

EUROCÓDIGO 8

EDIFÍCIOS DE AÇO

E CANSADO CARVALHO
Chairman do CEN/TC250/SC8
Coordenador do GT EC8

EN1998-1 – Edifícios de Aço

Princípios de Projecto

- a) Comportamento de baixa dissipação
- b) Comportamento estrutural dissipativo

Princípio de projecto	Classe de ductilidade	Valores de referência de q
a) Baixa dissipação	DCL (Baixa)	1,5 - 2
b) Comportamento dissipativo	DCM (Média)	≤ 4 também limitado pelos valores do Quadro 6.2
	DCH (Alta)	unicamente limitado pelos valores do Quadro 6.2

EN1998-1 – Edifícios de Aço

Comportamento de baixa dissipação

- a) Coeficiente de comportamento $q = 1,5$ (valor adoptado no Anexo Nacional)
- b) Verificações de acordo com EN1993-1-1
- c) Sem restrições nas classes das secções transversais
- d) Apenas recomendado nos casos de baixa sismicidade (com alguma tolerância indicada no Anexo Nacional)

Conceito semelhante ao REAE mas com coeficientes de comportamento menores



EN1998-1 – Edifícios de Aço

Comportamento estrutural dissipativo

- a) Coeficiente de comportamento $q > 1,5$ (em função do tipo estrutural e Classe de Ductilidade)
- b) Verificações de acordo com EN1993-1-1 e/ou cláusulas do capítulo 6 da EN1998-1
- c) Com restrições nas classes das secções transversais
- d) Exigências de capacidade de rotação das rótulas plásticas

Conceito semelhante ao REAE mas com coeficientes de comportamento menores

EN1998-1 – Verificação de segurança

Estado Limite Último: $E_d \leq R_d$

E_d – Valor de cálculo do efeito da acção na situação sísmica (incluindo efeitos de 2ª ordem, “capacity design” e coeficientes de sobrerresistência γ_{ov})

R_d – Valor da resistência de cálculo de acordo com a EN 1993-1-1 e do capítulo 6 da EN 1998-1 quando diferente.
Coeficiente parcial do aço γ_s igual ao indicado na NP EN1993-1-1 para situações persistentes e transitórias.

Solução igual à do REAE

EN1998-1 – Edifícios de Aço

Condições para os materiais (DCM e DCH):

- a) Satisfazer requisitos da EN1993
- b) Distribuição de propriedades de molde a controlar a localização das zonas dissipativas
- c) Considerar a possibilidade de a tensão de cedência real do aço ser superior ao valor nominal (classe do aço). Utilização do conceito de coeficiente de sobrerresistência (γ_{ov})
- d) Parafusos de alta resistência de classe 8.8 ou 10.9

EN1998-1 – Edifícios de Aço



Coeficiente de sobrerresistência (para “capacity design”)

a) Situação “corrente”:

Admitir: $f_{y,max} \leq 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot f_y$

$f_{y,max}$ – tensão de cedência real máxima

f_y – valor nominal da tensão de cedência (classe do aço)

γ_{ov} – coeficiente de sobrerresistência ($\gamma_{ov} = 1,25$)

b) Situação com aços com $f_{y,max}$ “declarado”:

Nas zonas dissipativas usar aço com $f_{y,max}$ especificado e nas zonas não dissipativas aço com $f_y > f_{y,max}$. Neste caso $\gamma_{ov} = 1,0$ em geral e $\gamma_{ov} = 1,25$ nas ligações)

c) Situação com determinação de $f_{y,act}$:

Calcular $\gamma_{ov,act} = f_{y,act} / f_y$ e utilizar o valor máximo obtido.

EN1998-1 – Edifícios de Aço

Tipos de Estruturas

a) Pórticos simples: *resistência predominantemente em flexão*

b) Pórticos com contraventamento centrado: *resistência predominantemente por esforço axial e dissipação nas diagonais traccionadas*

Contraventamentos diagonais: Considerar apenas a resistência das diagonais traccionadas

Contraventamentos em V invertido: Considerar a resistência das diagonais traccionadas e comprimidas

Contraventamento em K: Não permitido

EN1998-1 – Edifícios de Aço



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Tipos de Estruturas (cont.)

