



# ESTRUTURAS METÁLICAS

## LIGAÇÕES PARAFUSADAS (NBR 8800/2008)

Maj Moniz de Aragão

|    |                                               |        |
|----|-----------------------------------------------|--------|
| 1. | Resistência dos parafusos                     | pág 06 |
| 2. | Área bruta e área efetiva à tração            | 09     |
| 3. | Resistência de cálculo à tração               | 09     |
| 4. | Resistência de cálculo à força cortante       | 17     |
| 5. | Interação de tração com cisalhamento          | 18     |
| 6. | Resistência à pressão de contato em furos     | 19     |
| 7. | Espaçamento entre furos e entre furo e borda  | 36     |
| 8. | Resistência de cálculo em ligações por atrito | 40     |
| 9. | Colapso por rasgamento                        | 43     |

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## Vantagens

- Permitem montagens mais rápidas e de inspeção fácil;
- Permitem desmontagens para alteração e reparo;
- Economia de energia;
- Menor MDO (não qualificada);
- Boa resposta à fadiga;

## Desvantagens

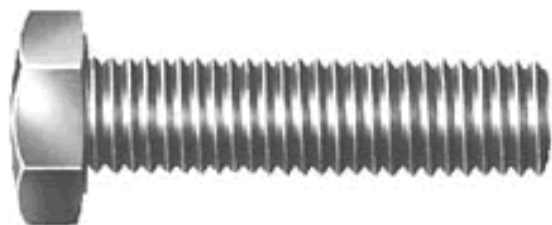
- Áreas líquidas → reforço
- Necessidade de pré-montagem
- Dificuldade para modificações

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

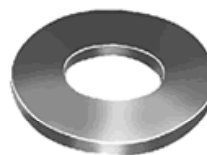
Descrição Geral dos Parafusos:



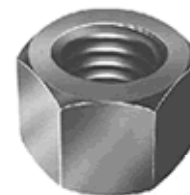
Parafuso Sextavado  
rosca parcial



Parafuso Sextavado  
rosca inteira



**Arruela**



**Porca**

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Descrição Geral dos Parafusos:

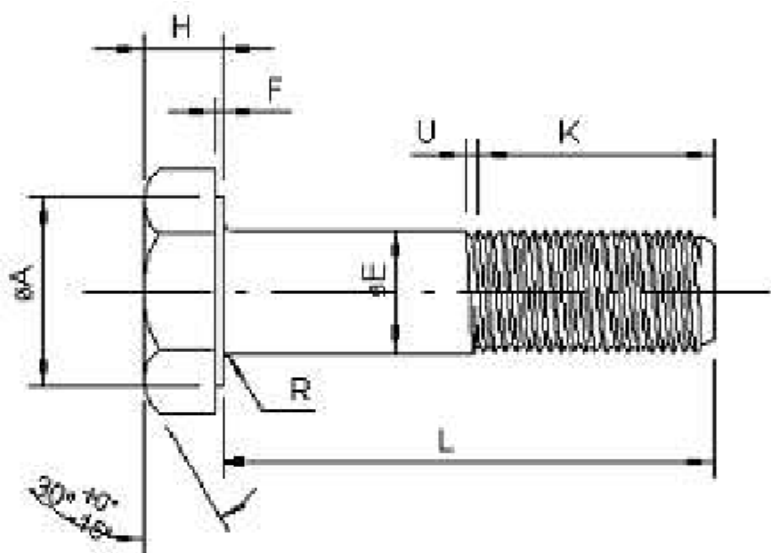
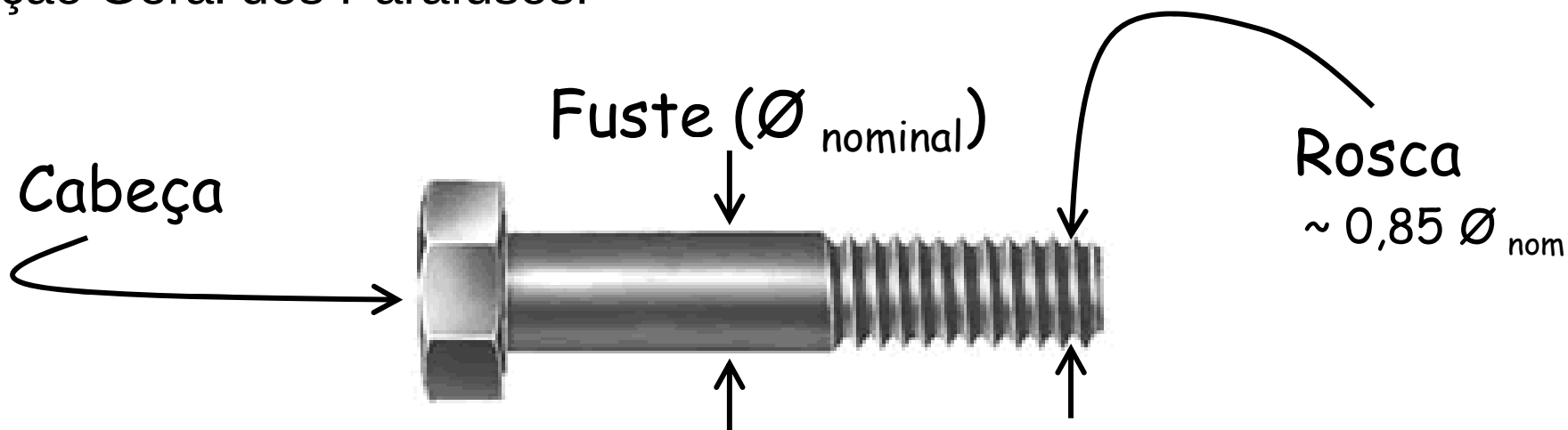


Fig. 4.1 Representação das dimensões.

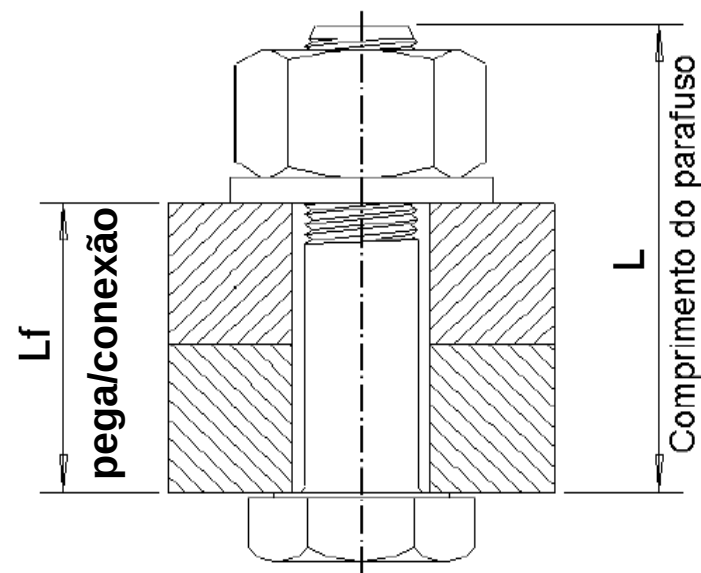
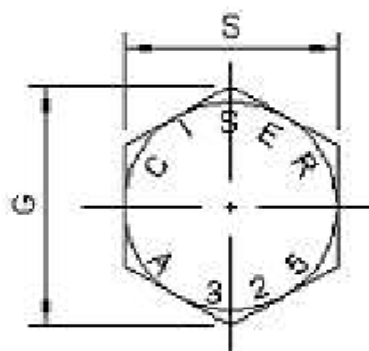
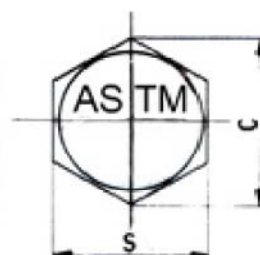
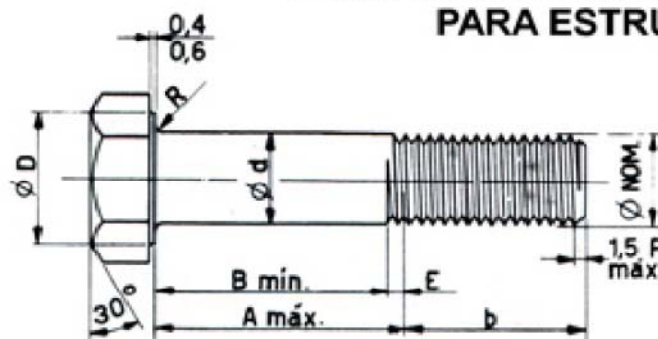


Fig. 4.2 Representação do comprimento

# PARAFUSOS ASTM A-325

## PARAFUSOS DE ALTA RESISTÊNCIA PARA ESTRUTURAS



**ASTM-A-325  
OU A-490  
ANSI B 18.2.1**

| NOMINAL        |          | 1/2       | 5/8   | 3/4         | 7/8   | 1"          | 1.1/8       | 1.1/4 | 1.3/8 | 1.1/2 |
|----------------|----------|-----------|-------|-------------|-------|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| Fios/Polegadas |          | 13        | 11    | 10          | 9     | 8           | 7           | 7     | 6     | 6     |
| d              | min.     | 12,24     | 15,37 | 18,52       | 21,64 | 24,79       | 27,89       | 31,06 | 34,16 | 37,34 |
|                | max.     | 13,08     | 16,30 | 19,51       | 22,73 | 25,96       | 29,18       | 32,43 | 35,66 | 38,89 |
| S              | min.     | 21,6      | 26,2  | 30,8        | 35,4  | 40,0        | 44,6        | 49,3  | 53,8  | 58,4  |
|                | max.     | 22,2      | 27,0  | 31,7        | 36,5  | 41,3        | 46,0        | 50,8  | 55,6  | 60,3  |
| H              | min.     | 7,7       | 9,6   | 11,6        | 13,5  | 15,0        | 16,7        | 19,1  | 20,6  | 22,9  |
|                | max.     | 8,2       | 10,2  | 12,3        | 14,3  | 15,9        | 18,2        | 20,6  | 22,3  | 24,7  |
| C              | min.     | 24,6      | 29,8  | 35,1        | 40,4  | 45,6        | 50,9        | 56,1  | 61,4  | 66,6  |
|                | max.     | 25,6      | 31,2  | 36,6        | 42,2  | 47,6        | 53,2        | 58,6  | 64,2  | 69,6  |
| D              | min.     | 20,0      | 24,4  | 28,5        | 32,9  | 37,1        | 41,4        | 45,8  | 50,0  | 54,2  |
|                | max.     | 21,1      | 25,7  | 30,1        | 34,7  | 39,2        | 43,7        | 48,3  | 52,8  | 57,3  |
| R              | min.     | 0,3       | 0,6   | 0,6         | 0,8   | 1,6         | 1,6         | 1,6   | 1,6   | 1,6   |
|                | max.     | 0,8       | 1,6   | 1,6         | 1,6   | 2,3         | 2,3         | 2,3   | 2,3   | 2,3   |
| b              | básico   | 25,4      | 31,7  | 35,0        | 38,1  | 44,5        | 50,8        | 50,8  | 57,2  | 57,2  |
| E              | max.     | 4,8       | 5,6   | 6,3         | 7,1   | 7,9         | 8,6         | 9,6   | 11,2  | 11,2  |
| tolerância     | menor 6" | + 0 / -3  |       | + 0 / - 4,7 |       |             | + 0 / - 6,3 |       |       |       |
| para L         | maior 6" | + 0 - 4,7 |       |             |       | + 0 / - 6,6 |             |       |       |       |



# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## Resistência dos Parafusos

**Tabela A.3 — Materiais usados em parafusos**

| Especificação                                                                                                                    | $f_{yb}$<br>MPa | $f_{ub}$<br>MPa | Diâmetro $d_b$        |                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|----------------------------------|
|                                                                                                                                  |                 |                 | mm                    | pol                              |
| ASTM A307                                                                                                                        | -               | 415             | -                     | $1/2 \leq d_b \leq 4$            |
| ISO 898-1 Classe 4.6                                                                                                             | 235             | 400             | $12 \leq d_b \leq 36$ | -                                |
| ASTM A325 <sup>a</sup>                                                                                                           | 635             | 825             | $16 \leq d_b \leq 24$ | $1/2 \leq d_b \leq 1$            |
|                                                                                                                                  | 560             | 725             | $24 < d_b \leq 36$    | $1 < d_b \leq 1\frac{1}{2}$      |
| ISO 4016 Classe 8.8                                                                                                              | 640             | 800             | $12 \leq d_b \leq 36$ | -                                |
| ASTM A490                                                                                                                        | 895             | 1035            | $16 \leq d_b \leq 36$ | $1/2 \leq d_b \leq 1\frac{1}{2}$ |
| ISO 4016 Classe 10.9                                                                                                             | 900             | 1000            | $12 \leq d_b \leq 36$ | -                                |
| <sup>a</sup> Disponíveis também com resistência à corrosão atmosférica comparável à dos aços AR 350 COR ou à dos aços ASTM A588. |                 |                 |                       |                                  |

