Universidade POSITIVO

# Sistemas Estruturais I – Aula 06
# Vigas de Alma Cheia (1)

- Introdução: Estados Limites Últimos para Vigas
- Ideias Básicas para o Dimensionamento de Vigas em Aço
- Classificação das Vigas Metálicas

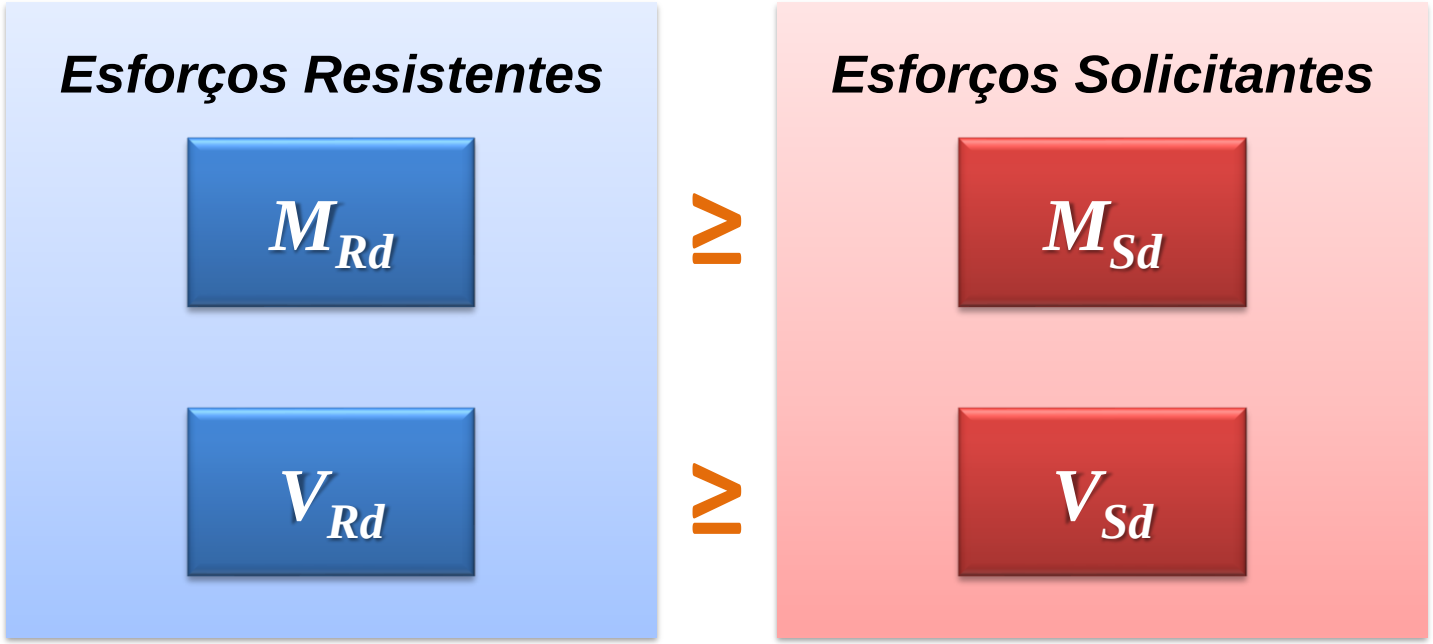
***Prof. Juliano J. Scremin***

Universidade POSITIVO

# Aula 06 - Seção 1:
# Introdução: Estados Limites Últimos para Vigas

# *Projeto de Vigas (1)*

- No projeto de vigas sujeitas a **flexão simples, no estado limite último**, calcula-se o **momento fletor e o esforço cortante resistentes de projeto** e procede-se a **comparação destes com os esforços solicitantes:**



# *Projeto de Vigas (2)*

- Além disso, devem ser verificados os deslocamentos no estado limite de utilização:

**Limites de Deslocamentos (flechas) previstos na norma NBR 8800/2008**

**≥**

**Deslocamentos (flechas) calculados / previstos**

# *Verificações de Resistência em Vigas*

- **A resistência à flexão das vigas pode ser afetada por:**

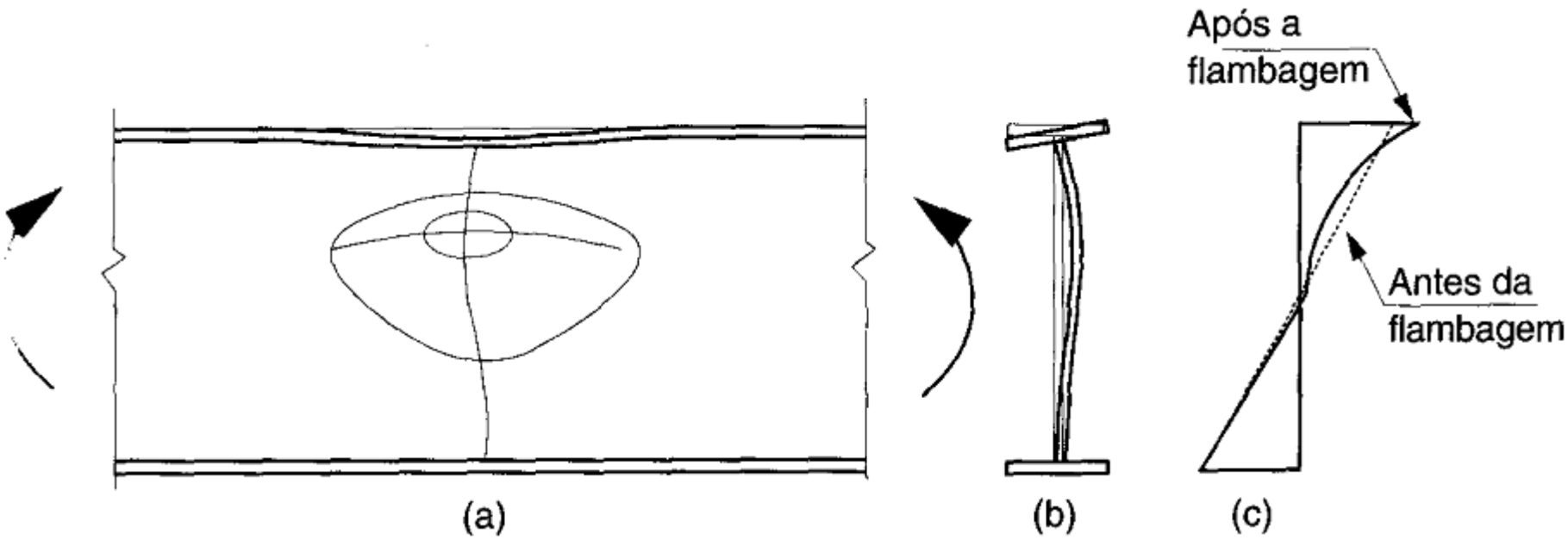
**Flambagem Local da Alma (FLA) e Flambagem Local da Mesa (FLM)**

- Perda de estabilidade das chapas comprimidas componentes do perfil.

