Universidade POSITIVO

Engenharia Civil
Prova Bimestral: 2 / 1° Semestre de 2020
Disciplina: Estruturas de Aço e Madeira I

Código da Prova:
AM201-B2-5MA

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-B2-5MA"**;
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) :

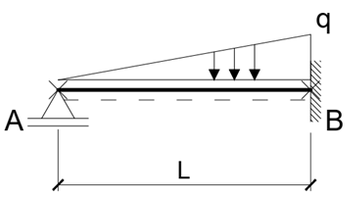
Para o modelo de viga metálica esboçado ao lado proceder as verificações de :

a) FLA, FLM e FLT para momentos fletores;
b) Cisalhamento;
c) Deformações Excessivas (flecha);

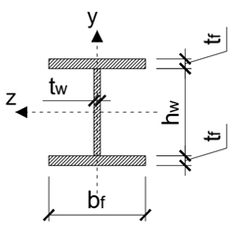
Em seguida, para a ligação por contato no ponto "B" da mesma viga, proceda as verificações de:

d) Corte nos parafusos;
e) Tração no parafuso mais solicitado;
f) Tração e corte simultâneos no parafuso mais solicitado;
g) Rasgamento de chapa e pressão de apoio no furo mais desfavorável da chapa participante da ligação que possui menor espessura.

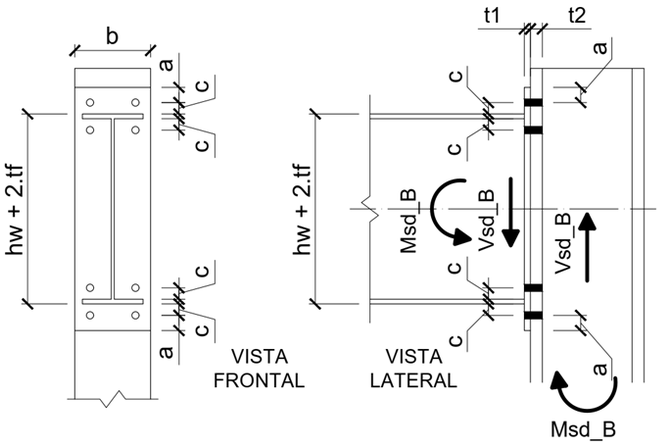
Esquema Estático da Viga "AB"



Seção Transversal da Viga "AB" Perfil I Soldado



Detalhe da Ligação por Contato no Ponto "B"



Dados:

- Viga de piso de uma edificação comercial com acesso ao público;
- Travamentos laterais somente nos pontos "A" e "B" ;
- Combinações Normais para ELU e Frequentes para ELS;
- Aço AR350 nas chapas e parafusos ASTM A325 com diâmetro db = D1 (polegadas);
- A deformação dos furos na ligação é uma limitação de projeto;
- Equação da linha eslástica para o caso :

$$\frac{pL^4}{120EI}(-\alpha^5 + 2\alpha^3 - \alpha)$$

Geometria:

L = D2 . 7,0 m	**b = 250 mm**
hw = D3 . 450 mm	**a = 40 mm**
tw = 8,0 mm	**c = 40 mm**
bf = D4 . 200 mm	**t1 = 10 mm**
tf = 10 mm	**t2 = 16 mm**

Carregamentos
(valores da carga distribuída por metro linear no ponto "B"):

q1 = 10 kN/m (peso próprio de estrutura metálica)
q2 = D5 . 25 kN/m (acidental de ocupação)

OBS: Não utilizar ações agrupadas na composição das combinações de ações e sim γg = 1,25, γq = 1,50 e ψ1 = 0,6 .

