

# ESTRUTURAS EM AÇO

## 09 – Barras submetidas a força cortante

(ABNT NBR 8800:2024)

## ABNT NBR 8800:2008

### 5.4 Barras prismáticas submetidas a momento fletor e força cortante

No dimensionamento, devem ser atendidas as seguintes condições:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \qquad V_{Sd} \leq V_{Rd}$$

ou as taxas de utilização da barra:

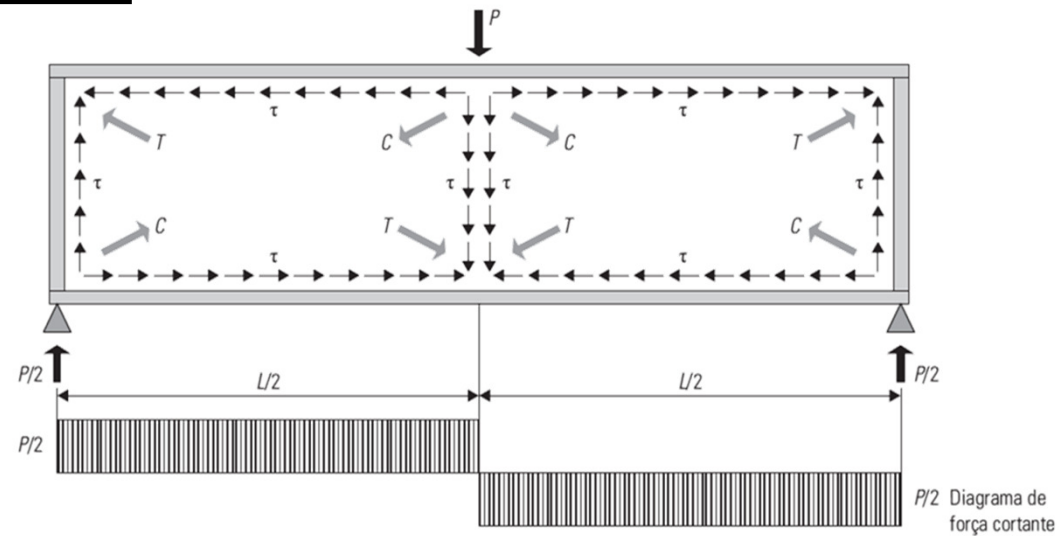
$$\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \qquad \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1,0$$

onde:

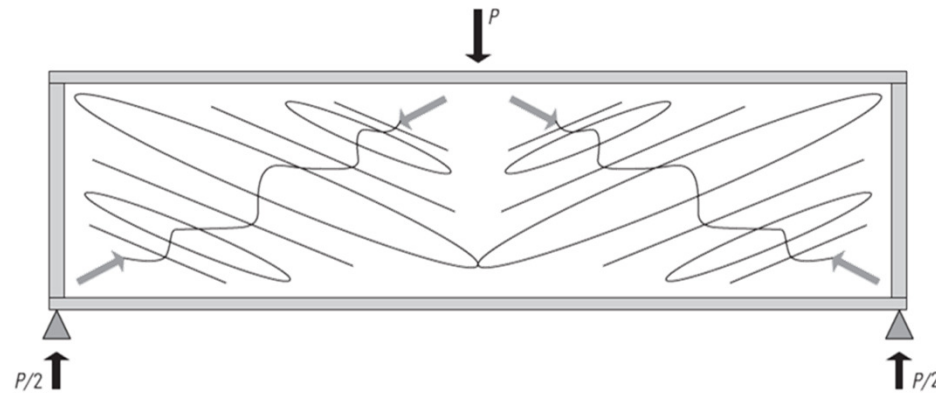
$M_{Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo;  
 $V_{Sd}$  é a força cortante solicitante de cálculo;  
 $M_{Rd}$  é o momento fletor resistente de cálculo;  
 $V_{Rd}$  é a força cortante resistente de cálculo.



## Colapso sob força cortante:



A compressão em uma das direções principais pode causar a ondulação da alma, que é a flambagem por cisalhamento.



Prof. Dr. Rodrigo Bordignon

Fonte: FAKURY, CASTRO E SILVA e CALDAS, 2016.



