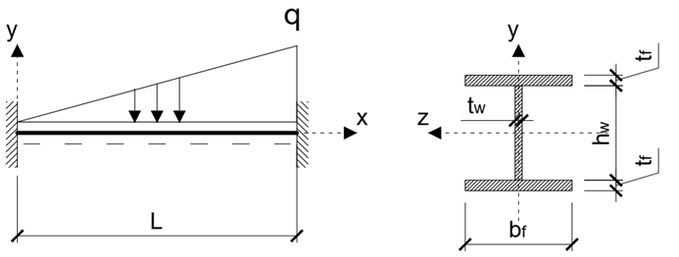
B2T5NA0512A

Para a viga esboçada proceder a combinações de ações pertinentes e as verificações FLA, FLM e FLT para momentos fletores e as verificações de esforços cortantes e deslocamentos máximos, respondendo os questionamentos.

- Viga travada lateralmente somente nos apoios;
- Viga de piso de uma edificação comercial;
- Combinações Normais em ELU e Quase Permanentes em ELS;
- A viga não possui enrijecedores transversais;
- Perfil I soldado;



Dados:
q1 = D1 kN/m (carga de peso próprio de estrutura metálica)
q2 = D2 kN/m (carga acidental de ocupação)
bf = D3 mm
tf = 6,3 mm
hw = D4 mm
tw = 6,3 mm
Aço = MR250
L = 9,0 m
- Considerar ações agrupadas, ou seja, γg=γq=1,4 e ψ2=0,4

$D1 = 6$ $D2 = 10$ $D3 = 200$ $D4 = 650$ $D5 = 0$ $E := 200\ GPa$ $fy := 250\ MPa$ $\gamma a1 := 1,1$

$\gamma g := 1,4$ $\gamma q := 1,4$ $\psi 2 := 0,4$

$q1 := D1\ \frac{kN}{m}$ $q2 := D2\ \frac{kN}{m}$ $bf := D3\ mm$ $tf := 6,3\ mm$ $hw := D4\ mm$ $tw := 6,3\ mm$ $L := 9\ m$

Q01 – Qual o momento fletor resistente da seção transversal em relação à verificação FLA [em kNm]?
Q02 – Qual o momento fletor resistente da seção transversal em relação à verificação FLM [em kNm]?
Q03 – Qual o momento fletor resistente da viga em relação à verificação FLT [em kNm]?
Q04 – Qual o esforço cortante resistente da seção transversal [em kN]?
Q05 – Qual o valor do carregamento em combinação normal ELU para a viga [em kN/m]?
Q06 – Qual o valor do carregamento em combinação quase permanente ELS para a viga [em kN/m]?
Q07 – Qual o valor da razão momento resistente / momento solicitante [adim]?
Q08 – Qual o valor da razão cortante resistente / cortante solicitante [adim]?
Q09 – Qual o valor da razão flecha calculada / flecha limite [adim]?

Propriedades Geométricas Básicas / Momentos Fletores Resistentes Básicos:

Chamando de "z" o eixo horizontal da seção trasnsversal:

$d := 2 \cdot tf + hw = 66,260\ cm$

$Ag := 2 \cdot bf \cdot tf + hw \cdot tw = 66,150\ cm^2$

$Iz := \frac{bf \cdot d^3}{12} - \frac{(bf - tw) \cdot hw^3}{12} = 41555\ cm^4$

$Iy := \frac{2 \cdot tf \cdot bf^3}{12} + \frac{hw \cdot tw^3}{12} = 841,35\ cm^4$

$Wz := \frac{Iz}{0,5 \cdot d} = 1254,3\ cm^3$

$Wy := \frac{Iy}{0,5 \cdot bf} = 84,135\ cm^3$

$Zz := 2 \cdot \left(bf \cdot tf \cdot \left(\frac{tf}{2} + \frac{hw}{2} \right) + \frac{hw}{2} \cdot tw \cdot \left(\frac{hw}{4} \right) \right) = 1492,4\ cm^3$