Q01 – Qual o momento fletor resistente da viga "AB" em termos da verificação FLA [em kNm]?
Q02 – Qual o momento fletor resistente da viga "AB" em termos da verificação FLM [em kNm]?
Q03 – Qual o momento fletor resistente da viga "AB" em termos da verificação FLT [em kNm]?
Q04 – Qual o valor do esforço cortante resistente da viga "AB" [em kN]?
Q05 – Qual o valor da flecha calculada para a viga "AB" [em mm e em módulo] ?
Q06 – Qual o valor da solicitação de esforço cortante (ELU) que incide na ligação no ponto "B" [em kN e em módulo] ?
Q07 – Qual o valor da solicitação de momento fletor (ELU) que incide na ligação no ponto "B" [em kNm e em módulo] ?
Q08 – Qual o valor da solicitação de tração por parafuso nos parafusos mais solicitados da ligação no ponto "B" [em kN e em módulo] ?
Q09 – Qual o valor da relação resistência/solicitação na verificação de corte de parafuso da ligação no ponto "B" [adim.] ?
Q10 – Qual o valor da relação resistência/solicitação na verificação de tração de parafuso no parafuso mais solicitado da ligação no ponto "B" [adim] ?
Q11 – Qual o valor obtido na aplicação da expressão de verificação de tração e corte simultâneos no parafuso mais solicitação da ligação no ponto "B" [adim.] ?
Q12 – Qual o valor da relação resistência/solicitação na verificação ao rasgamento de chapa e pressão de apoio no furo mais desfavorável localizado na chapa de menor espessura da ligação no ponto "B" [adim.] ?
Q13 – Qual o valor da relação resistência/solicitação em termos da verificação de momentos fletores da viga "AB" (obviamente considerando o pior resultado entre FLA, FLM e FLT) [adim.] ?
Q14 – Qual o valor da relação resistência/solicitação em termos da verificação de esforços cortantes da viga "AB" [adim.] ?
Q15 – Qual o valor da relação flecha limite/flecha calculada da viga "AB" [adim.] ?
Q16 – Qual o valor do módulo elástico do perfil da viga "AB" em relação ao eixo principal de inércia horizontal da seção transversal [cm^3]?

$db := D1 \cdot 25,4\ mm = 22,225\ mm$ $L := D2 \cdot 7\ m = 7\ m$ $t1 := 10\ mm$ $t2 := 16\ mm$

$hw := D3 \cdot 450\ mm = 450\ mm$ $tw := 8\ mm$ $bf := D4 \cdot 200\ mm = 200\ mm$ $tf := 10\ mm$

$a := 40\ mm$ $c := 40\ mm$ $b := 250\ mm$

$q1 := 10\ \frac{kN}{m}$ $q2 := D5 \cdot 25\ \frac{kN}{m}$ $\gamma a1 := 1,1$ $\gamma a2 := 1,35$

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

Propriedades Geométricas:

$d := 2 \cdot tf + hw = 470\ mm$ $Ag := 2 \cdot bf \cdot tf + hw \cdot tw = 76\ cm^2$

$Iz := \frac{bf \cdot d^3}{12} - \frac{(bf - tw) \cdot hw^3}{12} = 27238\ cm^4$ $Wz := \frac{Iz}{0,5 \cdot d} = 1159,1\ cm^3$ $rz := \sqrt{\frac{Iz}{Ag}} = 18,931\ cm$

$Iy := \frac{2 \cdot tf \cdot bf^3}{12} + \frac{hw \cdot tw^3}{12} = 1335,3\ cm^4$ $Wy := \frac{Iy}{0,5 \cdot bf} = 133,53\ cm^3$ $ry := \sqrt{\frac{Iy}{Ag}} = 4,1916\ cm$

$Zz := 2 \cdot \left(bf \cdot tf \cdot \frac{(hw + tf)}{2} + \frac{hw}{2} \cdot tw \cdot \frac{hw}{4} \right) = 1325,0\ cm^3$ $Cw := \frac{Iy \cdot (d - tf)^2}{4} = 7,0635 \cdot 10^5\ cm^6$

$J := \frac{1}{3} \cdot \left(2 \cdot bf \cdot tf^3 + hw \cdot tw^3 \right) = 21,013\ cm^4$ $\beta 1 := \frac{0,7 \cdot fy \cdot Wz}{E \cdot J} = 0,067570\ \frac{1}{cm}$

$G16 := \frac{Wz}{cm^3} = 1159,1$

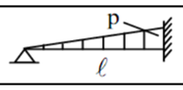
Combinações de Ações:

$\gamma g := 1,25$ $\gamma q := 1,5$ $\psi 1 := 0,6$

Combinação Normal ELU: q_elu = γg.q1 + γg.q2 $q_elu := \gamma g \cdot q1 + \gamma q \cdot q2 = 42,50 \frac{kN}{m}$

