

# **ESTRUTURAS METÁLICAS LIGAÇÕES COM CONECTORES**

**Prof. Alexandre Augusto Pescador Sardá**

# TIPOS DE CONECTORES



Conector: Meio de união que trabalha através de furos feitos nas chapas.

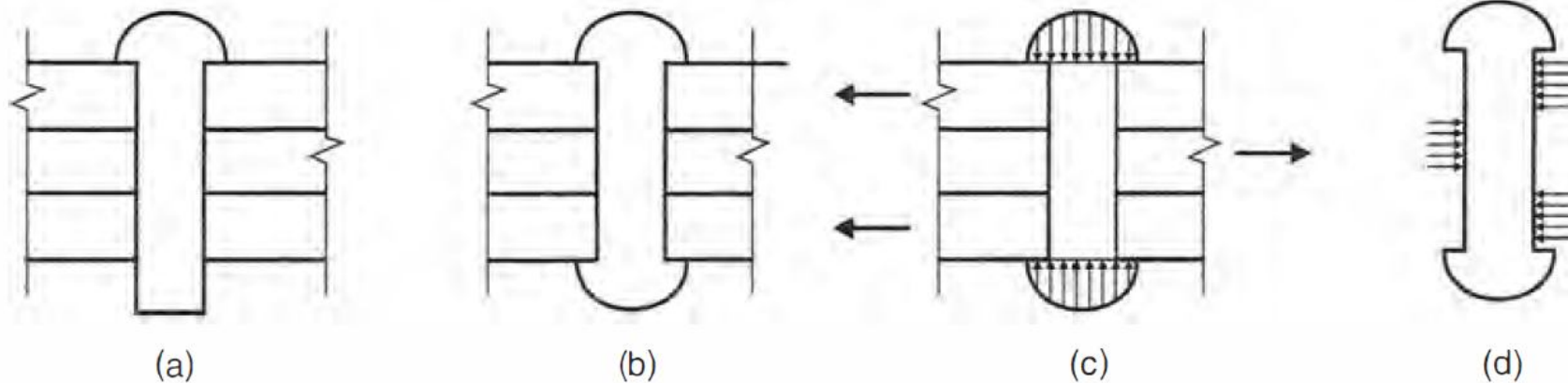
- Rebites;
- Parafusos comuns;
- Parafusos de alta resistência.
- Em estruturas mais modernas, os rebites foram substituídos por ligações parafusadas ou soldadas.

# TIPOS DE CONECTORES

**Rebites:** Conectores instalados à quente, o produto final apresentando duas cabeças.

Pelo resfriamento, o rebite aperta as chapas entre si;

O esforço de aperto é muito variável, não se podendo garantir um valor mínimo a considerar nos cálculos.

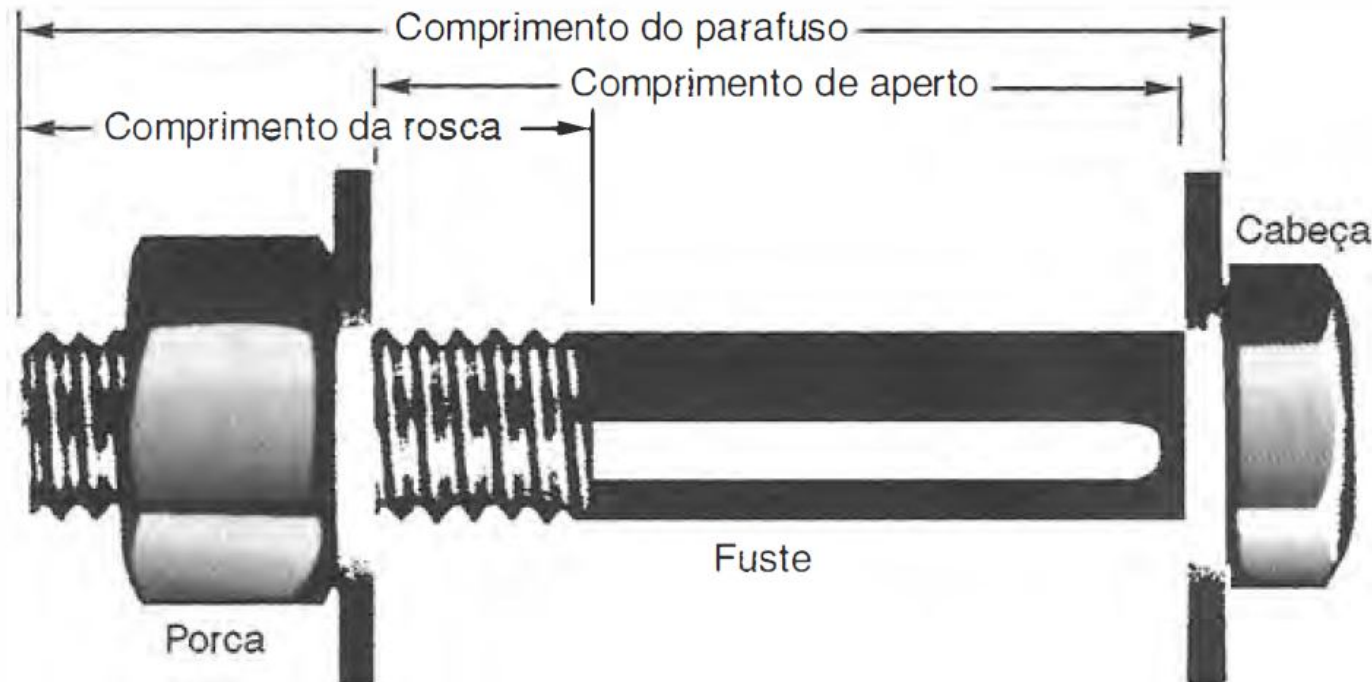


Rebite. (a) Colocação do rebite no furo após seu aquecimento até uma temperatura de cerca de  $1000^{\circ}\text{C}$ . (b) Formação da cabeça arredondada por martelamento (em geral com ferramenta pneumática) e com escoramento do lado da cabeça pré-formada. (c) Com o resfriamento, o rebite encolhe apertando as chapas. (d) Rebite trabalhando a corte.

# TIPOS DE CONECTORES

Parafusos comuns: São comumente forjados com aço carbono de baixo teor de carbono.

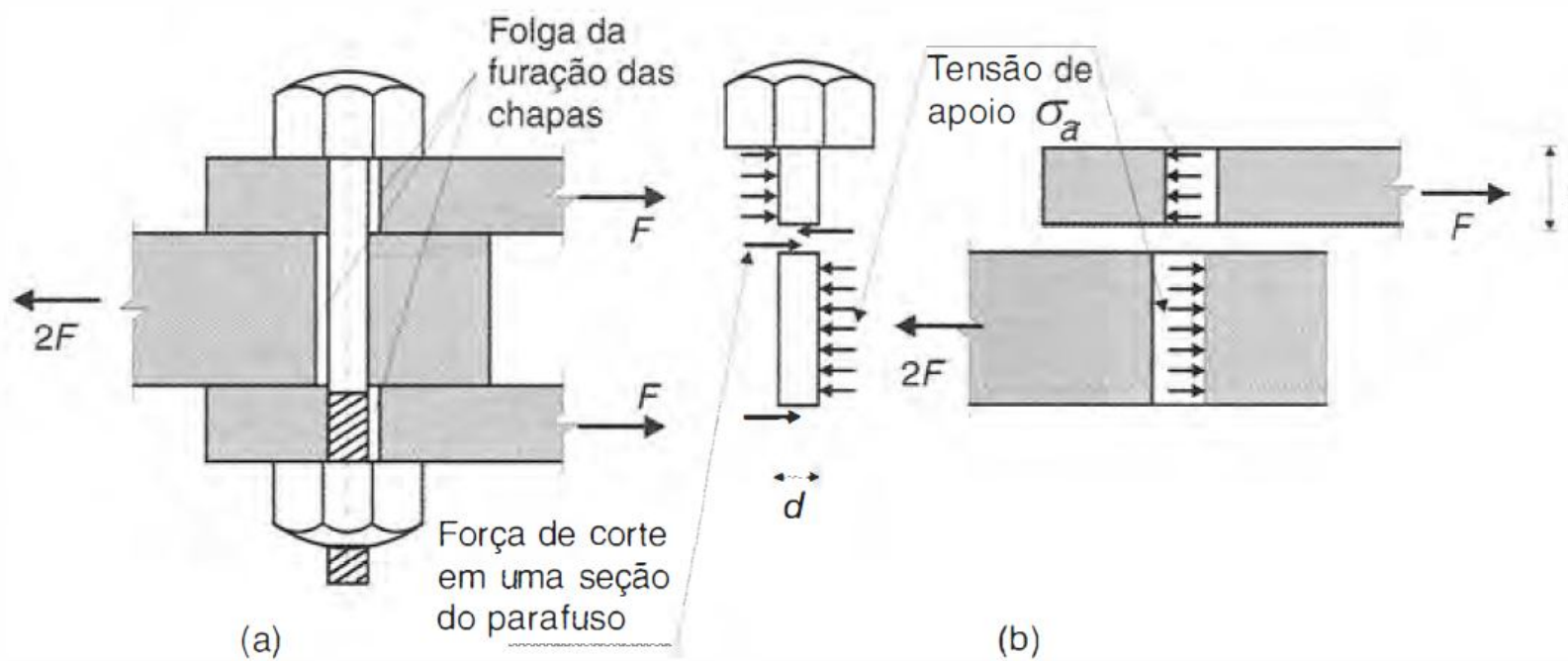
Cabeça quadrada ou sextavada e na outra rosca com porca.