$My := Wz \cdot fy = 31360\ kN\ cm$

$Mpl := Zz \cdot fy = 37310\ kN\ cm$

$Mrd_lim := \frac{1,5 \cdot Wz \cdot fy}{\gamma a1} = 42760\ kN\ cm$

Combinações de Ações:

$\gamma g := 1,4 \qquad \gamma q := 1,4 \qquad \psi 2 := 0,4$

$q_elu := \gamma g \cdot q1 + \gamma q \cdot q2 = 22,400\ \frac{kN}{m}$

$q_els := q1 + \psi 2 \cdot q2 = 10\ \frac{kN}{m}$

Momento Resistente FLA :

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

$\lambda_{FLA} := \frac{hw}{tw} = 103,1746$

$\lambda_{pFLA} := 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 106,3489$

$\lambda_{rFLA} := 5,70 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 161,2203$

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)

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

$Mrd_FLA := \text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA} = 339,18\ kN\ m$
$\frac{Mpl}{\gamma a1}$
else
$\frac{1}{\gamma a1} \cdot \left[Mpl - (Mpl - My) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{pFLA})}{(\lambda_{rFLA} - \lambda_{pFLA})} \right]$

Momento Resistente FLM :

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

$$\lambda_{FLM} := \frac{0{,}5 \cdot bf}{tf} = 15{,}873$$

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

$$kc_calc := \frac{4}{\sqrt{\frac{hw}{tw}}} = 0{,}39380$$

$$kc := \begin{cases} 0{,}76 & \text{if } kc_calc > 0{,}76 \\ 0{,}35 & \text{if } kc_calc < 0{,}35 \\ kc_calc & \text{otherwise} \end{cases} = 0{,}39380$$

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

$$\lambda_{rFLM} := 0{,}95 \cdot \sqrt{\frac{E}{\frac{(fy - 0{,}30 \cdot fy)}{kc}}} = 20{,}1538$$

$$Mr := (fy - 0{,}3 \cdot fy) \cdot Wz = 21950 \text{ kN cm}$$

*** Perfil simétrico em relação ao eixo "z" logo: $Wc := W$

$$Tipo_de_Mesa := \begin{cases} \text{"Semicompacta"} & \text{if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM} \\ \text{"Compacta"} & \text{if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM} \\ \text{"Semicompacta"} & \text{if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{rFLM} \\ \text{"Esbelta"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Semicompacta"}$$

$$Mrd_FLM := \begin{cases} \frac{Mpl}{\gamma a1} & \text{if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM} \\ \frac{1}{\gamma a1} \cdot \left(Mpl - (Mpl - Mr) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{pFLM})}{(\lambda_{rFLM} - \lambda_{pFLM})} \right) & \text{if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{rFLM} \\ \frac{0{,}90 \cdot E \cdot kc}{\lambda_{FLM}^{\,2}} \cdot Wc & \text{otherwise} \end{cases} = 263{,}1 \text{ kN m}$$

Momento Resistente FLT :

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 :

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

$ry := \sqrt{\frac{Iy}{Ag}} = 3{,}5664$ cm

$Lb := L$

$\lambda_{VIGA} := \frac{Lb}{ry} = 252{,}36$

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

$J := \frac{1}{3}\cdot\left(2\cdot bf\cdot tf^3 + hw\cdot tw^3\right) = 8{,}7516$ cm^4

$Cw := \frac{Iy\cdot(d-tf)^2}{4} = 9{,}0599\cdot10^5$ cm^6

$\beta 1 := \frac{0{,}7\cdot fy\cdot Wz}{E\cdot J} = 0{,}1254\ \frac{1}{\text{cm}}$

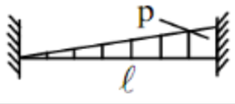
$\lambda_{rFLT} := \frac{1{,}38\cdot\sqrt{Iy\cdot J}}{ry\cdot J\cdot\beta 1}\cdot\sqrt{1+\sqrt{1+\frac{27\cdot Cw\cdot\beta 1^2}{Iy}}} = 143{,}2088$