Combinação Quase-Permanente ELS: q_els = q1 + ψ1.q2 $q_els := q1 + \psi 1 \cdot q2 = 22,00 \frac{kN}{m}$

Solicitações Máximas (ELU)

	$\frac{3}{1258}\frac{pL^4}{EI}$	0,447 L	$\frac{pL^4}{120EI}(-\alpha^5 + 2\alpha^3 - \alpha)$

$$\delta(x) := \frac{q_els \cdot L^4}{120 \cdot E \cdot Iz} \cdot \left[-\left(\frac{x}{L}\right)^5 + 2 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^3 - \left(\frac{x}{L}\right) \right]$$

$\theta_i(x) := \frac{d}{dx}\delta(x)$ $M_i(x) := E \cdot Iz \cdot \frac{d}{dx}\theta(x) \cdot \frac{q_elu}{q_els}$ $V_i(x) := \frac{d}{dx}M(x)$

$$\theta(x) := \frac{q_els \cdot L^4}{120 \cdot E \cdot Iz} \cdot \left[-5 \cdot \frac{x^4}{L^5} + 6 \cdot \frac{x^2}{L^3} - \frac{1}{L} \right]$$

$$M(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{120} \cdot \left[-20 \cdot \frac{x^3}{L^5} + 12 \cdot \frac{x}{L^3} \right]$$

$$V(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{120} \cdot \left[-60 \cdot \frac{x^2}{L^5} + 12 \cdot \frac{1}{L^3} \right]$$

Cortantes nos extremos: $Va := V(0) = 29,75\ kN$ $Vb := V(L) = -119\ kN$

Momento solicitante no ponto "C": $Mb := M(L) = -138,83\ kN\ m$

Posição onde ocorre o momento extremo ocorre: $x_ext := \sqrt{\frac{12}{60} \cdot \frac{L^5}{L^3}} = 3,1305\ m$

$Mext :=$ if $x_ext < L = 62,088\ kN\ m$
$M(x_ext)$
else
0

$E \cdot Iz = 54477\ kN\ m^2$

$Msd := \max([|Mb|\ |Mext|]) = 138,83\ kN\ m$ $Vsd := \max([|Va|\ |Vb|]) = 119\ kN$

$\delta_calc := \frac{3 \cdot q_els \cdot L^4}{1258 \cdot E \cdot Iz} = 2,3123\ mm$

$\delta_limite := \frac{L}{350} = 20\ mm$

$G05 := \frac{\delta_calc}{mm} = 2,3123$

$G06 := \frac{|Vb|}{kN} = 119$

$G07 := \frac{|Mb|}{kN\ m} = 138,83$

$G15 := \frac{\delta_limite}{\delta_calc} = 8,6494$

Verificação de Momentos Resistentes - FLA, FLM e FLT:

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

$hw := d - 2 \cdot tf = 450\ mm$

$\lambda_{FLA} := \frac{hw}{tw} = 56{,}25$

$\lambda_{pFLA} := 3{,}76 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 89{,}881$

$\lambda_{rFLA} := 5{,}70 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 136{,}26$

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)

$Mpl := Zz \cdot fy = 463{,}75\ kN\ m$

$My := Wz \cdot fy = 405{,}68\ kN\ m$

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

"Compacta"

else

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

"Semicompacta"

else

"Esbelta"

$Mrd_FLA := \text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA}$ $= 421{,}59\ kN\ m$

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

else

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

$G01 := \frac{Mrd_FLA}{kN\ m} = 421{,}59$

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

$\lambda_{FLM} := \frac{0{,}5 \cdot bf}{tf} = 10$

$\lambda_{pFLM} := 0{,}38 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 9{,}0837$

$kc_calc := \frac{4}{\sqrt{\frac{hw}{tw}}} = 0{,}5333$

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)

$kc := \text{if } kc_calc > 0{,}76$ $= 0{,}5333$

$0{,}76$

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

$\lambda_{rFLM} := 0{,}95 \cdot \sqrt{\frac{E}{(fy - 0{,}30 \cdot fy)}{kc}} = 19{,}82$