Parafuso porca sextavada e arruela

# TIPOS DE CONECTORES

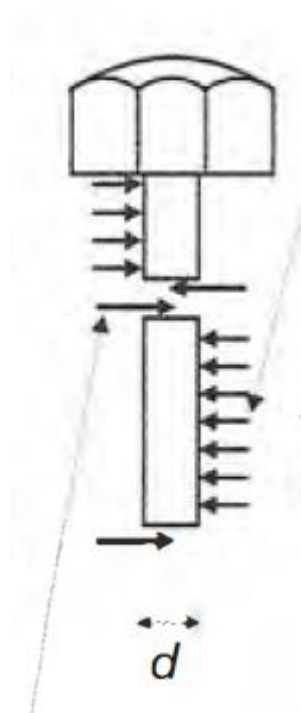
Ligação tipo apoio (ou contato)



a) Esquema da ligação; b) diagrama de forças nas chapas e no parafuso.

# TIPOS DE CONECTORES

Tensão de corte no parafuso:

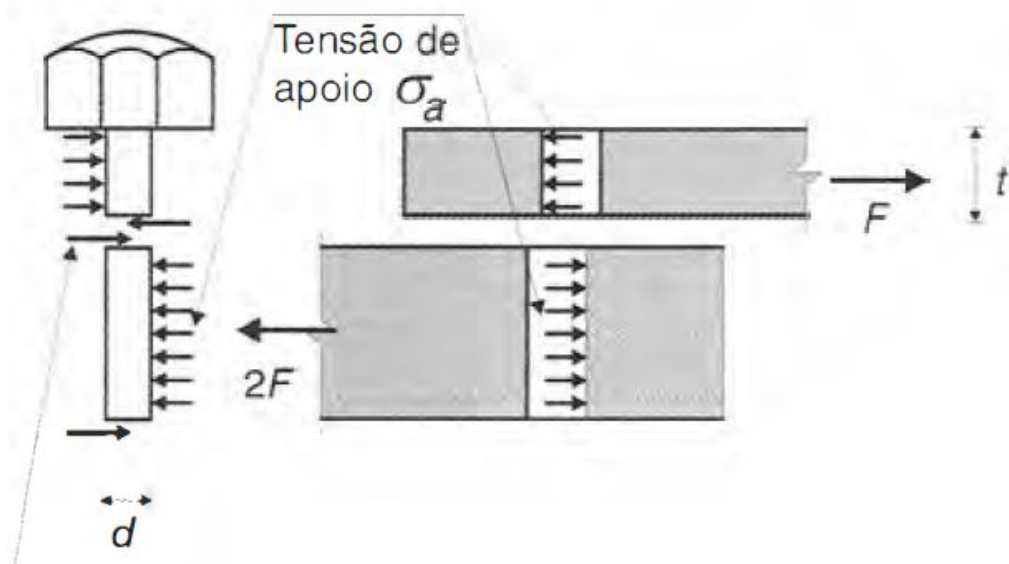


$$\tau = \frac{F}{\pi d^2 / 4}$$

F = esforço transmitido por um conector em um plano de corte;  
t = espessura da chapa;  
d = diâmetro nominal do conector.

# TIPOS DE CONECTORES

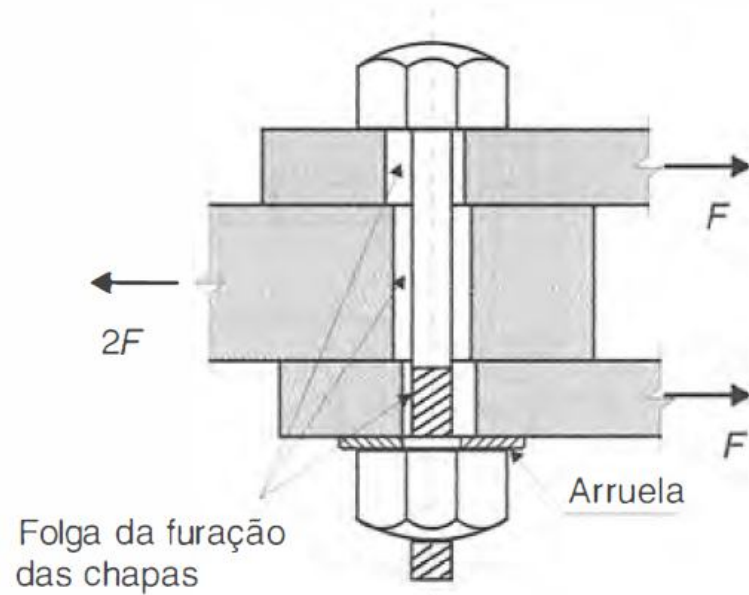
Tensão de apoio no conector da chapa:



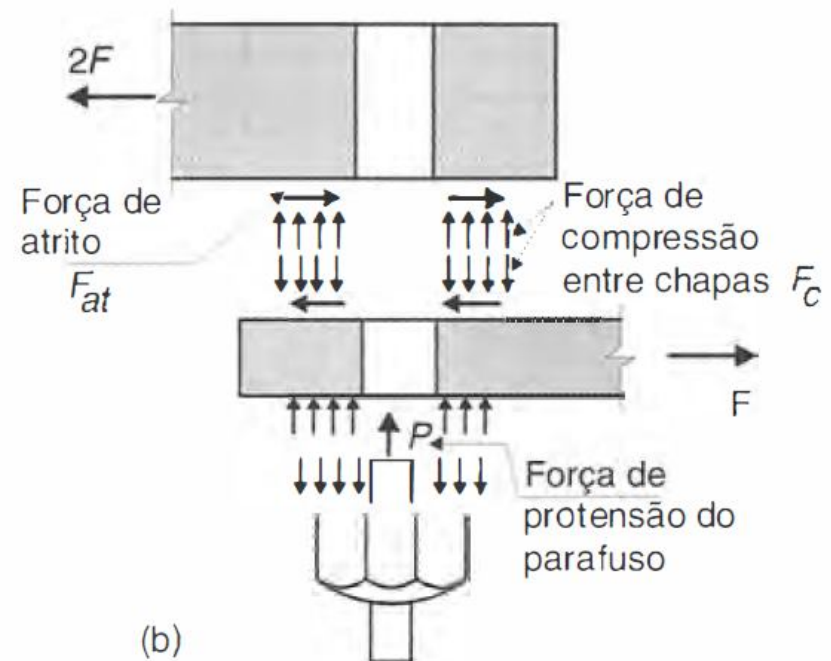
$$\sigma = \frac{F}{d t}$$

F = esforço transmitido por um conector em um plano de corte;  
t = espessura da chapa;  
d = diâmetro nominal do conector.

# TIPOS DE CONECTORES



(a)

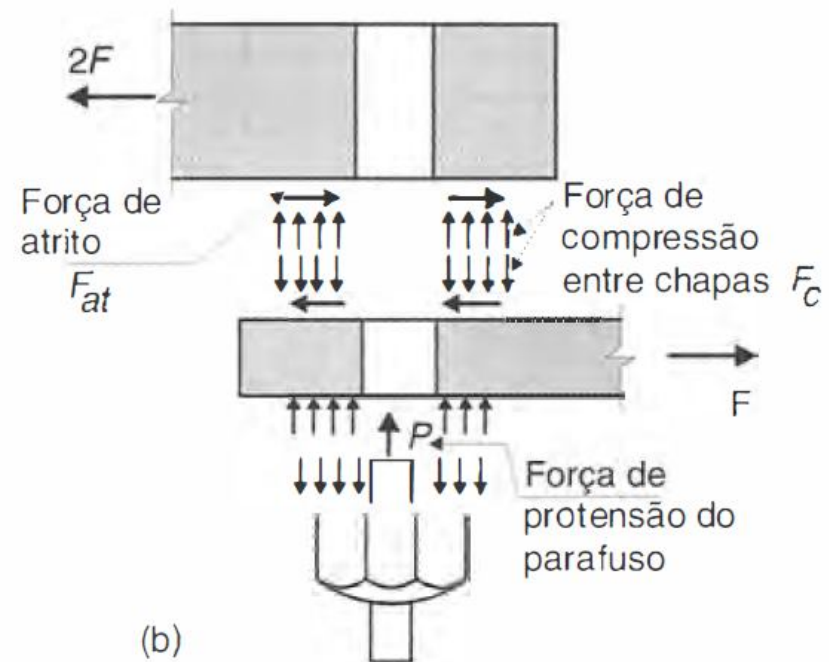
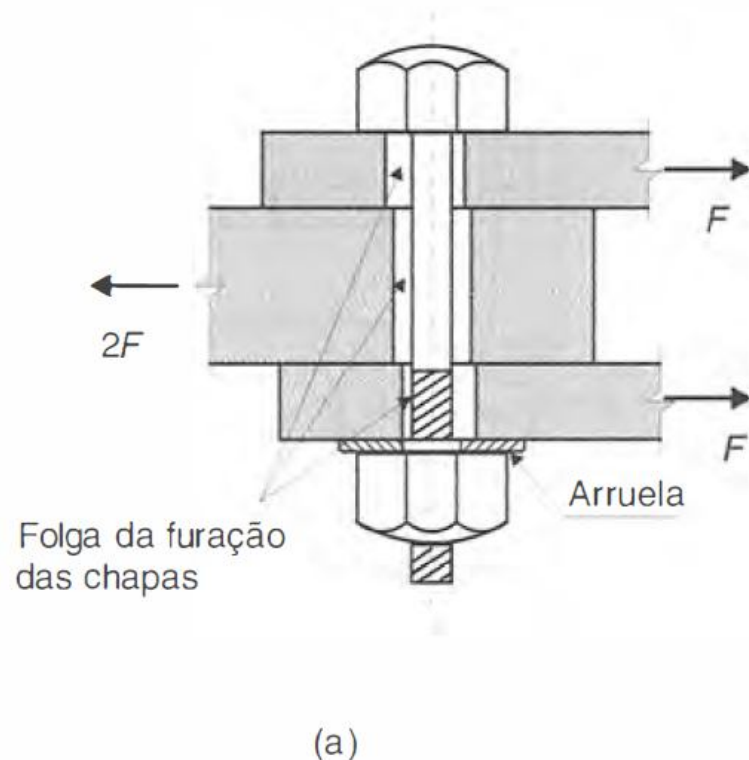


(b)



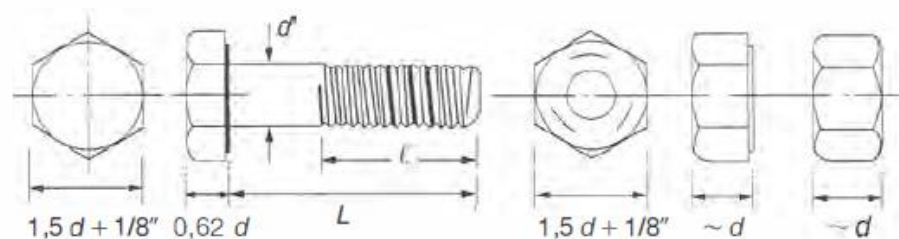
# PARAFUSOS DE ALTA RESISTÊNCIA

Feitos com aços tratados termicamente. Tipo mais usual é o ASTM A325, de aço carbono temperado.



