

Propriedades Mecânicas e Geométricas dos Perfis Estruturais

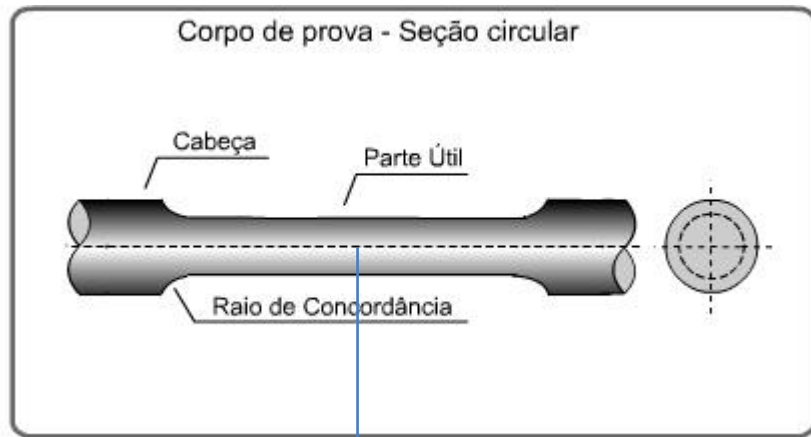
Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

DEFINIÇÃO DE AÇO:

AÇO = LIGA METÁLICA
COMPOSTA POR

Fe + C (Ferro + Carbono)

ENSAIO DE TRAÇÃO:



$$\sigma = \frac{F}{A}$$

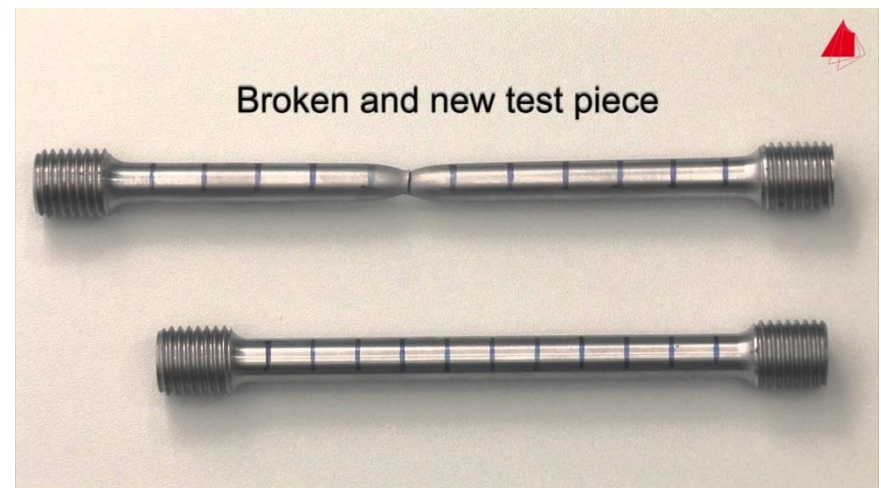
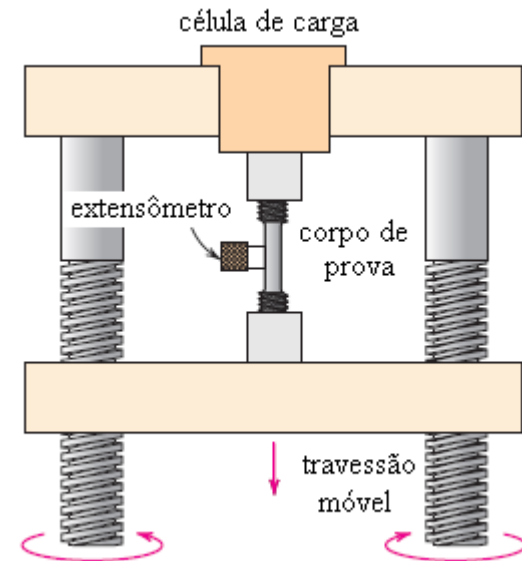
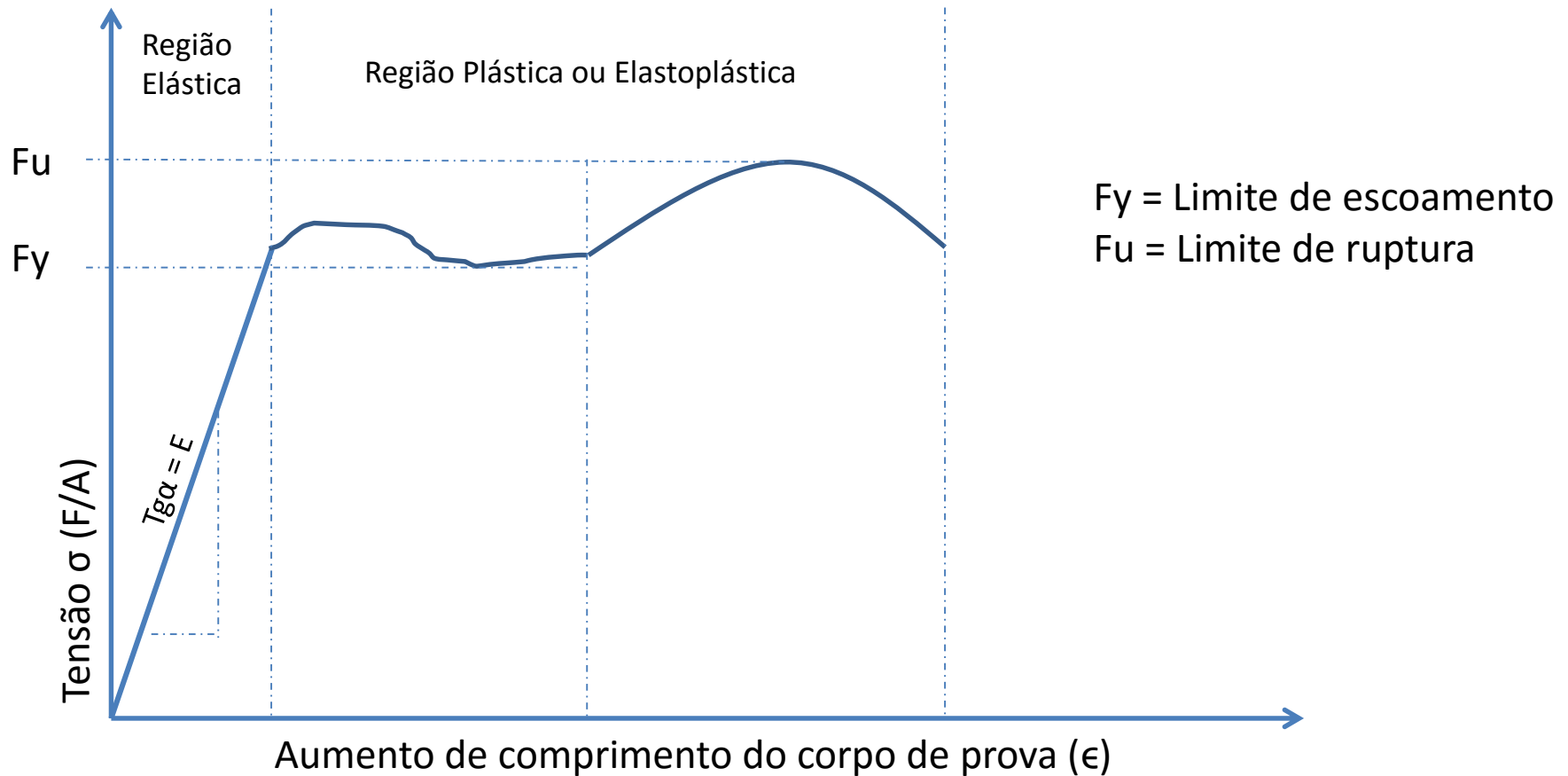


DIAGRAMA TENSÃO X DEFORMAÇÃO:



TIPOS DE AÇO:

AÇOS PARA CONSTRUÇÃO MECÂNICA:

Máquinas, peças, usinagem, etc...

