

ESTRUTURAS EM AÇO

06 – Estado Limite de Serviço (ELS) (ABNT NBR 8800:2024)

11 Estados-limite de serviço (ELS)

Os estados-limite de serviço estão relacionados com o desempenho da estrutura sob condições normais de utilização.

A ocorrência de um ELS pode:

prejudicar o aspecto;

a possibilidade de manutenção;

a durabilidade;

a funcionalidade;

e o conforto dos ocupantes de uma edificação;

causar danos a equipamentos e materiais de acabamento.



11.5 Variações dimensionais

Devem ser consideradas medidas para que as variações dimensionais de uma estrutura e de seus elementos, devidas à variação de temperatura e a outros efeitos, como retração e fluência do concreto, não prejudiquem a utilização da estrutura.

11.6 Empoçamento de água em coberturas e pisos

Todas as coberturas e pisos de edificações sujeitos ao recebimento de água de chuva, com inclinação inferior a 5 %, devem ser verificados para assegurar que a água não venha a se acumular em poças em decorrência dos deslocamentos da estrutura.

Nessa verificação, devem ser considerados possíveis imprecisões construtivas e recalques de fundação, flechas dos materiais de fechamento e dos componentes estruturais, incluindo os efeitos de contraflecha.

Contraflechas em vigas podem contribuir significativamente para evitar empoçamento, assim como a colocação de pontos de saída de água em número e posições adequados.



4.7.4 Condições usuais relativas aos estados-limite de serviço (ELS)

As condições usuais referentes aos ELS são expressas por desigualdades do tipo:

$$S_{ser} \leq S_{lim}$$

Para a determinação de respostas para ELS, devem ser utilizadas as combinações de serviço, não sendo necessário considerar as imperfeições iniciais geométricas e de material.

Para as estruturas de pequena e média deslocabilidade, pode ser feita análise elástica de primeira ordem.

Para as estruturas de grande deslocabilidade, devem ser considerados os efeitos globais e locais de segunda ordem.



4.8.7.3 Combinações de serviço

São classificadas de acordo com sua permanência na estrutura em:

quase permanentes;
frequentes;
raras.

4.8.7.3.2 Combinações quase permanentes de serviço

Podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura;

São utilizadas para os efeitos de longa duração e para o aspecto da edificação, isto é, relacionado a deslocamento e fissuração excessivos que comprometam a percepção sensorial de uma estrutura estável e segura.

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n (\psi_{2j} F_{Qj,k})$$



4.8.7.3.3 Combinações frequentes de serviço

Repetem muitas vezes durante o período de vida da estrutura.

São utilizadas para os estados-limite reversíveis, isto é, que não causam danos permanentes à estrutura ou a outros componentes da construção;

Tem relação ao conforto dos usuários e ao funcionamento de equipamentos, como vibrações excessivas, movimentos laterais excessivos que comprometam a vedação, empoçamentos em coberturas e aberturas de fissuras.

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\psi_{2j} F_{Qj,k})$$



4.8.7.3.4 Combinações raras de serviço

São aquelas que podem atuar no máximo algumas horas durante o período de vida da estrutura.

São utilizadas para os estados-limite irreversíveis, isto é, que causam danos permanentes à estrutura ou a outros componentes da edificação, e para aqueles relacionados ao funcionamento adequado da estrutura, como formação de fissuras e danos aos fechamentos.

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\psi_{1j} F_{Qj,k})$$



4.8.6.3 Coeficientes de ponderação e fatores de redução das ações no (ELS)

Nas combinações de ações de serviço, são usados os fatores de redução ψ_1 e ψ_2 para obtenção dos valores frequentes e quase permanentes das ações variáveis, respectivamente.

Ações		$\gamma_{f2}^{a,f}$		
		ψ_0	ψ_1^d	ψ_2^e
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação ^g	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo nem de elevadas concentrações de pessoas ^b	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo ou de elevadas concentrações de pessoas ^c	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas, garagens e coberturas	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4



ABNT NBR 8800:2024 - ANEXO B - Deslocamentos máximos

Os valores máximos dos deslocamentos verticais e horizontais, para verificação do ELS são empíricos e servem para comparação com os resultados da análise estrutural.

Em alguns casos, limites mais rigorosos podem ter que ser adotados, considerando, por exemplo:

- o uso da edificação;
- as características dos materiais de acabamento;
- o funcionamento adequado de equipamentos;
- questões de ordem econômica;
- e a percepção de desconforto.

O efeito da rigidez à rotação das ligações, dependendo de avaliação do responsável pelo projeto, pode ter que ser também considerado.



O responsável técnico pelo projeto deve decidir quais combinações de serviço devem ser usadas:

- conforme o elemento estrutural considerado;
- as funções previstas para a estrutura;
- as características dos materiais de acabamento vinculados à estrutura;
- seqüência de construção.

O deslocamento δ_{max} está normalmente relacionado à aparência da estrutura, devendo-se usar combinações quase permanentes.

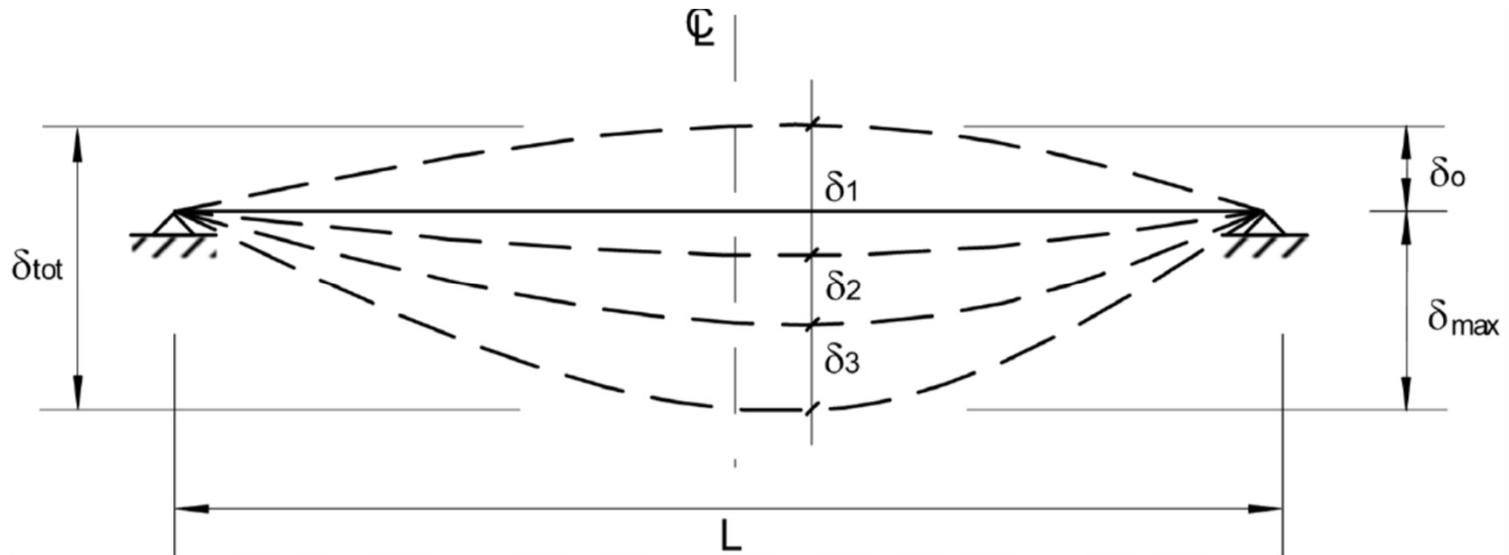
Nas situações em que o deslocamento vier a afetar o funcionamento de equipamentos, usar combinações combinação frequente.

