Universidade POSITIVO

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

Código da Prova:
AM201-SB-5MA

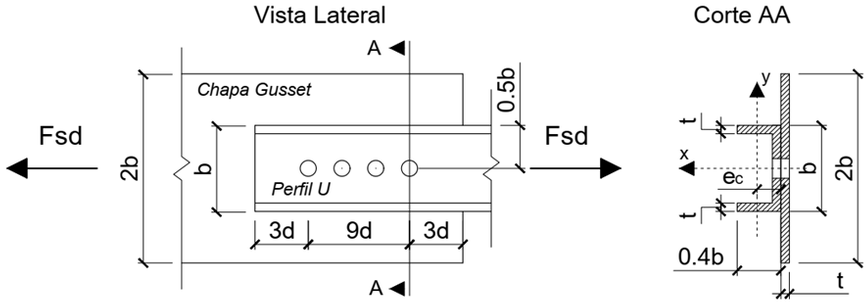
Procedimento e Orientações:

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-5MA"**;
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 AR350 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 . 140 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] ?

$D1 = 0,75$ $D2 = 1,2$ $D3 = 1,2$ $D4 = 1,2$ $D5 = 1,2$

$\gamma a1 := 1,1$ $\gamma a2 := 1,35$ $b := D2 \cdot 140\ mm$ $t := D5 \cdot 5\ mm = 6\ mm$ $d := D1 \cdot 25,4\ mm$

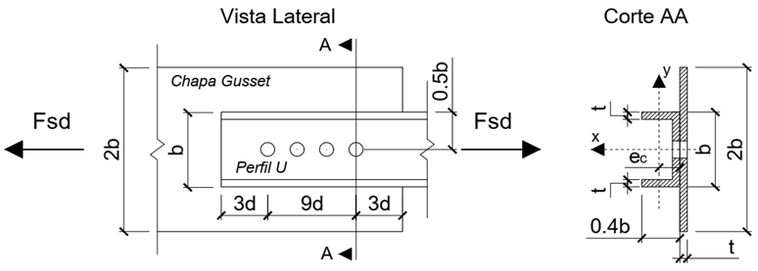
$E := 200\ GPa$ $fy := 35\ \frac{kN}{cm^2}$ $fu := 45\ \frac{kN}{cm^2}$ $fub := 825\ MPa$

Verificações da Cantoneira:

ESB:

$Ag_u := (b - 2 \cdot t) \cdot t + 2 \cdot 0,4 \cdot b \cdot t = 17,424\ cm^2$

$Ntrd_ESB := \frac{Ag_u \cdot fy}{\gamma a1} = 554,40\ kN$



RSL Cantoneira:

$dpad := d + 3,5\ mm = 22,55\ mm$

$An := Ag_u - 1 \cdot dpad \cdot t = 16,071\ cm^2$

Cálculo do Ct:

$$ec := \frac{2 \cdot 0,4 \cdot b \cdot t \cdot \frac{0,4 \cdot b}{2} + (b - 2 \cdot t) \cdot t \cdot \frac{t}{2}}{2 \cdot 0,4 \cdot b \cdot t + (b - 2 \cdot t) \cdot t} = 1,7162\ cm$$

$Lc := 9 \cdot d = 17,145\ cm$

$Ct_calc := 1 - \frac{ec}{Lc} = 0,8999$

$$Ct := \begin{array}{l} \text{if } Ct_calc < 0,60 \quad = 0,8999 \\ \quad 0 \\ \text{else} \\ \quad \text{if } Ct_calc > 0,90 \\ \quad\quad 0,90 \\ \quad \text{else} \\ \quad\quad Ct_calc \end{array}$$

RSL Chapa: $Ag_chapa := 2 \cdot b \cdot t = 20,16\ cm^2$

$An_chapa := Ag_chapa - 1 \cdot dpad \cdot t = 18,807\ cm^2$

$Ntrd_RSL_chapa := \frac{0,9 \cdot An_chapa \cdot fu}{\gamma a2} = 564,21\ kN$

$Ae := Ct \cdot An = 14,4623\ cm^2$ $Ntrd_RSL := \frac{Ae \cdot fu}{\gamma a2} = 482,08\ kN$

CISALHAMENTO DE BLOCO:

$Agv := (3 \cdot d + 9 \cdot d) \cdot t = 13,7160\ cm^2$ $Cts := 1$

$Anv := Agv - 3,5 \cdot dpad \cdot t = 8,9805\ cm^2$

$Ant := 0,5 \cdot Ag_u - 0,5 \cdot dpad \cdot t = 8,0355\ cm^2$

$Ntrd_CIS1 := \frac{1}{\gamma a2} \cdot (0,60 \cdot fu \cdot Anv + Cts \cdot Ant \cdot fu) = 447,4600\ kN$

