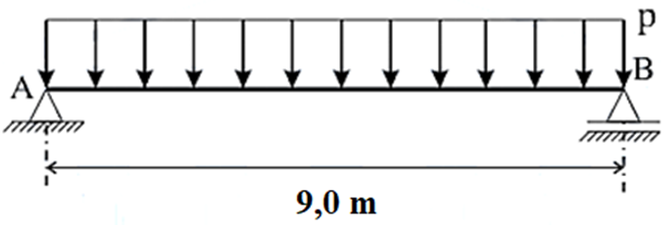
SE1_E08-03

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



Perfil em Aço A 36, tipo VS 550x64;

$bf := 250\ mm$ $tf := 9,5\ mm$ $tw := 6,3\ mm$ $d := 550\ mm$

$Ag := 81\ cm^2$ $Ix := 42500\ cm^4$ $Wx := 1550\ cm^3$ $rx := 22,9\ cm$ $Zx := 1730\ cm^3$

$Iy := 2480\ cm^4$ $ry := 5,53\ cm$ $Cw := 1807000\ cm^6$ $J := 18,7\ cm^4$ $L := 9,0\ m$

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

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

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

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

Combinações de Ações:

$\gamma aco := 78,5\ \frac{kN}{m^3}$ $q_pp := \gamma aco \cdot Ag = 0,63585\ \frac{kN}{m}$

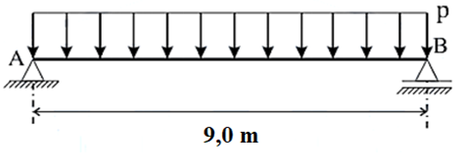
Combinação Normal ELU: q_elu = γg.q_pp + γg.q_acid $q_elu := \gamma g \cdot q_pp + \gamma q \cdot q_acid$

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

Caso a) Solicitações Máximas (ELU)

M_q = q.L^2/ 8 V_q = q.L / 2

$Msd := \frac{q_elu \cdot L^2}{8}$ $Vsd := \frac{q_elu \cdot L}{2}$



Verificação de Momentos Resistentes - FLA, FLM e FLT:

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

$hw := d - 2 \cdot tf = 531,00\ mm$

$\lambda_{FLA} := \frac{hw}{tw} = 84,2857$

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

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

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)

$Mpl := Zx \cdot fy = 432,50$ kN m

$My := Wx \cdot fy = 387,5$ kN m

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

$Mrd_FLA :=$ if $\lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA}$ $= 393,18$ kN m

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

else

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

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

$\lambda_{FLM} := \frac{0,5 \cdot bf}{tf} = 13,1579$

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

$kc_calc := \frac{4}{\sqrt{\frac{hw}{tw}}} = 0,4357$

$kc :=$ if $kc_calc > 0,76$ $= 0,4357$
$0,76$
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 $0,35 \le k_c \le 0,76$

$\lambda_{rFLM} := 0,95 \cdot \sqrt{\frac{E}{(fy - 0,30 \cdot fy)}{kc}} = 21,1988$

$Mr := (fy - 0,3 \cdot fy) \cdot Wx = 27125$ kN cm

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

$Mrd_FLM :=$ if $\lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM}$ $= 359,379$ 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

$\frac{1}{\gamma a1} \cdot \frac{0,90 \cdot E \cdot kc}{\lambda_{FLM}^2} \cdot Wc$

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

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 :

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

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

$ry := \sqrt{\frac{Iy}{Ag}} = 5{,}5333\ \text{cm}$

$Lb := L$

$\lambda_{VIGA} := \frac{Lb}{ry} = 162{,}6519$

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

$J := \frac{1}{3}\cdot\left(2\cdot bf\cdot tf^3 + hw\cdot tw^3\right) = 18{,}7154\ \text{cm}^4$

$\beta 1 := \frac{0{,}7\cdot fy\cdot Wx}{E\cdot J} = 0{,}0725\ \frac{1}{\text{cm}}$

$Cw := \frac{Iy\cdot(d-tf)^2}{4} = 1{,}8113\cdot 10^6\ \text{cm}^6$

$\lambda_{rFLT} := \frac{1{,}38\cdot\sqrt{Iy\cdot J}}{ry\cdot J\cdot\beta 1}\cdot\sqrt{1+\sqrt{1+\frac{27\cdot Cw\cdot\beta 1^2}{Iy}}} = 132{,}7333$

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

Cálculo do Fator Cb (assumindo carga "q" como sendo unitária dado que o fator é determinado apenas pela forma do diagrama não importando a escala do mesmo) :