Empoçamentos na cobertura, usar combinação frequente;

Danos permanentes a elementos não-estruturais sujeitos à fissuração, como paredes divisórias e forros, usar combinação rara.



Valores máximos



δ_0 : contraflecha da viga;

δ_1 : deslocamento devido às ações permanentes, sem efeitos de longa duração;

δ_2 : deslocamento devido aos efeitos de longa duração das cargas permanentes;

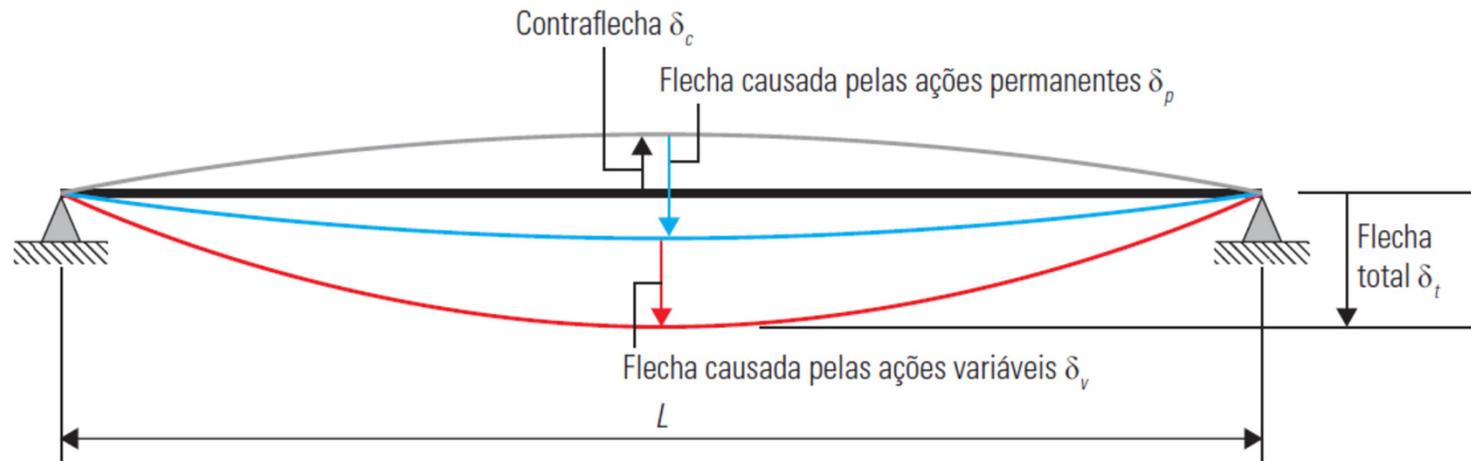
δ_3 : deslocamento devido às ações variáveis;

δ_{max} : deslocamento máximo da viga no estágio final de carregamento;

δ_{tot} : $\delta_1 + \delta_2 + \delta_3$.



Valores máximos



$$\delta_T = \delta_p + \delta_v - \delta_c$$

δ_T : flecha total;

δ_p : flechas causadas pelas ações permanentes;

δ_v : flechas causadas pelas ações variáveis;

δ_c : contraflechas (entre 50% e 100% da flecha provocada pela carga permanente).

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

Prof. Dr. Rodrigo Bordignon



Tabela B.1 – Deslocamentos máximos

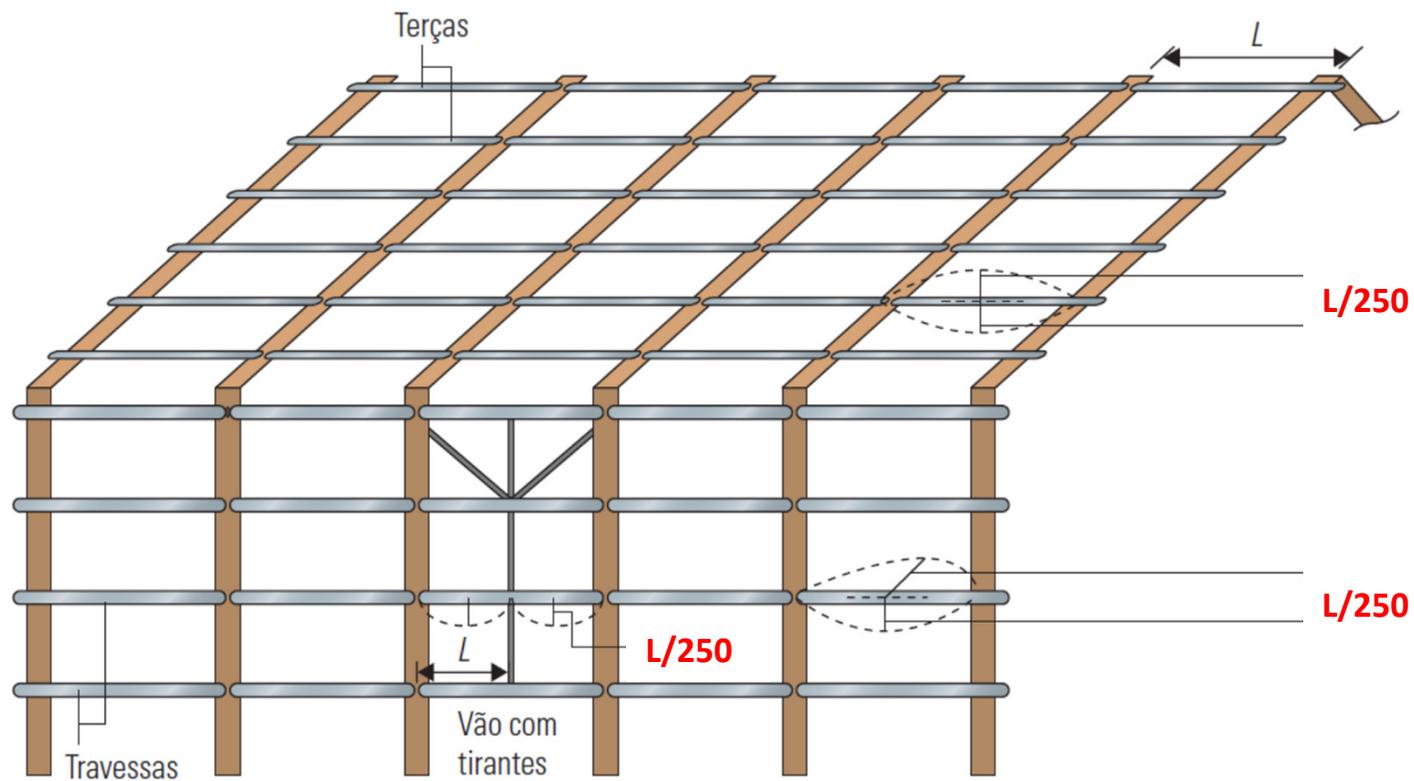
Descrição	δ^a
Travessas de fechamento	$L/250^b$
Terças de cobertura ^d	$L/250^c$
Vigas de cobertura ^d	$L/250$
Vigas de piso	$L/350^e$
Vigas que suportam pilares	$L/500^e$
Pilares de fechamento em relação a base	$H/250$
Pilares de fechamento entre os apoios	$L/250$
Vigas de rolamento (para pontes rolantes classificadas conforme o regime de trabalho): — Deslocamento vertical: — Leve ou de uso eventual e moderado — Pesado — Severo — Deslocamento horizontal — Todos os regimes de trabalho, exceto o severo — Severo	$L/750^f$ $L/1000^f$ $L/1250^f$ $L/500$ $L/750$
Galpões em geral e edificações de um pavimento: — Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base — Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	$H/300$ $H/500^g, h$
Edificações de dois ou mais pavimentos: — Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base — Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$H/400$ $h/500^i$
Lajes mistas	Ver Anexo N