CODIFICAÇÃO YYXX Sendo YY = Família e XX Teor de C x 0,01%

Exemplos;

ABNT 1020 - Família 10 (Aço Carbono) com 0,20% de carbono na Composição

ABNT 4340 - Família 43 (com 1,8% de Ni, 0,5% de Cr e 0,25% de Mo) com 0,40% de Carbono na composição

TIPOS DE AÇO:

AÇOS COMUNS PARA CHAPAS E PERFIS ESTRUTURAIS:

ASTM

ASTM A36 – Possui $F_y = 36 \text{ ksi (kilo-libra/pol}^2) \sim 25 \text{ kN/cm}^2$
 $F_u = 40 \text{ kN/cm}^2$

Aço comum usado em chapas e perfis estruturais

ABNT

EB-583

MR250	$F_y = 25 \text{ kN/cm}^2$	$F_u = 40 \text{ kN/cm}^2$
MR290	$F_y = 29 \text{ kN/cm}^2$	$F_u = 41,5 \text{ kN/cm}^2$
MR345	$F_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2$	$F_u = 45 \text{ kN/cm}^2$

TIPOS DE AÇO:

AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA MECÂNICA PARA PERFIS ESTRUTURAIS:

ASTM

ASTM A572 – Perfis laminados Açominas

GRAU 42 – $F_y = 29 \text{ kN/cm}^2$ $F_u = 41,5 \text{ kN/cm}^2$

GRAU 50 - $F_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2$ $F_u = 45 \text{ kN/cm}^2$

AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA À CORROSÃO ATMOSFÉRICA:

ASTM A242 2x mais resistente à corrosão atmosférica

Grupos 1 e 2: $F_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2$ $F_u = 48 \text{ kN/cm}^2$

Grupo 3: $F_y = 31,5 \text{ kN/cm}^2$ $F_u = 46 \text{ kN/cm}^2$

ASTM A588: $F_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2$ $F_u = 48,5 \text{ kN/cm}^2$ 4X mais resistente à corrosão atmosférica

TIPOS DE AÇO:

ELEMENTO QUÍMICO	ASTM A36 (PERFIS)	ASTM A572 (GRAU 50)	ASTM A588 (GRAU B)	ASTM A242 (CHAPAS)
% C máx.	0,26	0,23	0,20	0,15
% Mn	... (1)	1,35 máx.	0,75-1,35	1,00 máx.
% P máx.	0,04	0,04	0,04	0,15
% S máx.	0,05	0,05	0,05	0,05
% Si	0,40	0,40 máx.3	0,15-0,50	...
% Ni	...	...	0,50 máx.	...
% Cr	...	...	0,40-0,70	...
% Mo	...	...	...	...
% Cu	0,202	...	0,20-0,40	0,20 mín.
% V	...	...	0,01-0,10	...
(% Nb + %V)	...	0,02-0,15	...	...
Limite de escoamento (MPa)	250 mín.	345 mín.	345 mín.	345 mín.
Limite de resistência (MPa)	400-550	450 mín.	485 mín.	480 mín.
Alongamento Após ruptura, % (lo = 200mm)	20 mín.	18 mín.	18 mín.	18 mín.

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

PROPRIEDADES DOS AÇOS:

DUCTILIDADE: CAPACIDADE DE SE DEFORMAR QUANDO SUBMETIDO A ESFORÇOS (OPOSTO DE FRAGILIDADE)

RESILIÊNCIA: CAPACIDADE DE ABSORVER ENERGIA NO REGIME ELÁSTICO (TRANSFORMAR ESFORÇOS EM DEFORMAÇÕES NÃO PERMANENTES)

DUREZA: RESISTÊNCIA O RISCOS E ABRASÃO.

FADIGA: RESISTÊNCIA A ESFORÇOS REPETITIVOS

PESO ESPECÍFICO: 7850 kg/m^3

PROPRIEDADES DOS AÇOS:

Como descobrir o peso de uma chapa de aço retangular de 200mm X 350mm de espessura $\frac{3}{4}$ "???

1- converta Polegadas para mm: $\frac{3}{4} \times 25,4\text{mm} = 19,05\text{mm}$ ou 1,905cm

2 – Calcule o volume da chapa em m^3 - $V = 0,200 \times 0,350 \times 0,01905 = 0,00133 \text{ m}^3$

3- Multiplique pelo peso específico do aço: $P = 7850 \text{ kg/m}^3 \times 0,00133 \text{ m}^3 = \mathbf{10,468 \text{ kg}}$



PROPRIEDADES DOS AÇOS:

Qual o peso por metro linear de um perfil de aço, qualquer, cuja área de seção transversal tenha 35,02 cm²

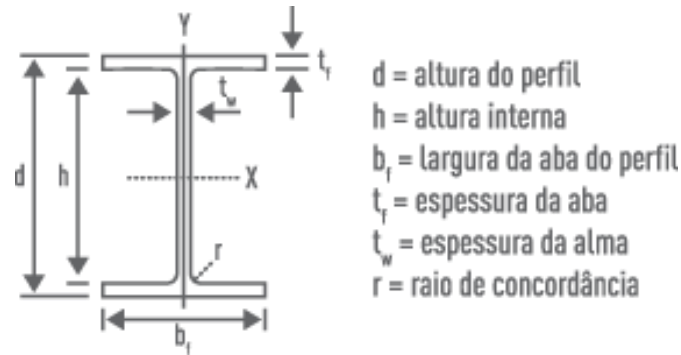
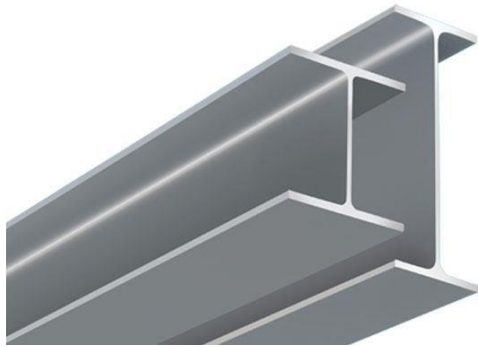
1 – Você precisa descobrir quantos m³ de aço estão contidos em 1 metro linear da barra, portanto converta a área de cm² para m² multiplicando o valor da área por 0,0001: $A = 35,02\text{cm}^2 \times 0,0001 = 0,003502\text{ m}^2$

2- como queremos o peso por metro linear, basta então multiplicar o volume contido em 1m de barra ($0,003502\text{ m}^2 \times 1\text{m} = 0,003502\text{m}^3$) pelo peso específico do aço (7850kg/m^3) = $0,003502 \times 7850 = \mathbf{27,49\text{ kg/m}}$



PERFIS ESTRUTURAIS LAMINADOS

I e H Laminados de abas paralelas.



Codificação:

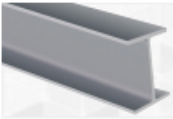
W150X13,0 – Perfil I ~150mm de altura e 13 kg por metro linear (bom para Vigas e Momentos unidirecionais)

W200X46,1 (H) – Perfil H ~200mm de altura e largura x 46,1 kg/metro (melhor para pilares e peças sujeitas à compressão e à flexão bi-direcional)

HP310X79,0 – Perfil da série Pesada, com 310mm de altura e 79kg/m (também recomenda-se seu uso em pilares de alta compressão)

PERFIS ESTRUTURAIS LAMINADOS

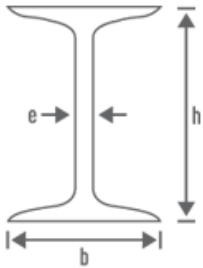
Perfil I – Abas Inclinadas



Bitola (h x b)		Alma	Espessura da alma (e)		Peso teórico kg/m
pol.	mm		mm	pol.	
3" x 2.3/8"	76,20 x 59,20	1ª	4,32	0,170	8,48
3" x 2.3/8"	76,20 x 61,20	2ª	6,38	0,251	9,68
4" x 2.5/8"	101,60 x 67,60	1ª	4,90	0,193	11,46
4" x 2.5/8"	101,60 x 69,20	2ª	6,43	0,253	12,65
5" x 3"	127,00 x 76,20	1ª	5,44	0,214	14,88
5" x 3"	127,00 x 79,70	2ª	8,81	0,347	18,20
6" x 3.3/8"	152,40 x 84,60	1ª	5,89	0,232	18,60
6" x 3.3/8"	152,40 x 87,50	2ª	8,71	0,343	22,00

Barras com 6 e 12m

Normas: NBR 7007 MR 250 / ASTM A-36



b = largura do perfil
e = espessura da alma
h = altura do perfil

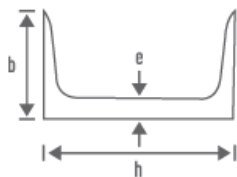
Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

PERFIS ESTRUTURAIS LAMINADOS

U Laminado de Abas inclinadas

Bitola (h x b)		Alma	Espessura da alma (e)		Peso teórico kg/m
pol.	mm		mm	pol.	
3" x 1.1/2"	76,20 x 35,81	1ª	4,32	0,170	6,11
3" x 1.1/2"	76,20 x 38,05	2ª	6,55	0,258	7,44
4" x 1.5/8"	101,60 x 40,23	1ª	4,67	0,183	7,95
4" x 1.5/8"	101,60 x 41,83	2ª	6,27	0,246	9,30
6" x 2"	152,40 x 48,80	1ª	5,08	0,200	12,20
6" x 2"	152,40 x 51,70	2ª	7,98	0,314	15,60
8" x 2.1/4"	203,20 x 57,15	1ª	5,59	0,220	17,10
8" x 2.1/4"	203,20 x 57,15	2ª	7,70	0,303	20,50
10" x 2.5/8"	254,00 x 66,68	1ª	6,10	0,240	22,70
10" x 2.5/8"	254,00 x 66,68	2ª	9,63	0,379	29,80
12" x 3"	304,80 x 76,20	1ª	7,11	0,280	30,70
12" x 3"	304,80 x 76,20	2ª	9,83	0,387	37,20
15" x 3.3/8"	381,00 x 85,73	1ª	10,20	0,400	50,40
15" x 3.3/8"	381,00 x 85,73	2ª	10,70	0,422	52,10