# Cálculo do Parafuso

## Resistências de cálculo – NBR 8800:2008

7

Força resistente de cálculo de parafusos

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

| Combinações                | Aço estrutural, pinos e parafusos ( $\gamma_a$ ) |                           |
|----------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------|
|                            | Escoamento e Instabilidade ( $\gamma_{a1}$ )     | Ruptura ( $\gamma_{a2}$ ) |
| Normais                    | 1,10                                             | 1,35                      |
| Especiais ou de construção | 1,10                                             | 1,35                      |
| Excepcionais               | 1,00                                             | 1,15                      |

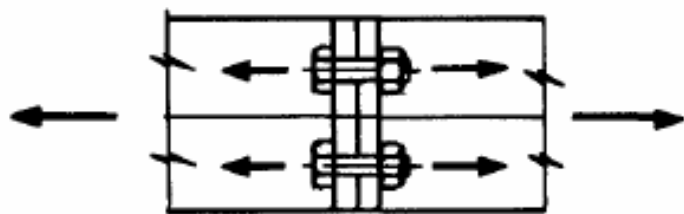
$f_d$  - resistência de cálculo ou projeto

$f_k$  - resistência característica

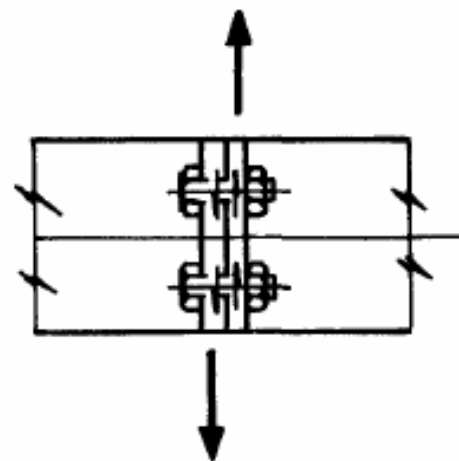
$\gamma_m$  - coeficiente de ponderação

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Classificação quanto à solicitação:



(a) TRAÇÃO NOS PARAFUSOS



(b) CISALHAMENTO NOS PARAFUSOS



# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

item 6.3 - NBR 8800:2008

**Área bruta e efetiva para tração:**

$$A_{be} = 0,75 \cdot A_b \quad A_b = \frac{\pi d_b^2}{4}$$

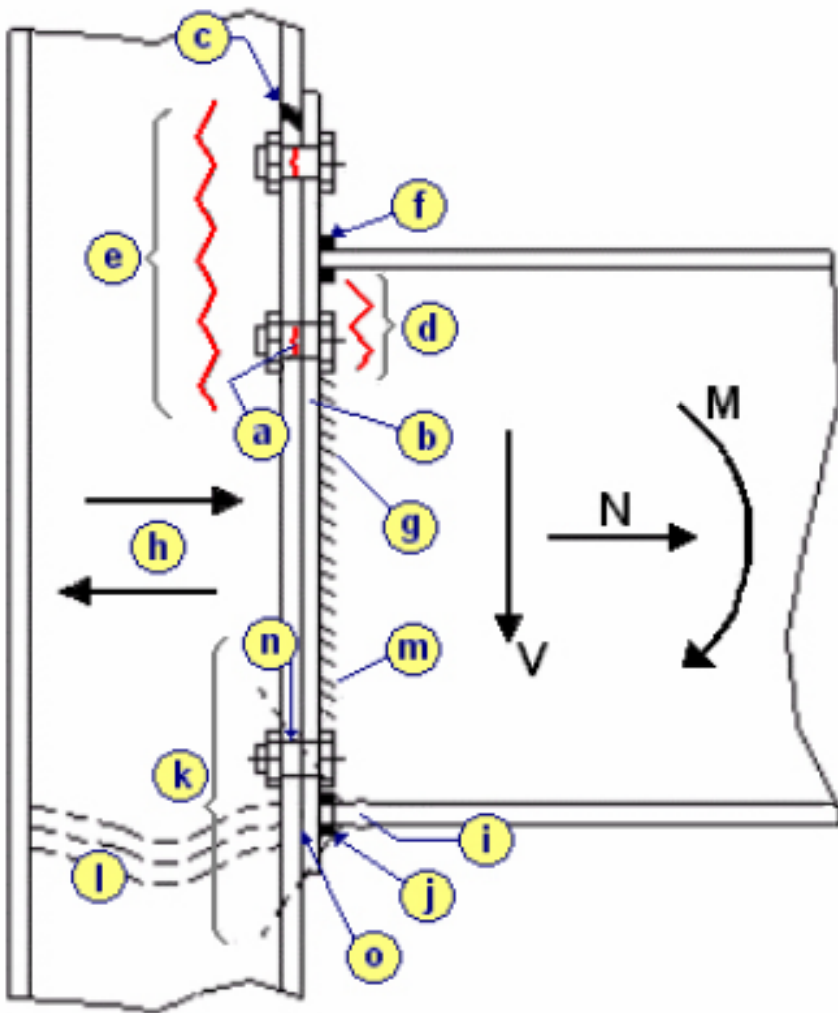
$d_b$  – diâmetro nominal (externo) do parafuso

**Força resistente de cálculo à tração:**

$$F_{t,R_d} = R_d = \frac{A_{be} f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

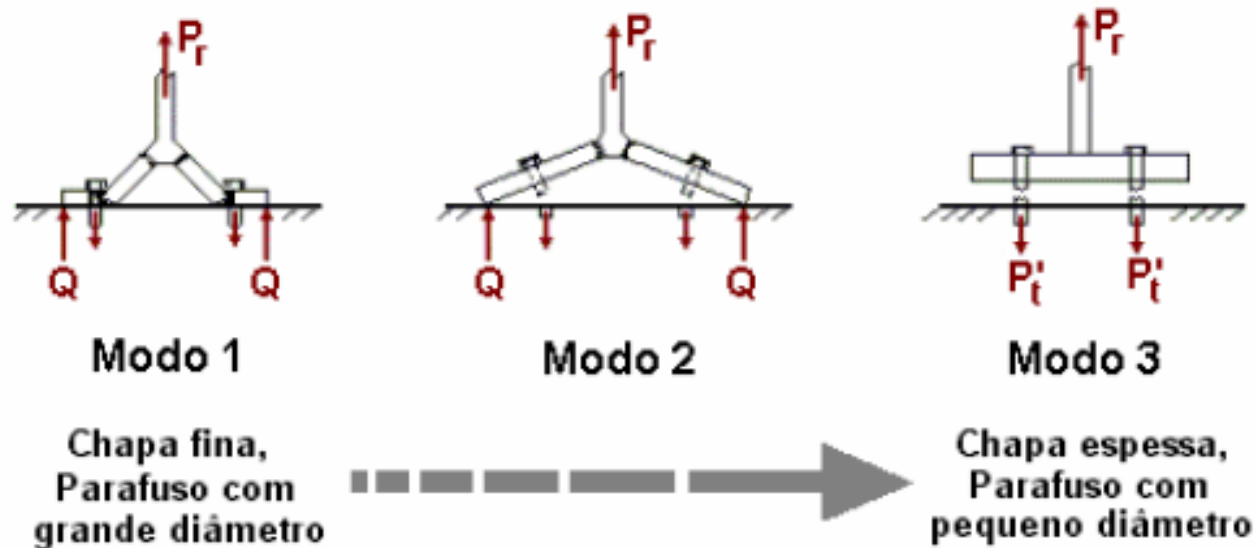
Exemplo de verificações: **ligação rígida pilar-viga**



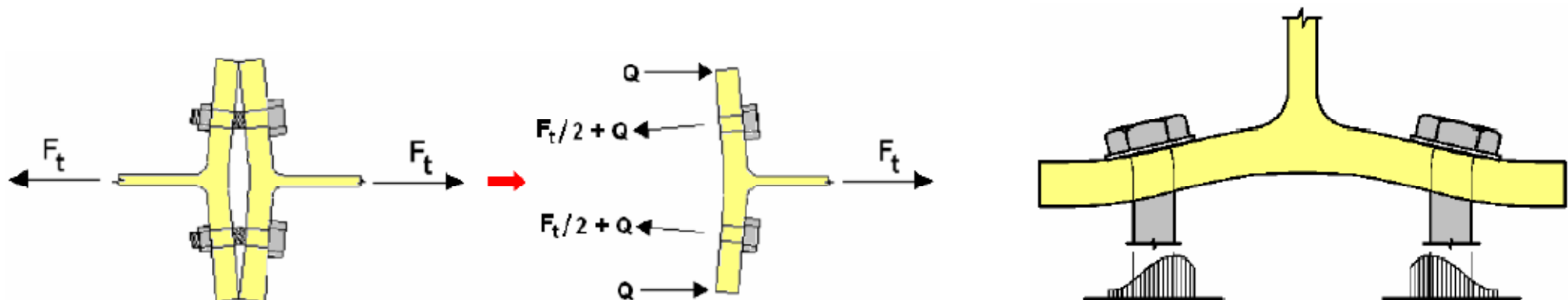
| Região                  | Ref. fig. 3.2 | Verificação                             |
|-------------------------|---------------|-----------------------------------------|
| Tracionada              | <i>a</i>      | Tração nos parafusos                    |
|                         | <i>b</i>      | Flexão da chapa de topo                 |
|                         | <i>c</i>      | Flexão da mesa do pilar                 |
|                         | <i>d</i>      | Tração na alma da viga                  |
|                         | <i>e</i>      | Tração na alma do pilar                 |
|                         | <i>f</i>      | Solda mesa/chapa de topo                |
|                         | <i>g</i>      | Solda alma/chapa de topo                |
| Cisalhamento Horizontal | <i>h</i>      | Cisalhamento no painel de alma do pilar |
| Comprimida              | <i>i</i>      | Mesa da viga                            |
|                         | <i>j</i>      | Solda mesa/chapa de topo                |
|                         | <i>k</i>      | Enrugamento da alma do pilar            |
|                         | <i>l</i>      | Flambagem da alma do pilar              |
| Cisalhamento Vertical   | <i>m</i>      | Solda alma/chapa de topo                |
|                         | <i>n</i>      | Cisalhamento nos parafusos              |
|                         | <i>o</i>      | Pressão de contato (mesa ou chapa)      |

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Colapso por tração:



“efeito alavanca”:



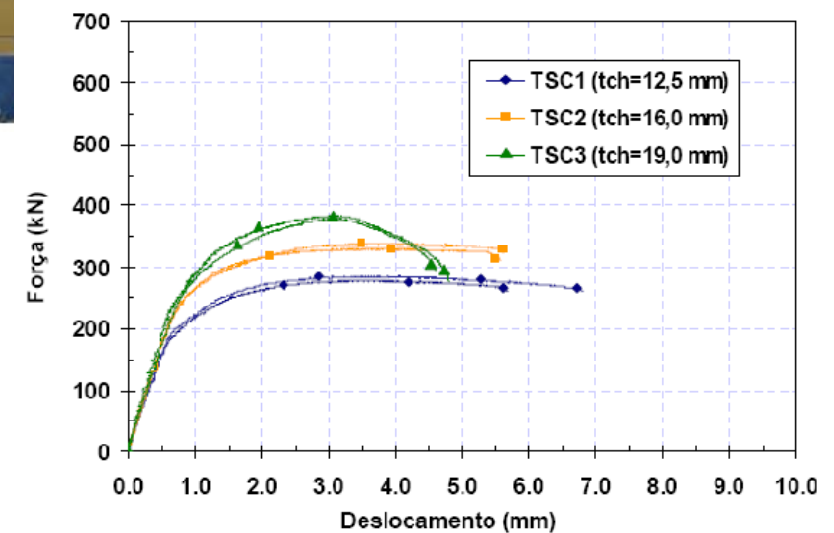
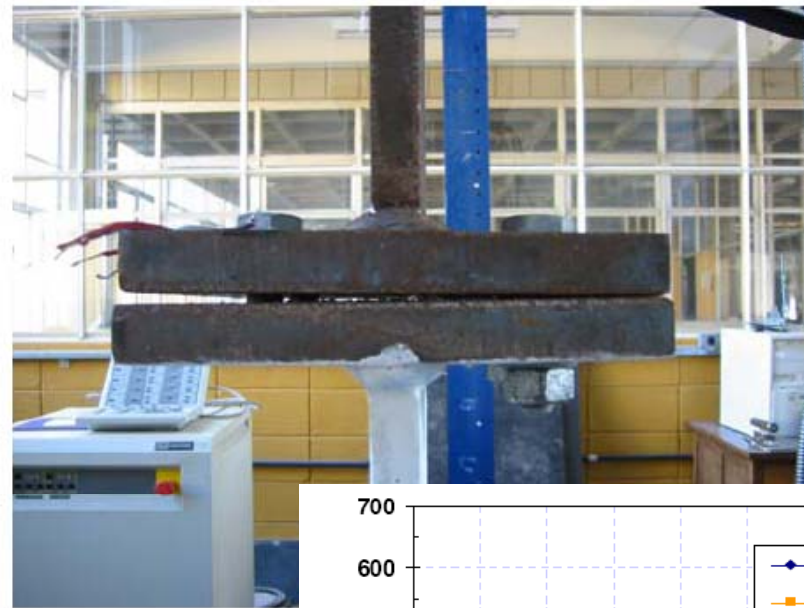
# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Colapso por tração nos parafusos:

ruptura do parafuso x espessura da mesa



“efeito alavanca”