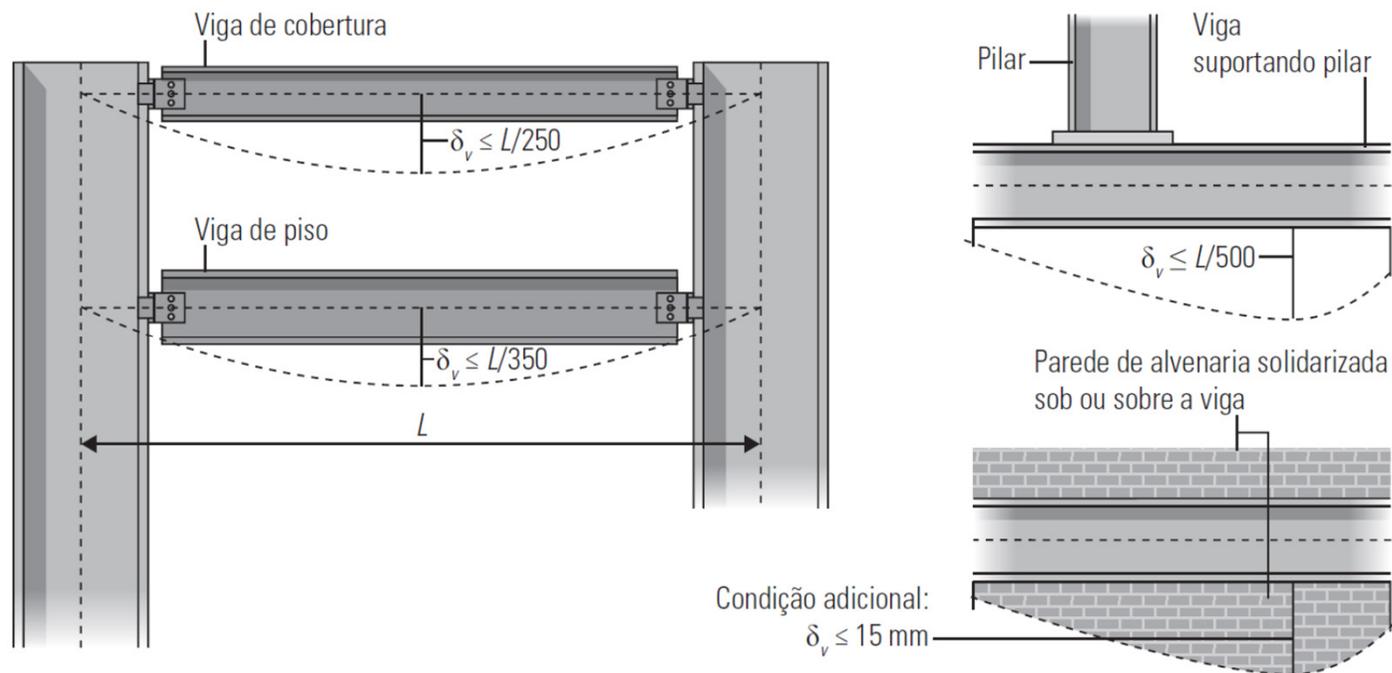
- a L é o vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço, H é a altura total do pilar (distância do topo à base) ou a distância do nível da viga de rolamento à base, h é a altura do andar (distância entre centros das vigas de dois pisos consecutivos ou entre centros das vigas e a base no caso do primeiro andar).
- b Considerar separadamente o deslocamento paralelo ao plano do fechamento (L é o vão da travessa ou o espaçamento entre linhas de tirantes, caso existam) e o perpendicular ao plano do fechamento.
- c Considerar separadamente o deslocamento paralelo ao plano da cobertura (L é o vão da terça ou o espaçamento entre linha de tirantes, caso existam) e o perpendicular ao plano da cobertura.
- d Deve-se também evitar a ocorrência de empoçamento, com atenção especial aos telhados de pequena declividade.
- e Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob uma viga, solidarizadas com essa viga, o deslocamento vertical também não pode exceder 15 mm.
- f Carregamento não majorado pelo coeficiente de impacto vertical.
- g No caso de pontes rolantes com regime de trabalho severo, o deslocamento também não pode ser superior a 40 mm.
- h O diferencial do deslocamento horizontal entre pilares do pórtico que suportam as vigas de rolamento não pode superar 15 mm.
- i Considerar apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes (verticais e horizontais) no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos de corpo rígido provocados pelas deformações axiais dos pilares e vigas.
- j Conforme a NBR 8681:2003, Tabela 7.