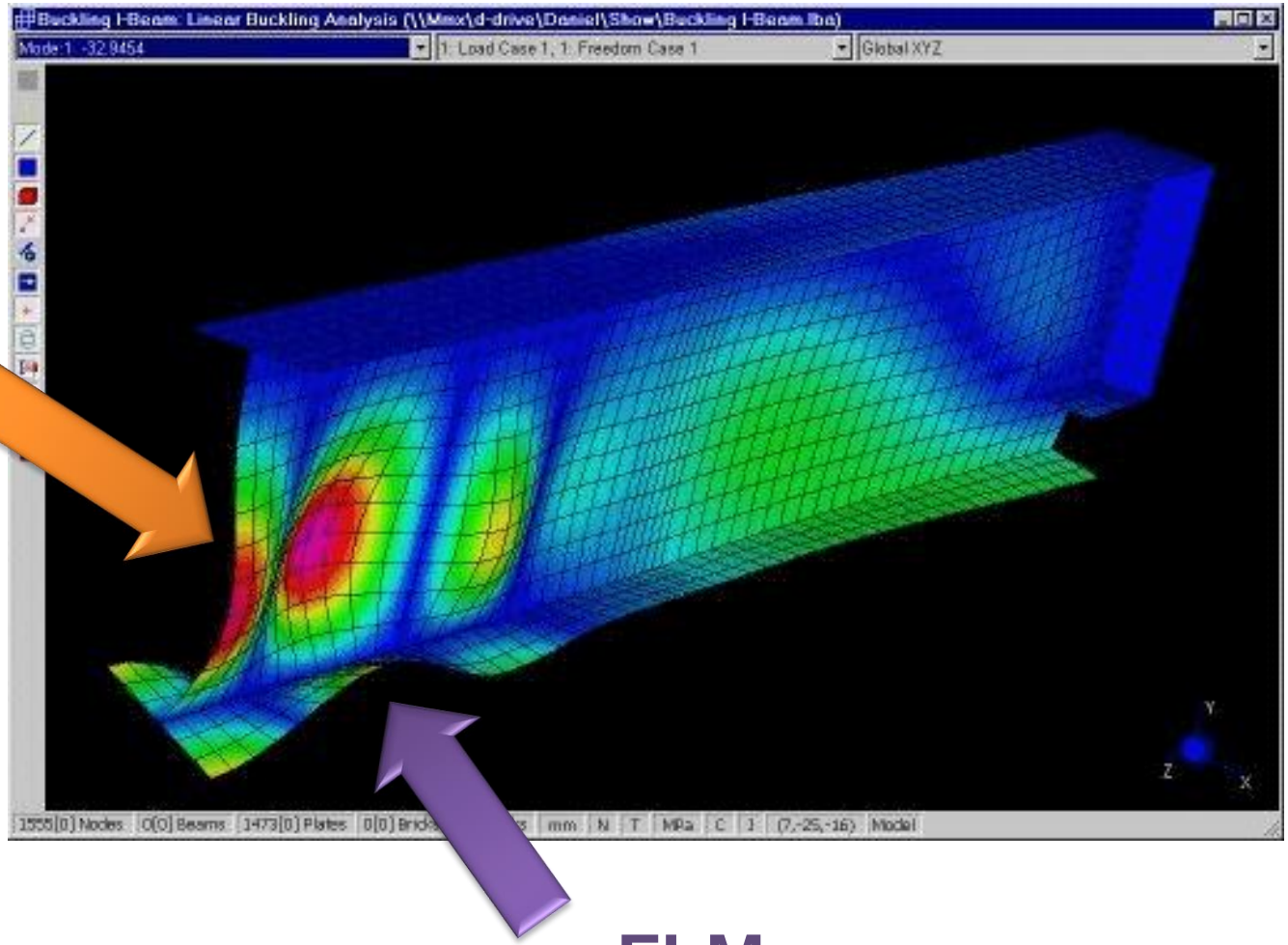
**Flambagem Lateral com Torção (FLT)**

- Perda de equilíbrio da viga no plano principal de flexão, passando a apresentar deslocamentos laterais e rotações (torção).
- Pode ser evitada por meio de contenção lateral da viga