# EFEITO ALAVANCA

## NBR 8800:2008 item 6.3.5

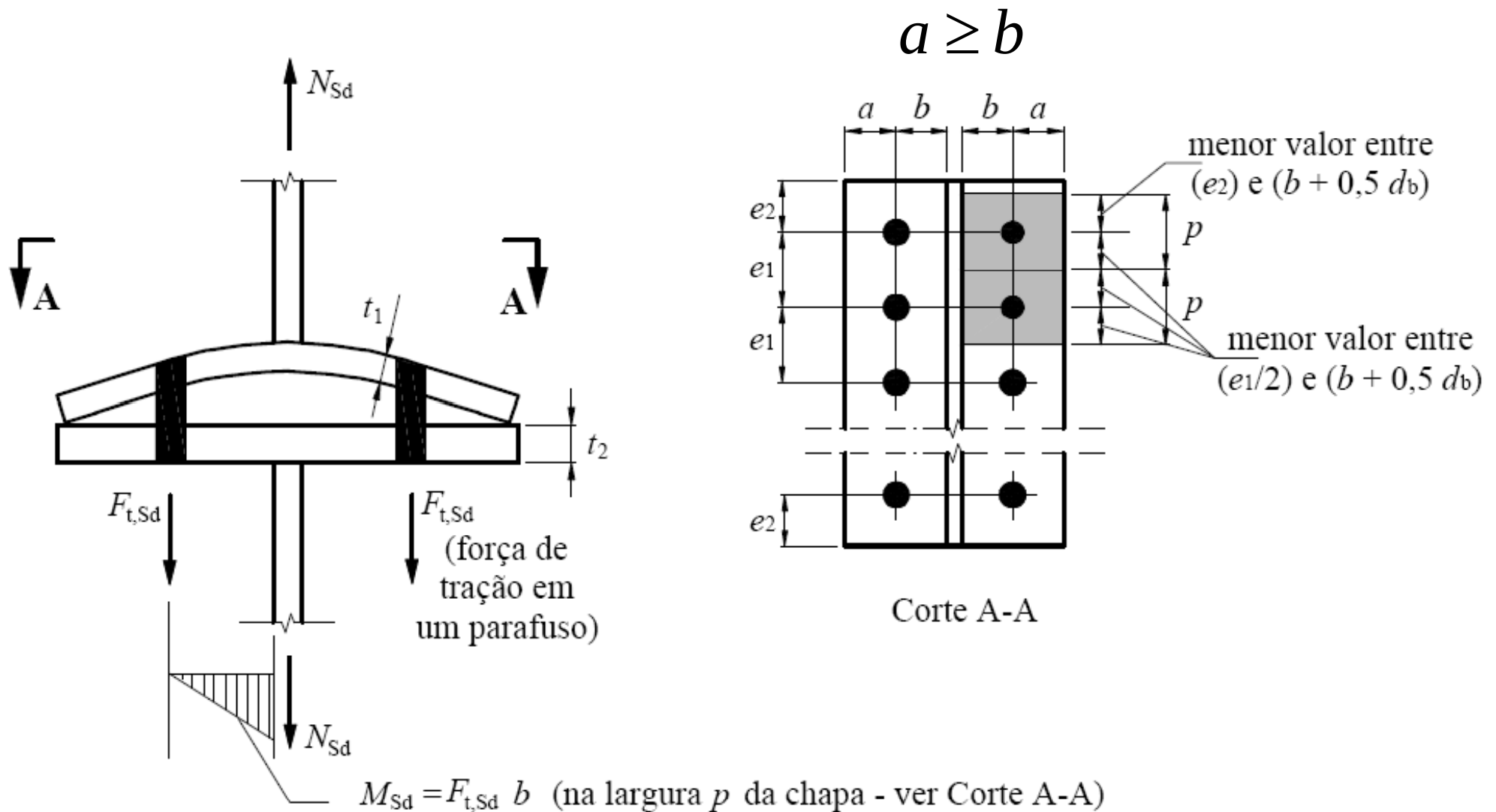


Figura 17 – NBR 8800

# EFEITO ALAVANCA

## NBR 8800:2008 item 6.3.5

Na determinação das espessuras  
 $t_1$  e  $t_2$  das partes ligadas:

Momento resistente plástico  
 $Z f_y$



$$F_{t,Rd} \leftarrow 0,67 \cdot F_{t,Rd}$$

ou...

Momento resistente elástico  
 $W f_y$

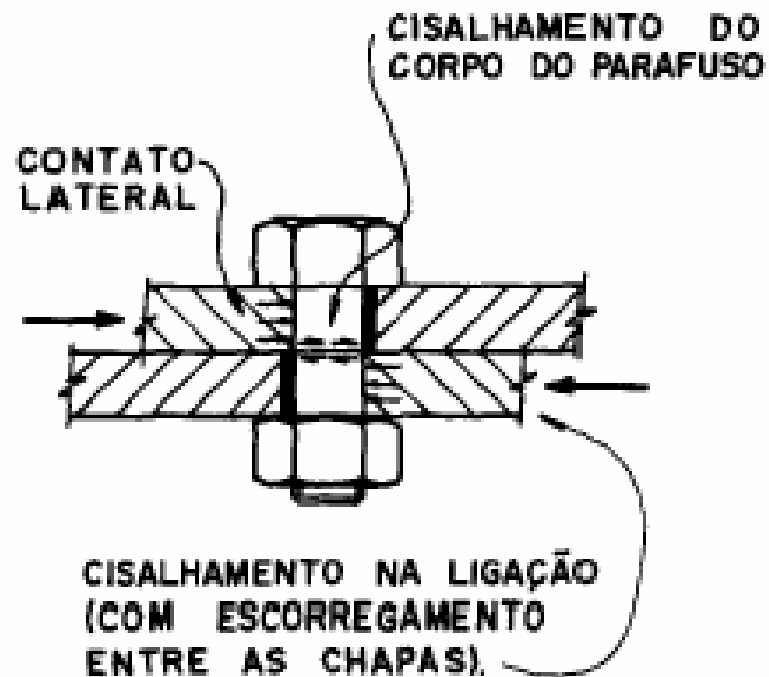


$$F_{t,Rd} \leftarrow 0,75 \cdot F_{t,Rd}$$

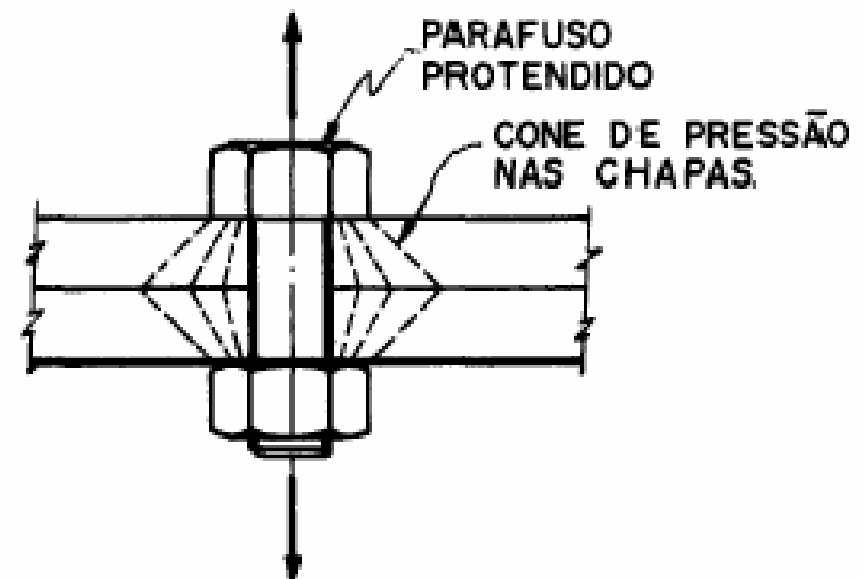
# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Ligações de cisalhamento

Ligações por contato:



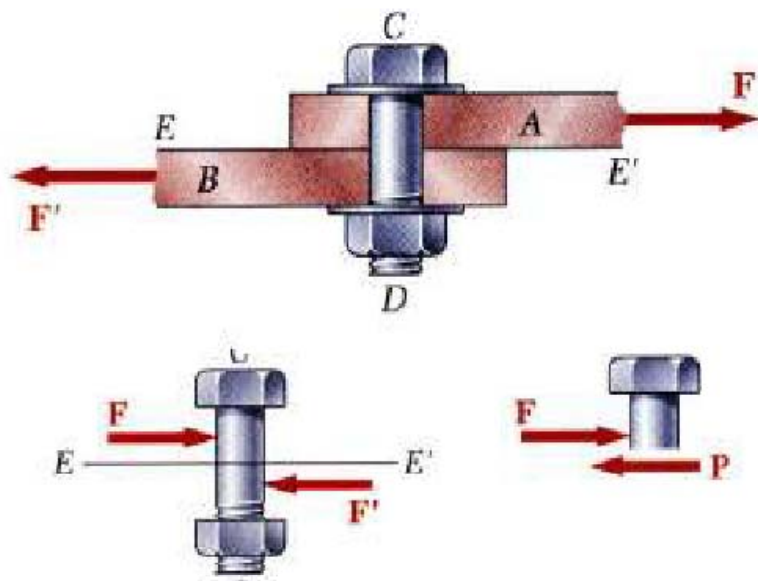
Ligações por atrito:



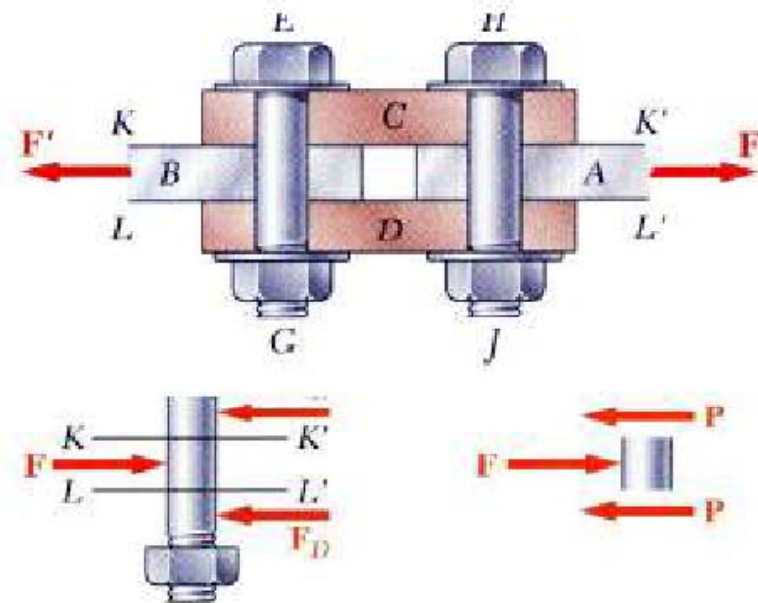
# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Ligações por contato:

Cisalhamento Simples



Cisalhamento Duplo





# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Resistência de Cálculo devido ao **corte do parafuso**

Item 6.3.3.2 – NBR 8800

$$R_d = \begin{cases} 0,4 \frac{A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}} & \text{parafusos A307, barras rosqueadas e parafusos A325N (corte na rosca)} \\ 0,5 \frac{A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}} & \text{A325X (corte no fuste)} \end{cases}$$

