PERFIS ESTRUTURAIS

## PERFIS LAMINADOS:



# 8. PERFIS ESTRUTURAIS

## PERFIS LAMINADOS:



# 8. PERFIS ESTRUTURAIS

## PERFIS LAMINADOS:

Chapas;

Perfis de seção aberta: Perfil I,

H, U, Cantoneira;

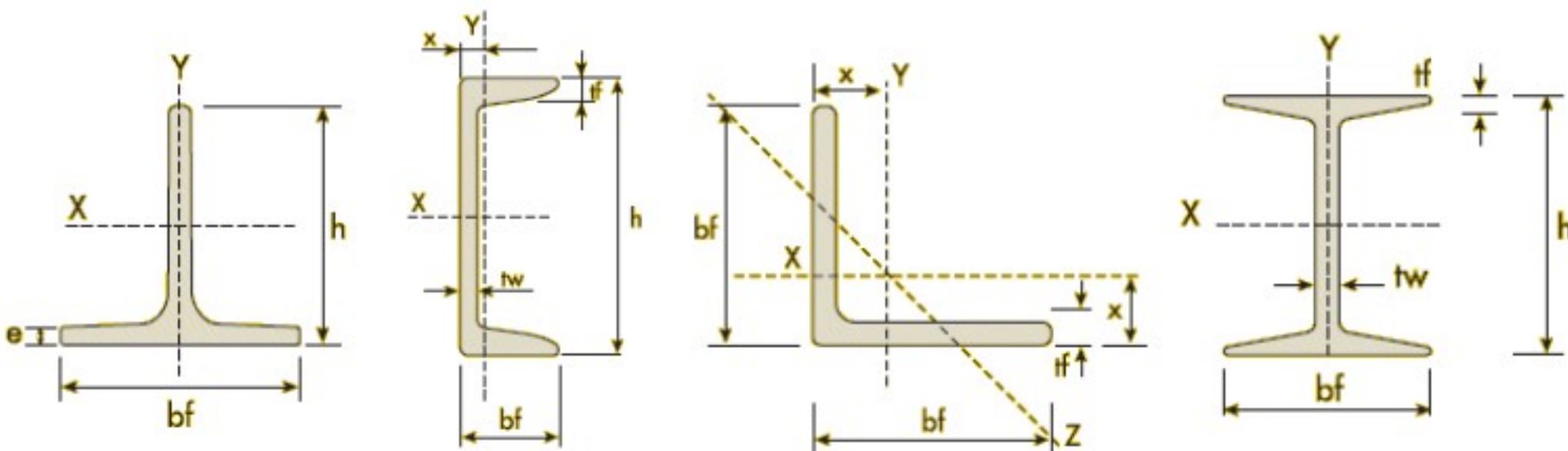
Barras



# 8. PERFIS ESTRUTURAIS

## PERFIS LAMINADOS:

W 310x22,5(H), W 310x38,7, L 76,2x6,35



# 8. PERFIS ESTRUTURAIS

## PERFIS TUBULARES:

*Tubulares sem costura:*

Fabricados a partir da perfuração sob altas temperaturas de um tarugo em um laminador perfurador;

*Tubulares com costura:*

Dobra a frio de uma chapa na forma desejada e soldada longitudinalmente ou helicoidalmente.

