

Sistemas mistos aço-concreto viabilizando estruturas para Andares Múltiplos

Sistemas mistos aço-concreto

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

Sistemas mistos aço-concreto

NBR 8800/2008

Vigas mistas – Anexo O

Pilares mistos – Anexo P

Sistemas mistos aço-concreto

Vigas mistas

Sistemas mistos aço-concreto

Vigas mistas

Vantagens

- Aumento considerável na rigidez do piso
- Menor peso dos perfis de aço, redução de 20% a 40%
- Menor altura da seção viga-laje

Sistemas mistos aço-concreto

Vigas mistas

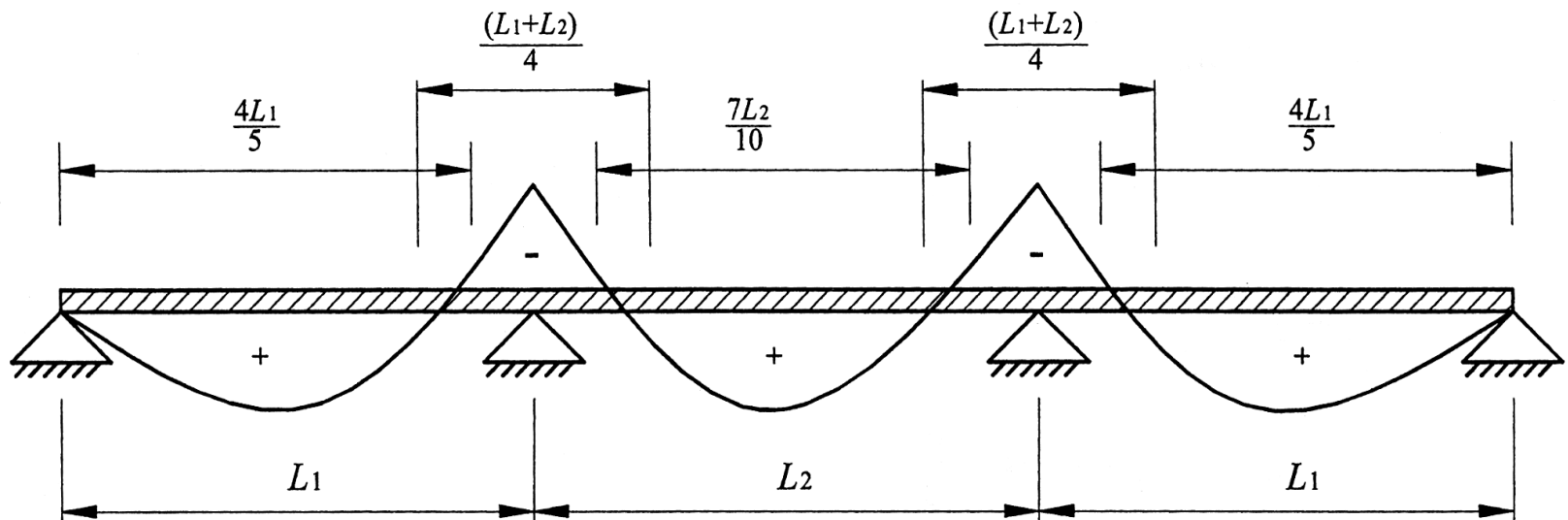
Novidades/Alterações da NBR 8800/2008

- 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

Sistemas mistos aço-concreto

Vigas mistas

1.2 Vigas contínuas ou semicontínuas

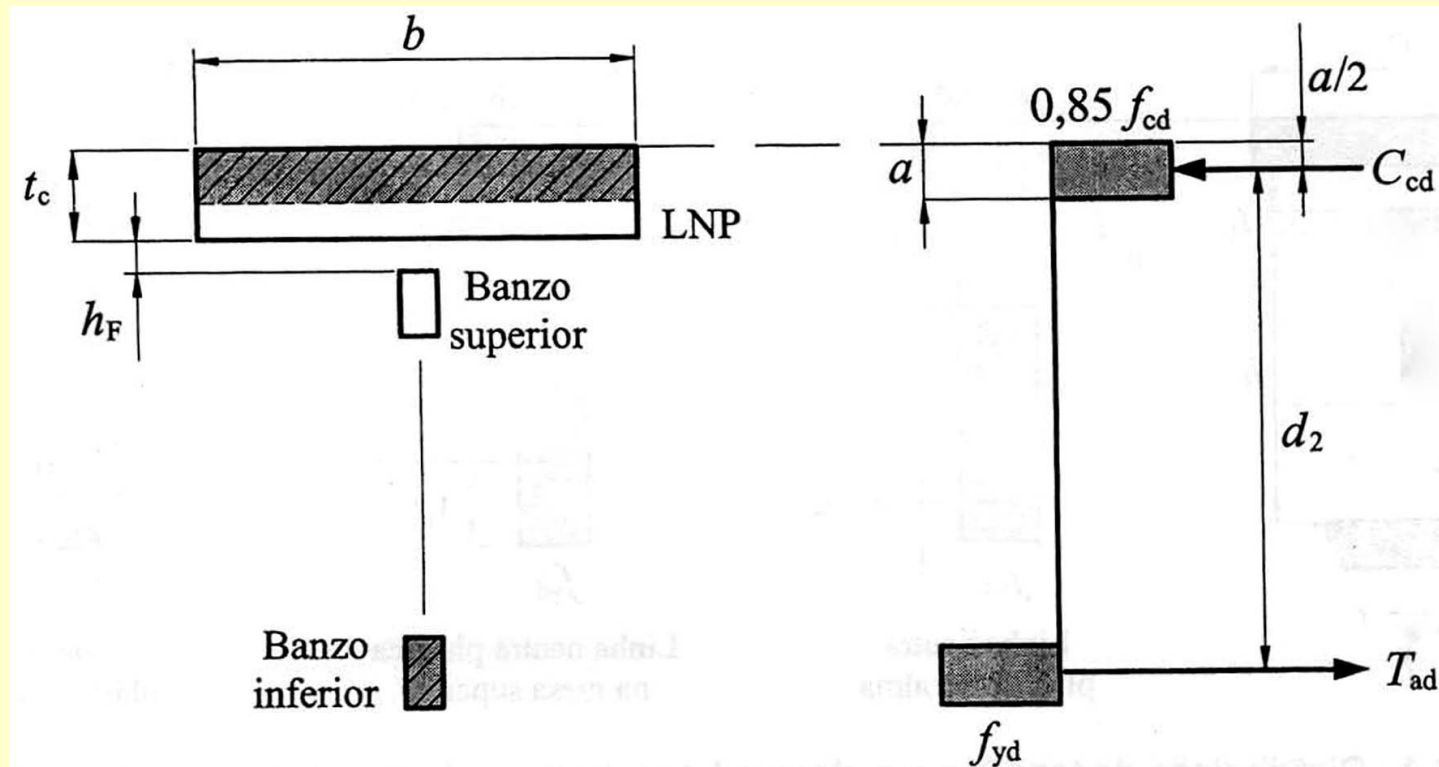


Sistemas mistos aço-concreto

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

2) Treliças mistas



Sistemas mistos aço-concreto

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

Sistemas mistos aço-concreto

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

