

Exercícios de Cortante

7.1 Resolvidos

Ex. 7.1.1 Verificação perfil laminado ao Corte Verificação de perfil laminado ao cortante. A viga da figura utiliza um perfil I-152x18,6 de aço ASTM A-36. Verifique se a viga atende aos requisitos da NBR 8800 para resistência ao cisalhamento. Dados: $d = 152\text{mm}$, $t_w = 5,89\text{mm}$, $t_f = 9,12\text{mm}$, $b_f = 84,6\text{mm}$, $P = 120\text{kN}$ e $p = 20\text{kN/m}$.

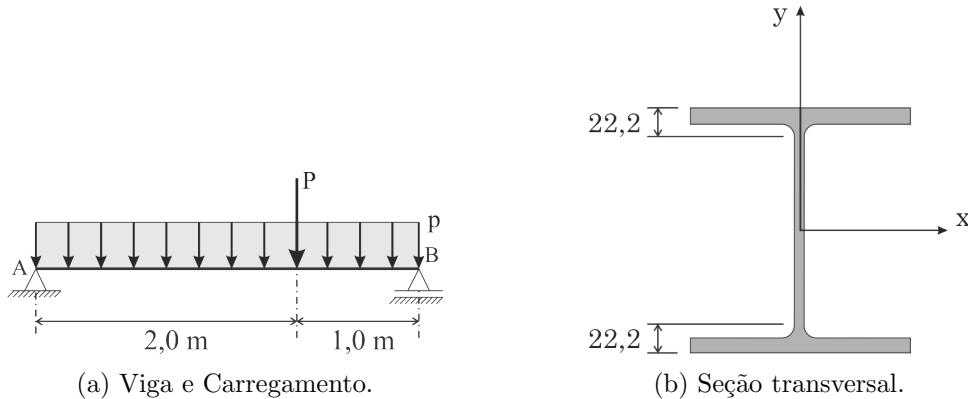


Figura 7.1: Verificação de perfil laminado ao corte.

Solução:

Através da mecânica das estruturas é possível afirmar que o máximo esforço cortante solicitante de cálculo para a viga simplesmente apoiada em questão é numericamente igual à reação de apoio máxima. Sendo assim, tem-se:

$$\Sigma M_A = 0$$

$$p \times 3 \times \frac{3}{2} + P \times 2 - R_B \times 3 = 0$$

$$20 \times 3 \times 1,5\text{m} + 120\text{kN} \times 2 - R_B \times 3 = 0$$

$$\therefore R_B = 110\text{kN}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$P + p \times 33 - R_A - R_B = 0$$

$$120 + 20 \times 3 - R_A - 110 = 0$$

$$\therefore R_A = 70\text{kN}$$

Portanto, tem-se $V_{sd} = 110kN$. Determina-se então o valor do esforço cortante resistente de cálculo como mostrado a seguir. Destaca-se ainda que deve-se descontar o raio de concordância do altura da alma por se tratar de uma viga laminada.

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{d - 2(t_f + r_{conc})}{t_w} = \frac{152 - 2 \times 22,2}{5,89} = 18,268$$

$k_v = 5 \rightarrow$ para alma sem enrijecedores transversais

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 1,10 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{25}} = 69,570$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 1,37 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{25}} = 86,646$$

$\lambda < \lambda_p \rightarrow$ seção compacta!

Para a seção compacta, tem-se:

$$V_{Rd} = \frac{V_{PL}}{\gamma_{a1}} = \frac{0,60 A_w f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,60 (dt_w) f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,60 \times (15,2 \times 0,589) \times 25}{1,1} = 122,08kN$$

Como $V_{Rd} = 122,08kN > V_{sd} = 110kN$, não é necessário adotar enrijecedores intermediários, ou seja, a viga resiste sozinha ao esforço cortante solicitante de cálculo.

Ex. 7.1.2 Recálculo viga piso edifício para corte Recalcular o exercício 6.1.3 apresentado no capítulo anterior, mas agora devendo-se calcular também o esforço cortante resistente.

Solução:

Como já havia sido calculado, tem-se os valores das relações L/h e o valor da carga distribuída majorada q_d :

$$\frac{L}{h} = 8 \rightarrow L = 8h = 8 \times 0,5 = 4m$$

$$\frac{L}{h} = 13 \rightarrow L = 13h = 13 \times 0,5 = 6,5m$$

$$\frac{L}{h} = 20 \rightarrow L = 20h = 20 \times 0,5 = 10m$$

$$q_d = \gamma_g g_k + \gamma_q q_k = (1,3 \times g_k) + (1,5 \times q_k) = (1,3 \times g_k) + [1,5 \times (0,5g_k)] = 2,05g_k$$

Define-se então o máximo esforço cortante solicitante de cálculo como sendo:

$$V_{sd} = \frac{q_d L}{2} = \frac{2,05g_k \times L}{2}$$

Calcula-se então o valor do esforço cortante resistente de cálculo considerando a viga sem enrijecedores transversais. Para isto, define-se primeiro se a seção é compacta, semicompacta ou esbelta:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{d - 2t_f}{t_w} = \frac{500 - 2 \times 16}{6,3} = 74,286$$

$k_v = 5 \rightarrow$ para alma sem enrijecedores transversais

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 1,10 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{25}} = 69,570$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 1,37 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{25}} = 86,646$$

$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \rightarrow$ seção semicompacta!

Com esta informação e também sendo a seção do tipo I fletida em relação ao eixo perpendicular à alma, tem-se:

$$A_w = dt_w = 50 \times 0,63 = 31,5 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl} = 0,60 A_w f_y = 0,60 \times 31,5 \times 25 = 472,5 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda \gamma_{a1}} = \frac{69,570 \times 472,5}{74,286 \times 1,1} = 402,276 \text{ kN}$$

Como o esforço cortante resistente de cálculo deve ser maior ou igual que o esforço cortante solicitante de cálculo, tem-se:

$$V_{Rd} \geq V_{Sd} \rightarrow 402,276 \text{ kN} \geq \frac{2,05 g_k \times L}{2} \rightarrow g_k \leq \frac{392,464}{L}$$

$$\frac{L}{h} = 8 \rightarrow g_k \leq \frac{392,464}{4} \rightarrow g_k \leq 98,116 \text{ kN/m}$$

$$\frac{L}{h} = 13 \rightarrow g_k \leq \frac{392,464}{6,5} \rightarrow g_k \leq 60,375 \text{ kN/m}$$

$$\frac{L}{h} = 20 \rightarrow g_k \leq \frac{392,464}{10} \rightarrow g_k \leq 39,246 \text{ kN/m}$$

São apresentados a seguir os resultados que já haviam sido obtidos para o momento fletor máximo e deslocamento máximos permitido:

$$M_{Rd} \geq M_{Sd} \rightarrow 529,545 \geq \frac{2,05 g_k \times L^2}{8} \rightarrow g_k \leq \frac{2066,517}{L^2}$$

$$\frac{L}{h} = 8 \rightarrow g_k \leq \frac{2066,517}{4^2} \rightarrow g_k \leq 129,157 \text{ kN/m}$$

$$\frac{L}{h} = 13 \rightarrow g_k \leq \frac{2066,517}{6,5^2} \rightarrow g_k \leq 48,912 \text{ kN/m}$$

$$\frac{L}{h} = 20 \rightarrow g_k \leq \frac{2066,517}{10^2} \rightarrow g_k \leq 20,665 \text{ kN/m}$$

$$\delta \leq \delta_{max} \rightarrow 1,495215 \times 10^{-7} \times g \times L^4 \leq \frac{L}{350} \rightarrow g_k \leq \frac{1}{L^3 \times 5,233254 \times 10^{-5}}$$

$$\frac{L}{h} = 8 \rightarrow g_k \leq \frac{1}{4^3 \times 5,233254 \times 10^{-5}} \rightarrow g \leq 298,571 \text{ kN/m}$$

$$\frac{L}{h} = 13 \rightarrow g_k \leq \frac{1}{6,5^3 \times 5,233254 \times 10^{-5}} \rightarrow g \leq 69,581 \text{ kN/m}$$

$$\frac{L}{h} = 20 \rightarrow g_k \leq \frac{1}{10^3 \times 5,233254 \times 10^{-5}} \rightarrow g \leq 19,109 \text{ kN/m}$$

Ao analisar estes resultados é possível afirmar portanto que o esforço cortante é determinante para o caso $L/h=8$, o momento fletor é determinante para o caso $L/h=13$ e o deslocamento é determinante para o caso $L/h=20$.

