Universidade POSITIVO

**Engenharia Civil**
Prova Substitutiva 1º Semestre de 2020
Disciplina: Estruturas de Aço e Madeira I

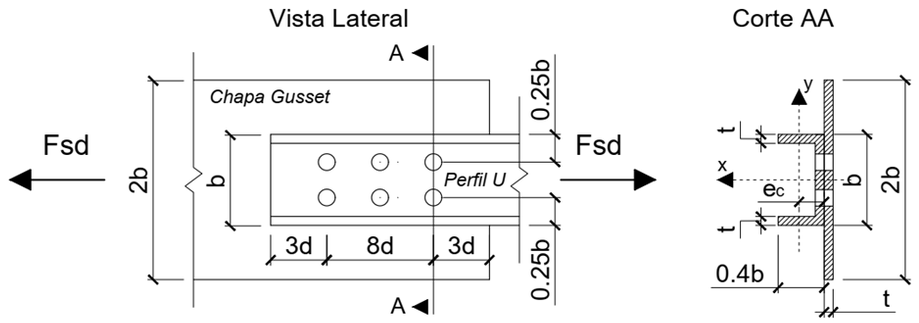
Código da Prova:
**AM201-SB-5NB**

**Procedimento e Orientações:**

1. Leia atentamente todas as instruções da prova.
2. Os dados **D1, D2, D3, D4 e D5** devem ser obtidos no site **www.jjscremin.com/provas** onde o aluno deve entrar com o código da prova (indicado no cabeçalho desta) e seu respectivo número de matrícula clicando no botão **"Buscar Dados"**.
3. Após obter as respostas para as 16 questões da prova o aluno deverá fotografar as páginas com o desenvolvimento dos cálculos e postar no AVA via item **"Postagem de AM201-SB-5NB"**;
4. Em seguida o aluno deverá postar as respostas finais para as 16 questões (inserindo somente números e utilizando "ponto" como separador de decimais) no site **www.jjscremin.com/provas.** Para tanto, o aluno deverá fazer/refazer a busca de dados com seu número de matrícula e código de prova, certificando-se de que seu nome apareça em vermelho no campo "Nome do Aluno" para em seguida preencher os 16 campos destinados às respostas, e por fim, clicar no botão **"Enviar Respostas"**.
5. **Para todos os cálculos nas questões utilize 5 algarismos significativos.**
6. Na correção dos valores numéricos das questões abertas será utilizada uma margem de erro de 5 por cento (para mais ou para menos).

**Problema A (0,625 ponto cada ) :**
Para a ligação por atrito esboçada ao lado deteminar o máximo valor da solicitação de cálculo Fsd possível de ser aplicada de modo que ainda sejam atendidas as verificações :

a) ESB, RSL e Cisalhamento de Bloco para a cantoneira;
b) RSL para a Chapa Gusset;
c) Corte nos parafusos;
d) Rasgamento de chapa e pressão de apoio;
e) Deslizamento de chapa (em ELS);




**Dados:**
**- Aço MR250 nas chapas e parafusos ASTM A325 com diâmetro nominal d = D1 (polegadas);**
**- A deformação dos furos na ligação é uma limitação de projeto;**
**- Superfícies jateadas sem pintura e furos padrão;**
**- Para verificação de deslizamento de chapa considerar esforços solicitantes ELS de forma simplificada como sendo iguais à 70% da solicitação ELU;**

