

Perfis mistos em aço

Novas perspectivas

Perfis mistos em aço

Vantagens

Com relação às estruturas de concreto :

- possibilidade de dispensa de fôrmas e escoramentos
- redução do peso próprio e do volume da estrutura
- aumento da precisão dimensional da construção

Com relação às estruturas de aço :

- redução considerável do aço estrutural
- redução das proteções contra incêndio e corrosão

Perfis mistos em aço

NBR 8800/2007

Vigas mistas – Anexo O

Pilares mistos – Anexo P

Ligações mistas – Anexo R

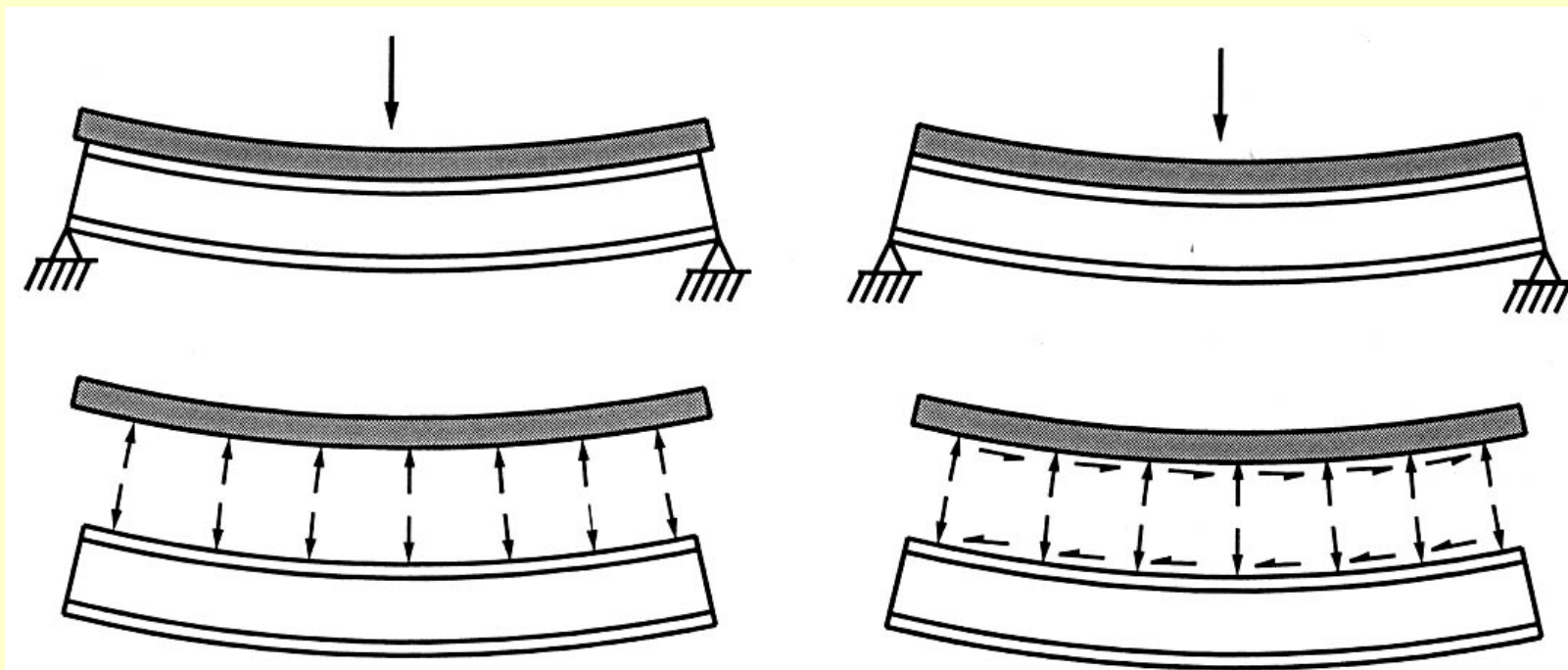
Pórticos mistos

Perfis mistos em aço

Vigas mistas

Perfis mistos em aço

Vigas mistas



Perfis mistos em aço

Vigas mistas

Vantagens

- Aumento considerável na rigidez do piso
- Menor peso dos perfis de aço, redução de 20% a 40%

Perfis mistos em aço

Vigas mistas

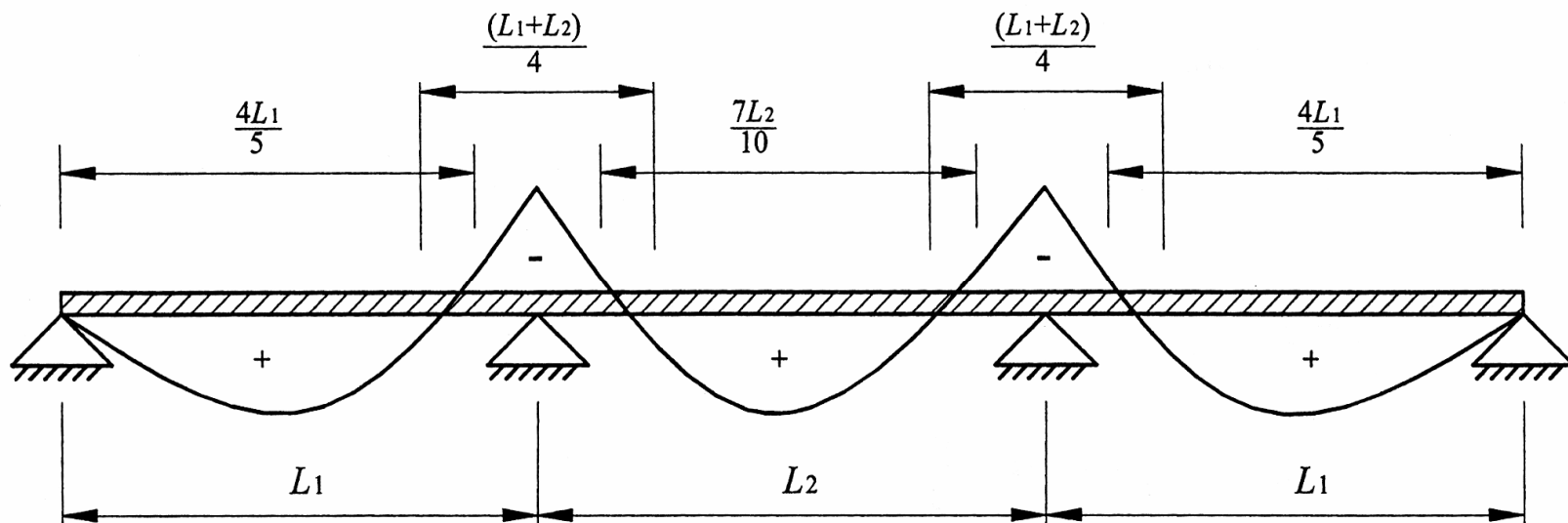
Novidades/Alterações da nova NBR 8800

- 1) Largura efetiva das lajes, a ser considerada de cada lado da linha de centro das vigas
 - 1.1 Vigas biapoiadas
 - $\frac{1}{8}$ do vão da viga mista
 - metade da distância entre a viga analisada e a viga adjacente
 - distância da linha de centro da viga à borda de uma laje em balanço