3) Armadura de costura

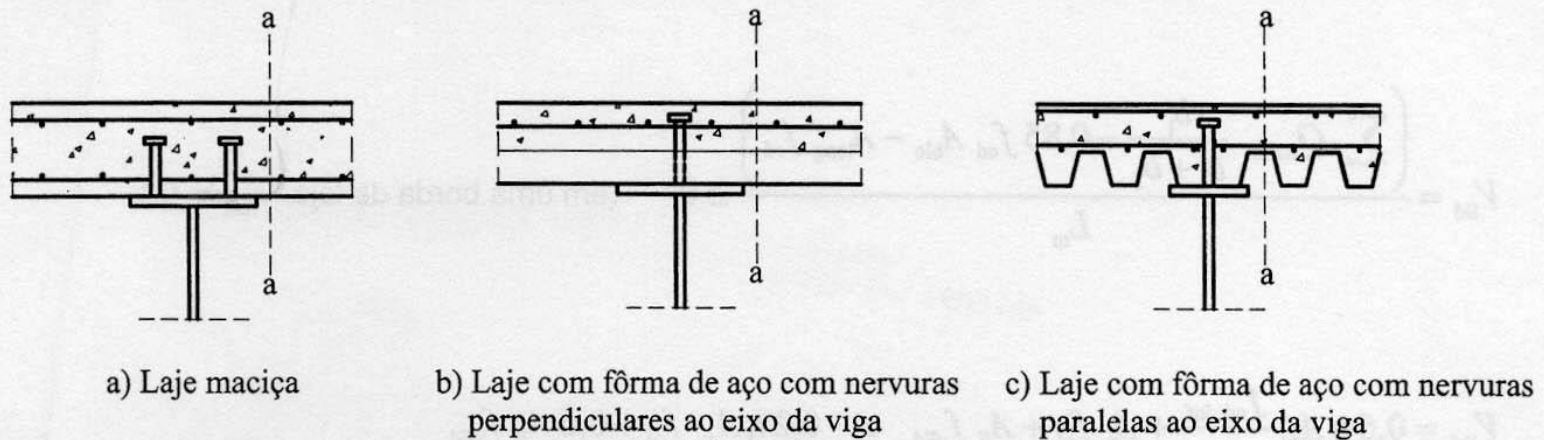


Figura Q.2 — Superfícies típicas de falha por cisalhamento

Sistemas mistos aço-concreto

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 :

Sistemas mistos aço-concreto

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

3) Armadura de costura

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

Sistemas mistos aço-concreto

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

3) Armadura de costura

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

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

Sistemas mistos aço-concreto

Vigas mistas

4) Momento fletor positivo, resistente de calculo

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

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

Sistemas mistos aço-concreto

Vigas mistas

Em construções não escoradas as vigas mistas devem atender também a :

$$MG / W_a + ML / W_{ef} = f_{yd}$$

Sistemas mistos aço-concreto

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 :

