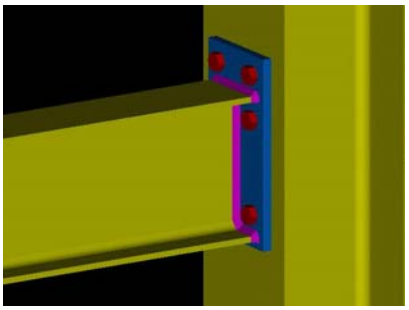
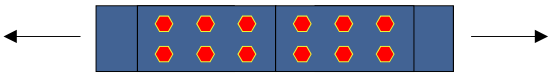


Ligações Aparafusadas – Parte II

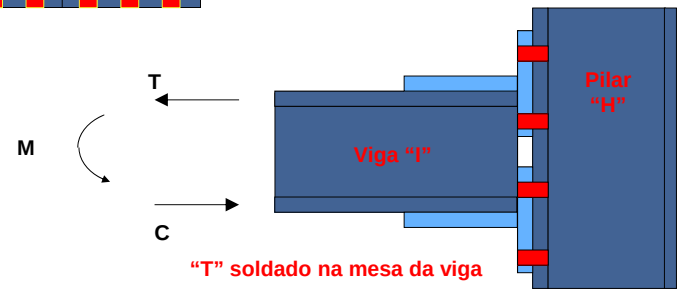
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
PGECIV - Mestrado Acadêmico
Faculdade de Engenharia – FEN/UERJ
Disciplina: Ligações em Estruturas de Aço e Mistas
Professor: Luciano Rodrigues Ornelas de Lima

10. Comportamento Estrutural

- Cisalhamento



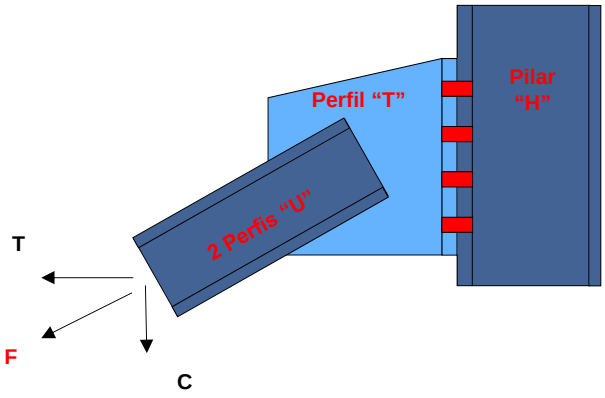
- Tração



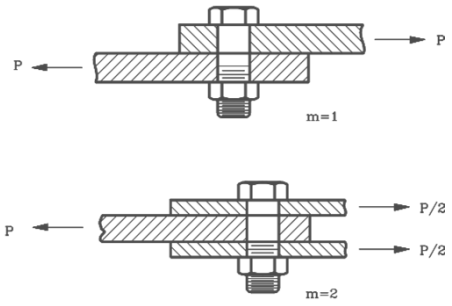
"T" soldado na mesa da viga

10. Comportamento Estrutural

- Tração e cisalhamento combinados



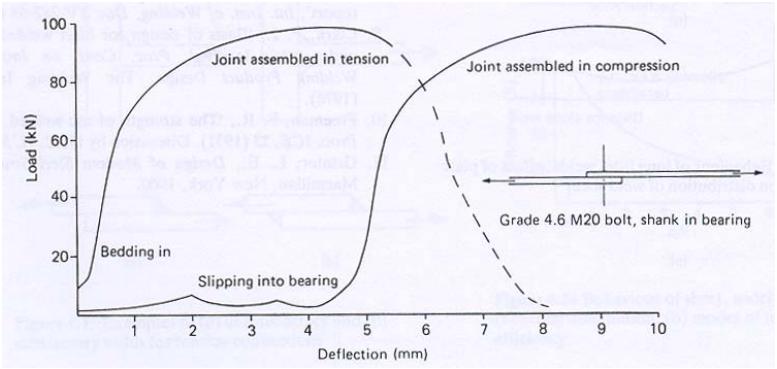
10. Comportamento Estrutural



- Resistência ao Cisalhamento
  - ✓O cisalhamento é a forma mais comum de solicitação de um parafuso e pode ser resistida por parafusos de alta resistência tanto por atrito quanto por corte
  - ✓Parafusos comuns por não possuírem uma protensão confiável são supostos não resistir por atrito, resistindo apenas ao corte.