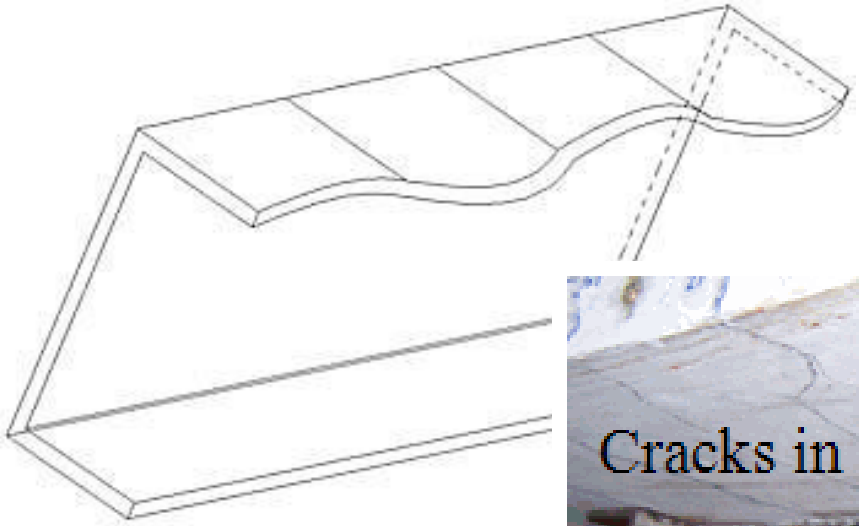
# *FLA – Flambagem Local da Alma (1)*

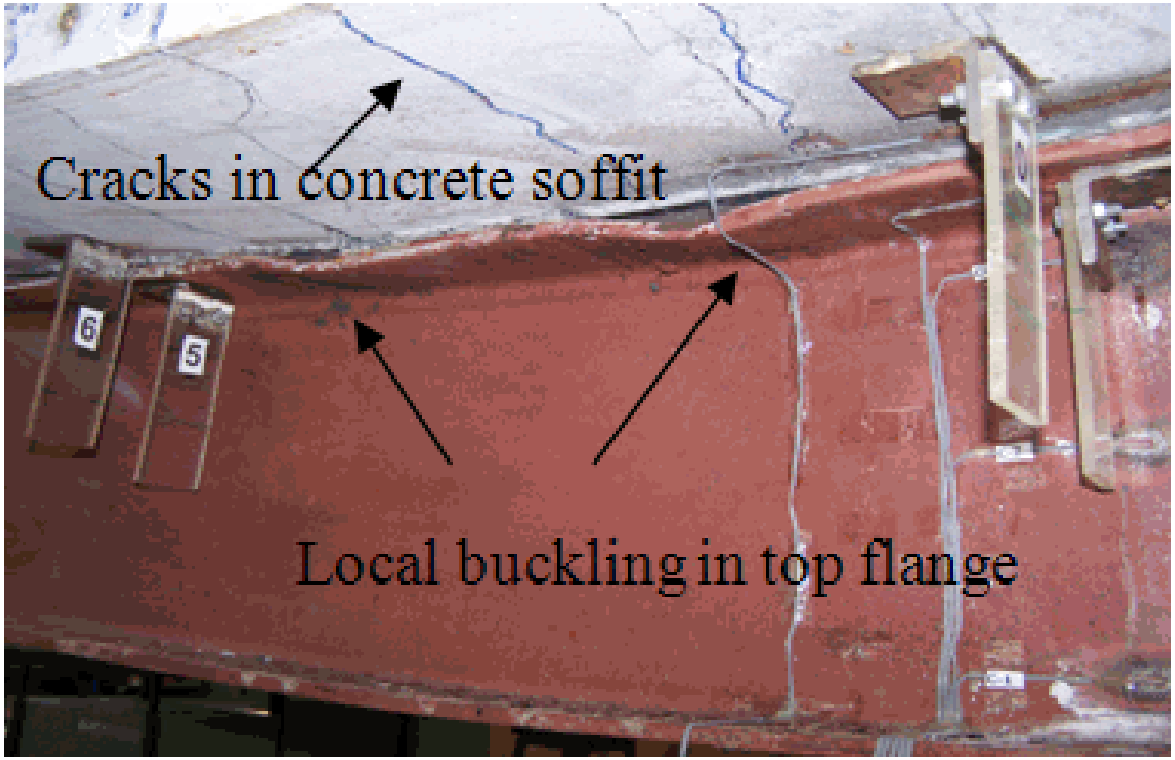


# FLA – Flambagem Local da Alma (2)

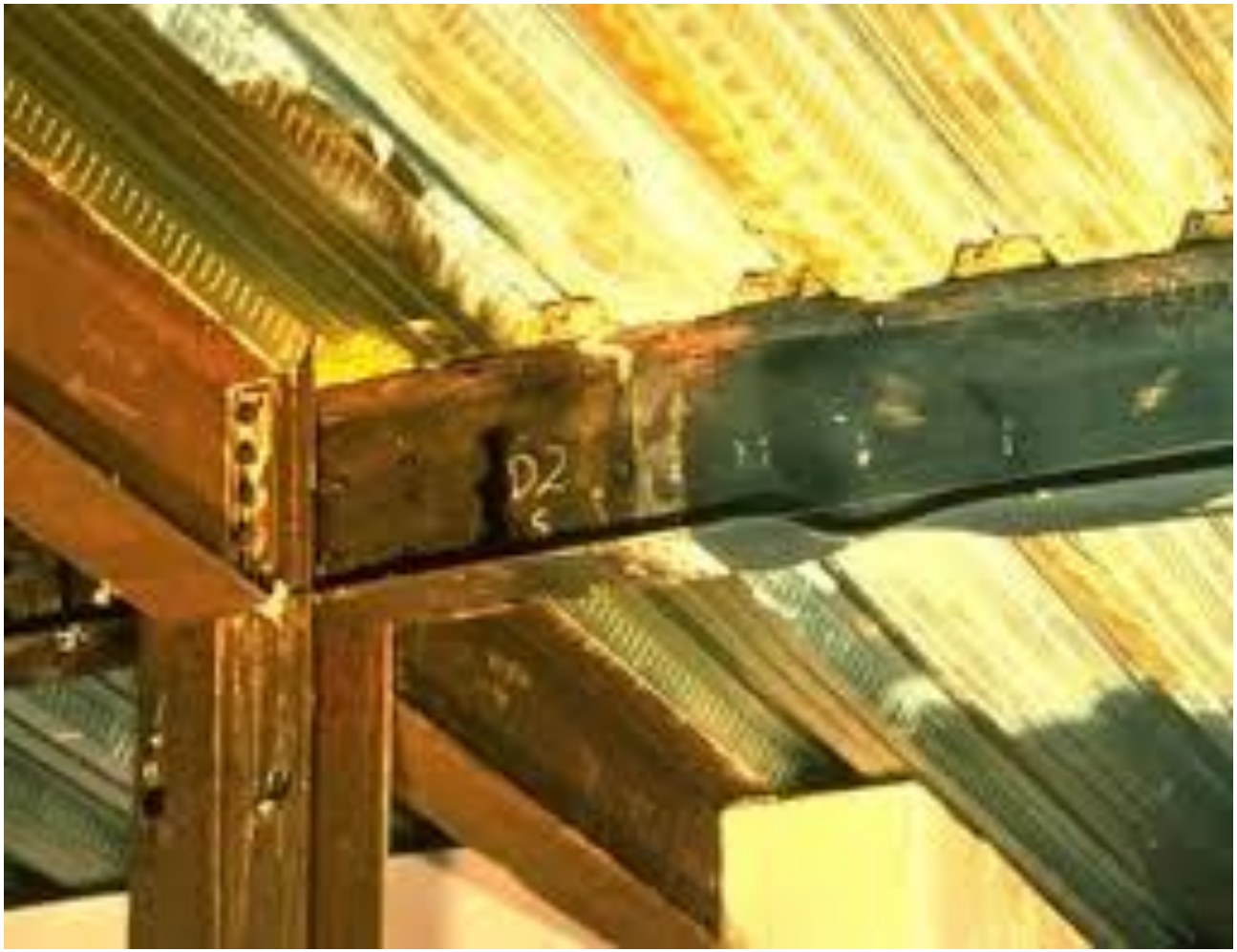


# FLM – Flambagem Local da Mesa (1)

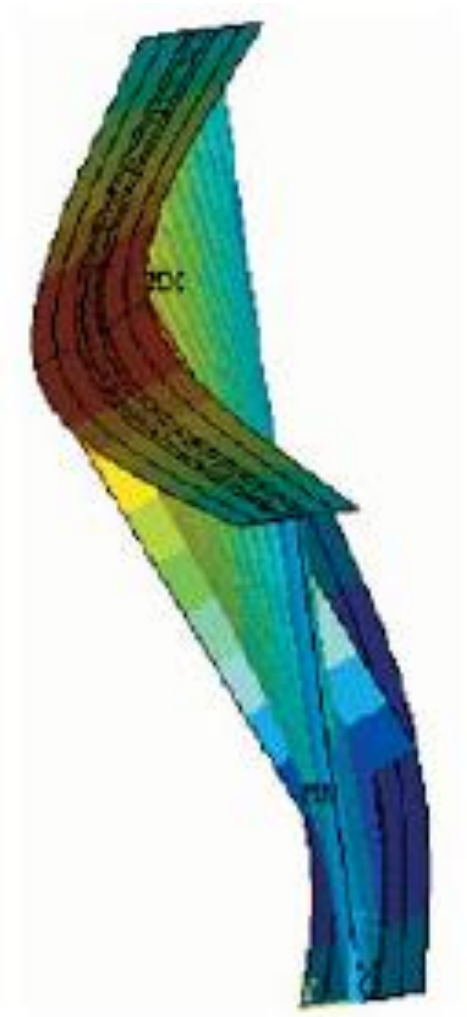




# FLM – Flambagem Local da Mesa (2)



# *FLT – Flambagem Lateral com Torção (1)*



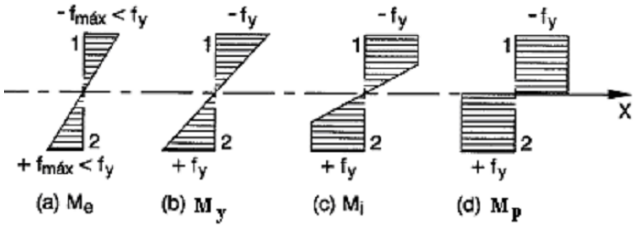


# FLT – Flambagem Lateral com Torção (2)

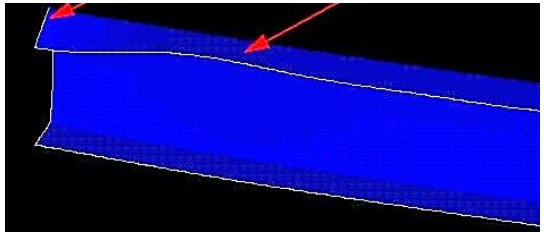


# *ELU para Momento Fletor:*

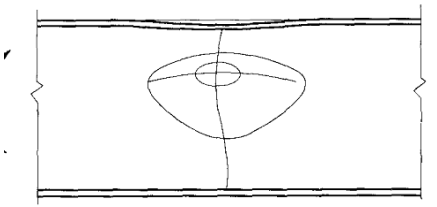
1. **Plastificação total da seção**



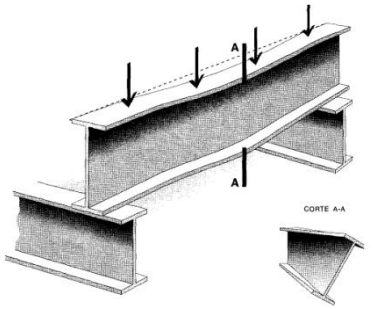

2. **Flambagem Local da Mesa (FLM)**