### 5.4.3 - Força cortante resistente de cálculo:

#### Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo x

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \rightarrow V_{Rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda} \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

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



onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$k_v = \begin{cases} 5,34, & \left\{ \begin{array}{l} \text{para almas sem enrijecedores transversais e para} \\ \frac{a}{h} > 3 \end{array} \right. \\ 5,0 + \frac{5}{(a/h)^2}, & \text{para todos os outros casos} \end{cases}$$



onde:

$a$  é a distância entre as linhas de centro de dois enrijecedores transversais adjacentes;

$h$  é a altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas nos perfis soldados e igual a esse valor menos os dois raios de concordância entre mesa e alma nos perfis laminados.

$V_{pl}$  é a força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento:

$$V_{pl} = 0,6 \cdot A_w \cdot f_y$$

$A_w$  é a área efetiva de cisalhamento, que deve ser tomada igual a:

$$A_w = d \cdot t_w$$

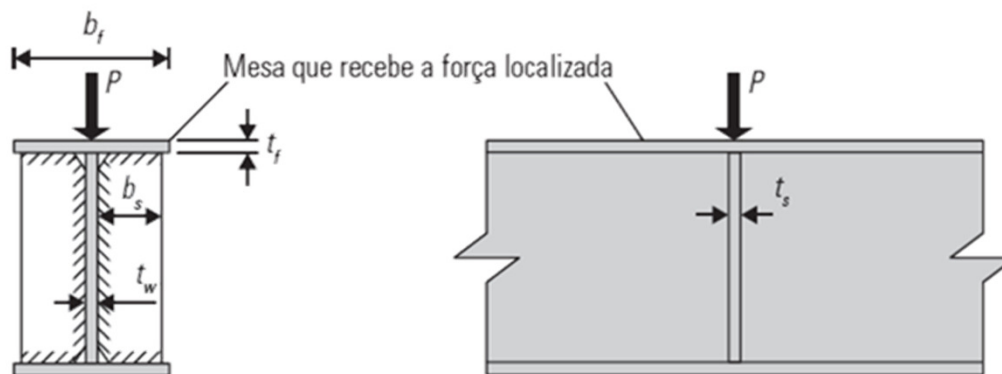
$d$  é a altura total da seção transversal;

$t_w$  é a espessura da alma.



No caso de não resistir ao esforço de cisalhamento, deve-se aumentar a espessura da alma ou, o que é mais comum, usar enrijecedores transversais na seção de atuação da força localizada para resolver o problema.

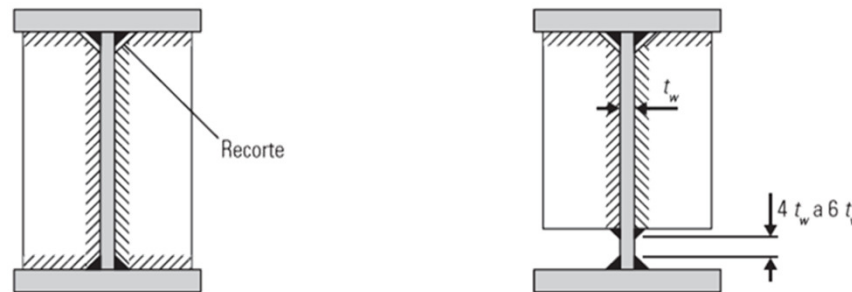
Os enrijecedores transversais usados para impedir a ocorrência dos estados-limites últimos devem ser dimensionados como barras comprimidas para o estado-limite último de instabilidade por flexão em relação a um eixo no plano médio da alma



$$b_s + \frac{t_w}{2} \geq \frac{b_f}{3}$$

$$t_s \geq \begin{cases} \frac{t_f}{2} \\ \frac{b_s}{0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}} \end{cases}$$

Os enrijecedores transversais devem ser soldados à alma e às mesas do perfil, podendo, entretanto, do lado da mesa tracionada, ser interrompidos a uma distância entre  $4t_w$  e  $6t_w$ ;