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

1.2 Vigas contínuas ou semicontínuas

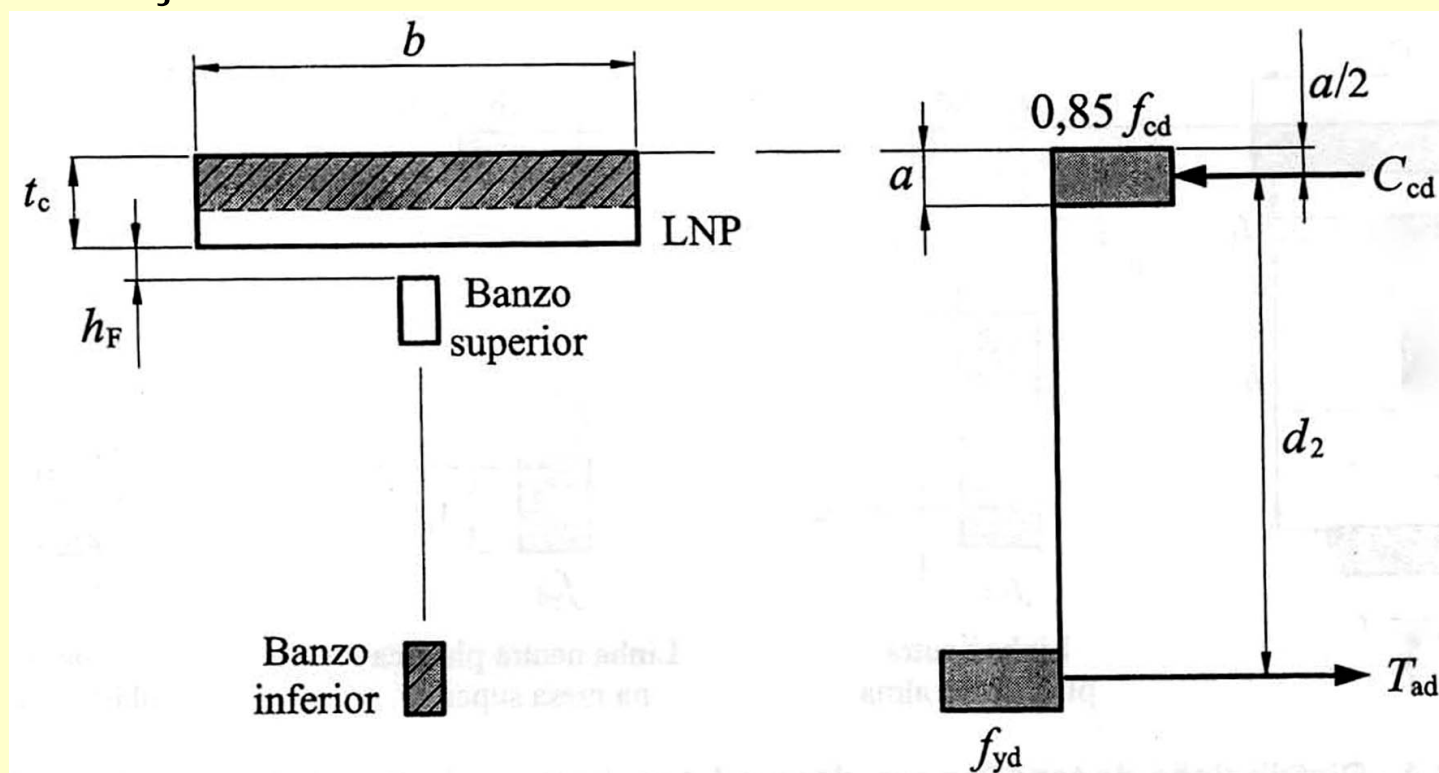


Perfis mistos de aço

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

2) Trelças mistas



Perfis mistos de aço

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

2) Treliças mistas

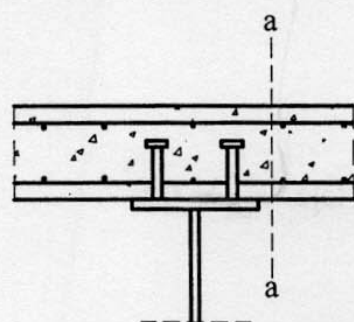
- serem biapoiadas
- terem interação completa com a laje de concreto
- terem a linha neutra situada no concreto
- terem a área do banzo superior desprezada nas determinações do momento fletor resistente de cálculo

Perfis mistos de aço

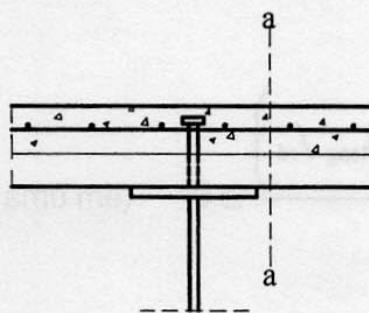
Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

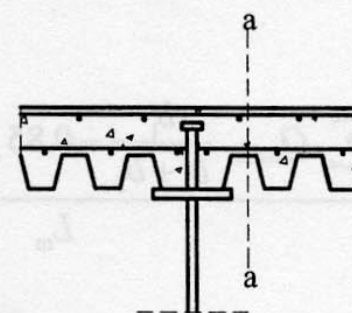
3) Armadura de costura



a) Laje maciça



b) Laje com fôrma de aço com nervuras
perpendiculares ao eixo da viga



c) Laje com fôrma de aço com nervuras
paralelas ao eixo da viga

Figura Q.2 — Superfícies típicas de falha por cisalhamento

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

3) Armadura de costura

$A_s > 0,2 \%$ da área seção cisalhamento do concreto, para lajes maciças

$A_s > 150 \text{ mm}^2/\text{m}$

$A_s > 0,1 \%$ da área seção cisalhamento do concreto, para lajes mistas com nervuras transversais ao perfil de aço

Além disso : $V_{Sd} \leq V_{Rd}$ onde :

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

3) Armadura de costura

$$V_{sd} = \frac{\sum QR_{dm} \frac{b_1}{b_1 + b_2} - 0,85 f_{cd} A_{blc} - A_{long} f_{sd}}{L_m}$$

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

3) Armadura de costura

$$V_{Rd} = 0,6\eta A_{cv} \frac{f_{ctk.inf}}{\gamma_c} + A_s f_{sd} + A_F f_{yFd}$$

$$\leq 0,2\eta A_{cv} f_{cd} + 0,6 A_F f_{yFd}$$

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

4) Momento fletor positivo, resistente de calculo

Para vigas com $\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

$$M_{Rd}^+ = \beta_{vm} \times M_{Rd}$$

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

5) Resistência de conectores tipo pino c/ cabeça

A resistência de um conector é o menor de :

$$Q_{Rd} = \frac{1}{2} \frac{A_{cs} \sqrt{f_{ck} E_c}}{\gamma_{cs}}$$

$$Q_{Rd} = \frac{R_g R_p A_{cs} f_{ucs}}{\gamma_{cs}}$$

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

5) Resistência de conectores tipo pino c/ cabeça

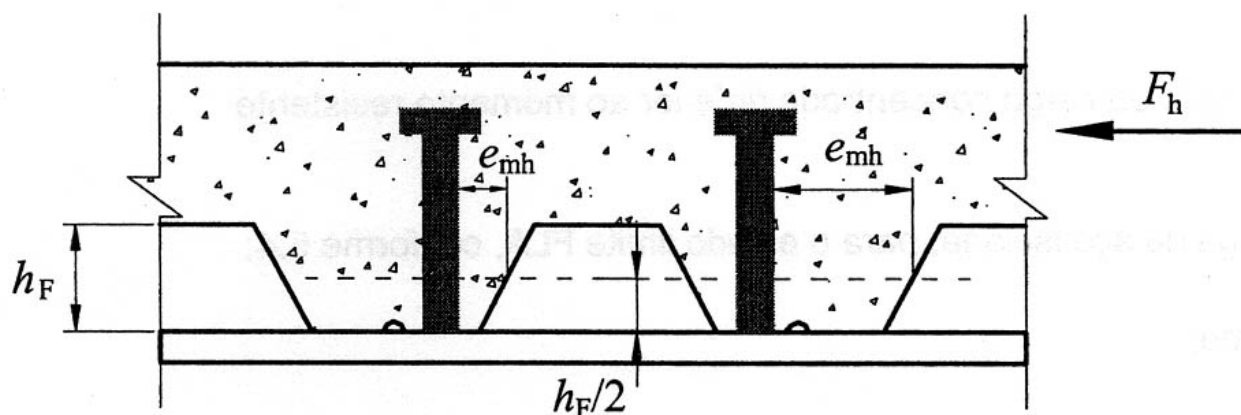


Figura Q.10 — Ilustração do valor a ser tomado para e_{mh}

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

5) Resistência de conectores tipo pino c/ cabeça

Rp deve ter os seguintes valores :

-1,00 para conectores soldados diretamente no perfil de aço; havendo nervura paralelas ao perfil, pelo menos 50% da mesa deve ter contato com concreto

-0,75 para conectores soldados em laje mista com nervuras perpendiculares ao perfil e $e_{mh} \geq 50mm$ e para conectores soldados em uma forma com nervuras paralelas ao perfil

-0,60 para conectores soldados em laje mista com nervuras perpendiculares ao perfil e $e_{mh} \leq 50mm$

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

6) Deslocamentos

São calculados por análise elástica da seção homogeneizada por $\alpha_E = E / E_c$, onde $E_c = 0,85 \times 5600 \times \sqrt{f_{ck}}$

6.1 Treliças

$$\delta = \delta_1 + \delta_2$$

Onde δ_1 é o deslocamento obtido antes do concreto atingir a $0,75 f_{ck}$, com o momento de inércia $I_{ef} = 0,85 I_{trel}$, onde I_{trel} é o momento de inércia da treliça de aço

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

6.1 Trelças

δ_2 é o deslocamento obtido após o concreto atingir a $0,75f_{ck}$ com o momento de inércia $I_{ef} = I_{tm} - 0,15I_{trel}$ onde I_{tm} é o momento de inércia da treliça mista calculado com a laje e a corda inferior

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

6.2 Vigas

O deslocamento é obtido por $\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - \delta_0$ onde:

δ_1 é o deslocamento antes do concreto atingir a $0,75f_{ck}$, calculado com I_a

δ_2 é o deslocamento provocado pelas ações permanentes e pelas ações variáveis de longa duração, após o concreto atingir a $0,75f_{ck}$, calculado com I_{ef} utilizando-se na homogeneização da seção a relação $3E/E_c$