3. **Flambagem Local da Alma (FLA)**



4. **Flambagem Lateral com Torção (FLT)**



## *Vigas de Alma Cheia*

- **Alma Cheia** → distinção das vigas treliçadas
- **Perfis mais adequados:**
  - Com maior inércia em torno do eixo de flexão, ou seja, com as massas mais afastadas do eixo neutro;
- **Tipos construtivos:**
  - Perfis laminados I e U;
  - Perfis soldados;
  - Perfis compostos;

Universidade POSITIVO

# Aula 06 - Seção 2:
# Ideias Básicas para o Dimensionamento de Vigas em Aço

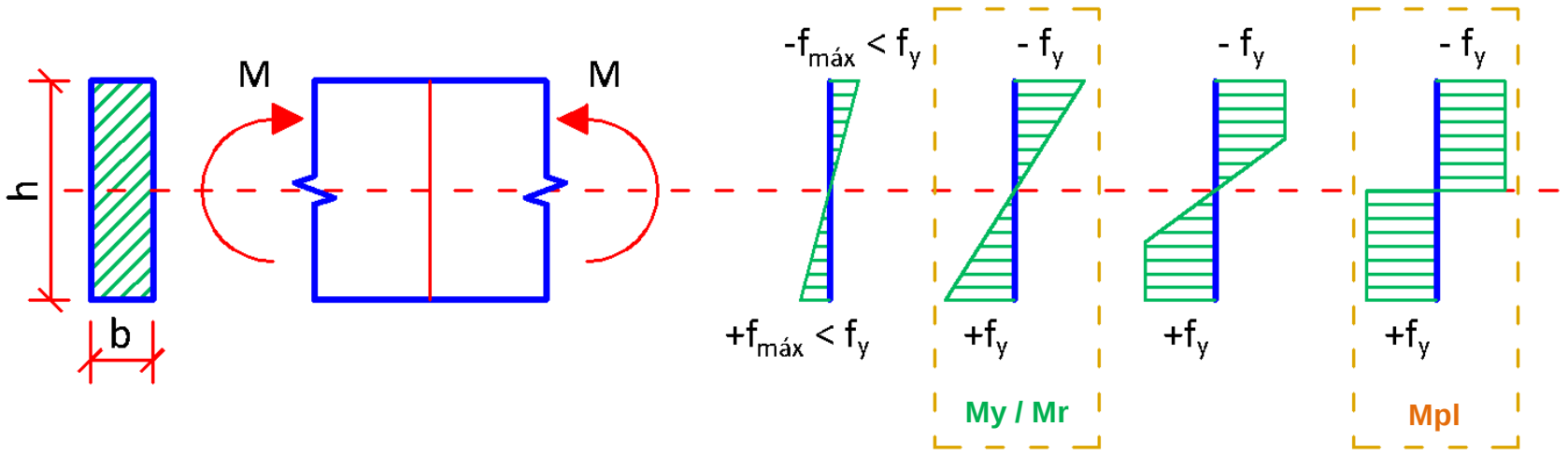
## *Princípio do Dimensionamento de Vigas*

- O dimensionamento de vigas parte basicamente da **verificação de perfis quanto à resistência as solicitações de flexão** (momento fletor);