10. Comportamento Estrutural

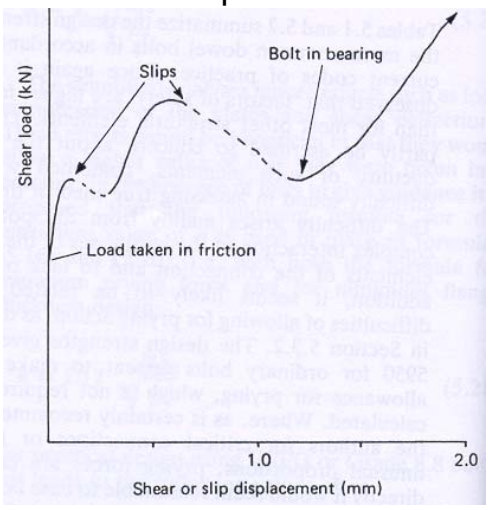
- Corte simples versus atrito (sem atrito)

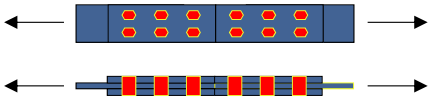


- **Plastificação**
  - ✓**A_n da placa (tração e flexão)**
  - ✓**Plano de cisalhamento do parafuso**
  - ✓**Contato com a borda do furo (placa + parafuso)**

10. Comportamento Estrutural

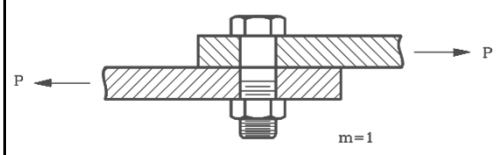
- Corte simples versus atrito (com atrito)

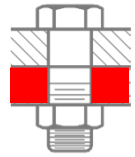




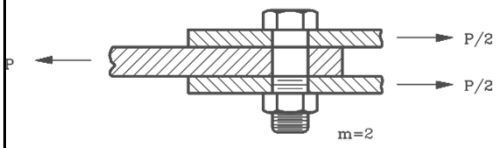
10. Comportamento Estrutural

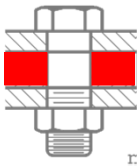
- Corte simples (tração na seção líquida)
  - ✓Distância às bordas perto dos valores mínimos
  - ✓Ruína
  - ✓Escoamento da seção líquida tracionada da placa





Flexão adicional diminui a resistência $0,9 \times A_n \times f_y$



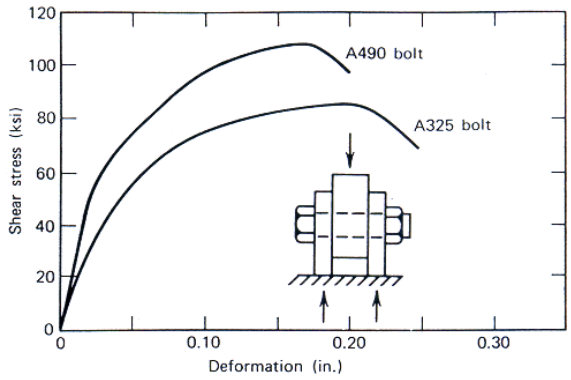


2 planos de corte

$1,05 \times A_n \times f_y$

10. Comportamento Estrutural

- Corte no parafuso (Fisher)

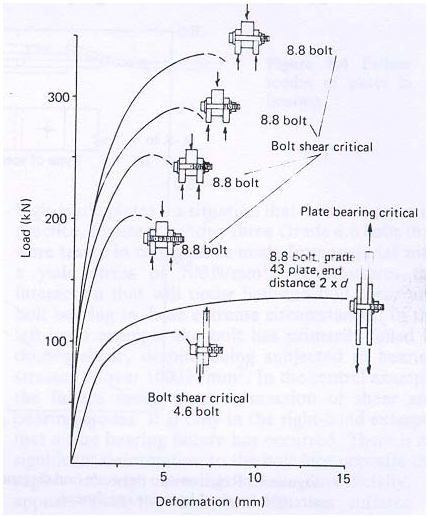


	Fy (MPa)	Fu (MPa)
A325	635	825
A490	895	1035

- Testes em laboratório → tensão nominal (F/A) no plano de corte na ruína de um parafuso é da ordem de 60% da tensão última a tração F_u

10. Comportamento Estrutural

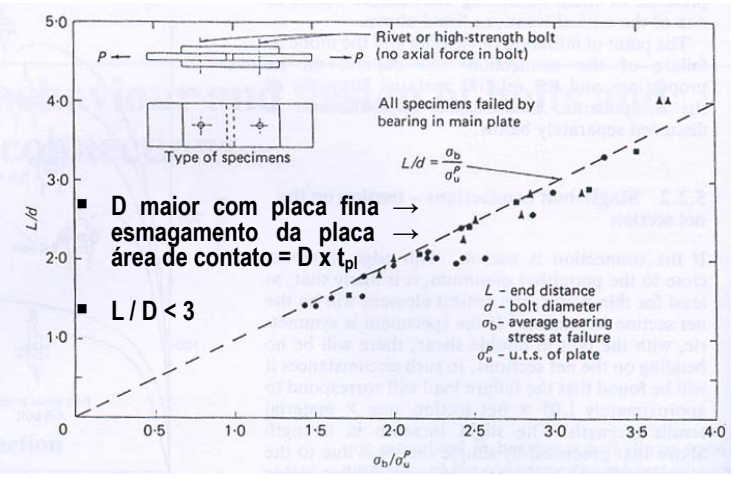
- Corte no parafuso



- 4.6 → comum
- 8.8 → alta resistência
- Posição da rosca (quanto mais rosca no plano de corte, menor a resistência)
- Ductilidade
  - ✓ 4.6 → deforma 1/4 D
  - ✓ 8.8 → deforma 1/6 D
  - ✓ 8.8 menos dúctil que 4.6
- rosca no plano de corte
  - ✓ $\tau u / Fu = 0{,}63$
- sem rosca no plano de corte
  - ✓ $\tau u / Fu = 0{,}80$

10. Comportamento Estrutural

- Esmagamento da placa na região de contato



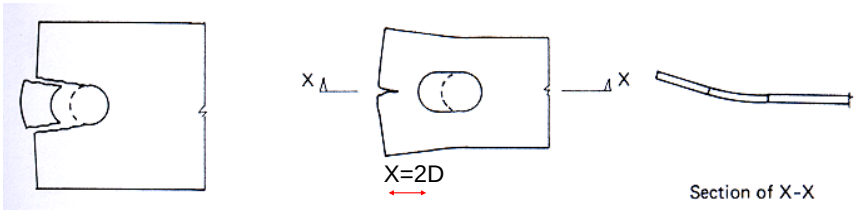
- **D maior com placa fina → esmagamento da placa → área de contato = D x t_{pl}**
- **L / D < 3**

Restrição triaxial → Aumenta resistência final

Proximidade da borda → Diminui resistência final

10. Comportamento Estrutural

- Falhas por esmagamento da placa na borda do furo



- **Cisalhamento (placas largas)**
- **Escoamento da seção líquida (placas curtas)**
- **$\sigma_{ult} = 1{,}9\ F_y$**
- **Flexão (1 plano de corte)**
- **$\sigma_{ult} = 1{,}75\ F_y$**

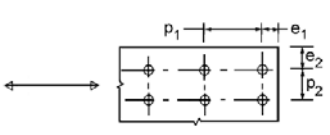
- **Roscas → não diminuem a resistência ao esmagamento da chapa**
- **Deformam as placas provocando sulcos**
- **Aumentam a resistência final da placa**

10. Comportamento Estrutural

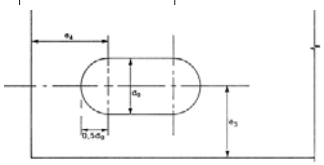
- Distâncias mínimas de furos – Eurocode 3 pt. 1.8

Table 3.3: Minimum and maximum spacing, end and edge distances

Distances and spacings, see Figure 3.1	Minimum	Maximum[1) 2) 3)]		
		Structures made from steels conforming to EN 10025 except steels conforming to EN 10025-5		Structures made from steels conforming to EN 10025-5
		Steel exposed to the weather or other corrosive influences	Steel not exposed to the weather or other corrosive influences	Steel used unprotected
End distance e_1	$1{,}2d_0$	$4t + 40$ mm		The larger of $8t$ or 125 mm
Edge distance e_2	$1{,}2d_0$	$4t + 40$ mm		The larger of $8t$ or 125 mm
Distance e_3 in slotted holes	$1{,}5d_0$ [4)]			
Distance e_4 in slotted holes	$1{,}5d_0$ [4)]			



a) Symbols for spacing of fasteners

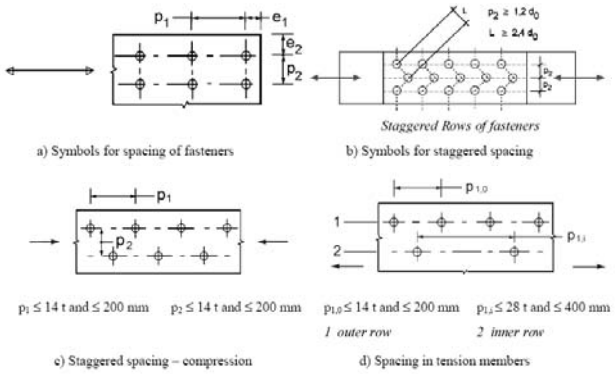


c) End and edge distances for slotted holes

10. Comportamento Estrutural

- Distâncias mínimas de furos – Eurocode 3 pt. 1.8

Spacing p_1	$2{,}2d_0$	The smaller of $14t$ or 200 mm	The smaller of $14t$ or 200 mm	The smaller of $14t_{min}$ or 175 mm
Spacing $p_{1,0}$		The smaller of $14t$ or 200 mm		
Spacing $p_{1,i}$		The smaller of $28t$ or 400 mm		
Spacing p_2 [5]	$2{,}4d_0$	The smaller of $14t$ or 200 mm	The smaller of $14t$ or 200 mm	The smaller of $14t_{min}$ or 175 mm



10. Comportamento Estrutural

- Distâncias mínimas de furos – Eurocode 3 pt. 1.8

1) Maximum values for spacings, edge and end distances are unlimited, except in the following cases:
   - for compression members in order to avoid local buckling and to prevent corrosion in exposed members and;
   - for exposed tension members to prevent corrosion.

2) The local buckling resistance of the plate in compression between the fasteners should be calculated according to EN 1993-1-1 using $0{,}6\ p_i$ as buckling length. Local buckling between the fasteners need not to be checked if p_1/t is smaller than $9\ \varepsilon$. The edge distance should not exceed the local buckling requirements for an outstand element in the compression members, see EN 1993-1-1. The end distance is not affected by this requirement.

3) t is the thickness of the thinner outer connected part.

4) The dimensional limits for slotted holes are given in 2.8 Reference Standards: Group 7.

5) For staggered rows of fasteners a minimum line spacing of $p_2 = 1{,}2d_0$ may be used, provided that the minimum distance, L, between any two fasteners is greater than $2{,}4d_0$, see Figure 3.1b).

10. Comportamento Estrutural

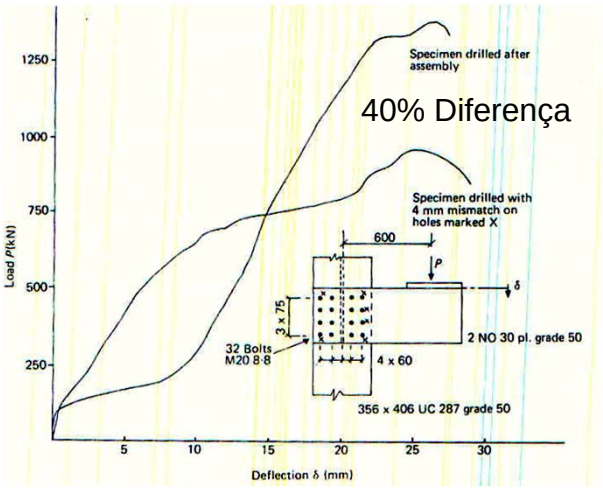
- Esmagamento do parafuso

(a) (b) (c)

- Restrição circunferencial
- Aços muito resistentes
- (a) cisalhamento duplo (1000N/mm2)
- (b) cisalhamento + esmagamento (bearing)
- (c) esmagamento
  - ✓ O material fluiu longitudinal-mente aumentando o compri-mento do parafuso $\sigma_{u,pl} = 2\ F_y$ (caso raro)

10. Comportamento Estrutural

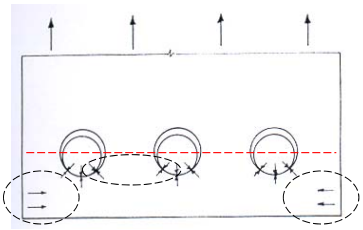
- Ligações múltiplas (+ de 1 parafuso)



- Seção líquida → membros tracionados → caminho crítico
- Desalinhamento de parafusos → alguns parafusos em contato com a chapa

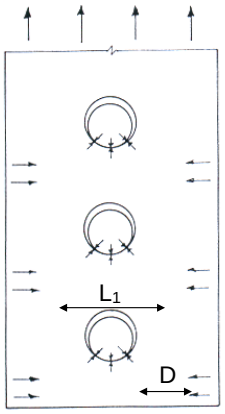
10. Comportamento Estrutural

- Esmagamento da placa em ligações múltiplas



Transversal ao carregamento

- **Sentidos opostos se cancelam**
- **Necessário somente restrição nas exteemidades da placa**

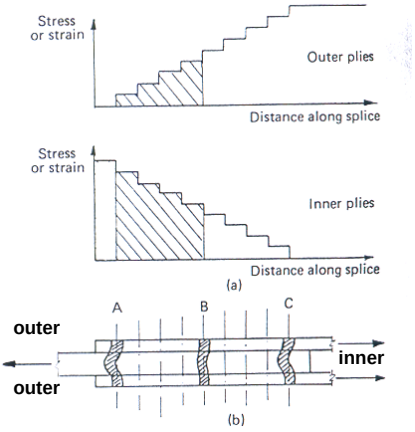


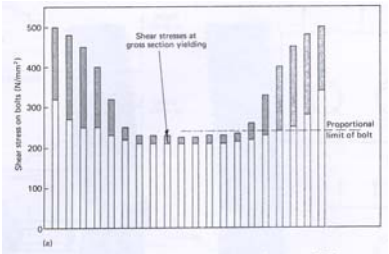
Paralelo ao carregamento

- **Efeito acumulativo da carga na direção transversal**
- **Se $L_1 < 2{,}5\ D \rightarrow$ senão redução na resistência ao esmagamento da chapa**

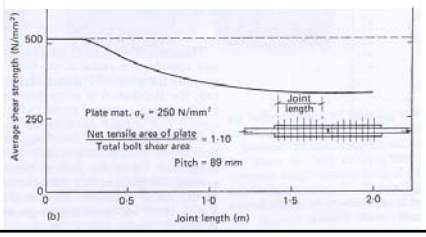
10. Comportamento Estrutural

- Ligações muito longas





- **Perda de eficiência em ligações muito longas**
- **Comprimento efetivo**



- **Emendas tracionadas**
- **Deformações maiores nas extremidades**

10. Comportamento Estrutural

- Ligações muito longas – Eurocode 3 pt. 1.8

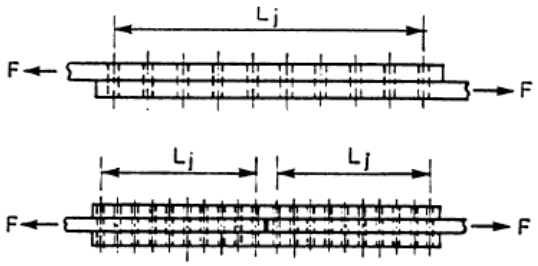


Figure 3.7: Long joints

10. Comportamento Estrutural

- Ligações muito longas – Eurocode 3 pt. 1.8
  - When the distance Lj between the centres of the end fasteners in a joint, measured in the direction of force transfer > 15 d, shear resistance of all the fasteners should be reduced by multiplying it by a reduction factor L_f, given by:

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d}$$

  - but $\beta_{Lf} \leq 1.0$ and $\beta_{Lf} \geq 0.75$
  - This provision does not apply where there is a uniform distribution of force transfer over the length of the joint, e.g. the transfer of shear force between the web and the flange of a section