Ex. 7.1.3 Verificação perfil soldado Corte A viga da figura utiliza um perfil VS550x64, de aço MR-250. Verifique se a viga atende aos requisitos da NBR 8800 para resistência ao cisalhamento. Se necessário, utilize enrijecedores de alma. Dados: $d = 550\text{mm}$, $t_w = 6,3\text{mm}$, $t_f = 9,5\text{mm}$ e $b_f = 250\text{mm}$.

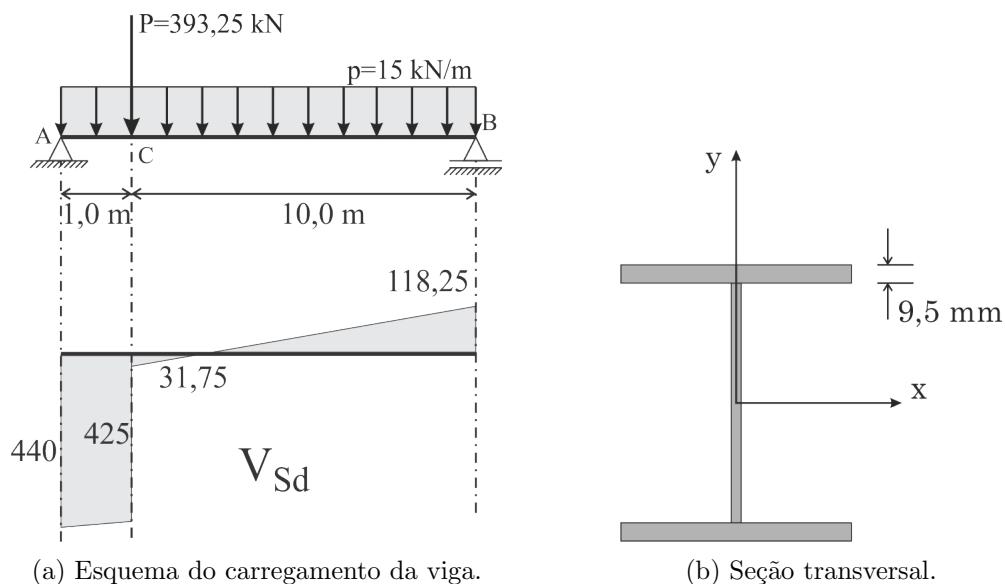


Figura 7.2: Verificação de perfil soldado ao corte.

Solução:

Através do diagrama de esforços cortantes da viga é possível ver que o máximo valor do esforço cortante solicitante de cálculo $V_{Sd} = 440kN$. Deve-se então determinar qual é o esforço cortante resistente de cálculo da seção para ver se é necessário adotar enrijecedores intermediários ou não. Tem-se então:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{d - 2t_f}{t_w} = \frac{550 - 2 \times 9,5}{6,3} = 84,286$$

$k_v = 5 \rightarrow$ para alma sem enrijecedores transversais

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 1,10 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{25}} = 69,570$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 1,37 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{25}} = 86,646$$

$\lambda_n < \lambda \leq \lambda_r \rightarrow$ seção semicompacta!

Com esta informação e também sendo a seção do tipo I fletida em relação ao eixo perpendicular à alma, tem-se:

$$A_w \equiv dt_w \equiv 55 \times 0.63 \equiv 34.65 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl} = 0, 60A_w f_y = 0, 60 \times 34, 65 \times 25 = 519, 75 kN$$

$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda \gamma_{c1}} = \frac{69,570 \times 519,75}{84,286 \times 1,1} = 390,00 kN$$

Como $V_{Rd} = 390,00kN < V_{Sd} = 440kN$, o perfil não resiste sozinho ao esforço cortante solicitante de cálculo. O projetista pode então trocar o perfil ou adotar enrijecedores intermediários para a seção. Neste caso, tentaremos adotados os enrijecedores intermediários.

Para saber se a seção poderá resistir ao esforço solicitante de cálculo com a ajuda dos enrijecedores deve-se determinar qual é o máximo esforço cortante resistente de cálculo da seção, ou seja, para o caso da seção ser compacta. Tem-se:

$$V_{Rd-max} = \frac{V_{PL}}{\gamma_{a1}} = \frac{519,75}{1,1} = 472,50kN$$

Como $V_{Rd-max} = 472,50kN > V_{Sd} = 440kN$, a seção poderá resistir ao esforço solicitante de cálculo máximo com a ajuda de enrijecedores intermediários. Como o valor de λ da seção não pode ser alterado, deve-se alterar os valores de λ_p e λ_r através do coeficiente k_v para que a seção se torne compacta. Assumindo que $\lambda \leq \lambda_p$, tem-se:

$$\begin{aligned} \lambda = 84,286 &\leq \lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \rightarrow 84,286 \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_v \times 20000}{25}} \rightarrow k_v \geq 7,339 \\ k_v &= 5 + \frac{5h^2}{a^2} \\ 7,339 &\leq 5 + \frac{5 \times (d - 2t_f)^2}{a^2} = 5 + \frac{5 \times (550 - 2 \times 9,5)^2}{a^2} \\ a &\leq 776,36mm \end{aligned}$$

Verificando a condição para $k_v = 5,0$ com enrijecedores com o valor calculado do a :

$$\begin{aligned} \frac{a}{h} &< \left(\frac{260t_w}{h} \right)^2 \\ \frac{a}{h} &= \frac{a}{d - 2t_f} = \frac{776,36}{550 - 2 \times 9,5} = 1,462 \\ \left(\frac{260t_w}{h} \right)^2 &= \left(\frac{260t_w}{d - 2t_f} \right)^2 = \left(\frac{260 \times 6,3}{550 - 2 \times 9,5} \right)^2 = 9,516 \\ 1,462 &< 9,516 \rightarrow OK! \end{aligned}$$

Sabe-se portanto que com $a \leq 776,36mm$ a seção é compacta e resiste ao esforço cortante solicitante de cálculo. Entretanto, há ainda a opção de a seção ser semi-compacta e ainda resistir ao esforço cortante solicitante de cálculo, caso este que também deve ser verificado. Tem-se:

$$\begin{aligned} V_{Rd} &= \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda \gamma_{a1}} \geq V_{Sd} = 440kN \rightarrow \frac{\lambda_p \times 519,75}{84,286 \times 1,1} \geq 440 \rightarrow \lambda_p \geq 78,488 \\ 78,488 &\leq \lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \rightarrow 78,488 \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_v \times 20000}{25}} \rightarrow k_v \geq 6,364 \\ k_v &= 5 + \frac{5h^2}{a^2} \\ 6,364 &\leq 5 + \frac{5 \times (d - 2t_f)^2}{a^2} = 5 + \frac{5 \times (550 - 2 \times 9,5)^2}{a^2} \\ a &\leq 1016,65 \end{aligned}$$

Verificando a condição para $k_v = 5,0$ com enrijecedores com o valor calculado do a :

$$\begin{aligned} \frac{a}{h} &< \left(\frac{260t_w}{h} \right)^2 \\ \frac{a}{h} &= \frac{a}{d - 2t_f} = \frac{1016,65}{550 - 2 \times 9,5} = 1,915 \\ \left(\frac{260t_w}{h} \right)^2 &= \left(\frac{260t_w}{d - 2t_f} \right)^2 = \left(\frac{260 \times 6,3}{550 - 2 \times 9,5} \right)^2 \\ 1,915 &< 9,516 \rightarrow OK! \end{aligned}$$

Então, com enrijecedores posicionados ao menos a cada 1016,65mm a seção conseguira resistir ao esforço cortante solicitante de cálculo. Como este valor é mais econômico (a_{max} para $V_{Rd,min}$) que para o caso de transformar a seção em uma seção compacta, essa última opção será adotada.