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
                  "Esbelta"
                else
                  if λ_VIGA ≤ λ_rFLT
                    "Intermediária"
                  else
                    "Esbelta"
```

$q_elu = 22{,}400\ \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Cálculo do Fator Cb:

	$\frac{1}{764}\frac{pL^4}{EI}$	0,525 L	$\frac{pL^4}{120EI}(-\alpha^5+3\alpha^3-2\alpha^2)$

$\theta(x) := \frac{d}{dx}\delta(x)$ --> $\theta(x) := \frac{q_els\cdot L^4}{120\cdot E\cdot Iz}\cdot\left(-5\cdot\left(\frac{x^4}{L^5}\right)+9\cdot\left(\frac{x^2}{L^3}\right)-4\cdot\left(\frac{x}{L^2}\right)\right)$

$M(x) := E\cdot Iz\cdot\frac{d}{dx}\theta(x)$ --> $M(x) := \frac{q_elu\cdot L^4}{120}\cdot\left(-20\cdot\left(\frac{x^3}{L^5}\right)+18\cdot\left(\frac{x}{L^3}\right)-4\cdot\left(\frac{1}{L^2}\right)\right)$

$M(x) := q_elu\cdot\left(-\frac{x^3}{6\cdot L}+\frac{3\cdot L\cdot x}{20}-\frac{L^2}{30}\right)$

$V(x) := \frac{d}{dx}M(x)$ --> $V(x) := q_elu\cdot\left(-\frac{x^2}{2\cdot L}+\frac{3\cdot L}{20}\right)$

Posição do momento fletor extremo: M'(x) = V(x) = 0 $x := \sqrt{\frac{6 \cdot L^2}{20}}$ $x := \sqrt{\frac{3}{10}} \cdot L$

$M(0) = -60,480\ \text{kN m}$ $M\left(\sqrt{\frac{3}{10}} \cdot L\right) = 38,899\ \text{kN m}$ $M(L) = -90,720\ \text{kN m}$

$M_max := \max\left(\left[\left|M(0)\right| \left|M\left(\sqrt{\frac{3}{10}} \cdot L\right)\right| \left|M(L)\right|\right]\right) = 90,720\ \text{kN m}$

$Ma := \left|M(0,25 \cdot L)\right| = 2,8350\ \text{kN m}$ $Mb := \left|M(0,50 \cdot L)\right| = 37,8\ \text{kN m}$ $Mc := \left|M(0,75 \cdot L)\right| = 16,065\ \text{kN m}$

$Cb := \min\left(\left[\frac{12,5 \cdot M_max}{2,5 \cdot M_max + 3 \cdot Ma + 4 \cdot Mb + 3 \cdot Mc}\ 3\right]\right) = 2,6087$

$Mrd_FLT := \text{if}\ \lambda_{VIGA} \le \lambda_{pFLT}$ $= 200,52\ \text{kN m}$

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

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

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

$Mrd := \min\left(\left[Mrd_FLA\ Mrd_FLM\ Mrd_FLT\right]\right) = 200,52\ \text{kN m}$

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

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

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

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.

$Aw := d \cdot tw = 41,744\ \text{cm}^2$ $Vpl := 0,60 \cdot Aw \cdot fy = 626,16\ \text{kN}$ $kv := 5,0$

$\lambda_{CIS} := \frac{hw}{tw} = 103,17$ $\lambda_{pCIS} := 1,10 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 69,5701$ $\lambda_{rCIS} := 1,37 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 86,6464$