Barras com 6 e 12m – Normas: NBR 7007 MR 250 / ASTM A-36

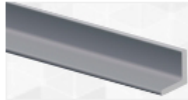


h = largura do perfil
e = espessura da alma
b = altura do perfil

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

PERFIS ESTRUTURAIS LAMINADOS

Cantoneiras laminadas de abas iguais



Bitola	Peso Teórico Kg/m	Bitola	Peso Teórico Kg/m	Bitola	Peso Teórico Kg/m	Bitola	Peso Teórico Kg/m
1/8 x 1/2"	0,55	3/16 x 1.3/4"	3,15	1/4 x 4"	9,81	3/8 x 6"	22,20
1/8 x 5/8"	0,71	3/16 x 2	3,63	5/16 x 2"	5,83	1/2 x 3"	13,90
1/8 x 3/4"	0,87	3/16 x 2.1/2"	4,52	5/16 x 2.1/2"	7,44	1/2 x 4"	19,05
1/8 x 7/8"	1,04	3/16 x 3"	5,52	5/16 x 3"	9,07	1/2 x 5"	24,10
1/8 x 1"	1,19	1/4 x 1"	2,29	5/16 x 3.1/2"	10,70	1/2 x 6"	29,20
1/8 x 1.1/4"	1,50	1/4 x 1.1/4"	2,86	5/16 x 4"	12,19	5/8 x 4"	23,42
1/8 x 1.1/2"	1,83	1/4 x 1.1/2"	3,48	3/8 x 2"	6,99	5/8 x 5"	29,80
1/8 x 1.3/4"	2,14	1/4 x 1.3/4"	4,12	3/8 x 2.1/2"	8,78	5/8 x 6"	36,00
1/8 x 2"	2,46	1/4 x 2"	4,75	3/8 x 3"	10,72	5/8 x 8"	48,78
3/16 x 1"	1,73	1/4 x 2.1/2"	6,10	3/8 x 3.1/2"	12,50	3/4 x 5"	35,10
3/16 x 1.1/4"	2,20	1/4 x 3"	7,30	3/8 x 4"	14,58	3/4 x 6"	42,70
3/16 x 1.1/2"	2,68	1/4 x 3.1/2"	8,63	3/8 x 5"	18,30	3/4 x 8"	57,80

Normas: NBR 7007 graus, MR 250 (ASTM A-36) , AR 350 (ASTM A-572 GR50), AR 350COR (ASTM A-572 GR60) e AR 415 (ASTM A-588 GRB)

Excelente comportamento à tração.

Versátil para composição com outros perfis estruturais

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

PERFIS ESTRUTURAIS LAMINADOS

Barras Chatas (ferro chato)



Bitola	Peso Teórico Kg/m	Bitola	Peso Teórico Kg/m	Bitola	Peso Teórico Kg/m	Bitola	Peso Teórico Kg/m
2,50mm x 1/2"	0,25	1/4 x 1/2"	0,63	3/8 x 1.1/2"	2,85	5/8 x 3.1/2"	11,08
1/8 x 3/8"	0,24	1/4 x 5/8"	0,79	3/8 x 1.3/4"	3,33	5/8 x 4"	12,67
1/8 x 1/2"	0,32	1/4 x 3/4"	0,95	3/8 x 2"	3,80	5/8 x 5"	15,83
1/8 x 5/8"	0,40	1/4 x 7/8"	1,11	3/8 x 2.1/2"	4,75	5/8 x 6"	19,00
1/8 x 3/4"	0,48	1/4 x 1"	1,27	3/8 x 3"	5,70	3/4 x 1"	3,80
1/8 x 7/8"	0,55	1/4 x 1.1/4"	1,58	3/8 x 3.1/2"	6,65	3/4 x 1.1/4"	4,75
1/8 x 1"	0,63	1/4 x 1.1/2"	1,90	3/8 x 4"	7,60	3/4 x 1.1/2"	5,70
1/8 x 1.1/4"	0,79	1/4 x 1.3/4"	2,22	3/8 x 5"	9,50	3/4 x 1.3/4"	6,65
1/8 x 1.1/2"	0,95	1/4 x 2"	2,53	3/8 x 6"	11,40	3/4 x 2"	7,60
1/8 x 1.3/4"	1,11	1/4 x 2.1/2"	3,17	1/2 x 1"	2,53	3/4 x 2.1/2"	9,50
1/8 x 2"	1,27	1/4 x 3"	3,80	1/2 x 1.1/4"	3,17	3/4 x 3"	11,40
1/8 x 2.1/2"	1,59	1/4 x 4"	5,06	1/2 x 1.1/2"	3,80	3/4 x 3.1/2"	13,29
1/8 x 3"	1,90	1/4 x 5"	6,33	1/2 x 1.3/4"	4,43	3/4 x 4"	15,19
1/8 x 4"	2,54	1/4 x 6"	7,60	1/2 x 2"	5,06	3/4 x 5"	18,99
3/16 x 1/2"	0,47	5/16 x 1"	1,58	1/2 x 2.1/2"	6,33	3/4 x 6"	22,79
3/16 x 5/8"	0,59	5/16 x 1.1/4"	1,98	1/2 x 3"	7,60	1 x 1.1/4"	6,33
3/16 x 3/4"	0,71	5/16 x 1.1/2"	2,37	1/2 x 3.1/2"	8,86	1 x 1.1/2"	7,60
3/16 x 7/8"	0,83	5/16 x 1.3/4"	2,77	1/2 x 4"	10,13	1 x 1.3/4"	8,86
3/16 x 1"	0,95	5/16 x 2"	3,17	1/2 x 5"	12,66	1 x 2"	10,13
3/16 x 1.1/4"	1,19	5/16 x 2.1/2"	3,96	1/2 x 6"	15,19	1 x 2.1/2"	12,66
3/16 x 1.1/2"	1,42	5/16 x 3"	4,75	5/8 x 1"	3,17	1 x 3"	15,19
3/16 x 1.3/4"	1,66	5/16 x 3.1/2"	5,54	5/8 x 1.1/4"	3,96	1 x 4"	20,26
3/16 x 2"	1,90	5/16 x 4"	6,33	5/8 x 1.1/2"	4,75	1 x 5"	25,32
3/16 x 2.1/2"	2,37	5/16 x 5"	7,92	5/8 x 1.3/4"	5,54	1 x 6"	30,39
3/16 x 3"	2,85	5/16 x 6"	9,50	5/8 x 2"	6,33		
3/16 x 4"	3,80	3/8 x 1"	1,90	5/8 x 2.1/2"	7,92		
3/16 x 5"	4,75	3/8 x 1.1/4"	2,38	5/8 x 3"	9,50		

Barras com 6m. Comprimentos diferenciados sob consulta. Normas: NBR 7007 graus, MR 250 (ASTM A-36), SAE 1045 e 5160

Geralmente usados para acabamento ou enrijecimento de bordas.

Também podem ser usados para fabricar chapas de ligação.

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

PERFIS ESTRUTURAIS LAMINADOS

Barra Redonda Laminada



Bitola		Peso teórico kg/m
pol.	mm	
1/4"	6,35	0,25
5/16"	7,94	0,39
3/8"	9,53	0,56
1/2"	12,70	0,99
9/16"	14,29	1,26
5/8"	15,88	1,56
11/16"	17,46	1,88
3/4"	19,05	2,24
7/8"	22,23	3,05
1"	25,40	3,98
1.1/8"	28,58	5,04
1.1/4"	31,75	6,22
1.5/16"	33,34	6,85
1.3/8"	34,93	7,52
1.7/16"	36,51	8,22
1.1/2"	38,10	8,95
1.9/16"	39,69	9,71
1.5/8"	41,28	10,50
1.3/4"	44,45	12,18
1.13/16"	46,04	13,06
1.7/8"	47,63	13,98
2"	50,80	15,91
2.1/16"	52,39	16,92
2.1/8"	53,98	17,96
2.1/4"	57,15	20,14
2.5/16"	58,74	21,28
2.3/8"	60,33	22,43
2.7/16"	61,91	23,63
2.1/2"	63,50	24,86

