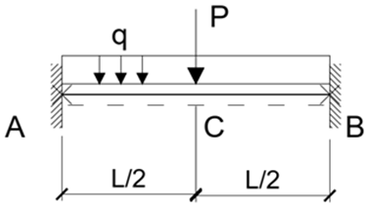
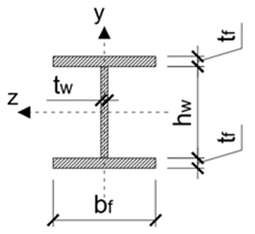
B2T5M0524A

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);

Esquema Estático da Viga "ACB"



Seção Transversal da Viga "ACB" Perfil I Soldado



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

Carregamentos:
- Valores da carga distribuída por metro linear :
q1 = 10 kN/m (peso próprio de estrutura metálica)
q2 = 25 kN/m (acidental de ocupação)

- Valor da carga concentrada aplicada no ponto "C";
P1 = 30 kN (peso próprio de estrutura metálica)

OBS: Não utilizar ações agrupadas na composição das combinações de ações e sim γg = 1.25, γq = 1.50 e ψ1 = 0.6 .

Geometria:

$L := 8,0\ m$ $tw := 8\ mm$ $hw := 400\ mm$ $bf := 200\ mm$ $tf := 10\ mm$

Q01) Qual o valor da relação resistência/solicitação em termos da verificação de momentos fletores FLA da viga "ACB" [adim.] ?
Q02) Qual o valor da relação resistência/solicitação em termos da verificação de momentos fletores FLM da viga "ACB" [adim.] ?
Q03) Qual o valor da relação resistência/solicitação em termos da verificação de momentos fletores FLT da viga "ACB" [adim.] ?
Q04) Qual o valor da relação resistência/solicitação em termos da verificação de esforços cortantes da viga "ACB" [adim.] ?
Q05) Qual o valor da relação flecha limite/flecha calculada da viga "ACB" [adim.] ?

Combinação de Ações:

Combinação ELU (Normal): $q1 := 10\ \frac{kN}{m}$ $\gamma q1 := 1,25$

$P1 := 30\ kN$ $\gamma P1 := 1,25$

$q2 := 25\ \frac{kN}{m}$ $\gamma q2 := 1,50$ $\psi 1 := 0,6$

COMB1 : $q_elu := \gamma q1 \cdot q1 + \gamma q2 \cdot q2 = 50\ \frac{kN}{m}$

$P_elu := \gamma P1 \cdot P1 = 37,5\ kN$

Combinação ELS (Frequente): $q_els := q1 + \psi1 \cdot q2 = 25\ \frac{kN}{m}$

$P_els := P1 = 30\ kN$

Propriedades Geométricas e do Material:

$fy := 350\ MPa = 35\ \frac{kN}{cm^2}$ $\quad E := 200\ GPa = 20000\ \frac{kN}{cm^2}$

$d := 2 \cdot tf + hw = 420\ mm$ $\quad Ag := 2 \cdot bf \cdot tf + hw \cdot tw = 72\ cm^2$

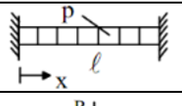
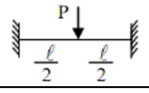
$Iz := \frac{bf \cdot d^3}{12} - \frac{(bf - tw) \cdot hw^3}{12} = 21080\ cm^4$ $\quad Wz := \frac{Iz}{0,5 \cdot d} = 1003,8\ cm^3$ $\quad rz := \sqrt{\frac{Iz}{Ag}} = 17,111\ cm$

$Iy := \frac{2 \cdot tf \cdot bf^3}{12} + \frac{hw \cdot tw^3}{12} = 1335,0\ cm^4$ $\quad Wy := \frac{Iy}{0,5 \cdot bf} = 133,50\ cm^3$ $\quad ry := \sqrt{\frac{Iy}{Ag}} = 4,3061\ cm$

$Zz := 2 \cdot \left(bf \cdot tf \cdot \frac{(hw + tf)}{2} + \frac{hw}{2} \cdot tw \cdot \frac{hw}{4} \right) = 1140,0\ cm^3$ $\quad Cw := \frac{Iy \cdot (d - tf)^2}{4} = 5,6105 \cdot 10^5\ cm^6$