$Ntrd_CIS2 := \frac{1}{\gamma a2} \cdot (0,60 \cdot fy \cdot Agv + Cts \cdot Ant \cdot fu) = 481,2100\ kN$

$Ntrd_CIS := \min([\ Ntrd_CIS1\ \ Ntrd_CIS2\ ]) = 447,4600\ kN$

$G01 := \frac{Ntrd_ESB}{kN} = 554,40$ $G02 := \frac{Ntrd_RSL}{kN} = 482,08$ $G03 := \frac{Ntrd_CIS}{kN} = 447,46$

$G04 := \frac{Ntrd_RSL_chapa}{kN} = 564,21$

Corte nos Parafusos:

*Considerando uso de parafusos de rosca inteira.

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

$Ab := \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 2,8502\ cm^2$

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

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]	635 560	825 725	$16 \le d_b \le 24$ $24 < d_b \le 36$	$1/2 \le d_b \le 1$ $1 < d_b \le 1½$
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:

$Fv_Rd_por_plano := \frac{0,4 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 69,6723\ kN$

Planos de corte por parafuso: $n_planos := 1$ Quantidade de parafusos: $n_paraf := 4$

$Fv_Rd_total := n_planos \cdot n_paraf \cdot Fv_Rd_por_plano = 278,69\ kN$ $G05 := \frac{Fv_Rd_total}{kN} = 278,69$

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

$l_bf_a_bf := 3 \cdot d - \frac{(d + 1,5\ mm)}{2} - \frac{(d + 1,5\ mm)}{2} = 36,600\ mm$

$l_bf_a_bc := 3 \cdot d - \frac{(d + 1,5\ mm)}{2} = 46,875\ mm$

$lf := \min([\ l_bf_a_bf\ \ l_bf_a_bc\ ]) = 36,600\ mm$

$Fc_Rd1 := \frac{1,2 \cdot lf \cdot t \cdot fu}{\gamma a2} = 87,840\ kN$ $Fc_Rd2 := \frac{2,4 \cdot d \cdot t \cdot fu}{\gamma a2} = 91,440\ kN$

$Fc_Rd := n_paraf \cdot \min([\ Fc_Rd1\ \ Fc_Rd2\ ]) = 351,36\ kN$ $G06 := \frac{Fc_Rd}{kN} = 351,36$

Verificação de Deslizamento de Chapa:

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

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

$Ftb :=$ if $D1 = \frac{1}{2}$ $= 125\ kN$

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.

$Ft_Sk_por_paraf := 0$

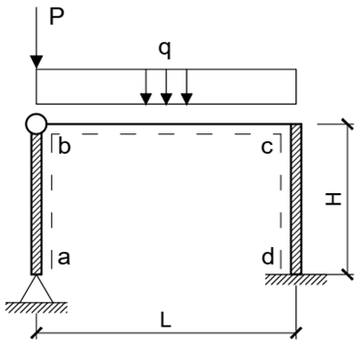
$$Ff_Rk_por_paraf := 0,80 \cdot \mu \cdot C_h \cdot Ftb \cdot n_s \cdot \left(1 - \frac{Ft_Sk_por_paraf}{0,80 \cdot Ftb}\right) = 50\ kN$$

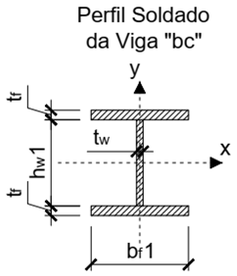
$$Nsd_desliz := \frac{Ff_Rk_por_paraf}{0,7} \cdot n_paraf = 285,71\ kN$$

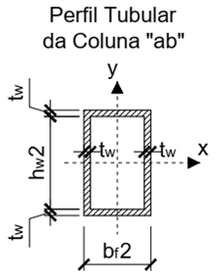
$$G07 := \frac{Nsd_desliz}{kN} = 285,71$$

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 . 3,0 m
tw = 6,3 mm
tf = 10 mm
bf1 = D3 . 200 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]?