O momento de inércia da seção de um enrijecedor ou de um par de enrijecedores (um de cada lado da alma) em relação ao eixo no plano médio da alma não pode ser inferior a:

$$I_s \geq a \cdot t_w^3 \cdot j$$

$$j = 2,5(a/h)^2 - 2,0 \geq 0,5$$

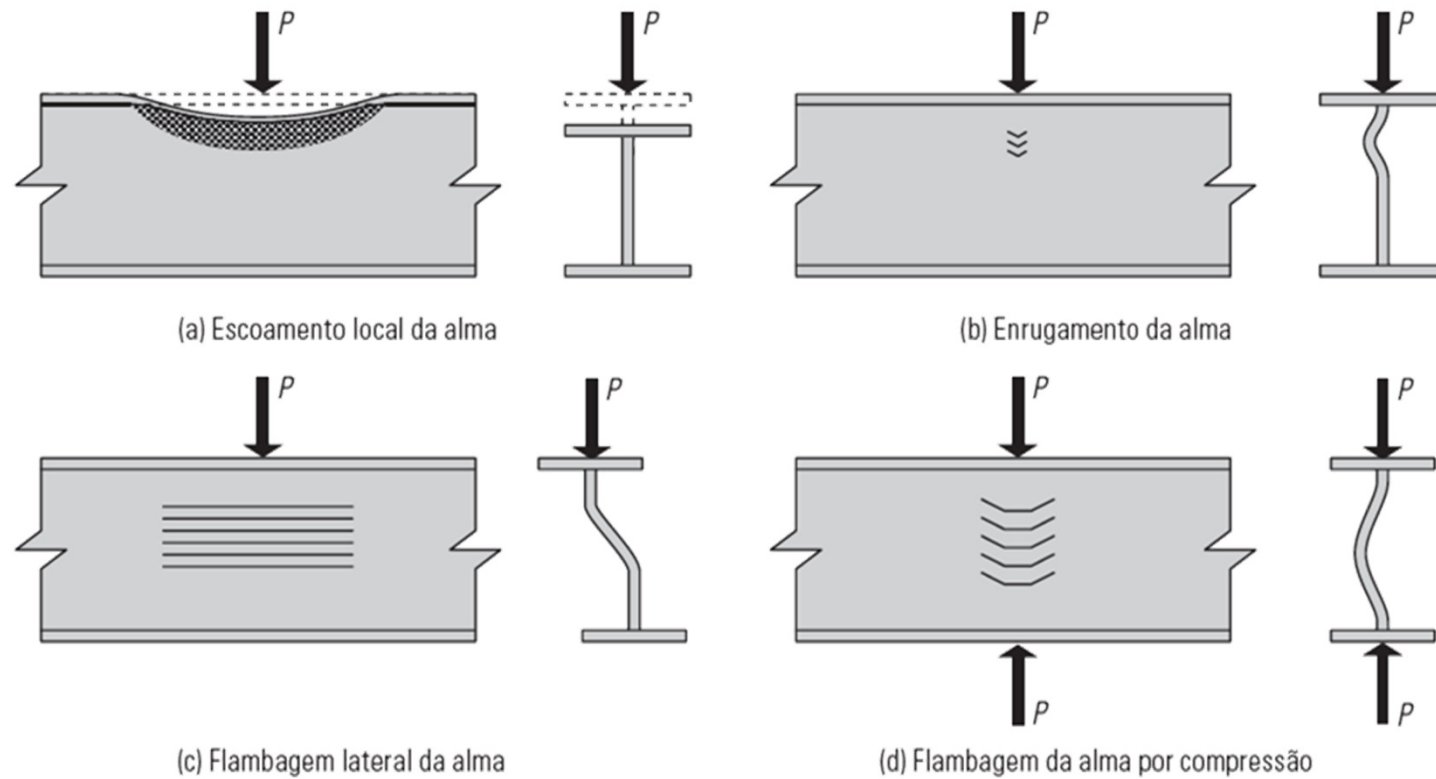
$$j = \frac{2,5}{(a/h)^2} - 2,0 \geq 0,5$$





## Forças localizadas em mesa de perfil I

Recomenda-se o uso de enrijecedores constituídos por chapas dos dois lados da alma sempre que houver força localizada comprimindo-a.



