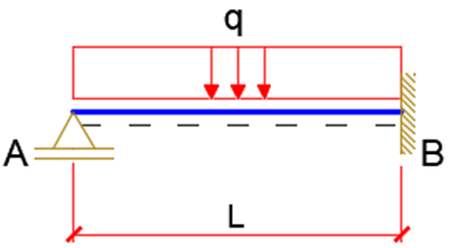
B2T5M0510B

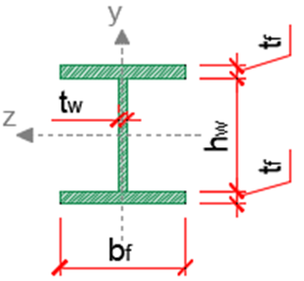
Calcule o máximo carregamento distribuído acidental (em valor característico) que pode ser aplicado na viga da figura sabendo que a mesma tem travamento lateral contínuo.



Perfil I Soldado em Aço MR250 com as seguintes dimensões:

$bf := 190\ mm$ $tf := 6,3\ mm$ $L := 7\ m$

$hw := 380\ mm$ $tw := 6,3\ mm$



- Combinação normal em ELU e quase-permanente em ELS sendo a viga parte de um edificação residencial de acesso restrito compondo um piso;
- Combinações com ações agrupadas (γg = γq = 1,4 e ψ2 = 0,3);
- Considerar que a única carga permanente será o peso próprio do perfil;

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

$\gamma g := 1,4$ $\gamma q := 1,4$

$\gamma a1 := 1,1$ $\psi 2 := 0,3$

Q01 - Qual o momento fletor resistente FLA do perfil adotado? [em kNm]
Q02 - Qual o momento fletor resistente FLM do perfil adotado? [em kNm]
Q03 - Qual o esforço cortante resistente da viga? [em kN]
Q04 - Qual a máxima carga acidental em valor característico possível de ser aplicada de modo que a verificação de deslocamentos máximos ainda seja atendida? [em kN/m]
Q05 - Qual a máxima carga acidental em valor característico possível de ser aplicada de modo que a verificação de esforços cortantes ainda seja atendida? [em kN/m]
Q06 - Qual a máxima carga acidental em valor característico possível de ser aplicada de modo que as verificações de momentos fletores sejam todas atendidas ? [em kN/m]

Propriedades Geométricas:

$d := 2 \cdot tf + hw = 392,6\ mm$ $Ag := 2 \cdot bf \cdot tf + hw \cdot tw = 47,88\ cm^2$

$Ix := \frac{bf \cdot d^3}{12} - \frac{(bf - tw) \cdot hw^3}{12} = 11813\ cm^4$ $Wx := \frac{Ix}{0,5 \cdot d} = 601,78\ cm^3$

$Zx := 2 \cdot \left(bf \cdot tf \cdot \frac{(hw + tf)}{2} + \frac{hw}{2} \cdot tw \cdot \frac{hw}{4} \right) = 689,83\ cm^3$

Combinações de Ações:

$\gamma aco := 78,5\ \frac{kN}{m^3}$ $q_pp := \gamma aco \cdot Ag = 0,3759\ \frac{kN}{m}$

Combinação Normal ELU: q_elu = γg.q_pp + γg.q_acid $q_elu := \gamma g \cdot q_pp + \gamma q \cdot q_acid$

Combinação Quase-Permanente ELS: q_els = q_pp + ψ2.q_acid $q_els := q_pp + \psi 2 \cdot q_acid$

Verificação de Momentos Resistentes - FLA e FLM:

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

$hw = 380\ mm$ $\quad tw = 6{,}3\ mm$

$\lambda_{FLA} := \frac{hw}{tw} = 60{,}317$

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

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

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)

$Mpl := Zx \cdot fy = 172{,}46\ kN\ m$

$My := Wx \cdot fy = 150{,}44\ kN\ m$

$Mrd_FLA := \frac{Mpl}{\gamma a1} = 156{,}78\ kN\ m$

$Q01 := Mrd_FLA$

```
Tipo_de_Alma_Flex := if λ_FLA ≤ λ_pFLA        = "Compacta"
                       "Compacta"
                     else
                       if λ_FLA ≤ λ_rFLA
                         "Semicompacta"
                       else
                         "Esbelta"
```