Como pode ser visto na imagem 7.2a, somente há necessidade de adotar enrijecedores intermediários junto ao apoio da esquerda, uma vez que esta é a única região em que o esforço cortante solicitante de cálculo ultrapassa o valor do esforço cortante resistente de cálculo da seção sem enrijecedores (aproximadamente 390kN).

Sendo assim, serão adotados dois enrijecedores intermediários com $a = 1000mm$, um no apoio A e um sob a carga concentrada P.

Deve-se, por último, dimensionar os enrijecedores de modo que todas as disposições construtivas sejam atendidas. Primeiro, a determina-se o valor de b_{enr} através da limitação física do espaço disponível:

$$b_{enr} \leq \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{250 - 6,3}{2} = 121,85mm$$

Por opção do projetista, tentaremos adotar $b_{enr} = 100mm$ para o enrijecedor. Em seguida, tem-se:

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_{enr}}{t_{enr}} \leq 0,56\sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow \frac{100}{t_{enr}} \leq 0,56\sqrt{\frac{20000}{25}} = 15,839$$

$$t_{enr} \geq 6,313mm \cong 6,3mm$$

Do lado da mesa tracionada, os enrijecedores podem ser interrompidos de forma que a distância entre os pontos mais próximos das soldas entre mesa e alma e entre enrijecedor e alma fique entre os seguintes valores:

$$4t_w \leq dist_{enr-alma} \leq 6t_w \rightarrow 4 \times 6,3 \leq dist_{enr-alma} \leq 6 \times 6,3$$

$$25,2mm \leq dist_{enr-alma} \leq 37,6mm$$

Por opção do projetista, será assumido $dist_{enr-alma} = 30mm$. Sendo assim, a altura do enrijecedor será:

$$h_{enr} = d - 2t_f - dist_{enr-alma} = 550 - 2 \times 9,5 - 30 = 501mm$$

Finalmente, o momento de inércia do enrijecedor em relação ao plano médio da alma, no qual a base é o valor da espessura do enrijecedor e a altura é o valor da base do enrijecedor, deve atender ao exposto a seguir:

$$I_{enr} = \frac{t_{enr}b_{enr}^3}{3} = \frac{6,3 \times 100^3}{3} = 2100000mm^4$$

$$I_{enr} \geq a(t_w)^3 \left(\frac{2,5h^2}{a^2} - 2 \right) \geq 0,5at_w^3$$

$$1000 \times 6,3^3 \times \left(\frac{2,5 \times (550 - 2 \times 9,5)^2}{(1000)^2} - 2 \right) \geq 0,5 \times 1000 \times 6,3^3$$

$$I_{enr} = 2100000mm^4 \geq 176258,75mm^4 \geq 125023,50mm^4 \rightarrow OK!$$

Ex. 7.1.4 Viga alma tracionada Corte A viga da figura utiliza um perfil VS500x61 de aço A-36. Verifique se a viga atende aos requisitos da NBR 8800 para resistência ao cisalhamento. Dados: $d = 500mm$, $t_w = 6,3mm$, $t_f = 9,5mm$, $b_f = 250mm$ e $w = 5mm$ (perna do filete de solda).

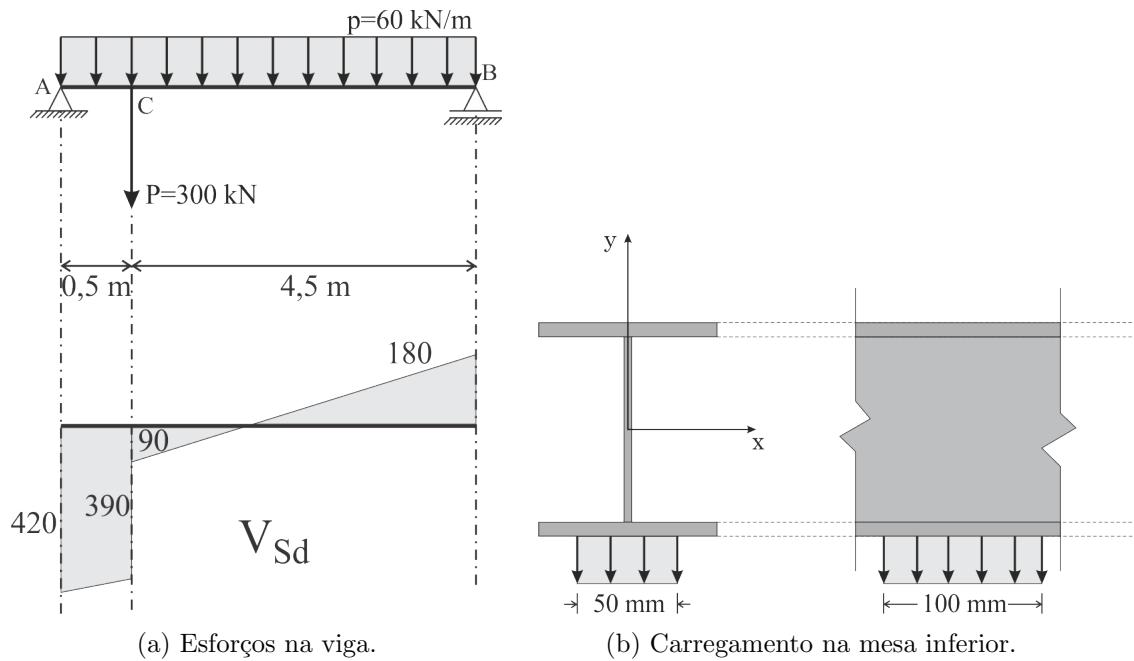


Figura 7.3: Viga alma tracionada ao corte.

Solução:

Através do diagrama de esforços cortantes da viga é possível ver que o máximo valor do esforço cortante solicitante de cálculo $V_{Sd} = 420\text{kN}$. Deve-se então determinar qual é o esforço cortante resistente de cálculo da seção para ver se a é necessário adotar enrijecedores intermediários ou não. Tem-se então:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{d - 2t_f}{t_w} = \frac{500 - 2 \times 9,5}{6,3} = 76,349$$

$k_v = 5 \rightarrow$ para alma sem enrijecedores transversais

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 1,10 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{25}} = 69,570$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 1,37 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{25}} = 86,646$$

$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \rightarrow$ seção semicompacta!

Com esta informação e também sendo a seção do tipo I fletida em relação ao eixo perpendicular à alma, tem-se:

$$A_w = dt_w = 50 \times 0,63 = 31,5\text{cm}^2$$

$$V_{pl} = 0,60 A_w f_y = 0,60 \times 31,5 \times 25 = 472,50\text{kN}$$

$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda \gamma_{a1}} = \frac{69,570 \times 472,5}{76,349 \times 1,1} = 391,41\text{kN}$$

Como $V_{Rd} = 391,41\text{kN} < V_{Sd} = 420\text{kN}$, o perfil não resiste sozinho ao esforço cortante solicitante de cálculo. O projetista pode então trocar o perfil ou adotar enrijecedores intermediários para a seção. Neste caso, tentaremos adotados os enrijecedores intermediários.