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

6.2 Vigas

δ_3 é o deslocamento provocado pelas ações variáveis de curta duração, após o concreto atingir a $0,75f_{ck}$, calculado com I_{ef} utilizando-se na homogeneização da seção a relação E/E_c

δ_0 é a contraflecha dada ao perfil de aço, limitada a δ_1

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

7) Interação parcial

$\eta_i = \sum Q_{Rd} / F_{hd}$ onde F_{hd} é o menor valor entre $A_s f_{yd}$ e $0,85 f_{cd} b t_c$

a) Para perfis simétricos

$$\eta_i = 1 - \frac{E}{578 f_y} (0,75 - 0,03 L_e) \geq 0.40 \quad \text{para } L_e \leq 25m$$

$\eta_i = 1$ para $L_e \geq 25m$ (interação completa)

L_e é a distância entre pontos de momento nulo

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

7) Interação parcial

b) Perfis assimétricos (área da mesa inferior igual a três vezes a área da mesa superior)

$$\eta_i = 1 - \frac{E}{578 f_y} (0,30 - 0,015 L_e) \geq 0,40 \quad \text{para} \quad L_e \leq 20m$$

$$\eta_i = 1 \quad L_e \geq 20m \text{ (interação completa)}$$

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

8) Controle de fissuras

NBR 6118 – Eurocode 2 Part 1-1

7.1 Fissuras geradas pelas restrições de deformações

A área mínima da armadura longitudinal de tração pode ser calculada por:

$$A_s = \frac{k k_c \eta f_{ct, ef} A_{ct}}{\sigma_{st}}$$

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

8.1 Fissuras geradas pelas restrições de deformações

$$k = 0,8$$

A_{ct} – área efetiva do concreto ($l_{ef} \times t_c$)

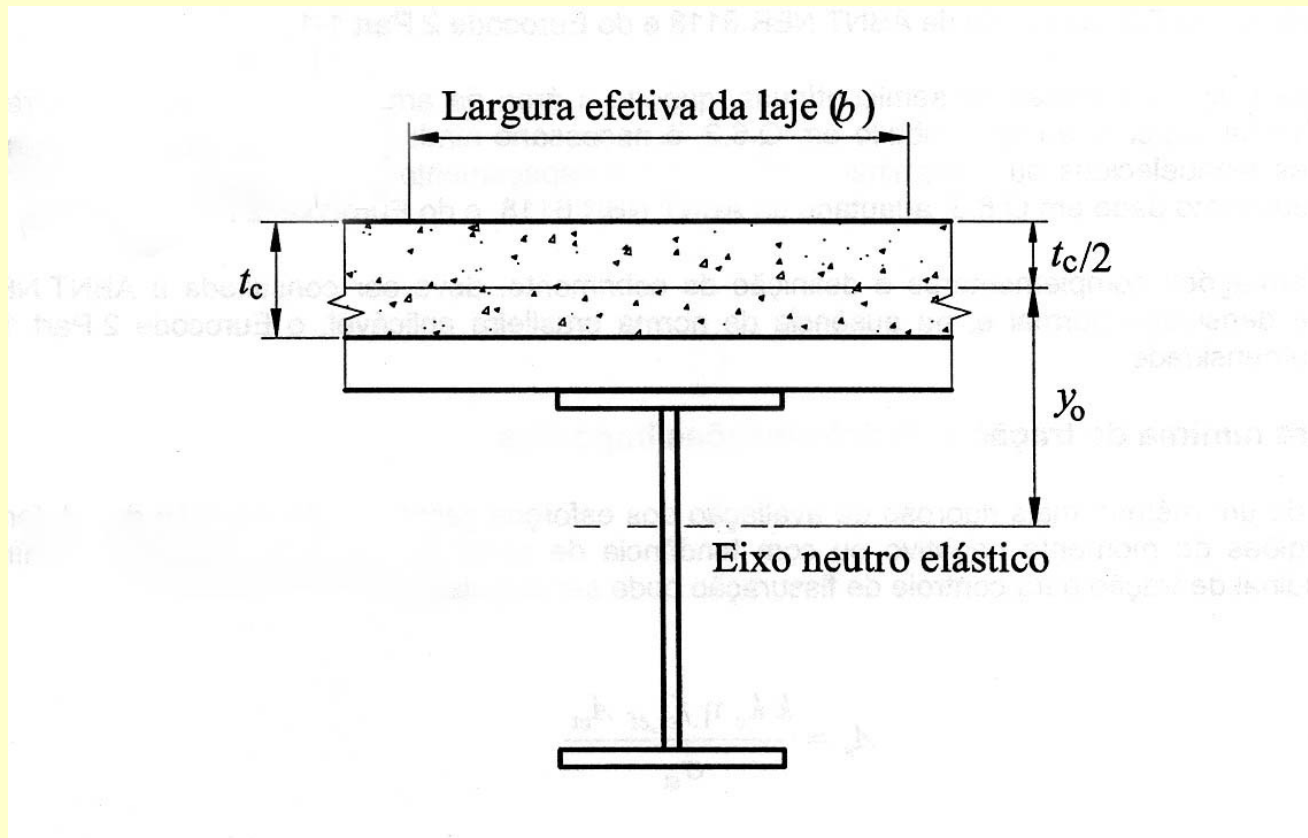
$f_{ct,ef}$ pode ser tomado como 3MPa

$$k_c = \frac{1}{1 + \frac{t_c}{2y_0}} \geq 0,7$$

Perfis mistos de aço

Vigas mistas

8.1 Fissuras geradas pelas restrições de deformações



Perfis mistos de aço

Vigas mistas

8.1 Fissuras geradas pelas restrições de deformações

$$\sigma_{st} = 810 w_k^{0,5} \sqrt{\frac{f_{ck}}{\phi}} \leq f_{ys}$$

Agressividade ambiental ¹⁾	Ambiente	w_k (mm)
I (fraca)	Rural ou submersa	0,4
II (moderada)	Urbano	0,3
III (forte)	Marinho e industrial	0,3
IV (muito forte)	Industrial químico agressivo e respingos de maré	0,2

NOTA

¹⁾ Pode-se admitir uma agressividade ambiental um nível mais brando em ambiente interno seco ou se o concreto for revestido com argamassa e pintura.

Perfis mistos de aço

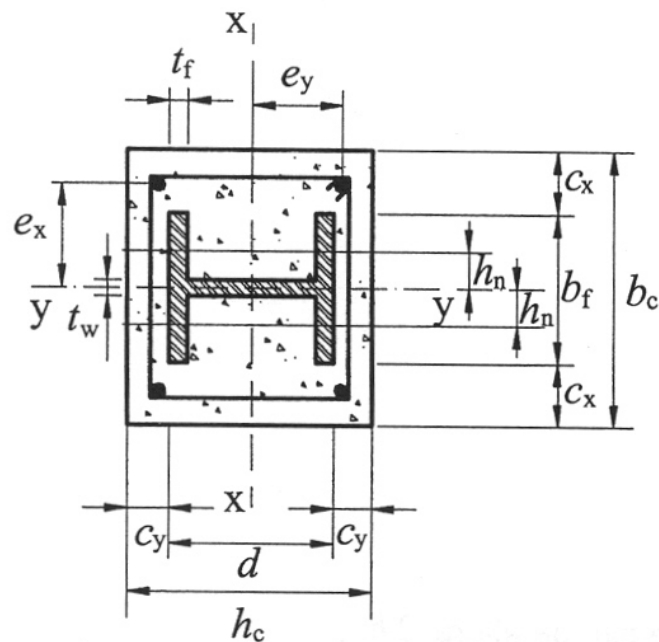
Vigas mistas



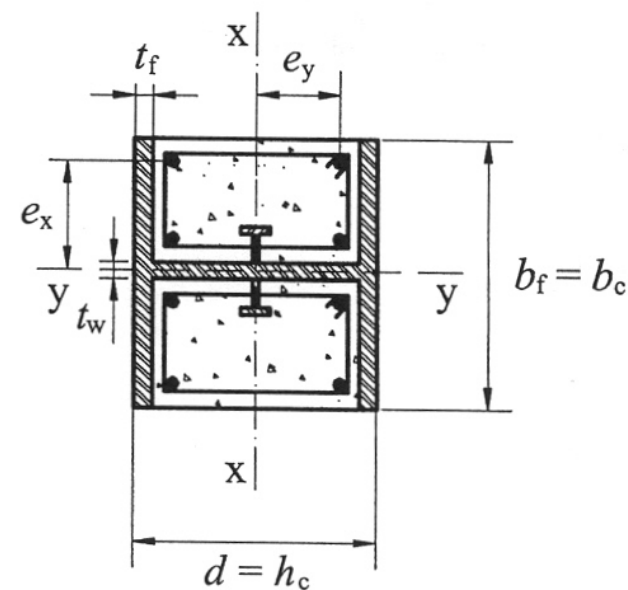
Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto

Tipos de pilares mistos



(a)

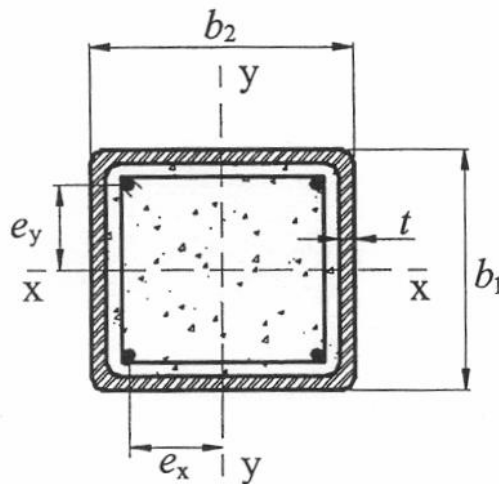


(b)

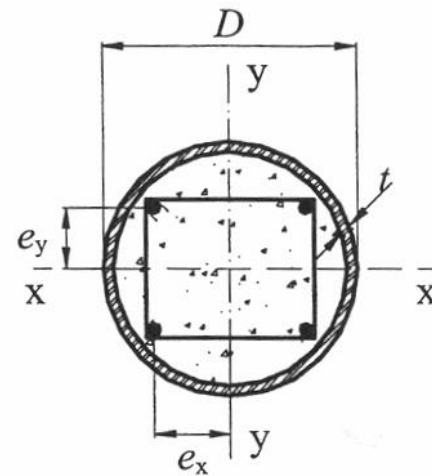
Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto

Tipos de pilares mistos



(c)



(d)

Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto

Hipóteses básicas

- há interação completa entre o concreto e o aço
- as imperfeições iniciais são compatíveis com aquelas adotadas para as barras de aço submetidas á força normal de compressão
- não pode haver flambagem local para força normal e momento fletor

Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto

Limites de aplicabilidade

- os pilares devem ter dupla simetria e seção constante
- o concreto deve ser de densidade normal
- o fator de contribuição do aço igual a $\delta = \frac{A_a f_{yd}}{N_{Rd, pl}}$ deve ser superior a 0,2 e inferior a 0,9

Se δ for inferior a 0,2, o pilar deve ser dimensionado pela NBR6118 como pilar de concreto; se maior que 0,9 como pilar de aço

Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto

Limites de aplicabilidade

- a esbeltez relativa do pilar não pode exceder a 2,0
- pilares preenchidos podem ser fabricados sem qualquer armadura
- pilares parcialmente revestidos ou totalmente revestidos tem que possuir armadura longitudinal cuja área atenda a

$$0,3\%A_c \leq A_s \leq 4,0\%A_c$$

- a relação entre altura e largura das seções mistas retangulares deve estar entre 0,2 e 5,0

Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto

Limites de aplicabilidade

-para seções totalmente revestidas com concreto, os cobrimentos do perfil de aço deve atender a

$$40 \text{ mm} \leq c_x \leq 0,4 b_f \text{ e } c_y \geq b_f / 6$$

$$40 \text{ mm} \leq c_y \leq 0,3 d \text{ e } c_x \geq b_f / 6$$

-para seções parcial ou totalmente revestidas de concreto devem existir armaduras longitudinal e transversal para garantir a integridade do concreto. Nas seções parcialmente revestidas estas armaduras devem ser ancoradas no perfil de aço através de furos na alma ou conectores de cisalhamento cujo espaçamento não exceda 500 mm

Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto

Flambagem local dos elementos de aço

a) Nas seções tubulares preenchidas com concreto $D/t \leq 0,15E / f_y$

b) Nas seções retangulares preenchidas com concreto $b/t \leq 2,26 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

c) Seções I ou H parcialmente revestidas $b_f / t_f \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto

A resistência de cálculo à força normal de compressão é dada por:

$$N_{Rd} = \chi N_{Rd, pl}$$

χ é o fator de redução à flambagem por flexão dado por:

curva **a** para pilares preenchidos com concreto

curva **b** para pilares parcialmente ou totalmente revestidos, eixo **x**

curva **c** para pilares parcialmente ou totalmente revestidos, eixo **y**

Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto

χ é função de $\lambda_{0,m} = \sqrt{\frac{N_{R,pl}}{N_e}}$

$$N_{R,pl} = f_y A_a + \alpha f_{ck} A_c + f_{ys} A_s$$

$$N_e = \frac{\pi^2 (EI)_e}{(KL)}$$

$$(EI)_e = E_a I_a + 0,7 E_{c.red} + E_s I_s$$

$$N_{Rd,pl} = f_{yd} A_a + \alpha f_{cd} A_c + f_{sd} A_s$$

Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto



Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto

Introdução de cargas

Nas regiões de introdução de cargas nos pilares, tem-se que evitar escorregamento significativo na interface do perfil de aço e o concreto.

Para tanto assume-se um comprimento de introdução de carga igual a duas vezes a menor dimensão do pilar ou um terço da distância entre os pontos de introdução de carga, o que for menor.

Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto

Cisalhamento entre o perfil de aço e o concreto

Tipo de seção transversal do pilar misto	τ_{Rd} (MPa)
Seção totalmente revestida com concreto	0,30 (ver R.2.2.3)
Seção tubular circular preenchida com concreto	0,55
Seção tubular retangular preenchida com concreto	0,40
Mesas de seção parcialmente revestida com concreto	0,20
Almas de seção parcialmente revestida com concreto	0,00

Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto

Cisalhamento entre o perfil de aço e o concreto

-Regiões de introdução de cargas

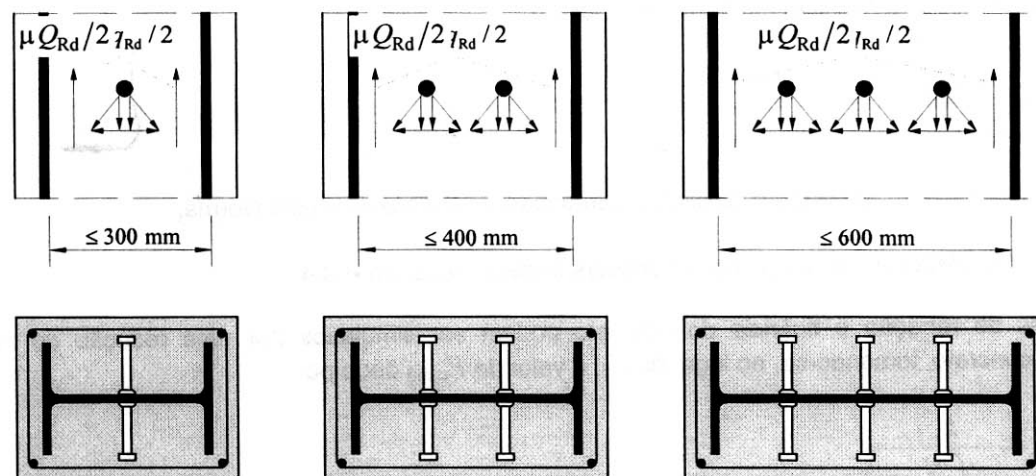


Figura P.2 — Forças de atrito adicionais devidas a conectores pino com cabeça

Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto

Introdução de cargas



Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto



Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto



Perfis mistos de aço

Pilares mistos aço concreto



Perfis mistos de aço

Ligações Mistas

Perfis mistos de aço

Ligações mistas

Uma ligação é denominada mista quando a laje de concreto participa da transmissão de momento fletor de uma viga mista para um pilar ou para outra viga mista do vão adjacente.

Numa viga mista com ligação mista o peso do perfil de aço é reduzido entre 8% e 20 %, em relação ao peso do perfil de aço da viga mista simplesmente apoiada.

A ligação mista é uma ligação de resistência parcial pois apesar de ter grande rigidez inicial, não tem a mesma resistência a flexão da viga mista suportada por ela.

Perfis mistos de aço

Ligações mistas

Classificação das ligações com base em sua rigidez (análise elástica):

Rotuladas – São aquelas projetadas de tal forma que não sejam capazes de desenvolver ou transmitir momentos que possam afetar a resistência das barras às quais estejam ligadas.

Rígidas – São aquelas cuja deformação (rotação relativa) é pequena o suficiente para não influenciar na distribuição das forças e momentos internos da estrutura.

Semi-rígidas – São aquelas que não se enquadram como ligações rotuladas ou rígidas. Seu comportamento é definido pela relação momento-rotação.