$Mr := (fy - 0{,}3 \cdot fy) \cdot Wz = 283{,}97\ kN\ m$

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

$Mrd_FLM := \text{if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM} = 407,65 \text{ kN m}$
$\frac{Mpl}{\gamma a1}$
else
if $\lambda_{FLM} \le \lambda_{rFLM}$
$\frac{1}{\gamma a1} \cdot \left(Mpl - (Mpl - Mr) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{pFLM})}{(\lambda_{rFLM} - \lambda_{pFLM})} \right)$
else
$\frac{0,90 \cdot E \cdot kc}{\lambda_{FLM}^{\ 2} \cdot \gamma a1} \cdot Wc$

$G02 := \frac{Mrd_FLM}{\text{kN m}} = 407,65$

FLT	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5	Ver Nota 1	$\frac{L_b}{r_y}$	$1,76\sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 1

$I_x = \frac{b_f(2*t_f+h_w)^3}{12} - \frac{(b_f-t_w)h_w^3}{12}$ $I_y = 2\frac{t_f b_f^3}{12} + \frac{h_w t_w^3}{12}$ $W_x = \frac{I_x}{0,5d}$ $W_y = \frac{I_y}{0,5b_f}$ $Z_x = 2\left(b_f t_f\left(\frac{h_w}{2} + \frac{t_f}{2}\right) + \frac{h_w^2}{8}t_w\right)$ $M_{pl} = Z_x f_y$

Nota 1 :

$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y J}}{r_y J \beta_1}\sqrt{1+\sqrt{1+\frac{27C_w\beta_1^{\ 2}}{I_y}}}$ $M_{cr} = \frac{C_b\pi^2 E I_y}{L_b^2}\sqrt{\frac{C_w}{I_y}\left(1+0,039\frac{JL_b^2}{C_w}\right)}$ $\beta_1 = \frac{(f_y-\sigma_r)W_x}{E\,J}$ $C_w = \frac{I_y(d-t_f)^2}{4}$ $J = \frac{1}{3}(2b_f t_f^{\ 3} + h_w t_w^{\ 3})$

$ry = 4,1916 \text{ cm}$

$Lb := L = 700 \text{ cm}$

$\lambda_{VIGA} := \frac{Lb}{ry} = 167,00$

$\lambda_{pFLT} := 1,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 42,072$

FLT		
Tipo de Viga	**Relação de Parâmetros**	**Expressão de Cálculo**
Curta	$\lambda \le \lambda_p$	$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Intermediária	$\lambda_p < \lambda \le \lambda_r$	$M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}}\left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r)\frac{(\lambda-\lambda_p)}{(\lambda_r-\lambda_p)}\right] \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Longa	$\lambda_r < \lambda$	$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$

$\lambda_{rFLT} := \frac{1,38 \cdot \sqrt{Iy \cdot J}}{ry \cdot J \cdot \beta 1} \cdot \sqrt{1+\sqrt{1+\frac{27 \cdot Cw \cdot \beta 1^{\ 2}}{Iy}}} = 117,41$

$Tipo_de_Viga := \text{if } \lambda_{VIGA} \le \lambda_{pFLT} = \text{"Esbelta"}$
"Curta"
else
if $\lambda_{VIGA} \le \lambda_{rFLT}$
"Intermediária"
else
"Esbelta"

Cálculo do Fator Cb :

$Ma := |M(0,25 \cdot Lb)| = 46,639 \text{ kN m}$ $Mb := |M(0,50 \cdot Lb)| = 60,740 \text{ kN m}$

$Mc := |M(0,75 \cdot Lb)| = 9,7617 \text{ kN m}$ $M_max := Msd = 138,83 \text{ kN m}$

$Cb := \min\left(\left[\frac{12,5 \cdot M_max}{2,5 \cdot M_max + 3 \cdot Ma + 4 \cdot Mb + 3 \cdot Mc}\ 3\right]\right) = 2,2857$

$Mrd_FLT := \text{if } \lambda_{VIGA} \le \lambda_{pFLT} \quad = 321,96 \text{ kN m}$