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

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

Sistemas mistos aço-concreto

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

5) Resistência de conectores tipo pino c/ cabeça

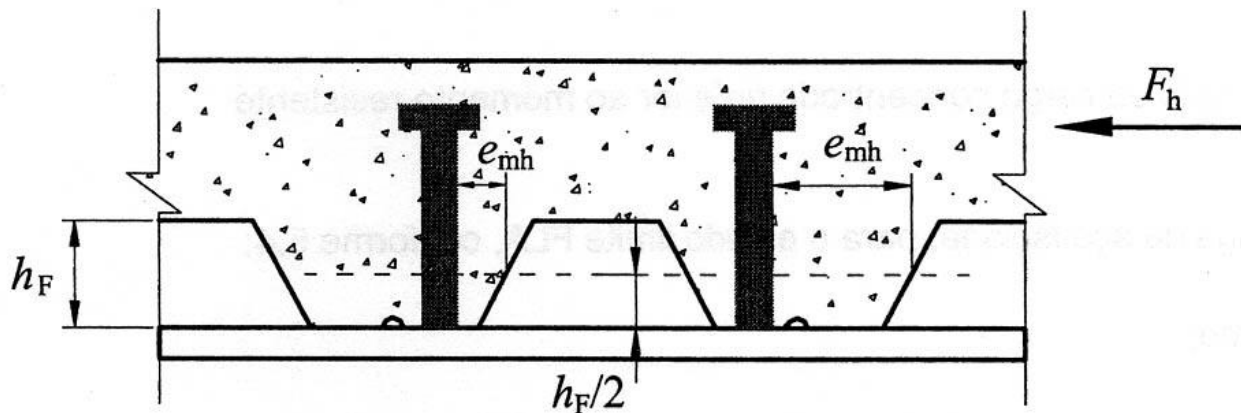


Figura Q.10 — Ilustração do valor a ser tomado para e_{mh}

Sistemas mistos aço-concreto

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 $e_{mh} \leq 50mm$

Sistemas mistos aço-concreto

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

Sistemas mistos aço-concreto

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

6.1 Treliças

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

Sistemas mistos aço-concreto

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 $3E/E_c$

Sistemas mistos aço-concreto

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

Sistemas mistos aço-concreto

Vigas mistas

Novidades/Alterações da nova NBR 8800

7) Interação parcial

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

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

8.1 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 ($l_{ef} \times t_c$)