**Geometria:**
**b = D2 . 220 mm**
**t = D5 . 5 mm**

Q01 – Qual a máxima solicitação "Fsd" ( em valor de cálculo - ELU ) possível de ser aplicada de modo que a verificação ESB na cantoneira ainda seja atendida [em kN] ?
Q02 – Qual a máxima solicitação "Fsd" ( em valor de cálculo - ELU ) possível de ser aplicada de modo que a verificação RSL na cantoneira ainda seja atendida [em kN] ?
Q03 – Qual a máxima solicitação "Fsd" ( em valor de cálculo - ELU ) possível de ser aplicada de modo que a verificação de Cisalhamento de Bloco na cantoneira ainda seja atendida [em kN] ?
Q04 – Qual a máxima solicitação "Fsd" ( em valor de cálculo - ELU ) possível de ser aplicada de modo que a verificação RSL na chapa Gusset ainda seja atendida (considerar Ct = 0,9 para esta chapa) [em kN] ?
Q05 – Qual a máxima solicitação "Fsd" ( em valor de cálculo - ELU ) possível de ser aplicada de modo que a verificação de corte dos parafusos ainda seja atendida [em kN] ?
Q06 – Qual a máxima solicitação "Nsd" ( em valor de cálculo - ELU ) possível de ser aplicada de modo que a verificação de rasgamento de chapa e pressão de apoio ainda seja atendida [em kN] ?
Q07 – Qual a máxima solicitação "Nsd" ( em valor de cálculo - ELU ) possível de ser aplicada de modo que a verificação de deslizamento de chapa ainda seja atendida [em kN] ?

$D1 = 0,625$ $D2 = 1,4$ $D3 = 0,8$ $D4 = 1,2$ $D5 = 1,2$

$\gamma a1 := 1,1$ $\gamma a2 := 1,35$ $b := D2 \cdot 220\ mm$ $t := D5 \cdot 5\ mm = 6\ mm$ $d := D1 \cdot 25,4\ mm$

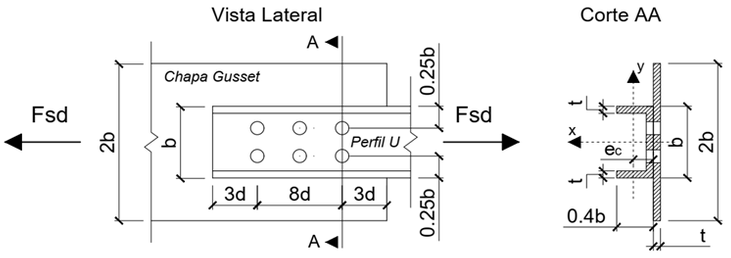
$E := 200\ GPa$ $fy := 25\ \frac{kN}{cm^2}$ $fu := 40\ \frac{kN}{cm^2}$ $fub := 825\ MPa$

## Verificações da Cantoneira:

### ESB:

$Ag_u := (b - 2 \cdot t) \cdot t + 2 \cdot 0,4 \cdot b \cdot t = 32,544\ cm^2$

$Ntrd_ESB := \frac{Ag_u \cdot fy}{\gamma a1} = 739,64\ kN$




### RSL Cantoneira:

$dpad := d + 3,5\ mm = 19,375\ mm$

$An := Ag_u - 2 \cdot dpad \cdot t = 30,219\ cm^2$

Cálculo do Ct:

$$ec := \frac{2 \cdot 0,4 \cdot b \cdot t \cdot \frac{0,4 \cdot b}{2} + (b - 2 \cdot t) \cdot t \cdot \frac{t}{2}}{2 \cdot 0,4 \cdot b \cdot t + (b - 2 \cdot t) \cdot t} = 2,9621\ cm$$

$Lc := 8 \cdot d = 12,7\ cm$

$Ct_calc := 1 - \frac{ec}{Lc} = 0,7668$

```
Ct := if Ct_calc < 0,60    = 0,7668
        0
      else
        if Ct_calc > 0,90
          0,90
        else
          Ct_calc
```

### RSL Chapa:

$Ag_chapa := 2 \cdot b \cdot t = 36,96\ cm^2$

$An_chapa := Ag_chapa - 2 \cdot dpad \cdot t = 34,635\ cm^2$

$Ntrd_RSL_chapa := \frac{0,9 \cdot An_chapa \cdot fu}{\gamma a2} = 923,60\ kN$

$Ae := Ct \cdot An = 23,1709\ cm^2$ $Ntrd_RSL := \frac{Ae \cdot fu}{\gamma a2} = 686,55\ kN$

### CISALHAMENTO DE BLOCO:

$Agv := 2 \cdot (3 \cdot d + 8 \cdot d) \cdot t = 20,9550\ cm^2$ $Cts := 1$

$Anv := Agv - 2 \cdot 2,5 \cdot dpad \cdot t = 15,1425\ cm^2$

$Ant1 := 2 \cdot ((0,25 \cdot b \cdot t + (0,4 \cdot b - t) \cdot t) - 0,5 \cdot dpad \cdot t) = 22,1415\ cm^2$