Para saber se a seção poderá resistir ao esforço solicitante de cálculo com a ajuda dos enrijecedores deve-se determinar qual é o máximo esforço cortante resistente de cálculo da seção, ou seja, para o caso da seção ser compacta. Tem-se:

$$V_{Rd,max} = \frac{V_{PL}}{\gamma_{a1}} = \frac{472,5}{1,1} = 429,54\text{kN}$$

Como $V_{Rd,max} = 429,54kN > V_{Sd} = 420kN$, a seção poderá resistir ao esforço solicitante de cálculo máximo com a ajuda de enrijecedores intermediários. Como o valor de λ da seção não pode ser alterado, deve-se alterar os valores de λ_p e λ_r através do coeficiente k_v para que a seção se torne compacta. Assumindo que $\lambda \leq \lambda_p$, tem-se:

$$\lambda = 76,349 \leq \lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \rightarrow 76,349 \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_v \times 20000}{25}} \rightarrow k_v \geq 6,022$$

$$k_v = 5 + \frac{5h^2}{a^2} \rightarrow 6,022 \leq 5 + \frac{5 \times (d - 2t_f)^2}{a^2} \rightarrow 6,022 \leq 5 + \frac{5 \times (500 - 2 \times 9,5)^2}{a^2} \rightarrow$$

$$a \leq 1063,91mm$$

Verificando a condição para $k_v = 5,0$ com enrijecedores com o valor calculado do a :

$$\frac{a}{h} < \left(\frac{260t_w}{h}\right)^2 \rightarrow \frac{a}{d - 2t_f} = \frac{1063,91}{500 - 2 \times 9,5} = 2,212 < \left(\frac{260t_w}{h}\right)^2 =$$

$$\left(\frac{260t_w}{d - 2t_f}\right)^2 = \left(\frac{260 \times 6,3}{500 - 2 \times 9,5}\right)^2 = 11,597mm \rightarrow OK!$$

Sabe-se portante que com $a \leq 1063,91mm$ a seção é compacta e resiste ao esforço cortante solicitante de cálculo. Entretanto, há ainda a opção de a seção ser semi-compacta e ainda resistir ao esforço cortante solicitante de cálculo, caso este que também deve ser verificado. Tem-se:

$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda \gamma_{a1}} \geq V_{Sd} = 420kN \rightarrow \frac{\lambda_p \times 472,5}{76,349 \times 1,1} \geq 420 \rightarrow \lambda_p \geq 74,652$$

$$74,652 \leq \lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \rightarrow 74,652 \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_v \times 20000}{25}} \rightarrow k_v \geq 5,757$$

$$k_v = 5 + \frac{5h^2}{a^2} \rightarrow 5,757 \leq 5 + \frac{5 \times (d - 2t_f)^2}{a^2} \rightarrow 5,757 \leq 5 + \frac{5 \times (500 - 2 \times 9,5)^2}{a^2} \rightarrow$$

$$a \leq 1236,18mm$$

Verificando a condição para $k_v = 5,0$ com enrijecedores com o valor calculado do a :

$$\frac{a}{h} < \left(\frac{260t_w}{h}\right)^2 \rightarrow \frac{a}{d - 2t_f} = \frac{1236,18}{500 - 2 \times 9,5} = 2,570 < \left(\frac{260t_w}{h}\right)^2 =$$

$$\left(\frac{260t_w}{d - 2t_f}\right)^2 = \left(\frac{260 \times 6,3}{500 - 2 \times 9,5}\right)^2 = 11,597mm \rightarrow OK!$$

Então, com enrijecedores posicionados ao menos a cada 1236,18mm a seção conseguira resistir ao esforço cortante solicitante de cálculo. Como este valor é mais econômico (a_{max} para $V_{Rd,min}$) que para o caso de transformar a seção em uma seção compacta, esta última opção será adotada. Entretanto, ao analisar o diagrama de esforços cortantes da seção é possível observar que a única região que necessita de enrijecedores intermediários é no apoio A, pois todos os outros pontos que distam ao menos o valor $a = 1236,18mm$ não possuem esforço cortante solicitante de cálculo superior ao valor do esforço cortante resistente de cálculo da viga sozinha.

Este enrijecedores intermediários devem atender às seguintes limitações físicas e disposições construtivas:

$$b_{enr} \leq \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{250 - 6,3}{2} = 121,85mm$$

Por opção do projetista, tentaremos adotar $b_{enr} = 110mm$ para o enrijecedor. Em seguida, tem-se:

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_{enr}}{t_{enr}} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow \frac{110}{t_{enr}} \leq 0,56 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 15,839 \rightarrow$$

$$t_{enr} \geq 6,945mm$$

Por opção do projetista, tentaremos adotar $t_{enr} = 8mm$ para o enrijecedor. Na sequência, do lado da mesa tracionada, os enrijecedores podem ser interrompidos, entretanto, por opção do projetista, será optado por não interromper os enrijecedores. Tem-se:

$$h_{enr} = d - 2t_f = 500 - 2 \times 9,5 = 481mm$$

Finalmente, o momento de inércia do enrijecedor em relação ao plano médio da alma, no qual a base é o valor da espessura do enrijecedor e a altura é o valor da base do enrijecedor, deve atender ao exposto a seguir:

$$I_{enr} = \frac{t_{enr}b_{enr}^3}{3} = \frac{6,3 \times 110^3}{3} = 2795100mm^4$$

$$I_{enr} \geq a(t_w)^3 \left(\frac{2,5h^2}{a^2} - 2 \right) \geq 0,5at_w^3$$

$$1000 \times 6,3^3 \times \left(\frac{2,5 \times (550 - 2 \times 9,5)^2}{(1000)^2} - 2 \right) \geq 0,5 \times 1000 \times 6,3^3$$

$$I_{enr} = 2795100mm^4 \geq 176258,75mm^4 \geq 125023,50mm^4 \rightarrow OK!$$

Ex. 7.1.5 Enrijecedor sob carga concentrada Analisar para a viga do problema 7.1.4 a necessidade de enrijecedores locais de alma sob a carga concentrada. Para a situação da força P, a qual causa tração na alma, será necessário checar os casos de flexão local da mesa e escoamento local da alma.

Solução:

Para o caso de flexão local da mesa, se a largura de atuação da força medida transversalmente ao eixo da viga $b_{forca} < 0,15b_f$, não é necessário fazer a verificação. Tem-se:

$$b_{forca} = 50mm < 0,15b_f = 0,15 \times 250 = 37,5mm \rightarrow \text{Não OK!}$$

Sendo assim, faz-se necessário determinar a força resistente de cálculo da mesa da barra F_{Rd}^{FLM} . Tem-se então:

Flexão local da Mesa (FLM):

$$l_{ap} = 0,5m = 500mm \geq 10t_f = 10 \times 9,5 = 95mm$$

$$F_{Rd}^{FLM} = \frac{6,25t_f^2 f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{6,25 \times 0,95^2 \times 25}{1,1} = 128,20kN$$

Como $F_{Rd}^{FLM} = 128,20kN < P = 300kN$, em relação ao FLM é necessário adotar enrijecedor local sob a carga concentrada P. Como o enrijecedor é dimensionado e as verificações apenas indicam a necessidade ou não de sua aplicação, não é preciso verificar os demais casos. ELA será demonstrado para fins didáticos.

Escoamento local da alma (ELA):

$$l_{ap} = 0,5m = 500mm \rightarrow d = 500mm$$

$$K = t_f + w = 9,5 + 5 = 14,5mm$$

*w é a perna do filete de solda, ou comprimento do lado do filete de solda paralelo a alma.

$$F_{Rd}^{ELA} = \frac{1,10(2,5K + l_{forca})f_y t_w}{\gamma_{a1}} =$$

$$\frac{1,10 \times (2,5 \times 1,45 + 10,0) \times 25 \times 0,63}{1,1} = 214,59kN$$

Como $F_{Rd}^{ELA} = 214,59kN < P = 300kN$, para o ELA também é necessário adotar enrijecedor local sob a carga concentrada P.