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

$\lambda_{FLM} := \frac{0{,}5 \cdot bf}{tf} = 15{,}0794$

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

$fy - \sigma r = fy - 0{,}30 \cdot fy = 0{,}7 \cdot fy$

$kc_calc := \frac{4}{\sqrt{\frac{hw}{tw}}} = 0{,}515$

```
kc := if kc_calc > 0,76    = 0,515
        0,76
      else
        if kc_calc < 0,35
          0,0
        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: $M_{cr} = \frac{0{,}90 E k_c}{\lambda^2} W_c$, $\lambda_r = 0{,}95\sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/k_c}}$

com kc: $k_c = \frac{4}{\sqrt{h_w/t_w}}$ sendo $0{,}35 \le k_c \le 0{,}76$

$\lambda_{rFLM} := 0{,}95 \cdot \sqrt{\frac{E}{\frac{0{,}7 \cdot fy}{kc}}} = 23{,}0483$

$Mr := 0{,}7 \cdot fy \cdot Wx = 10531\ kN\ cm$

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

$$Mrd_FLM := \min\left(\left[\frac{1}{\gamma a1}\cdot\left(Mpl-\left(Mpl-Mr\right)\cdot\frac{\left(\lambda_{FLM}-\lambda_{pFLM}\right)}{\left(\lambda_{rFLM}-\lambda_{pFLM}\right)}\right)\frac{Mpl}{\gamma a1}\right]\right) = 135,2846\ \text{kN m}$$

$$Mrd_limite := \frac{1,5\cdot Wx\cdot fy}{\gamma a1} = 205,1507\ \text{kN m}$$

$$Mrd_final := \min\left(\left[\,Mrd_limite\ \ Mrd_FLA\ \ Mrd_FLM\,\right]\right)$$

$$Q02 := Mrd_FLM$$

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

$V_{pl} = 0,60A_w f_y = 0,60dt_w f_y$

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

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.

$$Aw := d\cdot tw = 24,7338\ \text{cm}^2 \qquad Vpl := 0,60\cdot Aw\cdot fy = 371,007\ \text{kN} \qquad kv := 5,0$$

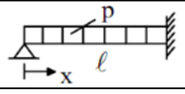
$$\lambda_{CIS} := \frac{hw}{tw} = 60,3175 \qquad \lambda_{pCIS} := 1,10\cdot\sqrt{\frac{kv\cdot E}{fy}} = 69,5701 \qquad \lambda_{rCIS} := 1,37\cdot\sqrt{\frac{kv\cdot E}{fy}} = 86,6464$$