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

else

if $\lambda_{VIGA} \le \lambda_{rFLT}$

$\min\left(\left[\frac{Cb}{\gamma a1}\cdot\left(Mpl-\left(Mpl-Mr\right)\cdot\frac{\left(\lambda_{VIGA}-\lambda_{pFLT}\right)}{\left(\lambda_{rFLT}-\lambda_{pFLT}\right)}\right)\ \frac{Mpl}{\gamma a1}\right]\right)$

else

$\min\left(\left[\frac{Cb\cdot\pi^2\cdot E\cdot Iy}{\gamma a1\cdot Lb^2}\cdot\sqrt{\frac{Cw}{Iy}\cdot\left(1+\frac{0,039\cdot J\cdot Lb^2}{Cw}\right)}\ \frac{Mpl}{\gamma a1}\right]\right)$

$Mrd := \min\left(\left[\ Mrd_FLA\ \ Mrd_FLM\ \ Mrd_FLT\ \right]\right) = 321,96 \text{ kN m}$

$G03 := \frac{Mrd_FLT}{\text{kN m}} = 321,96$

$G13 := \frac{Mrd}{Msd} = 2,319$

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

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

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

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.

$Aw := d\cdot tw = 37,6 \text{ cm}^2$ $Vpl := 0,60\cdot Aw\cdot fy = 789,6 \text{ kN}$ $kv := 5,0$

$\lambda_{CIS} := \frac{hw}{tw} = 56,25$ $\lambda_{pCIS} := 1,10\cdot\sqrt{\frac{kv\cdot E}{fy}} = 58,7975$ $\lambda_{rCIS} := 1,37\cdot\sqrt{\frac{kv\cdot E}{fy}} = 73,2296$

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

"Compacta"

else

if $\lambda_{CIS} \le \lambda_{rCIS}$

"Semicompacta"

else

"Esbelta"

$Vrd := \text{if } \lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS} \quad = 717,82 \text{ kN}$

$\frac{Vpl}{\gamma a1}$

else

if $\lambda_{CIS} \le \lambda_{rCIS}$

$\frac{\lambda_{pCIS}\cdot Vpl}{\lambda_{CIS}\cdot\gamma a1}$

else

$1,24\cdot\left(\frac{\lambda_{pCIS}}{\lambda_{CIS}}\right)^2\cdot\frac{Vpl}{\gamma a1}$ $G04 := \frac{Vrd}{\text{kN}} = 717,82$ $G14 := \frac{Vrd}{Vsd} = 6,0321$

Corte nos Parafusos:

*Considerando uso de parafusos de rosca inteira.

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

$Ab := \frac{\pi \cdot db^2}{4} = 3,8795\ cm^2$

$fub := 825\ MPa$

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:

$Fv_Rd_por_plano := \frac{0,4 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 94,8317\ kN$

Planos de corte por parafuso: $n_planos := 1$ Quantidade de parafusos: $n_paraf := 8$

$Fv_Rd_por_paraf := n_planos \cdot Fv_Rd_por_plano = 94,832\ kN$

$Fv_Sd_por_paraf := \frac{Vsd}{n_paraf} = 14,875\ kN$

$G09 := \frac{Fv_Rd_por_paraf}{Fv_Sd_por_paraf} = 6,3752$

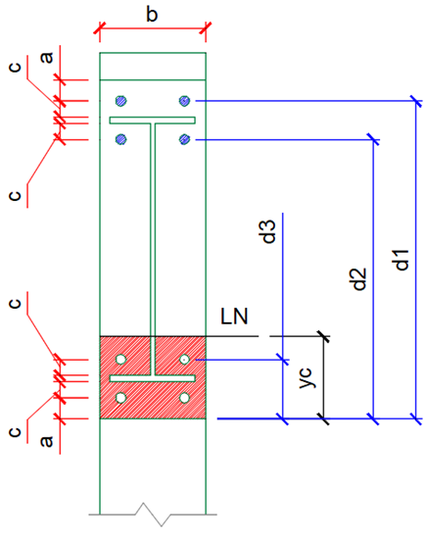
Verificação de Tração nos Parafusos:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,75\, A_b\, f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

$Ft_Rd_por_paraf := \frac{0,75 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 177,81\ kN$

Qual o valor da solicitação de tração que ocorre no parafuso mais solicitado?

--> É necessário calcular a posição da LN para a solicitação de momento incidente, dado que a ligação por contato permite que as chapas deslizem e a distribuição de áreas resistentes é assimétrica.