Enrijecedores transversais locais que resistem a forças localizadas que produzem tração na alma devem ser dimensionados como barras tracionadas. Entretanto, primeiro é necessário definir as propriedades geométricas do enrijecedor, seguindo as seguintes limitações físicas e disposições construtivas:

$$\begin{aligned} b_{enr} &\leq \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{250 - 6,3}{2} = 121,85mm \\ b_{enr} + \frac{t_w}{2} &\geq \frac{b_f}{3} \rightarrow b_{enr} + \frac{6,3}{2} \geq \frac{250}{3} \rightarrow b_{enr} \geq 80,18mm \\ \therefore 80,18 &\leq b_{enr} \leq 121,85mm \\ t_{enr} &\geq \frac{t_f}{2} \rightarrow t_{enr} \geq \frac{9,5}{2} \rightarrow t_{enr} \geq 4,25mm \\ t_{enr} &\geq \frac{b_f}{15} \rightarrow t_{enr} \geq \frac{250}{15} \rightarrow t_{enr} \geq 16,67mm \\ \therefore t_{enr} &\geq 16,67mm \end{aligned}$$

Será então adotado, por opção do projetista, enrijecedores dos dois lados da alma com $b_{enr} = 85mm$ (dimensão inteira e fácil de medir, pouco maior que o necessário) e $t_{enr} = 17mm$ (próxima inteira). Assumindo também que, por questões construtivas (desviar o raio da solda), há um recorte no enrijecedor de $b_{rec} = 10mm$ onde a mesa e a alma se encontram. Além disso, $C_t = 1,0$ uma vez que a ligação é feita por todos os segmentos de um perfil e a seção participa integralmente da transferência de esforços. Portanto, pode-se então dimensionar o enrijecedor como barra tracionada como mostrado a seguir:

$$\begin{aligned} A_{g,enr} &= 2t_{enr}b_{enr} = 2 \times 1,7 \times 8,5 = 28,9cm^2 \\ A_{e,enr} &= 2t_{enr}(b_{enr} - Recorte) = 2 \times 1,8 \times (8,5 - 1,0) = 27,0cm^2 \\ N_{t,Rd}^{ESB} &= \frac{A_{g,f_y}}{\gamma a 1} = \frac{28,9 \times 25}{1,1} = 656,82kN \\ N_{t,Rd}^{RSL} &= \frac{C_t A_{e,f_u}}{\gamma a 2} = \frac{1,0 \times 27 \times 40}{1,35} = 800,0kN \end{aligned}$$

Como $N_{t,Rd}^{RSL} = 800,0kN > N_{t,Rd}^{ESB} = 656,82kN > P = 300kN$, o dimensionamento dos enrijecedores está ok (poderiam até ser otimizados). Ainda, como o enrijecedor local não está sendo usado para aumentar o valor da força resistente de cálculo ao corte naquele ponto, uma vez $V_{Rd} = 391,41kN > V_{Sd} = 390kN$, não há necessidade de conferir as disposições construtivas para enrijecedores de alma.

Ex. 7.1.6 Determinação carregamento Corte Dado um perfil W530X92,0kg/m, determinar qual a carga distribuída máxima (carga variável de uso aplicada na mesa superior na direção da gravidade) que o perfil suporta para um vão livre de 5m. Para esse carregamento e admitindo-se igual a 10cm o comprimento da placa de apoio da viga, determinar se há necessidade de enrijecedor de apoio. Assumir a viga apoiada lateralmente, portanto sem efeito de flambagem lateral (FLT). Dados: aço ASTM A36 (MR250), $d = 533mm$, $t_w = 10,2mm$, $t_f = 15,6mm$, $h = 502mm$, $b_f = 209mm$, $I_x = 55157cm^4$, $W_x = 2070cm^3$, $r_x = 21,65cm$, $Z_x = 2360cm^3$, $I_y = 2379cm^4$, $W_y = 227,6cm^3$, $r_y = 4,50cm$, $J = 75,5cm^4$ e $r_{conc} = 12mm$ (Raio de Concordância com a Alma).

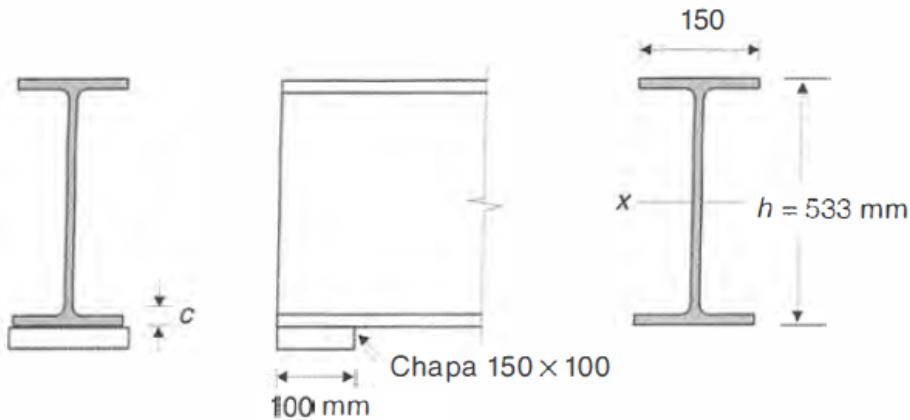


Figura 7.4: Seção transversal e apoios.

Solução:

O primeiro passo é determinar a carga máxima de projeto. Para isto, será calculado o momento fletor resistente de cálculo e através deste se obterá a carga máxima de projeto, a qual será na sequência verificada para o caso de esforço cortante. Destaca-se que o processo inverso também poderia ter sido aqui adotado.

Sendo assim, classifica-se a seção em relação à FLA e FLM, uma vez que FLT não necessita ser verificado pela existência de contenção lateral.

Verificações para a Flexão:

FLA (tipo 1):

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{502}{10,2} = 49,216$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 106,349$$

$\lambda < \lambda_p \rightarrow$ seção compacta!

FLM (tipo 1):

$$\lambda = \frac{\frac{b_f}{2}}{t_f} = \frac{\frac{209}{2}}{15,6} = 6,699$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 10,748$$

$\lambda < \lambda_p \rightarrow$ seção compacta!

Como a seção é compacta para ambos os casos, tem-se:

$$M_{pl} = Z_x f_y = 2360 \times 25 = 59000 \text{ kN.cm} = 590,00 \text{ kN.m}$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{590}{1,1} = 536,36 \text{ kNm}$$

Pode-se então afirmar que a carga distribuída máxima de projeto referente ao momento fletor resistente de cálculo é dada por:

$$M_{Rd} \geq M_{Sd} = \frac{q_d L^2}{8} \rightarrow 536,36 \text{ kNm} \geq \frac{q_d \times (5)^2}{8} \rightarrow q_d \leq 171,63 \text{ kN/m}$$

Agora este valor da carga distribuída máxima de projeto deve ser verificada para o esforço cortante resistente de cálculo da seção. Sendo assim, tem-se o esforço cortante solicitante de cálculo dado por:

$$V_{Sd} = \frac{q_d L}{2} = \frac{171,63 \text{ m} \times 5}{2} = 429,09 \text{ kN}$$

Determina-se então se a seção é compacta, semicompacta ou esbelta e o valor do esforço cortante resistente de cálculo:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{502}{10,2} = 49,216$$

$k_v = 5,0 \rightarrow$ Assumindo inicialmente sem enrijecedores transversais

$$\lambda_p = 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{25}} = 69,570$$

$\lambda < \lambda_p \rightarrow$ Seção compacta!

$$V_{pl} = 0,60 A_w f_y = 0,60(dt_w) f_y = 0,60 \times (53,3 \times 1,02) \times 25 = 815,49 kN$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{815,49}{1,1} = 741,35 kN$$

Como $V_{Rd} \geq V_{Sd}$ pode-se afirmar que o perfil resiste com folga ao esforço cortante solicitante de cálculo, não sendo necessário adotar enrijecedores transversais. Conclui-se ainda que a carga distribuída máxima de projeto é limitada pelo momento fletor, não pelo esforço cortante.

E, portanto, a máxima carga a ser aplicada na viga é:

$$q_k = \frac{q_d}{\gamma_q} = \frac{171,63}{1,5} = 114,42 kN/m$$

O último passo do exercício é determinar se há necessidade de adotar enrijecedores de apoio.