$D1 = 0,75$ $D2 = 1,2$ $D3 = 1,2$ $D4 = 1,2$ $D5 = 1,2$

$L := D2 \cdot 6,0\ m = 7,2\ m$ $H := D2 \cdot 3\ m = 3,6\ m$ $tw := 6,3\ mm$ $tf := 10\ mm$

$bf1 := D3 \cdot 200\ mm = 240\ mm$ $hw1 := D4 \cdot 400\ mm$ $bf2 := 0,60 \cdot bf1 = 144\ mm$ $hw2 := bf2 = 144\ mm$

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

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

Propriedades Geométricas do Perfil da Viga:

$d := 2 \cdot tf + hw1 = 500\ mm$ $Agv := 2 \cdot bf1 \cdot tf + hw1 \cdot tw = 78,24\ cm^2$

$$Ixv := \frac{bf1 \cdot d^3}{12} - \frac{(bf1 - tw) \cdot hw1^3}{12} = 34622\ cm^4$$

$$Wxv := \frac{Ixv}{0,5 \cdot d} = 1384,9\ cm^3$$

$$rxv := \sqrt{\frac{Ixv}{Agv}} = 21,036\ cm$$

$$Zxv := 2 \cdot \left(bf1 \cdot tf \cdot \frac{(hw1 + tf)}{2} + \frac{hw1}{2} \cdot tw \cdot \frac{hw1}{4} \right) = 1538,9\ cm^3$$

Combinações de Ações:

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

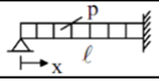
Combinação Normal ELU: q_elu = γg.q1 + γg.q2 $q_elu := \gamma g \cdot q1 + \gamma q \cdot q2 = 52,10\ \frac{kN}{m}$

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

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)

	$\frac{3}{554}\frac{pL^4}{EI}$	0,422 L	$\frac{pL^4}{48EI}(-2\alpha^4 + 3\alpha^3 - \alpha)$

$$\delta_calc := \frac{3 \cdot q_els \cdot L^4}{554 \cdot E \cdot Ixv} = 0,765\ cm$$

$$Msd_max := \frac{q_elu \cdot L^2}{8} = 337,608\ kN\ m$$

$$Vsd_max := \frac{5 \cdot q_elu \cdot L}{8} = 234,45\ kN$$

$$Vsd_a := \frac{3 \cdot q_elu \cdot L}{8} = 140,67\ kN$$

$Nsd := Vsd_a + P_elu = 290,67\ kN$

$\delta_limite := \frac{L}{350} = 2,0571\ cm$ $G11 := \frac{\delta_limite}{\delta_calc} = 2,6891$ $G14 := \frac{Nsd}{kN} = 290,67$

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)

$Mpl := Zxv \cdot fy = 384{,}72\ \text{kN m}$

$My := Wxv \cdot fy = 346{,}22\ \text{kN m}$

$Tipo_de_Alma_Flex :=$ if $\lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA}$ "Compacta" else if $\lambda_{FLA} \le \lambda_{rFLA}$ "Semicompacta" else "Esbelta" $=$ "Compacta"

$Mrd_FLA :=$ if $\lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA}$ $\frac{Mpl}{\gamma a1}$ else $\frac{1}{\gamma a1} \cdot \left[Mpl - (Mpl - My) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{pFLA})}{(\lambda_{rFLA} - \lambda_{pFLA})}\right]$ $= 349{,}75\ \text{kN m}$

$G09 := \frac{Mrd_FLA}{\text{kN m}} = 349{,}75$

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

$\lambda_{FLM} := \frac{0{,}5 \cdot bf1}{tf} = 12$

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

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

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)

$kc :=$ if $kc_calc > 0{,}76$ $0{,}4583$ else if $kc_calc < 0{,}35$ $0{,}35$ else kc_calc $= 0{,}4583$

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 $0{,}35 \le k_c \le 0{,}76$

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

$Mr := (fy - 0{,}3 \cdot fy) \cdot Wxv = 242{,}35\ \text{kN m}$

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

$$Mrd_FLM := \text{if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM} \quad = 335,01 \text{ kN m}$$
$$\quad \frac{Mpl}{\gamma a1}$$
$$\quad \text{else}$$
$$\quad\quad \text{if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{rFLM}$$
$$\quad\quad\quad \frac{1}{\gamma a1} \cdot \left(Mpl - (Mpl - Mr) \cdot \frac{\left(\lambda_{FLM} - \lambda_{pFLM}\right)}{\left(\lambda_{rFLM} - \lambda_{pFLM}\right)} \right)$$
$$\quad\quad \text{else}$$
$$\quad\quad\quad \frac{0,90 \cdot E \cdot kc}{\lambda_{FLM}^{\,2} \cdot \gamma a1} \cdot Wc$$

$$G08 := \frac{Mrd_FLM}{\text{kN m}} = 335,01$$

$$Mrd := \min\left(\left[\, Mrd_FLA \;\; Mrd_FLM \,\right]\right) = 335,01 \text{ kN m}$$

$$G10 := \frac{Mrd}{Msd_max} = 0,99229$$

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	$\lambda_r < \lambda$	$V_{Rd} = 1,24\left(\frac{\lambda_p}{\lambda}\right)^2 \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$