Perfis mistos de aço

Ligações mistas

Classificação das ligações com base em sua resistência (análise elasto-plástica):

- Rotuladas

- De resistência total (contínuas) São capazes de desenvolver resistência igual ou superior à da viga

Perfis mistos de aço

Ligações mistas

Classificação das ligações com base em sua resistência (análise elasto-plástica):

- De resistência parcial (semi-contínuas)

Não são capazes de desenvolver a resistência da viga. Deve ser demonstrado experimentalmente ou por análise teórica que a ligação possui capacidade de rotação suficiente para que se formem as rotulas plásticas previstas nas barras, mantendo sua resistência até o mecanismo de colapso final.

Perfis mistos de aço

Ligações mistas

Geralmente a resistência das ligações mistas é da ordem de 30% a 50 % da resistência da viga mista ao momento fletor positivo e de 60 % a 90% da resistência da viga mista na região de momento fletor negativo.

.

Perfis mistos de aço

Ligações mistas

Nas vigas com ligações mistas não podem ser atingidos estados limites não dúcteis tais como instabilidades locais ou globais ou rupturas de parafusos ou armaduras.

Os perfis de aço empregados devem atender a :

- a) a relação entre duas vezes a altura da parte comprimida da alma e sua espessura deve ser menor ou igual a $3,76\sqrt{E/f_y}$, com a posição da linha neutra plástica determinada para a seção de momento negativo

Perfis mistos de aço

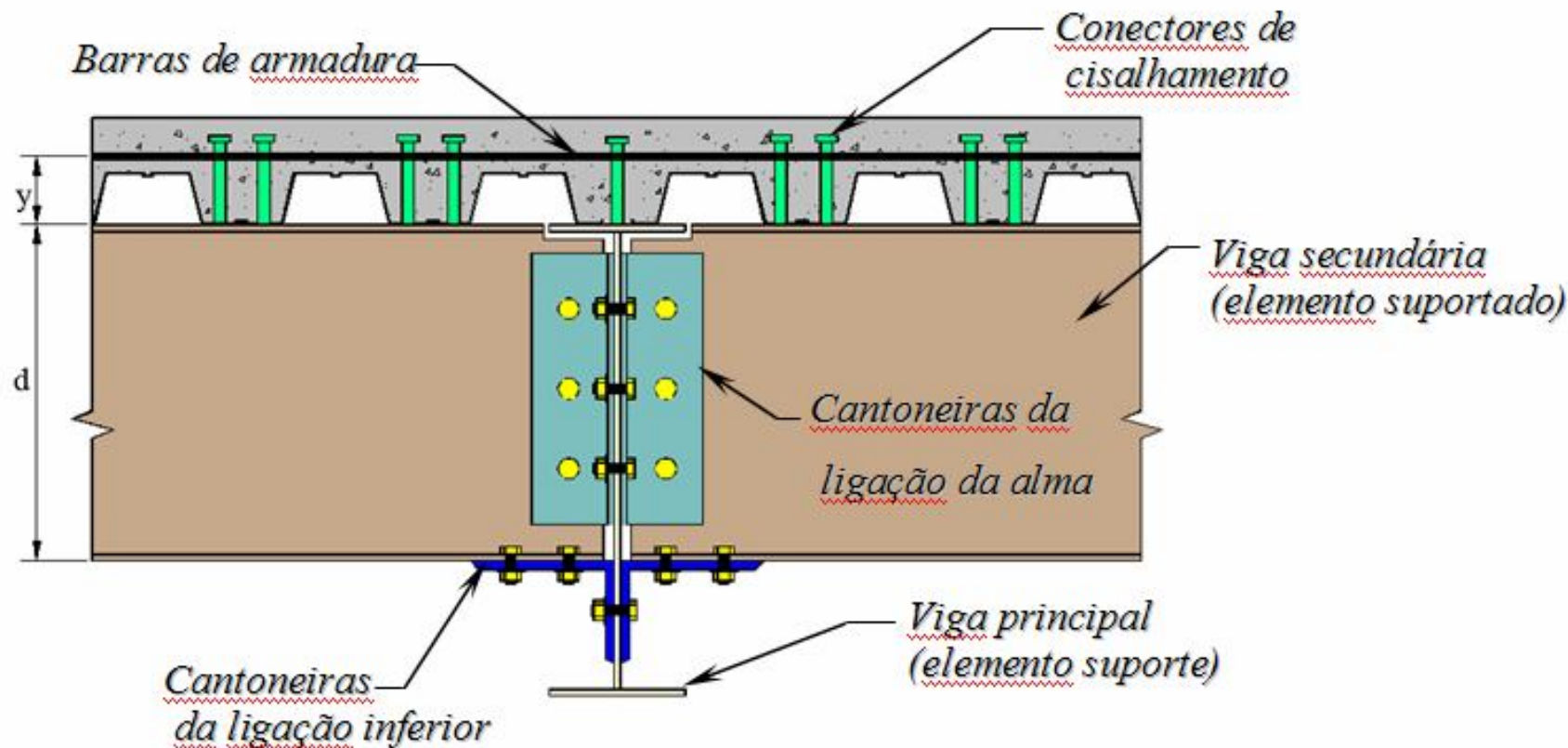
Ligações mistas

- b) A relação entre a metade da mesa inferior comprimida e sua espessura deve ser menor ou igual a $0,38\sqrt{E/f_y}$

Os procedimentos de calculo do anexo R da NBR-8800 aplicam-se somente às ligações mostradas neste anexo , que reproduzimos a seguir:

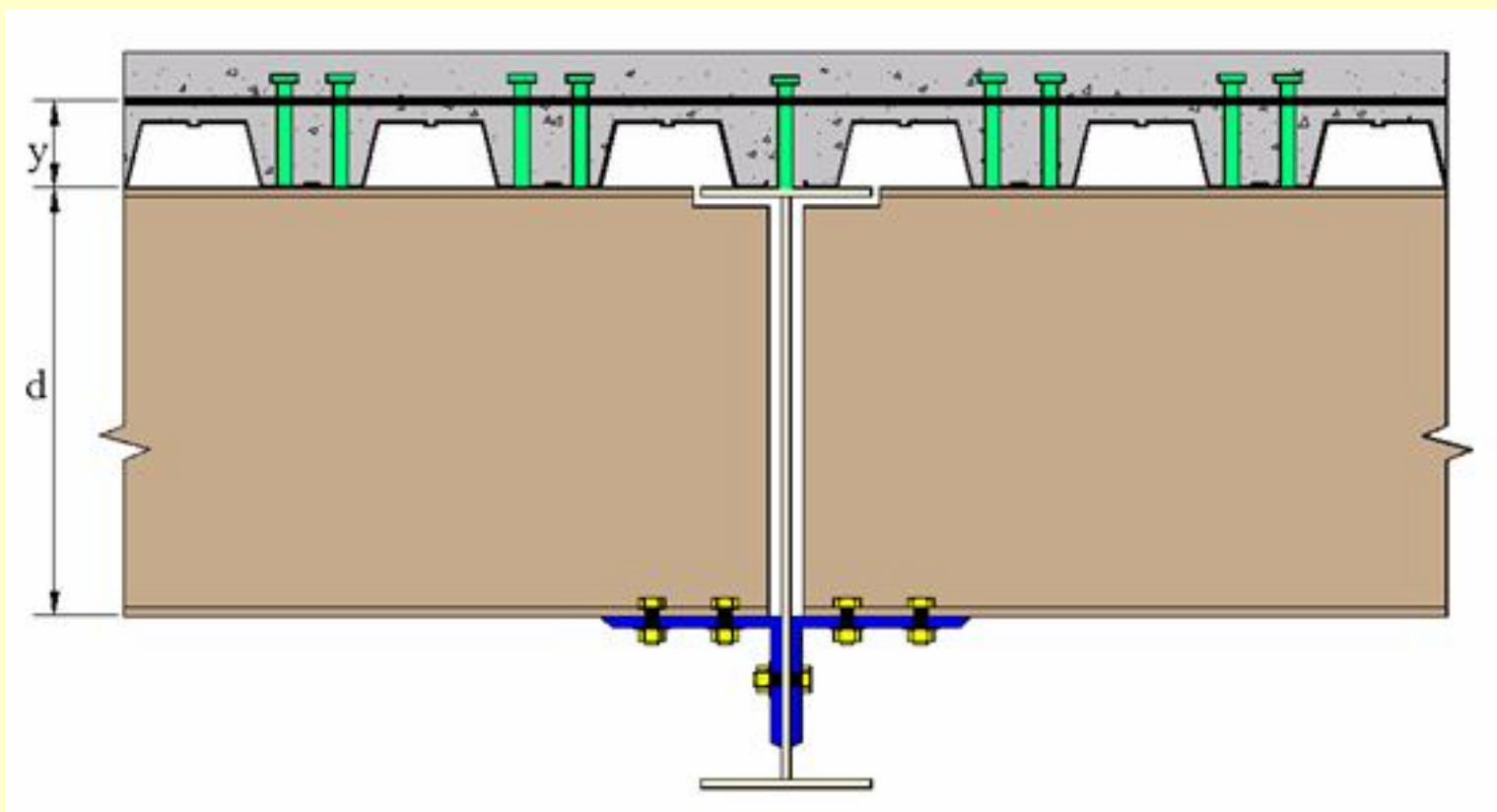
Perfis mistos de aço

Ligações mistas



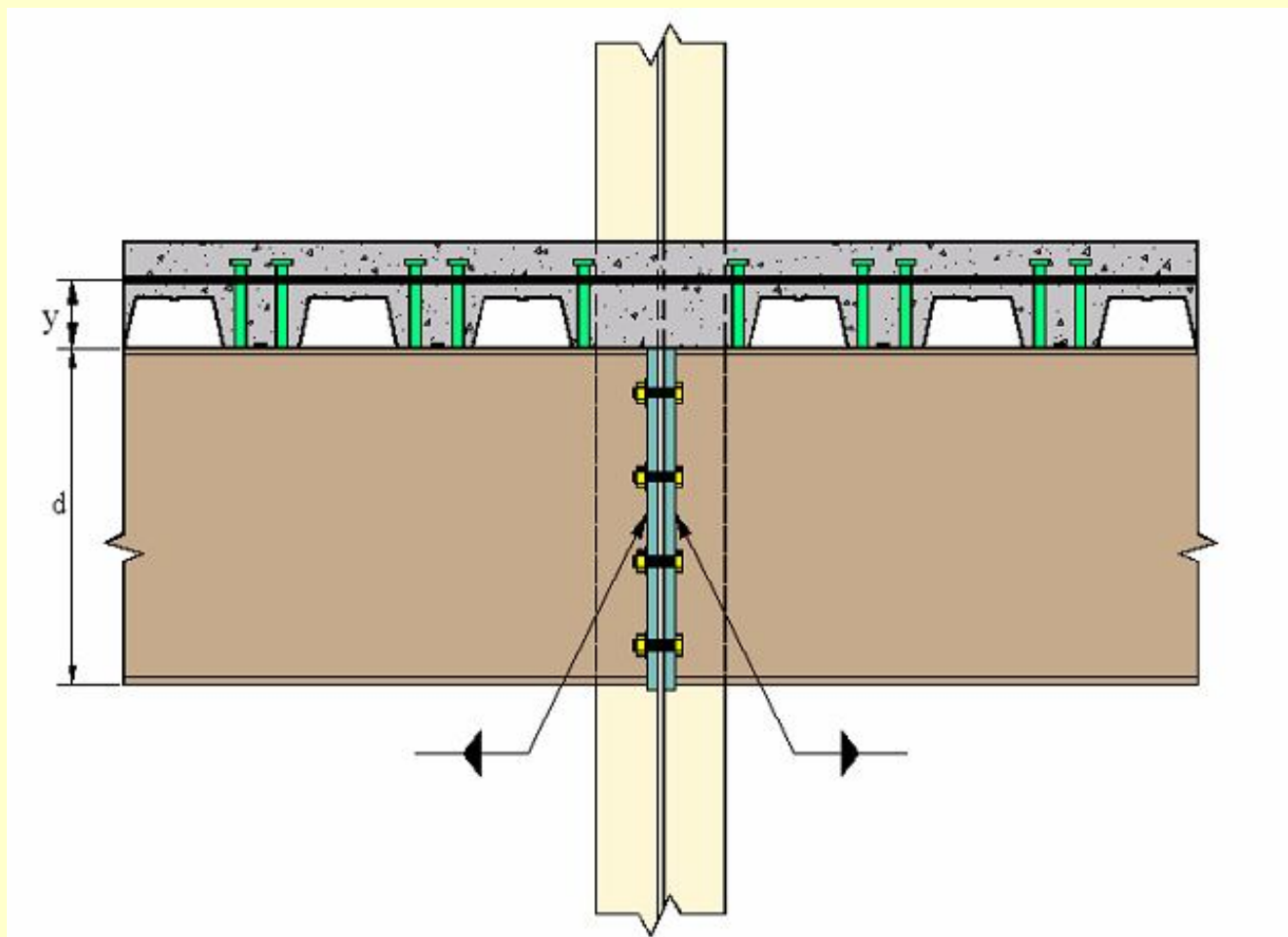
Perfis mistos de aço

Ligações mistas



Perfis mistos de aço

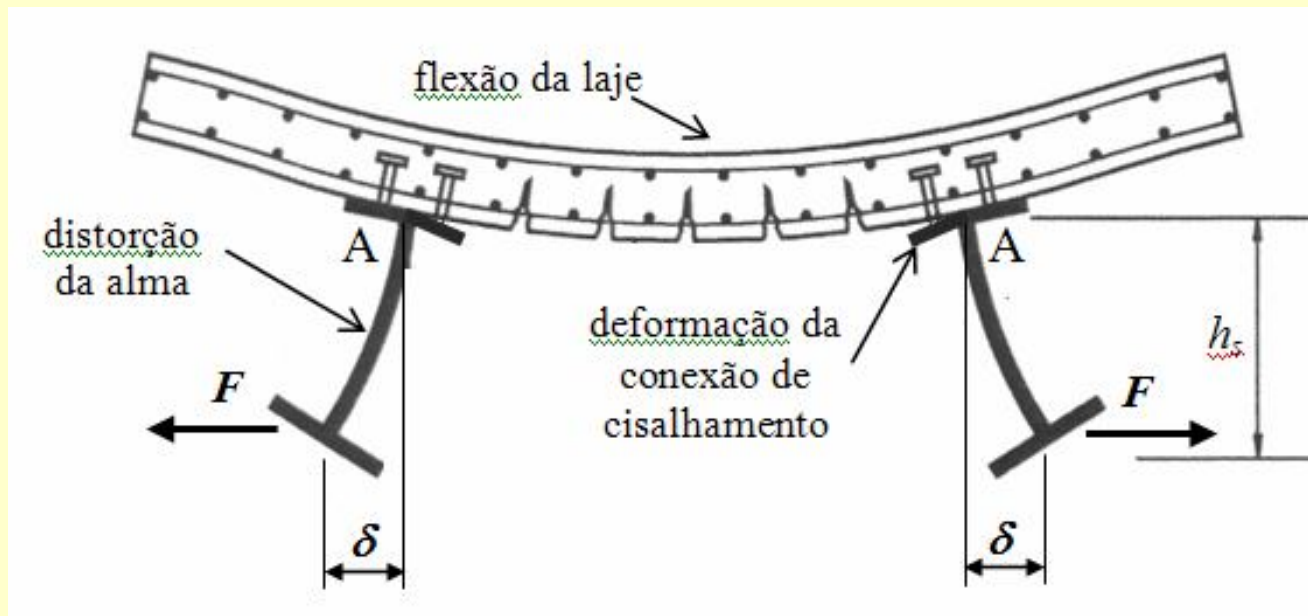
Ligações mistas



Perfis mistos de aço

Ligações mistas

O estado limite ultimo de flambagem por distorção deve ser verificado de acordo com o item O.2.5 da NBR-8800 ,e o momento que provoca este estado limite não pode ser inferior ao momento resistente da ligação mista.



Perfis mistos de aço

Ligações mistas

Largura efetiva da laje

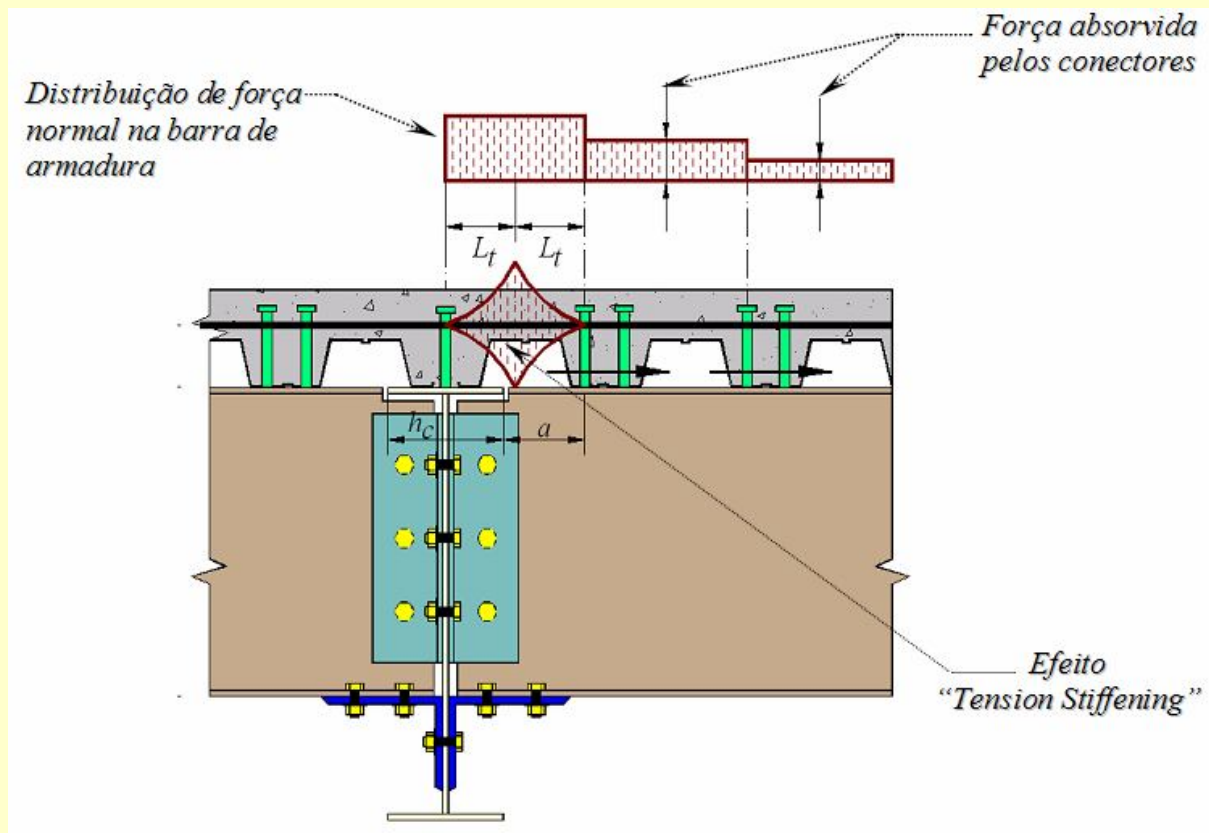
- Pode ser adotada, simplificadamente, igual a 0,25 da soma dos vãos adjacentes das vigas que participam das ligações