Equilíbrio de Momentos Estáticos

$$b\,\frac{y_c^2}{2} = \sum A_i\,(d_i - y_c)$$

$h := hw + 2 \cdot tf + 2 \cdot a + 2 \cdot c = 630\ mm$

$d1 := h - a = 590\ mm$ $d2 := h - a - 2 \cdot c - tf = 500\ mm$

$d3 := a + c + tf + c = 130\ mm$

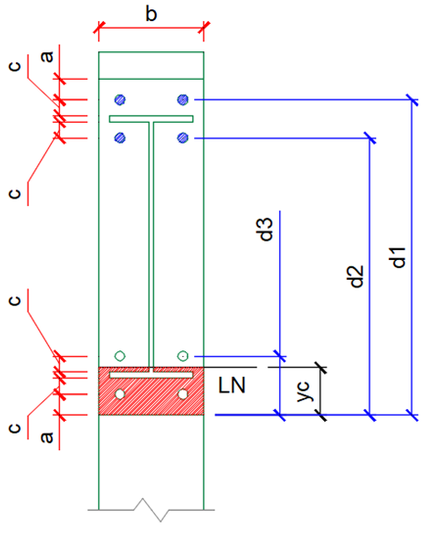
b.yc^2 / 2 = 2.Ab.(d1 - yc) + 2.Ab.(d2 - yc)

$yc1_calc := \text{solve}\left(b \cdot \frac{(yc\ mm)^2}{2} - 2 \cdot Ab \cdot ((d1 - yc\ mm) + (d2 - yc\ mm));\ yc\right)$

$yc1_calc = \begin{bmatrix} -88,6956 \\ 76,2813 \end{bmatrix}$

$yc1 := \max(yc1_calc)\ mm = 76,281\ mm$

* Considerando a linha de furação "3" :



Recalculando a posição da LN considerando mais uma linha de furação:

b.yc^2 / 2 = 2.Ab.(d1 - yc) + 2.Ab.(d2 - yc) + 2.Ab.(d3 - yc)

$yc2_calc := \text{solve}\left(b \cdot \frac{(yc\ mm)^2}{2} - 2 \cdot Ab \cdot ((d1 - yc\ mm) + (d2 - yc\ mm) + (d3 - yc\ mm));\ yc\right)$

$yc2_calc = \begin{bmatrix} -96,8289 \\ 78,2074 \end{bmatrix}$

$yc2 := \max(yc2_calc)\ mm = 78,207\ mm$

$yc := \text{if}\ \ yc1 < d3 = 78,207\ mm$
$\quad yc2$
$\quad \text{else}$
$\quad yc1$

Momento de Inércia da Seção Composta

$$I = b\,\frac{y_c^{\,3}}{3} + \sum A_i (d_i - y_c)^2$$

$$I_sec_comp_1 := \frac{b \cdot yc^{\,3}}{3} + 2 \cdot Ab \cdot (d1 - yc)^2 + 2 \cdot Ab \cdot (d2 - yc)^2 = 38113\ \text{cm}^4$$

$$I_sec_comp_2 := \frac{b \cdot yc^{\,3}}{3} + 2 \cdot Ab \cdot (d1 - yc)^2 + 2 \cdot Ab \cdot (d2 - yc)^2 + 2 \cdot Ab \cdot (d3 - yc)^2 = 38321\ \text{cm}^4$$

$$I_sec_comp := \begin{cases} I_sec_comp_1 & \text{if } yc = yc1 \\ I_sec_comp_2 & \text{else} \end{cases} = 38321\ \text{cm}^4$$

Força de tração solicitante no parafuso mais solicitado (parafusos da linha de furação "1"):

$$F_i = \frac{M}{I} y_i A_i$$

$$Ft_Sd_por_paraf := \frac{Msd}{I_sec_comp} \cdot (d1 - yc) \cdot Ab = 71{,}932\ \text{kN}$$

$Ft_Rd_por_paraf = 177{,}81\ \text{kN}$
$Ft_Sd_por_paraf = 71{,}932\ \text{kN}$

$$G08 := \frac{Ft_Sd_por_paraf}{\text{kN}} = 71{,}932 \qquad G10 := \frac{Ft_Rd_por_paraf}{Ft_Sd_por_paraf} = 2{,}4719$$