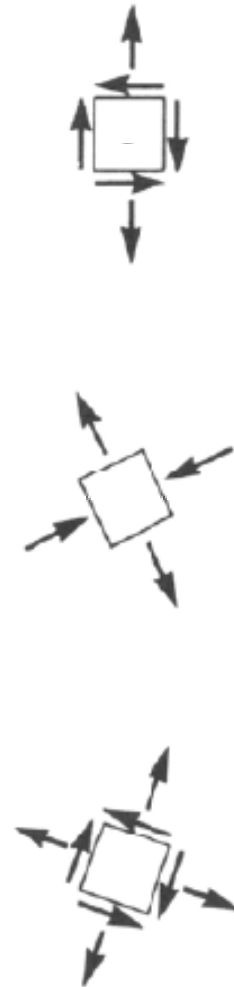
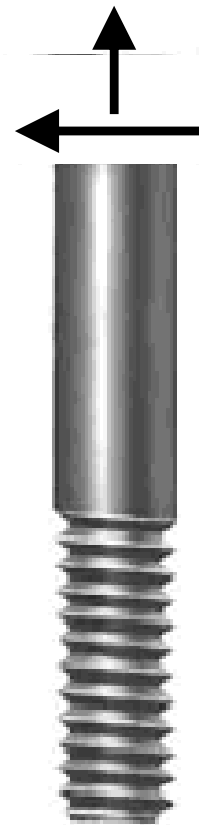
# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## Interação de **Tração com Cisalhamento**

Item 6.3.3.4 – NBR 8800

Tração com Cisalhamento:

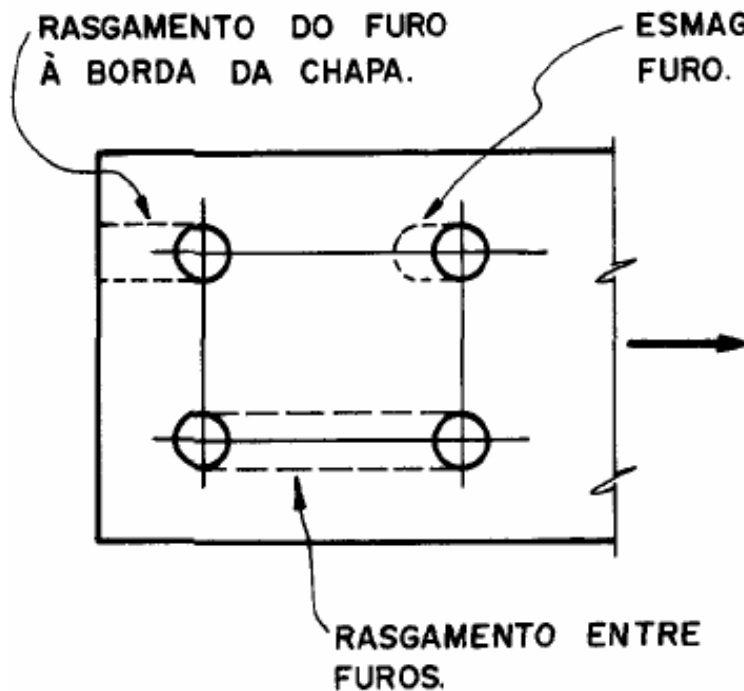
$$\left( \frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1,0$$



# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Resistência à **pressão de contato em furos** (item 6.3.3.3)

Pressão de contato na parede de um furo (longitudinal ao carregamento):



A resistência de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta a resistência ao rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda, é dada por:

$$F_{c,Rd} = \frac{1,2 \ell_f t f_u}{\gamma_{a2}} \leq 2,4 d_b t f_u / \gamma_{a2}$$

**rasgamento**                      **esmagamento**

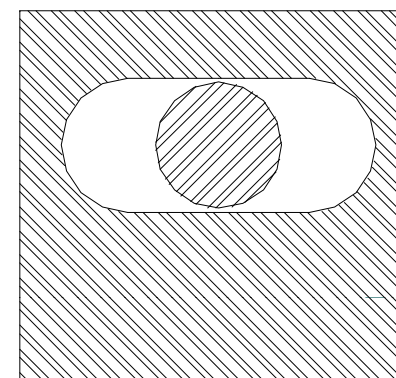
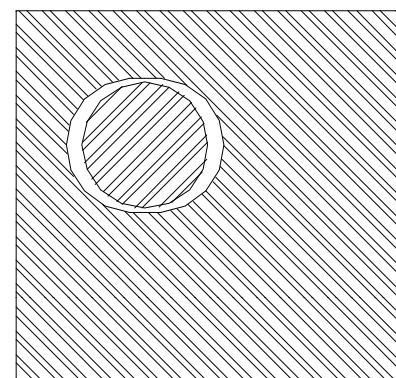
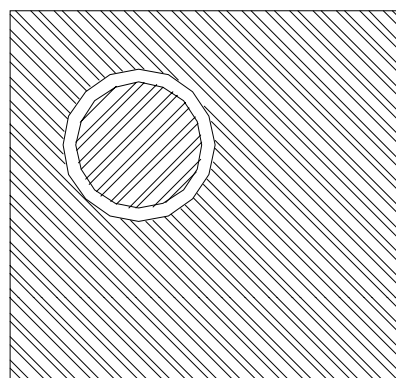
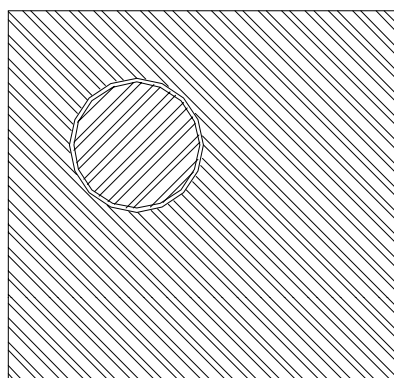
$\ell_f$  é a distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada;

$d_b$  é o diâmetro do parafuso;

$t$  é a espessura da parte ligada.

# Furação para parafusos

|                        | Diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada $d_b$ | Diâmetro do furo padrão | Diâmetro do furo alargado | Dimensões de um furo pouco alongado    | Dimensões um furo muito alongado      |
|------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|
| Dimensões em milímetro | $\leq 24$                                             | $d_b + 1,5$             | $d_b + 5$                 | $(d_b + 1,5) \times (d_b + 6)$         | $(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$          |
|                        | 27                                                    | 28,5                    | 33                        | $28,5 \times 35$                       | $28,5 \times 67,5$                    |
|                        | $\geq 30$                                             | $d_b + 1,5$             | $d_b + 8$                 | $(d_b + 1,5) \times (d_b + 9,5)$       | $(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$          |
| Dimensões em polegada  | $\leq 7/8$                                            | $d_b + 1/16$            | $d_b + 3/16$              | $(d_b + 1/16) \times (d_b + 1/4)$      | $(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$         |
|                        | 1                                                     | $1 \frac{1}{16}$        | $1 \frac{1}{4}$           | $1 \frac{1}{16} \times 1 \frac{5}{16}$ | $1 \frac{1}{16} \times 2 \frac{1}{2}$ |
|                        | $\geq 1 \frac{1}{8}$                                  | $d_b + 1/16$            | $d_b + 5/16$              | $(d_b + 1/16) \times (d_b + 3/8)$      | $(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$         |



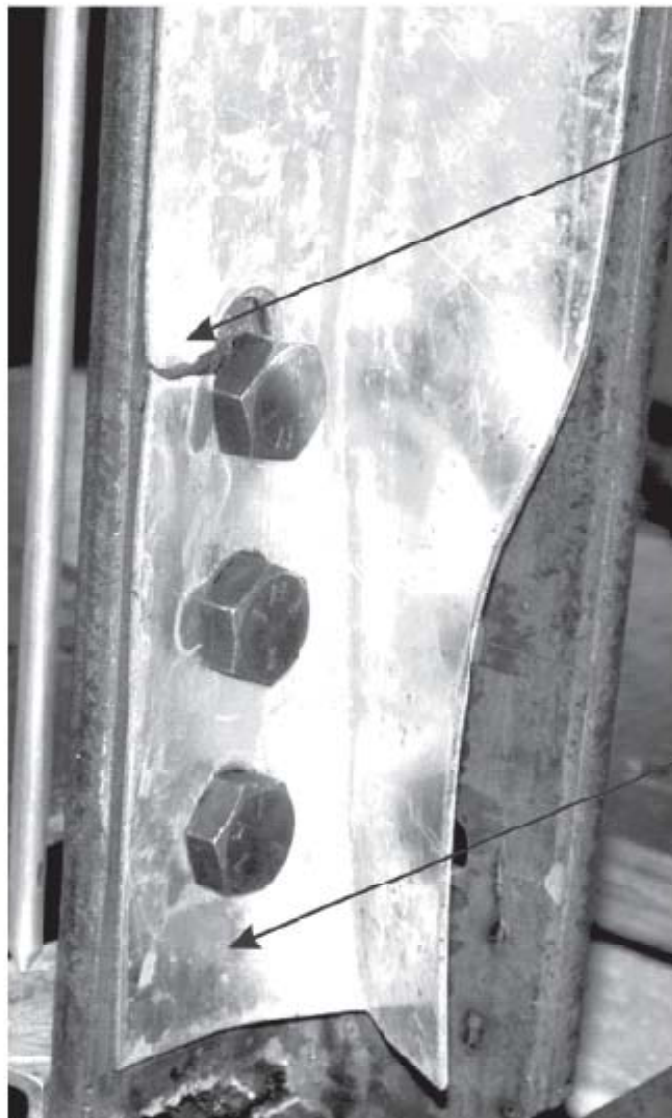
Tab. 12 – NBR 8800

# Limitações relativas ao emprego de furos alargados ou alongados

| Tipo de furo   | Tipo de ligação permitido | Limitações                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                |                           | Posição do furo                                                                                                                         | Arruelas <sup>1)</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Alargado       | Por atrito                | Em qualquer uma ou em todas as chapas da ligação                                                                                        | Endurecidas, sobre furos alargados em chapas externas da ligação                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Pouco alongado | Por atrito                | Em qualquer uma ou em todas as chapas de ligação. Qualquer posição, independentemente da direção da solicitação                         | Sobre furos pouco alongados em chapas externas da ligação devem ser usadas arruelas; tais arruelas devem ser endurecidas quando os parafusos forem de alta resistência.                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | Por contato               | Em qualquer uma ou em todas as chapas da ligação. Maior dimensão normal à direção da solicitação                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Muito alongado | Por atrito                | Em somente uma das partes da ligação, para a mesma superfície de contato. Qualquer posição, independentemente da direção da solicitação | Arruelas de chapa ou barras chatas contínuas, de aço estrutural, com espessura mínima de 8mm e com furos padrão, devem ser usadas sobre furos muito alongados em chapas externas. Tais arruelas ou barras devem ter dimensões suficientes para cobrir totalmente os furos alongados após a instalação dos parafusos. Quando for necessário usar arruelas endurecidas (ver 6.7.4.2 e <sup>1)</sup> ), estas serão colocadas sobre aquelas arruelas de chapas ou barras contínuas |
|                | Por contato               | Em somente uma das partes da ligação, para a mesma superfície de contato. Maior dimensão normal à direção da solicitação                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

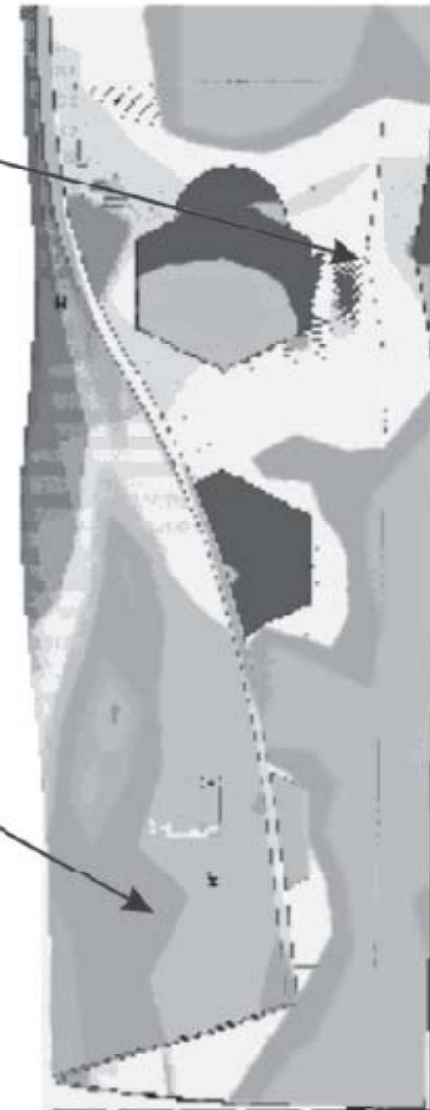
Tab. 13 – NBR 8800

# Verificação na chapa devido à presença de furos



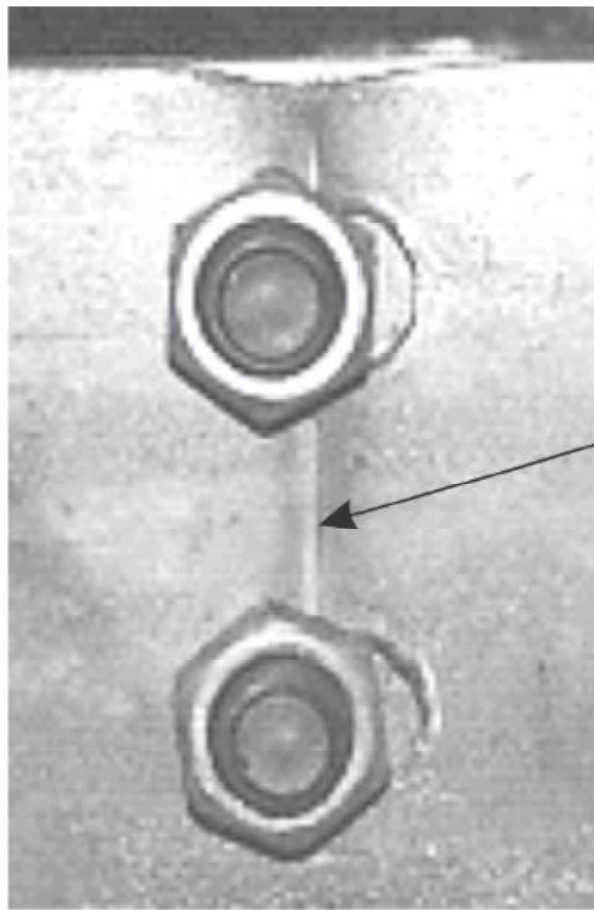
*Ruptura da ligação  
entre furo e borda e,  
estricção da aba*