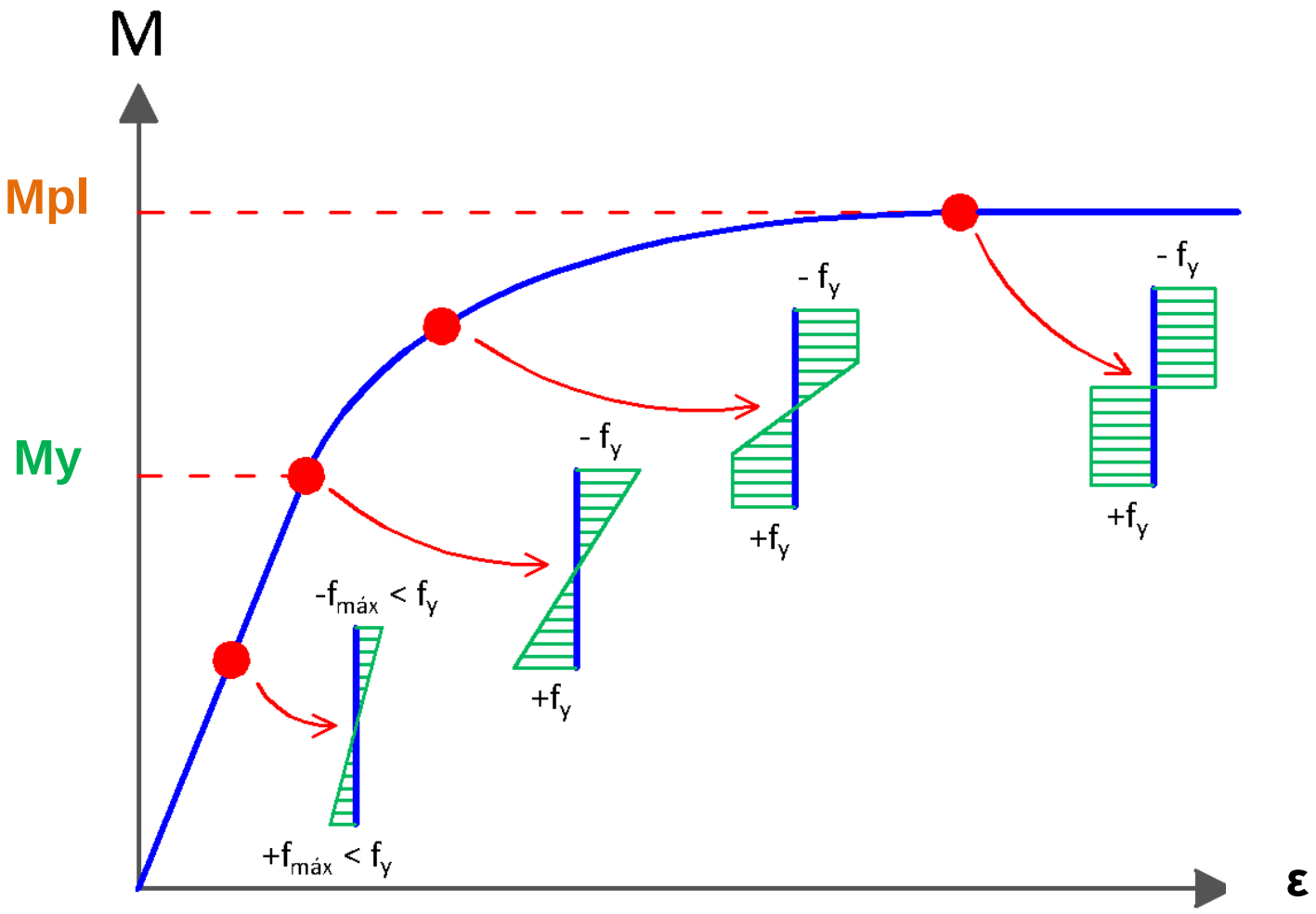
- Em um segundo momento, como **verificação complementar**, **é conferido se o mesmo perfil resiste ao esforço cortante** associado ao momento fletor inicialmente verificado.

# *Momentos de Plastificação (1)*

- **Momento de Início de Plastificação - My**
- **Momento de Plastificação Total - Mpl**



# *Momentos de Plastificação (2)*



# *Módulo Elástico (W)*

- Relação entre Momento Fletor ( em flexão simples reta ) e a tensão associada a este nos bordos inferior e superior de uma viga **( antes de se atingir a tensão de escoamento do aço )**:

$$\sigma_{máx} = \frac{M}{I} y_{máx} = \frac{M}{W} < fy$$

$$W = \frac{I}{y_{máx}}$$

**W = Módulo Elástico da Seção**

- Propriedade geométrica que determina o quanto de solicitação de flexão reta simples uma seção transversal é capaz de suportar, sem que ocorra nenhuma plastificação, em função do tipo de aço que ela é feita.

# *Momento de Início de Plastificação (My)*

- Igualando a tensão máxima solicitante ( função do momento aplicado ) à tensão de escoamento do material (considerando o início da plastificação):

$$\frac{M}{I} y_{máx} = \frac{M}{W} = fy$$

**My = Momento de Início de Plastificação**

$$M_y = W . fy$$

# *Módulo Plástico (Z)*

- Relação entre Momento Fletor ( em flexão simples reta ) e a tensão associada a este nos bordos inferior e superior de uma viga **quando toda a seção transversal já sofreu plastificação** :

$$Z = A_t . y_t + A_c . y_c$$

**Z = Módulo Plástico da Seção**

- Propriedade geométrica que determina o quanto de solicitação de flexão reta simples uma seção transversal é capaz de suportar na situação limite de estar completamente plastificada.

# *Momento de Plastificação Total (Mpl)*

- Igualando a tensão máxima solicitante ( função do momento aplicado ) à tensão de escoamento do material (considerando a plastificação total):

$$\frac{M}{Z} = fy$$

**Mpl = Momento de Plastificação Total**

$$M_{pl} = Z.f_y$$

# *Resumo da Terminologia:*

| Expressão | Nomenclatura |
|---|---|
| $W = I / y_{máx}$ | - Módulo Elástico da Seção Transversal |
| $Z = A_t * y_t + A_c * y_c$ | - Módulo Plástico da Seção Transversal |
| $M_y = W * f_y$ | - Momento de Início de Plastificação da Seção |
| $M_{pl} = Z * f_y$ | - Momento de Plastificação Total da Seção |
| $M_r = ( f_y - \sigma_r ) W$ | - Momento de Início de Plastificação da Seção porém considerando a possibilidade de redução de resistência devido à tensões residuais. |
| $M_{cr}$ | - Momento Fletor de Flambagem Elástica |