$Ant2 := (b - 2 \cdot 0,25 \cdot b) \cdot t - dpad \cdot t = 8,0775\ cm^2$

$Ant := \min([\ Ant1\ \ Ant2\ ]) = 8,0775\ cm^2$

$Ntrd_CIS1 := \frac{1}{\gamma a2} \cdot (0,60 \cdot fu \cdot Anv + Cts \cdot Ant \cdot fu) = 508,5333\ kN$

$Ntrd_CIS2 := \frac{1}{\gamma a2} \cdot (0,60 \cdot fy \cdot Agv + Cts \cdot Ant \cdot fu) = 472,1667\ kN$

$Ntrd_CIS := \min([\ Ntrd_CIS1\ \ Ntrd_CIS2\ ]) = 472,1667\ kN$

$G01 := \frac{Ntrd_ESB}{kN} = 739,64$ $G02 := \frac{Ntrd_RSL}{kN} = 686,55$ $G03 := \frac{Ntrd_CIS}{kN} = 472,17$

$G04 := \frac{Ntrd_RSL_chapa}{kN} = 923,60$

## Corte nos Parafusos:

*Considerando uso de parafusos de rosca inteira.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,4\, A_b\, f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

$Ab := \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 1,9793\ cm^2$

$fub = 82,5\ \frac{kN}{cm^2}$

| Especificação | $f_{yb}$ MPa | $f_{ub}$ MPa | Diâmetro $d_b$ | |
|---|---|---|---|---|
| | | | mm | pol |
| ASTM A307 | - | 415 | - | $1/2 \le d_b \le 4$ |
| ISO 898-1 Classe 4.6 | 235 | 400 | $12 \le d_b \le 36$ | - |
| ASTM A325 [a] | 635<br>560 | 825<br>725 | $16 \le d_b \le 24$<br>$24 < d_b \le 36$ | $1/2 \le d_b \le 1$<br>$1 < d_b \le 1½$ |
| ISO 4016 Classe 8.8 | 640 | 800 | $12 \le d_b \le 36$ | - |
| ASTM A490 | 895 | 1035 | $16 \le d_b \le 36$ | $1/2 \le d_b \le 1½$ |
| ISO 4016 Classe 10.9 | 900 | 1000 | $12 \le d_b \le 36$ | - |

[a] Disponíveis também com resistência à corrosão atmosférica comparável à dos aços AR 350 COR ou à dos aços ASTM A588.

Força resistente de corte por plano de corte nos parafusos:

$Fv_Rd_por_plano := \frac{0,4 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 48,3835\ kN$

Planos de corte por parafuso: $n_planos := 1$ Quantidade de parafusos: $n_paraf := 6$

$Fv_Rd_total := n_planos \cdot n_paraf \cdot Fv_Rd_por_plano = 290,30\ kN$ $G05 := \frac{Fv_Rd_total}{kN} = 290,30$

## Rasgamento de Chapa e Pressão de Apoio :

$$F_{c,Rd} = \frac{1,2\, l_f\, t f_u}{\gamma_{a2}} \le \frac{2,4\, d_b\, t\, f_u}{\gamma_{a2}}$$

bf : borda de furo bc : borda de chapa

$l_bf_a_bf := 4 \cdot d - \frac{(d + 1,5\ mm)}{2} - \frac{(d + 1,5\ mm)}{2} = 46,125\ mm$

$l_bf_a_bc := 3 \cdot d - \frac{(d + 1,5\ mm)}{2} = 38,938\ mm$

$lf := \min([\ l_bf_a_bf\ \ l_bf_a_bc\ ]) = 38,938\ mm$

$Fc_Rd1 := \frac{1,2 \cdot lf \cdot t \cdot fu}{\gamma a2} = 83,067\ kN$ $Fc_Rd2 := \frac{2,4 \cdot d \cdot t \cdot fu}{\gamma a2} = 67,733\ kN$