Deslocamentos permitidos em terças e travessas de fechamento



Flechas permitidas de vigas de piso e de cobertura

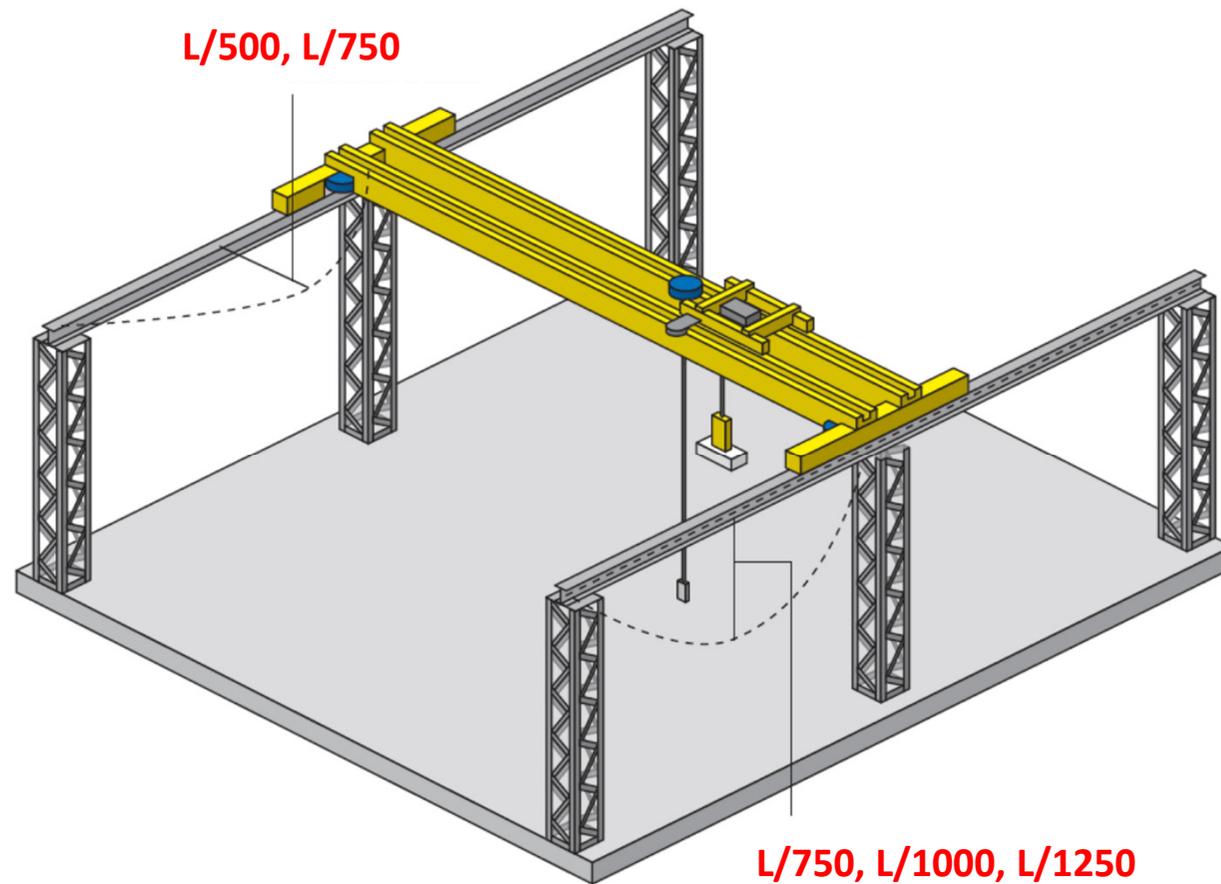


Fonte: FAKURY, CASTRO E SILVA e CALDAS (2016).

Prof. Dr. Rodrigo Bordignon



Deslocamentos vertical e horizontal permitidos em vigas de rolamento

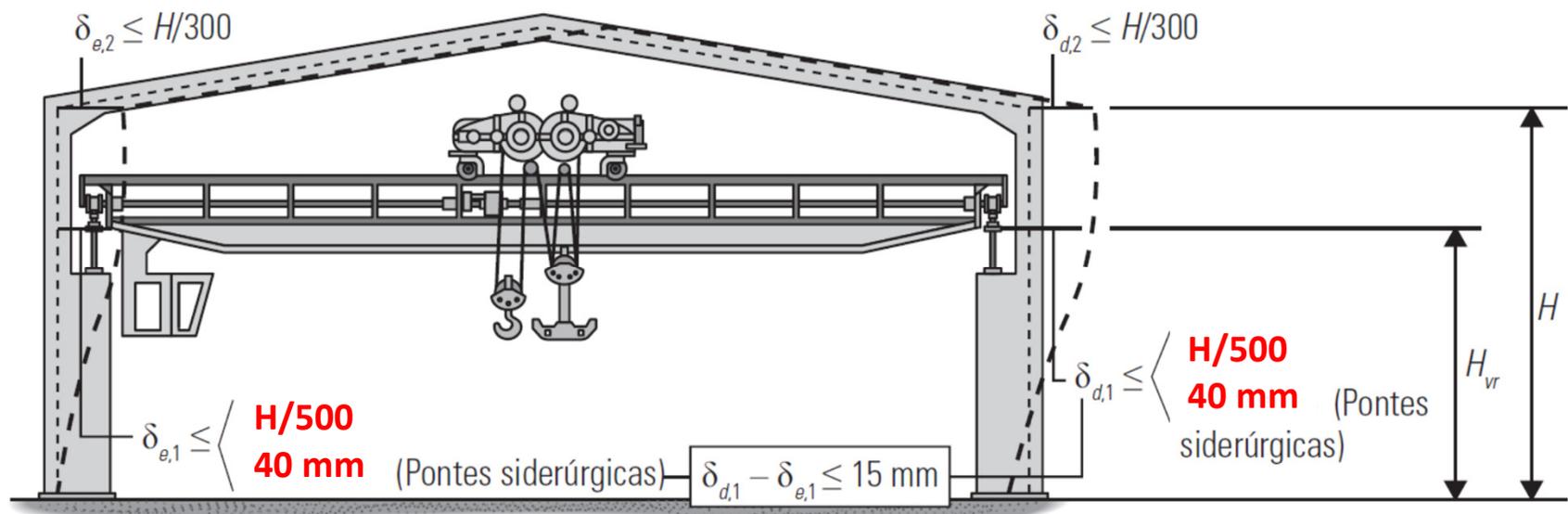


Fonte: Adaptado de FAKURY, CASTRO E SILVA e CALDAS (2016).