- c) Pórticos com contraventamento excêntrico: *resistência predominantemente por esforço axial mas com dissipação de energia em ligadores (flexão e corte)*
- d) Pêndulo invertido: *dissipação na base de pilares*
- e) Estruturas com núcleos de betão: *resistência assegurada por esses elementos*
- f) Pórticos simples associados a contraventamentos centrados
- g) Pórticos simples associados a enchimentos

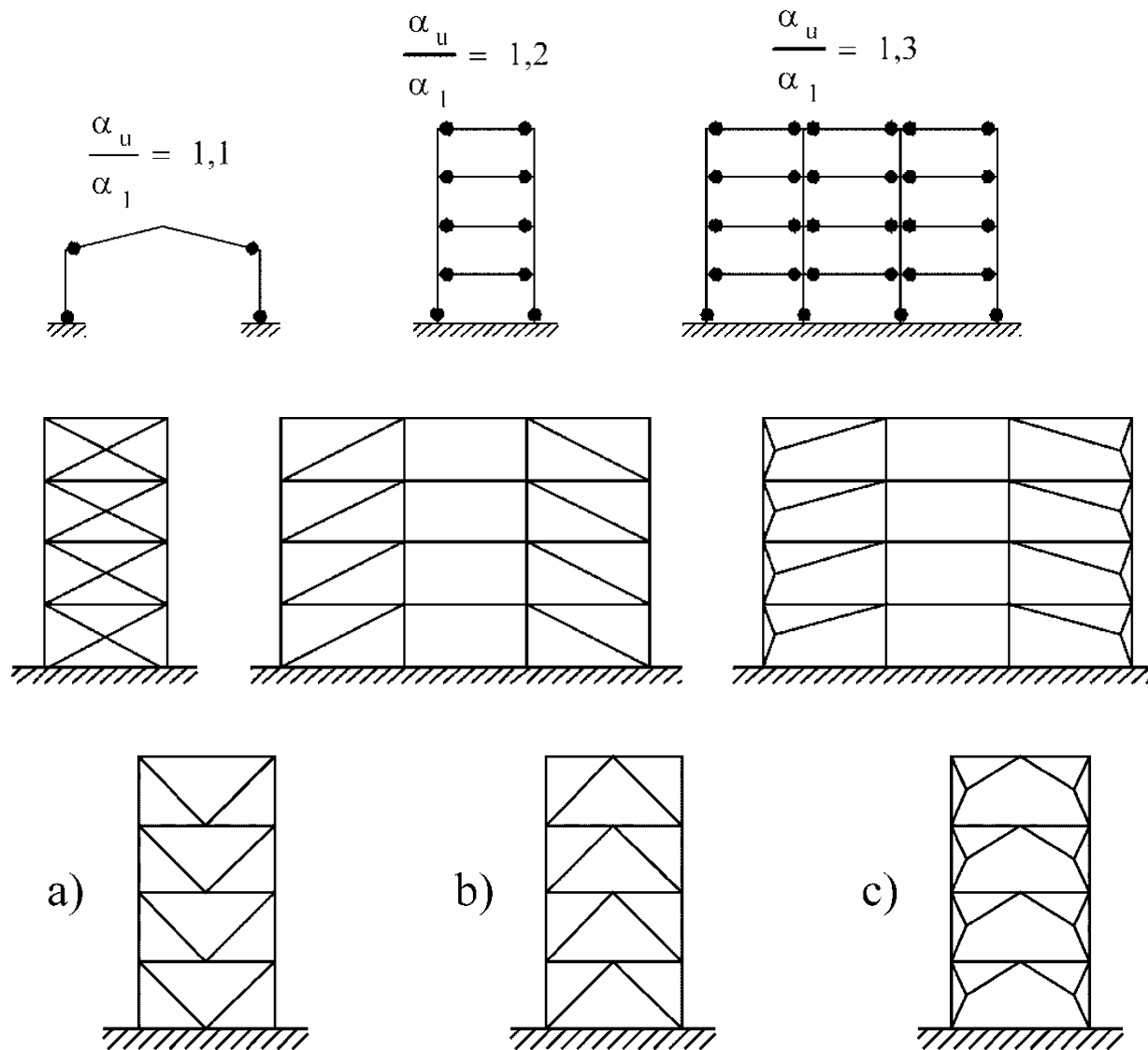
Alarga muito a classificação do REAE

EN1998-1 – Edifícios de Aço

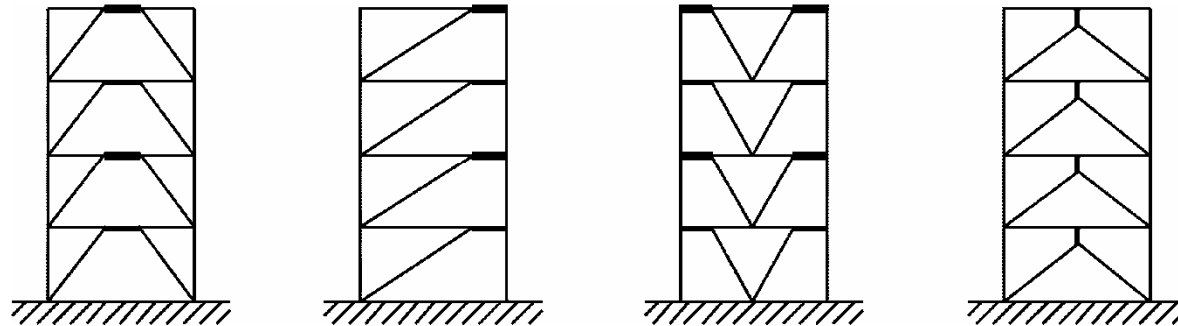
Coeficientes de comportamento ($\alpha_u/\alpha_1 \leq 1,6$)

Tipo de estrutura	Classe de ductilidade	
	DCM	DCH
a) Pórticos simples	4	$5\alpha_u/\alpha_1$
b) Pórtico com contraventamentos centrados Contraventamentos diagonais Contraventamentos em V	4 2	4 2,5