Armadura tracionada

- as barras devem ser de aço CA-50 e possuir diâmetro igual ou superior a 12,5 mm
- se o apoio das vigas for um pilar, deve se dispor as barras a uma distancia de $0,7b_c$ a $2,5b_c$, medida de cada lado da linha de centro das vigas analisadas, onde b_c é a largura do pilar na direção transversal às barras.

Perfis mistos de aço

Ligações mistas



Perfis mistos de aço

Ligações mistas

Propriedades dos componentes da ligação mista

- 1) Armadura
- 2) Conectores
- 3) Ligação inferior

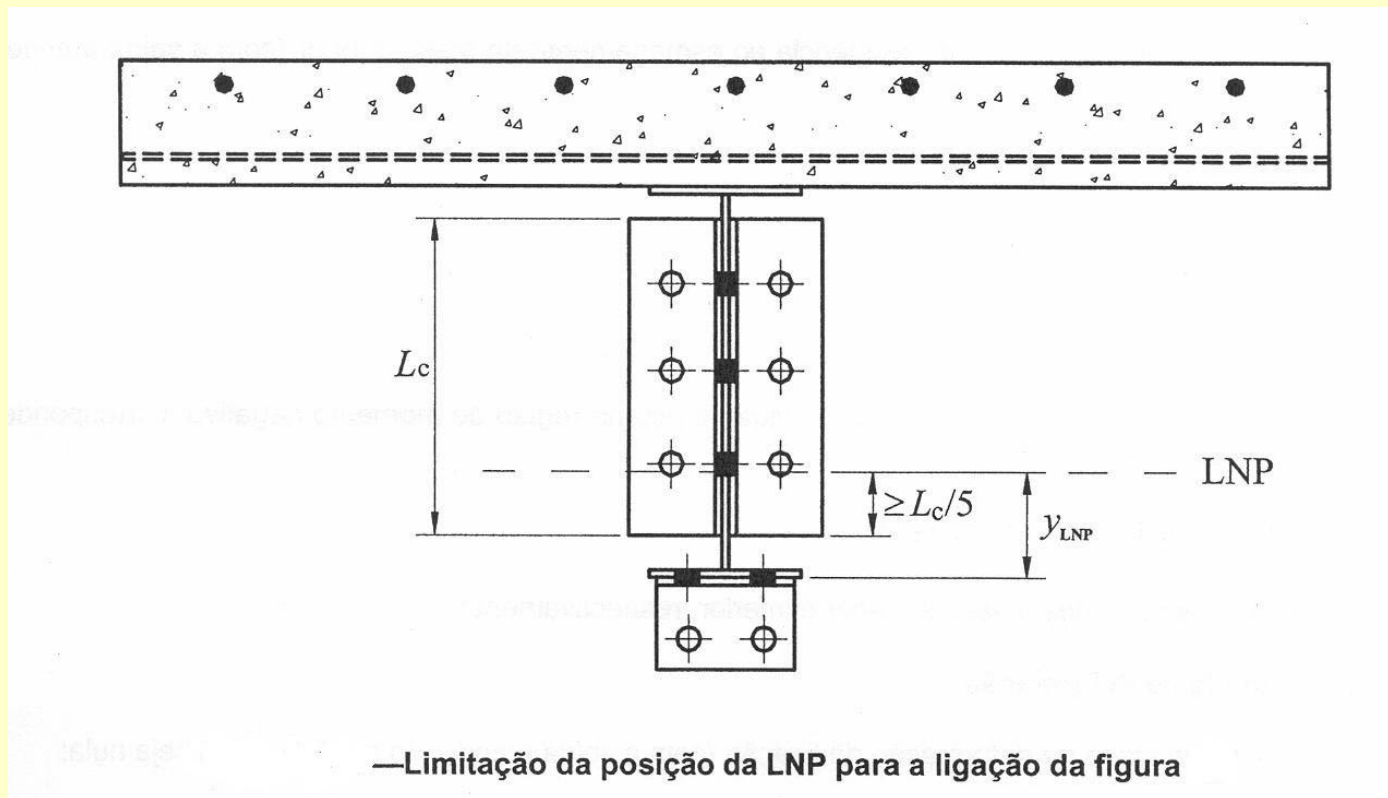
Para estes três componentes deve-se calcular :

- sua rigidez inicial
- sua capacidade de deformação
- sua resistência de cálculo

Perfis mistos de aço

Ligações mistas

Ligação metálica da alma da viga
Contribuição desprezada na rigidez e resistência



Perfis mistos de aço

Ligações mistas

Ligação metálica da alma da viga

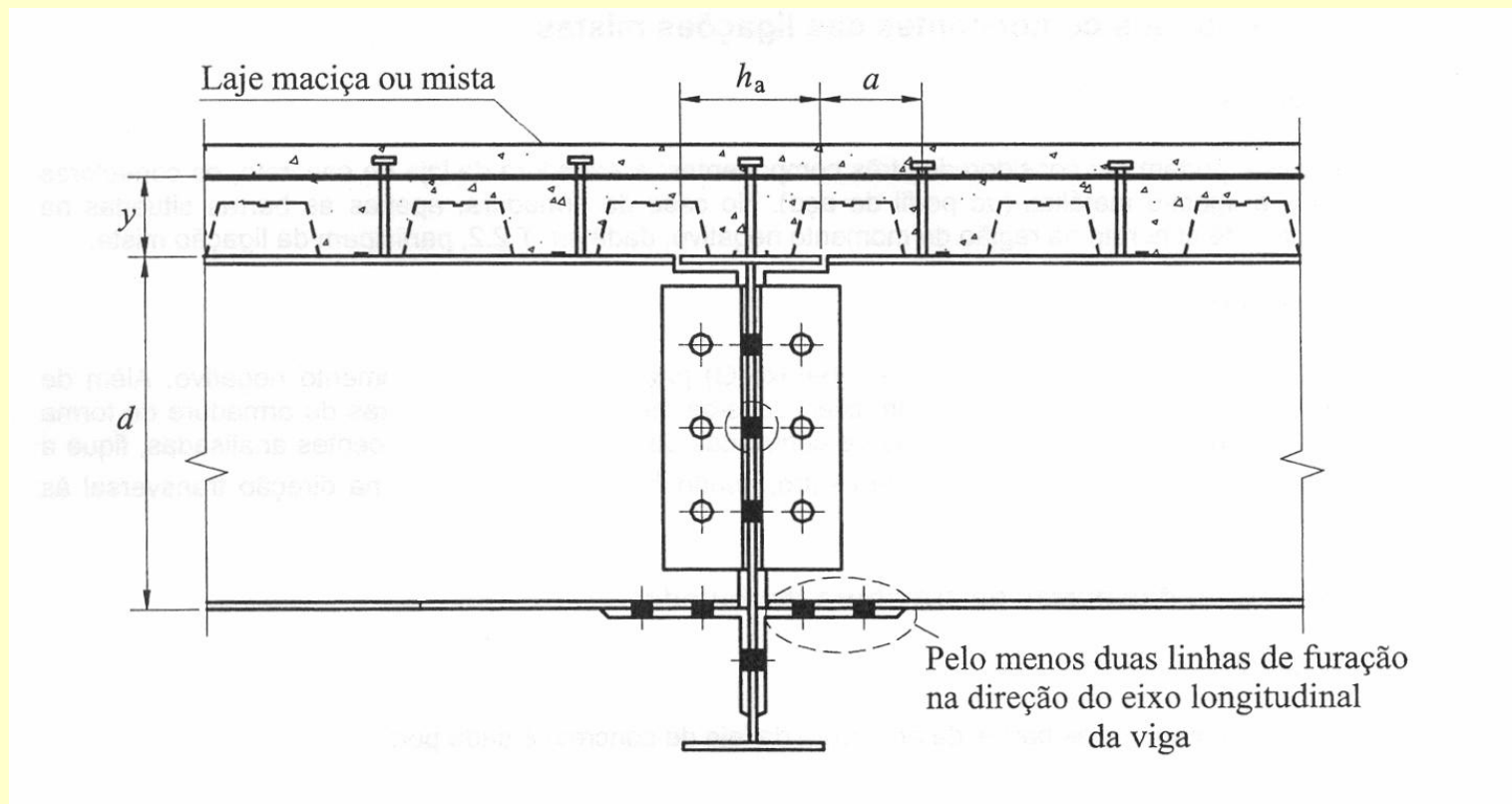
Contribuição desprezada na rigidez e resistência