```
Tipo_de_Alma_CIS := if λ_CIS ≤ λ_pCIS        = "Compacta"
                      "Compacta"
                    else
                      if λ_CIS ≤ λ_rCIS
                        "Semicompacta"
                      else
                        "Esbelta"
```

$$Vrd := \frac{Vpl}{\gamma a1} = 337,2791\ \text{kN} \qquad Q03 := Vrd$$

Verificação de Deslocamentos Máximos (Flecha):

$$\delta limite := \frac{L}{350} = 2\ \text{cm}$$

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

$$\delta calc := \frac{3\cdot q_els\cdot L^4}{554\cdot E\cdot Ix} \qquad q_els := q_pp + \psi 2\cdot q_acid$$

$$\delta calc := \frac{3\cdot\left(q_pp+\psi 2\cdot q_acid\right)\cdot L^4}{554\cdot E\cdot Ix}$$

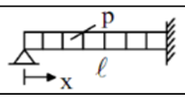
Igualando δcalc = δlimite: $\quad \frac{3\cdot\left(q_pp+\psi 2\cdot q_acid\right)\cdot L^4}{554\cdot E\cdot Ix} = \frac{L}{350}$

$$\frac{3\cdot\left(q_pp+\psi 2\cdot q_acid\right)\cdot L^3}{554\cdot E\cdot Ix} = \frac{1}{350} \quad \text{====>} \quad q_pp+\psi 2\cdot q_acid = \frac{554\cdot E\cdot Ix}{350\cdot 3\cdot L^3}$$

$\psi 2 \cdot q_acid = \frac{554 \cdot E \cdot Ix}{350 \cdot 3 \cdot L^3} - q_pp$ ====> $q_acid_flecha := \frac{1}{\psi 2} \cdot \left(\frac{554 \cdot E \cdot Ix}{350 \cdot 3 \cdot L^3} - q_pp \right) = 119,8877 \ \frac{kN}{m}$

$Q04 := q_acid_flecha$

Carga Acidental Máxima para a Verificação de Cortantes:

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

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

$\frac{d\delta(x)}{dx} = \theta(x)$ $\theta(x) := \frac{q_els \cdot L^4}{48 \cdot E \cdot Ix} \cdot \left(-8 \cdot \frac{x^3}{L^4} + 9 \cdot \frac{x^2}{L^3} - \frac{1}{L} \right)$

$\frac{d\theta(x)}{dx} \cdot E \cdot Ix = M(x)$ $M(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{48} \cdot \left(-24 \cdot \frac{x^2}{L^4} + 18 \cdot \frac{x}{L^3} \right)$

$\frac{dM(x)}{dx} = V(x)$ $V(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{48} \cdot \left(-48 \cdot \frac{x}{L^4} + \frac{18}{L^3} \right)$

Equação e primeiro grau (reta) os valores extremos (máximo e mínimo) estão nos extremos do intervalo da função (x = 0 e x = L)

Para x = 0:

$-48 \cdot \frac{0}{L^4} + \frac{18}{L^3} = 0,0525 \cdot \frac{1}{m^3}$

Para x = L:

$-48 \cdot \frac{L}{L^4} + \frac{18}{L^3} = -0,0875 \cdot \frac{1}{m^3}$

Considerando o cortante em módulo o máximo esforço cortante ocorre em x = L

$Vsd := \left| \frac{q_elu \cdot L^4}{48} \cdot \left(-48 \cdot \frac{L}{L^4} + \frac{18}{L^3} \right) \right|$ ====> $Vsd := \left| \frac{q_elu \cdot L^4}{48} \cdot \left(-\frac{48}{L^3} + \frac{18}{L^3} \right) \right|$

====> $Vsd := \left| \frac{q_elu \cdot L^4}{48} \cdot \left(-\frac{30}{L^3} \right) \right|$ ====> $Vsd := \left| -\frac{5}{8} \cdot q_elu \cdot L \right|$

Igualando Vsd = Vrd $\frac{5}{8} \cdot q_elu \cdot L = Vrd$ $q_elu := \gamma g \cdot q_pp + \gamma q \cdot q_acid$

$\frac{5}{8} \cdot (\gamma g \cdot q_pp + \gamma q \cdot q_acid) \cdot L = Vrd$ ====> $\gamma g \cdot q_pp + \gamma q \cdot q_acid = \frac{8}{5 \cdot L} \cdot Vrd$

====> $\gamma q \cdot q_acid = \frac{8}{5 \cdot L} \cdot Vrd - \gamma g \cdot q_pp$

====> $q_acid_corte := \frac{1}{\gamma q} \cdot \left(\frac{8}{5 \cdot L} \cdot Vrd - \gamma g \cdot q_pp \right) = 54,6901 \ \frac{kN}{m}$ $Q05 := q_acid_corte$

Carga Acidental Máxima para a Verificação de Momentos :

$M(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{48} \cdot \left(-24 \cdot \frac{x^2}{L^4} + 18 \cdot \frac{x}{L^3} \right)$

Cálculo do máximo momento solicitante:
1) derivar M(x) em relação a x e igular a zero para encontrar a posição onde ocorre um máximo/mínimo da função e calcular este valor;
2) calcular o valor de M(x) nos extremos da viga, ou seja, em x = 0 e x = L;

Desprezando o "fator de escala" fora dos parênteses:

$$\frac{d\left(-24\cdot\frac{x^2}{L^4}+18\cdot\frac{x}{L^3}\right)}{dx}=-48\cdot\frac{x}{L^4}+\frac{18}{L^3}\qquad\text{====>}\quad -48\cdot\frac{x}{L^4}+\frac{18}{L^3}=0\qquad\text{====>}\quad x:=-\frac{18}{L^3}\cdot\frac{L^4}{-48}$$

====> $x_max:=\frac{3}{8}\cdot L$

$Mu(x):=-24\cdot\frac{x^2}{L^4}+18\cdot\frac{x}{L^3}$

$Mu\left(\frac{3}{8}\cdot L\right)=0,0689\cdot\frac{1}{m^2}$

$Mu(0)=0$

$Mu(L)=-0,1224\cdot\frac{1}{m^2}$

O Máximo momento fletor solicitante em módulo (Msd) ocorre em x = L.

$$Msd:=\frac{q_elu\cdot L^4}{48}\cdot\left(-24\cdot\frac{L^2}{L^4}+18\cdot\frac{L}{L^3}\right)\qquad\text{====>}\quad Msd:=\frac{q_elu\cdot L^4}{48}\cdot\left(-\frac{24}{L^2}+\frac{18}{L^2}\right)$$

$$\text{====>}\quad Msd:=\frac{q_elu\cdot L^4}{48}\cdot\left(-\frac{6}{L^2}\right)\qquad\text{====>}\quad Msd:=\left|-\frac{q_elu\cdot L^2}{8}\right|$$

Igualando Msd = Mrd :

$$\frac{q_elu\cdot L^2}{8}=Mrd\qquad q_elu:=\gamma g\cdot q_pp+\gamma q\cdot q_acid$$

$$\frac{(\gamma g\cdot q_pp+\gamma q\cdot q_acid)\cdot L^2}{8}=Mrd\qquad\text{====>}\quad \gamma g\cdot q_pp+\gamma q\cdot q_acid=\frac{8}{L^2}\cdot Mrd$$

$$\text{====>}\quad \gamma q\cdot q_acid=\frac{8}{L^2}\cdot Mrd-\gamma g\cdot q_pp$$

$$\text{====>}\quad q_acid_momento:=\frac{1}{\gamma q}\cdot\left(\frac{8}{L^2}\cdot Mrd_final-\gamma g\cdot q_pp\right)=15,4008\ \frac{kN}{m}$$

$Q06:=q_acid_momento$

$Q01=156,7798\ kN\ m$

$Q02=135,2846\ kN\ m$

$Q03=337,2791\ kN$

$Q04=119,8877\ \frac{kN}{m}$

$Q05=54,6901\ \frac{kN}{m}$

$Q06=15,4008\ \frac{kN}{m}$
