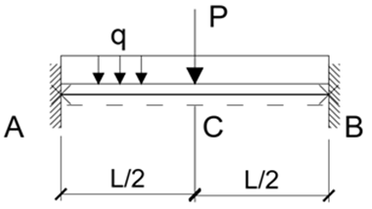
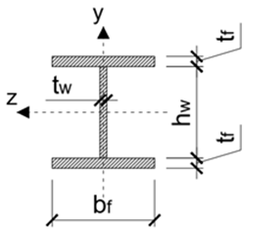
B2T5N0520A

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 MR250 nas chapas;

Carregamentos:

- Valores da carga distribuída por metro linear :
q1 = 10 kN/m (peso próprio de estrutura metálica)
q2 = 20 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:

$L := 8,0\ m$ $tw := 10\ mm$ $hw := 450\ mm$ $bf := 200\ mm$ $tf := 12,5\ mm$

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.] ?

Combinações de Ações:

$q1 := 10\ \frac{kN}{m}$ peso próprio de est. metálica $\gamma q1 := 1,25$

$P1 := 30\ kN$ peso próprio de est. metálica $\gamma P1 := 1,25$

$q2 := 20\ \frac{kN}{m}$ acidental de ocupação $\gamma q2 := 1,50$ $\psi 1_q2 := 0,6$

COMB. ELU $q_elu := \gamma q1 \cdot q1 + \gamma q2 \cdot q2 = 42,5 \frac{kN}{m}$

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

* Dada a simetria de geometria e carregamenta, os máximos e mínimos efeitos das cargas ocorrem nos mesmos pontos.

COMB. ELS $q_els := q1 + q2 \cdot \psi 1_q2 = 22 \frac{kN}{m}$

$P_els := P1 = 30\ kN$

Propriedades Geométricas e do Aço:

$fy := 250\ MPa = 25 \frac{kN}{cm^2}$ $E := 200\ GPa = 20000 \frac{kN}{cm^2}$

$d := 2 \cdot tf + hw = 475\ mm$ $Ag := 2 \cdot bf \cdot tf + hw \cdot tw = 95\ cm^2$

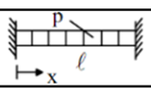
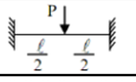
$Iz := \frac{bf \cdot d^3}{12} - \frac{(bf - tw) \cdot hw^3}{12} = 34339\ cm^4$ $Wz := \frac{Iz}{0,5 \cdot d} = 1445,8\ cm^3$ $rz := \sqrt{\frac{Iz}{Ag}} = 19,012\ cm$

$Iy := \frac{2 \cdot tf \cdot bf^3}{12} + \frac{hw \cdot tw^3}{12} = 1670,4\ cm^4$ $Wy := \frac{Iy}{0,5 \cdot bf} = 167,04\ cm^3$ $ry := \sqrt{\frac{Iy}{Ag}} = 4,1932\ cm$

$Zz := 2 \cdot \left(bf \cdot tf \cdot \frac{(hw + tf)}{2} + \frac{hw}{2} \cdot tw \cdot \frac{hw}{4} \right) = 1662,5\ cm^3$ $Cw := \frac{Iy \cdot (d - tf)^2}{4} = 8,9328 \cdot 10^5\ cm^6$

$J := \frac{1}{3} \cdot \left(2 \cdot bf \cdot tf^3 + hw \cdot tw^3 \right) = 41,042\ cm^4$ $\beta 1 := \frac{0,7 \cdot fy \cdot Wz}{E \cdot J} = 0,030825 \frac{1}{cm}$

Solicitações Máximas (ELU) e 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	$\frac{PL^3}{48EI}(4\alpha^3 - 3\alpha^2)$

Dada a simetria de carregamento e geometria da viga o momento fletor máximo em móudlo pode ser encontrado nas extremidades ou no meio da viga e o cortante máximo em módulo estará nas extremidades