$Fc_Rd := n_paraf \cdot \min([\ Fc_Rd1\ \ Fc_Rd2\ ]) = 406,40\ kN$ $G06 := \frac{Fc_Rd}{kN} = 406,40$

## Verificação de Deslizamento de Chapa:

Como são utlizados furos padrão a verificação de deslizamento é feita em E.L.S.;

$n_s := 1$ $\mu := 0,50$ $C_h := 1,00$

$Ftb := \text{if}\ \ D1 = \frac{1}{2} = 85\ kN$

53 kN

else

if $D1 = \frac{5}{8}$

85 kN

else

if $D1 = \frac{3}{4}$

125 kN

else

173 kN

Ft,_Sk = 0 kN , pois os parafusos da ligação não são tracionados.

$Ft_Sk_por_paraf := 0$

$$Ff_Rk_por_paraf := 0,80 \cdot \mu \cdot C_h \cdot Ftb \cdot n_s \cdot \left(1 - \frac{Ft_Sk_por_paraf}{0,80 \cdot Ftb}\right) = 34\ kN$$

$$Nsd_desliz := \frac{Ff_Rk_por_paraf}{0,7} \cdot n_paraf = 291,43\ kN$$

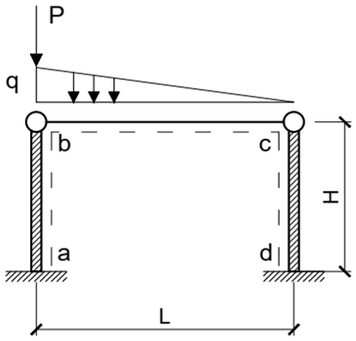
$$G07 := \frac{Nsd_desliz}{kN} = 291,43$$

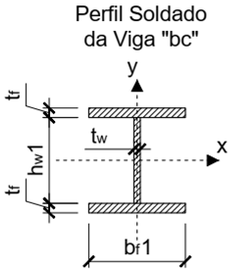
---

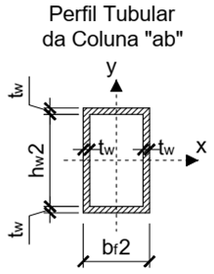
**Problema B (0,625 ponto cada ) :**

Para o modelo estrutural esboçado ao lado proceder as verificações de :
a) FLA e FLM para momentos fletores;
b) Cisalhamento e
c) Deformações Excessivas (flecha)
para a viga "bc".

Em seguida, proceder a verificação de
d) Compressão simples
para a coluna "ab".




**Dados:**
**- A viga "bc" faz parte de um piso de uma bibliteca e é travada lateralmente ao longo de todo seu comprimento;**
**- Combinações NORMAIS para ELU e RARAS para ELS;**
**- Aço MR250 nas chapas componentes dos perfis;**
**- O perfil da coluna "ab" faz parte do GRUPO 1 ( perfil tubular retangular de paredes com espessuras uniformes - ca = 0,38 );**
**- Os eixos "x" indicados nos perfis são perpencidulares ao plano do papel enquanto que os eixos "y" são paralelos ao plano do papel;**
**- Considerar as vinculações indicadas no modelo como sendo iguais para ambos eixos principais de inércia;**
**- Utilizar valores recomendados (e não os teóricos) para Kx e Ky na verificação de compressão simples;**
**- Para cálculo de esforços e deslocamentos considerar que as colunas "ab" e "cd" são infinitemente rígidas;**

**Geometria:**

**L = D2 . 6,0 m**
**H = D2 . 4,0 m**
**tw = 6,3 mm**
**tf = 8 mm**
**bf1 = D3 . 180 mm**
**hw1 = D4 . 400 mm**
**bf2 = 0,60 . bf1**
**hw2 = bf2**

**Carregamentos:**

**- Valores da carga distribuída por metro linear :**
**q1 = 10 kN/m ( peso próprio de estrutura metálica )**
**q2 = D5 . 22 kN/m ( acidental de ocupação )**