*Deformação da aba,  
não conectada, da  
cantoneira*

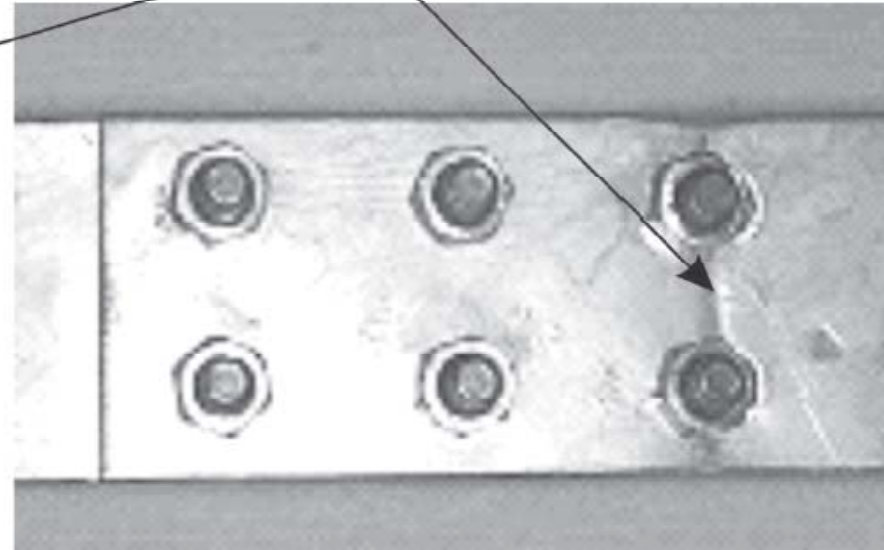




# Verificação na chapa devido à presença de furos

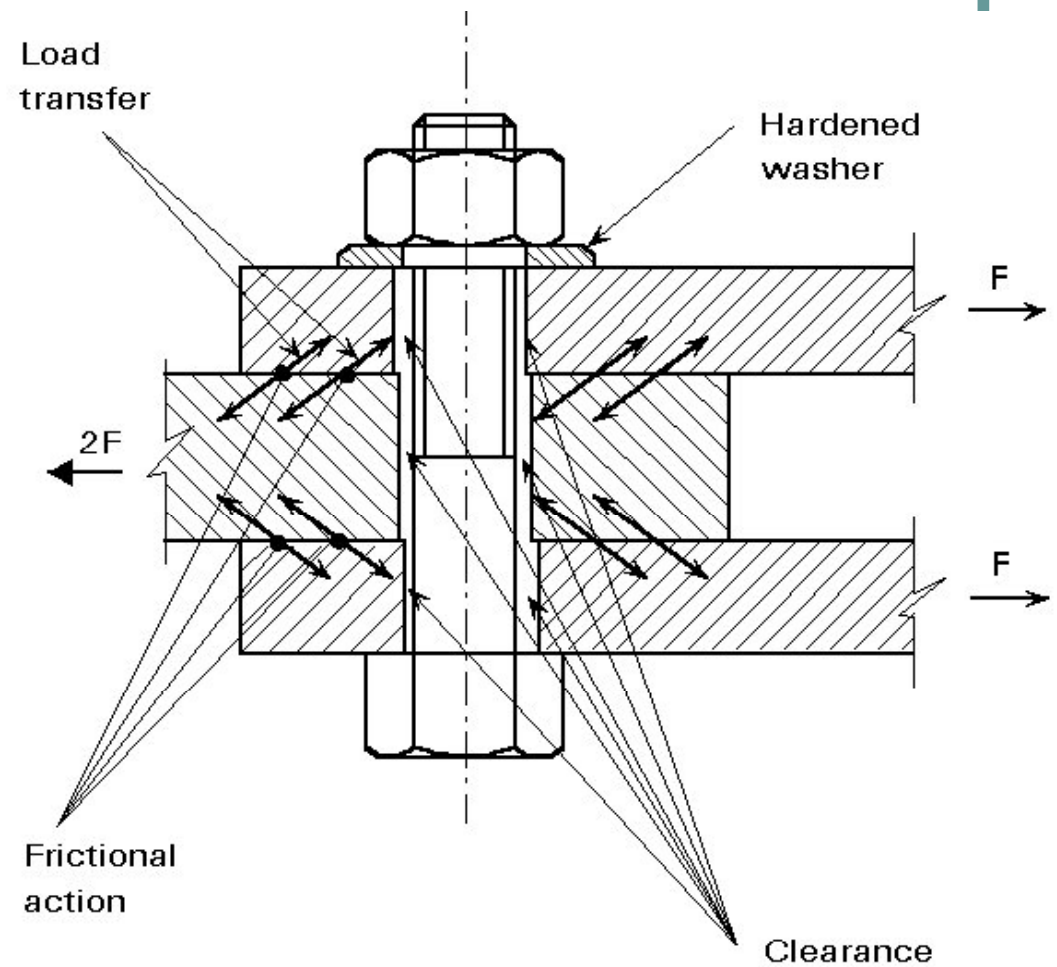
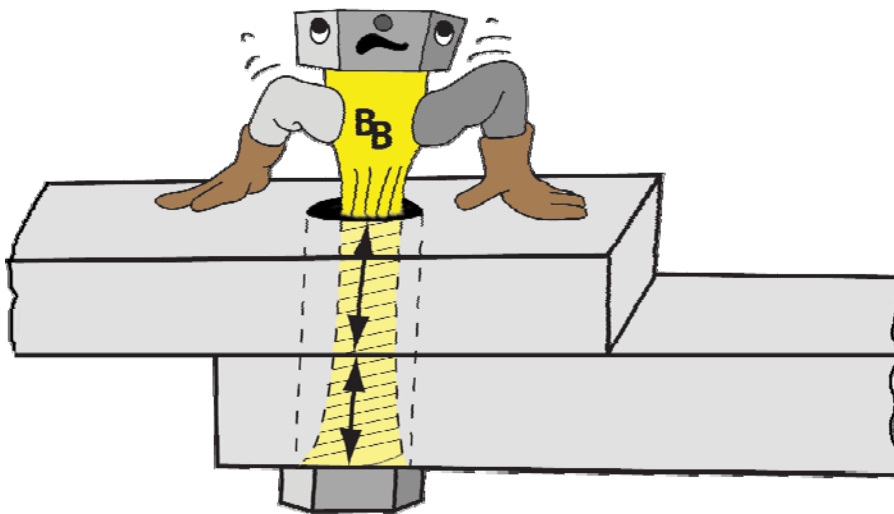


Início de ruptura  
entre os furos



# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

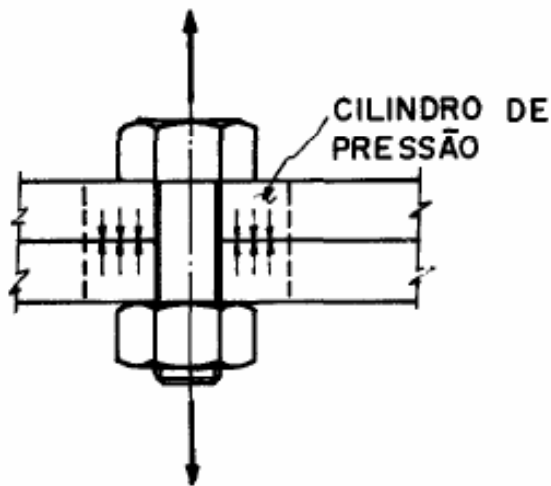
Ligações por atrito:





# LIGAÇÕES PARAFUSADAS POR ATRITO

## Aperto do parafuso (item 6.7.4)



- método da rotação da porca;
- chave calibrada
- indicador direto de tração
- parafusos com controle de tração

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS POR ATRITO

## Aperto do parafuso (item 6.7.4)

### 6.7.4.3 Aperto pelo método da rotação da porca

Quando for usado o método de aperto pela rotação da porca para aplicar a força de protensão mínima especificada na Tabela 15, deve haver número suficiente de parafusos na condição de pré-torque, de forma a garantir que as partes estejam em pleno contato. A condição de pré-torque é definida como o aperto obtido após poucos impactos aplicados por uma chave de impacto, ou pelo esforço máximo aplicado por um operário usando uma chave normal. Após essa operação inicial, devem ser colocados parafusos nos furos restantes e tais parafusos também levados à condição de pré-torque. Todos os parafusos da ligação devem então receber um aperto adicional, através da rotação aplicável da porca, como indicado na Tabela 16, devendo essa operação começar na parte mais rígida da ligação e prosseguir em direção às bordas livres. Durante essa operação, a parte oposta àquela em que se aplica a rotação não pode girar.



# LIGAÇÕES PARAFUSADAS POR ATRITO

## Técnicas de aparafusamento

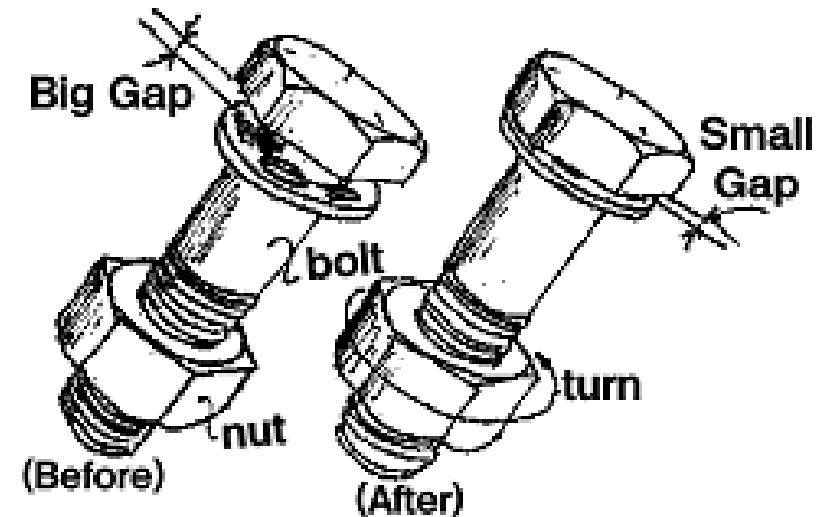
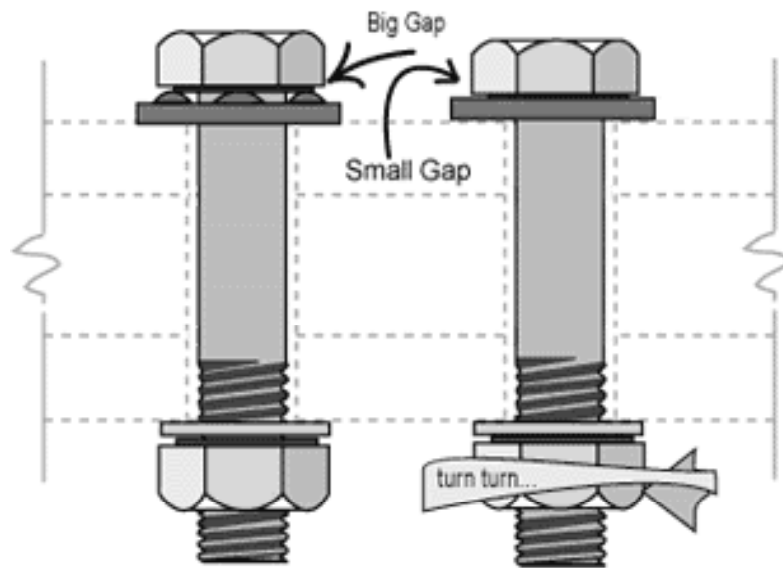
Chave de torque calibradora  
(Torquímetro - estalo/sinal/relógio)