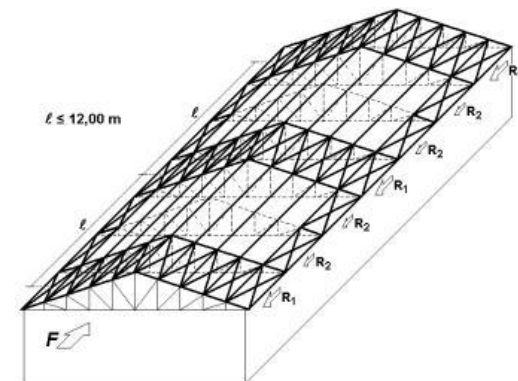
Bitola		Peso teórico kg/m
pol.	mm	
2.9/16"	65,09	26,11
2.5/8"	66,68	27,40
2.3/4"	69,85	30,08
2.7/8"	73,03	32,87
3"	76,20	35,79
3.1/8"	79,38	38,84
3.1/4"	82,55	42,01
3.1/2"	88,90	48,73
3.3/4"	95,25	55,88
4"	101,60	63,58
4.1/4"	107,95	71,78
4.1/2"	114,30	80,47
4.3/4"	120,65	89,66
5"	127,00	99,80
*	130,00	104,17
5.1/4"	133,35	109,50
5.1/2"	139,70	120,20
5.3/4"	146,05	131,40
6"	152,40	143,10
6.1/4"	158,75	155,20
6.1/2"	165,10	167,90
6.3/4"	171,45	181,10
7"	177,80	194,70
7.1/2"	190,50	223,80
8"	203,20	254,60
8.1/2"	215,90	287,40
9"	228,60	322,10
9.1/2"	241,30	359,00
10"	254,00	397,80

Barras com 5 a 7m

Normas: NBR 7007 MR 250 / ASTM A-36, SAE 1020 e SAE 1045

Trabalho somente à tração.

Usado em contraventamentos de coberturas e em alguns casos para contraventar pilares e pórticos.



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

PERFIS ESTRUTURAIS LAMINADOS

Barra Redonda Laminada



Bitola		Peso teórico kg/m
pol.	mm	
1/4"	6,35	0,25
5/16"	7,94	0,39
3/8"	9,53	0,56
1/2"	12,70	0,99
9/16"	14,29	1,26
5/8"	15,88	1,56
11/16"	17,46	1,88
3/4"	19,05	2,24
7/8"	22,23	3,05
1"	25,40	3,98
1.1/8"	28,58	5,04
1.1/4"	31,75	6,22
1.5/16"	33,34	6,85
1.3/8"	34,93	7,52
1.7/16"	36,51	8,22
1.1/2"	38,10	8,95
1.9/16"	39,69	9,71
1.5/8"	41,28	10,50
1.3/4"	44,45	12,18
1.13/16"	46,04	13,06
1.7/8"	47,63	13,98
2"	50,80	15,91
2.1/16"	52,39	16,92
2.1/8"	53,98	17,96
2.1/4"	57,15	20,14
2.5/16"	58,74	21,28
2.3/8"	60,33	22,43
2.7/16"	61,91	23,63
2.1/2"	63,50	24,86

Bitola		Peso teórico kg/m
pol.	mm	
2.9/16"	65,09	26,11
2.5/8"	66,68	27,40
2.3/4"	69,85	30,08
2.7/8"	73,03	32,87
3"	76,20	35,79
3.1/8"	79,38	38,84
3.1/4"	82,55	42,01
3.1/2"	88,90	48,73
3.3/4"	95,25	55,88
4"	101,60	63,58
4.1/4"	107,95	71,78
4.1/2"	114,30	80,47
4.3/4"	120,65	89,66
5"	127,00	99,80
*	130,00	104,17
5.1/4"	133,35	109,50
5.1/2"	139,70	120,20
5.3/4"	146,05	131,40
6"	152,40	143,10
6.1/4"	158,75	155,20
6.1/2"	165,10	167,90
6.3/4"	171,45	181,10
7"	177,80	194,70
7.1/2"	190,50	223,80
8"	203,20	254,60
8.1/2"	215,90	287,40
9"	228,60	322,10
9.1/2"	241,30	359,00
10"	254,00	397,80

Trabalho somente à tração.

Usado em contraventamentos de coberturas e em alguns casos para contraventar pilares e pórticos.

Barras com 5 a 7m

Normas: NBR 7007 MR 250 / ASTM A-36, SAE 1020 e SAE 1045

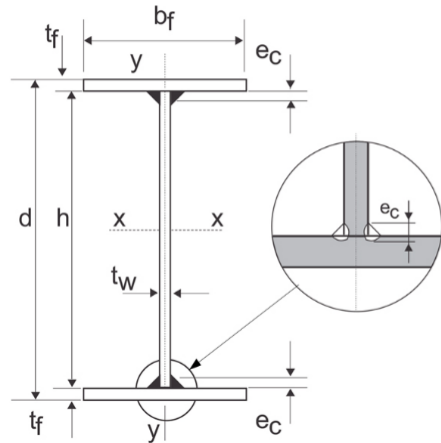
Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

PERFIS ESTRUTURAIS SOLDADOS



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

PERFIS ESTRUTURAIS SOLDADOS



Abreviaturas e propriedades

d : Altura do Perfil

bf : Largura da Mesa

tw : Espessura da alma

tf : Espessura da mesa

h : Altura da alma

*ec : Perna efetiva do cordão de solda (dimensão efetiva mínima do filete, compatível com a maior espessura do metal base na junta).

A : Área da seção transversal

P : Peso do perfil por metro linear, excluindo peso dos filetes de solda.

U : Área de pintura por metro linear.

EIXO x_x : Linha paralela à mesa, que passa pelo centro de gravidade da seção transversal do perfil

EIXO y_y : Linha perpendicular ao eixo $x-x$ que passa pelo centro de gravidade da seção transversal do perfil.

I_x = Momento de inércia em relação ao eixo $x-x$

$W_x = 2I_x/d$ - Módulo de resistência elástico da seção em relação ao eixo $x-x$

$r_x = \sqrt{I_x/A}$ Raio de giração em relação ao eixo $x-x$

Z_x = Módulo de resistência plástica em relação ao eixo $x-x$

I_y = Momento de inércia em relação ao eixo $y-y$

$W_y = 2I_y/br$ - Módulo de resistência elástico da seção em relação ao eixo $y-y$

$r_y = \sqrt{I_y/A}$ Raio de giração em relação ao eixo $x-x$

Z_y = Módulo de resistência plástica em relação ao eixo $y-y$

rT = Raio de giração da seção formada pela mesa comprimida mais 1/6 da alma em relação ao eixo $y-y$

$IT = [(h + tf) \cdot tw^3 + 2 \cdot bf \cdot tf^3]/3$ - Momento de inércia à torção

* A resistência dos dois filetes mínimos em alguns perfis não corresponde à resistência máxima da alma ao cisalhamento.

Tipos:

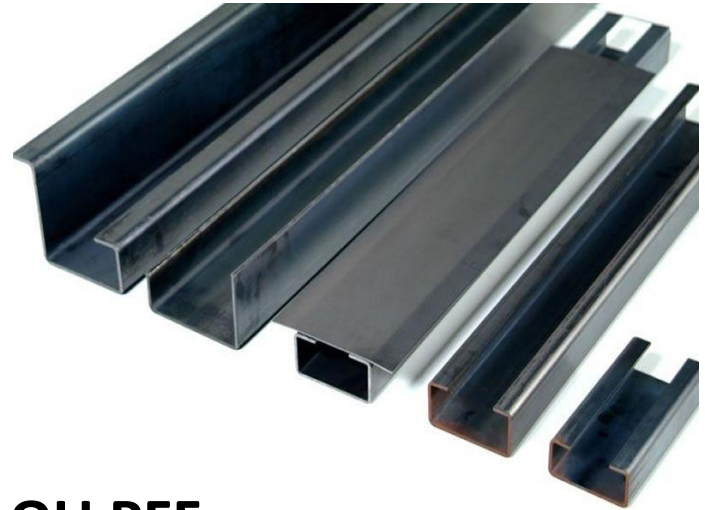
CS – Coluna Soldada ($d/bf \sim 1$)

VS – Viga Soldada ($d/bf \sim 2$)

CVS – Coluna-Viga Soldada ($d/bf \sim 1,5$)

Podem ser elaborados perfis personalizados, com abas, e almas, nervuras, variação de seção, altura, furação, etc

PERFIS ESTRUTURAIS DOBRADOS



**CHAMADO PERFIL FORMADO A FRIO OU PFF
CÁLCULO BASEADO EM NORMA ESPECÍFICA:
NBR14.762/2010**

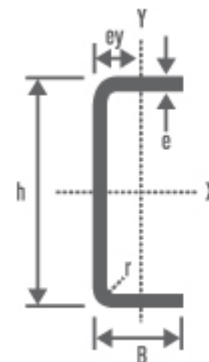
**CHAPAS FINAS: Em geral $< 5\text{mm}$
ESPESSURA CONSTANTE
MAIS LEVES.**