**- Valor da carga concentrada aplicada no ponto "b";**
**P1 = 120 kN ( peso próprio de estrutura metálica )**

**OBS: Não utilizar ações agrupadas na composição das combinações de ações .**

Q08 – Qual o momento resistente da viga "bc" conforme a verificação FLM [em kNm] ?
Q09 – Qual o momento resistente da viga "bc" conforme a verificação FLA [em kNm] ?
Q10 – Qual a relação momento resistente / momento solicitante para a viga "bc" [adim.] ?
Q11 – Qual a relação flecha limite / flecha calculada para a viga "bc" [adim.] ?
Q12 – Qual a relação cortante resistente / cortante solicitante para a viga "bc" [adim.] ?
Q13 – Qual o índice de esbeltez da coluna "ab" para o eixo principal de inérica mais desfavorável [adim.] ?
Q14 – Qual o valor da solicitação axial de compressão que incide na coluna "ab" [em kN e em módulo] ?
Q15 – Qual o valor do fator redutor Q relativo aos efeitos de flambagem local na coluna "ab" [adim.]?
Q16 – Qual o valor da força resistente de compressão na coluna "ab" (considerando efeitos de flambagem local e global) [em kN e em módulo]?

$D1 = 0,625$ $D2 = 1,4$ $D3 = 0,8$ $D4 = 1,2$ $D5 = 1,2$

$L := D2 \cdot 6,0\ m = 8,4\ m$ $H := D2 \cdot 4,0\ m = 5,6\ m$ $tw := 6,3\ mm$ $tf := 8\ mm$

$bf1 := D3 \cdot 180\ mm = 144\ mm$ $hw1 := D4 \cdot 400\ mm = 480\ mm$ $bf2 := 0,60 \cdot bf1 = 86,4\ mm$ $hw2 := bf2 = 86,4\ mm$

$q1 := 10\ \frac{kN}{m}$ $q2 := D5 \cdot 22\ \frac{kN}{m}$ $\gamma a1 := 1,1$ $\gamma a2 := 1,35$

$E := 200\ GPa$ $fy := 25\ \frac{kN}{cm^2}$ $fu := 40\ \frac{kN}{cm^2}$ $P1 := 120\ kN$

## Propriedades Geométricas do Perfil da Viga:

$d := 2 \cdot tf + hw1 = 496\ mm$ $Agv := 2 \cdot bf1 \cdot tf + hw1 \cdot tw = 53,28\ cm^2$

$$Ixv := \frac{bf1 \cdot d^3}{12} - \frac{(bf1 - tw) \cdot hw1^3}{12} = 19524\ cm^4$$

$$Wxv := \frac{Ixv}{0,5 \cdot d} = 787,27\ cm^3$$

$$rxv := \sqrt{\frac{Ixv}{Agv}} = 19,143\ cm$$

$$Zxv := 2 \cdot \left( bf1 \cdot tf \cdot \frac{(hw1 + tf)}{2} + \frac{hw1}{2} \cdot tw \cdot \frac{hw1}{4} \right) = 925,06\ cm^3$$

## Combinações de Ações:

$\gamma g := 1,25$ $\gamma q := 1,5$

Combinação Normal ELU: q_elu = γg.q1 + γg.q2

$$q_elu := \gamma g \cdot q1 + \gamma q \cdot q2 = 52,10\ \frac{kN}{m}$$

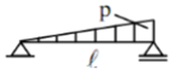
$$P_elu := \gamma g \cdot P1 = 150\ kN$$

Combinação Quase-Permanente ELS: q_els = q1 + ψ1.q2

$$q_els := q1 + q2 = 36,40\ \frac{kN}{m}$$

$$P_els := P1 = 120\ kN$$

## Solicitações Máximas (ELU)

| | | | |
|---|---|---|---|
|   | $\frac{3}{460}\frac{pL^4}{EI}$ | 0,519 L | $\frac{pL^4}{360EI}(-3\alpha^5 + 10\alpha^3 - 7\alpha)$ |

$$\delta_calc := \frac{3 \cdot q_els \cdot L^4}{460 \cdot E \cdot Ixv} = 3,0267\ cm$$