$q := 1\ \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ $RVa := q\cdot\frac{L}{2}$ $M(x) := RVa\cdot x - \frac{q\cdot x^2}{2}$

$Ma := |M(0{,}25\cdot L)| = 7{,}5938\ \text{kN m}$ $Mb := |M(0{,}50\cdot L)| = 10{,}125\ \text{kN m}$

$Mc := |M(0{,}75\cdot L)| = 7{,}5938\ \text{kN m}$ $M_max := Mb = 10{,}125\ \text{kN m}$

$Cb := \min\left(\left[\ \frac{12{,}5\cdot M_max}{2{,}5\cdot M_max + 3\cdot Ma + 4\cdot Mb + 3\cdot Mc}\ \ 3\ \right]\right) = 1{,}1364$

$Mrd_FLT := \text{if}\ \lambda_{VIGA} \le \lambda_{pFLT} = 194{,}3238\ \text{kN m}$
$\frac{Mpl}{\gamma a1}$
else
if $\lambda_{VIGA} \le \lambda_{rFLT}$
$\min\left(\left[\ \frac{Cb}{\gamma a1}\cdot\left(Mpl - (Mpl - Mr)\cdot\frac{\left(\lambda_{VIGA}-\lambda_{pFLT}\right)}{\left(\lambda_{rFLT}-\lambda_{pFLT}\right)}\right)\ \ \frac{Mpl}{\gamma a1}\ \right]\right)$
else
$\min\left(\left[\ \frac{1}{\gamma a1}\cdot\frac{Cb\cdot\pi^2\cdot E\cdot Iy}{Lb^2}\cdot\sqrt{\frac{Cw}{Iy}\cdot\left(1+\frac{0{,}039\cdot J\cdot Lb^2}{Cw}\right)}\ \ \frac{Mpl}{\gamma a1}\ \right]\right)$

$Mrd := \min\left(\left[\ Mrd_FLA\ \ Mrd_FLM\ \ Mrd_FLT\ \right]\right) = 194{,}3238\ \text{kN m}$

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.

$Aw := d \cdot tw = 34{,}65\ cm^2$ $Vpl := 0{,}60 \cdot Aw \cdot fy = 519{,}75\ kN$ $kv := 5{,}0$

$\lambda_{CIS} := \frac{hw}{tw} = 84{,}2857$ $\lambda_{pCIS} := 1{,}10 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 69{,}5701$ $\lambda_{rCIS} := 1{,}37 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 86{,}6464$

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

$$Vrd := \text{if } \lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS} \quad = 390{,}0053\ kN$$
$$\frac{Vpl}{\gamma a1}$$
else
if $\lambda_{CIS} \le \lambda_{rCIS}$
$$\frac{\lambda_{pCIS} \cdot Vpl}{\lambda_{CIS} \cdot \gamma a1}$$
else
$$1{,}24 \cdot \left(\frac{\lambda_{pCIS}}{\lambda_{CIS}}\right)^2 \cdot \frac{Vpl}{\gamma a1}$$

Máximas cargas possíveis:

Para verificação de momentos fletores: Msd = Mrd

$Msd := \frac{(\gamma g \cdot q_pp + \gamma q \cdot q_acid) \cdot L^2}{8}$ = Mrd

$q_acid_{Mrd} := \frac{1}{\gamma q} \cdot \left(\frac{8 \cdot Mrd}{L^2} - \gamma g \cdot q_pp\right) = 13{,}073\ \frac{kN}{m}$

Para verificação de cortantes: Vsd = Vrd

$Vsd := \frac{(\gamma g \cdot q_pp + \gamma q \cdot q_acid) \cdot L}{2}$ = Vrd

$q_acid_{Vrd} := \frac{1}{\gamma q} \cdot \left(\frac{2 \cdot Vrd}{L} - \gamma g \cdot q_pp\right) = 61{,}2698\ \frac{kN}{m}$

Para verificação de flechas: δcalc = δlim

$$\delta_q := \frac{5 \cdot \left(q_pp + \psi 2 \cdot q_acid\right) \cdot L^{4}}{384 \cdot E \cdot Ix} \qquad \delta lim := \frac{L}{250}$$

$$q_acid_{\delta} := \frac{1}{\psi 2} \cdot \left(\frac{L \cdot 384 \cdot E \cdot Ix}{5 \cdot L^{4} \cdot 250} - q_pp \right) = 117{,}28 \ \frac{kN}{m}$$

$$q_acid := \min\left(\left[\ q_acid_{Mrd} \ \ q_acid_{Vrd} \ \ q_acid_{\delta} \ \right] \right) = 13{,}073 \ \frac{kN}{m}$$