# 8. PERFIS ESTRUTURAIS

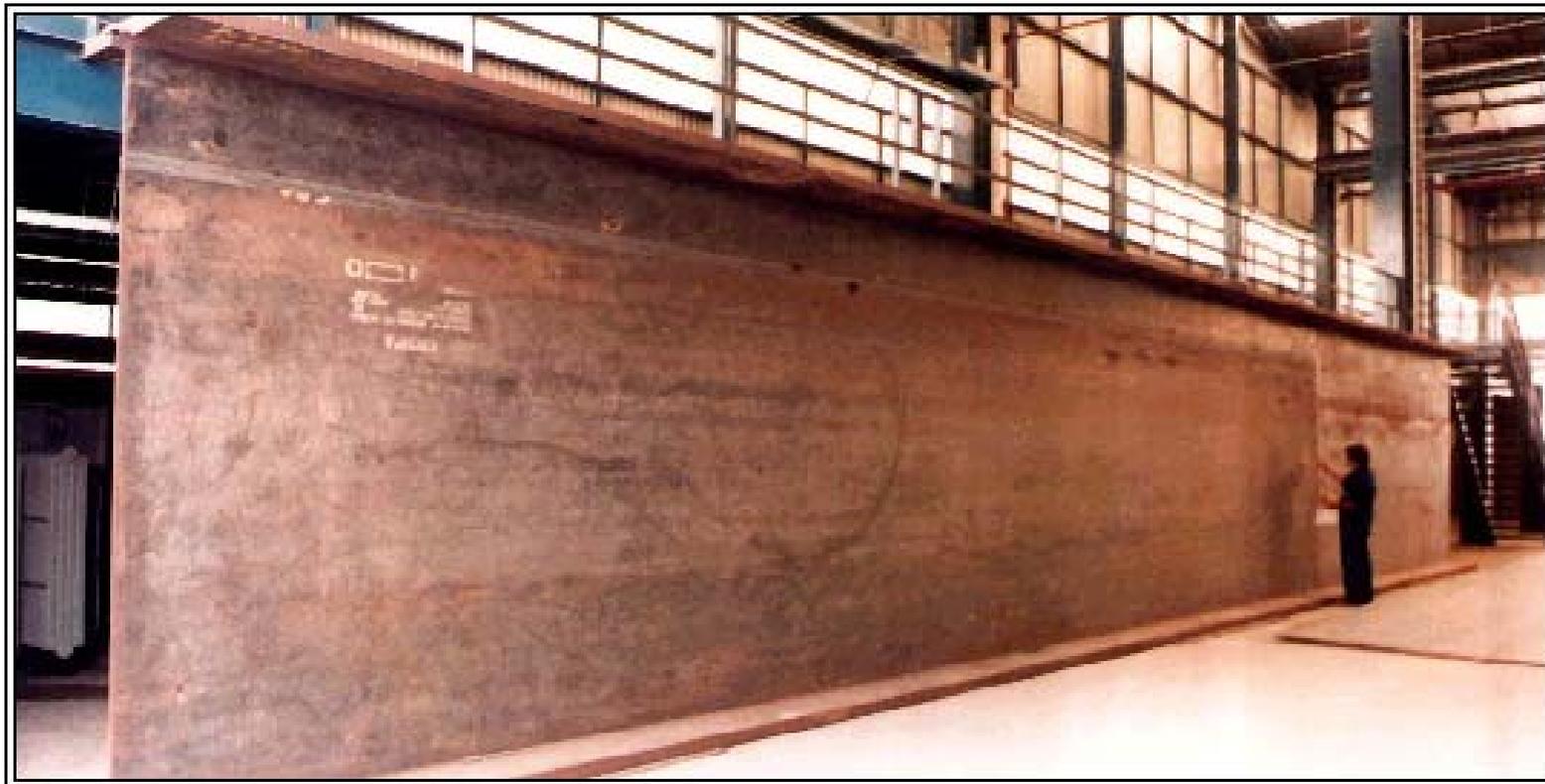
## PERFIS TUBULARES:



# 8. PERFIS ESTRUTURAIS

## PERFIS SOLDADOS:

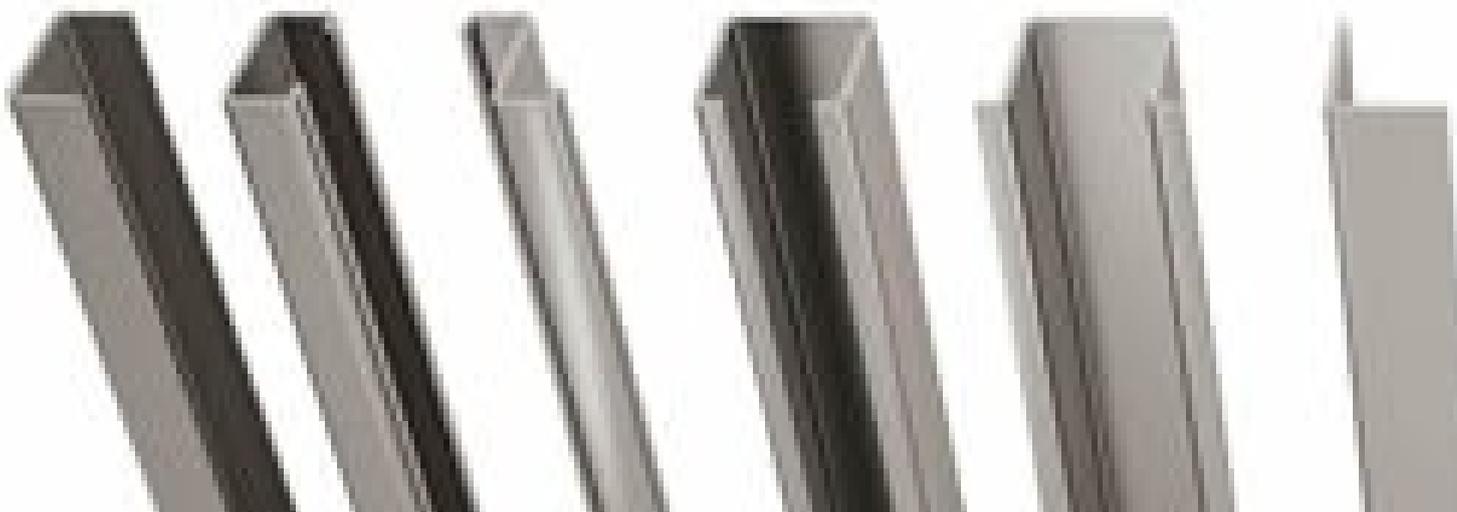
Combinação de chapas unidas por solda.