Deste modo, será necessário determinar primeiramente qual é a força solicitante (reação de apoio) oriunda da carga q_d aplicada à viga:

$$F_{Sd} = \frac{q_d L}{2} = \frac{171,63 \times 5}{2} = 429,075 kN$$

Na sequência, é preciso determinar as forças resistentes para as situações de escoamento local da alma (ELA) e enrugamento da alma (EA). Destaca-se que não será verificada a flambagem lateral da alma (FLA) pois a carga está atuando na mesa tracionada.

Escoamento local da alma (ELA):

$$l_{ap} = \frac{l_{forca}}{2} = \frac{100}{2} = 50 mm < d = 533 mm$$

*uma vez que o aparelho de apoio está na extremidade da viga

$$K = t_f + r_{conc} = 15,6 + 12 = 27,6 mm$$

$$F_{Rd}^{ELA} = \frac{1,10(2,5K + l_{forca})f_y t_w}{\gamma_{a1}} = \frac{1,10(2,5 \times 2,76 + 10,0) \times 25 \times 1,02}{1,1} = 430,95 kN$$

Em relação ao ELA não há a necessidade de enrijecedores. Portanto, seguem as verificações até que todas indiquem que não há a necessidade de enrijecedores ou que uma indique que há.

Enrugamento da alma (EA):

$$l_{ap} = \frac{l_{forca}}{2} = \frac{100}{2} = 50 mm < \frac{d}{2} = \frac{533}{2} = 266,5 mm$$

*uma vez que o aparelho de apoio está na extremidade da viga

$$\frac{l_{forca}}{d} = \frac{100}{533} = 0,188 < 0,2$$

$$F_{Rd}^{EA} = \frac{0,33 t_w^2}{\gamma_{a1}} [1 + 3(\frac{l_{forca}}{d})(\frac{t_w}{t_f})^{3/2}] \sqrt{\frac{E f_y t_f}{t_w}}$$

$$\frac{0,33 \times 1,02^2}{1,1} [1 + 3(\frac{10,0}{53,3})(\frac{1,02}{1,56})^{3/2}] \times \sqrt{\frac{20000 \times 25 \times 1,56}{1,02}} = 354,163 kN$$

Como o valor da força resistente de cálculo para o caso de enrugamento da alma é menor do que a força solicitante de cálculo, portanto, é necessário adotar enrijecedores transversais locais (enrijecedor de apoio) estendendo-se pelo menos até a meia-altura da alma. O detalhamento de um enrijecedor transversal local será visto no próximo exercício.

Ex. 7.1.7 Dimensionamento enrijecedor apoio Uma viga VS500X61, contida lateralmente, está submetida a uma carga distribuída permanente de 25 kN/m (estruturas moldadas no local). Calcular o enrijecedor de apoio, supondo que a viga é simplesmente apoiada, com um vão livre de 8 m. O comprimento do aparelho de apoio l_{forca} é igual a 5cm. Verificar também se há necessidade de enrijecedor intermediário. Dados: aço ASTM A36 (MR250), $d = 500mm$, $t_w = 6,3mm$, $t_f = 9,5mm$, $h = 481mm$, $b_f = 250mm$, $I_x = 34416cm^4$, $W_x = 1377cm^3$, $r_x = 21,03cm$, $Z_x = 1529cm^3$, $I_y = 2475cm^4$, $W_y = 198cm^3$, $r_y = 5,64cm$, $J = 18cm^4$ e $b = 5mm$, sendo b o tamanho da perna do filete de solda.

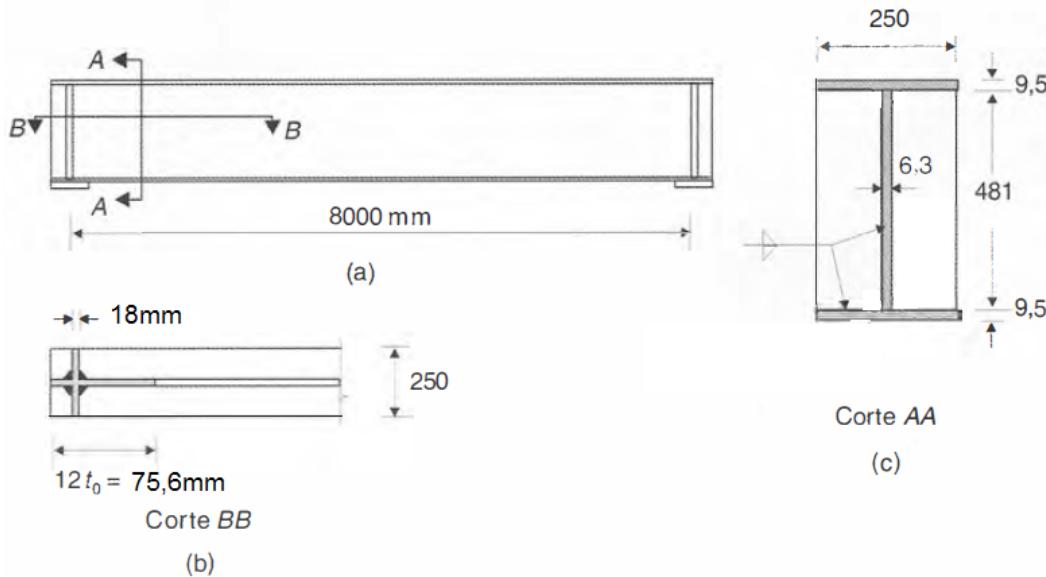


Figura 7.5: Vista lateral da viga (a), corte AA (b) e corte BB (c) com indicação dos enrijecedores e comprimento da alma para a seção transversal resistente no apoio.

Solução:

A reação de apoio da viga simplesmente apoiada, a qual também representa o valor do máximo esforço cortante solicitante de cálculo (V_{Sd}), é dada pela expressão a seguir. Destaca-se que deve ser adotado $\gamma_g = 1,4$ para cargas permanentes.

$$F_{Local,d} = V_{Sd} = \frac{\gamma_g q L}{2} = \frac{1,35 \times 25 \times 8}{2} = 135kN$$

Primeiro será verificada a necessidade de enrijecedores intermediários em função do cortante solicitante. Tem-se:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{481}{6,3} = 76,349$$

$k_v = 5 \rightarrow$ para alma sem enrijecedores transversais

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 1,10 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{25}} = 69,570$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 1,37 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{25}} = 86,646$$

$$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \rightarrow \text{seção semicompacta!}$$

Com esta informação e também sendo a seção do tipo I fletida em relação ao eixo perpendicular à alma, tem-se:

$$A_w = dt_w = 50 \times 0,63 = 31,5 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl} = 0,60 A_w f_y = 0,60 \times 31,5 \times 25 = 472,5 \text{ kN}$$

$$V_{rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda \gamma_{a1}} = \frac{69,570 \times 472,5}{76,349 \times 1,1} = 391,41 \text{ kN}$$

Como $V_{rd} = 391,41 \text{ kN} > V_{Sd} = 135 \text{ kN}$, não é necessário adotar enrijecedores intermediários.

No caso do dimensionamento dos Enrijecedores de apoio, como no exercício anterior 7.1.6, é preciso determinar as forças resistentes para as situações de escoamento local da alma (ELA) e enrugamento da alma (EA). Destaca-se que não será verificada a flambagem lateral da alma (FLA) pois a carga está atuando na mesa tracionada.

Escoamento local da alma (ELA):

$$l_{ap} = \frac{l_{forca}}{2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ mm} < d = 500 \text{ mm}$$

*uma vez que o aparelho de apoio está na extremidade da viga

$$K = t_f + w = t_f + b = 9,5 + 5 = 14,5 \text{ mm}$$

$$F_{Rd}^{ELA} = \frac{1,10(2,5K + l_{forca})f_y t_w}{\gamma_{a1}} = \frac{1,10(2,5 \times 1,45 + 5,0) \times 25 \times 0,63}{1,1} = 135,84 \text{ kN}$$

Como $F_{Rd} = 135,84 \text{ kN} > F_{Local,d} = 135 \text{ kN}$ não será necessário adotar enrijecedores transversais locais (enrijecedor de apoio). Sendo assim, é necessário calcular o valor da força resistente de cálculo para o caso de enrugamento da alma.