Universidade POSITIVO

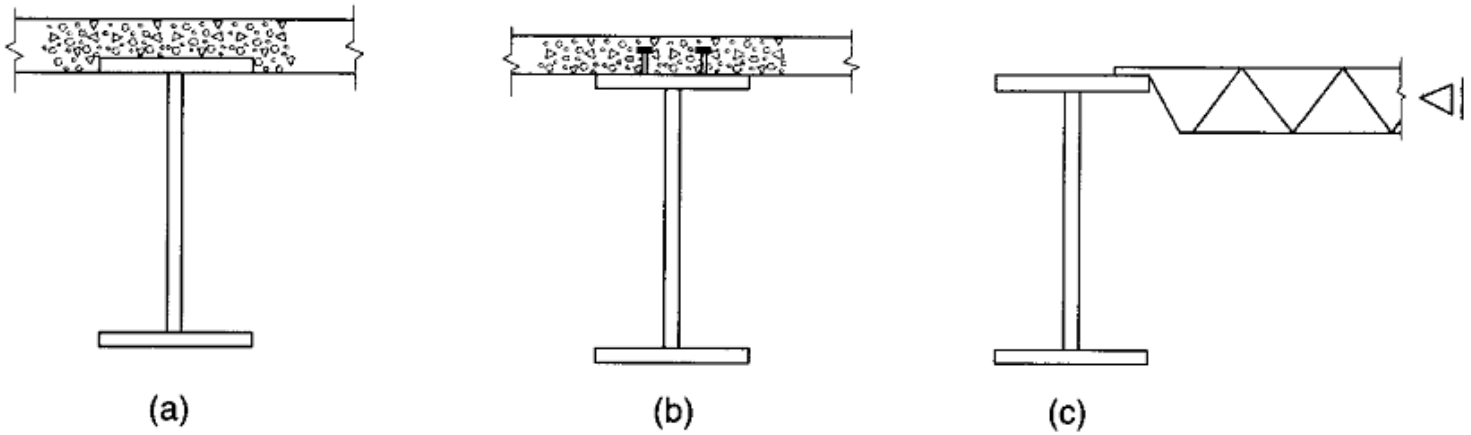
# Aula 06 - Seção 3:
# Classificações das Vigas Metálicas

# *Vigas Contidas ou Não Lateralmente*

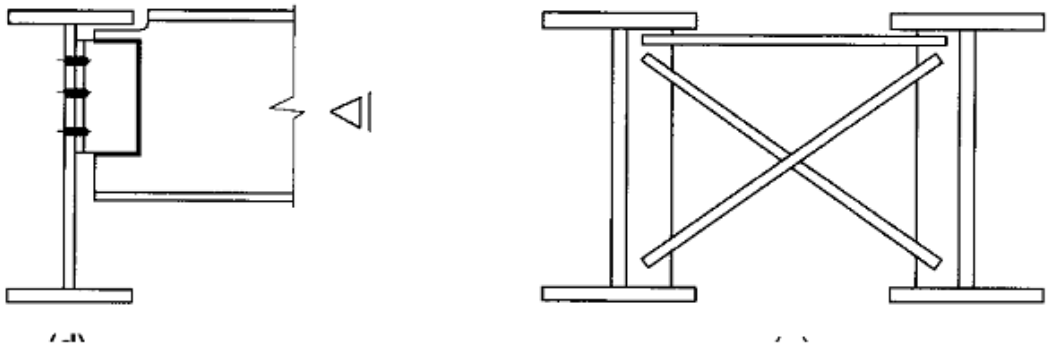
- O fato de uma viga metálica **ser ou não contida lateralmente** determina se ela está ou não sujeita aos efeitos de **Flambagem Lateral com Torção (FLT)**;

- **Disposições construtivas de contenção lateral:**
  - **Embebimento da mesa** comprimida em laje de concreto ou ligação mesa-laje por meio de conectores, criando contenção lateral contínua; **(sempre sem FLT)**
  - **Apoios laterais discretos** formados por quadros transversais, contraventamentos, etc. A distância entre estes apoios constitui o comprimento de ***flambagem lateral "lb"*** da viga; **("lb" define se ocorre ou não FLT)**

# *Dispositivos de Contenção Lateral*




Vigas com contenção lateral contínua (FLA e FLM)



Vigas com contraventamentos laterais (FLA, FLM e FLT)

# *Critérios de Classificação de Vigas Metálicas (1)*

- A primeira classificação a ser feita numa viga metálica é se ela **é ou não é contida lateralmente**. Em função dessa classificação inicial teremos:
  - **Vigas Contidas Lateralmente ( Flambagem Local FLA / FLM )**
  - **Vigas Não Contidas Lateralmente ( Flambagem Lateral / Global FLT)**

- Outro fator que influência o dimensionamento das vigas é **a espessura da alma** das mesmas, o que nos leva a outras duas classificações:
  - **Vigas de Alma Esbelta**
  - **Vigas de Alma Não-Esbelta**