c) Pórtico com contraventamentos excêntricos	4	$5\alpha_u/\alpha_1$
d) Pêndulo invertido	2	$2\alpha_u/\alpha_1$
e) Estruturas com núcleos ou paredes de betão	Ver secção 5	
f) Pórtico simples com contraventamento centrado	4	$4\alpha_u/\alpha_1$
g) Pórticos simples com enchimentos		
Enchimentos de betão ou de alvenaria não ligados, em contacto com o pórtico	2	2
Enchimentos de betão armado ligados	Ver secção 7	
Enchimentos desligados de pórticos simples (ver pórticos simples)	4	$5\alpha_u/\alpha_1$

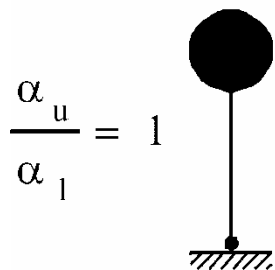
EN1998-1 – Edifícios de Aço



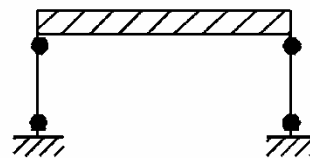
EN1998-1 – Edifícios de Aço



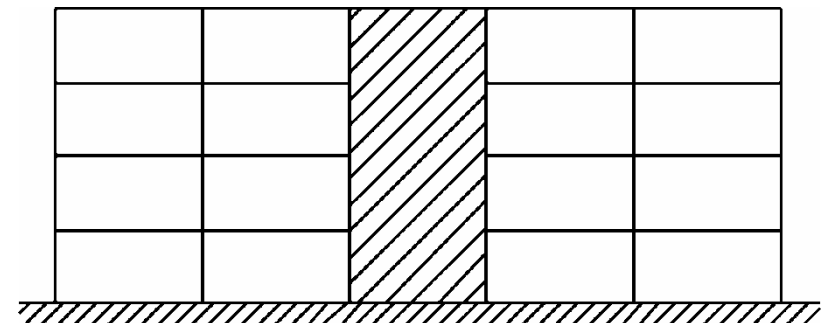
$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1,2$$



