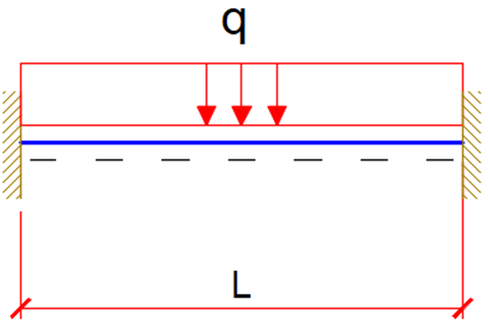
B2T5N0506A

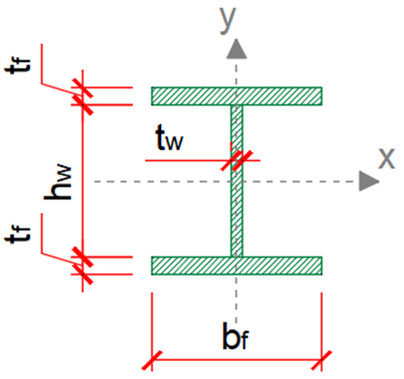
Calcule o máximo carregamento distribuído acidental (em valor característico) que pode ser aplicado na viga da figura sabendo que a mesma tem travamento lateral contínuo.



Perfil I Soldado em Aço A36 com as seguintes dimensões:

$bf := 180\ mm$ $tf := 8\ mm$ $L := 8\ m$

$hw := 350\ mm$ $tw := 6,3\ mm$



- 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 e Momentos Básicos:

$Ag := 2 \cdot bf \cdot tf + hw \cdot tw = 50,85\ cm^2$ $d := 2 \cdot tf + hw = 36,6\ cm$

$$Ix := \frac{bf \cdot d^3}{12} - \frac{(bf - tw) \cdot hw^3}{12} = 11480,2815\ cm^4$$

$$Wx := \frac{Ix}{0,5 \cdot d} = 627,3378\ cm^3$$

$$Zx := 2 \cdot \left((bf \cdot tf) \cdot \left(\frac{tf}{2} + \frac{hw}{2} \right) + \left(\frac{hw}{2} \cdot tw \right) \cdot \frac{hw}{4} \right) = 708,4575\ cm^3$$

$My := Wx \cdot fy = 156,8344\ kN\ m$ $Mr := Wx \cdot 0,7 \cdot fy = 109,7841\ kN\ m$

$Mpl := Zx \cdot fy = 177,1144\ kN\ m$

Combinações de Ações:

$\gamma aco := 78,5 \ \frac{kN}{m^3}$ $\qquad$ $q_pp := \gamma aco \cdot Ag = 0,3992 \ \frac{kN}{m}$

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

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

Momento Resistente FLA:

Verificação da Alma do Perfil quanto a ser ou não ESBELTA:

$\lambda alma := \frac{hw}{tw} = 55,5556$ $\quad < \quad$ $\lambda r_alma := 5,70 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 161,2203$: ALMA NÃO ESBELTA (ANEXO G)

Tipo de Seção e Eixo de Flexão	Estados Limites	M_r	M_{cr}	λ	λ_p	λ_r
Seções I e H com dois eixos de simetria e seções U não sujeitas a momento de torção, fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia	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
	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
	FLA	f_yW	Viga de alma esbelta (Anexo H)	$\frac{h_w}{t_w}$	$3,76\sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$5,70\sqrt{\frac{E}{f_y}}$

$\lambda p_alma := 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 106,3489$ $\qquad$ ALMA COMPACTA para Flexão

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)

$Mrd_FLA := \frac{Mpl}{\gamma a1} = 161,0131 \ kN\ m$

$Q01 := Mrd_FLA$

Momento Resistente FLM:

Tipo de Seção e Eixo de Flexão	Estados Limites	M_r	M_{cr}	λ	λ_p	λ_r
Seções I e H com dois eixos de simetria e seções U não sujeitas a momento de torção, fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia	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
	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
	FLA	f_yW	Viga de alma esbelta (Anexo H)	$\frac{h_w}{t_w}$	$3,76\sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$5,70\sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Nota 6: Para perfis laminados: $M_{cr} = \frac{0,69E}{\lambda^2}W_c$, $\lambda_r = 0,83\sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}}$

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

$\lambda mesa := \frac{0,5 \cdot bf}{tf} = 11,25$ $\qquad$ $kc := \frac{4}{\sqrt{\frac{hw}{tw}}} = 0,5367$ $\qquad$ OK ! entre 0,35 e 0,76

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

$\lambda r_mesa := 0,95 \cdot \sqrt{\frac{E}{\frac{0,7 \cdot fy}{kc}}} = 23,5271$ MESA SEMICOMPACTA para Flexão

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)

$Mrd_FLA := \frac{Mpl}{\gamma a1} = 161,0131 \text{ kN m}$

$Q01 := Mrd_FLA$

$Mrd_FLM := \frac{1}{\gamma a1} \cdot \left[Mpl - (Mpl - Mr) \cdot \frac{(\lambda mesa - \lambda p_mesa)}{(\lambda r_mesa - \lambda p_mesa)}\right] = 158,6087 \text{ kN m} < \frac{Mpl}{\gamma a1} = 161,0131 \text{ kN m}$ OK !