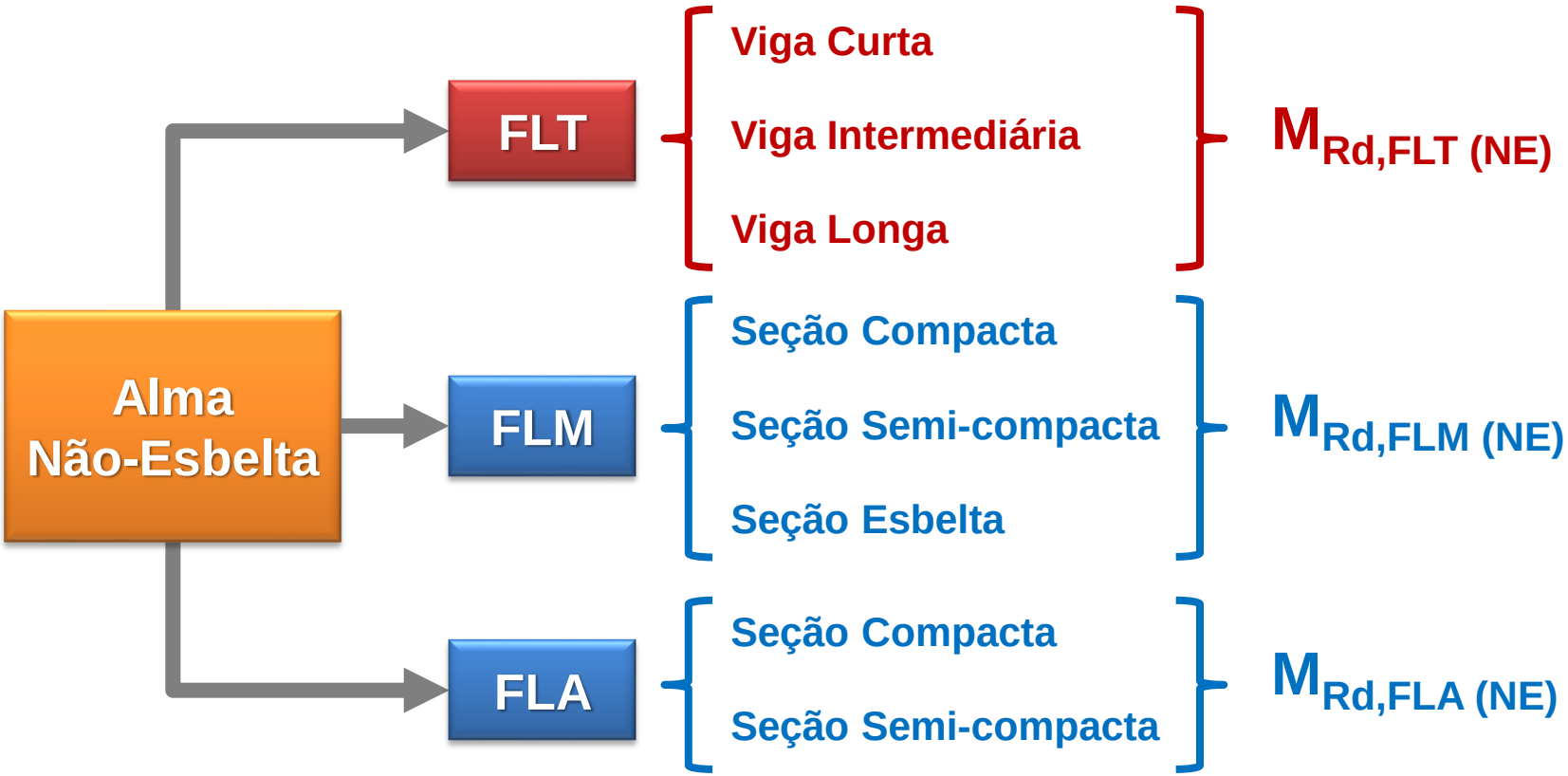
# *Critérios de Classificação de Vigas Metálicas (2)*

- Na classificação quanto a contenção lateral é feita ainda uma subdivisão em três grupos para cada um dos dois tipos de vigas:
  - **Vigas Contidas Lateralmente ( Flambagem Local FLA / FLM )**
    - ***Seção Compacta***
    - ***Seção Semi-compacta***
    - ***Seção Esbelta***
  - **Vigas Não Contidas Lateralmente ( Flambagem Lateral / Global FLT)**
    - ***Viga Curta***
    - ***Viga Intermediária***
    - ***Viga Longa***

# *Critérios de Classificação de Vigas Metálicas (3)*

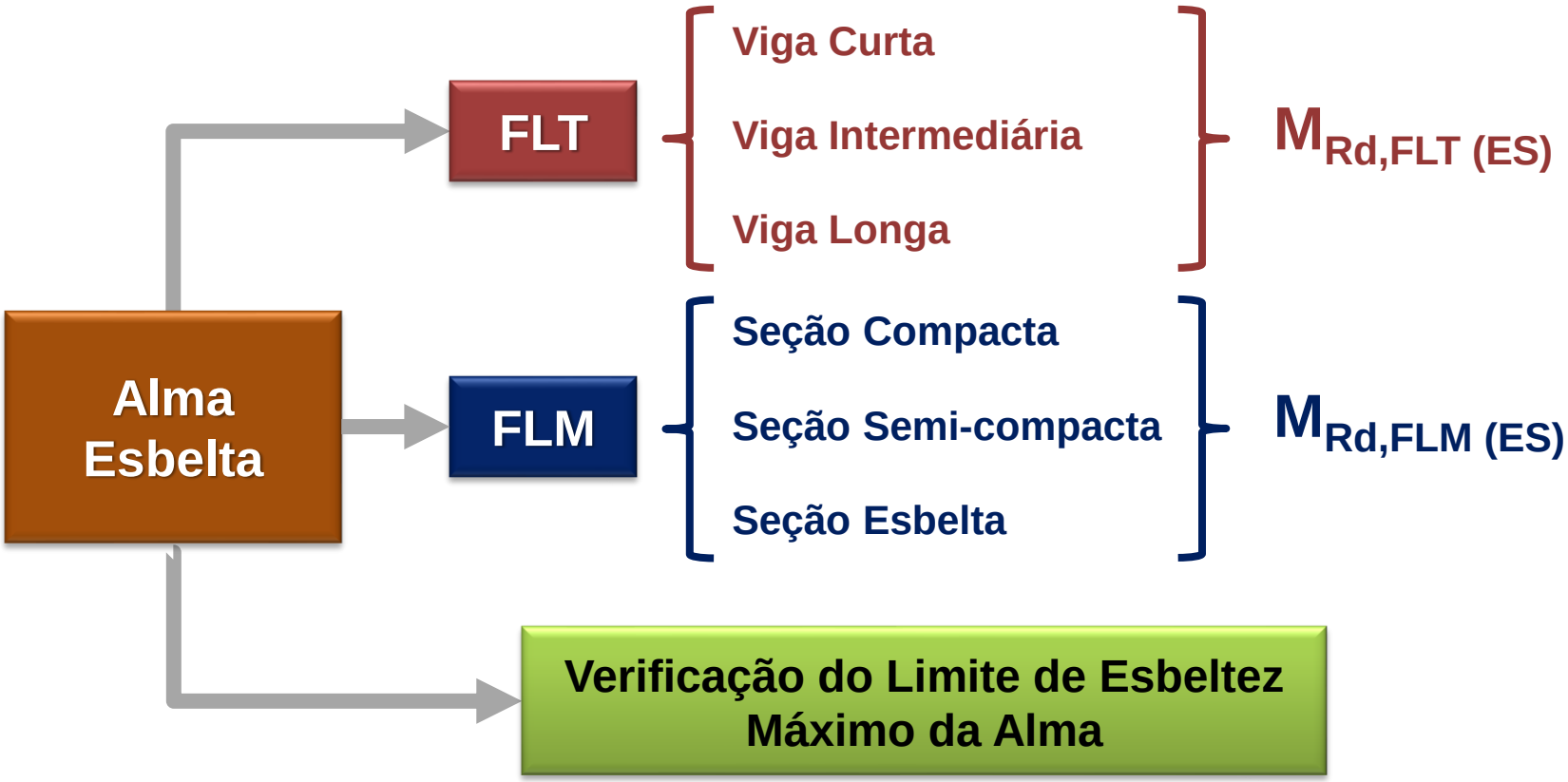
- De fato, em termos práticos, para uso da norma NBR 8800/2008, é necessário inicialmente analisar se a viga possui uma **"Alma Não Esbelta"** ou uma **"Alma Esbelta"**
- No caso de **"Alma Não-Esbelta"** as orientações estão agrupadas no **ANEXO G** da norma.
- Caso a viga tenha uma **"Alma Esbelta"** as orientações estão agrupadas no **ANEXO H** da norma.