## Forças localizadas em mesa de perfil I



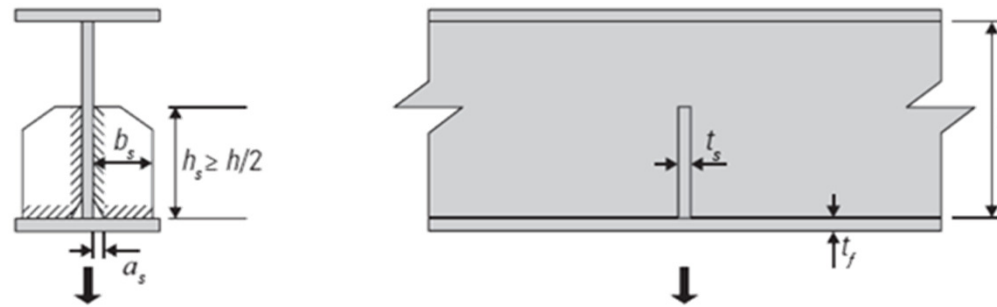
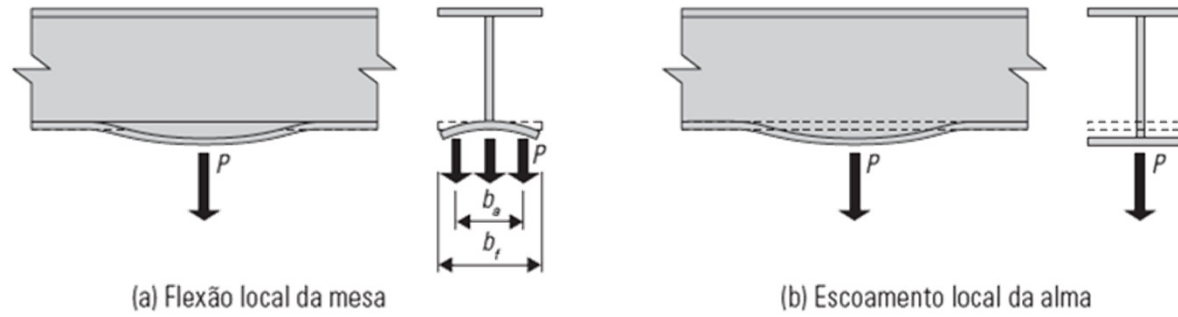
(a) Pilar apoiado na face superior de viga



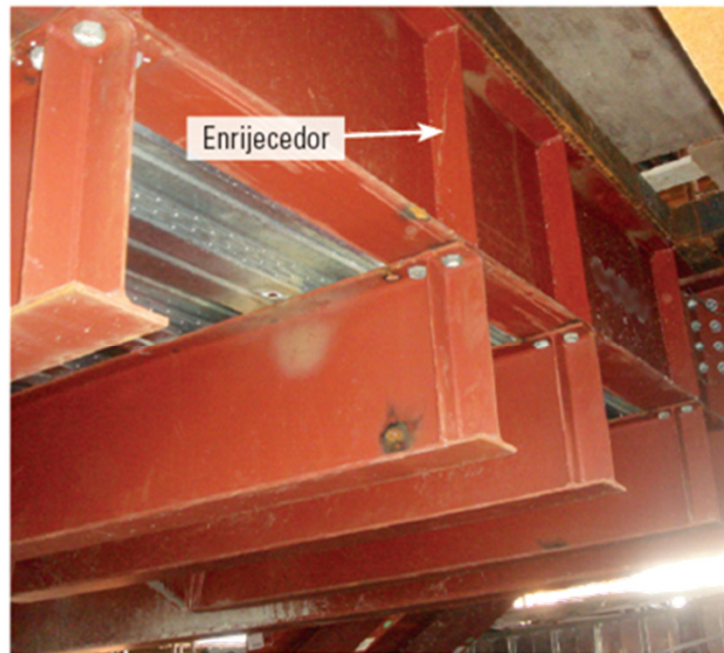
(b) Viga apoiada na face superior de outra viga



# Forças localizadas tracionando a alma



## Forças localizadas tracionando a alma



(a) Vigas apoiadas na face inferior de outra viga



(b) Pendural ligado na face inferior de viga



## Apoios ou extremidades de vigas sem restrição à rotação e com alma livre

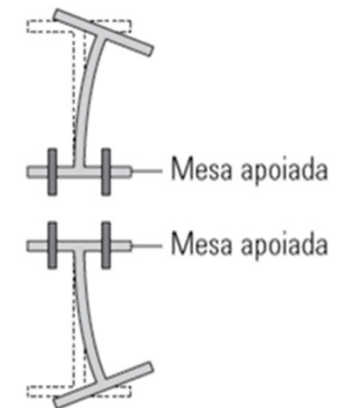
Nessas situações os enrijecedores devem ser soldados às mesas e à alma da seção transversal, estendendo-se por toda a altura da alma, com a finalidade de assegurar que não ocorra flexão lateral do elemento.