Prof. Dr. Rodrigo Bordignon



Deslocamentos horizontais de galpões e edifícios de um pavimento

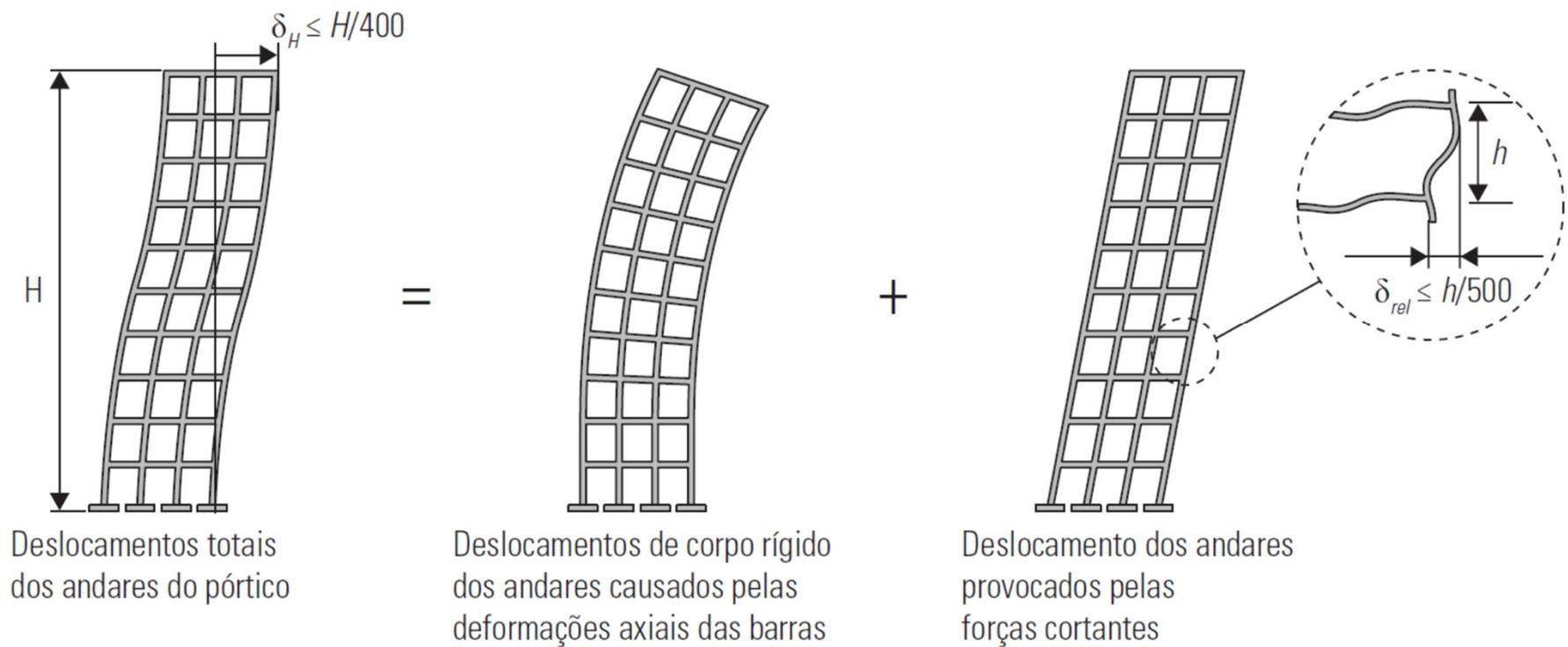


Fonte: Adaptado de FAKURY, CASTRO E SILVA e CALDAS (2016).

Prof. Dr. Rodrigo Bordignon



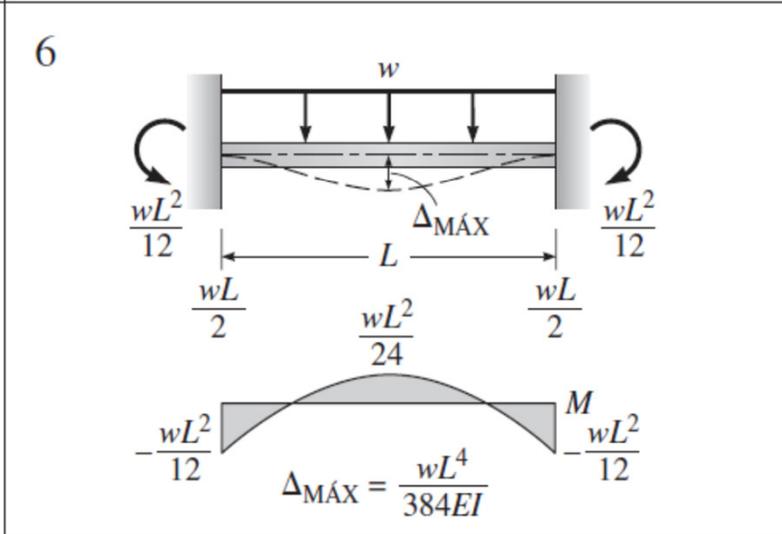
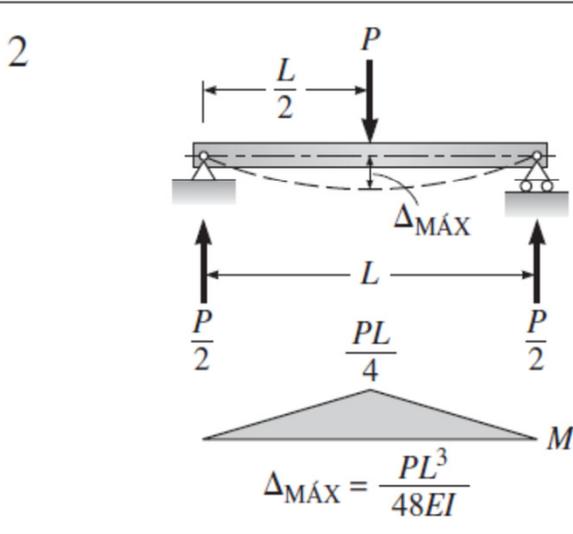
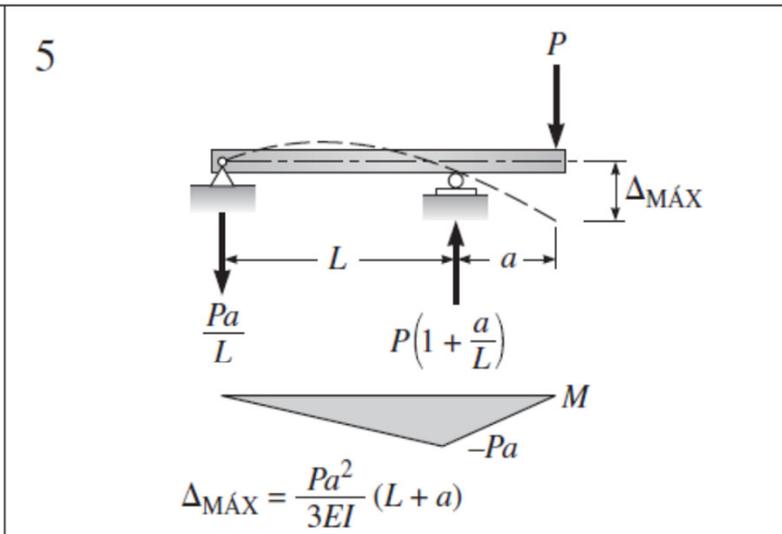
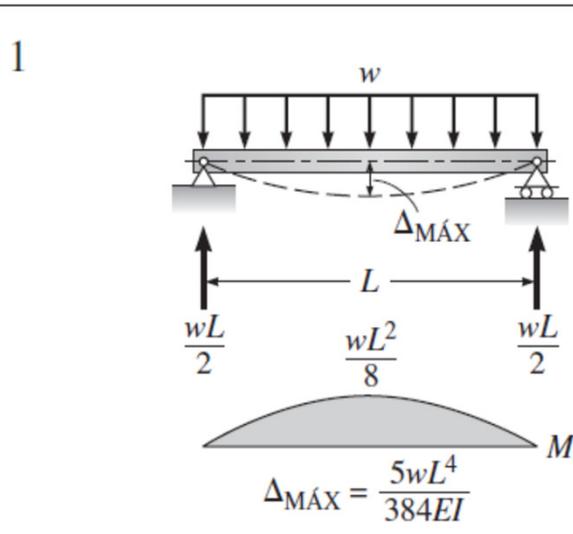
Deslocamentos horizontais de galpões e edifícios de um pavimento