- As chaves devem ser calibradas pelo menos uma vez por dia de trabalho para cada diâmetro de parafuso a instalar;



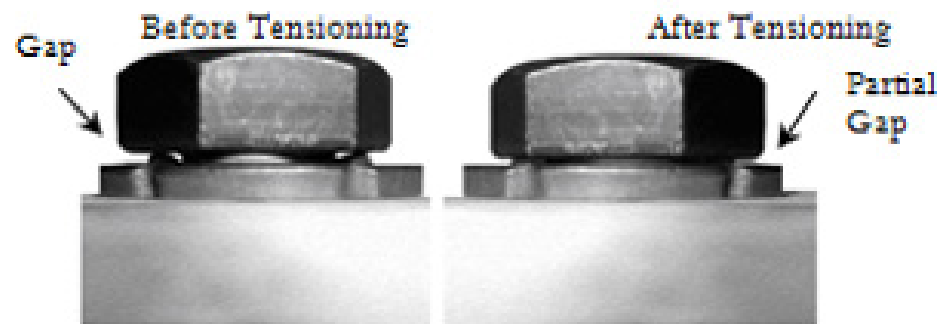
# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## Arruela com indicador de carga (DTI)



Direct Tension Indicators

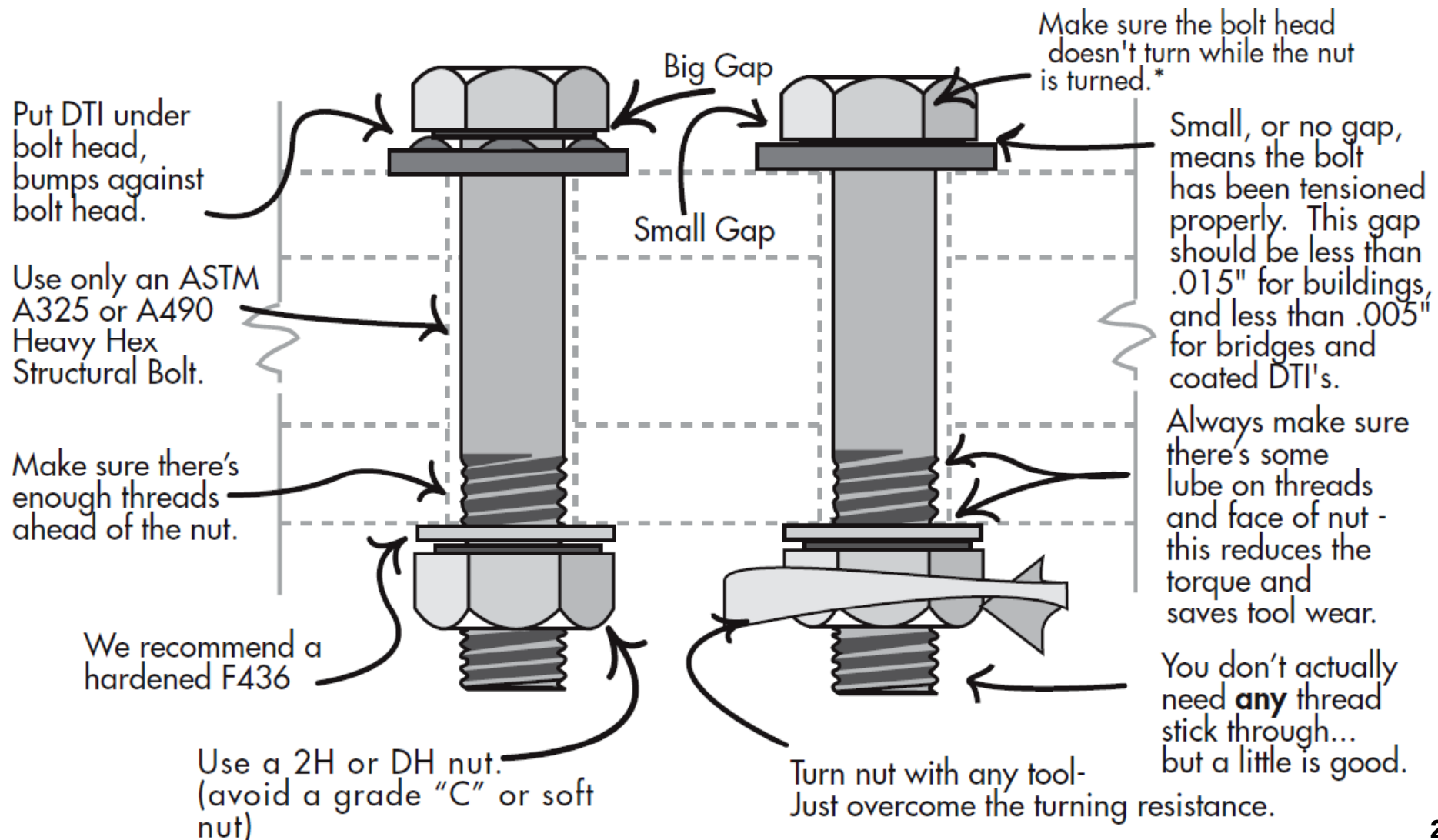
### DTI Assembly



# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## Arruela com indicador de carga

Fig. (A) This is one way to use a DTI:

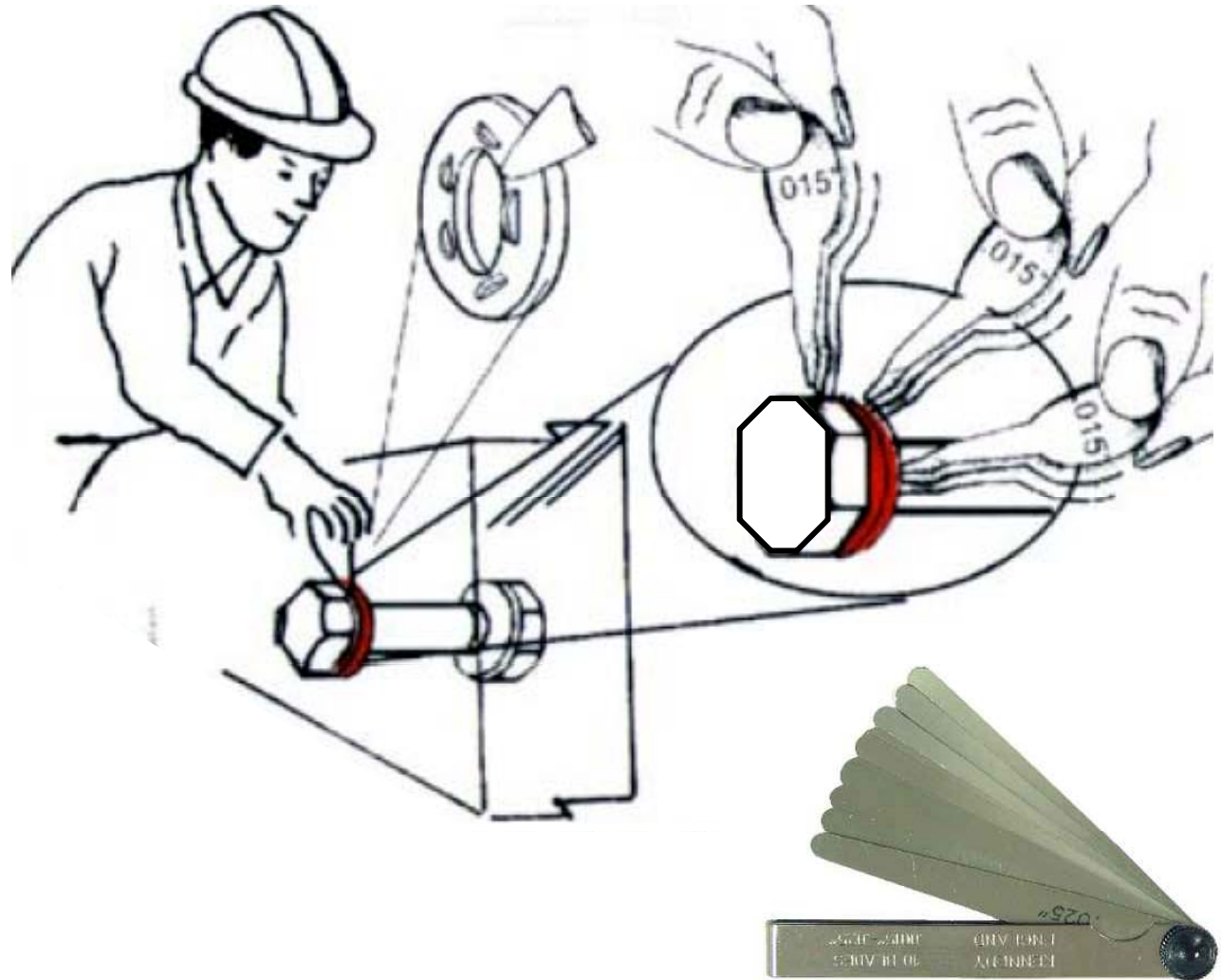


\*Access issues? Put the DTI under the nut, turn the head.

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## Arruela com indicador de carga

Para parafusos não revestidos e quando o DTI está instalado sob a cabeça do parafuso e a porca é girada para apertar, certifique-se que o gabarito de 0,015" não vai entrar pelo menos em metade das lacunas da arruela. Isso significa que a diferença DTI residual é menor que uma folga de 0,015".



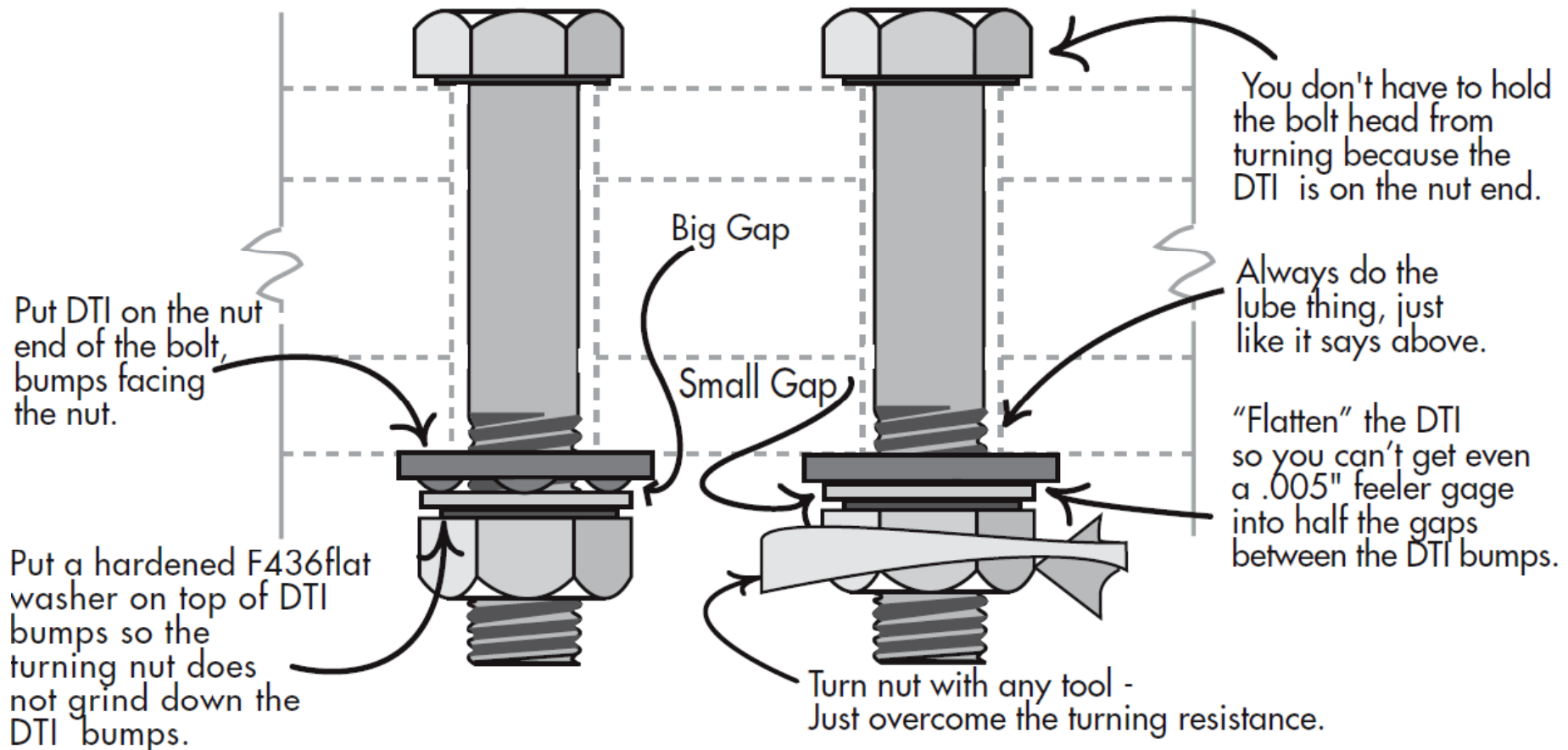


# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## Arruela com indicador de carga