(a) Reação de apoio comprimindo a alma



(b) Reação de apoio tracionando a alma



(c) Flexão da alma



## Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo y

Em seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular às mesas (eixo de menor inércia), a força cortante resistente de cálculo é determinada com:

$$k_v = 1,2$$

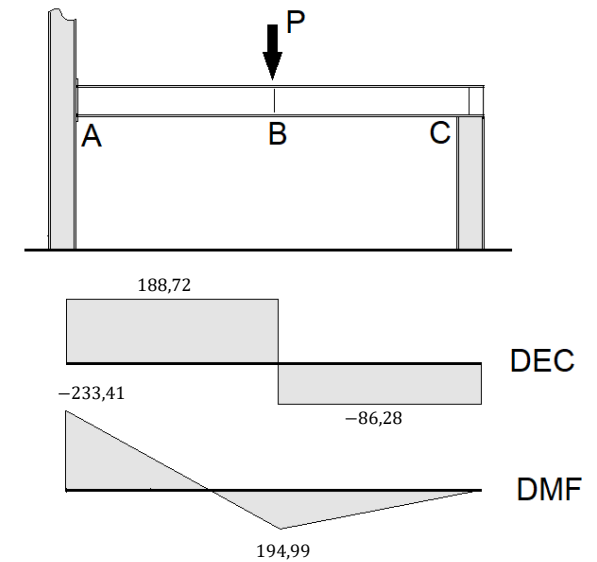
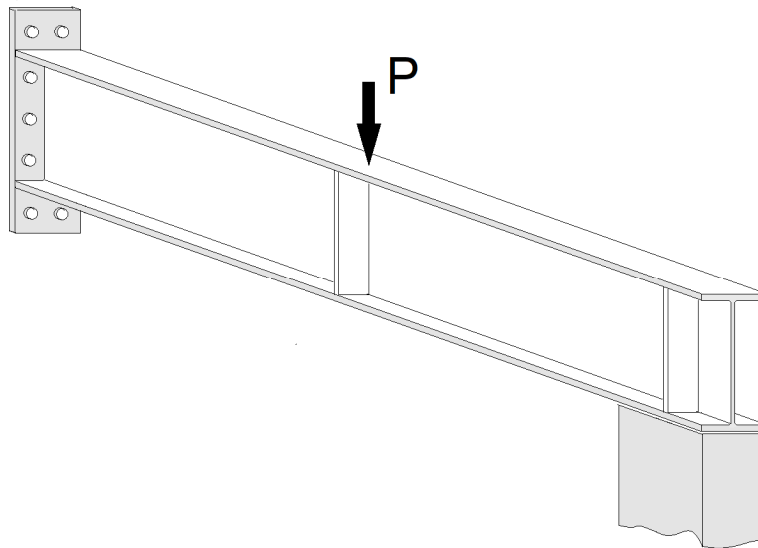
$$h = \frac{b_f}{2}$$

A força cortante  $V_{pl}$  é determinada com:  $V_{pl} = 0,6 \cdot A_w \cdot f_y$

Com área efetiva de cisalhamento dada por:  $A_w = 2 \cdot b_f \cdot t_f$



**Exemplo - 9.1:** A viga abaixo (W410x53) é usada para apoio de uma carga concentrada de cálculo de 275 kN ( $F_d$ ). Considerando que seu vão teórico é de 4530 mm, verificar a sua capacidade resistente à força cortante ( $V_{Rd}$ ) e dimensionar enrijecedores nas seções onde for necessário.