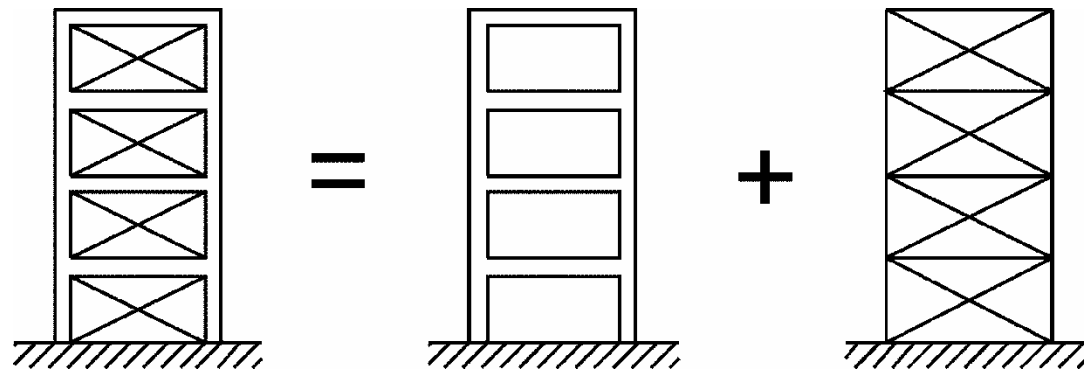
$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1$$



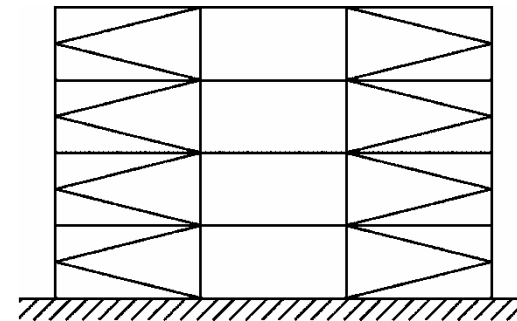
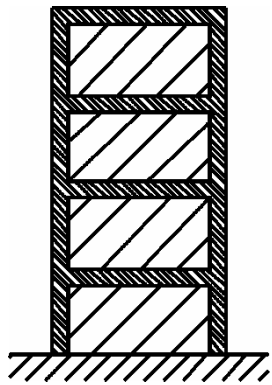
$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1,1$$



EN1998-1 – Edifícios de Aço



$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1,2$$



Contraventamento K não aceite

EN1998-1 – Edifícios de Aço

Requisitos relativos à classe de secção transversal (relação b/t)

Classe de ductilidade	Valor de referência do coeficiente de comportamento q	Classe de secção transversal necessária
DCM	$1,5 < q \leq 2$	classe 1, 2 ou 3
	$2 < q \leq 4$	classe 1 ou 2
DCH	$q > 4$	classe 1

NP EN1998-1 – Edifícios de Aço



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- Ligações em zonas dissipativas
 - Limitar a concentração das extensões plásticas
 - Critério da sobrerresistência satisfeito em ligações não dissipativas com soldadura de penetração total
 - Em ligações aparafusadas ou com soldaduras de ângulo: $R_d \geq 1,1 \gamma_{ov} R_{fy}$
 - Ligações aparafusadas ao corte da categoria B e C e da categoria E à tracção (EN1993-1-8)
 - Superfícies de atrito das classes A e B
 - Resistência ao corte dos parafusos 1,2 vezes a resistência ao esmagamento

NP EN1998-1 – Edifícios de Aço



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- Pórticos simples

- Localizar rótulas nas vigas ou nas ligações das vigas aos pilares
- Não redução da capacidade de rotação plástica em **vigas**:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 0,15 \quad \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,15$$

V_{ed} – calculado por “capacity design”

Considerar $M_{el,Rd}$, $N_{el,Rd}$ e $V_{el,Rd}$, em secções da classe 3

NP EN1998-1 – Edifícios de Aço



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- Pórticos simples
 - Esforços de cálculo em **pilares**:

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov}\Omega N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov}\Omega M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov}\Omega V_{Ed,E}$$

$N_{Ed,G}$, $M_{Ed,G}$, $V_{Ed,G}$ – Efeitos das acções não sísmicas

$N_{Ed,E}$, $M_{Ed,E}$, $V_{Ed,E}$ – Efeitos da acção sísmica resultante da análise