# PARAFUSOS DE ALTA RESISTÊNCIA

**Tabela A5.2** Parafusos de Alta Resistência – Padrão Americano — Aço ASTM A325



Aço A325 ( $f_u = 72,5$  a  $82,5$  kN/cm<sup>2</sup>)

$d$ (pol)	$d$ (mm)	Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	$L$ (pol)	$P_{\min}^3$ (kN)	Resistência à Tração <sup>1</sup> (kN)	Resistência a Corte <sup>2</sup> (kN)
1/2	16	1,27	1	53	58,1	31,0
5/8		1,98	1 1/4	85	90,7	48,4
3/4		2,01	1 3/8	91	92,2	49,1
	2,85	125		130,6	69,7	
	20	142		144,0	76,8	
7/8	22	1 1/2	176	174,2	92,9	
	3,80		173	177,8	94,8	
	24		205	207,3	110,6	
1	27	1 3/4	227	232,2	123,9	
			5,73	267	230,6	123,0
1 1/8	30	2	250	258,3	137,8	
			7,07	326	284,7	151,8
1 1/4	36	2	317	318,9	170,1	
			7,92	475	410,0	218,7
1 1/2		10,18	2 1/4	460	459,2	244,9
		11,40				

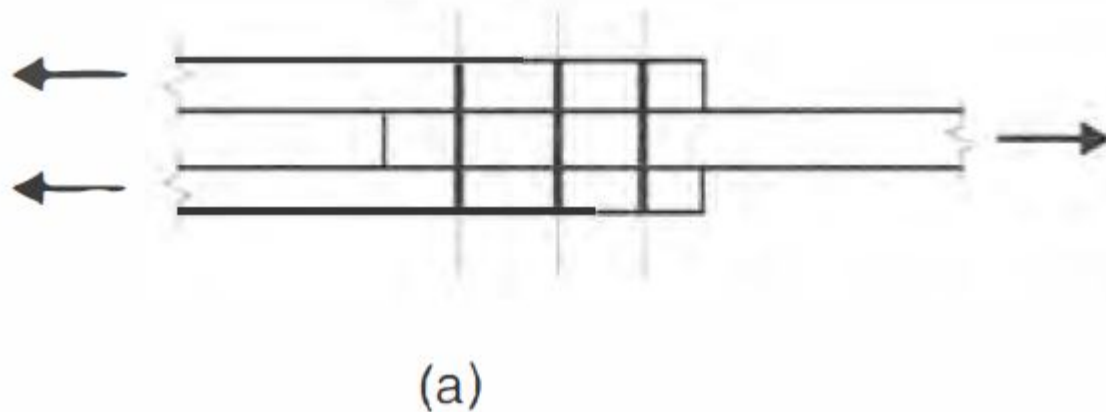
<sup>1</sup> $R_n/\gamma_{u2} = (0,75 A_g)(f_u)/1,35$

<sup>2</sup> $R_n/\gamma_{u2} = 0,40 A_g f_u/1,35$  para um plano de corte e rosca no plano de corte

<sup>3</sup> $P_{min}$  = esforço mínimo de protensão do parafuso.

## Classificação da ligação quanto ao esforço solicitante dos conectores

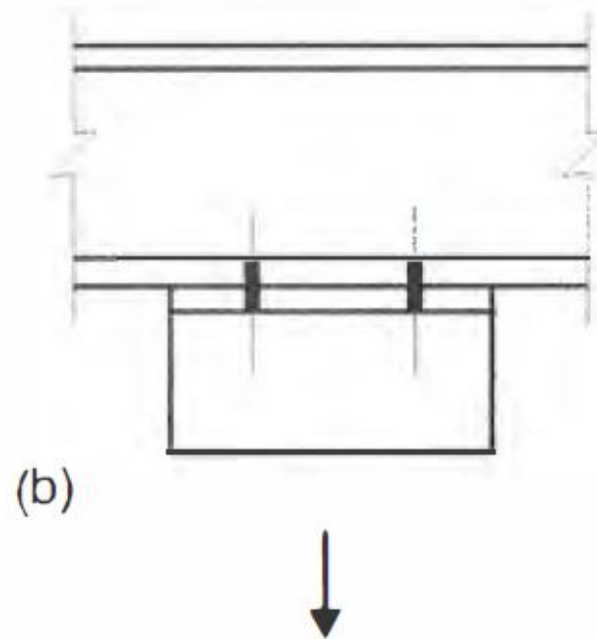
Ligação pode também ser identificada pelo tipo de solicitação que impõe aos conectores.



Ligação por corte: esforço cortante é determinante na resistência.

## Classificação da ligação quanto ao esforço solicitante dos conectores

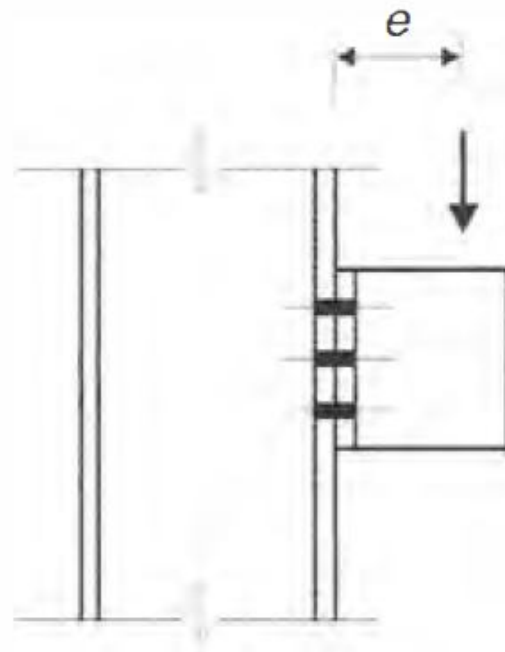
Ligação pode também ser identificada pelo tipo de solicitação que impõe aos conectores.



Ligação por tração. Os conectores estão sujeitos à tração axial.

## Classificação da ligação quanto ao esforço solicitante dos conectores

Conectores sofrem esforços de tração e corte.

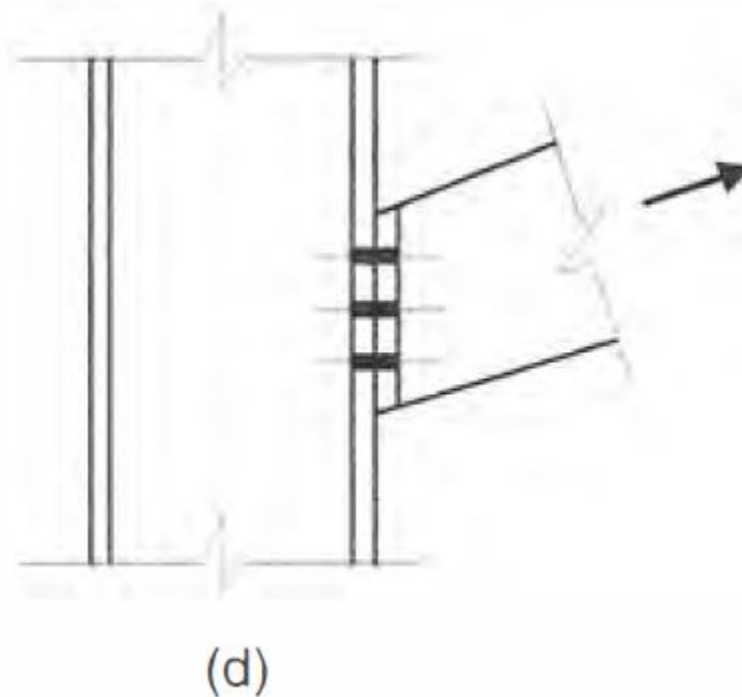


(c)

Ligação a corte e tração – parafusos superiores tracionados.

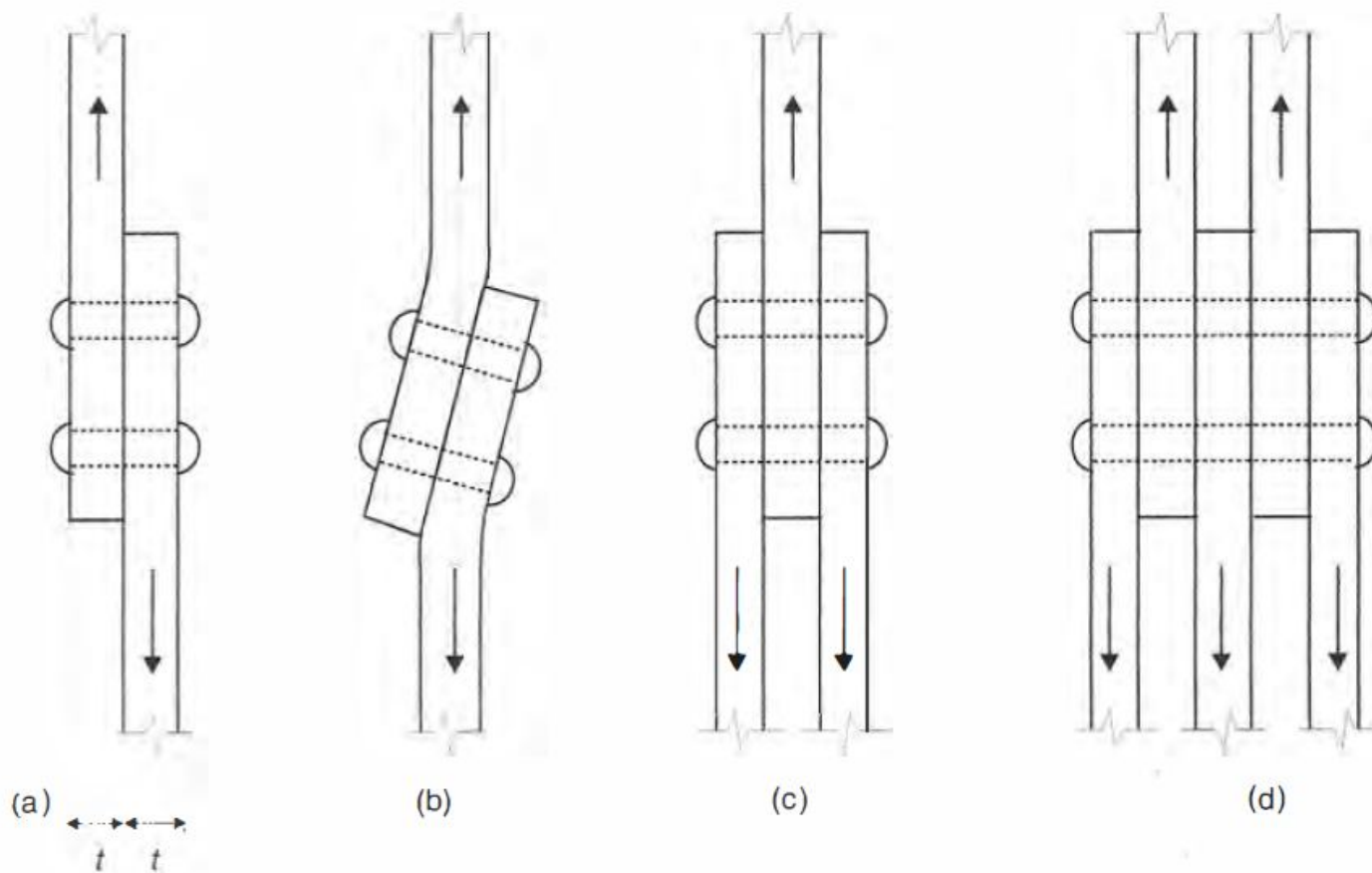
## Classificação da ligação quanto ao esforço solicitante dos conectores

Conectores sofrem esforços de tração e corte.



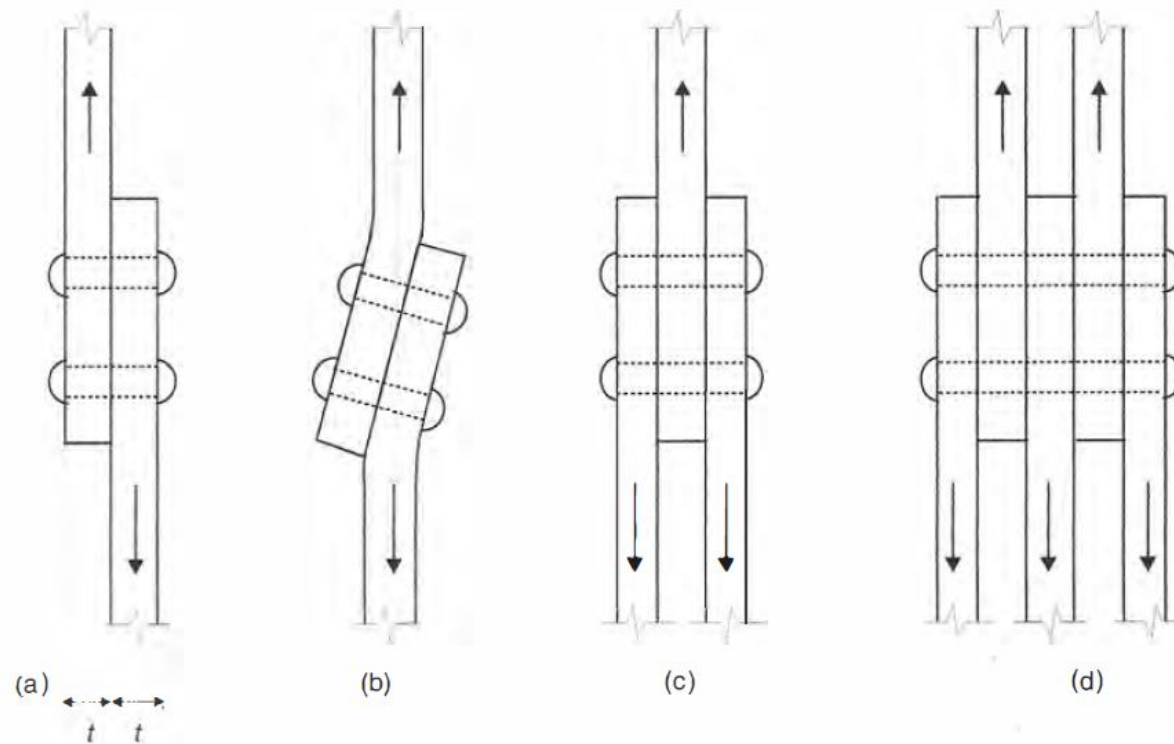
Todos os parafusos tracionados

## Classificação da ligação quanto ao esforço solicitante dos conectores



Ligações com conectores: (a) e (b) corte simples; (c) corte duplo; (d) corte múltiplo.

## Classificação da ligação quanto ao esforço solicitante dos conectores



Nas ligações em cortes simples, a transmissão da carga se faz com uma excentricidade que produz tração nos conectores.  
As ligações em corte duplo evitam esse inconveniente, produzindo apenas corte e flexão nos conectores.

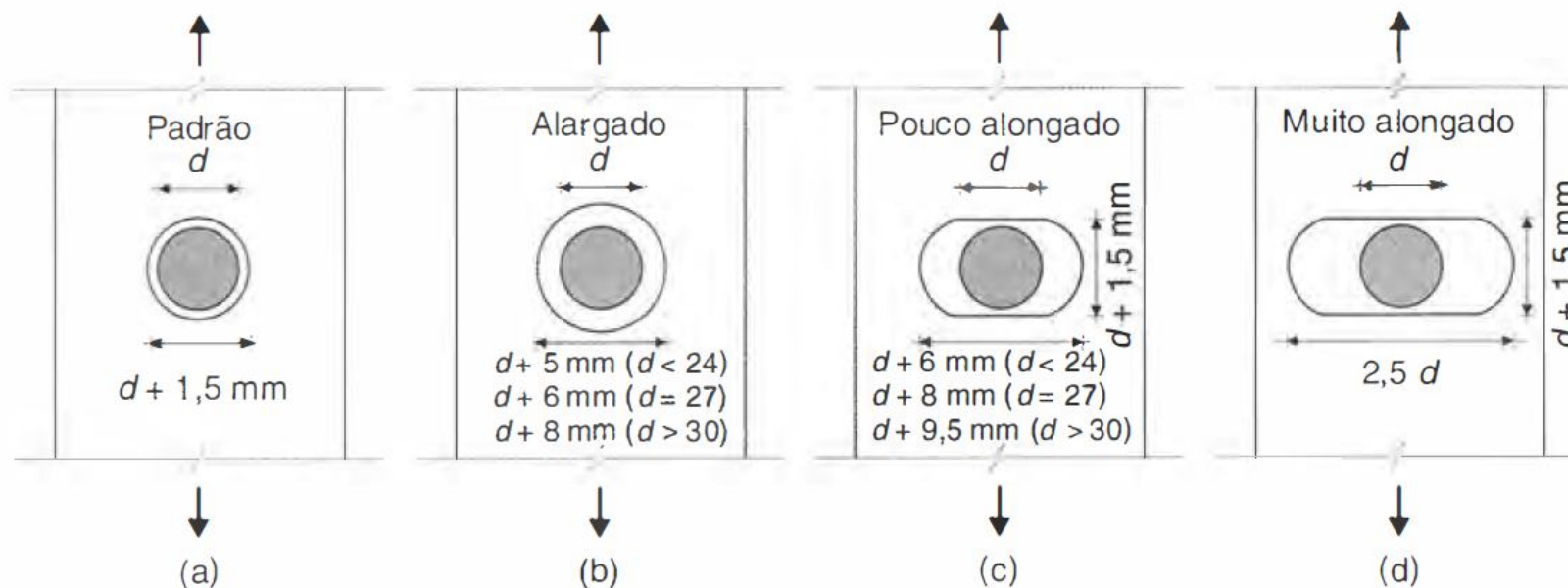


## DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

### Furação de chapas

Os conectores são instalados em furos feitos nas chapas.

O furo-padrão para parafusos comuns deverá ter uma folga de 1,5 mm em relação ao diâmetro nominal do parafuso; tolerância necessária para permitir a montagem das peças.

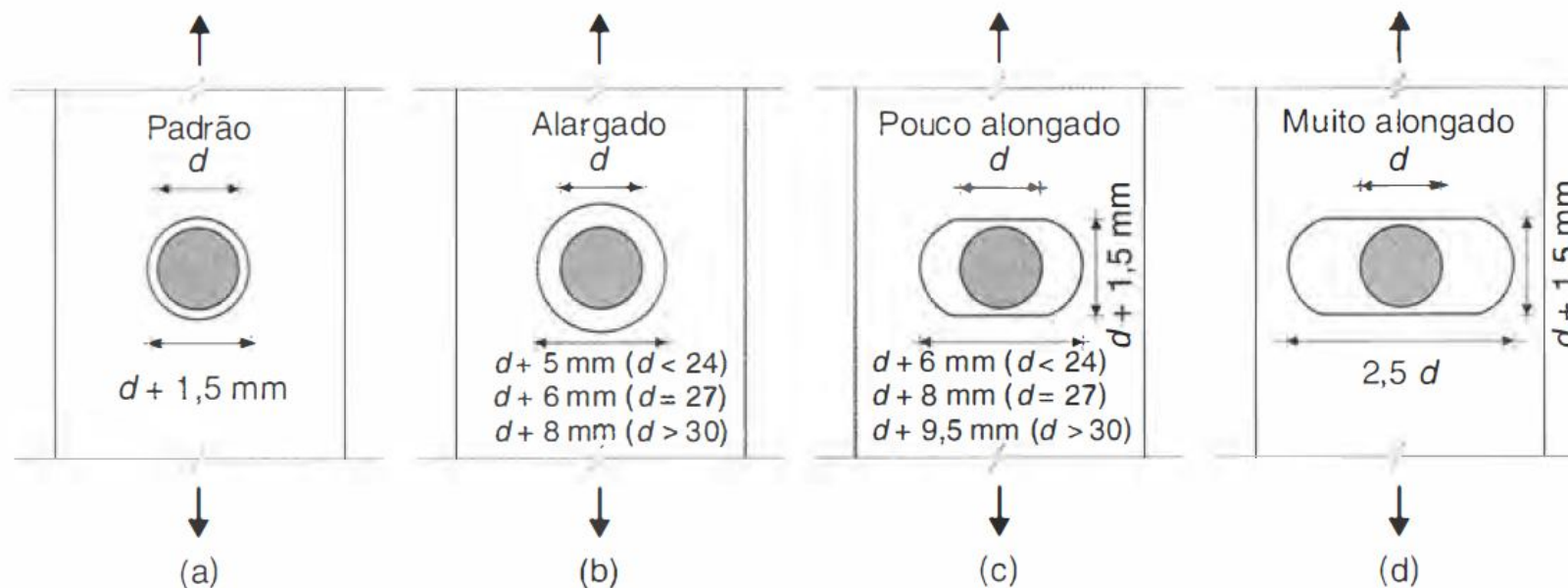


## DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

### Furação de chapas

O processo mais econômico de furar é o puncionamento no diâmetro definitivo, o que pode ser feito para espessura  $t$  de chapa até o diâmetro nominal do conector, mais 3,0 mm.

$$t \leq d + 3,0\text{mm}$$

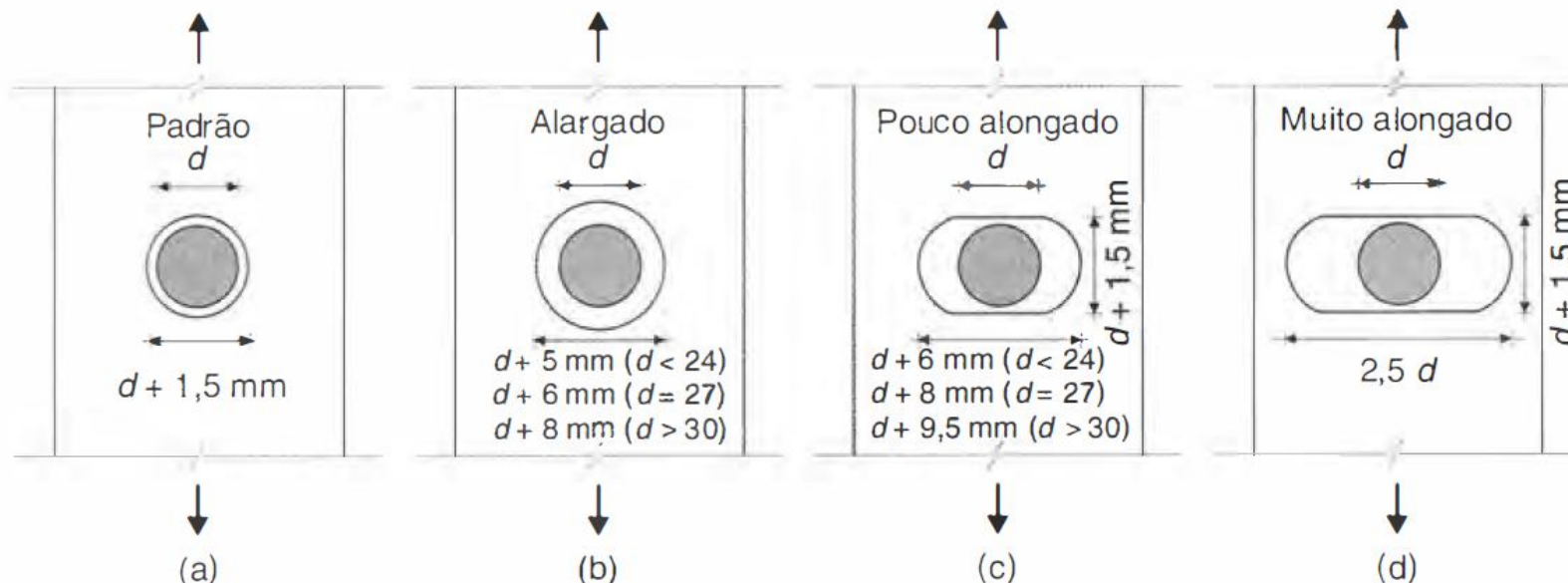


## DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

Para chapas mais grossas, os furos deverão ser abertos com broca ou por punção inicialmente com diâmetro de pelo menos 3 mm inferior ao definitivo e, posteriormente, alargados com broca.

Como o corte do furo por punção danifica uma parte do material da chapa, considera-se, para efeito do cálculo da seção líquida da chapa furada, um diâmetro fictício igual ao diâmetro do furo ( $d'$ ) acrescido de 2,0 mm.

$$\text{diâmetro fictício} = d' + 2 \text{ mm} = d + 3,5 \text{ mm}$$

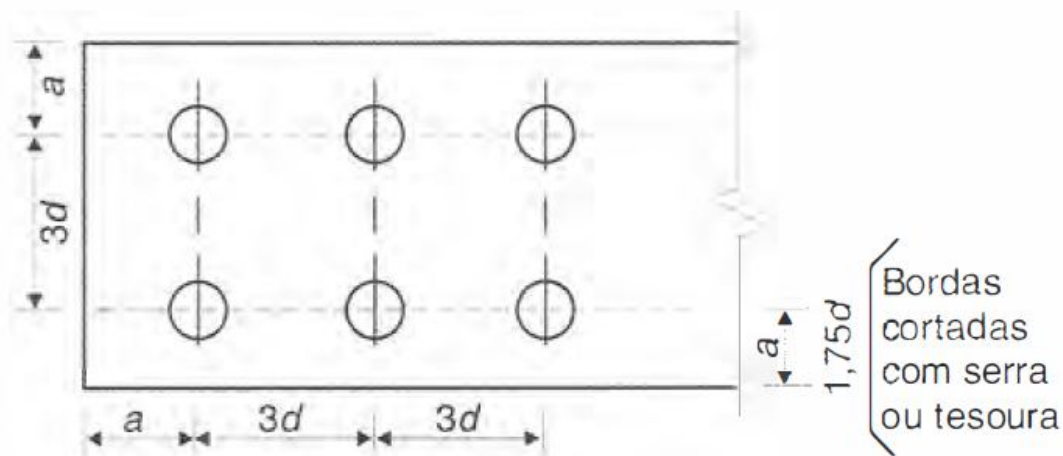


## ESPAÇAMENTOS DOS CONECTORES

Espaçamentos mínimos construtivos para furos do tipo padrão, de acordo com a NBR 8800.

Valor de  $a$  para bordos laminados ou cortados com maçarico

$d + 6 \text{ mm}$	$(d \leq 19 \text{ mm})$
$d + 7 \text{ mm}$	$(19 < d < 26 \text{ mm})$
$d + 9 \text{ mm}$	$(26 \leq d < 30 \text{ mm})$
$d + 10 \text{ mm}$	$(30 \leq d \leq 36 \text{ mm})$
$1,25d$	$(d > 36 \text{ mm})$



Espaçamentos construtivos mínimos recomendados para conectores, com furação-padrão

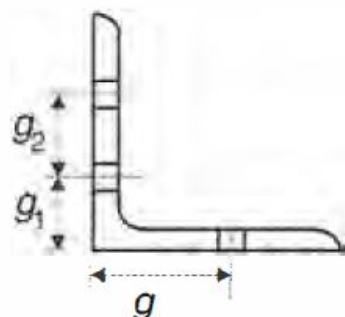
## ESPAÇAMENTOS DOS CONECTORES

Espaçamentos máximos entre conectores são utilizados para impedir penetração de água e sujeira nas interfaces. São dados em função da espessura  $t$  da chapa mais fina (**NBR 8800**).

- 24 t (<300 mm) para elementos pintados ou não sujeitos à corrosão.
- 14 t (<180 mm) para elementos sujeitos à corrosão, executados com aços resistentes à corrosão, não pintados.

## ESPAÇAMENTOS DOS CONECTORES

Padronização de espaçamentos: para otimizar o tempo de furação.



Aba	203	178	152	127	102	89	76	64
$g$	114	102	90	76	64	50	44	35
$g_1$	76	64	57	50				
$g_2$	76	76	64	44				

Nota: Dimensões em mm.

Exemplo de gabaritos de furação (padrão americano).

# RESISTÊNCIA DOS AÇOS UTILIZADO NOS CONECTORES

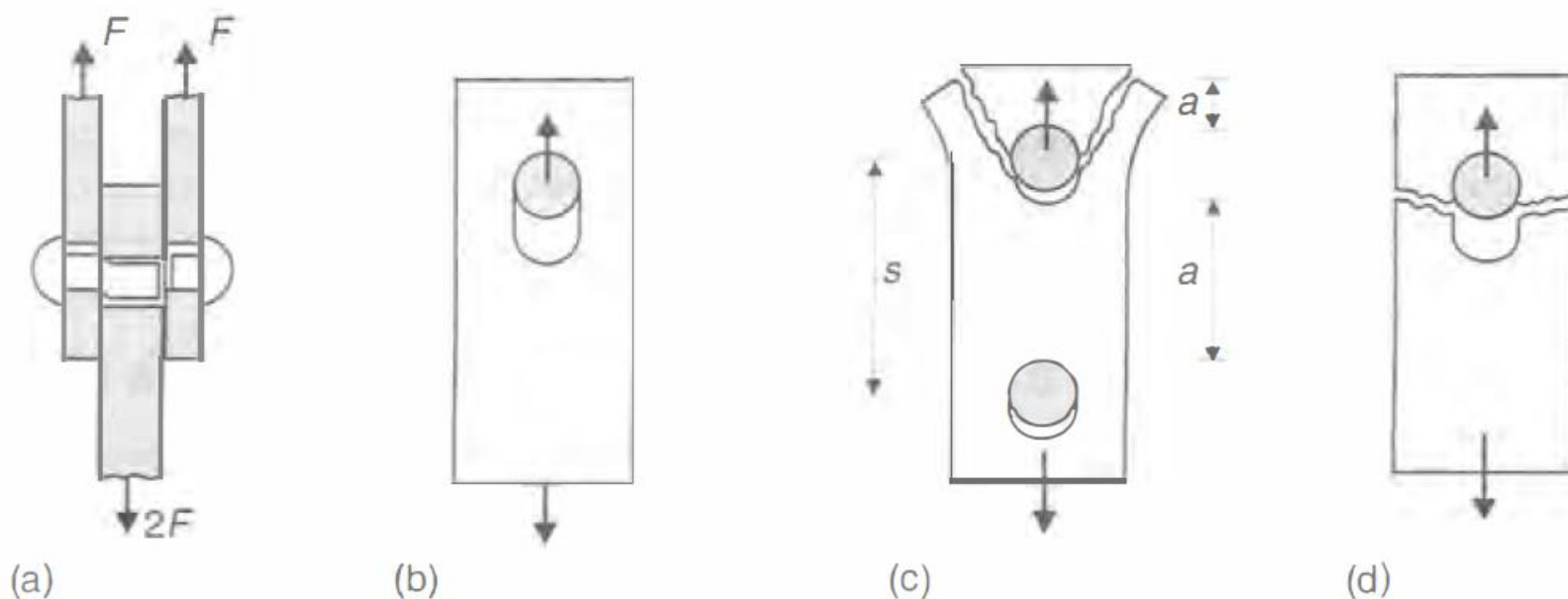
**Tabela 3.1** Propriedades Mecânicas dos Aços para Conectores

Tipo de conector		$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Rebites ASTM A502 ou EB-49	Grau 1		415
	Grau 2		525
Parafusos comuns ASTM A307	$d \leq 102 \text{ mm (4")}$		415
Parafusos de alta resistência ASTM A325	$12,7 \text{ mm (1/2")} \leq d \leq 25,4 \text{ mm (1")}$	635	825
	$25,4 \text{ mm (1")} \leq d \leq 38,1 \text{ mm (1 1/2")}$	560	725
Parafusos de alta resistência ASTM A490	$12,7 \text{ mm (1/2")} \leq d \leq 38,1 \text{ mm (1 1/2")}$	895	1035
Barras rosqueadas	ASTM A36	250	400
	ASTM A588	345	485



# RESISTÊNCIA DOS AÇOS UTILIZADO NOS CONECTORES

## Tipos de rupturas em ligações com conectores



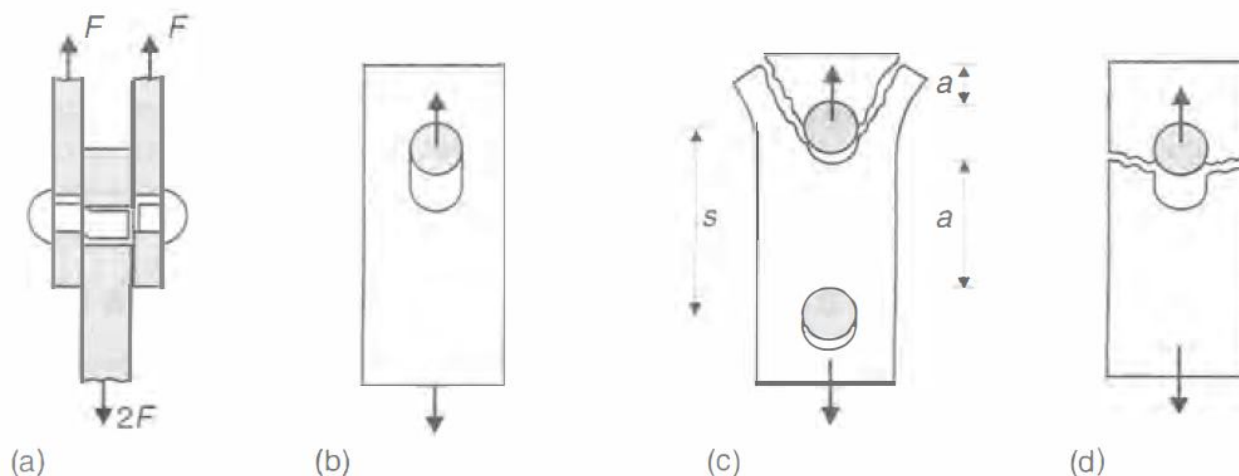
Modalidades de ruptura de uma ligação com conectores: (a) ruptura por corte do fuste do conector; (b) ruptura por ovalização do furo por plastificação local da chapa na superfície de apoio do fuste do conector; (c) ruptura por rasgamento da chapa entre o furo e a borda ou entre dois furos consecutivos; (d) ruptura por tração da chapa na seção transversal líquida.



# RESISTÊNCIA DOS AÇOS UTILIZADO NOS CONECTORES

## Tipos de rupturas em ligações com conectores

- Colapso do conector;
- Colapso por rasgamento da chapa ou ovalização do furo;
- Colapso por tração da chapa.



Modalidades de ruptura de uma ligação com conectores: (a) ruptura por corte do fuste do conector; (b) ruptura por ovalização do furo por plastificação local da chapa na superfície de apoio do fuste do conector; (c) ruptura por rasgamento da chapa entre o furo e a borda ou entre dois furos consecutivos; (d) ruptura por tração da chapa na seção transversal líquida.

# RESISTÊNCIA DOS AÇOS UTILIZADO NOS CONECTORES

## Dimensionamento a Corte dos Conectores

A resistência de projeto de conectores a corte é dada por:

$$\frac{R_{nv}}{\gamma_{a2}}$$

$$\gamma_{a2} = 1,35$$

Para solicitações originadas de combinações normais de ações

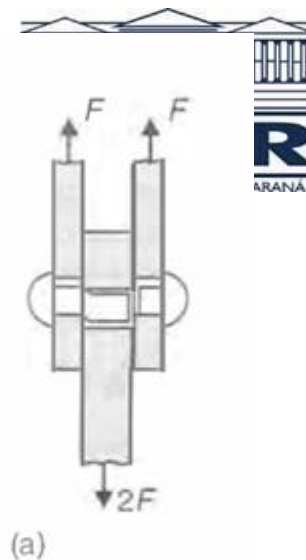
$$R_{nv}$$

Resistência nominal para um plano de corte.

A resistência ao corte é calculada com a tensão de ruptura do aço sob cisalhamento:

$$0,6 f_u$$

Onde  $f_u$  é a tensão de ruptura à tração do aço do conector.



# RESISTÊNCIA DOS AÇOS UTILIZADO NOS CONECTORES

## Parafusos em Geral e Barras Rosqueadas

$$R_{nv} = (0,7 A_g)(0,6 f_u) \cong 0,40 A_g f_u$$

## Parafusos de Alta Resistência (A325,A490) com rosca fora do plano de corte

$$R_{nv} = 0,50 A_g f_u$$

Onde  $f_u$  é a tensão de ruptura à tração do aço do conector.

## Parafusos e barras rosqueadas

$$R_{nt} = 0,75 A_g f_u$$

$A_g$

Área bruta da seção

$R_{nt}$

Resistência nominal à tração

# RESISTÊNCIA DOS AÇOS UTILIZADO NOS CONECTORES

## Dimensionamento a tração e Corte simultâneos

$$\left( \frac{V_d}{R_{nv} / \gamma_{a2}} \right)^2 + \left( \frac{T_d}{R_{nt} / \gamma_{a2}} \right)^2 \leq 1,0$$

Onde

$$V_d \text{ e } T_d$$

São os esforços de corte e de tração de projeto nos parafusos

$$R_{nv} \text{ e } R_{nt}$$

As resistências a corte e tração.

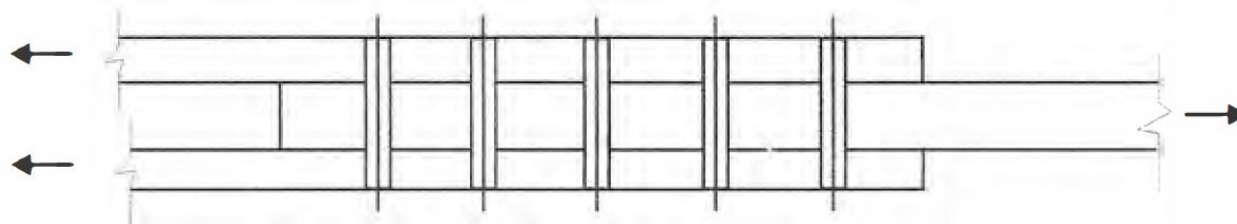
# DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS ENTRE CONECTORES EM ALGUNS TIPOS DE LIGAÇÕES



## Ligação axial por corte

Para deformações em regime elástico, os primeiros conectores em carga absorvem as maiores parcelas de esforços.

Com o aumento dos esforços, os conectores mais solicitados sofrem deformações plásticas, transferindo-se os esforços adicionais para os conectores intermediários, resultando em uma distribuição aproximadamente uniforme de esforços entre os conectores.



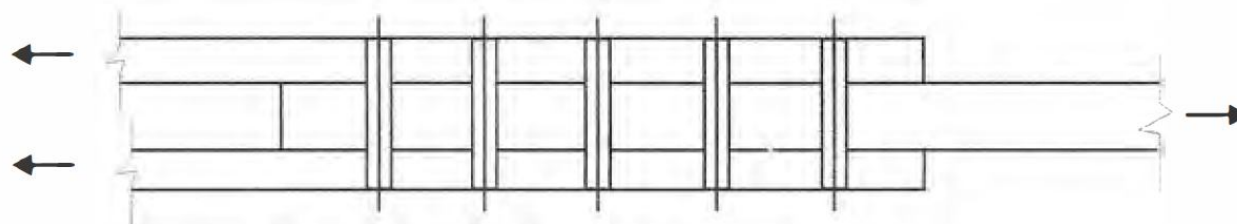
# DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS ENTRE CONECTORES EM ALGUNS TIPOS DE LIGAÇÕES



## Ligação axial por corte

Se a ligação for longa, poderá ocorrer ruptura dos conectores de extremidade antes de atingida a uniformidade dos esforços nos conectores, reduzindo a resistência da ligação por conector.

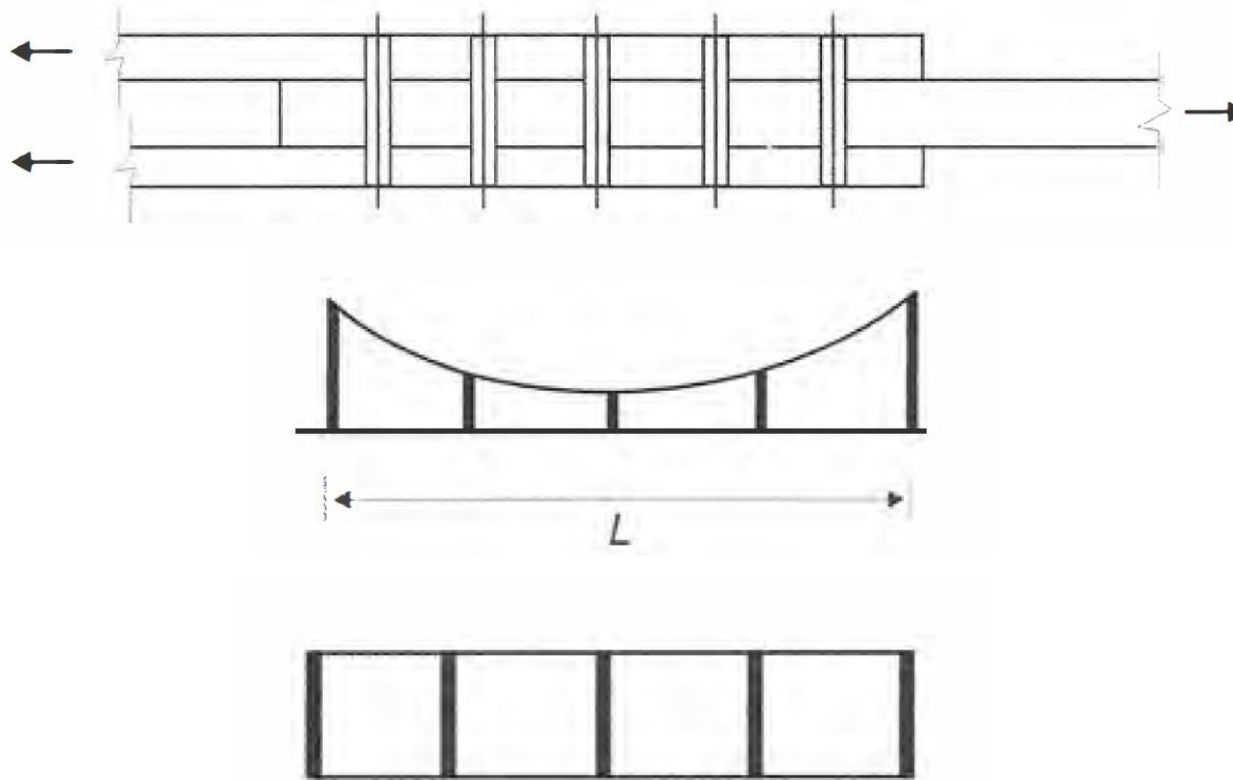
De acordo com a norma NBR 8800, se  $L > 1270$  mm a força solicitante deve ser multiplicada por 1,25 para levar em conta a distribuição não uniforme de esforços entre os parafusos.



# DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS ENTRE CONECTORES EM ALGUNS TIPOS DE LIGAÇÕES

## Ligação axial por corte

De acordo com a norma NBR 8800, se  $L > 1270$  mm a força solicitante deve ser multiplicada por 1,25 para levar em conta a distribuição não uniforme de esforços entre os parafusos.

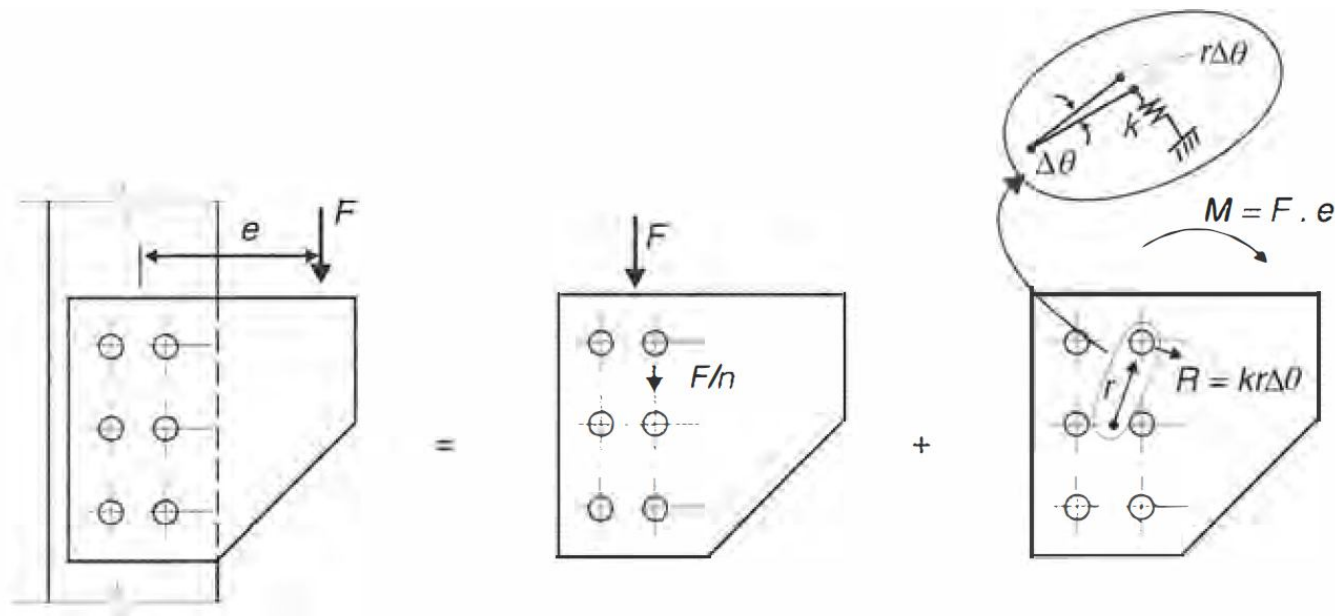




# DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS ENTRE CONECTORES EM ALGUNS TIPOS DE LIGAÇÕES

## Ligação excêntrica por corte

Os parafusos ficam submetidos apenas ao corte..



Carga centrada  $F$  se admite igualmente distribuída entre os conectores.

$$\boxed{F / n}$$

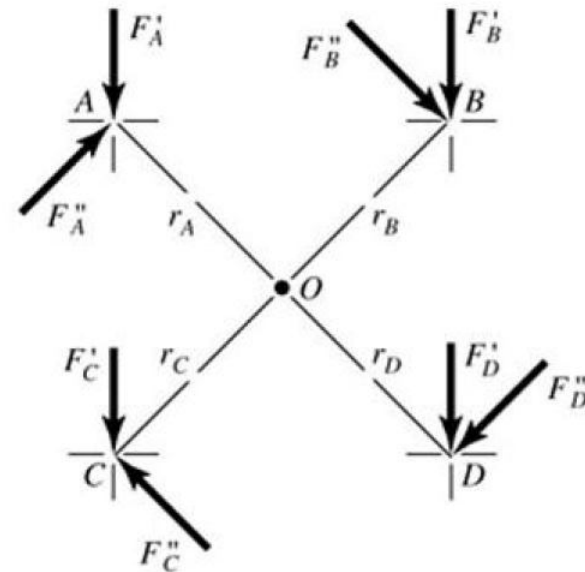
# DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS ENTRE CONECTORES EM ALGUNS TIPOS DE LIGAÇÕES

## Ligação excêntrica por corte

Relembrar Elementos de Máquinas II

- A resultante das forças que atuam em cada pino/parafuso pode ser determinada analítica ou graficamente.

$$F_n'' = \frac{M \cdot r_n}{r_A^2 + r_B^2 + r_C^2 + \dots}$$



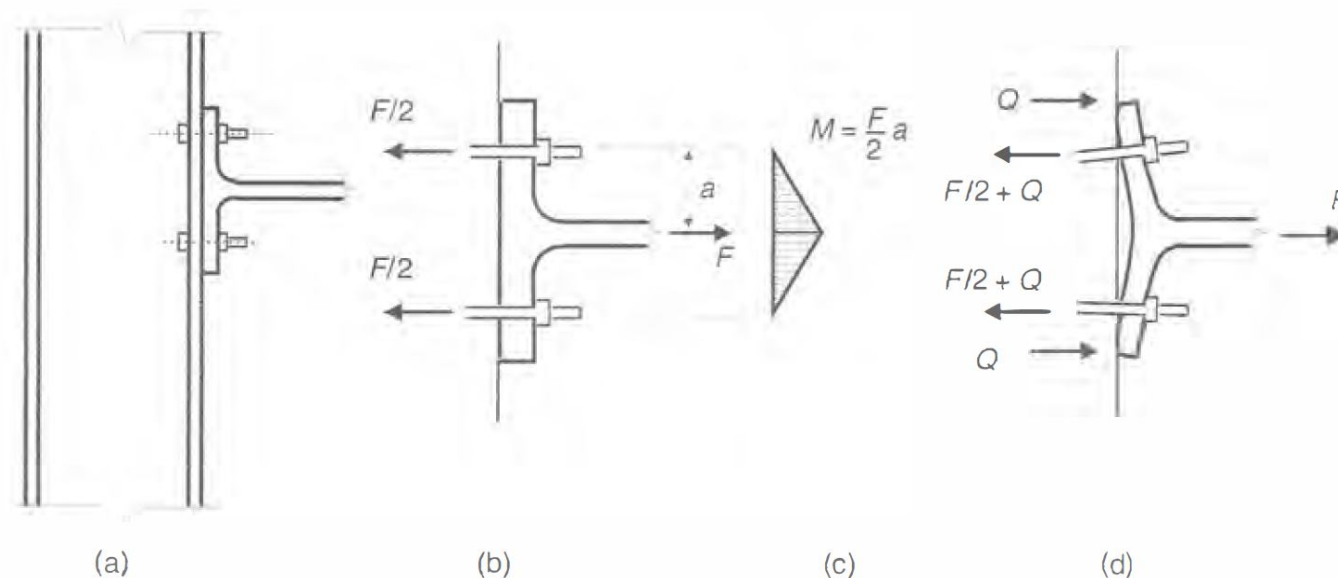
# DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS ENTRE CONECTORES EM ALGUNS TIPOS DE LIGAÇÕES

## Ligação a tração

A distribuição de forças nos parafusos depende da rigidez à flexão do flange.

Na figura a seguir o flange é suficientemente rígido e os parafusos ficam sujeitos à tração pura, enquanto o flange fica sujeito ao momento fletor.

Porém, se a deformação do flange não puder ser desprezada, o parafuso fica submetido à tração e à flexão devido ao efeito de alavanca.



**Fig. 3.14** Ligação com parafuso sujeito à tração, sem e com deformação dos elementos da ligação.

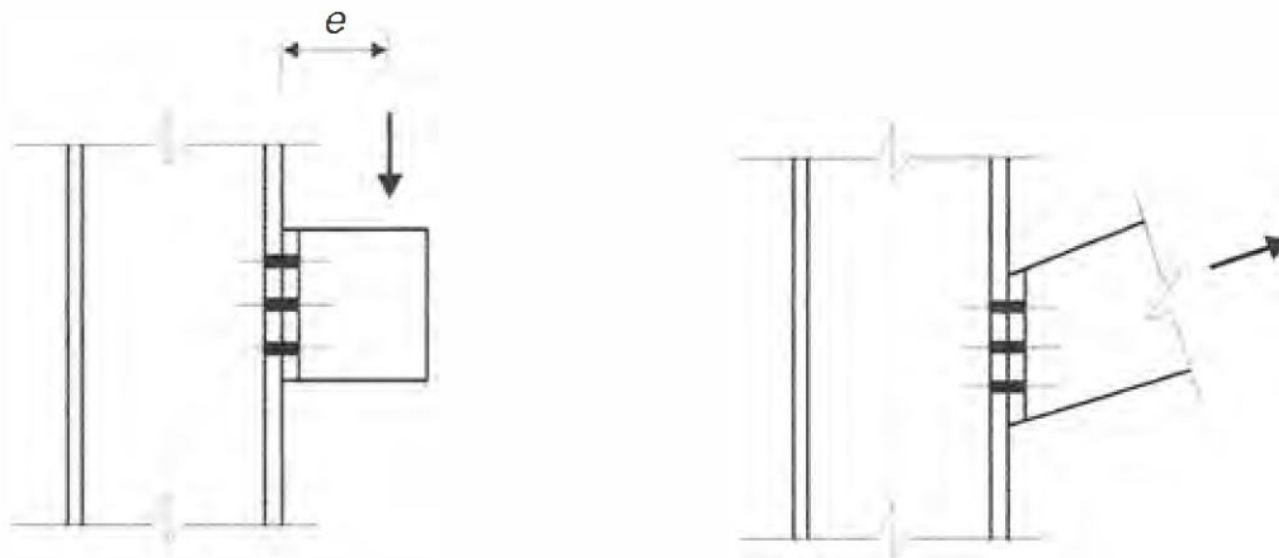
# DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS ENTRE CONECTORES EM ALGUNS TIPOS DE LIGAÇÕES

## Ligação com corte e tração nos conectores

A força que produz corte pode ser distribuída igualmente entre eles.

A distribuição de esforços devidos ao momento depende do tipo de ligação.

Tração nos parafusos superiores e compressão entre as chapas na parte inferior.



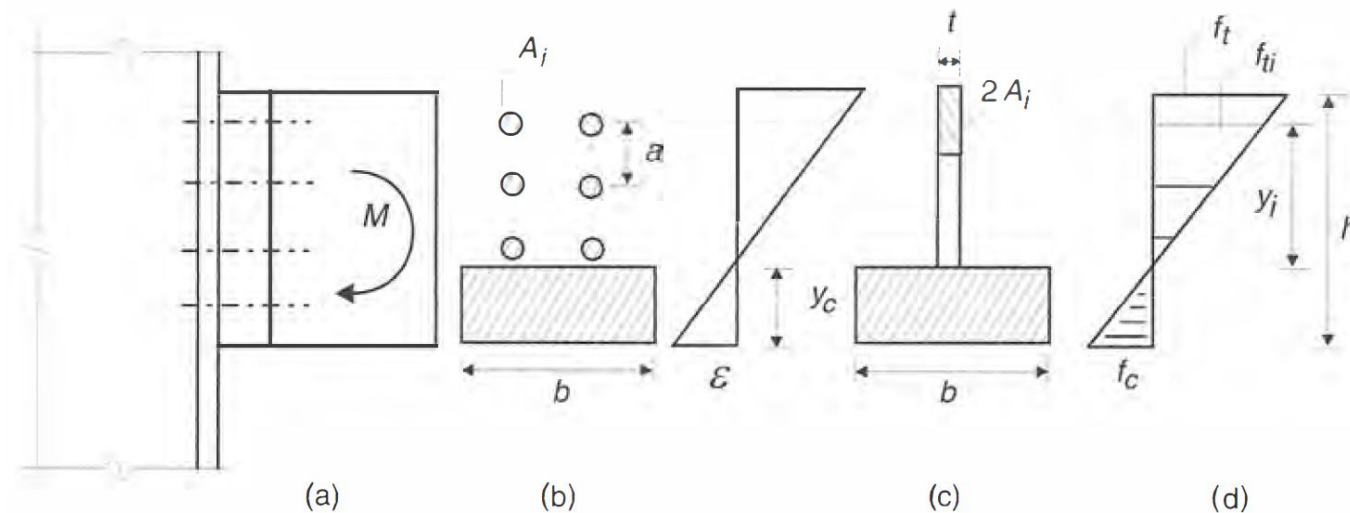
# DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS ENTRE CONECTORES EM ALGUNS TIPOS DE LIGAÇÕES

## Ligação com corte e tração nos conectores

A força que produz corte pode ser distribuída igualmente entre eles.

A distribuição de esforços devidos ao momento depende do tipo de ligação.

Tração nos parafusos superiores e compressão entre as chapas na parte inferior.



**Fig. 3.15** Ligação com rebites ou parafusos comuns sujeitos a corte e tração.

# DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS ENTRE CONECTORES EM ALGUNS TIPOS DE LIGAÇÕES



## Ligação com corte e tração nos conectores

Supõe-se que o diagrama de tensões seja linear

$$I = \frac{by_c^3}{3} + \frac{t}{3}(h - y_c)^3$$

Tensão no parafuso mais solicitado:

$$f_{ti} = \frac{M}{I} y_t$$