## Força cortante resistente de cálculo:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{357}{7,5} = 47,60$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 1,10 \sqrt{\frac{5,34 \cdot 200 \cdot 10^3}{345}} = 61,20$$

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{pl} = 0,6 \cdot A_w \cdot f_y = 0,6(403 \cdot 7,5)345 = 625657 \text{ N}$$

$$V_{Rd} = \frac{625657 \text{ N}}{1,1} = 568780 \text{ N (33\%)}$$





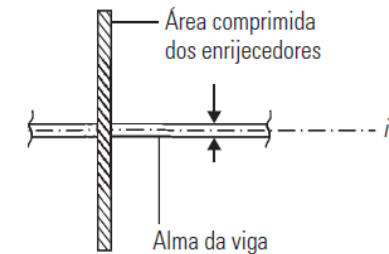
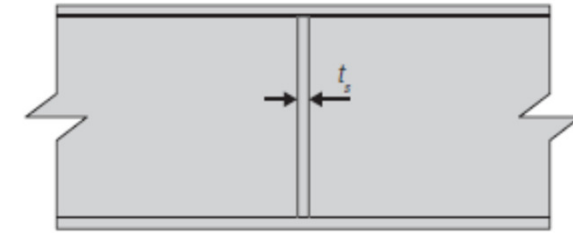
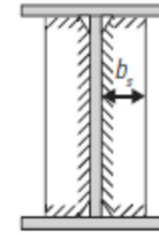
## Enrijecedores nas seções com cargas concentradas:

$$b_s \geq \frac{b_f}{3} - \frac{t_w}{2} \rightarrow b_s \geq \frac{177}{3} - \frac{7,5}{2} \rightarrow b_s \geq 55,25 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{b_s = 75 \text{ mm}}$$

$$t_s \geq \begin{cases} \frac{t_f}{2} = \frac{10,9}{2} = 5,45 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{t_s = 6,35 \text{ mm}} \\ \frac{b_s}{0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{75}{0,56 \sqrt{\frac{200 \cdot 10^3}{345}}} = 5,56 \text{ mm} \end{cases}$$

$$A_g = 6,35(75 + 7,5 + 75) = 1000,13 \text{ mm}^2$$

$$I_s = \frac{6,35(75 + 7,5 + 75)^3}{12} = 2067446 \text{ mm}^4$$



$$N_e \cong \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_s}{h^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 2067446}{(381)^2} = 28113437 \text{ N}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1000,13 \cdot 345}{28113437}} = 0,111$$

$$\lambda_0 = 0,111 \rightarrow \chi = 0,658^{\lambda_0^2} \rightarrow \chi = 0,995$$