### Fig. (B) This way is often preferred by steel erectors:

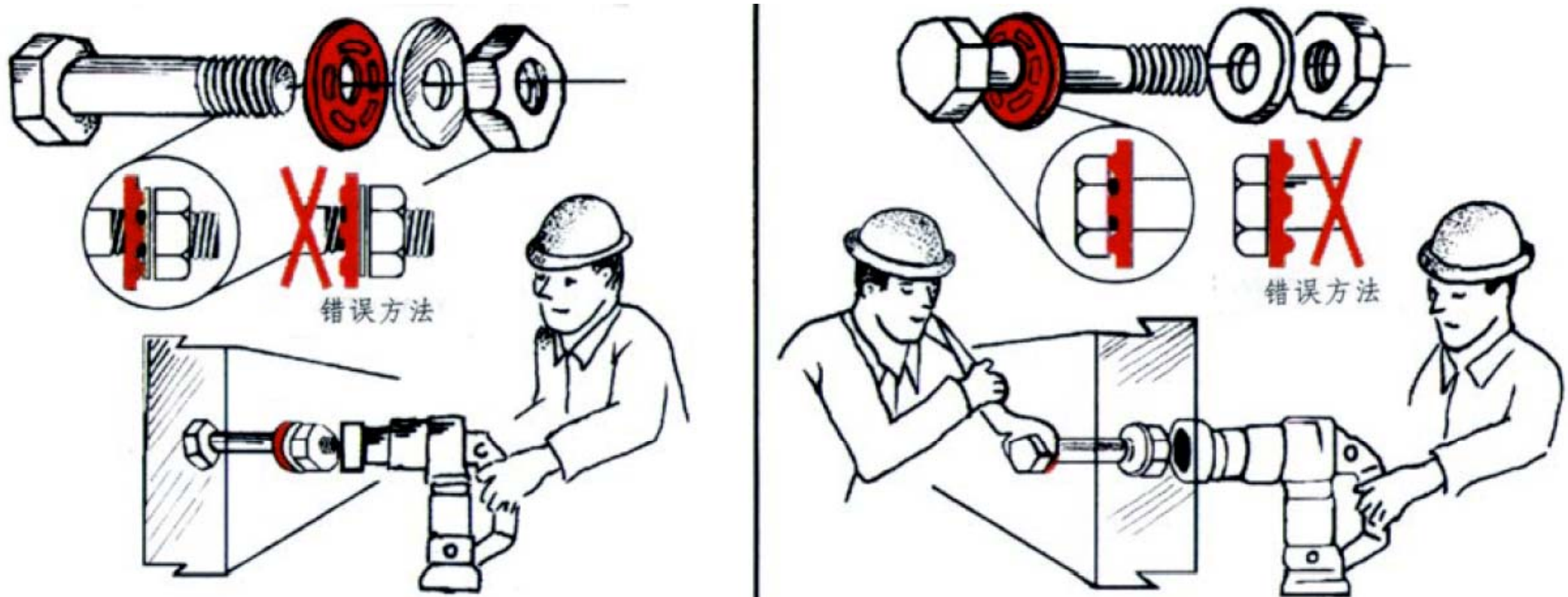
(In the past, this used to be the last resort. Not any more. Our DTI's are designed to be put here. So, go ahead, put it on the nut side!)



You can also use DTI's on the head end of a bolt when the head is turned.  
You can use a DTI with a twist-off bolt - call for special instructions.

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## Arruela com indicador de carga





# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## Arruela com indicador de carga

### The TurnaSure DTI

#### ASTM Grade Marking

Indicates proper grade of bolt the DTI must be paired with.

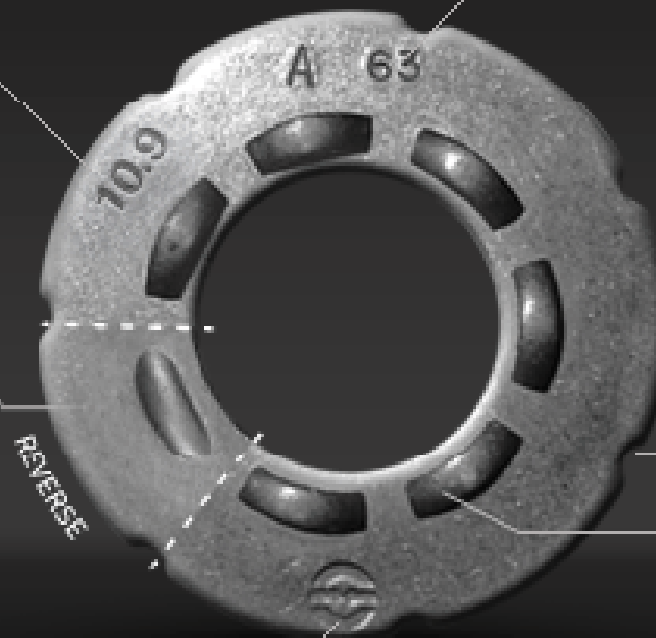
#### Patented Protrusion Pockets

Patented protrusion pockets assure consistency regardless of surface condition.

#### Friction Free Push Back™

#### TurnaSure Trademark

The TurnaSure trademark is the symbol of the most accurate system on the market ( $\pm 1\%$  accuracy).



#### Permanent Traceability

Lot number for lot sizes up to 250,000 pieces allow for permanent traceability of installed parts to all original manufacturing and test data.

#### Indentations

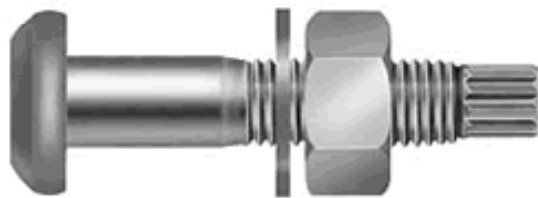
Indents assist in fast & easy inspection.

#### Curved Protrusions

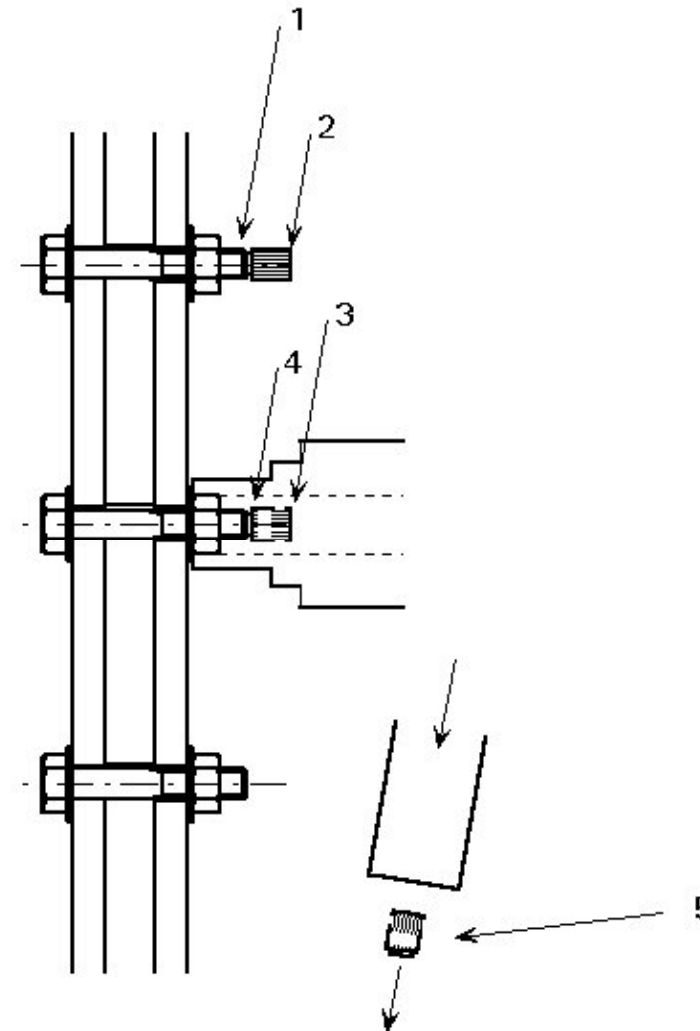
New curved protrusions for superior fit under bolt heads and perfected reliability. Now eliminates hardened washers when tightened under turned element.

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Parafuso com controle de tensão



**Conjunto ASTM A 325 TC  
com Controlador de Tensão**



Estágios do aperto

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

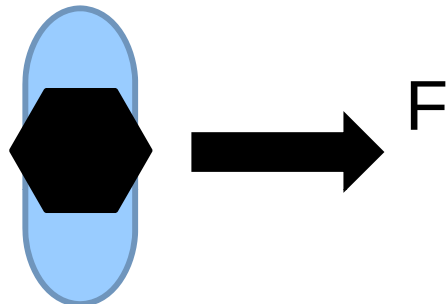
## ***Ligações por atrito:***

- ⇒ Parafusos de alta resistência
- ⇒ Coeficiente de atrito em função da superfície de contato
- ⇒ As exigências de ligação por contato tem que satisfeitas
- ⇒ Verificação da “*Resistência ao Deslizamento*”

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## Resistência ao Deslizamento - item 6.3.4

Nas ligações com furos padrão e furos com alongamentos transversais à direção da força aplicada:



O deslizamento constitui  
Estado Limite de Serviço (E.L.S.)

$$F_{f,Rk} = 0,80 \mu C_h F_{Tb} n_s \left( 1 - \frac{F_{t,Sk}}{0,80 F_{Tb}} \right)$$

Coef. de atrito

fator de furo

Força de protensão mínima do parafuso

número de planos de deslizamento

Redução da força de protensão  
pela força de tração solicitante  
característica no parafuso

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## Resistência ao Deslizamento - item 6.3.4

$\mu$  é o coeficiente médio de atrito, definido a seguir:

- a) 0,35 para superfícies classe A, isto é, superfícies laminadas, limpas, isentas de óleos ou graxas, sem pintura, e para superfícies classe C, isto é, superfícies galvanizadas a quente com rugosidade aumentada manualmente por meio de escova de aço (não é permitido o uso de máquinas);
- b) 0,50 para superfícies classe B, isto é, superfícies jateadas sem pintura;
- c) 0,20 para superfícies galvanizadas a quente;

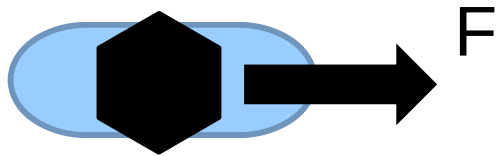
$C_h$  é um fator de furo, igual a:

- a) 1,00 para furos-padrão;
- b) 0,85 para furos alargados ou pouco alongados;
- c) 0,70 para furos muito alongados.