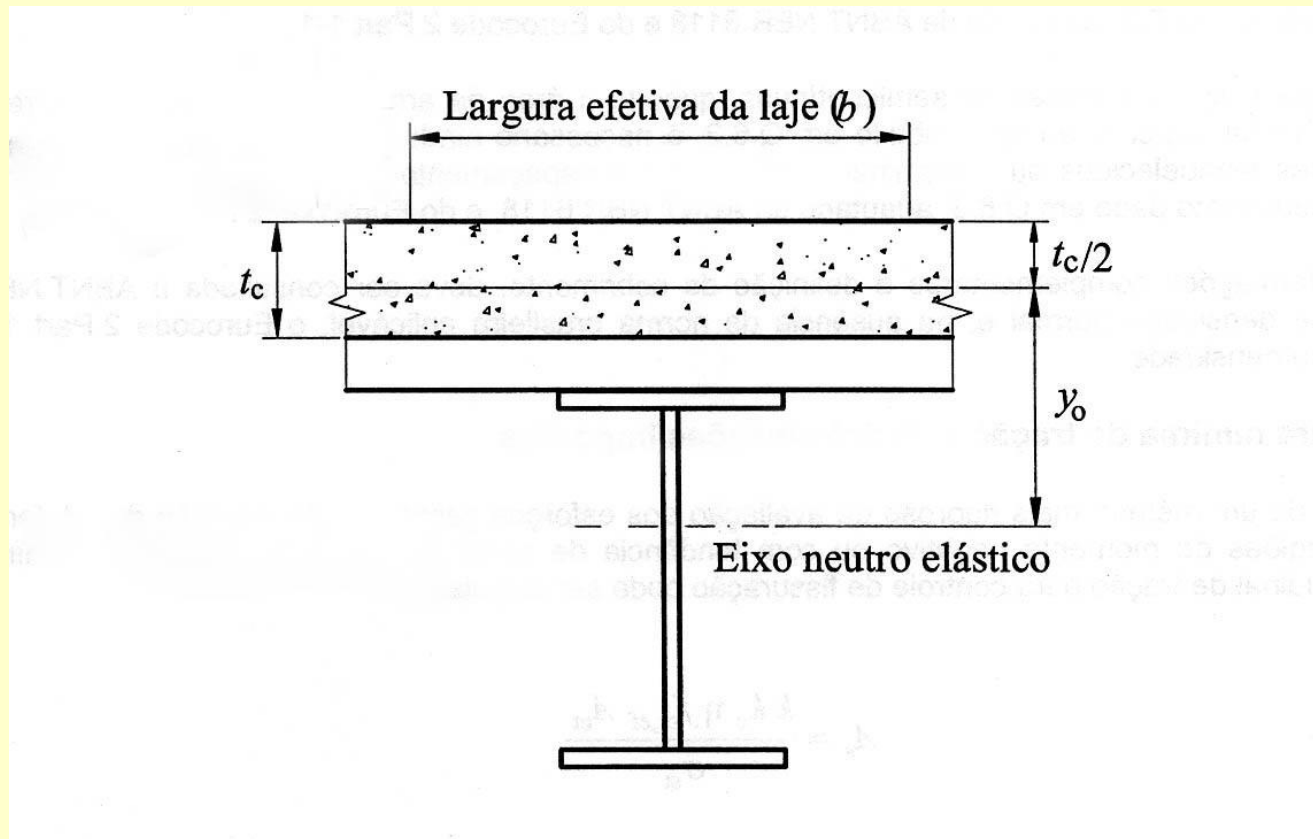
$f_{ct,ef}$ pode ser tomado como 3MPa

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

Sistemas mistos aço-concreto

Vigas mistas

8.1 Fissuras geradas pelas restrições de deformações



Sistemas mistos aço-concreto