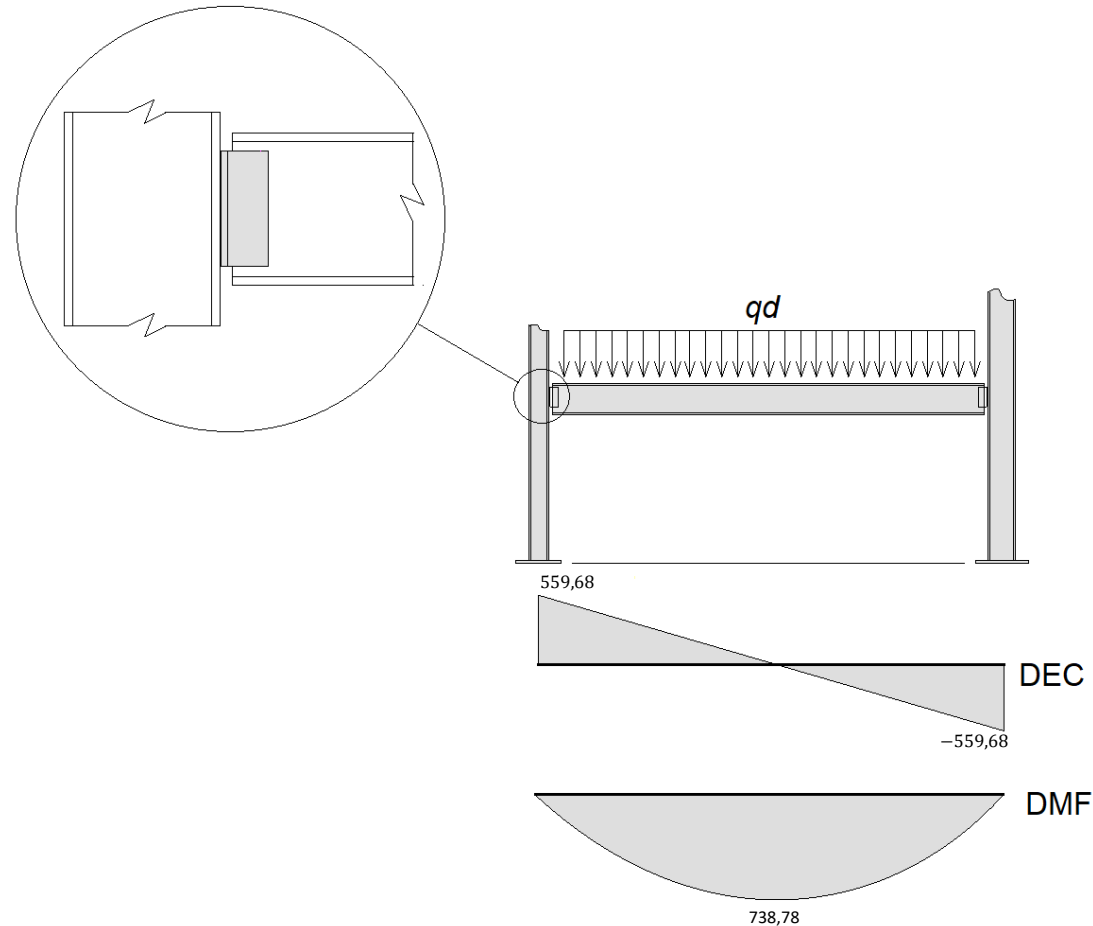
$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,995 \cdot 1000,13 \cdot 345}{1,1} = 312109 \text{ N} = 312,11 \text{ kN}$$

312,11 kN > 275 kN → ok para o ponto de aplicação da carga B.

312,11 kN > 86,28 kN → ok para o ponto de apoio C.



**Exemplo - 9.2:** A viga biapoiada abaixo deve suportar uma carga distribuída de cálculo de 212 kN/m ( $q_d$ ). Considerando que é feita com um perfil soldado VS550x88 (550x250x16x6,35) em aço USI CIVIL 350, com vão teórico de 5280 mm, verificar a sua capacidade resistente à força cortante ( $V_{Rd}$ ).



## Força cortante resistente de cálculo:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{518}{6,35} = 81,57$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 1,10 \sqrt{\frac{5,34 \cdot 200 \cdot 10^3}{350}} = 60,76$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 1,37 \sqrt{\frac{5,34 \cdot 200 \cdot 10^3}{350}} = 75,68$$

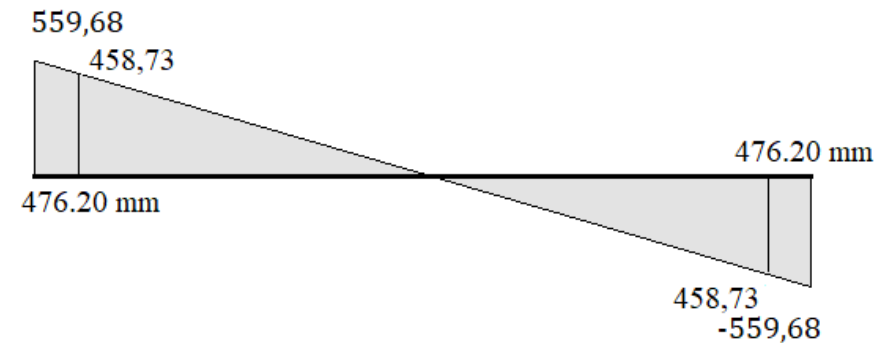
$$V_{pl} = 0,6 \cdot A_w \cdot f_y = 0,6(550 \cdot 6,35)350 = 733425 \text{ N}$$

$$\lambda > \lambda_r \rightarrow V_{Rd} = 1,24 \left( \frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} = 1,24 \left( \frac{60,76}{81,57} \right)^2 \frac{733425}{1,1} = 458732 \text{ N} = 458,73 \text{ kN}$$



## Força cortante resistente de cálculo:

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = \frac{559,68 \text{ kN}}{458,73 \text{ kN}} = 1,22 \text{ (122\%)}$$