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

PERFIS ESTRUTURAIS DOBRADOS

U DOBRADO SIMPLES

Dimensão			S	P	Jx	Wx	ix	ey	Jy	Wy	iy
h	B	e=r	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm
mm	mm	mm									
50	25	2,00	1,75	1,38	6,66	2,60	1,94	0,71	1,07	0,60	0,78
		2,25	2,07	1,62	7,70	3,00	1,92	0,73	1,26	0,71	0,77
		2,65	2,38	1,86	8,66	3,40	1,90	0,75	1,43	0,82	0,77
		3,00	2,67	2,10	9,55	3,80	1,88	0,77	1,59	0,92	0,77
75	38	2,00	2,80	2,20	25,10	6,60	2,99	1,12	4,55	1,58	1,27
		2,25	3,32	2,61	29,43	7,80	2,97	1,14	5,37	1,88	1,27
		2,65	3,84	3,01	33,56	8,90	2,95	1,16	6,15	2,17	1,26
		3,00	4,35	3,41	37,49	9,90	2,93	1,18	6,91	2,45	1,26
100	40	4,75	6,48	5,09	52,75	14,00	2,85	1,27	10,00	3,66	1,24
		2,00	3,27	2,57	49,01	9,80	3,86	0,97	4,99	1,65	1,23
		2,25	3,89	3,06	57,67	11,50	3,84	0,99	5,89	1,96	1,22
		2,65	4,51	3,54	65,99	13,10	3,82	1,01	6,76	2,26	1,22
100	50	3,00	5,11	4,01	73,99	14,70	3,80	1,03	7,61	2,56	1,22
		4,75	7,67	6,02	105,90	21,10	3,71	1,11	11,09	3,84	1,20
		2,00	3,65	2,87	58,15	11,60	3,98	1,34	9,24	2,52	1,58
		2,25	4,35	3,41	68,55	13,70	3,96	1,36	10,94	3,00	1,58
127	50	2,65	5,04	3,95	78,60	15,70	3,94	1,38	12,59	3,48	1,58
		3,00	5,71	4,48	88,29	17,60	3,92	1,40	14,20	3,94	1,57
		4,75	8,63	6,77	127,50	25,40	3,84	1,48	20,89	5,84	1,55
		2,00	4,17	3,27	101,30	15,90	4,92	1,19	9,94	2,61	1,54
150	50	2,25	4,97	3,90	119,60	18,80	4,90	1,20	11,78	3,10	1,53
		2,65	5,76	4,52	137,50	21,60	4,88	1,22	13,57	3,59	1,53
		3,00	6,53	5,13	154,80	24,30	4,86	1,24	15,32	4,08	1,53
		4,75	9,91	7,78	225,90	35,50	4,77	1,32	22,66	6,16	1,51
200	50	2,00	4,60	3,61	149,90	19,90	5,70	1,08	10,42	2,66	1,50
		2,25	5,49	4,31	177,40	23,60	5,68	1,10	12,35	3,17	1,49
		2,65	6,37	5,00	204,10	27,20	5,65	1,12	14,24	3,67	1,49
		3,00	7,23	5,68	230,10	30,60	5,63	1,13	16,08	4,16	1,49
200	50	4,75	11,01	8,64	338,00	45,00	5,54	1,21	23,84	6,30	1,47
		2,00	5,55	4,39	299,30	29,90	7,33	0,91	11,20	2,74	1,41
		2,25	6,63	5,20	354,90	35,40	7,31	0,93	13,28	3,26	1,41
		2,65	7,70	6,04	409,30	40,90	7,28	0,95	15,32	3,78	1,41
200	50	3,00	8,75	6,87	462,40	46,20	7,26	0,96	17,31	4,29	1,40
		4,75	13,39	10,51	686,20	68,60	7,15	1,04	25,76	6,51	1,38

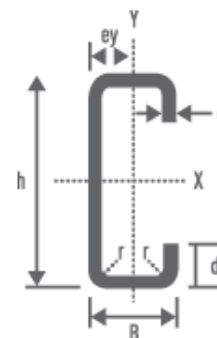


S = área de secção
 P = peso estimado por metro
 Jx = momento de inércia (eixo X)
 Wx = módulo de resistência (eixo X)
 ix = raio de giro (eixo X)
 ey = distância da linha neutra
 Jy = momento de inércia (eixo Y)
 Wy = módulo de resistência (eixo Y)
 iy = raio de giro (eixo Y)

PERFIS ESTRUTURAIS DOBRADOS

U DOBRADO ENRIJECIDO

Dimensão				S	P	Jx	Wx	ix	ey	Jy	Wy	iy
h	B	d	e=r	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm
mm	mm	mm	mm									
50	25	10	2,00	2,00	1,57	7,40	2,96	1,92	0,92	1,68	1,06	0,92
			2,25	2,33	1,83	8,40	3,36	1,90	0,92	1,87	1,18	0,90
			2,65	2,64	2,07	9,28	3,71	1,88	0,91	2,02	1,28	0,88
			3,00	2,92	2,30	10,04	4,01	1,85	0,91	2,15	1,35	0,86
75	40	15	2,00	3,23	2,54	28,46	7,59	2,97	1,50	7,43	2,97	1,52
			2,25	3,81	2,99	33,01	8,80	2,94	1,49	8,52	3,40	1,50
			2,65	4,37	3,43	37,25	9,93	2,92	1,49	9,50	3,78	1,48
			3,00	4,90	3,85	41,18	10,98	2,90	1,48	10,38	4,13	1,46
100	50	17	2,00	4,16	3,27	66,05	13,20	3,98	1,78	14,87	4,61	1,89
			2,25	4,93	3,87	77,21	15,44	3,96	1,77	17,21	5,33	1,87
			2,65	5,67	4,45	87,80	17,56	3,94	1,77	19,36	5,99	1,85
			3,00	6,39	5,02	97,83	19,57	3,91	1,76	21,35	6,59	1,83
127	50	17	2,00	4,68	3,67	115,45	18,18	4,97	1,59	16,17	4,74	1,86
			2,25	5,54	4,35	135,33	21,31	4,94	1,59	18,71	5,48	1,84
			2,65	6,39	5,01	154,31	24,30	4,92	1,58	21,07	6,17	1,82
			3,00	7,21	5,66	172,40	27,15	4,89	1,58	23,24	6,79	1,80
150	60	20	2,00	5,61	4,40	195,38	26,05	5,90	1,92	28,36	6,95	2,25
			2,25	6,66	5,23	229,93	30,66	5,88	1,91	33,03	8,08	2,23
			2,65	7,69	6,04	263,19	35,09	5,85	1,91	37,42	9,15	2,21
			3,00	8,70	6,83	295,19	39,36	5,82	1,91	41,53	10,14	2,18
200	75	25	2,65	10,08	7,92	614,20	61,42	7,80	2,32	77,80	15,02	2,78
			3,00	11,44	8,98	691,93	69,19	7,78	2,32	86,90	16,76	2,76
			3,35	12,76	10,02	766,84	76,68	7,75	2,31	95,46	18,40	2,73
			3,75	14,07	11,04	839,21	83,92	7,72	2,31	103,55	19,94	2,71
			4,25	15,35	12,05	909,31	90,93	7,70	2,30	111,20	21,40	2,69
			4,75	17,26	13,55	1012,80	101,28	7,66	2,30	123,17	23,67	2,67

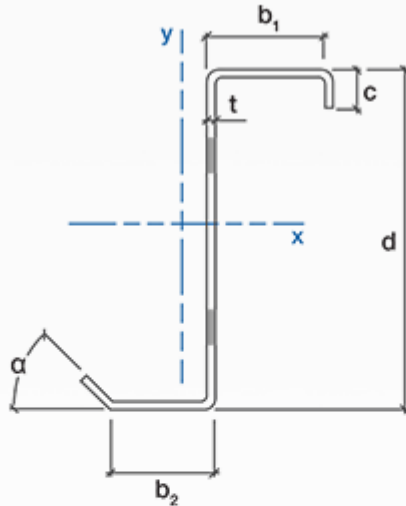


S = área de seção
 P = peso estimado por metro
 Jx = momento de inércia (eixo X)
 Wx = módulo de resistência (eixo X)
 ix = raio de giro (eixo X)
 ey = distância da linha neutra
 Jy = momento de inércia (eixo Y)
 Wy = módulo de resistência (eixo Y)
 iy = raio de giro (eixo Y)

PERFIS ESTRUTURAIS DOBRADOS

Z DOBRADO ENRIJECIDO

■ PERFIS TIPO Z



Altura (d)	100 a 400mm
Mesa Superior (b1)	50 a 100mm
Mesa Inferior (b2)	50 a 100mm
Enrijecedores (c)	18 a 24mm
Espessura (t)	2,00 a 3,65mm
Ângulo Enrijecedor (α)	55° a 90°

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS: MÉTODOS DE OBTENÇÃO:

Método 1 – TABELAS DE PERFIS

Método 2 – Manualmente

Método 3 – Utilizando um software CAD

Método 4 – Utilizando CameliaX (para perfis dobrados).