γ_{ov} – Coeficiente de sobrerresistência

Ω – $\text{Min} (M_{pl,Rd,i} / M_{ed,i})$ para todas as vigas

- Verificar: $\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,15$

NP EN1998-1 – Edifícios de Aço



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

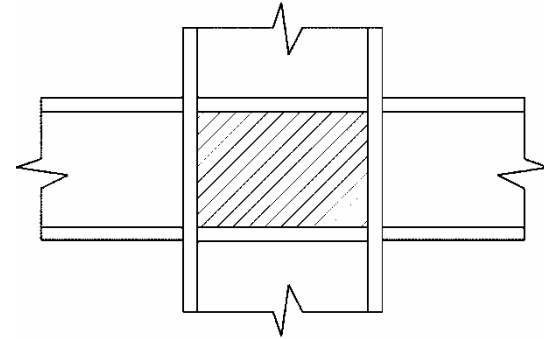
- Pórticos simples
 - Em **nós viga-pilar**:

$$\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} \leq 1,0$$

$V_{wp,Ed}$ – Valor de cálculo do esforço transversal no painel de alma, com “capacity design”

$V_{wp,Rd}$ – Resistência ao esforço transversal no painel de alma

- Verificar também a encurvadura do painel



NP EN1998-1 – Edifícios de Aço

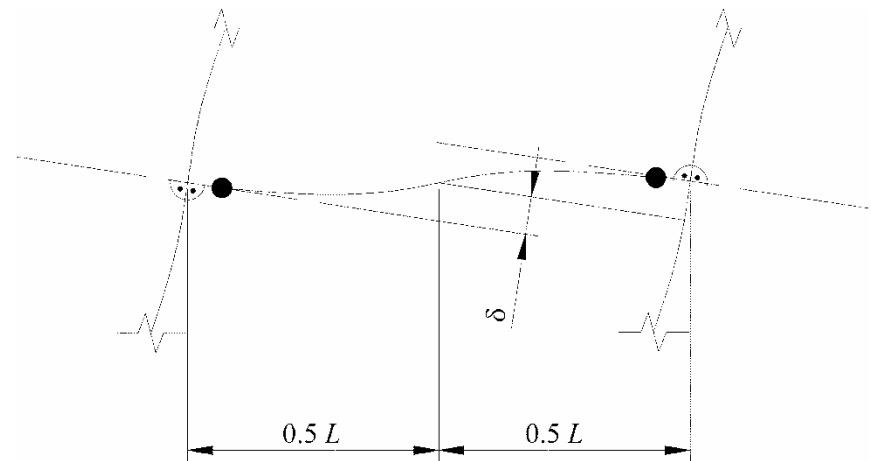


LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- Ligações viga-pilar
 - Considerar esforços de cálculo com sobrerresistência
 - Assegurar capacidade de rotação da zona da **rótula plástica** $\theta_p = \delta / 0,5L$