$Q02 := Mrd_FLM$

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

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

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

$\boldsymbol{k_v}$ igual a 5,0 para almas sem enrijecedores transversais, para $\boldsymbol{\frac{a}{h_w} > 3}$ ou para $\boldsymbol{\frac{a}{h_w} > \left[\frac{260}{h_w/t_w}\right]^2}$ e $\boldsymbol{5 + \frac{5}{(a/h_w)^2}}$ para os demais casos.

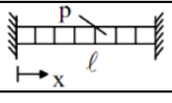
$Vpl := 0,60 \cdot d \cdot tw \cdot fy = 345,87 \text{ kN}$ $kv := 5,0$ não há menção quanto à enrijecedores, logo assume-se que os mesmos não existam

$\lambda cis := \frac{hw}{tw} = 55,5556$ $\lambda p_cis := 1,10 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 69,5701$ $\lambda r_cis := 1,37 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 86,6464$

ALMA COMPACTA para Cisalhamento

$Vrd := \frac{Vpl}{\gamma a1} = 314,4273 \text{ kN}$ $Q03 := Vrd$

Verificação de Flecha:

Vinculação e Carregamento	Flecha		Equação da Elástica
	δ_{max}	Posição x	
	$\frac{1}{384}\frac{pL^4}{EI}$	0,5 L	$\frac{pL^4}{24EI}(-\alpha^4 + 2\alpha^3 - \alpha^2)$

Verificação de deslocamentos (flechas) é uma verificação ELS!

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

$q_pp = 0,3992 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ $\psi 2 = 0,3$

$$\delta calc := \frac{q_pp \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot Ix} + \frac{\psi 2 \cdot q_acid \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot Ix}$$

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

Igualando δcalc com δlimite:

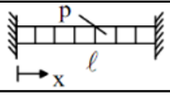
$$\delta calc = \delta limite$$

$$\frac{q_pp \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot Ix} + \frac{\psi 2 \cdot q_acid \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot Ix} = \frac{L}{350} \quad ===> \quad (q_pp + \psi 2 \cdot q_acid) \cdot \frac{L^4}{384 \cdot E \cdot Ix} = \frac{L}{350} \quad ===>$$

$$q_pp + \psi 2 \cdot q_acid = \frac{L}{350} \cdot \frac{384 \cdot E \cdot Ix}{L^4} \quad ===> \quad \psi 2 \cdot q_acid = \frac{L}{350} \cdot \frac{384 \cdot E \cdot Ix}{L^4} - qpp \quad ===>$$

$$q_acid_flecha := \frac{1}{\psi 2} \cdot \left(\frac{L}{350} \cdot \frac{384 \cdot E \cdot Ix}{L^4} - q_pp \right) = 162,6734 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \qquad Q04 := q_acid_flecha$$

Máxima Carga Acidental para a Verficação de Cortantes:

Vinculação e Carregamento	Flecha		Equação da Elástica
	δ_{max}	Posição x	
	$\frac{1}{384}\frac{pL^4}{EI}$	0,5 L	$\frac{pL^4}{24EI}(-\alpha^4 + 2\alpha^3 - \alpha^2)$

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

$$\frac{d\delta(x)}{dx} = \theta(x) \qquad \theta(x) = \frac{q_els \cdot L^4}{24 \cdot E \cdot Ix} \cdot \left(-\frac{4 \cdot x^3}{L^4} + 6 \cdot \frac{x^2}{L^3} - 2 \cdot \frac{x}{L^2} \right)$$

$$\frac{d\theta(x)}{dx} \cdot E \cdot Ix = M(x) \qquad M(x) = \frac{q_elu \cdot L^4}{24} \cdot \left(-\frac{12 \cdot x^2}{L^4} + 12 \cdot \frac{x}{L^3} - \frac{2}{L^2} \right)$$

$$\frac{dM(x)}{dx} = V(x) \qquad V(x) = \frac{q_elu \cdot L^4}{24} \cdot \left(-\frac{24 \cdot x}{L^4} + \frac{12}{L^3} \right)$$

Como a equação de cortantes á uma reta (função de primeiro grau) o máximo (em módulo) encontra-se nas extremidades

$$V(x) := \frac{1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot L^4}{24} \cdot \left(-\frac{24 \cdot x}{L^4} + \frac{12}{L^3} \right) \qquad V(0) = 4 \text{ kN} \qquad V(L) = -4 \text{ kN}$$

$$V(0) = \frac{q_elu \cdot L^4}{24} \cdot \left(\frac{12}{L^3} \right) \quad ===> \quad Vsd = \frac{q_elu \cdot L}{2} \qquad q_elu := \gamma g \cdot q_pp + \gamma q \cdot q_acid$$