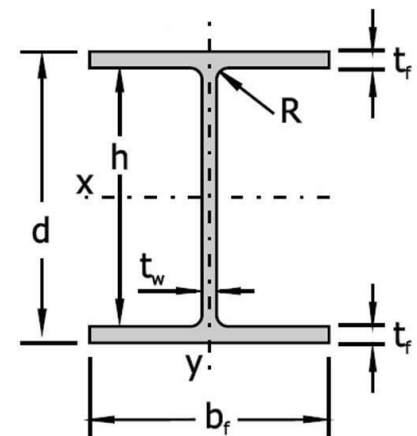
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

ÁREA DE SEÇÃO TRANSVERSAL:

Representa a quantidade de material existente num perfil.

Expressos em cm^2 , geralmente encontra-se em todas as tabelas de perfis.

IMPORTANTE NO CÁLCULO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

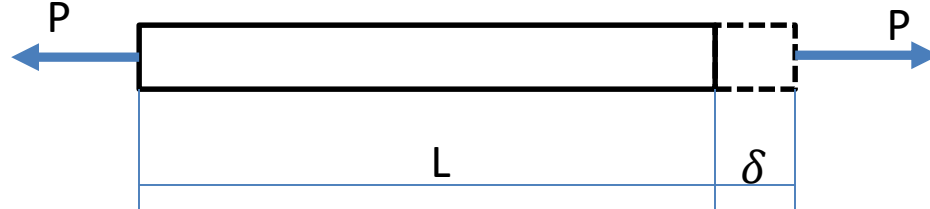


PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Alongamento de uma barra qualquer:

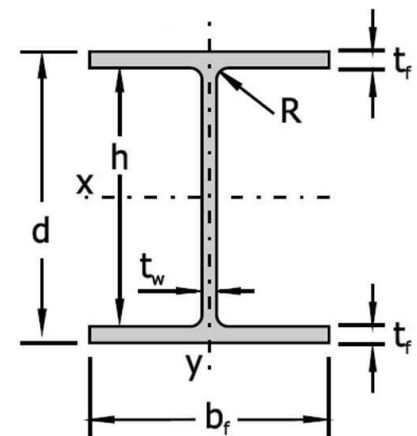
Se a tensão de tração for uniformemente distribuída e constante e o material for sempre o mesmo com mesma seção transversal o alongamento de uma barra submetida à tração axial (dentro do regime elástico) se dará por:

$$\delta = \frac{P \cdot L}{E \cdot A}$$



PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

- Centro de Gravidade (CG):
- Representa o ponto de convergência das forças gravitacionais numa figura geométrica qualquer.
- Importante para extrair outras propriedades



PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

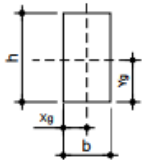
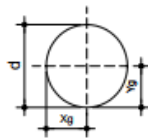
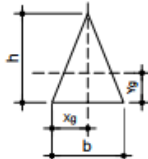
- Momento de inércia I_x e I_y
- Representa a quantidade de material que
- se deposita fora do centro de gravidade.

Quanto mais material longe do centro de gravidade, maior o momento de inércia

IMPORTANTE NO CÁLCULO DE FLECHAS E TENSÕES EM PONTOS ESPECÍFICOS

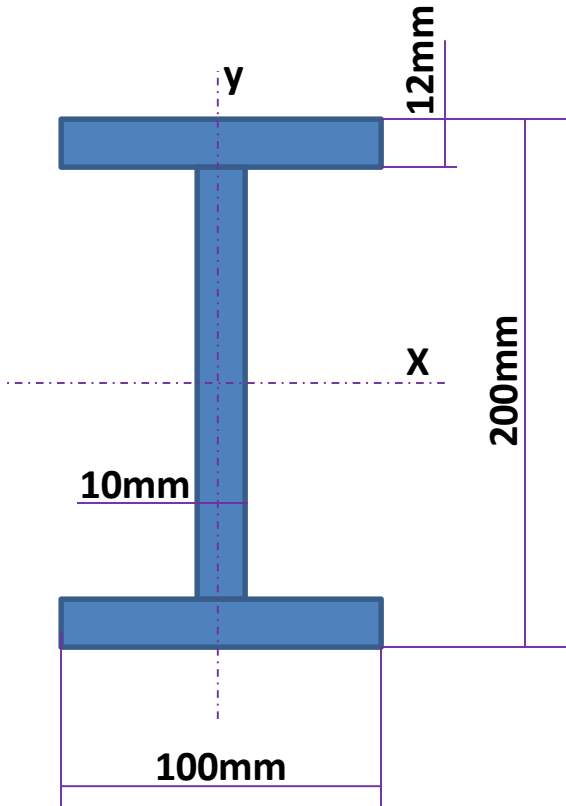
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

- Propriedades de figuras planas básicas

SEÇÕES PLANAS					
FIGURA	ÁREA	C.G.	MOMENTO INÉRCIA	RAIO DE GIRAÇÃO	MOMENTO RESISTENTE
	$A = b \times h$	$x_g = \frac{b}{2}$ $y_g = \frac{h}{2}$	$I_x = \frac{b \times h^3}{12}$ $I_y = \frac{h \times b^3}{12}$	$r_x = \frac{h}{\sqrt{12}}$ $r_y = \frac{b}{\sqrt{12}}$	$W_x = \frac{b \times h^2}{6}$ $W_y = \frac{h \times b^2}{6}$
	$A = \frac{\pi \times d^2}{4}$	$x_g = \frac{d}{2}$ $y_g = \frac{d}{2}$	$I = \frac{\pi \times d^4}{64}$	$r_x = \frac{d}{4}$ $r_y = \frac{d}{4}$	$W = \frac{\pi \times d^3}{32}$
	$A = \frac{b \times h}{2}$	$x_g = \frac{b}{2}$ $y_g = \frac{h}{3}$	$I_x = \frac{b \times h^3}{36}$ $I_y = \frac{h \times b^3}{36}$	$r_x = 0,23 \times h$ $r_y = 0,23 \times b$	$W_x = \frac{b \times h^2}{24}$ $W_y = \frac{h \times b^2}{24}$

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

- Exemplo



$$I_x = \sum I_n + A \cdot d_y^2$$

$$I_x = 2 \cdot \left[\left(\frac{10 \cdot 1,2^3}{12} + \frac{1,0 \cdot (10 - 1,2)^3}{12} \right) + (1,2 \cdot 10 \cdot (10 - 0,6)^2 + (1,0 \cdot (10 - 1,2) \cdot 4,4^2) \right]$$

$$I_x = 2577,83 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \sum I_n + A \cdot d_x^2$$

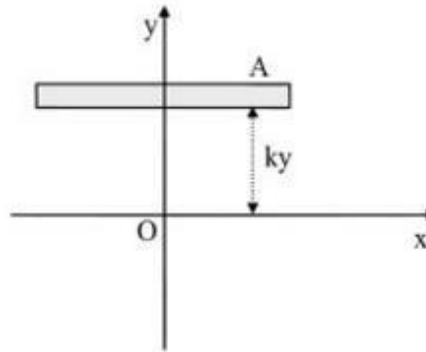
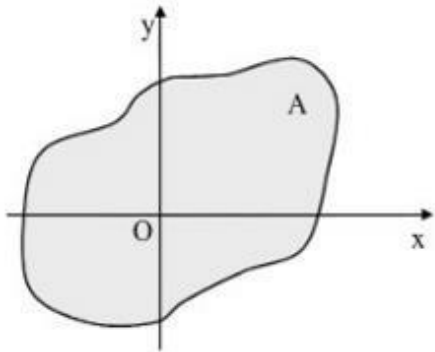
$$I_y = 2 \cdot \left[\left(2 \cdot \frac{1,2 \cdot 5^3}{12} + \frac{17,6 \cdot (0,5)^3}{12} \right) + (2 \cdot 1,2 \cdot 5 \cdot (2,5)^2 + (17,6 \cdot 0,5 \cdot (0,25)^2) \right]$$

$$I_y = 201,47 \text{ cm}^4$$

Atenção para peças com raios de curvatura, isso faz diferença significativa

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Raio de Giração r_x e r_y



$$I_x = k_x^2 \cdot A \quad \therefore \quad k_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad \text{analogamente} \quad k_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad e \quad k_o = \sqrt{\frac{J_o}{A}} \quad (\text{polar})$$

$$\text{Como } J_o = I_x + I_y \quad \text{temos} \quad k_o^2 = k_x^2 + k_y^2$$

Imagem por: <http://www.gdace.uem.br/rome/MDidatico/Estatica/JoaoDirceu/>

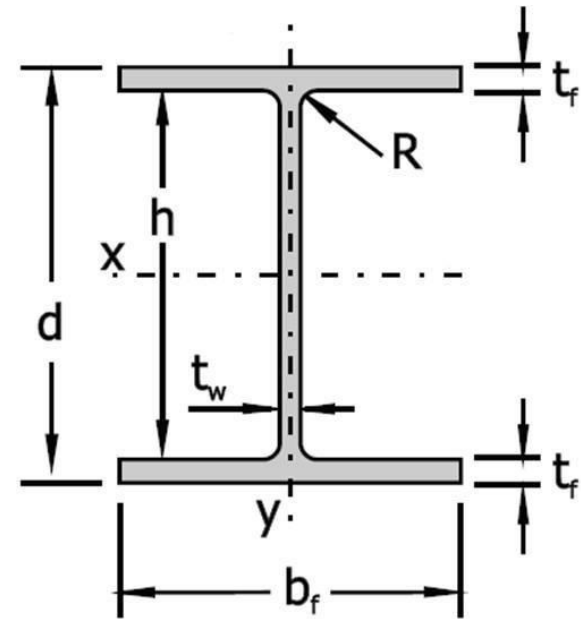
IMPORTANTE NOS ESTUDOS DE PEÇAS COMPRIMIDAS