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

"Compacta"

else

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

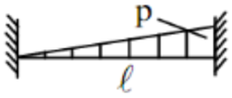
"Semicompacta"

else

"Esbelta"

$$Vrd := \text{if } \lambda_{cis} \le \lambda_{pcis} \quad = 320{,}9312 \text{ kN}$$
$$\frac{Vpl}{\gamma a1}$$
$$\text{else}$$
$$\text{if } \lambda_{cis} \le \lambda_{rcis}$$
$$\frac{\lambda_{pcis} \cdot Vpl}{\lambda_{cis} \cdot \gamma a1}$$
$$\text{else}$$
$$1{,}24 \cdot \left(\frac{\lambda_{pcis}}{\lambda_{cis}} \right)^2 \cdot \frac{Vpl}{\gamma a1}$$

Solicitações Máximas e Razões entre Resistentes / Solicitantes:

	$\frac{1}{764}\frac{pL^4}{EI}$	0,525 L	$\frac{pL^4}{120EI}(-\alpha^5 + 3\alpha^3 - 2\alpha^2)$

$Msd := M_max = 90{,}720$ kN m $Mrd = 200{,}52$ kN m

$RM := \frac{Mrd}{Msd} = 2{,}2103$

$Vsd := \max([\, V(0)\ V(L) \,]) = 30{,}240$ kN $Vrd = 320{,}93$ kN

$RV := \frac{Vrd}{Vsd} = 10{,}613$

$\delta calc := \frac{1 \cdot q_els \cdot L^4}{764 \cdot E \cdot Iz} = 1{,}0333$ mm $\delta lim := \frac{L}{350}$

$R\delta := \frac{\delta lim}{\delta calc} = 24{,}886$

Resultados:

$G01 := \frac{Mrd_FLA}{kN\ m} = 339,1762$ $R01 := V_1 = 339,18$ $N01 := gab(R01; G01) = 1$

$G02 := \frac{Mrd_FLM}{kN\ m} = 263,0947$ $R02 := V_2 = 308,69$ $N02 := gab(R02; G02) = 0$

$G03 := \frac{Mrd_FLT}{kN\ m} = 200,5164$ $R03 := V_3 = 339,18$ $N03 := gab(R03; G03) = 0$

$G04 := \frac{Vrd}{kN} = 320,9312$ $R04 := V_4 = 383,83$ $N04 := gab(R04; G04) = 0$

$G05 := \frac{q_elu}{kN\ m^{-1}} = 22,4$ $R05 := V_5 = 22,4$ $N05 := gab(R05; G05) = 1$

$G06 := \frac{q_els}{kN\ m^{-1}} = 10$ $R06 := V_6 = 10$ $N06 := gab(R06; G06) = 1$

$G07 := \frac{RM}{1} = 2,2103$ $R07 := V_7 = 2,6173$ $N07 := gab(R07; G07) = 0$

$G08 := \frac{RV}{1} = 10,6128$ $R08 := V_8 = 5,7118$ $N08 := gab(R08; G08) = 0$

$G09 := \frac{R\delta}{1} = 24,8855$ $R09 := V_9 = 4,9917$ $N09 := gab(R09; G09) = 0$

$G10 := \frac{Cb}{1} = 2,6087$ $R10 := V_{10} = 1,1712$ $N10 := gab(R10; G10) = 0$

$G11 := \frac{-9999}{1} = -9999$ $R11 := V_{11} = 9999$ $N11 := gab(R11; G11) = 0$

$G12 := \frac{-9999\ kN}{kN} = -9999$ $R12 := V_{12} = 9999$ $N12 := gab(R12; G12) = 0$

$G13 := \frac{-9999\ kN}{kN} = -9999$ $R13 := V_{13} = 9999$ $N13 := gab(R13; G13) = 0$

$G14 := \frac{-9999\ kN}{kN} = -9999$ $R14 := V_{14} = 9999$ $N14 := gab(R14; G14) = 0$

$G15 := \frac{-9999\ kN}{kN} = -9999$ $R15 := V_{15} = 9999$ $N15 := gab(R15; G15) = 0$

$G16 := \frac{-9999\ kN}{kN} = -9999$ $R16 := V_{16} = 9999$ $N16 := gab(R16; G16) = 0$

$Acertos := N01 + N02 + N03 + N04 + N05 + N06 + N07 + N08 + N09 + N10 + N11 + N12 + N13 + N14 + N15 + N16$

$Nota := Acertos \cdot peso = 0,09$