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

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

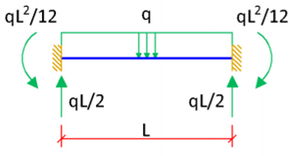
$M(x) := E \cdot Iz \cdot \frac{d}{dx}\theta(x)$ ===> $M(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{24} \cdot \left(-12 \cdot \frac{x^2}{L^4} + 12 \cdot \frac{x}{L^3} - 2 \cdot \frac{1}{L^2} \right) + \frac{P_elu \cdot L^3}{48} \cdot \left(24 \cdot \frac{x}{L^3} - \frac{6}{L^2} \right)$

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

$M(0) = -264,2\ kN\ m$ $M\left(\frac{L}{2}\right) = 150,8\ kN\ m$

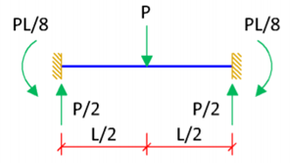
$Msd := \max\left(\left[\left| M(0) \right| \left| M\left(\frac{L}{2}\right) \right| \right] \right) = 264,2\ kN\ m$ $Vsd := V(0) = 188,8\ kN$

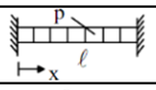
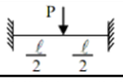
Alternativamente :



$$Msd := \frac{q_elu \cdot L^{2}}{12} + \frac{P_elu \cdot L}{8} = 264,2 \text{ kN m}$$

$$Vsd := \frac{q_elu \cdot L}{2} + \frac{P_elu}{2} = 188,8 \text{ kN}$$



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

$$\delta calc := \left|\delta\left(\frac{L}{2}\right)\right| = 0,4582 \text{ cm}$$

$$\delta calc_tabela := \frac{q_els \cdot L^{4}}{384 \cdot E \cdot Iz} + \frac{P_els \cdot L^{3}}{192 \cdot E \cdot Iz} = 0,4582 \text{ cm}$$

Verificação de Momentos Resistentes - FLA, FLM e FLT:

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

$$\lambda_{FLA} := \frac{hw}{tw} = 45$$

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

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

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)

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

$$Mpl := Zz \cdot fy = 415,62 \text{ kN m}$$

$$My := Wz \cdot fy = 361,46 \text{ kN m}$$

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

$$Mrd_FLA := \text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA} \ \frac{Mpl}{\gamma a1} \text{ else } \frac{1}{\gamma a1} \cdot \left[Mpl - (Mpl - My) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{pFLA})}{(\lambda_{rFLA} - \lambda_{pFLA})}\right] = 377,84 \text{ kN m}$$

$$Q01 := \frac{Mrd_FLA}{Msd} = 1,4303$$

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

$\lambda_{FLM} := \frac{0{,}5 \cdot bf}{tf} = 8$

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

$kc_calc := \frac{4}{\sqrt{\frac{hw}{tw}}} = 0{,}5963$

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
        0,76
      else
        if kc_calc < 0,35
          0
        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 $0{,}35 \le k_c \le 0{,}76$

$\lambda_{rFLM} := 0{,}95 \cdot \sqrt{\frac{E}{\frac{0{,}7 \cdot fy}{kc}}} = 24{,}7997$

$Mr := (fy - 0{,}3 \cdot fy) \cdot Wz = 253{,}02\ \text{kN m}$

```
Tipo_de_Mesa := if λ_FLM ≤ λ_pFLM
                  "Compacta"
                else
                  if λ_FLM ≤ λ_rFLM
                    "Semicompacta"
                  else
                    "Esbelta"
```

```
Mrd_FLM := if λ_FLM ≤ λ_pFLM                                   = 377,84 kN m
             Mpl / γa1
           else
             if λ_FLM ≤ λ_rFLM
               1/γa1 · ( Mpl − (Mpl − Mr) · (λ_FLM − λ_pFLM) / (λ_rFLM − λ_pFLM) )
             else
               1/γa1 · 0,90 · E · kc / λ_FLM² · Wc
```

$Q02 := \frac{Mrd_FLM}{Msd} = 1{,}4303$

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 :