$$\delta(x) := \frac{q_els \cdot L^4}{360 \cdot E \cdot Ixv} \cdot \left( -3 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^5 + 10 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^3 - 7 \cdot \left(\frac{x}{L}\right) \right)$$

$$\theta(x) := \frac{q_els \cdot L^4}{360 \cdot E \cdot Ixv} \cdot \left( -15 \cdot \left(\frac{x^4}{L^5}\right) + 30 \cdot \left(\frac{x^2}{L^3}\right) - 7 \cdot \left(\frac{1}{L}\right) \right)$$

$$M(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{360} \cdot \left( -60 \cdot \left(\frac{x^3}{L^5}\right) + 60 \cdot \left(\frac{x}{L^3}\right) \right)$$

$$V(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{360} \cdot \left( -180 \cdot \left(\frac{x^2}{L^5}\right) + 60 \cdot \left(\frac{1}{L^3}\right) \right)$$

Posição máximo momento:

$$x_max := \sqrt{\frac{60}{L^3} \cdot \frac{L^5}{180}} = 4,8497\ m$$

$Msd_max := M(x_max) = 235,83\ kN\ m$

$Vsd_max := |V(L)| = 145,88\ kN$

$Nsd := Vsd_max + P_elu = 295,88\ kN$

$\delta_limite := \frac{L}{350} = 2,4\ cm$ $\quad G11 := \frac{\delta_limite}{\delta_calc} = 0,79293$ $\quad G14 := \frac{Nsd}{kN} = 295,88$

---

## Verificação de Momentos Resistentes - FLA e FLM:

| FLA | $f_y W$ | Viga de alma esbelta (Anexo H) | $\frac{h_w}{t_w}$ | $3,76\sqrt{\frac{E}{f_y}}$ | $5,70\sqrt{\frac{E}{f_y}}$ |
|---|---|---|---|---|---|

$\lambda_{FLA} := \frac{hw1}{tw} = 76,1905$

$\lambda_{pFLA} := 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 106,35$

$\lambda_{rFLA} := 5,70 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 161,22$

| FLA / FLM | | |
|---|---|---|
| **Tipo de Seção** | **Relação de Parâmetros** | **Expressão de Cálculo** |
| **Compacta** | $\lambda \le \lambda_p$ | $M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$ |
| **Semi-compacta** | $\lambda_p < \lambda \le \lambda_r$ | $M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}}\left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r)\frac{(\lambda - \lambda_p)}{(\lambda_r - \lambda_p)}\right] \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$ |
| **Esbelta** | $\lambda_r < \lambda$ | $M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}}$ Não aplicável à FLA (vide anexo H) |

$Mpl := Zxv \cdot fy = 231,26\ kN\ m$

$My := Wxv \cdot fy = 196,82\ kN\ m$

$Tipo_de_Alma_Flex := \text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA}$ $= \text{"Compacta"}$

"Compacta"

else

if $\lambda_{FLA} \le \lambda_{rFLA}$

"Semicompacta"

else

"Esbelta"

$Mrd_FLA := \text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA}$ $= 210,24\ kN\ m$

$\frac{Mpl}{\gamma a1}$

else

$\frac{1}{\gamma a1} \cdot \left[Mpl - (Mpl - My) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{pFLA})}{(\lambda_{rFLA} - \lambda_{pFLA})}\right]$

$G09 := \frac{Mrd_FLA}{kN\ m} = 210,24$

| FLM | $(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5 | Ver Nota 6 | $b/t$ ver Nota 8 | $0,38\sqrt{\frac{E}{f_y}}$ | Ver Nota 6 |
|---|---|---|---|---|---|

$\lambda_{FLM} := \frac{0,5 \cdot bf1}{tf} = 9$

$\lambda_{pFLM} := 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 10,748$

$kc_calc := \frac{4}{\sqrt{\frac{hw1}{tw}}} = 0,4583$

| FLA / FLM | | |
|---|---|---|
| **Tipo de Seção** | **Relação de Parâmetros** | **Expressão de Cálculo** |
| **Compacta** | $\lambda \le \lambda_p$ | $M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$ |
| **Semi-compacta** | $\lambda_p < \lambda \le \lambda_r$ | $M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}}\left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r)\frac{(\lambda - \lambda_p)}{(\lambda_r - \lambda_p)}\right] \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$ |
| **Esbelta** | $\lambda_r < \lambda$ | $M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}}$ Não aplicável à FLA (vide anexo H) |