$J := \frac{1}{3} \cdot \left(2 \cdot bf \cdot tf^3 + hw \cdot tw^3 \right) = 20,160\ cm^4$ $\quad \beta1 := \frac{0,7 \cdot fy \cdot Wz}{E \cdot J} = 0,060995\ \frac{1}{cm}$

Solicitações Máximas (ELU) e Máxima Flecha (ELS):

	$\frac{1}{384}\frac{pL^4}{EI}$	0,5 L	$\frac{pL^4}{24EI}(-\alpha^4 + 2\alpha^3 - \alpha^2)$
	$\frac{1}{192}\frac{pL^3}{EI}$	0,5 L	$\frac{PL^3}{48EI}(4\alpha^3 - 3\alpha^2)$

$\delta(x) := \frac{q_els \cdot L^4}{24 \cdot E \cdot Iz} \cdot \left(-\left(\frac{x}{L}\right)^4 + 2 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^3 - \left(\frac{x}{L}\right)^2 \right) + \frac{P_els \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot Iz} \cdot \left(4 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^3 - 3 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^2 \right)$

$\theta(x) := \frac{d}{dx}\delta(x)$ ===> $\theta(x) := \frac{q_els \cdot L^4}{24 \cdot E \cdot Iz} \cdot \left(-4 \cdot \frac{x^3}{L^4} + 6 \cdot \frac{x^2}{L^3} - 2 \cdot \frac{x}{L^2} \right) + \frac{P_els \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot Iz} \cdot \left(12 \cdot \frac{x^2}{L^3} - 6 \cdot \frac{x}{L^2} \right)$

$M(x) := E \cdot Iz \cdot \frac{d}{dx}\theta(x)$ ===> $M(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{24} \cdot \left(-12 \cdot \frac{x^2}{L^4} + 12 \cdot \frac{x}{L^3} - 2 \cdot \frac{1}{L^2} \right) + \frac{P_elu \cdot L^3}{48} \cdot \left(24 \cdot \frac{x}{L^3} - 6 \cdot \frac{1}{L^2} \right)$

$V(x) := \frac{d}{dx}M(x)$ ===> $V(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{24} \cdot \left(-24 \cdot \frac{x}{L^4} + 12 \cdot \frac{1}{L^3} \right) + \frac{P_elu \cdot L^3}{48} \cdot \left(24 \cdot \frac{1}{L^3} \right)$

$M(0) = -304,1667\ kN\ m$ $\quad V(0) = 218,75\ kN$

$M\left(\frac{L}{2}\right) = 170,8333\ kN\ m$ $\quad V\left(\frac{L}{2}\right) = 18,75\ kN$

$Msd := \max\left(\left[|M(0)| \left| M\left(\frac{L}{2}\right) \right| \right] \right) = 304,1667\ kN\ m$ $\quad Vsd := V(0) = 218,75\ kN$

$\delta\left(\frac{L}{2}\right) = -0,8223\ cm$ $\quad Msd := \frac{q_elu \cdot L^2}{12} + \frac{P_elu \cdot L}{8} = 304,1667\ kN\ m$

$\delta calc := \frac{q_els \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot Iz} + \frac{P_els \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot Iz} = 0,8223\ cm$ $\quad Vsd := \frac{q_elu \cdot L}{2} + \frac{P_elu}{2} = 218,75\ kN$

Verificação de Momentos Resistentes - FLA, FLM e FLT:

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

$\lambda_{FLA} := \frac{hw}{tw} = 50$

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

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

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)

$Mpl := Zz \cdot fy = 399$ kN m

$My := Wz \cdot fy = 351{,}33$ kN m

$\gamma a1 := 1{,}1$

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

$Mrd_FLA :=$ if $\lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA}$ $= 362{,}73$ kN m
$\frac{Mpl}{\gamma a1}$
else
$\frac{1}{\gamma a1} \cdot \left(Mpl - (Mpl - My) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{pFLA})}{(\lambda_{rFLA} - \lambda_{pFLA})}\right)$