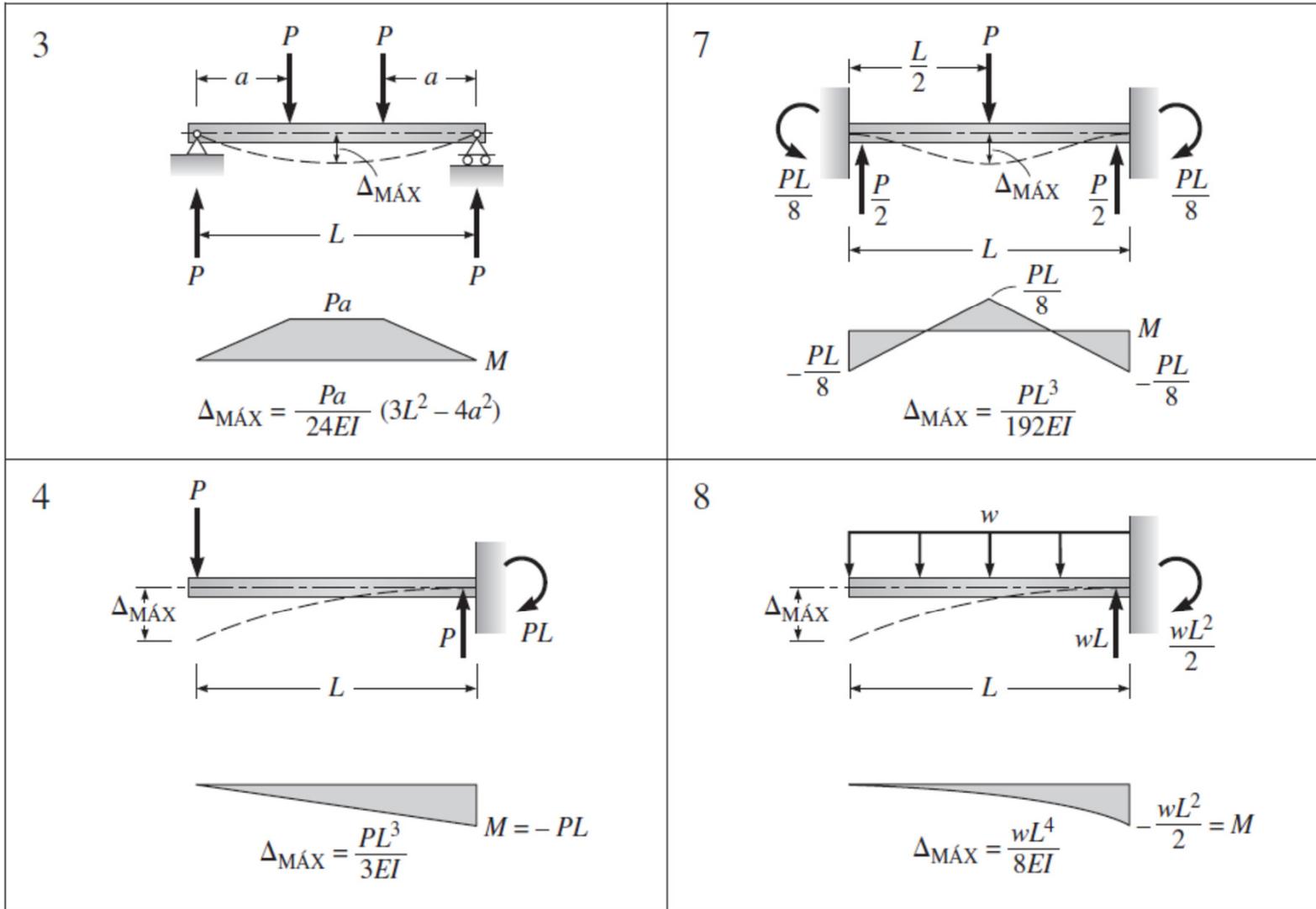


Fonte: FAKURY, CASTRO E SILVA e CALDAS (2016).

Prof. Dr. Rodrigo Bordignon







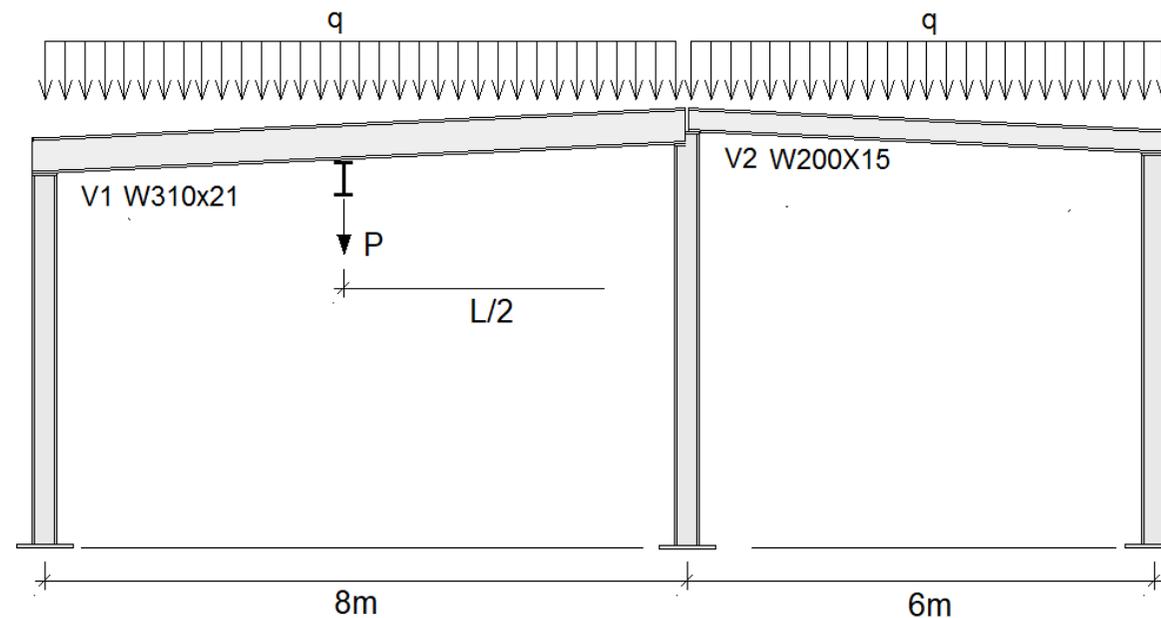
Fonte: LEET, UANG e GILBERT (2010).