Considerando um pinel com dois enrijecedores espaçados até 550 mm:

$$\frac{a}{h} = \frac{476}{518} = 0,92 < 3$$

$$k_v = 5,0 + \frac{5}{(a/h)^2} = 5,0 + \frac{5}{(0,92)^2} = 10,91$$



## Força cortante resistente de cálculo:

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 1,10 \sqrt{\frac{10,91 \cdot 200 \cdot 10^3}{350}} = 86,85$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 1,37 \sqrt{\frac{10,91 \cdot 200 \cdot 10^3}{350}} = 108,17$$

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{733425}{1,1} = 666750 \text{ N} = 666,75 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = \frac{559,68 \text{ kN}}{666,75 \text{ kN}} = 0,84 \text{ (84\%)}$$



## Enrijecedores na alma:

$$t_s \geq \frac{t_f}{2} = \frac{16}{2} = 8,0 \text{ mm}$$

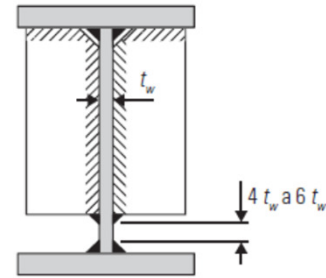
$$b_s \leq t_s \cdot 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow b_s \leq 8,0 \cdot 0,56 \sqrt{\frac{200 \cdot 10^3}{350}} = 107,09 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{b_s = 100 \text{ mm}}$$

$$I_s = \frac{8,0(100 + 6,35 + 100)^3}{12} = 5857633 \text{ mm}^4$$

$$j = \frac{2,5}{(a/h)^2} - 2,0 \geq 0,5 \rightarrow j = \frac{2,5}{(0,92)^2} - 2,0 \geq 0,5 \rightarrow j = 0,95$$

$$I_s \geq a \cdot t_w^3 \cdot j$$

$$5857633 \geq 476 \cdot 6,35^3 \cdot 0,95 \rightarrow 5857633 \text{ mm}^4 \geq 115784 \text{ mm}^4 \rightarrow \text{ok!}$$



- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **ANSI/AISC 360-16**: Specification for Structural Steel Buildings. Chicago: AISC, 2016.
- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **Steel Construction Manual**, 15 ed. Chicago: AISC, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5884**: Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico - Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.
- BAIÃO F. O. T.; SILVA, A. C. V.; QUEIROZ, G.. **Ligações para Estruturas de Aço** – Guia Prático para Estruturas com Perfis Laminados. 3 ed. São Paulo: Gerdau Açominas, 2006.
- BORDIGNON, R. **Modelo momento-rotação de ligações parafusadas entre viga e coluna em aço com dupla cantoneira de alma**. 2022. 212 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2022.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**: Galpões para usos gerais. 4 ed. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2010.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**: Ligações em estruturas metálicas. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2017.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**: Uso fácil: ABNT NBR 8800. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2022.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**: Transporte e montagem. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2005.
- CHAMBERLAIN PRAVIA, Z. M.; FICANHA R.; FABEANE R. **Projeto e cálculo de estruturas de aço**: Edifício industrial detalhado. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- FAKURY, R. H.; CASTRO E SILVA, A. L. R.; CALDAS, R. B. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson, 2016.
- FISHER, J. M.; KLOIBER, L. A. **Steel Design Guide 1**: Base plate and anchor rod design. 2 ed. Ed. Chicago: AISC, 2006.
- LEET, K. M.; UANG, C.; e GILBERT, A. M **Fundamentos da análise estrutural**. Porto Alegre: AMGH, 2010.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço**: dimensionamento prático de acordo com a NBR8800:2008. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- RCSC. **Specification for structural joints using high strength bolts**. Research Council on Structural Connections, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, 2020.







EDUCAÇÃO  
PÚBLICA  
**100%**  
GRATUITA

# MUITO OBRIGADO

Prof. Rodrigo Bordignon  
Engenheiro Civil, Dr.

[www.ifsul.edu.br](http://www.ifsul.edu.br)  
[rodrigobordignon@ifsul.edu.br](mailto:rodrigobordignon@ifsul.edu.br)