$$\theta_p \geq 35 \text{ mrad} \quad - \text{ DCH}$$

$$\theta_p \geq 25 \text{ mrad} \quad - \text{ DCM}$$



NP EN1998-1 – Edifícios de Aço

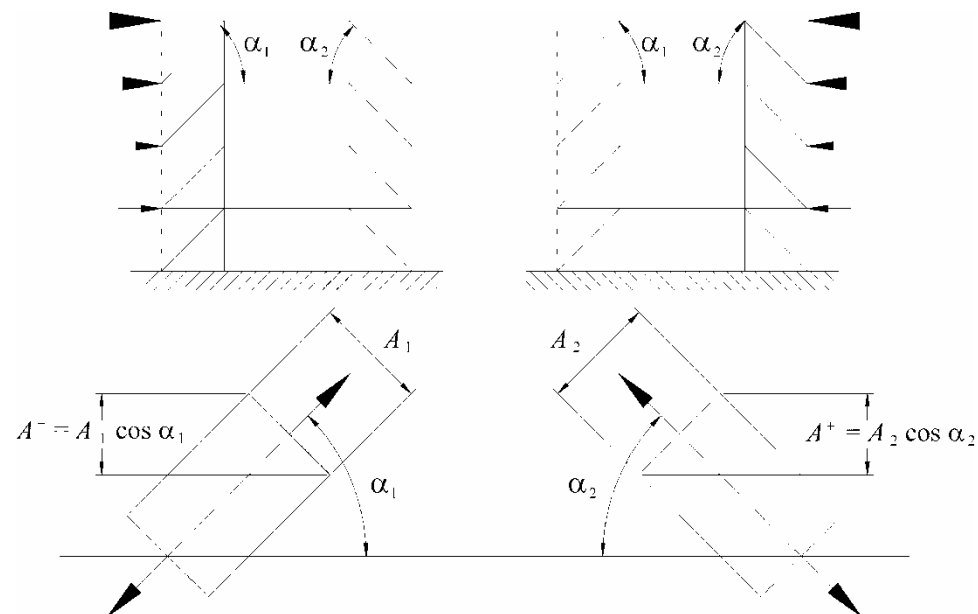


LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- Pórticos com contraventamento centrado
 - Plastificação das diagonais em tracção antes da plastificação de vigas ou pilares
 - Comportamento semelhante nos dois sentidos

$$\frac{|A^+ - A^-|}{A^+ + A^-} \leq 0,05$$

Diagonais em tracção



NP EN1998-1 – Edifícios de Aço



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- Pórticos com contraventamento centrado
 - Contraventamentos em X: $1,3 < \bar{\lambda} \leq 2,0$
 - Contraventamentos diagonais não em X: $\bar{\lambda} \leq 2,0$
 - Contraventamento em V: $\bar{\lambda} \leq 2,0$
 - Em contraventamentos em V projectar as diagonais à compressão de acordo com EN1993
 - Controlar a sobrerresistência das diagonais:

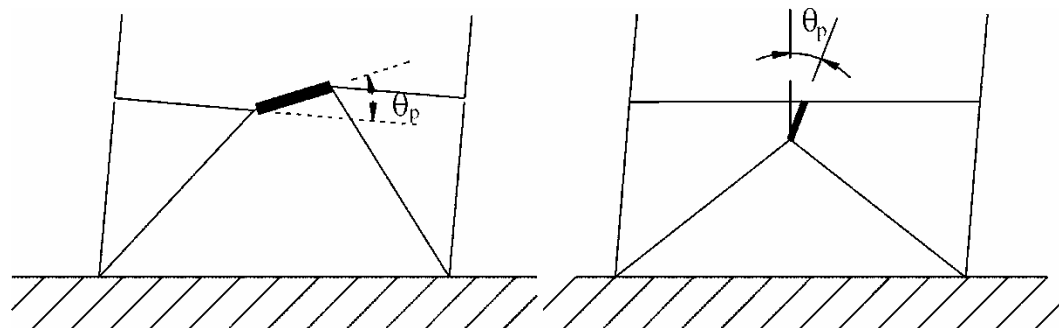
$$\Omega_{i,\max} \leq 1,25 \cdot \Omega_{i,\min}$$

NP EN1998-1 – Edifícios de Aço



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- Pórticos com contraventamento excêntrico
 - Ligadores curtos: dissipação por corte
 - Ligadores longos: dissipação por flexão
 - Ligadores médios: mecanismo plástico com flexão e corte



Momentos iguais

Momentos desiguais

NP EN1998-1 – Edifícios de Aço



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- Pórticos com contraventamento excêntrico.
Limitação da rotação:
 - Ligadores curtos: $\theta_{\rho} \leq \theta_{\rho R} = 0,08rad$
 - Ligadores longos: $\theta_{\rho} \leq \theta_{\rho R} = 0,02rad$
 - Ligadores médios: Valor intermédio
- Reforço das almas dos ligadores
- Soldaduras reforçadas
- Apoios laterais nas extremidades dos ligadores

**Designers' Guide to EN1998-1 and EN1998-5
Eurocode 8:** Design of Structures for earthquake
resistance. General rules, seismic actions, design rules
for buildings, foundations and retaining structures
Fardis et al

Chapter 6: Design and detailing rules for steel buildings
A Plumier

Thomas Telford Publishing, 2005

Muito obrigado