$kc := \text{if } kc_calc > 0,76$ $= 0,4583$

$0,76$

else

if $kc_calc < 0,35$

$0,35$

else

$kc_calc$

Para perfis soldados: $M_{cr} = \frac{0,90Ek_c}{\lambda^2}W_c$ , $\lambda_r = 0,95\sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/k_c}}$

com kc: $k_c = \frac{4}{\sqrt{h_w/t_w}}$ sendo $0,35 \le k_c \le 0,76$

$\lambda_{rFLM} := 0,95 \cdot \sqrt{\frac{E}{\left(fy - 0,30 \cdot fy\right)}{kc}} = 21,74$

$Tipo_de_Mesa := \text{if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM} \quad = \text{"Compacta"}$
"Compacta"
else
if $\lambda_{FLM} \le \lambda_{rFLM}$
"Semicompacta"
else
"Esbelta"

$Mr := \left(fy - 0,3 \cdot fy\right) \cdot Wxv = 137,77 \text{ kN m}$

$Mrd_FLM := \text{if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM} \quad = 210,24 \text{ kN m}$
$\frac{Mpl}{\gamma a1}$
else
if $\lambda_{FLM} \le \lambda_{rFLM}$
$\frac{1}{\gamma a1} \cdot \left( Mpl - \left(Mpl - Mr\right) \cdot \frac{\left(\lambda_{FLM} - \lambda_{pFLM}\right)}{\left(\lambda_{rFLM} - \lambda_{pFLM}\right)} \right)$
else
$\frac{0,90 \cdot E \cdot kc}{\lambda_{FLM}^{2} \cdot \gamma a1} \cdot Wc$

$G08 := \frac{Mrd_FLM}{\text{kN m}} = 210,24$

$Mrd := \min\left(\left[ Mrd_FLA \;\; Mrd_FLM \right]\right) = 210,24 \text{ kN m}$

$G10 := \frac{Mrd}{Msd_max} = 0,8915$

---

## Cortante Resistente:

| Tipo de Alma | Relação de Parâmetros | Expressão de Cálculo |
|---|---|---|
| Compacta | $\lambda \le \lambda_p$ | $V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$ |
| Semi-compacta | $\lambda_p < \lambda \le \lambda_r$ | $V_{Rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda \gamma_{a1}}$ |
| Esbelta | $\lambda_r < \lambda$ | $V_{Rd} = 1,24\left(\frac{\lambda_p}{\lambda}\right)^2 \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$ |

$V_{pl} = 0,60 A_w f_y = 0,60 d t_w f_y$

$\lambda = \frac{h_w}{t_w} \qquad \lambda_p = 1,10\sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \qquad \lambda_p = 1,37\sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}$

$k_v$ igual a 5,0 para almas sem enrijecedores transversais, para $\frac{a}{h_w} > 3$ ou para $\frac{a}{h_w} > \left[\frac{260}{h_w/t_w}\right]^2$ e $5 + \frac{5}{(a/h_w)^2}$ para os demais casos.

$Aw := d \cdot tw = 31,248 \text{ cm}^2 \qquad Vpl := 0,60 \cdot Aw \cdot fy = 468,72 \text{ kN} \qquad kv := 5,0$

$\lambda_{CIS} := \frac{hw1}{tw} = 76,1905 \qquad \lambda_{pCIS} := 1,10 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 69,5701 \qquad \lambda_{rCIS} := 1,37 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 86,6464$

$Tipo_de_Alma_CIS := \text{if } \lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS} \quad = \text{"Semicompacta"}$
"Compacta"
else
if $\lambda_{CIS} \le \lambda_{rCIS}$
"Semicompacta"
else
"Esbelta"