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

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

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.

$$Aw := d \cdot tw = 31,5 \text{ cm}^2 \qquad Vpl := 0,60 \cdot Aw \cdot fy = 472,5 \text{ kN} \qquad kv := 5,0$$

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

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

$$Vrd := \text{if } \lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS} \quad = 392,22 \text{ kN}$$
$$\quad \frac{Vpl}{\gamma a1}$$
$$\quad \text{else}$$
$$\quad\quad \text{if } \lambda_{CIS} \le \lambda_{rCIS}$$
$$\quad\quad\quad \frac{\lambda_{pCIS} \cdot Vpl}{\lambda_{CIS} \cdot \gamma a1}$$
$$\quad\quad \text{else}$$
$$\quad\quad\quad 1,24 \cdot \left(\frac{\lambda_{pCIS}}{\lambda_{CIS}}\right)^2 \cdot \frac{Vpl}{\gamma a1}$$

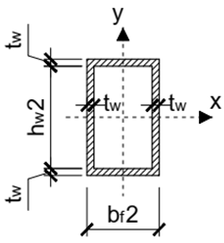
$$G12 := \frac{Vrd}{Vsd_max} = 1,6729$$

Verificações para a barra comprimida "ab":

$$Kx := 1,0 \qquad Lx := H = 360 \text{ cm}$$
$$Ky := 1,0 \qquad Ly := H = 360 \text{ cm}$$

$Agc := 2 \cdot bf2 \cdot tw + 2 \cdot hw2 \cdot tw = 36,2880\ cm^2$

Perfil Tubular da Coluna "ab"



$$Ixc := \frac{bf2 \cdot (hw2 + 2 \cdot tw)^3}{12} - \frac{(bf2 - 2 \cdot tw) \cdot hw2^3}{12} = 1338,8149\ cm^4$$

$$Iyc := \frac{(hw2 + 2 \cdot tw) \cdot bf2^3}{12} - \frac{hw2 \cdot (bf2 - 2 \cdot tw)^3}{12} = 1174,2125\ cm^4$$

$rxc := \sqrt{\frac{Ixc}{Agc}} = 6,0741\ cm$ $\quad ryc := \sqrt{\frac{Iyc}{Agc}} = 5,6884\ cm$

$\lambda x := \frac{Kx \cdot Lx}{rxc} = 59,268$ $\quad \lambda y := \frac{Ky \cdot Ly}{ryc} = 63,286$

$G13 := \lambda y = 63,286$

Elementos AA:

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

Chapas verticais:

$\lambda vert := \frac{hw2}{tw} = 22,8571$

$bef_vert_calc := 1,92 \cdot tw \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} \cdot \left(1 - \frac{0,38}{\lambda vert} \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}\right) = 18,125\ cm$

$bef_vert := \text{if } \lambda vert < \lambda lim_g1 = 14,4\ cm$
$\quad hw2$
$\quad \text{else}$
$\quad\quad bef_vert_calc$

Chapas horizontais:

$\lambda hori := \frac{bf2 - 2 \cdot tw}{tw} = 20,8571$

$bef_hori_calc := 1,92 \cdot tw \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} \cdot \left(1 - \frac{0,38}{\lambda hori} \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}\right) = 16,5823\ cm$

$bef_hori := \text{if } \lambda hori < \lambda lim_g1 = 13,14\ cm$
$\quad bf2 - 2 \cdot tw$
$\quad \text{else}$
$\quad\quad bef_hori_calc$

$Aef := Agc - (hw2 - bef_vert) \cdot tw - ((bf2 - 2 \cdot tw) - bef_hori) \cdot tw = 36,288\ cm^2$

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

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

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

Análise do Eixo Y:

$\lambda y := \text{if } \lambda y > 200 = 63,2864$
$\quad 99999999$
$\quad \text{else}$
$\quad\quad \lambda y$

$\lambda oy := \lambda y \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot fy}{\pi^2 \cdot E}} = 0,7122$

$$\chi y := \text{if } \lambda oy \le 1,5 = 0,8087$$
$$\quad 0,658^{\lambda oy^2}$$
$$\quad \text{else}$$
$$\quad \frac{0,877}{\lambda oy^2}$$

$$Ncrd := \frac{Q \cdot \chi y \cdot Agc \cdot fy}{\gamma a1} = 666,97\ \text{kN}$$

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

$$G16 := \frac{Ncrd_final}{\text{kN}} = 666,97$$