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.		

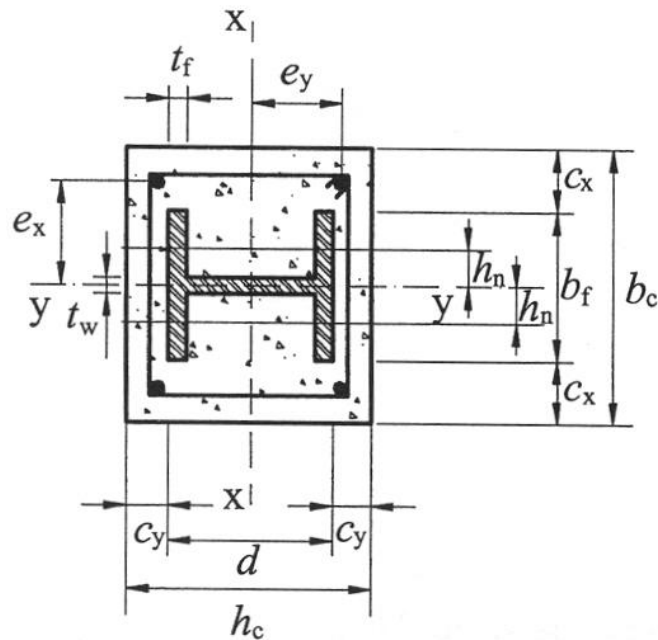
Sistemas mistos aço-concreto

Pilares Mistos

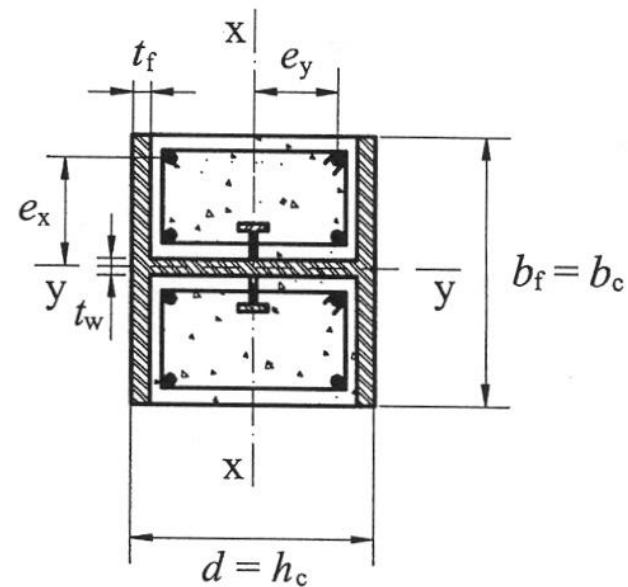
Sistemas mistos aço-concreto

Pilares mistos aço concreto

Tipos de pilares mistos



(a)

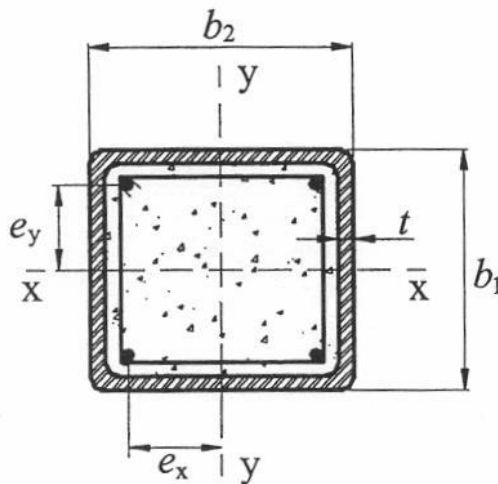


(b)

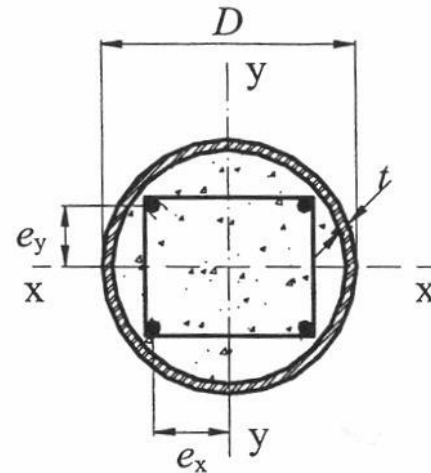
Sistemas mistos aço-concreto

Pilares mistos aço concreto

Tipos de pilares mistos



(c)



(d)

Sistemas mistos aço-concreto

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

Sistemas mistos aço-concreto

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

Sistemas mistos aço-concreto

Pilares mistos aço concreto

Limites de aplicabilidade

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

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

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

-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

Sistemas mistos aço-concreto

Pilares mistos aço concreto

Flambagem local dos elementos de aço

- a) Nas seções circulares 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 $b_f / t_f \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Sistemas mistos aço-concreto

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

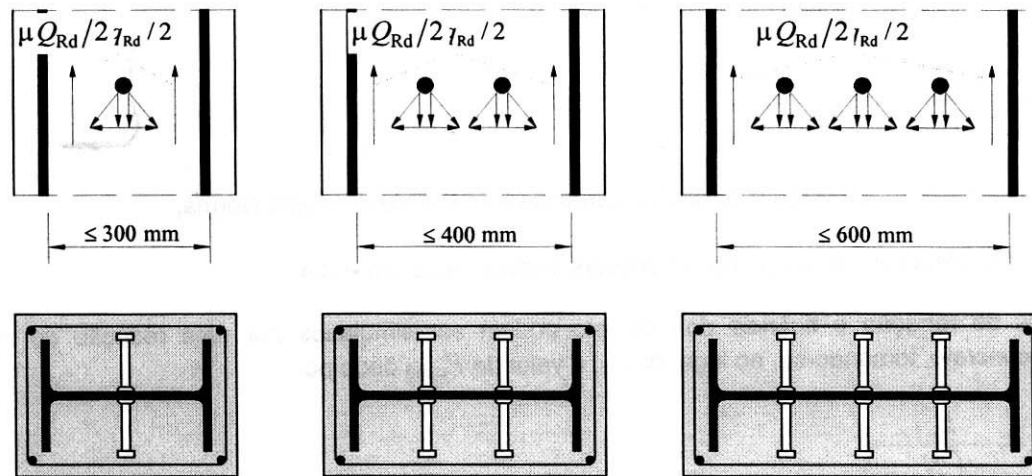


Figura P.2 — Forças de atrito adicionais devidas a conectores pino com cabeça

Sistemas mistos aço-concreto

Pilares mistos aço concreto

Introdução de cargas



Sistemas mistos aço-concreto

Pilares mistos aço concreto



Sistemas mistos aço-concreto

Pilares mistos aço concreto



Sistemas mistos aço-concreto

Pilares mistos aço concreto



Sistemas mistos aço-concreto

Pilares mistos aço concreto

Exemplo de pilar totalmente revestido – NBR 8800

Menor seção de aço para montagem PS 250x250x8x6,3

Para esta seção de aço, maior seção de pilar misto admissível que atenda aos requisitos da NBR : 40 cm x40 cm

Resistencia do pilar misto:

$f_{ck}=40$ MPa , armadura com $f_y=500$ Mpa

comp. destravado à flambagem = 400 cm

16 ferros de 12,5 mm c/estribos 5mm cada 15 cm

$NR_d = 5168$ kN

Sistemas mistos aço-concreto

Pilares mistos aço concreto

Pilar totalmente revestido AISC 2007

Para a mesma seção de aço anterior, PS 250x250x8x6,3, a maior seção que atende as exigências do AISC é : 70cm x 70cm

Resistencia do pilar misto:

$f_{ck}=40$ MPa , armadura com $f_y=500$ Mpa

comp. destravado à flambagem = 400 cm

28 ferros de 20 mm c/estribos de 6,3 mm cada 20 cm

$$N_{Rd} = 15045 \text{ kN}$$

Sistemas mistos aço-concreto

Pilares mistos aço concreto

- Comparações de custo

Os valores que a seguir consideramos são valores de custo não incluindo portanto BDI e impostos.

Também não esta considerando o custo de projeto

Concreto lançado : R\$ 325,00/m³ (fck=40 MPa)

Armadura : R\$ 4,50/Kg (fy=500 MPa)

Formas : R\$ 40,00/m²

Estrutura metálica : R\$ 5,04/Kg

Sistemas mistos aço-concreto

Pilares mistos aço concreto

Para a carga de **516,8 kN**, pé-direito de 4 m

Pilar de aço : PS 400x400x19x9,5 (146,32 Kg/m)

$$P = 146,32 \times 4 \times 5,04 = \mathbf{2950,00/\text{pé-direito}}$$

Pilar misto c/ Ps 250x250x8x6,3 e seção 40x40 cm

$$\text{concreto: } 0,40 \times 0,40 \times 4 \times 325,00 = 208,00$$

$$\text{armadura : } 16 \times 4 \times 0,963 \times 4,50 = 277,34$$

$$\text{formas : } 0,40 \times 4 \times 4 \times 40,00 = 256,00$$

$$\text{perfil de aço : } 4 \times 43 \times 5,04 = 866,88$$

$$\text{estribos : } 27 \times 1,54 \times 0,154 \times 4,50 = 28,82$$

TOTAL: 1637,04/pé-direito economia de 45 %

Sistemas mistos aço-concreto

Pilares mistos aço concreto

Para a carga de 15045 kN, que é o máximo que nossa seção de aço pode trabalhar como mista pelo AISC temos:

Pela NBR8800 , pilar de concreto calculado pela NBR 6118 :

Seção 70x70 40 ferros de 20mm

concreto : $0,70 \times 0,70 \times 4 \times 325,00 = 637,00$

armadura : $40 \times 4 \times 2,47 \times 4,50 = 1778,40$

perfil de aço : $4 \times 43 \times 5,04 = 866,88$

estribos : $20 \times 2,58 \times 4,50 = 232,20$

forma : $0,70 \times 4 \times 4 \times 40,00 = 448,00$

Total : 3960,05/pé-direito

Sistemas mistos aço-concreto

Pilares mistos aço concreto

Pelo AISC pilar misto 70x70 cm, mostrado anteriormente.

concreto : $0,70 \times 0,70 \times 4 \times 325,00 = 637,00$

armadura : $28 \times 4 \times 2,47 \times 4,50 = 1244,88$

perfil de aço : $4 \times 43 \times 5,04 = 866,88$

estribos : $20 \times 2,58 \times 4,50 = 232,20$

forma : $0,70 \times 4 \times 4 \times 40,00 = 448,00$

Total : 3428,96 /pé-direito

economia de 13,4 %