$Vrd := \text{if } \lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS} \quad = 389,08 \text{ kN}$
$\frac{Vpl}{\gamma a1}$
else
if $\lambda_{CIS} \le \lambda_{rCIS}$
$\frac{\lambda_{pCIS} \cdot Vpl}{\lambda_{CIS} \cdot \gamma a1}$
else
$1,24 \cdot \left(\frac{\lambda_{pCIS}}{\lambda_{CIS}}\right)^2 \cdot \frac{Vpl}{\gamma a1}$

$G12 := \frac{Vrd}{Vsd_max} = 2,6671$

---

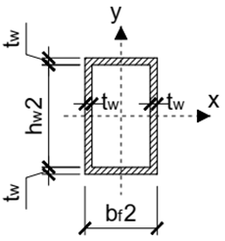
## Verificações para a barra comprimida "ab":

$Kx := 0,8 \qquad Lx := H = 560\ cm$

$Ky := 0,8 \qquad Ly := H = 560\ cm$

$Agc := 2 \cdot bf2 \cdot tw + 2 \cdot hw2 \cdot tw = 21,7728\ cm^2$

Perfil Tubular da Coluna "ab"




$$Ixc := \frac{bf2 \cdot (hw2 + 2 \cdot tw)^3}{12} - \frac{(bf2 - 2 \cdot tw) \cdot hw2^3}{12} = 301,9572\ cm^4$$

$$Iyc := \frac{(hw2 + 2 \cdot tw) \cdot bf2^3}{12} - \frac{hw2 \cdot (bf2 - 2 \cdot tw)^3}{12} = 242,7003\ cm^4$$

$rxc := \sqrt{\frac{Ixc}{Agc}} = 3,7241\ cm \qquad ryc := \sqrt{\frac{Iyc}{Agc}} = 3,3387\ cm$

$\lambda x := \frac{Kx \cdot Lx}{rxc} = 120,30 \qquad \lambda y := \frac{Ky \cdot Ly}{ryc} = 134,18$

$G13 := \lambda y = 134,18$

Elementos AA:

GRUPO 1: $\lambda lim_g1 := 1,40 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 39,598$

Chapas verticais:

$\lambda vert := \frac{hw2}{tw} = 13,7143$

$$bef_vert_calc := 1,92 \cdot tw \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} \cdot \left(1 - \frac{0,38}{\lambda vert} \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}\right) = 7,3999\ cm$$

$bef_vert := \text{if } \lambda vert < \lambda lim_g1 = 8,64\ cm$
$\quad hw2$
$\text{else}$
$\quad bef_vert_calc$

Chapas horizontais:

$\lambda hori := \frac{bf2 - 2 \cdot tw}{tw} = 11,7143$

$$bef_hori_calc := 1,92 \cdot tw \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} \cdot \left(1 - \frac{0,38}{\lambda hori} \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}\right) = 2,8221\ cm$$

$bef_hori := \text{if } \lambda hori < \lambda lim_g1 = 7,38\ cm$
$\quad bf2 - 2 \cdot tw$
$\text{else}$
$\quad bef_hori_calc$

$Aef := Agc - (hw2 - bef_vert) \cdot tw - ((bf2 - 2 \cdot tw) - bef_hori) \cdot tw = 21,7728\ cm^2$

$Qa := \frac{Aef}{Agc} = 1$

Elementos AL - inexistentes, logo Qs = 1. $Qs := 1$

$Q := Qa \cdot Qs = 1 \qquad G15 := Q = 1$

Análise do Eixo Y:

$$\lambda y := \text{if } \lambda y > 200 = 134,1838 \quad 99999999 \quad \text{else} \quad \lambda y$$

$$\lambda oy := \lambda y \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot fy}{\pi^2 \cdot E}} = 1,5101$$

$$\chi y := \text{if } \lambda oy \leq 1,5 = 0,3846 \quad 0,658^{\lambda oy^2} \quad \text{else} \quad \frac{0,877}{\lambda oy^2}$$

$$Ncrd := \frac{Q \cdot \chi y \cdot Agc \cdot fy}{\gamma a1} = 190,31 \text{ kN}$$

$$Ncrd_final := \text{if } \lambda y > 200 \quad 0 \quad \text{else} \quad Ncrd$$

$$G16 := \frac{Ncrd_final}{kN} = 190,31$$