Igualando Vsd com Vrd: $Vsd = Vrd$ $\qquad Vrd = 314,4273 \text{ kN}$

$$\frac{q_elu \cdot L}{2} = Vrd \quad ===> \quad \frac{(\gamma g \cdot q_pp + \gamma q \cdot q_acid) \cdot L}{2} = Vrd \quad ===>$$

$$\gamma g \cdot q_pp + \gamma q \cdot q_acid = Vrd \cdot \frac{2}{L} \quad ===> \quad \gamma q \cdot q_acid = Vrd \cdot \frac{2}{L} - \gamma g \cdot q_pp$$

$$q_acid_corte := \frac{1}{\gamma q} \cdot \left(Vrd \cdot \frac{2}{L} - \gamma g \cdot q_pp \right) = 55,7486 \ \frac{kN}{m} \qquad Q05 := q_acid_corte$$

Máxima Carga Acidental para a Verficação de Momentos:

$$Mrd_limite := \frac{1,5 \cdot Wx \cdot fy}{\gamma a1} = 213,8652 \ kN\,m$$

$$Mrd_FLA = 161,0131 \ kN\,m$$

$$Mrd_FLM = 158,6087 \ kN\,m$$

$$Mrd := \min\left(\left[Mrd_limite \ Mrd_FLA \ Mrd_FLM \right] \right) = 158,6087 \ kN\,m$$

Calcular o Msd:

$$M(x) = \frac{q_elu \cdot L^4}{24} \cdot \left(-\frac{12 \cdot x^2}{L^4} + 12 \cdot \frac{x}{L^3} - \frac{2}{L^2} \right) \qquad \frac{dM(x)}{dx} = \frac{q_elu \cdot L^4}{24} \cdot \left(-\frac{24 \cdot x}{L^4} + \frac{12}{L^3} \right) = 0$$

$$-\frac{24 \cdot x}{L^4} + \frac{12}{L^3} = 0 \quad ====> \quad -\frac{24 \cdot x}{L^4} = -\frac{12}{L^3} \quad ====> \quad x = \frac{12 \cdot L^4}{24 \cdot L^3} \quad ====> \quad x = \frac{L}{2}$$

posição onde ocorre o máximo /mínimo momento

Para encontrar o máximo momento em módulo é preciso analisar o ponto x = L/ 2 e as extremidades da viga (x = 0 e x = L)

$$M(0) = \frac{q_elu \cdot L^4}{24} \cdot \left(-\frac{2}{L^2} \right) \quad ===> \quad M(0) = -\frac{q_elu \cdot L^2}{12}$$

$$M\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{q_elu \cdot L^4}{24} \cdot \left(-\frac{12}{L^4} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 + \frac{12}{L^3} \cdot \left(\frac{L}{2}\right) - \frac{2}{L^2} \right)$$

$$M\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{q_elu \cdot L^4}{24} \cdot \left(-\frac{3}{L^2} + \frac{6}{L^2} - \frac{2}{L^2} \right) \quad ===> \quad M\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{q_elu \cdot L^4}{24} \cdot \left(\frac{1}{L^2} \right) \quad ===> \quad M\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{q_elu \cdot L^2}{24}$$

O máximo momento fletor solicitante em módulo ocorre nas extremidades da viga.

$$Msd = \frac{q_elu \cdot L^2}{12} \qquad q_elu := \gamma g \cdot q_pp + \gamma q \cdot q_acid \qquad Msd = \frac{(\gamma g \cdot q_pp + \gamma q \cdot q_acid) \cdot L^2}{12}$$

Igualando Msd com Mrd

$$Msd = Mrd \quad ===> \quad \frac{(\gamma g \cdot q_pp + \gamma q \cdot q_acid) \cdot L^2}{12} = Mrd \quad ===> \quad \gamma g \cdot q_pp + \gamma q \cdot q_acid = Mrd \cdot \frac{12}{L^2}$$

$$\gamma q \cdot q_acid = Mrd \cdot \frac{12}{L^2} - \gamma g \cdot q_pp \quad ===> \quad q_acid_mom := \frac{1}{\gamma q} \cdot \left(Mrd \cdot \frac{12}{L^2} - \gamma g \cdot q_pp \right) = 20,8431 \ \frac{kN}{m}$$

$$Q06 := q_acid_mom$$

$Q01 = 161,0131 \text{ kN m}$

$Q02 = 158,6087 \text{ kN m}$

$Q03 = 314,4273 \text{ kN}$

$Q04 = 162,6734 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$Q05 = 55,7486 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$Q06 = 20,8431 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