# 8. PERFIS ESTRUTURAIS

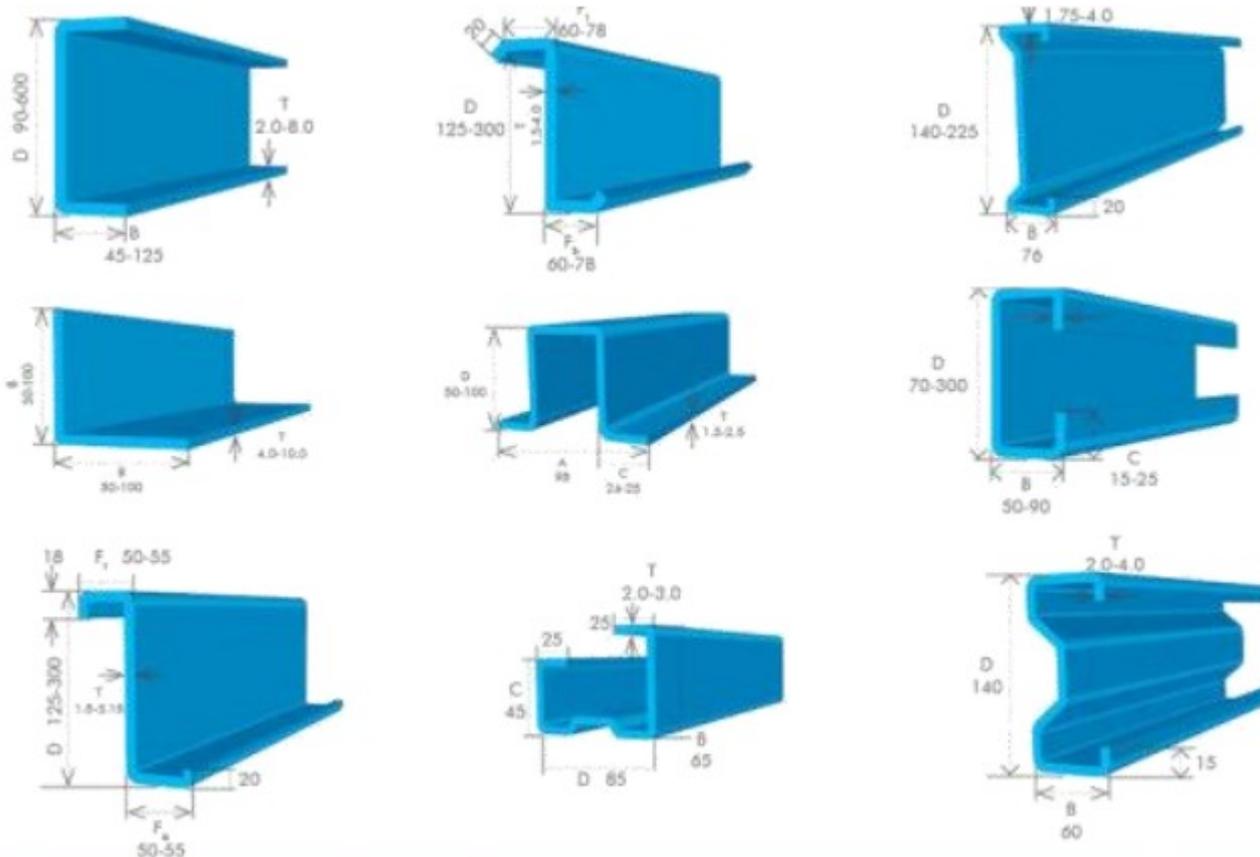
## PERFIS DOBRADOS A FRIO:

Obtidos dobrando-se a frio chapas finas de espessuras entre , 1,5mm a 4,75mm. Está fora do escopo da NBR 8800:2008.