# 6.3.4 Vigas de Alma Não-Esbelta (ANEXO G)




**O Momento Resistente de Cálculo da viga ($M_{Rd}$) será o mínimo valor entre $M_{Rd,FLT\ (NE)}$ , $M_{Rd,FLM\ (NE)}$ , $M_{Rd,FLA\ (NE)}$**

# 6.3.5 Vigas de Alma Esbelta (ANEXO H)




**O Momento Resistente de Cálculo da viga ($M_{Rd}$) será o mínimo valor entre $M_{Rd,FLT\ (ES)}$ , $M_{Rd,FLM\ (ES)}$**

# *FIM*

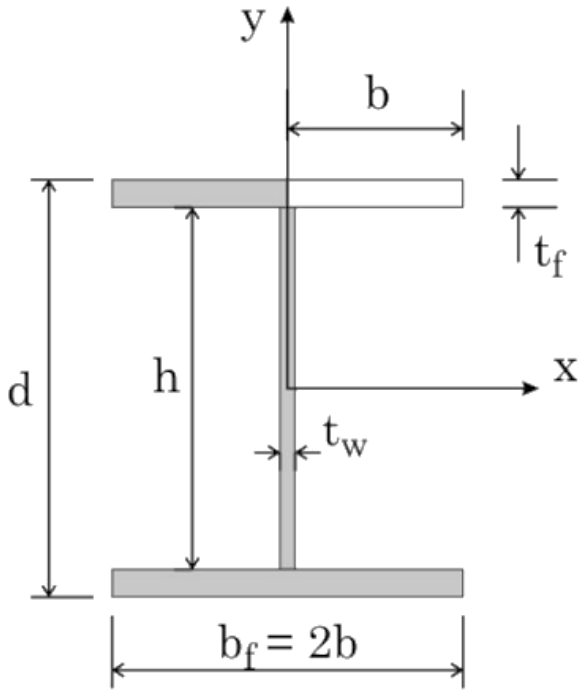
# *Exercício 6.1*

- Calcule:
  - Módulo Elástico em torno do eixo x (Wx);
  - Módulo Elástico em torno do eixo y (Wy);
  - Módulo Plástico em torno do eixo x (Zx);

para uma seção transversal de perfil soldado Série CS com as seguintes dimensões:

**d = 250 mm** **bf = 200 mm**

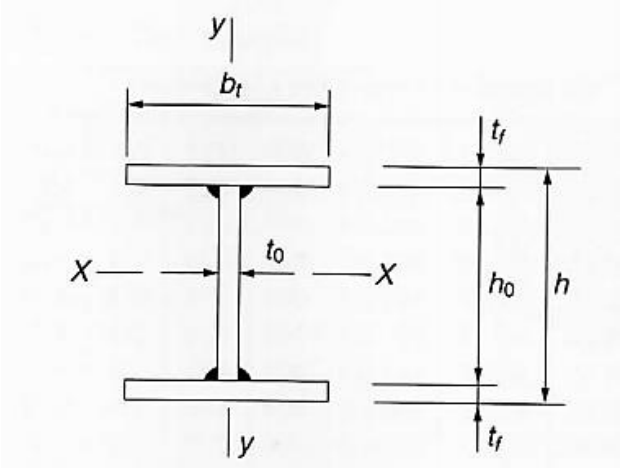
**tf = 9,5 mm** **tw = 8 mm**



# *Exercício 6.2*

- Conforme a tabela de perfis CVS abaixo, e considerando uma viga contida lateralmente escolha qual o menor perfil capaz de resistir um **momento solicitante de cálculo de 520 kNm.**

- **Considere que não ocorre FLM e FLA e faça os cálculos para o aço MR-250 e AR-350**




| Perfil | Massa | Alt. | Área | Alma | | Mesa | | Eixo X–X | | | | Eixo Y–Y | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CVS | $m$ | $h$ | $A$ | $t_0$ | $h_0$ | $t_f$ | $b_f$ | $I_x$ | $W_x$ | $i_x$ | $Z_x$ | $I_y$ | $W_y$ | $i_y$ |
| | kg/m | mm | cm² | mm | mm | mm | mm | cm⁴ | cm³ | cm | cm³ | cm⁴ | cm³ | cm |
| 350 × 73 | 73,3 | 350 | 93,4 | 9,5 | 325 | 12,5 | 250 | 20 524 | 1 173 | 14,83 | 1 306 | 3 258 | 261 | 5,91 |
| 350 × 87 | 86,5 | 350 | 110,2 | 9,5 | 318 | 16,0 | 250 | 24 874 | 1 421 | 15,02 | 1 576 | 4 169 | 334 | 6,15 |
| 350 × 98 | 97,8 | 350 | 124,6 | 9,5 | 312 | 19,0 | 250 | 28 454 | 1 626 | 15,11 | 1 803 | 4 950 | 396 | 6,30 |
| 350 × 105 | 105,2 | 350 | 134,0 | 12,5 | 312 | 19,0 | 250 | 29 213 | 1 669 | 14,77 | 1 876 | 4 953 | 396 | 6,08 |
| 350 × 118 | 117,9 | 350 | 150,2 | 12,5 | 305 | 22,4 | 250 | 33 058 | 1 889 | 14,84 | 2 126 | 5 838 | 467 | 6,24 |
| 350 × 128 | 127,6 | 350 | 162,5 | 12,5 | 300 | 25,0 | 250 | 35 885 | 2 051 | 14,86 | 2 313 | 6 515 | 521 | 6,33 |
| 350 × 136 | 135,8 | 350 | 173,0 | 16,0 | 300 | 25,0 | 250 | 36 673 | 2 096 | 14,56 | 2 391 | 6 521 | 522 | 6,14 |

# *Exercício 6.3*

- Uma viga contida lateralmente é montada em perfil soldado, sendo este composto **de chapas de 9,5 mm em AR 415** tanto na alma como na mesa.

- A mesa tem comprimento total **bf = 300 mm.**

  a) **Calcule a "altura h" necessária à alma deste perfil para que ele suporte um momento fletor solicitante de cálculo de 600kNm**

  b) **Calcule o momento no qual ela iniciará sua plastificação (sem coeficientes de segurança).**

  ***Considere que não ocorrerá FLA e FLM.***