Enrugamento da alma (EA):

$$l_{ap} = \frac{l_{forca}}{2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ mm} < \frac{d}{2} = 250 \text{ mm}$$

*uma vez que o aparelho de apoio está na extremidade da viga

$$\frac{l_{forca}}{d} = \frac{50}{500} = 0,1 < 0,2$$

$$F_{Rd}^{EA} = \frac{0,33t_w^2}{\gamma_{a1}} [1 + 3(\frac{l_{forca}}{d})(\frac{t_w}{t_f})^{3/2}] \sqrt{\frac{E f_y t_f}{t_w}} \\ \frac{0,33 \times 0,63^2}{1,1} [1 + 3(\frac{5,0}{50,0})(\frac{0,63}{0,95})^{3/2}] \times \sqrt{\frac{20000 \times 25 \times 0,95}{0,63}} = 120,14 \text{ kN}$$

Portanto, em relação ao enrugamento da alma (EA) são necessários enrijecedores.

Os enrijecedores devem atender os seguintes critérios em relação aos valores de sua largura b_{enr} e espessura t_{enr} :

$$b_{enr} + \frac{t_w}{2} \geq \frac{b_f}{3} \rightarrow b_{enr} + \frac{6,3 \text{ mm}}{2} \geq \frac{250 \text{ mm}}{3} \rightarrow b_{enr} \geq 80,18 \text{ mm}$$

$$t_{enr} \geq \frac{t_f}{2} \rightarrow t_{enr} \geq \frac{9,5}{2} \rightarrow t_{enr} \geq 4,25 \text{ mm}$$

$$t_{enr} \geq \frac{b_f}{15} \rightarrow t_{enr} \geq \frac{250}{15} \rightarrow t_{enr} \geq 16,67 \text{ mm}$$

$$\therefore t_{enr} \geq 16,67 \text{ mm}$$

Será adotado então, por escolha do projetista, um valor de $b_{enr} = 85mm$ e $t_{enr} = 17mm$.

Como o enrijecedor deve ainda aumentar o valor da força cortante resistente de cálculo da viga, este terá ainda que atender aos critérios a seguir:

$$\lambda = \frac{b_{enr}}{t_{enr}} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow \lambda = \frac{85}{17} \leq 0,56 \sqrt{\frac{20000}{25}} \rightarrow \lambda = 5 \leq 28,284 \rightarrow \text{OK!}$$

*como são apenas enrijecedores no apoio, sem a necessidade de mais enrijecedores não é preciso verificar a inércia.

Além disso, deve ainda ser soldado à alma e às mesas, sem haver qualquer tipo de interrupção. Como há solda, não se faz necessário calcular o caso do estado limite de esmagamento local (oriundo de forças que produzem compressão na alma da viga para os estados limites últimos de escoamento local da alma e enrugamento da alma). Deve-se então, finalmente, dimensionar o enrijecedor como barra comprimida para o estado limite último de instabilidade por flexão em relação a um eixo no plano médio da alma. Este se faz necessário pois há forças localizadas que causam compressão na alma e os estados limites últimos de flambagem lateral da alma e flambagem da alma por compressão devem ser analisados. Sendo os enrijecedores de apoio considerados enrijecedores de extremidade, tem-se então:

$$\text{Faixa da Alma para Dimensionamento} = l_{enr,alma} = 12t_w = 12 \times 6,3 = 75,6mm$$

O esquema geral enrijecedor pode ser visto na imagem 7.5.

Pode-se calcular as propriedades geométricas em relação a um eixo no plano médio da alma deste como sendo:

$$\begin{aligned} A_{enr} &= l_{enr,alma} \times t_w + t_{enr} \times b_{enr} \\ &75,6 \times 6,3 + 17 \times 85 = 1921,28mm^2 = 19,21cm^2 \\ I_{enr} &= \frac{l_{enr,alma} \times t_w^3}{12} + 2 \times \frac{t_{enr} \times b_{enr}^3}{12} \\ &\frac{7,56 \times 0,63^3}{12} + 2 \times \frac{1,7 \times 8,5^3}{12} = 0,1575 + 174,0 = \\ &174,16cm^4 \end{aligned}$$

*a inércia é calculada em torno do eixo de flexão.

$$r_{enr} = \sqrt{\frac{I_{enr}}{Area_{enr}}} = \sqrt{\frac{2171,15}{48,63}} = 9,066cm$$

Calcula-se então o valor da resistência de cálculo à compressão do enrijecedor como mostrado a seguir. Destaca-se que, como a seção transversal resistente na região dos enrijecedores é considerada formada pela seção dos enrijecedores mais faixa da alma, essa será considerada como quatro elementos do tipo AL do grupo 4, mas apenas 2 elementos diferentes entre si. O comprimento de flambagem K_{enr} é igual à 0,75 vezes a altura do enrijecedor (recomendado em norma).

$$L_{b,enr} = h_{viga} = 481mm$$

*comprimento destravado do enrijecedor.

$$\frac{KL_{b,enr}}{r_{enr}} \leq 200 \rightarrow \frac{0,75 \times 48,1}{9,066} = 3,979 \leq 200 \rightarrow \text{OK!}$$

Elemento AL, tipo 1, faixa da alma:

$$\lambda_{e,1} = \frac{b}{t} = \frac{l_{enr,alma}}{2 \times t_w} = \frac{75,6}{2 \times 6,3} = 6,000$$

Elemento AL, tipo 2, enrijecedor:

$$\lambda_{e,2} = \frac{b}{t} = \frac{b_{enr}}{t_{enr}} = \frac{85}{17} = 5,0$$

Portanto, o elemento AL definido por parte da alma é mais esbelto.

Elemento AL, tipo 1, faixa da alma (grupo 4):

$$\lambda_{e,lim} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 15,839$$

$$\lambda_{e,1} < \lambda_{e,lim} \text{ e } \lambda_{e,2} < \lambda_{e,lim} \rightarrow Q_s = 1,0$$

$$Q = Q_s = 1,0$$

Força axial flambagem elástica:

$$N_{e,enr} = \frac{\pi^2 EI_{enr}}{(K_{enr} L_{b,enr})^2} = \frac{\pi^2 \times 20000 \times 174,16}{(0,75 \times 48,1)^2} = 26416,03 kN$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{QA_g f_y}{N_{e,enr}}} = \sqrt{\frac{1,0 \times 19,21 \times 25}{26416,03}} = 0,135$$

$$\lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0,658^{\lambda_0^2} = 0,658^{0,135^2} = 0,9924$$

$$F_{Rd,enr} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,9924 \times 1,0 \times 19,21 \times 25}{1,1} = 433,27 kN$$

Como $F_{Rd} = 433,27 kN > F_{Local,d} = 140 kN$, o dimensionamento do enrijecedor de apoio é satisfatório. Teria ainda que se calcular a resistência de projeto da solda, mas este cálculo será deixado para o capítulo referente à este conteúdo.

7.2 Propostos, nível iniciante

Ex. 7.2.1 Resistência viga seção aberta Determine o valor do esforço cortante resistente de cálculo para uma viga de 8m de aço MR-250 e seção transversal I457x81,4kg/m.

Ex. 7.2.2 Resistência viga seção fechada Determine o valor do esforço cortante resistente de cálculo para uma viga de 8m construída com chapas finas Q-40 de 10,0mm de espessura e seção soldada quadrada de lado 300mm.

Ex. 7.2.3 Posição carga concentrada Determine o máximo valor característico da carga de uso que pode ser aplicada na viga na posição indicada na viga de perfil W610x125kg/m e aço A992 mostrada na figura.