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

$ry = 4{,}1932\ \text{cm}$

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

$\lambda_{VIGA} := \frac{Lb}{ry} = 190{,}7829$

$\lambda_{pFLT} := 1{,}76\cdot\sqrt{\frac{E}{fy}} = 49{,}7803$

$\lambda_{rFLT} := \frac{1{,}38\cdot\sqrt{Iy\cdot J}}{ry\cdot J\cdot\beta 1}\cdot\sqrt{1+\sqrt{1+\frac{27\cdot Cw\cdot\beta 1^2}{Iy}}} = 149{,}7944$

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

```
Tipo_de_Viga := if λ_VIGA ≤ λ_pFLT                    = "Longa"
                  "Curta"
                else
                  if λ_VIGA ≤ λ_rFLT
                    "Intermediária"
                  else
                    "Longa"
```

Cálculo do Fator Cb :

Dada a simetria de carga e geometria, tem-se que os momentos Ma e Mc são iguais.

$Ma := \left|M\left(0{,}25\cdot Lb\right)\right| = 28{,}33\ \text{kN m}$ $Mc := Ma = 28{,}33\ \text{kN m}$

Caso a viga fosse biapoioada, Mb e Mmax também seriam iguais, pois o máximo momento ocorre no meio da viga, porém, como o modelo em questão é biengastado, isto não ocorre pois o máximo momento (em módulo) está nos apoios.

$Mb := \left|M\left(0{,}50\cdot Lb\right)\right| = 150{,}8\ \text{kN m}$ $M_max := \left|M\left(0\right)\right| = 264{,}2\ \text{kN m}$

$Cb := \min\left(\left[\frac{12{,}5\cdot M_max}{2{,}5\cdot M_max + 3\cdot Ma + 4\cdot Mb + 3\cdot Mc}\ 3\right]\right) = 2{,}3031$

```
Mrd_FLT := if λ_VIGA ≤ λ_pFLT                                                    = 365,4873 kN m
             Mpl/γa1
           else
             if λ_VIGA ≤ λ_rFLT
               min([Cb/γa1 · (Mpl − (Mpl − Mr) · (λ_VIGA − λ_pFLT)/(λ_rFLT − λ_pFLT))  Mpl/γa1])
             else
               min([Cb·π^2·E·Iy/(γa1·Lb^2) · √(Cw/Iy · (1 + 0,039·J·Lb^2/Cw))  Mpl/γa1])
```

$\frac{Cb\cdot\pi^2\cdot E\cdot Iy}{\gamma a1\cdot Lb^2}\cdot\sqrt{\frac{Cw}{Iy}\cdot\left(1+\frac{0{,}039\cdot J\cdot Lb^2}{Cw}\right)} = 365{,}4873\ \text{kN m}$

$Mrd := \min([\ Mrd_FLA\ \ Mrd_FLM\ \ Mrd_FLT\ ]) = 365,4873\ kN\ m$

$Q03 := \frac{Mrd_FLT}{Msd} = 1,3835$

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.

$Aw := d \cdot tw = 47,5\ cm^2$ $Vpl := 0,60 \cdot Aw \cdot fy = 712,5\ kN$ $kv := 5,0$

$\lambda_{CIS} := \frac{hw}{tw} = 45$ $\lambda_{pCIS} := 1,10 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 69,5701$ $\lambda_{rCIS} := 1,37 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 86,6464$

```
Tipo_de_Alma_CIS := if λCIS ≤ λpCIS          = "Compacta"
                      "Compacta"
                    else
                      if λCIS ≤ λrCIS
                        "Semicompacta"
                      else
                        "Esbelta"
```

```
Vrd := if λCIS ≤ λpCIS                       = 647,7 kN
         Vpl
         γa1
       else
         if λCIS ≤ λrCIS
           λpCIS · Vpl
           λCIS · γa1
         else
           1,24 · (λpCIS / λCIS)^2 · Vpl
                                     γa1
```

$Q04 := \frac{Vrd}{Vsd} = 3,4317$

Máximas cargas possíveis:

$\delta limite := \frac{L}{350} = 2,2857\ cm$ $\delta calc = 0,4582\ cm$

$Q05 := \frac{\delta limite}{\delta calc} = 4,9887$

$Q01 = 1,4303$

$Q02 = 1,4303$

$Q03 = 1,3835$

$Q04 = 3,4317$

$Q05 = 4,9887$