Prof. Dr. Rodrigo Bordignon



Exemplo - 6.1: Verificar o Estado Limite de Serviço (ELS) das vigas de cobertura V1 e V2 de um telhado de baixa declividade, submetido as seguintes ações:

- Carga permanente (PP+terças+telhas): $q_{cp} = 0,75 \text{ kN/m}$
- Sobrecarga de utilização: $q_{sc} = 1,4 \text{ kN/m}$
- Vento (sucção): $q_v = (2,0 \text{ kN/m})$
- Equipamento móvel (monovia): $P = 30 \text{ kN}$



Viga 01 – W310x21:

$$\delta_{cp} = \frac{5qL^4}{384EI} = \frac{5(0,0075 \text{ kN/cm})(800 \text{ cm})^4}{384(20000 \text{ kN/cm}^2)(3776 \text{ cm}^4)} = 0,53 \text{ cm} = 5,3 \text{ mm} (\downarrow)$$

$$\delta_{sc} = \frac{5qL^4}{384EI} = \frac{5(0,014 \text{ kN/cm})(800 \text{ cm})^4}{384(20000 \text{ kN/cm}^2)(3776 \text{ cm}^4)} = 0,99 \text{ cm} = 9,9 \text{ mm} (\downarrow)$$

$$\delta_v = \frac{5qL^4}{384EI} = \frac{5(-0,02 \text{ kN/cm})(800 \text{ cm})^4}{384(20000 \text{ kN/cm}^2)(3776 \text{ cm}^4)} = (-1,41 \text{ cm}) = (-14,1 \text{ mm}) (\uparrow)$$

$$\delta_{eq} = \frac{PL^3}{48EI} = \frac{30 \text{ kN}(800 \text{ cm})^3}{48(20000 \text{ kN/cm}^2)(3776 \text{ cm}^4)} = 4,24 \text{ cm} = 42,4 \text{ mm} (\downarrow)$$



- Combinações frequentes de serviço:

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\psi_{2j} F_{Qj,k})$$

$$\delta_T = \sum_{i=1}^m \delta_{Gi,k} + \psi_1 \delta_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\psi_{2j} \delta_{Qj,k})$$

- Sobrecarga como ação variável principal:

$$\delta_{T,1} = (0,53) + 0,7(0,99) + 0,4(4,24) = 2,92 \text{ cm} = 29,2 \text{ mm} (\downarrow)$$

- Equipamento móvel como ação variável principal:

$$\delta_{T,2} = (0,53) + 0,6(4,24) + 0,6(0,99) = 3,67 \text{ cm} = 36,7 \text{ mm} (\downarrow)$$

- Vento (sucção) como ação variável única:

$$\delta_{T,3} = (0,53) - 0,3(1,41) = 0,11 \text{ cm} = 11,0 \text{ mm} (\downarrow)$$



- Flecha máxima permitida para a viga de cobertura V1:

$$\delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{800}{250} = 3,2cm = 32\text{ mm} < 36,7\text{ mm} \rightarrow \text{não ok.}$$

- Qual a solução para resolver deformação excessiva?

Viga 02 - W200x15:

$$\delta_{cp} = \frac{5qL^4}{384EI} = \frac{5(0,0075kN/cm)(600cm)^4}{384(20000kN/cm^2)(1305cm^4)} = 0,48\text{ cm} = 4,8\text{ mm} (\downarrow)$$

$$\delta_{sc} = \frac{5qL^4}{384EI} = \frac{5(0,014kN/cm)(600cm)^4}{384(20000kN/cm^2)(1305cm^4)} = 0,91\text{ cm} = 9,1\text{ mm} (\downarrow)$$

$$\delta_v = \frac{5qL^4}{384EI} = \frac{5(-0,02kN/cm)(600cm)^4}{384(20000kN/cm^2)(1305cm^4)} = (1,29\text{ cm}) = (12,9\text{ mm}) (\uparrow)$$



- Combinações frequentes de serviço:

$$\delta_T = \sum_{i=1}^m \delta_{G_i,k} + \psi_1 \delta_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\psi_{2j} \delta_{Qj,k})$$

- Sobrecarga como ação variável única:

$$\delta_{T,1} = (0,48) + 0,7(0,91) = 1,12 \text{ cm} = 11,2 \text{ mm}(\downarrow)$$

- Vento (sucção) como ação variável única:

$$\delta_{T,3} = (0,48) - 0,3(1,29) = 0,093 \text{ cm} = 0,93 \text{ mm} (\downarrow)$$

- Flecha máxima permitida para a viga de cobertura V2:

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{600}{250} = 2,4 \text{ cm} = 24 \text{ mm} > 11,2 \text{ mm} \rightarrow ok.$$



Exemplo - 6.2: Verifique o Estado Limite de Serviço (ELS) da viga de piso V3 (VS 600x95), feita em aço ASTM A36, a qual tem 6,0 metros de vão e que é usada também para apoiar equipamentos com pesos característicos de 200 kN ($F_{Q,k}$).

VS600x95

$$A_g = 121 \text{ cm}^2$$

$$m = 95 \text{ kg/m}$$

$$d = 600 \text{ mm}$$

$$b_f = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 8,0 \text{ mm}$$

$$t_f = 12,5 \text{ mm}$$

$$h = 575 \text{ mm}$$

$$I_x = 77401 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 2580 \text{ cm}^3$$