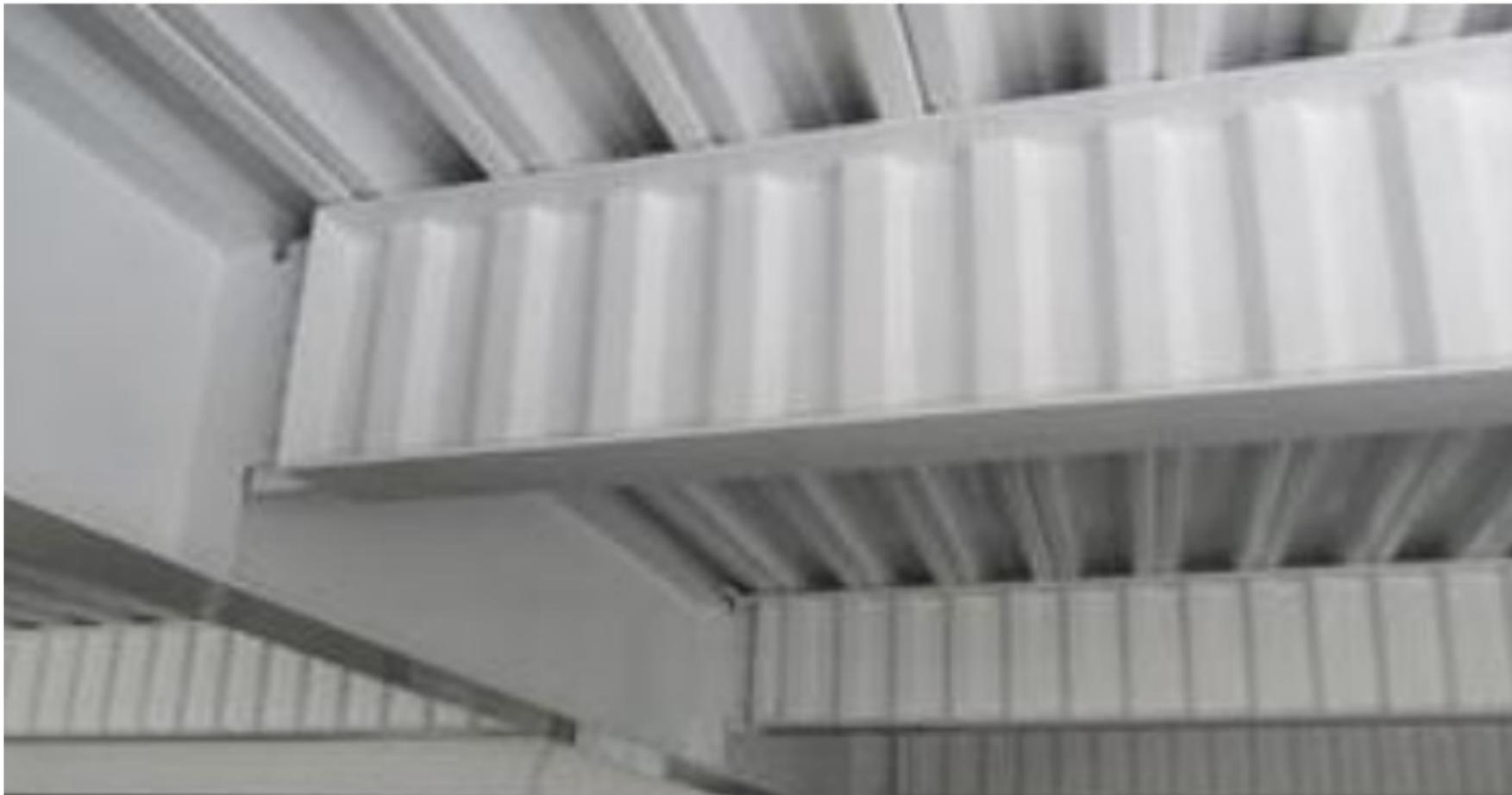
# 8. PERFIS ESTRUTURAIS

## PERFIS DOBRADOS A FRIO:



# 8. PERFIS ESTRUTURAIS

## PERFIS ALMA CORRUGADA:



# 8. PERFIS ESTRUTURAIS

## PERFIS ALVEOLARES:

