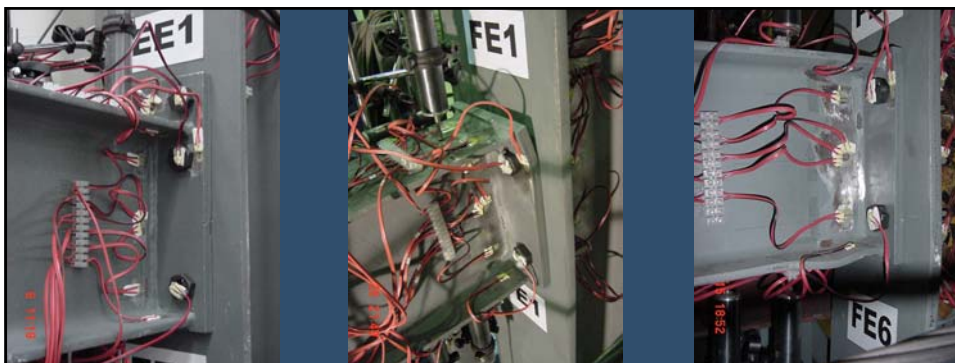
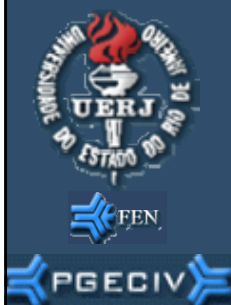
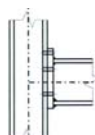




Ligações Semi-Rígidas

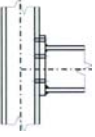


Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
PGECIV - Mestrado Acadêmico
Faculdade de Engenharia – FEN/UERJ
Disciplina: Projeto Estrutural I
Professor: Luciano Rodrigues Ornelas de Lima



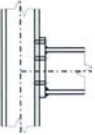
1. Introdução

- As ligações estruturais desempenham um papel fundamental no comportamento global das estruturas de aço
- Atualmente, considera-se que o comportamento real das ligações encontra-se entre duas situações extremas, ou seja, rígidas ou flexíveis
- Ligação rígida → os membros ligados por ela sofrem a mesma rotação, ou seja, em qualquer ligação viga-coluna, a distribuição de momentos fletores ocorre de acordo com a rigidez à flexão destes membros

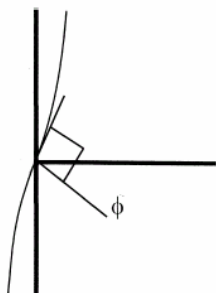
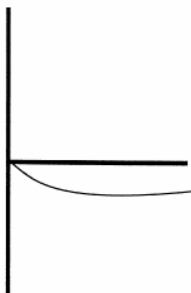
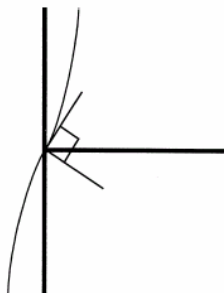


1. Introdução

- Ligação flexível → a viga é considerada como bi-apoiada não ocorrendo transmissão de esforços de flexão da viga para a coluna
- Ligações rígidas → deformação por flexão
- Ligações flexíveis → possuem um certo grau de restrição desta rotação
- Casos intermediários → o momento transmitido será resultante da rotação relativa entre a viga e a coluna → Ligação semi-rígida



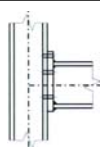
1. Introdução



rígida

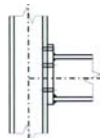
flexível

semi-rígida



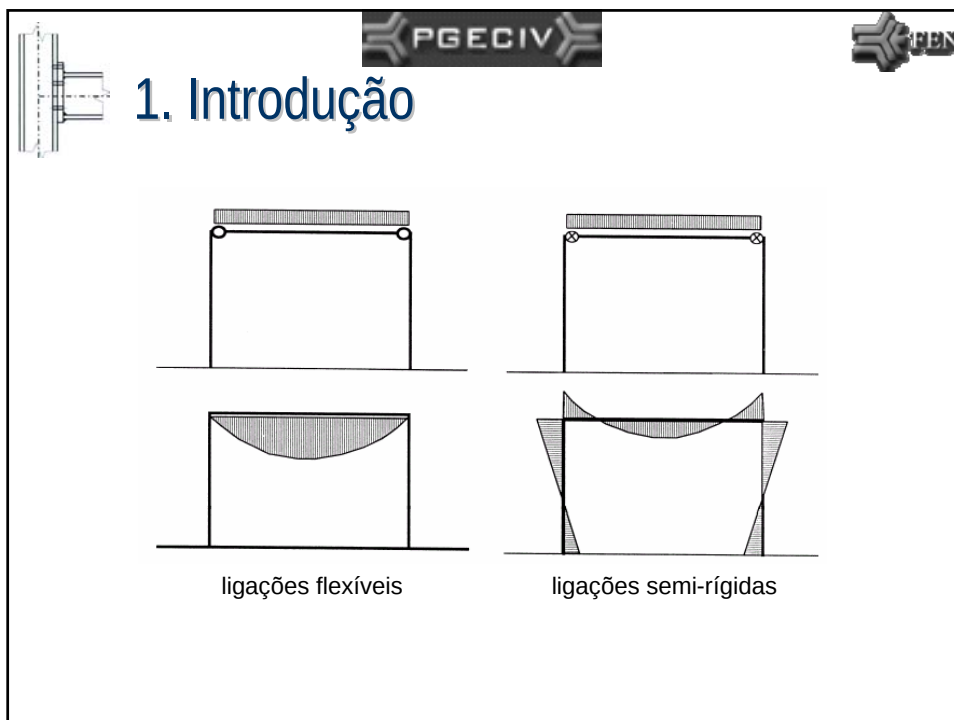
1. Introdução

- Dimensionamento de pórticos (ligações rígidas) → o momento máximo positivo atuante nas vigas do pórtico seja maior do que o calculado
- Esta diferença, que também gera um alívio de solicitação nas colunas, pode levar ao colapso da estrutura em casos extremos ou, pelo menos, ao desconhecimento da segurança envolvida no projeto destas peças
- O momento de engastamento perfeito existente na viga não é totalmente absorvido pela ligação



1. Introdução

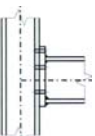
- Por outro lado, se o dimensionamento for executado utilizando o conceito de ligação flexível, as colunas estarão, na realidade, sujeitas à flexo-compressão
- Se as vigas estão superdimensionadas, um colapso das colunas, ou melhor, vigas-colunas, poderá ocorrer pois estarão submetidas a esforços de flexão não considerados no dimensionamento inicial → a segurança estrutural desconhecida



The diagram illustrates the difference between flexible and semi-rigid connections in a portal frame. On the left, under the label 'ligações flexíveis', a portal frame is shown with pin connections at the joints. Below it, the bending moment diagram is a simple parabolic shape, indicating that the joints do not resist moments. On the right, under the label 'ligações semi-rígidas', a portal frame is shown with semi-rigid connections at the joints. Below it, the bending moment diagram shows a more complex distribution with higher moments at the joints and lower moments in the beam, indicating that the joints do resist some moments.

1. Introdução

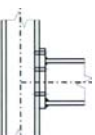
- Em uma primeira análise → a utilização de ligações semi-rígidas em pórticos indeslocáveis mostra que os esforços na viga tornam-se menores
- Ao refinar-se esta análise, pode-se também diminuir os tirantes utilizados no contraventamento do pórtico
- No caso de ligações semi-rígidas em pórticos deslocáveis, estas contribuem com uma parcela da rigidez necessária a estabilidade lateral do mesmo, de forma mais econômica.






1. Introdução

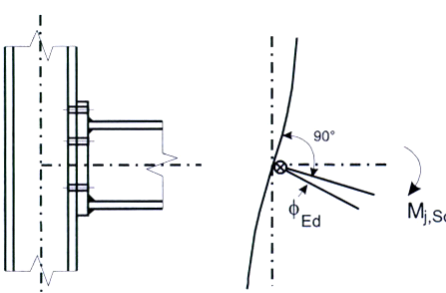
- Algumas normas de projeto e dimensionamento de estruturas de aço atuais consideram que as ligações possuem um comportamento semi-rígido
- Anexo J do Eurocode 3
- Última atualização (Eurocode 3 - parte 1.8) → incorporou o extinto Anexo J
- O dimensionamento destas ligações é baseado no Método das Componentes

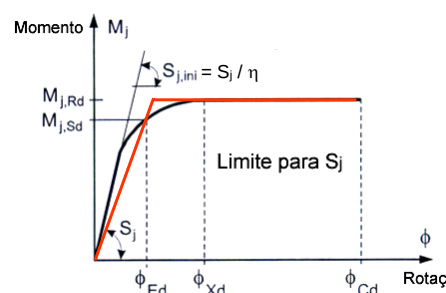





2. Caracterização de LSR

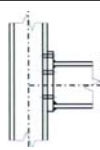
- Curva momento x rotação





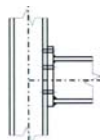
- momento resistente → $M_{j,Rd}$
- rigidez inicial rotacional → $S_{j,ini}$
- capacidade de rotação → ϕ_{Cd}

Tipo de ligação	Ligações Viga-Coluna	Outros tipos de ligações
Soldadas	2	3
Placa de Extremidade Aparafusada	2	3
Cantoneiras Aparafusadas	2	3,5
Placas de base	-	3



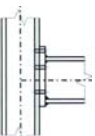
2. Caracterização de LSR

- O nível de sofisticação na modelagem do comportamento das ligações viga-coluna → tipo de análise estrutural global a ser executada
- A curva momento x rotação de uma ligação → pode ser simplificada adotando-se uma curva aproximada adequada
 - ✓ aproximações lineares (por exemplo, bi-linear ou tri-linear)
 - ✓ curvas polinomiais
 - ✓ etc.



2. Caracterização de LSR

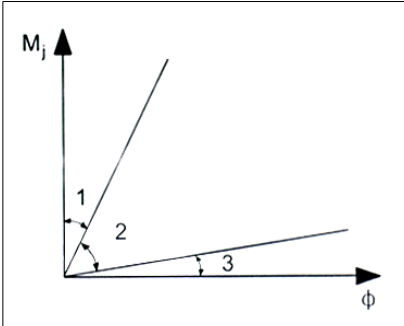
- Os métodos para predição do comportamento de ligações viga-coluna podem ser divididos em cinco diferentes categorias
 - ✓ modelos empíricos
 - ✓ modelos analíticos
 - ✓ modelos mecânicos
 - ✓ modelos de elementos finitos
 - ✓ ensaios experimentais
- Dentre os métodos citados acima, os modelos mecânicos são os mais utilizados atualmente







3. Classificação – Eurocode 3



Zona 1: rígidas → $S_{j,ini} \geq \frac{k_b EI_b}{L_b}$

onde
 $k_b = 8$ para pórticos indeslocáveis
 $k_b = 25$ para deslocáveis

Zona 2: semi-rígidas

Zona 3: flexíveis → $S_{j,ini} \leq \frac{0,5 EI_b}{L_b}$

onde

k_b é o valor mínimo de I_b/L_b para todas as vigas do último pavimento da edificação

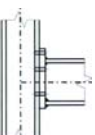
k_c é o valor mínimo de I_c/L_c para todas as colunas neste pavimento

I_b é o momento de inércia da viga

I_c é o momento de inércia da coluna

L_b é o vão da viga (centro a centro das colunas)

L_c é o comprimento da coluna no pavimento







4. Método das Componentes – EC3

- A avaliação da curva momento x rotação de uma ligação é realizada através da avaliação individual das propriedades de cada uma das componentes presentes na ligação
- As ligações são analisadas através de modelos mecânicos compostos de molas em série e em paralelo
- Etapas
 - ✓ identificação das componentes ativas
 - ✓ obtenção das “curvas” $F \times \Delta$ de cada uma das componentes
 - ✓ associação destas componentes em série e em paralelo conforme disposição na ligação

4. Método das Componentes – EC3

A) Identificação das componentes - Curvas $F \times \Delta$

(1) Alma da coluna ao corte
(3) Alma da coluna à tração
(4) Mesa da coluna à flexão
(5) Placa de extremidade à flexão
(8) Alma da viga à tração
(10) Parafusos à tração
(7) Mesa da viga em compressão
(2) Alma da coluna em compressão

4. Método das Componentes – EC3

B) Cálculo de $M_{j,Rd} \rightarrow$ a partir de $F_{j,Rd}$
C) Cálculo de $S_{j,ini} \rightarrow$ associação das molas em série e em paralelo

$$M_{j,Rd} = \sum_{i=1}^{n_b} \eta_i F_{i,Rd}$$

$$k_{eff,r} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_c} \frac{1}{k_{i,r}}}$$

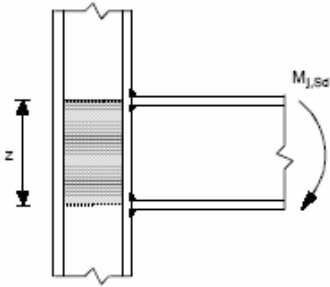
$$k_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^{n_b} k_{eff,j} \eta_i}{Z_{eq}}$$

$$S_{j,ini} = - \frac{E z^2}{\mu \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_{eq}} \right)}$$

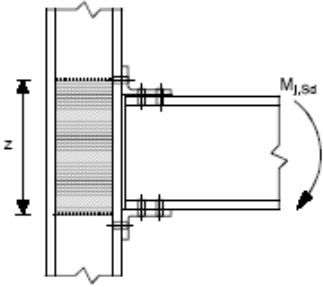



4. Método das Componentes – EC3

- Valores de z na equação da rigidez inicial



$z = h - t_{fb}$

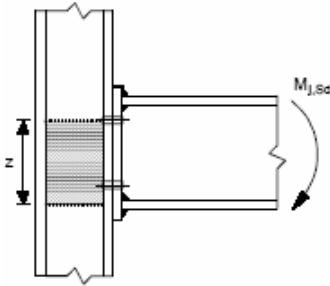


$z = \text{distância entre a linha em tração e o centro de compressão}$

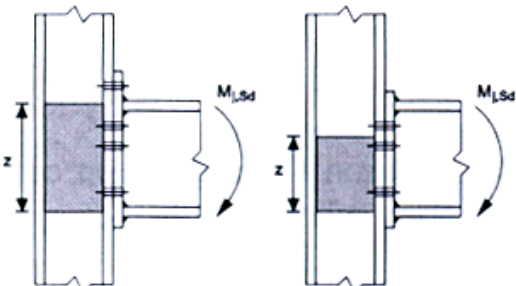



4. Método das Componentes – EC3

- Valores de z na equação da rigidez inicial (pág. 78)



$z = \text{distância entre a linha em tração e o centro de compressão}$



$z = \text{distância entre o ponto médio das 2 linhas em tração mais afastadas e o centro de compressão (conservador)}$

$$S_{j,ini} = \frac{E z^2}{\mu \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_{eq}} \right)}$$

$$z_{eq} = \frac{\sum k_{eff,r} \cdot h_r^2}{\sum k_{eff,r} \cdot h_r}$$




5. Dimensionamento das Componentes

Componente 1 - Painel de alma da coluna ao corte (6.2.6.1)

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 f_{y,wc} A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

Para seções I ou H laminados

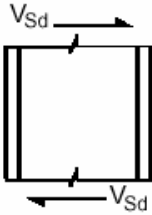
$$A_{vc} = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$$

Para seções I ou H soldados

$$A_{vc} = h_w t_w$$

onde

- A é a área da seção transversal
- h_w é a altura da alma da seção
- b é a largura da mesa da coluna








5. Dimensionamento das Componentes

Componente 2 - Alma da coluna em compressão (6.2.6.1)

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} f_{y,wc} t_{wc} b_{eff,c,wc}}{\gamma_{M0}} \Leftrightarrow F_{c,wc,Rd} \leq \frac{\omega k_{wc} \rho f_{y,wc} t_{wc} b_{eff,c,wc}}{\gamma_{M1}}$$

Para ligações soldadas

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_b + 5(t_{fc} + s)$$

Para ligações com placa de extremidade

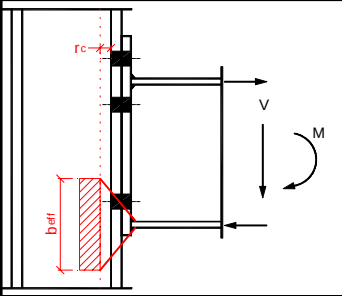
$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_p + s_p + 5(t_{fc} + s)$$

s_p = comp. obtido pela dispersão a 45° (mín. t_p e máximo $2t_p$)

Para ligações com cantoneiras

$$b_{eff} = 2t_a + 0,6r_a + 5(t_{fc} + s)$$

$s = r_e$ (laminados)
 $s = \sqrt{2}a_e$ (soldados)










5. Dimensionamento das Componentes

Componente 2 - Alma da coluna em compressão (6.2.6.2)

Coeficiente de redução devido a possibilidade de flambagem da placa

$$\rho = 10 \text{ se } \bar{\lambda}_p \leq 0,72$$

$$\rho = \frac{(\bar{\lambda}_p - 0,2)}{\bar{\lambda}_p^2} \text{ se } \bar{\lambda}_p > 0,72$$

onde

$$\bar{\lambda}_p = 0,932 \sqrt{\frac{b_{\text{eff},c,wc} d_{wc} f_{y,wc}}{E t_{wc}^2}}$$

para perfis laminados :

$$d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + r_c)$$

para perfis soldados :

$$d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + a_c \sqrt{2})$$






5. Dimensionamento das Componentes

Componente 2 - Alma da coluna em compressão (6.2.6.2)

Fator de redução ω devido a interação com o cisalhamento

Transformation parameter β	Reduction factor ω
$0 \leq \beta \leq 0,5$	$\omega = 1$
$0,5 < \beta < 1$	$\omega = \omega_1 + 2(1 - \beta)(1 - \omega_1)$
$\beta = 1$	$\omega = \omega_1$
$1 < \beta < 2$	$\omega = \omega_1 + (\beta - 1)(\omega_2 - \omega_1)$
$\beta = 2$	$\omega = \omega_2$
$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}}$	$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2(b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}}$

A_{vc} is the shear area of the column, see 6.2.6.1;

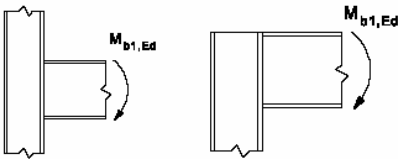
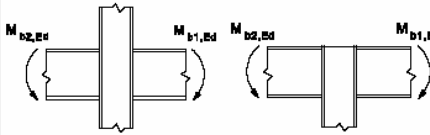
β is the transformation parameter, see 5.3(7).




5. Dimensionamento das Componentes

Componente 2 - Alma da coluna em compressão (6.2.6.2)

Valores aproximados do parâmetro β

Type of joint configuration	Action	Value of β
	$M_{b1,Ed}$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed} = M_{b2,Ed}$	$\beta = 0$ *)
	$M_{b1,Ed} / M_{b2,Ed} > 0$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed} / M_{b2,Ed} < 0$	$\beta \approx 2$
	$M_{b1,Ed} + M_{b2,Ed} = 0$	$\beta \approx 2$

*) In this case the value of β is the exact value rather than an approximation.

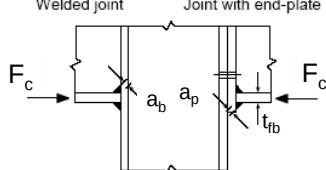



5. Dimensionamento das Componentes

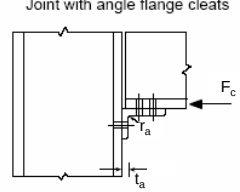
Componente 2 - Alma da coluna em compressão (6.2.6.2)

Parâmetros geométricos

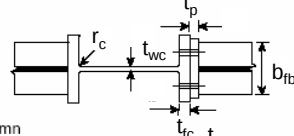
Welded joint

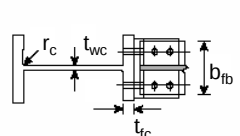


Joint with end-plate

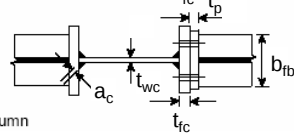


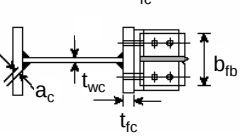
a) Elevation





b) Rolled column





c) Welded column




5. Dimensionamento das Componentes

Componente 3 - Alma da coluna em tração (6.2.6.3)

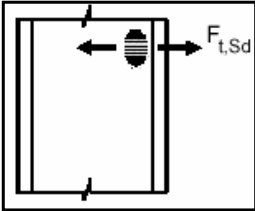
$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\varpi f_{y,wc} t_{wc} b_{eff,t,wc}}{\gamma_{M0}}$$

Para ligações soldadas

$b_{eff,t,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_b + 5(t_{fc} + s)$

$s = r_e$ (laminados)
 $s = \sqrt{2}a_e$ (soldados)

Para ligações com placa de extremidade ou cantoneira, a largura efetiva deve ser igual ao comprimento efetivo do T-stub equivalente da mesa da coluna em flexão, Eurocode 3, item 6.2.6.4

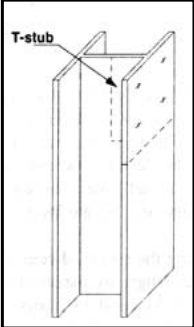


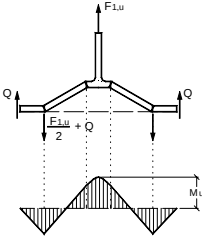



5. Dimensionamento das Componentes

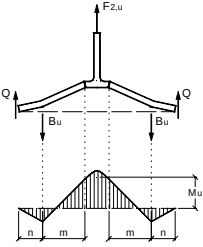
Componente 4 - Mesa da coluna em flexão (6.2.6.4)

- Esta componente é modelada como um “T-stub” aparafusado e três tipos de mecanismos são considerados

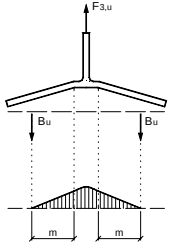




Modo 1 – completo escoamento da mesa



Modo 2 – ruptura dos parafusos com escoamento da mesa



Modo 3 – ruptura dos parafusos






5. Dimensionamento das Componentes

Componente 4 - Mesa da coluna em flexão (6.2.6.4)

■ Modo 1

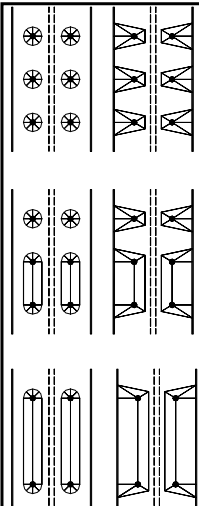
$$F_{T,1Rd} = \frac{4 M_{pl,1Rd}}{m}$$

onde

$$M_{pl,1Rd} = \frac{0,25 I_{eff,1} t_f^2 f_y}{\gamma_{M0}}$$

Table 6.4: Effective lengths for an unstiffened column flange

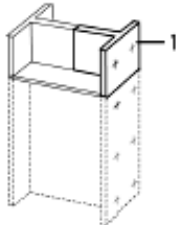
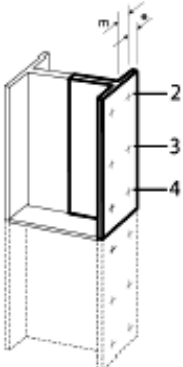
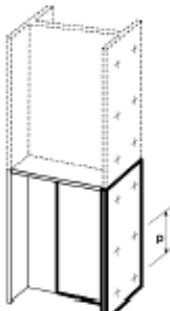
Bolt-row location	Bolt-row considered individually		Bolt-row considered as part of a group of bolt-rows	
	Circular patterns $\ell_{eff,sp}$	Non-circular patterns $\ell_{eff,ac}$	Circular patterns $\ell_{eff,sp}$	Non-circular patterns $\ell_{eff,ac}$
Inner bolt-row	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
End bolt-row	The smaller of: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	The smaller of: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	The smaller of: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	The smaller of: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Mode 1:	$\ell_{eff,1} = \ell_{eff,ac}$ but $\ell_{eff,1} \leq \ell_{eff,sp}$		$\Sigma \ell_{eff,1} = \Sigma \ell_{eff,ac}$ but $\Sigma \ell_{eff,1} \leq \Sigma \ell_{eff,sp}$	
Mode 2:	$\ell_{eff,2} = \ell_{eff,ac}$		$\Sigma \ell_{eff,2} = \Sigma \ell_{eff,ac}$	






5. Dimensionamento das Componentes

Componente 4 - Mesa da coluna em flexão (6.2.6.4)

1 End bolt row adjacent to a stiffener

2 End bolt row

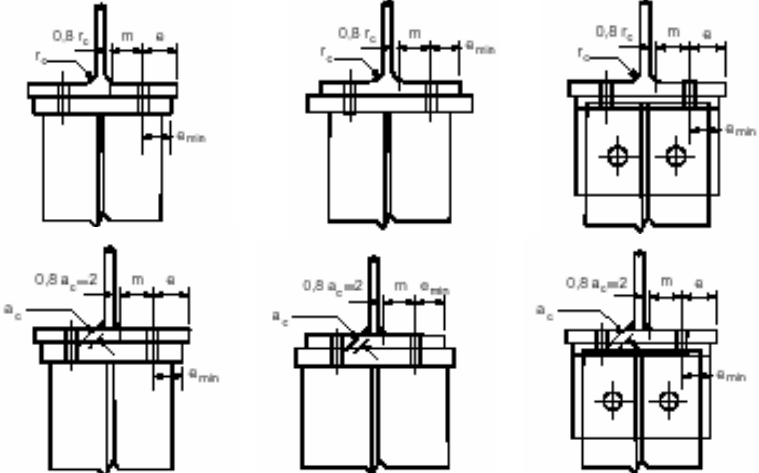
3 Inner bolt row

4 Bolt row adjacent to a stiffener




5. Dimensionamento das Componentes

Componente 4 - Mesa da coluna em flexão (6.2.6.4)






5. Dimensionamento das Componentes

Componente 4 - Mesa da coluna em flexão (6.2.6.4)

- Modo 2

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m + n}$$

onde
$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 l_{eff,2} t_f^2 f_y}{\gamma_{M0}}$$
- Modo 3

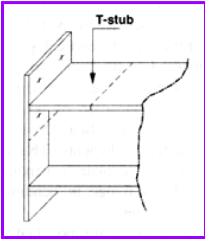
$$F_{T,3,Rd} = \sum B_{t,Rd}$$




5. Dimensionamento das Componentes

Componente 5 - Placa de extremidade em flexão (6.2.6.5)

- Para uma **linha individual** de parafusos ou para um **grupo**, a placa de extremidade também deve ser considerada como tendo comportamento similar ao de um “**T-stub**” – mesmas equações da componente anterior, porém com larguras efetivas diferentes

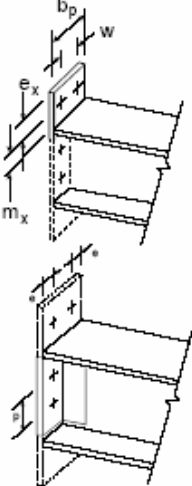


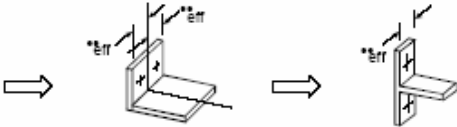





5. Dimensionamento das Componentes

Componente 5 - Placa de extremidade em flexão (6.2.6.5)





The extension of the end-plate and the portion between the beam flanges are modelled as two separate equivalent T-stub flanges.

For the end-plate extension, use e_x and m_x in place of e and m when determining the design resistance of the equivalent T-stub flange.



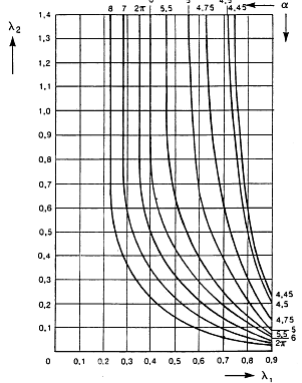

5. Dimensionamento das Componentes

Componente 5 - Placa de extremidade em flexão (6.2.6.5)

Table 6.6: Effective lengths for an end-plate

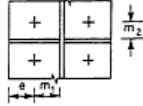
Bolt-row location	Bolt-row considered individually		Bolt-row considered as part of a group of bolt-rows	
	Circular patterns $\ell_{eff,gr}$	Non-circular patterns $\ell_{eff,nc}$	Circular patterns $\ell_{eff,gr}$	Non-circular patterns $\ell_{eff,nc}$
Bolt-row outside tension flange of beam	Smallest of: $2\pi m_s$ $\pi m_s + w$ $\pi m_s + 2e$	Smallest of: $4m_s + 1,25e_s$ $e + 2m_s + 0,625e_s$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_s + 0,625e_s$	—	—
First bolt-row below tension flange of beam	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m$ $-(2m + 0,625e)$
Other inner bolt-row	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Other end bolt-row	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
Mode 1:	$\ell_{eff,1} = \ell_{eff,nc}$ but $\ell_{eff,1} \leq \ell_{eff,gr}$		$\sum \ell_{eff,1} = \sum \ell_{eff,nc}$ but $\sum \ell_{eff,1} \leq \sum \ell_{eff,gr}$	
Mode 2:	$\ell_{eff,2} = \ell_{eff,nc}$		$\sum \ell_{eff,2} = \sum \ell_{eff,nc}$	

α should be obtained from Figure 6.11.



$$\lambda_1 = \frac{m_1}{m_1 + e}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m_1 + e}$$

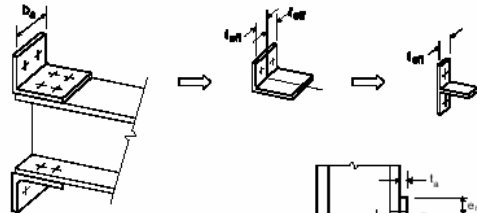


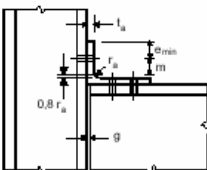
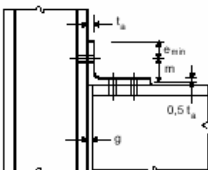



5. Dimensionamento das Componentes

Componente 6 - Cantoneiras em flexão (6.2.6.6)

- A resistência e o modo de ruptura de cantoneiras de apoio e de topo submetidas à flexão, juntamente associadas com os parafusos em tração, também devem ser similares a um T-stub.



a) Gap $g = 0,4 t_s$

b) Gap $g > 0,4 t_s$

$\ell_{eff} = 0,5 b_a$

b_a = largura da aba da cantoneira em flexão




5. Dimensionamento das Componentes

Componente 7 - Mesa e alma da viga em compressão (6.2.6.7)

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h_b - t_{fb}}$$

onde

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$$

onde

- $M_{c,Rd}$ é o momento de projeto da viga
- h_b é a altura da viga
- t_{fb} é a espessura da mesa da viga



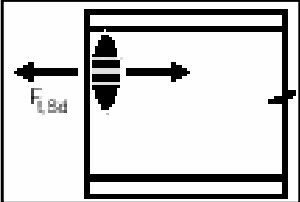



5. Dimensionamento das Componentes

Componente 8 - Alma da viga em tração (6.2.6.8)

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} f_{y,wb} t_{wb}}{\gamma_{M0}}$$

A largura efetiva deve ser igual ao comprimento equivalente calculado a partir do T-stub representando a placa de extremidade em flexão, obtido no item 6.2.6.5 para uma linha individual ou um grupo de parafusos

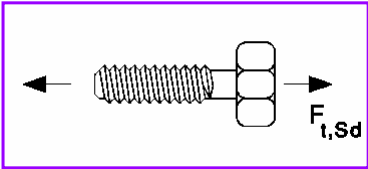





5. Dimensionamento das Componentes

Componente 10 - Parafusos em tração (Tabela 3.4 – pg. 24)

- De acordo com o componente ao qual o parafuso está conectado, o dimensionamento deve ser efetuado para cada caso:
 - ✓ Mesa da coluna
 - ✓ Placa de extremidade
 - ✓ Abas de cantoneiras aparafusadas



$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

(para parafusos com rosca métrica)

$$F_{t,Rd} = \frac{0,63 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

(para outros casos)




5. Avaliação da Rigidez

- A rigidez à rotação de uma ligação pode ser baseada na flexibilidade de seus componentes
- Esta rigidez pode ser aproximada por

onde

S_j é a rigidez da ligação

k_i é o coeficiente de rigidez elástica do componente i

h_t é o braço de alavanca

μ é descrito pela equação abaixo

$$S_j = \frac{E \cdot z^2}{\mu \sum_i \frac{1}{k_i}}$$

$$\mu = \left(\frac{S_{j,init}}{S_j} \right) = \left(1,5 \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \right)^\psi$$

Type of connection:	ψ
Welded	2,7
Bolted end-plate	2,7
Bolted angle flange cleats	3,1
Base plate connections	2,7

Obs.: Para rigidez inicial, $\mu = 1,0$





5. Avaliação da Rigidez



Componente 1 - Alma da coluna em cisalhamento (tab. 6.11 – pg. 91)

$$k_1 = \frac{0,38 A_{v.c}}{\beta z}$$

onde

$A_{v.c}$ é a área de cisalhamento

β definido anteriormente

h_t é o braço de alavanca

Componente 2 - Alma da coluna em tração (tab. 6.11 – pg. 91)

$$k_2 = \frac{0,7 b_{eff,c,wc} t_{wc}}{d_c}$$

onde

$b_{eff,c,wc}$ é a largura da alma da coluna sujeita à tração

d_c é a altura da seção da viga





5. Avaliação da Rigidez



Componente 3 - Alma da coluna em compressão (tab. 6.11 – pg. 91)

$$k_3 = \frac{0,7 b_{eff,t,wc} t_{wc}}{d_c}$$

onde

$b_{eff,c,wc}$ é a largura da alma da coluna sujeita à compressão

d_c é a altura da seção da viga

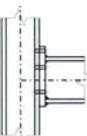
Componente 4 - Mesa da coluna em flexão (tab. 6.11 – pg. 91)

$$k_4 = \frac{0,90 I_{eff} t_{fc}^3}{m^3}$$

onde

I_{eff} é o menor comprimento efetivo

m definido anteriormente





5. Avaliação da Rigidez



Componente 5 - Placa de extremidade em flexão (tab. 6.11 – pg. 91)

$$k_5 = \frac{0,90 \, l_{eff} \, t_p^3}{m^3}$$

onde

l_{eff} é o menor comprimento efetivo dado pela linha de parafusos

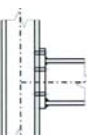
Componente 6 - Aba da cantoneira em flexão (tab. 6.11 – pg. 91)

$$k_6 = \frac{0,90 \, l_{eff} \, t_a^3}{m^3}$$

onde

l_{eff} é o comprimento efetivo da cantoneira

t_a é a espessura da cantoneira





5. Avaliação da Rigidez



Componente 10 - Parafusos em tração (tab. 6.11 – pg. 91)

$$k_{10} = 1,6 \frac{A_s}{L_b}$$

onde

L_b é o comprimento de aperto, ou seja, espessura do material + espessura da arruela

A_s é a área da seção do parafuso

Componente 7 – Mesa da viga em compressão (tab. 6.11 – pg. 91)

Componente 8 – Alma da viga em tração (tab. 6.11 – pg. 91)

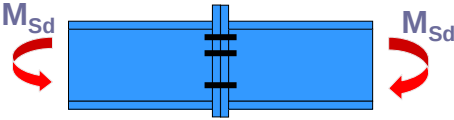
Os coeficientes de rigidez destas componentes devem ser iguais a infinito e não precisam ser consideradas no cálculo global da rigidez da ligação

$k_7 = k_8 = \infty$

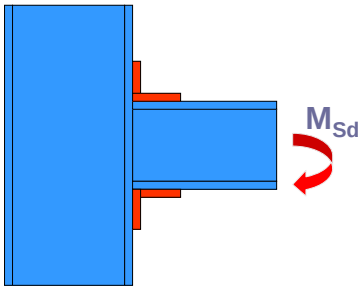



5. Avaliação da Rigidez

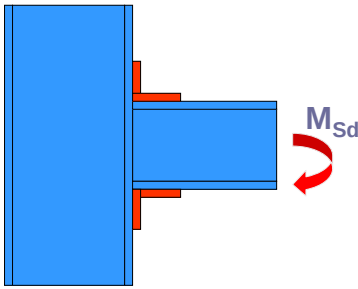
Alguns exemplos



k_5 (esquerda), k_5 (direita), k_{10}
 (uma linha em tração)



k_{eq} (mais de uma linha em tração)

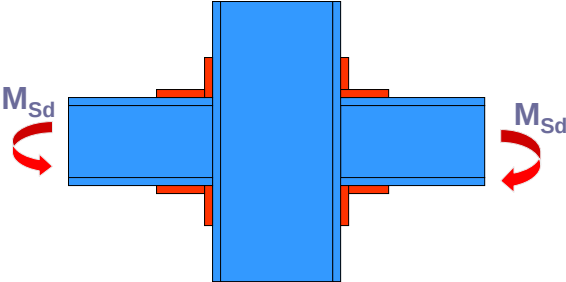


$k_1, k_2, k_3, k_4, k_6, k_{10}, 2*k_{11}, 4*k_{12}$




5. Avaliação da Rigidez

Alguns exemplos

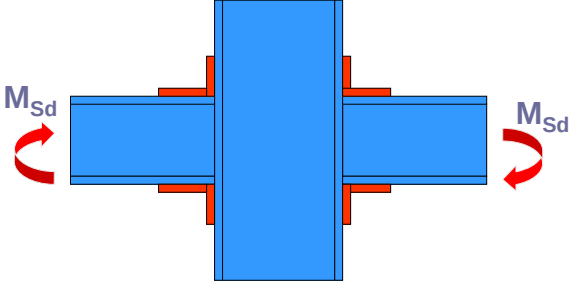


$k_2, k_3, k_4, k_6, k_{10}, 2*k_{11}, 4*k_{12}$




5. Avaliação da Rigidez

Alguns exemplos

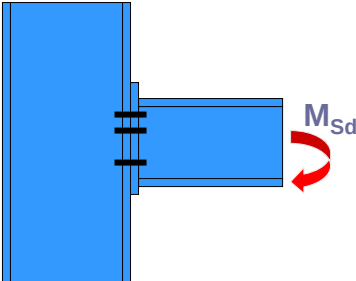


$k_1, k_2, k_3, k_4, k_6, k_{10}, k_{11}, k_{12}$




5. Avaliação da Rigidez

Alguns exemplos



1 linha de parafusos em tração

$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_{10}$

várias linhas de parafusos em tração

k_1, k_2, k_{eq}

onde
 k_{eq} é um fator que considera várias componentes




6. Observações Finais

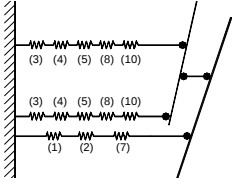
Melhor escolha de uma ligação

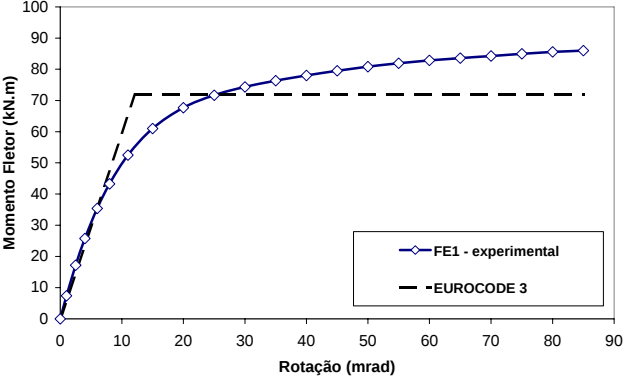




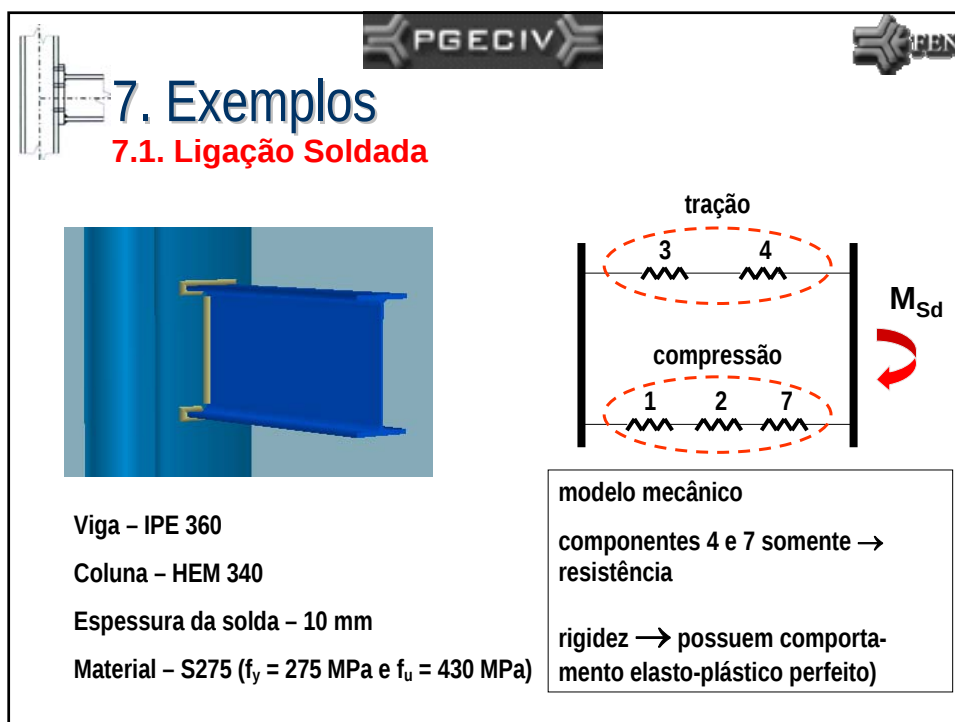
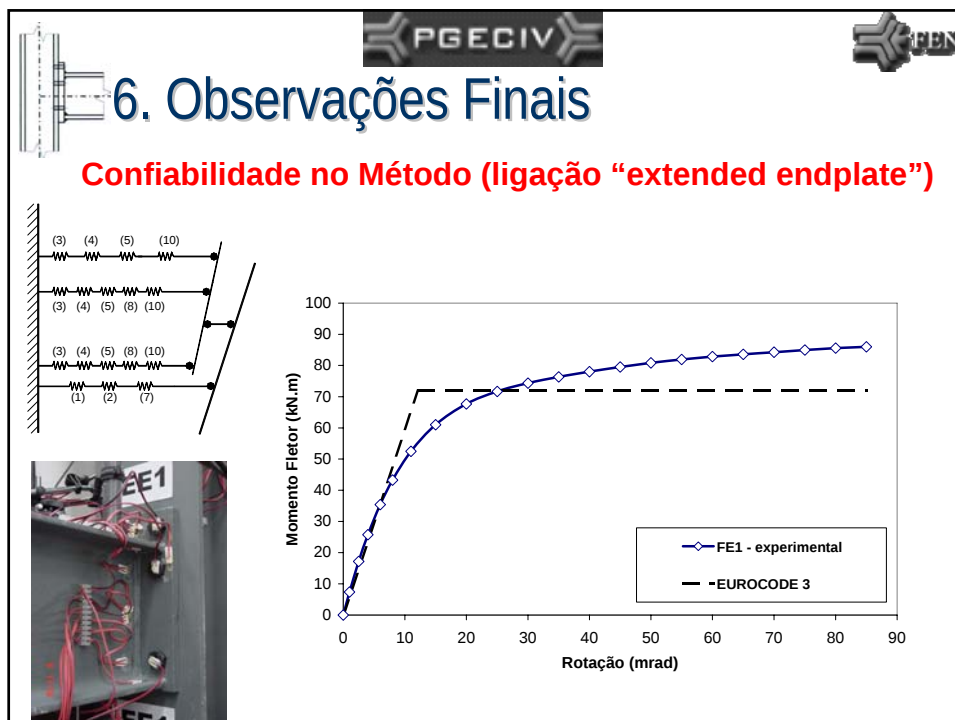

6. Observações Finais

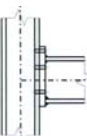
Confiabilidade no Método (ligação “flush endplate”)



Rotação (mrad)	Momento Fletor (kN.m) - FE1 - experimental	Momento Fletor (kN.m) - EUROCODE 3
0	0	0
10	45	72
20	65	72
30	75	72
40	80	72
50	82	72
60	83	72
70	84	72
80	85	72
85	85	72








7. Exemplos

7.1. Ligação Soldada

2.1.1 column web panel in shear ▶ 1

sheared area of the column : A_{vc} = 98.63 cm²

beta coefficient (J.2.6.3) : $BETA$ = 1.00

plastic resistance of the column web panel : V_{wpRd} = 1281.21 kN ▶

(J.3.5.1)

resistance : $v_{wprd} / beta$: F_{wpRd} = 1281.21 kN

stiffness coefficient (Form. J.39) : k_1 = 10.79 mm ▶

2.1.2 column web in compression ▶ 2

effective width (Form. J.17) : b_{eff} = 375.98 mm

coefficient for stress interaction .. (Table J.5) : RHO = 0.74

longitudinal compressive stress in the web adjacent to the root radius : $Sigma$ = 0.00 N/mm²

reduction factor (Form. J.22) : k_{wc} = 1.00

strength : (Form. J.17)

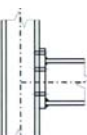
* buckling of the web :

slenderness : $LAMBDA$ = 0.48

strength : F_{c2} = 1457.91 kN

strength : F_{wcRd} = 1457.91 kN ▶

stiffness coefficient (Form. J.40) : k_2 = 22.74 mm ▶






7. Exemplos

7.1. Ligação Soldada

2.1.3 column flange in bending 4

2.1.3.1 strength

(J.3.5.4.1)

k coefficient : k = 1.00 ▶

strength (Form. J.28) : F_{tfcRd} = 539.75 kN ▶

6.2.6.4.3 Unstiffened column flange, welded connection

(1) In a welded joint, the design resistance $F_{fc,Rd}$ of an unstiffened column flange in bending, due to tension or compression from a beam flange, should be obtained using:

$$F_{fc,Rd} = b_{eff,b,fc} t_{fb} f_{y,fb} / \gamma_{M0} \quad \dots (6.20)$$

where:

$b_{eff,b,fc}$ is the effective breadth b_{eff} defined in 4.10 where the beam flange is considered as a plate.

NOTE: The requirements specified in 4.10(4) and 4.10(6) should be satisfied.




7. Exemplos

7.1. Ligação Soldada

2.1.4 column web in tension

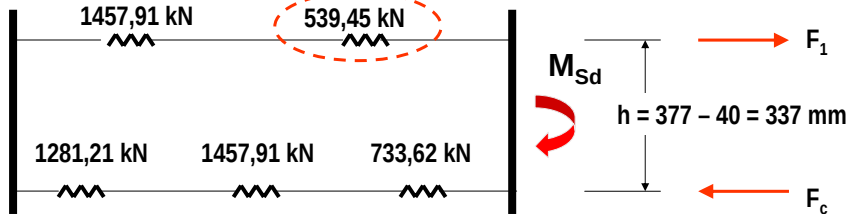
effective width (Form. J.24) : b_{eff} = 375.98 mm
 coefficient for stress interaction .. (Table J.5) : ω = 0.74
 strength (Form. J.23) : F_{twcRd} = 1457.91 kN
 stiffness coefficient (Form. J.41) : k_4 = 22.74 mm

2.1.5 beam flange in compression

moment resistance of the beam cross-section : M_{cRd} = 254.79 kNm
 strength (Form. J.30) : F_{cfbRd} = 733.62 kN

3

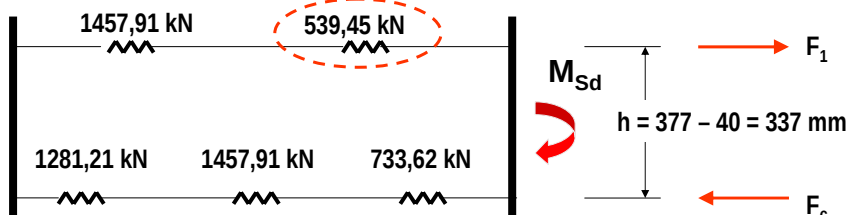
7






7. Exemplos

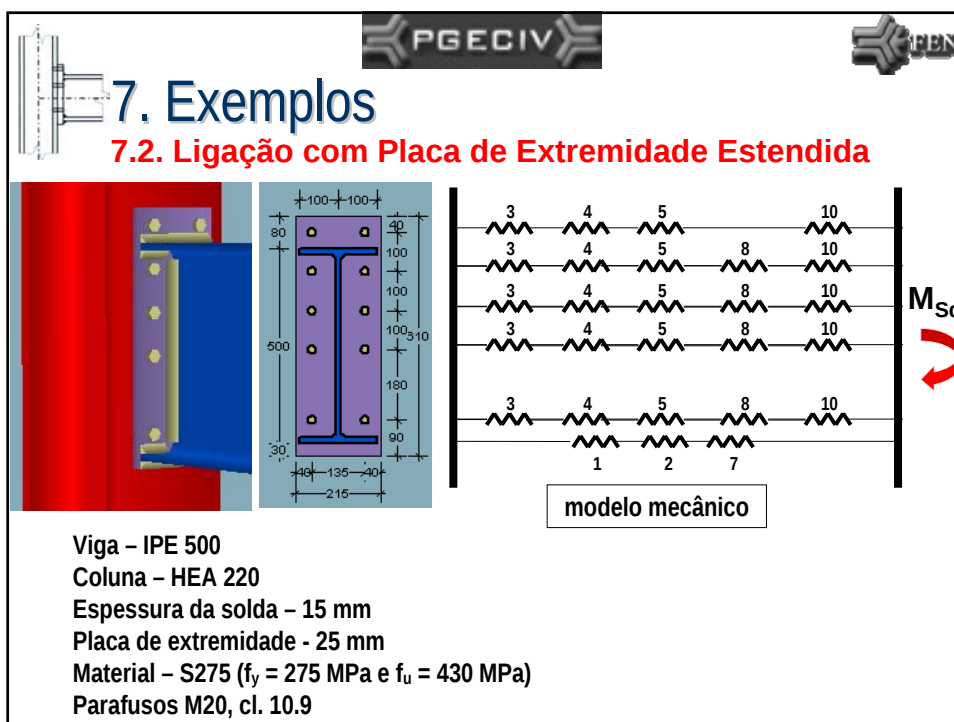
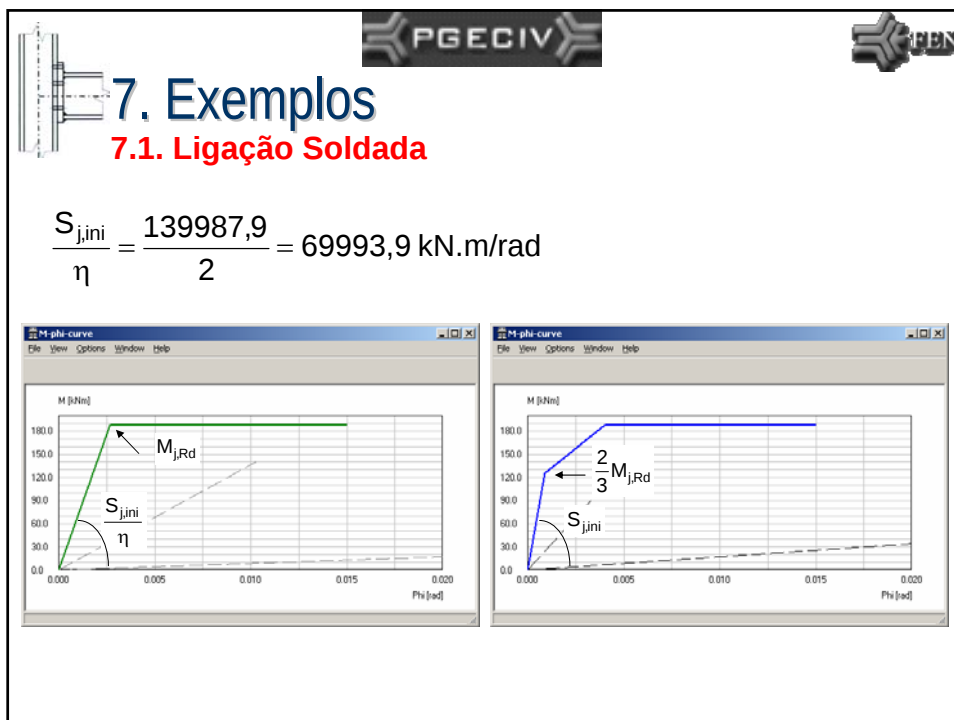
7.1. Ligação Soldada

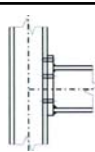


$$M_{j,Rd} = \sum_{i=1}^{n_r} h_i F_{i,Rd} = 0,337 \cdot 539,45 = 181,8 \text{ kN.m}$$

$$M_e = \frac{2}{3} M_{j,Rd} = \frac{2}{3} (181,8) = 121,2 \text{ kN.m}$$

$$S_{j,ini} = \frac{E z^2}{\mu \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_{eq}} \right)} = \frac{210000 \cdot (347)^2}{\left(\frac{1}{10,79} + \frac{1}{22,74} + \frac{1}{22,74} \right)} = 139987,9 \text{ kN.m/rad}$$





7. Exemplos

7.2. Ligação com Placa de Extremidade Estendida

	1123,17	352,80	299,73		352,80
1	1123,17	352,80	326,60	703,23	352,80
2	1123,17	352,80	223,72	590,88	352,80
3	1123,17	352,80	223,72	590,88	352,80
4	1123,17	352,80	326,60	703,23	352,80
5	1123,17	352,80	1133,33		
F_c		1281,21	1547,92		



Resistências individuais das componentes em cada uma das linhas a serem consideradas (em kN)

$$\sum F_{t,Rd} = 1400,37 \text{ kN} > F_c = 1133,33 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd(5)} = F_c - \sum F_{t,Rd(1-4)} = 1133,33 - 1073 = 59,56 \text{ kN}$$