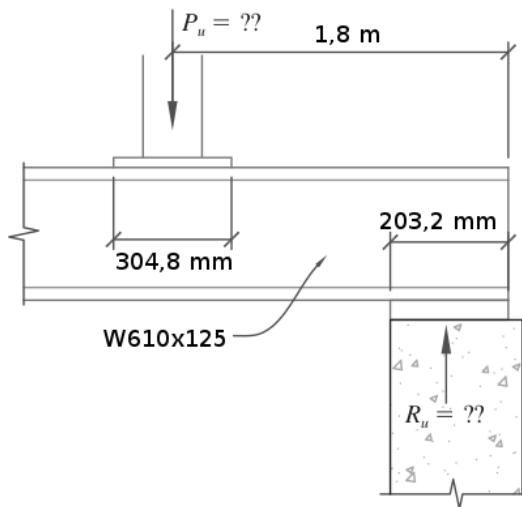


Figura 7.6: Esquema do posicionamento da carga em relação ao apoio.

7.3 Propostos, nível intermediário

Ex. 7.3.1 Viga Cargas Concentradas ao lado A viga mostrada na figura é uma W410x46,1kg/m de aço A992 com contenção lateral contínua. As duas cargas concentradas são características de uso e valem 222,0 kN. Negligenciando o peso próprio da viga, verifique se o perfil está dimensionado corretamente.

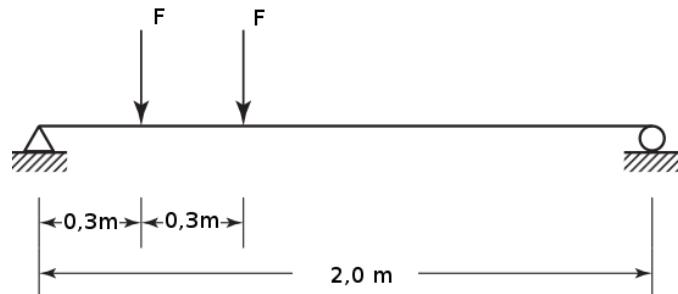


Figura 7.7: Posição das cargas concentradas.

Ex. 7.3.2 Viga em balanço A viga em balanço mostrada na figura é de W250x115kg/m de aço A992, sem quaisquer contenções laterais. O comprimento destravado é igual ao comprimento em balanço. A carga permanente de peso próprio distribuída é de 2,2 kN/m e a concentrada de uso de 400,3 kN. Verifique a viga para $x = 0, 1m$, $x = 1,5m$ e $x = 3,0m$.

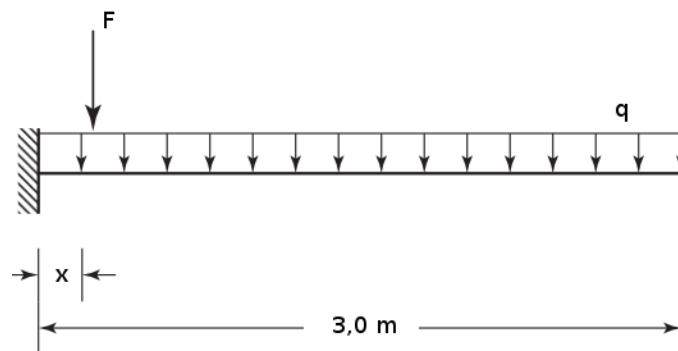


Figura 7.8: Esquema de carga da viga em balanço.

Ex. 7.3.3 Posição da carga verificação Calcule o valor mínimo da distância x , que a carga concentrada truncada de $F_k = 1150\text{kN}$ pode se aproximar do apoio, de modo que seja verificada a resistência ao cisalhamento da viga. Se necessário defina posicionamento e dimensões de enrigecedores de alma. A viga é de perfil VS1000x217 de aço A-36. A carga distribuída é de $g_k = 3\text{kN/m}$ de peso de equipamentos fixos.

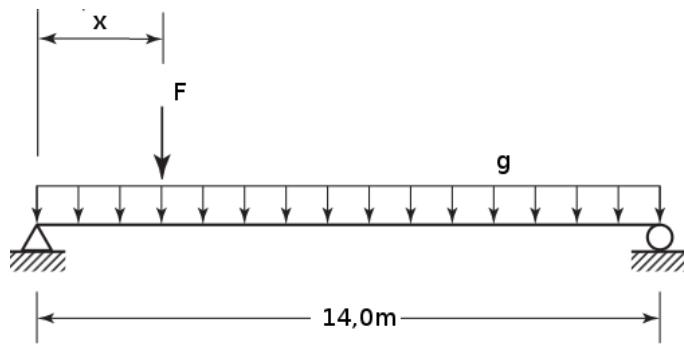


Figura 7.9: Esquema da viga e da posição x da carga.

Ex. 7.3.4 Viga Completa A viga ilustrada na figura é parte de uma estrutura de cobertura. Existem contenções laterais nos extremos da viga e no meio do vão. A carga distribuída consiste de 2678kN/m de elementos construtivos pré-moldados (sem considerar o peso próprio), de 1413kN/m de demais cargas variáveis, 4092kN/m de ações truncadas e 2678kN/m de carga de vento de sobrepressão (atuando na vertical para cima, sentido contrário a gravidade). Use aço A992 para selecionar uma seção transversal (soldada ou laminada). Verifique a flexão, ao corte e ao deslocamento máximo em serviço, que não deve exceder $\frac{L}{180}$.

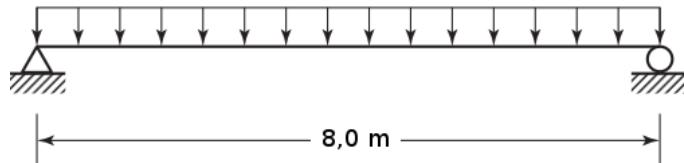


Figura 7.10: Viga para análise completa.

7.4 Propostos, nível graduado

Ex. 7.4.1 Dimensiomanento Pavimento ao corte Para o pavimento mesmo pavimento do exercício graduado de flexão, mostrado abaixo, selecione as mais econômicas seções W para as vigas verticais e horizontais (todas as verticais tem a mesma seção de G1 e as horizontais de B1). A carga de peso próprio de elementos moldados in-loco do pavimento é de $3,59\text{kN/m}^2$ (não inclui o peso próprio da viga, deve ser incluído a posteriori) e a carga variável do uso é de $3,83\text{kN/m}^2$. Verifique o pavimento apenas ao corte. Assuma que B1 tem estabilidade lateral total e G1 é contido nas conexões das vigas.

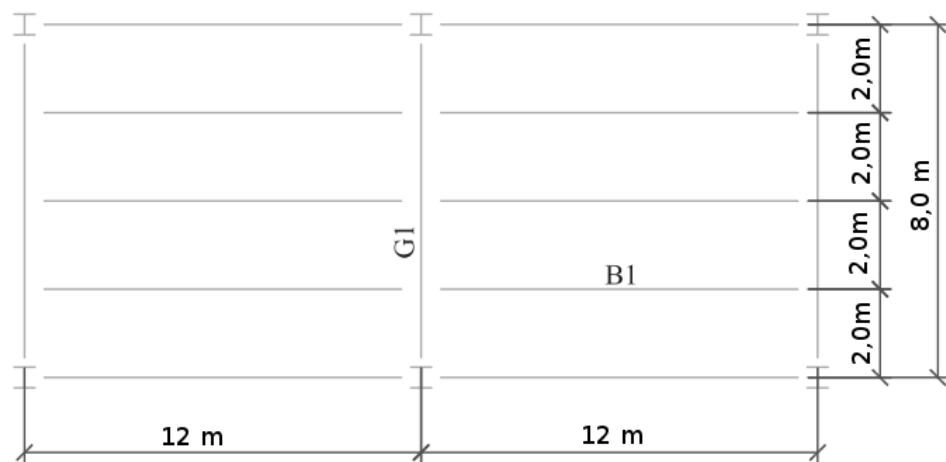


Figura 7.11: Vigas de um pavimento para dimensionamento.