A espessura das cantoneiras da alma e a chapa de extremidade, conforme for o caso, devem ter espessura menor ou igual a 0,4 vezes que o diâmetro dos parafusos.

Perfis mistos de aço

Ligações mistas

Propriedades da ligação mista como um todo



Perfis mistos de aço

Ligações mistas

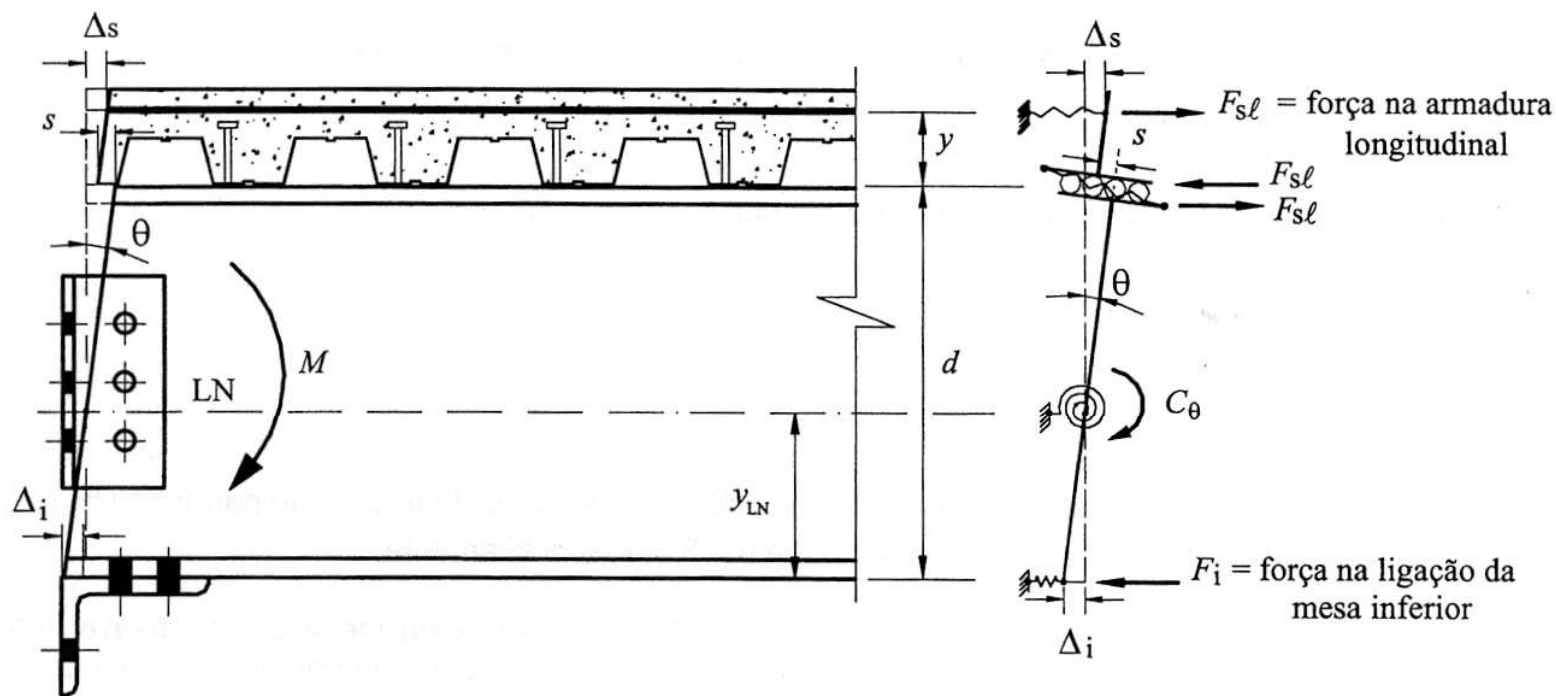
Propriedades da ligação mista como um todo

1) Rigidez inicial

$$C = \frac{M}{\theta} = \frac{(d + y)^2}{\frac{1}{k_s} + \frac{1}{k_{cs}} + \frac{1}{k_i}}$$

Perfis mistos de aço

Ligações mistas



Modelo para a rigidez do conjunto da ligação mista

Perfis mistos de aço

Ligações mistas

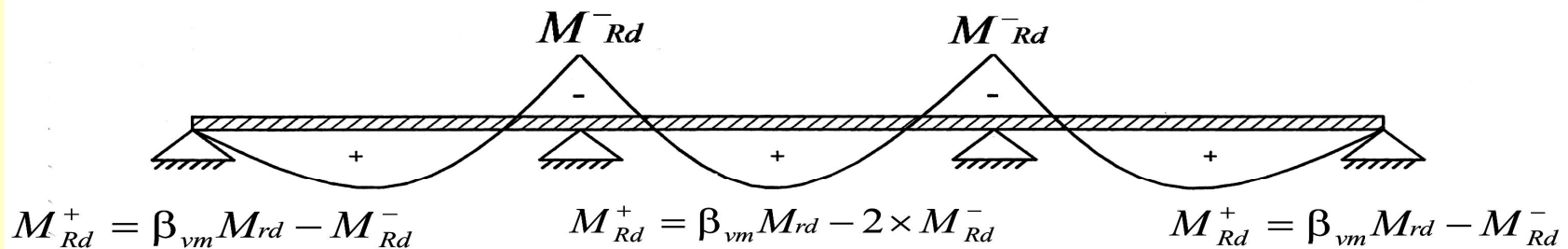
Propriedades da ligação mista como um todo

2) Resistência de cálculo à momento

$$M_{Rd}^- = f_{sd} \times A_{sl}(d + y)$$

Perfis mistos de aço

Ligações mistas



Momentos resistentes em uma viga
semi-continua

Perfis mistos de aço

Ligações mistas

3) Capacidade de rotação

$$\theta_u = \frac{\Delta_{us} + \Delta_{ui} + S^{(B)}}{d + y}$$

Perfis mistos de aço

Ligações mistas

Capacidade de rotação necessária (mrad) - $\beta_{vm} = 0,90$

L/d_t	$f_y = 350 \text{ MPa}$		$f_y = 275 \text{ MPa}$	
	DL e 1CL	2CL	DL e 1CL	2CL
15	22	32	21	29
20	35	48	29	39
25	43	60	35	47
30	50	71	41	56

Perfis mistos de aço

Ligações mistas



Perfis mistos de aço

Ligações mistas



Perfis mistos de aço

Ligações mistas



Perfis mistos de aço

Ligações mistas



Perfis mistos de aço

Pórticos Mistos

Perfis mistos de aço

Pórticos mistos



Perfis mistos de aço

Pórticos mistos



Perfis mistos de aço

Pórticos mistos



Perfis mistos de aço

Pórticos mistos



Perfis mistos de aço

Pórticos mistos



Bibliografia :

Queiroz, G.;Pimenta, R. J. ; da Mata, L. A. C.2001.
Elementos de Estruturas Mistas Aço-Concreto

Chen,W.F. ; Lorenz, R. F. ;Kato,B. 1992. “Semi-Rigid
Connection in Steel Frames-Council on Tall Buildings
and Human Habitat. New York

Leon,R. T. ; Hoffman, J. J. ; Teager, T. 1996 . AISC
Steel Design Guide Series. Design Guide #8-
Partially Restrained Composite Connection

Li,T. Q. ; Ahmed B. ; Lawson, R. M. 1996. Required
Rotation os Composite Connections

Bibliografia :

Couchman, G. H. ; Way, A. 1998. Joints in Steel Connection: Composite Connections . The Steel Construction Institute

Eurocode 3 e Eurocode 4