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Momento resistente Elástico W_x e W_y

$$W_x = \frac{I_x}{d/2}$$

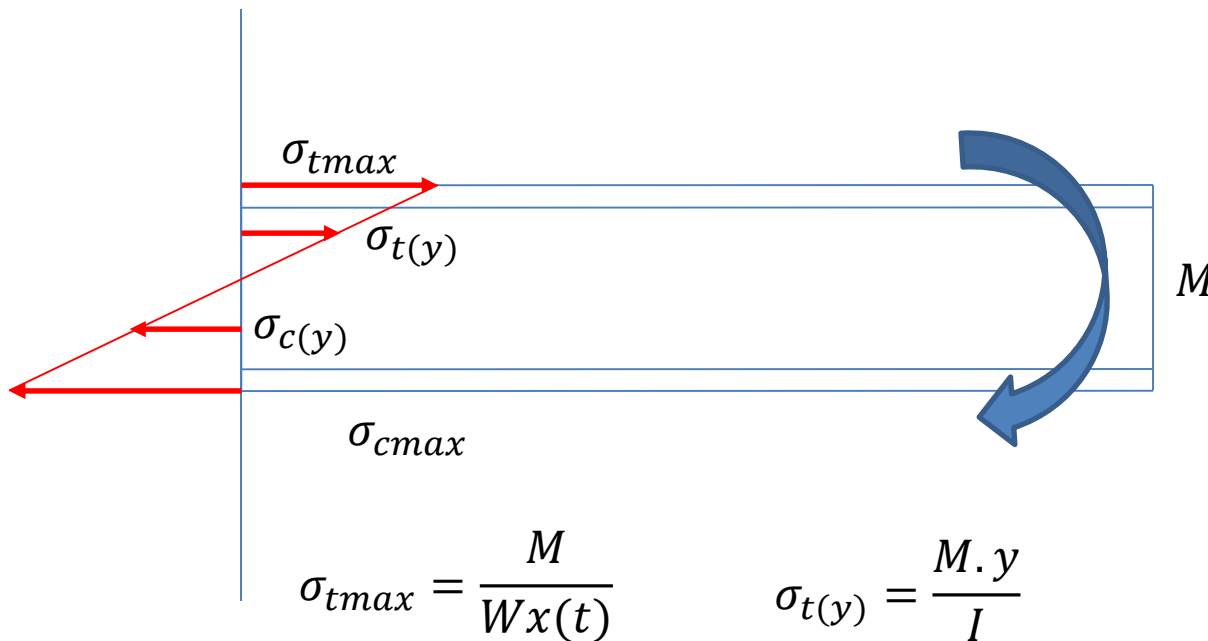
$$W_y = \frac{I_y}{b_f/2}$$



USADO NO CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DOS PERFIS AO MOMENTO FLETOR

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Momento resistente Elástico W_x e W_y



$$\sigma_{tmax} = \frac{M}{W_x(t)}$$

$$\sigma_{t(y)} = \frac{M \cdot y}{I}$$

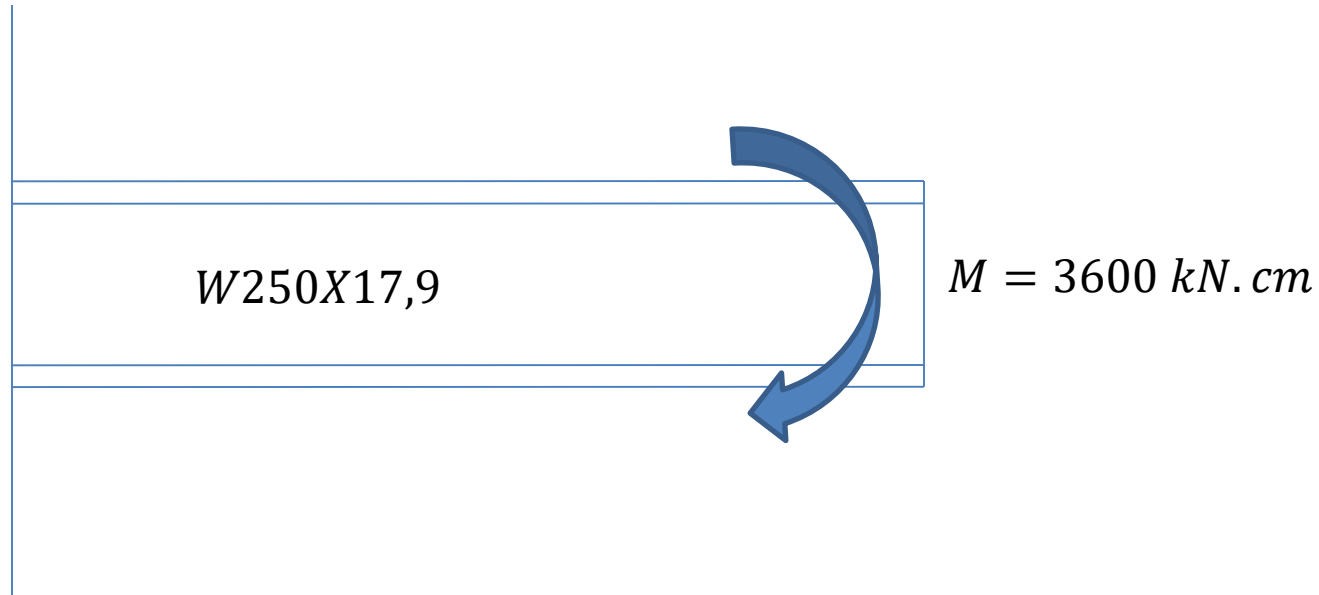
$$\sigma_{cmax} = \frac{M}{W_x(c)}$$

Disso se extrai a equação básica do Momento Resistente:

$$M_{Rd} = W \cdot F_y$$

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Exemplo: Qual a força de tração a ser utilizada no dimensionamento da solda na mesa superior desse perfil?



PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

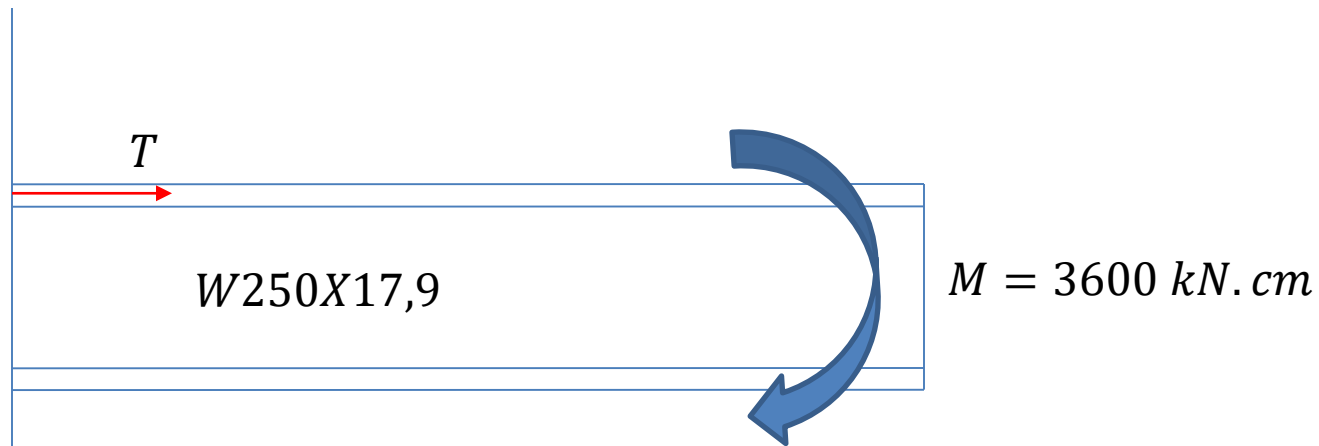
PERFIS
GERDAU AÇOMINAS

TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _f mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r _i cm	I _x cm ⁴	ESBELTEZ		C _w cm ⁴	u m ² /m	BITOLA mm x kg/m
				t _w mm	t _f mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³			ABA - λ ₁ b _f /2t _f	ALMA - λ ₂ d'/t _w			
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4.181	0,67	W 150 x 13,0
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48	6.683	0,69	W 150 x 18,0
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1.229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20.417	0,88	W 150 x 22,5 (H)
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1.384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48	10.206	0,69	W 150 x 24,0
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30.277	0,90	W 150 x 29,8 (H)
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2.244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67	39.930	0,91	W 150 x 37,1 (H)
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44	8.222	0,77	W 200 x 15,0
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1.686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31	11.098	0,79	W 200 x 19,3
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2.029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42	13.868	0,79	W 200 x 22,5
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2.611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34	32.477	0,92	W 200 x 26,6
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3.168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50	40.822	0,93	W 200 x 31,3
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3.437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90	69.502	1,03	W 200 x 35,9 (H)
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4.114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86	83.948	1,04	W 200 x 41,7 (H)
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4.543	447,6	8,81	495,3	1.535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36	141.342	1,19	W 200 x 46,1 (H)
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5.298	514,4	8,90	572,5	1.784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85	166.710	1,19	W 200 x 52,0 (H)
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4.977	488,0	8,55	551,3	1.673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28	155.075	1,20	HP 200 x 53,0 (H)
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6.140	584,8	8,99	655,9	2.041	199,1	5,18	303,0	5,64	47,69	7,22	17,32	195.418	1,20	W 200 x 59,0 (H)
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7.660	709,2	9,17	803,2	2.537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80	249.976	1,22	W 200 x 71,0 (H)
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9.498	855,7	9,26	984,2	3.139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06	317.844	1,23	W 200 x 86,0 (H)
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2.291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,92	13.735	0,88	W 250 x 17,9
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2.939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97	18.629	0,89	W 250 x 22,3
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3.473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4	2,58	7,06	6,07	36,10	22.955	0,89	W 250 x 25,3
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4.046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9	2,62	10,34	5,10	34,38	27.636	0,90	W 250 x 28,4
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4.937	382,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7	3,86	10,44	8,02	36,03	73.104	1,07	W 250 x 32,7
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6.057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1	3,93	17,63	6,56	33,27	93.242	1,08	W 250 x 38,5
W 250 x 44,8	44,8	266	148	7,6	13,0	240	220	57,6	7.158	538,2	11,15	606,3	704	95,1	3,50	146,4	3,96	27,14	5,69	28,95	112.398	1,09	W 250 x 44,8
HP 250 x 62,0 (H)	62,0	246	256	10,5	10,7	225	201	79,6	8.728	709,6	10,47	790,5	2.995	234,0	6,13	357,8	6,89	33,46	11,96	19,10	417.130	1,47	HP 250 x 62,0 (H)
W 250 x 73,0 (H)	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	11.257	889,9	11,02	983,3	3.880	305,5	6,47	463,1	7,01	56,94	8,94	23,33	552.900	1,48	W 250 x 73,0 (H)
W 250 x 80,0 (H)	80,0	256	255	9,4	15,6	225	201	101,9	12.550	980,5	11,10	1.088,7	4.313	338,3	6,51	513,1	7,04	75,02	8,17	21,36	622.878	1,49	W 250 x 80,0 (H)
HP 250 x 85,0 (H)	85,0	254	260	14,4	14,4	225	201	108,5	12.280	966,9	10,64	1.093,2	4.225	325,0	6,24	499,6	7,00	82,07	9,03	13,97	605.403	1,50	HP 250 x 85,0 (H)
W 250 x 89,0 (H)	89,0	260	256	10,7	17,3	225	201	113,9	14.237	1.095,1	11,18	1.224,4	4.841	378,2	6,52	574,3	7,06	102,81	7,40	18,82	712.351	1,50	W 250 x 89,0 (H)
W 250 x 101,0 (H)	101,0	264	257	11,9	19,6	225	201	128,7	16.352	1.238,8	11,27	1.395,0	5.549	431,8	6,57	656,3	7,10	147,70	6,56	16,87	828.031	1,51	W 250 x 101,0 (H)
W 250 x 115,0 (H)	115,0	269	259	13,5	22,1	225	201	146,1	18.920	1.406,7	11,38	1.597,4	6.405	494,6	6,62	752,7	7,16	212,00	5,86	14,87	975.265	1,53	W 250 x 115,0 (H)

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Para facilitar: Calculamos a tensão máxima e consideramos uniformemente distribuída na mesa superior (por se tratar de dimensões reduzidas)

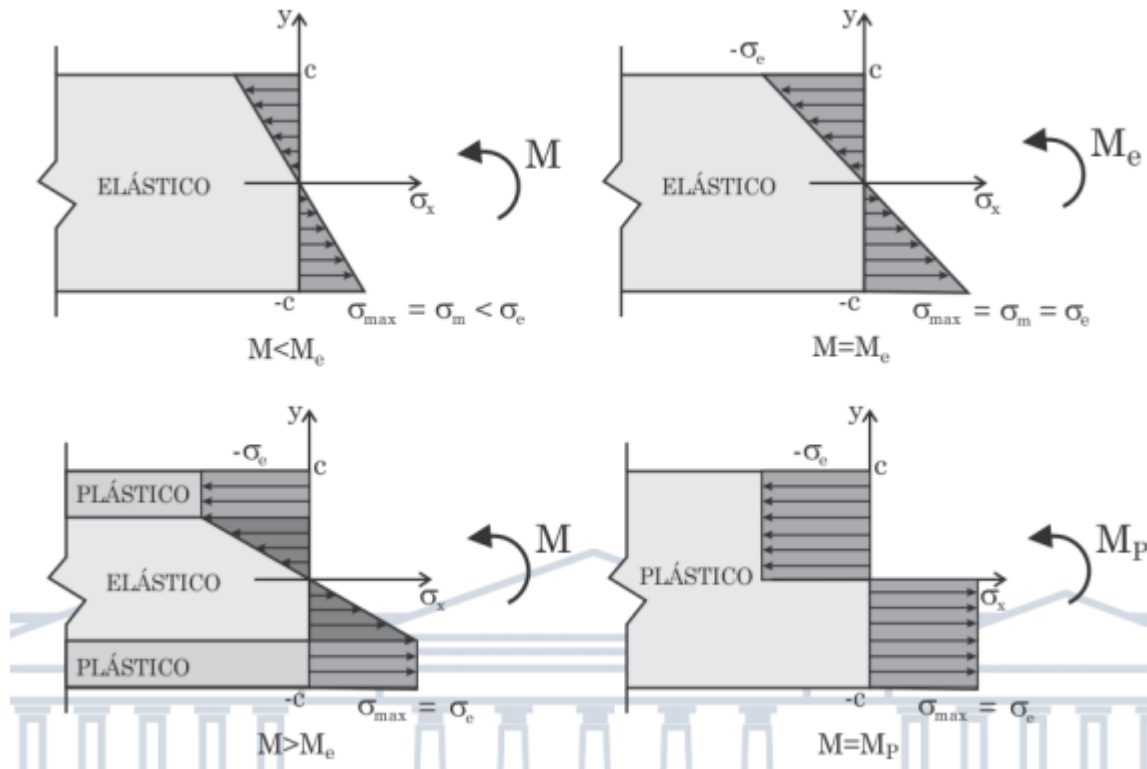


$$\sigma_{tmax} = \frac{M}{W_x} \quad \sigma_{tmax} = \frac{3600}{182,6} = 19,71 \text{ kN/cm}^2$$

$$T = \sigma_{tmax} \cdot A_m = 19,71 \cdot (10,1 \cdot 0,53) = 105,5 \text{ kN}$$

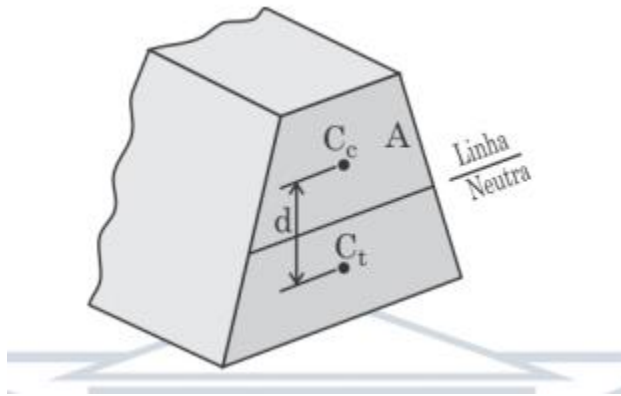
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Momento resistente Plástico Z_x e Z_y



PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Momento resistente Plástico Z_x e Z_y



$$Z = \frac{1}{2} \cdot A \cdot d$$

$$\text{Fator de forma } k = \frac{Z}{W} \rightarrow W250X17,9: k = \frac{211}{182,6} = 1,156$$

Esse número indica que a viga pode suportar um momento fletor 15,6% maior do que o que gera apenas tensões dentro dos limites de escoamento

Após esse valor a seção se plastifica completamente.