$$r_x = 25,29 \text{ cm}$$

$$Z_x = 2864 \text{ cm}^3$$

$$I_y = 5627 \text{ cm}^4$$

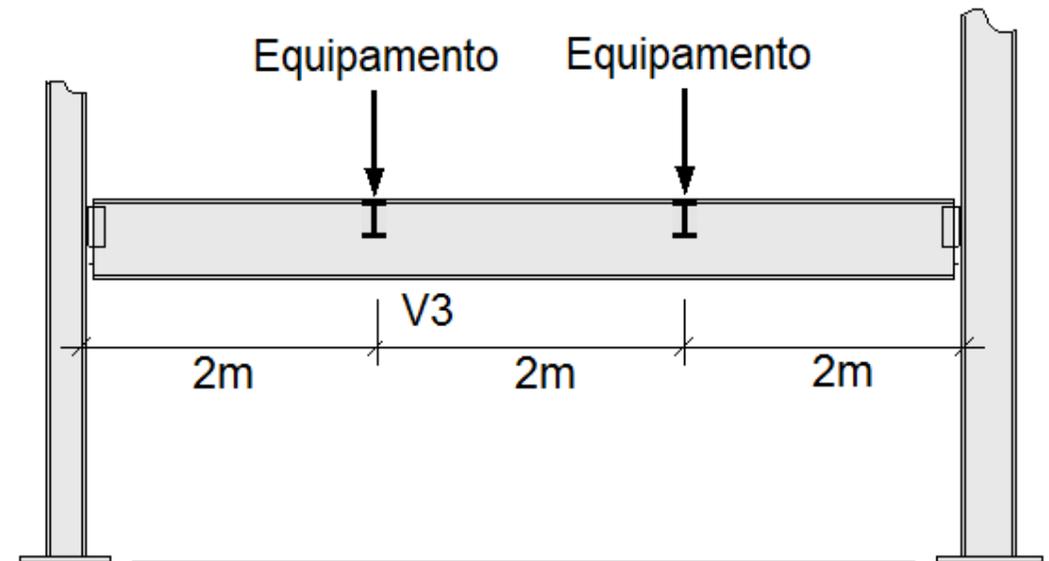
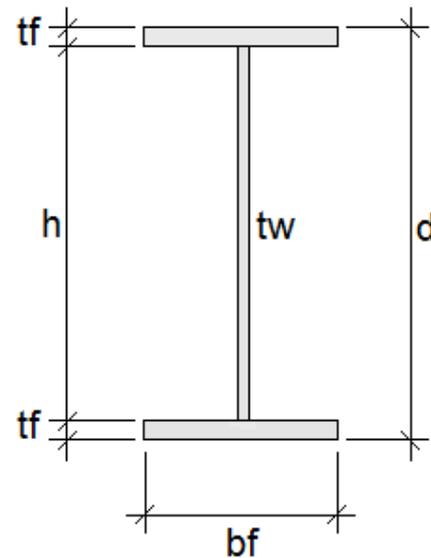
$$W_y = 375 \text{ cm}^3$$

$$r_y = 6,82 \text{ cm}$$

$$Z_y = 572 \text{ cm}^3$$

$$C_w = 4853760 \text{ cm}^6$$

$$I_t = 49,1 \text{ cm}^4$$



Viga 03 – VS 600x95:

$$\delta_{pp} = \frac{5qL^4}{384EI} = \frac{5(0,0095 \text{ kN/cm})(600 \text{ cm})^4}{384(20000 \text{ kN/cm}^2)(77401 \text{ cm}^4)} = 0,01 \text{ cm}$$

$$\delta_{eq} = \frac{Pa}{24EI} (3L^2 - 4a^2) = \frac{(200 \text{ kN})(200 \text{ cm})}{24 \left(20000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right) (77401 \text{ cm}^4)} (3 \cdot 600^2 - 4 \cdot 200^2) = 0,99 \text{ cm}$$

$$\delta_T = \sum_{i=1}^m \delta_{Gi,k} + \psi_1 \delta_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\psi_{2j} \delta_{Qj,k})$$

$$\delta_T = (0,01 \text{ cm}) + 0,6(0,99 \text{ cm}) = 0,60 \text{ cm} = 6,0 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{350} = \frac{600}{350} = 1,7 \text{ cm} = 17 \text{ mm} > 6,0 \text{ mm} \rightarrow \text{ok.}$$



Exercício proposto 6.1 - Você engenheiro(a) foi contratado(a) para avaliar as vigas em aço do mezanino de um edifício industrial. As vigas V1 e V2 estão espaçadas igualmente e suportam uma laje maciça em concreto armado a qual tem previsão de sobrecarga de utilização de 5 kN/m², além de equipamentos fixos com carga prevista de 10 kN/m². Verifique se as três vigas existentes atendem ao estado limite, considerando a combinação frequente de serviço.

Dados:

PP da viga V₁ = 0,46 kN/m

PP da viga V₂ = 0,60 kN/m

PP da viga V₃ = 0,92 kN/m

SC utilização = 5 kN/m²

Equipamentos = 10 kN/m²

$I_{xV1} = 15690 \text{ cm}^4$

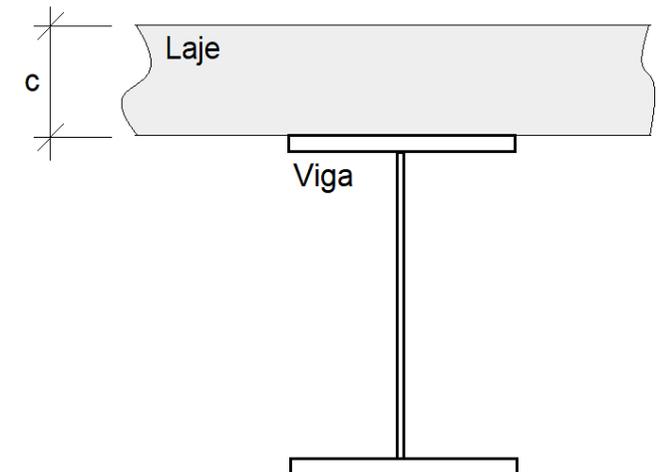
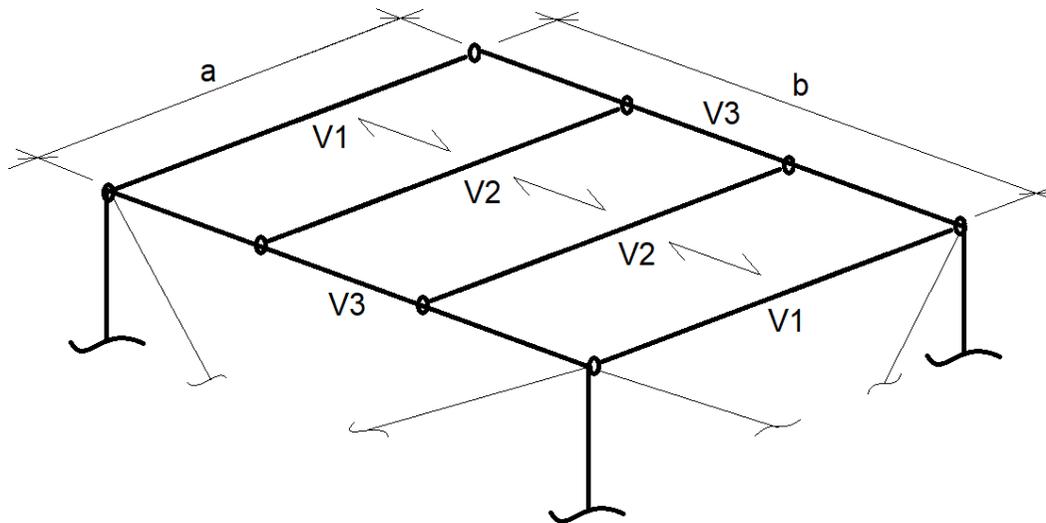
$I_{xV2} = 25652 \text{ cm}^4$

$I_{xV3} = 55157 \text{ cm}^4$

a = 7 m

b = 9 m

c = 15 cm



Prof. Dr. Rodrigo Bordignon



- 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 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, 1988.
- 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
rodrigobordignon@ifsul.edu.br*