Verificação de Tração e Corte Simultâneos:

$$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \le 1{,}0$$

*Verificação sendo feita somente para o parafuso mais solicitado (linha "1" de furação)

$$S_por_R := \left(\frac{Ft_Sd_por_paraf}{Ft_Rd_por_paraf}\right)^2 + \left(\frac{Fv_Sd_por_paraf}{Fv_Rd_por_paraf}\right)^2 = 0{,}1883 < 1$$ OK! Verifica!

$$G11 := S_por_R = 0{,}18826$$

Rasgamento de Chapa e Pressão de Apoio :

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

$$d_b := db = 22{,}225\ \text{mm}$$

bf : borda de furo bc : borda de chapa

$$l_bf_a_bf := (c + tf + c) - \frac{(d_b + 1{,}5\ \text{mm})}{2} - \frac{(d_b + 1{,}5\ \text{mm})}{2} = 66{,}275\ \text{mm}$$

$$l_bf_a_bc := a - \frac{(d_b + 1{,}5\ \text{mm})}{2} = 28{,}1375\ \text{mm}$$

$$lf := \min([\, l_bf_a_bf \;\; l_bf_a_bc \,]) = 28{,}1375\ \text{mm}$$

$$t := \min([\, t1 \;\; t2 \,]) = 10\ \text{mm}$$

$Fc_Rd1 := \frac{1,2 \cdot lf \cdot t \cdot fu}{\gamma a2} = 112,55\ kN$ * Resistência ao rasgamento de chapa no furo mais desfavorável da chapa de menor espessura.

$Fc_Rd2 := \frac{2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot fu}{\gamma a2} = 177,80\ kN$ * Resistência de pressão de apoio por furo da chapa de menor espessura.

$Fc_Rd_por_furo := \min([\ Fc_Rd1\ \ Fc_Rd2\ ]) = 112,55\ kN$ * Resistência aos dois fenômenos por furo.

$G12 := \frac{Fc_Rd_por_furo}{Fv_Sd_por_paraf} = 7,5664$

Resultados:

$D1 = 0,875$ $D2 = 1$ $D3 = 1$ $D4 = 1$ $D5 = 0,8$

$G01 = 421,5909$	$R01 := V_1 = 421,59$	$N01 := gab(R01; G01) = 1$
$G02 = 407,6462$	$R02 := V_2 = 407,65$	$N02 := gab(R02; G02) = 1$
$G03 = 321,9569$	$R03 := V_3 = 293,45$	$N03 := gab(R03; G03) = 0$
$G04 = 717,8182$	$R04 := V_4 = 717,81$	$N04 := gab(R04; G04) = 1$
$G05 = 2,3123$	$R05 := V_5 = 2$	$N05 := gab(R05; G05) = 0$
$G06 = 119,00$	$R06 := V_6 = 185,93$	$N06 := gab(R06; G06) = 0$
$G07 = 138,83$	$R07 := V_7 = 260,31$	$N07 := gab(R07; G07) = 0$
$G08 = 71,932$	$R08 := V_8 = 215,3$	$N08 := gab(R08; G08) = 0$
$G09 = 6,3752$	$R09 := V_9 = 4,181$	$N09 := gab(R09; G09) = 0$
$G10 = 2,4719$	$R10 := V_{10} = 0,8464$	$N10 := gab(R10; G10) = 0$
$G11 = 0,18826$	$R11 := V_{11} = 2,411$	$N11 := gab(R11; G11) = 0$
$G12 = 7,5664$	$R12 := V_{12} = 0,673$	$N12 := gab(R12; G12) = 0$
$G13 = 2,3190$	$R13 := V_{13} = 0,9166$	$N13 := gab(R13; G13) = 0$
$G14 = 6,0321$	$R14 := V_{14} = 3,8605$	$N14 := gab(R14; G14) = 0$
$G15 = 8,6494$	$R15 := V_{15} = 8,6505$	$N15 := gab(R15; G15) = 1$
$G16 = 1159,1$	$R16 := V_{16} = 1159,1$	$N16 := gab(R16; G16) = 1$

$Acertos := N01 + N02 + N03 + N04 + N05 + N06 + N07 + N08 + N09 + N10 + N13 + N14 + N15 + N16$

$Nota := Acertos \cdot peso = 3,5714$