$Q01 := \frac{Mrd_FLA}{Msd} = 1{,}1925$

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

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

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

$kc_calc := \frac{4}{\sqrt{\frac{hw}{tw}}} = 0{,}5657$

$kc :=$ if $kc_calc > 0{,}76$ $= 0{,}5657$
$0{,}76$
else
if $kc_calc < 0{,}35$
0
else
kc_calc

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)

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

$\lambda_{rFLM} := 0{,}95 \cdot \sqrt{\frac{E}{\frac{(fy - 0{,}30 \cdot fy)}{kc}}} = 20{,}4147$

$Mr := (fy - 0{,}3 \cdot fy) \cdot Wz = 24593$ kN cm

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

$Mrd_FLM := \text{if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM} \quad = 351,47 \text{ kN m}$

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

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

$\frac{0,90 \cdot E \cdot kc}{\lambda_{FLM}^{\ 2} \cdot \gamma a1} \cdot Wc$

$Q02 := \frac{Mrd_FLM}{Msd} = 1,1555$

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

$Lb := L = 800 \text{ cm}$

$\lambda_{VIGA} := \frac{Lb}{ry} = 185,7843$

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

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	$\lambda_r < \lambda$	$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$

$\lambda_{rFLT} := \frac{1,38 \cdot \sqrt{Iy \cdot J}}{ry \cdot J \cdot \beta 1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot Cw \cdot \beta 1^{\ 2}}{Iy}}} = 117,6685$

$Tipo_de_Viga := \text{if } \lambda_{VIGA} \le \lambda_{pFLT} \quad = \text{"Longa"}$

"Curta"

else

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

"Intermediária"

else

"Longa"

Cálculo do Fator Cb:

OBS1 : A equação de momentos fletores desenvolvida neste exercício vale somente de x = 0 até x = L / 2;

OBS1 : Dada a simetria da viga (em carga e geometria) Ma = Mc;

$Ma := \left| M\left(\frac{1}{4} \cdot Lb\right) \right| = 33,3333 \text{ kN m}$

$Mb := \left| M\left(\frac{1}{2} \cdot Lb\right) \right| = 170,8333 \text{ kN m}$

$Mc := Ma = 33,3333 \text{ kN m}$

$M_max := Msd = 304,1667 \text{ kN m}$

$Cb := \min\left(\left[\frac{12,5 \cdot M_max}{2,5 \cdot M_max + 3 \cdot Ma + 4 \cdot Mb + 3 \cdot Mc} \quad 3 \right]\right) = 2,3131$

$$Mrd_FLT := \text{if } \lambda_{VIGA} \le \lambda_{pFLT} \quad = 244,4616 \text{ kN m}$$

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

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

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

$$Q03 := \frac{Mrd_FLT}{Msd} = 0,8037$$

$$Mrd := \min\left(\left[\ Mrd_FLA\ \ Mrd_FLM\ \ Mrd_FLT\ \right]\right) = 244,4616 \text{ kN m}$$

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.

$Aw := d \cdot tw = 33,6 \text{ cm}^2$ $\quad Vpl := 0,60 \cdot Aw \cdot fy = 705,6 \text{ kN}$ $\quad kv := 5,0$

$\lambda_{CIS} := \frac{hw}{tw} = 50$ $\quad \lambda_{pCIS} := 1,10 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 58,7975$ $\quad \lambda_{rCIS} := 1,37 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 73,2296$

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

"Compacta"

else

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

"Semicompacta"

else

"Esbelta"

$$Vrd := \text{if } \lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS} \quad = 641,4545 \text{ kN}$$

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

else

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

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

else

$$1,24\cdot\left(\frac{\lambda_{pCIS}}{\lambda_{CIS}}\right)^2\cdot\frac{Vpl}{\gamma a1}$$

$$Q04 := \frac{Vrd}{Vsd} = 2,9324$$

Verificação de Flecha:

$$\delta lim := \frac{L}{350} = 2,2857 \text{ cm}$$

$$Q05 := \frac{\delta lim}{\delta calc} = 2,7798$$

$Q01 = 1,1925$

$Q02 = 1,1555$

$Q03 = 0,8037$

$Q04 = 2,9324$

$Q05 = 2,7798$