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## Resistência ao Deslizamento - item 6.3.4

Nas ligações com furos com alongamentos paralelos à direção da força aplicada:



o deslizamento constitui  
Estado Limite Último (E.L.U.)

$$F_{f,Rd} = \frac{1,13 \mu C_h F_{Tb} n_s}{\gamma_e} \underbrace{\left( 1 - \frac{F_{t,Sd}}{1,13 F_{Tb}} \right)}$$

Coeficiente de ponderação da resistência:

= 1,2 (comb. normais, especiais ou de construção)

= 1,0 (comb. excepcionais)

Redução da força de protensão  
pela força de tração solicitante  
de cálculo no parafuso

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## Força de Protensão Mínima em parafusos ASTM

39

**Tabela 15 – NBR 8800 -  $F_{Tb}$**

$$(\cong 0,70 A_{be} f_u)$$

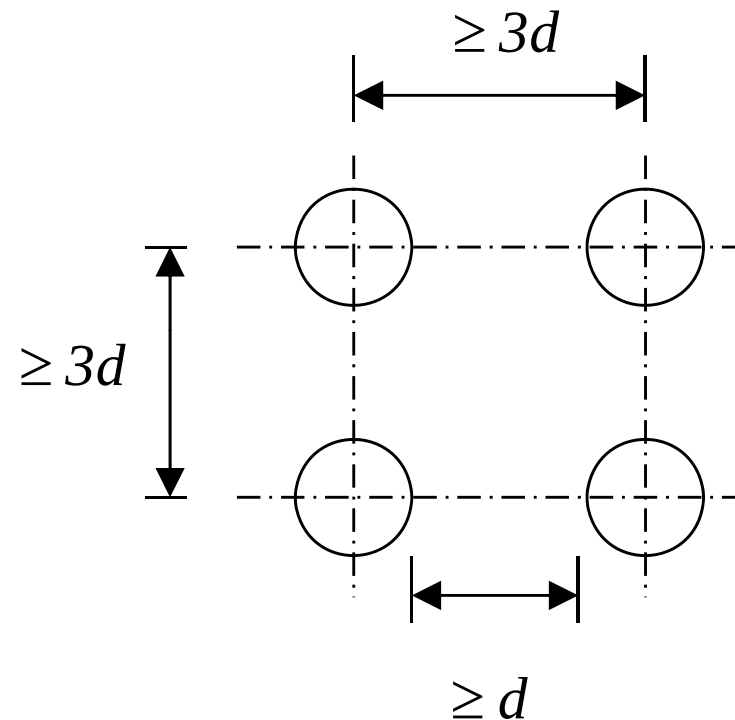
| Diâmetro $d_b$ |    | $F_{Tb}$<br>kN |           |
|----------------|----|----------------|-----------|
| pol            | mm | ASTM A325      | ASTM A490 |
| 1/2            |    | 53             | 66        |
| 5/8            |    | 85             | 106       |
|                | 16 | 91             | 114       |
| 3/4            |    | 125            | 156       |
|                | 20 | 142            | 179       |
|                | 22 | 176            | 221       |
| 7/8            |    | 173            | 216       |
|                | 24 | 205            | 257       |
| 1              |    | 227            | 283       |
|                | 27 | 267            | 334       |
| 1 1/8          |    | 250            | 357       |
|                | 30 | 326            | 408       |
| 1 1/4          |    | 317            | 453       |
|                | 36 | 475            | 595       |
| 1 1/2          |    | 460            | 659       |



# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## Espaçamento entre furos (itens 6.3.9 e 6.3.10)

Espaçamento **mínimo** entre furos:



Espaçamento **máximo** entre parafusos:

- a) em elementos pintados ou não sujeitos à corrosão, o espaçamento não pode exceder 24 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 300 mm;
- b) para elementos sujeitos à corrosão atmosférica, executados com aços resistentes à corrosão, não pintados, o espaçamento não pode exceder 14 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 180 mm.

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## Espaçamento mínimo furo-borda (item 6.3.11)

Tabela 14 — Distância mínima do centro de um furo-padrão à borda <sup>a)</sup>

| Diâmetro $d_b$ |      | Borda cortada com<br>serra ou tesoura<br>mm | Borda laminada ou<br>cortada a maçarico <sup>b)</sup><br>mm |
|----------------|------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| pol            | mm   |                                             |                                                             |
| 1/2            |      | 22                                          | 19                                                          |
| 5/8            | 16   | 29                                          | 22                                                          |
| 3/4            |      | 32                                          | 26                                                          |
|                | 20   | 35                                          | 27                                                          |
| 7/8            | 22   | 38 <sup>c)</sup>                            | 29                                                          |
|                | 24   | 42 <sup>c)</sup>                            | 31                                                          |
| 1              |      | 44                                          | 32                                                          |
| 1 1/8          | 27   | 50                                          | 38                                                          |
|                | 30   | 53                                          | 39                                                          |
| 1 1/4          |      | 57                                          | 42                                                          |
|                | 36   | 64                                          | 46                                                          |
| > 1 1/4        | > 36 | $1,75 d_b$                                  | $1,25 d_b$                                                  |

<sup>a)</sup> São permitidas distâncias inferiores às desta Tabela, desde que a equação aplicável de 6.3.3.3 seja satisfeita.

<sup>b)</sup> Nesta coluna, as distâncias podem ser reduzidas de 3 mm, quando o furo está em um ponto onde a força solicitante de cálculo não exceda 25 % da força resistente de cálculo.

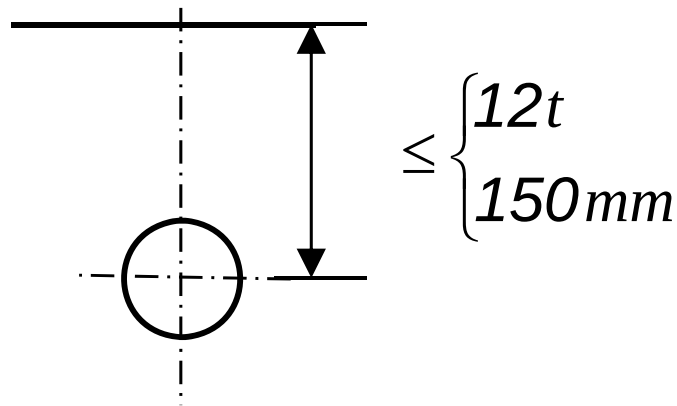
<sup>c)</sup> Nas extremidades de cantoneiras de ligação de vigas e de chapas de extremidade para ligações flexíveis, esta distância pode ser igual a 32 mm.

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## Espaçamento máximo furo-borda (item 6.3.12)

### 6.3.12 Distância máxima de um parafuso ou barra rosqueada às bordas

A distância do centro do parafuso mais próximo até essa borda não pode exceder 12 vezes a espessura da parte ligada considerada, nem 150 mm.



# Elementos de ligações (Item 6.5)

## Colapso por Rasgamento (Item 6.5.6)

Estado Limite de Colapso por Rasgamento:

**cisalhamento** de uma ou mais  
linhas de falha



**tração** de um  
segmento perpendicular

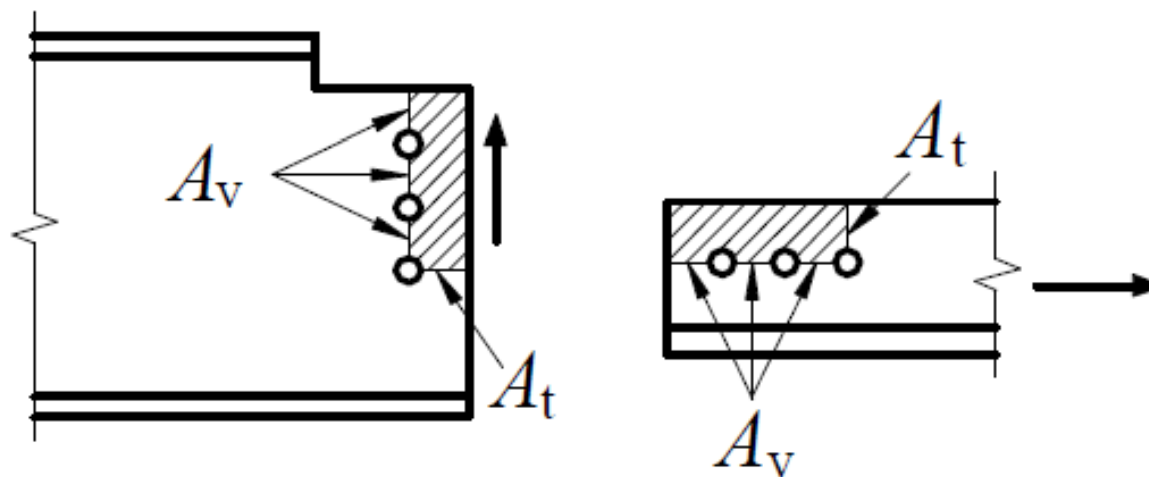


Fig. 18-a NBR 8800 – Situações típicas nas quais deve ser verificado o estado-limite de colapso por rasgamento em ligações parafusadas

# Elementos de ligações (Item 6.5)

## Colapso por Rasgamento (Item 6.5.6)

Estado Limite de Colapso por Rasgamento:

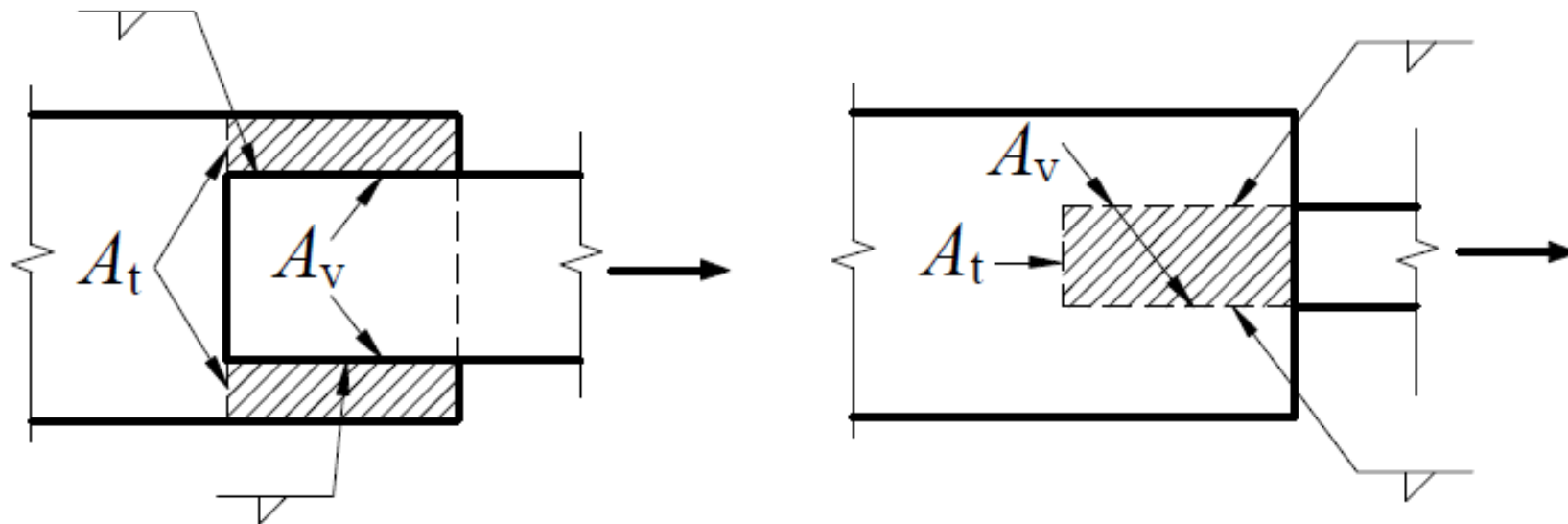


Fig. 18 NBR 8800 – Situações típicas nas quais deve ser verificado o estado-limite de colapso por rasgamento em **ligações soldadas**

## Elementos de ligações (Item 6.5)

### Colapso por Rasgamento (Item 6.5.6)

Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento:

$$F_{r,Rd} = \frac{1}{\gamma_{a2}} (0,60 f_u A_{nv} + C_{ts} f_u A_{nt})$$
$$\leq \frac{1}{\gamma_{a2}} (0,60 f_y A_{gv} + C_{ts} f_u A_{nt})$$

$A_{gv}$  é a área bruta sujeita a cisalhamento;

$A_{nv}$  é a área líquida sujeita a cisalhamento;

$A_{nt}$  é a área líquida sujeita à tração;

$C_{ts}$  é o coeficiente de redução da área líquida.

# Elementos de ligações (item 6.5)

## Colapso por rasgamento (item 6.5.6)

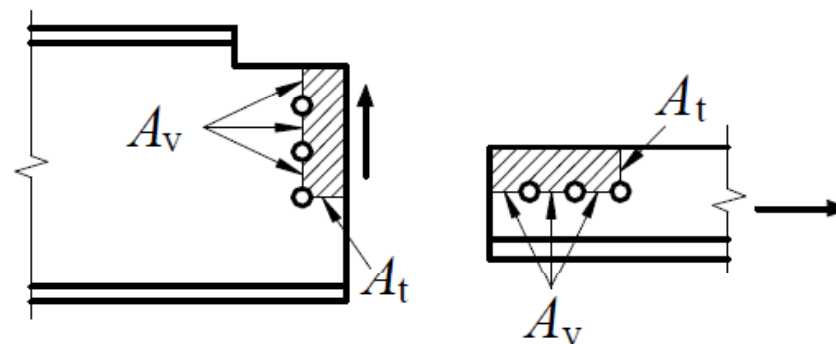
### 5.2.4 Área líquida

**5.2.4.1** Em regiões com furos, feitos para ligação ou para qualquer outra finalidade, a área líquida,  $A_n$ , de uma barra é a soma dos produtos da espessura pela largura líquida de cada elemento, calculada como segue:

- a) em ligações parafusadas, a largura dos furos deve ser considerada 2,0 mm maior que a dimensão máxima desses furos, definida em 6.3.6, perpendicular à direção da força aplicada (alternativamente, caso se possa garantir que os furos sejam executados com broca, pode-se usar a largura igual à dimensão máxima);

$A_{nv}$  é a área líquida sujeita a cisalhamento;

$A_{nt}$  é a área líquida sujeita à tração;



$$A_n = t \cdot [\ell - n \cdot (d_b + 3,5mm)]$$

espessura

compr. rasgo

nr de paraf.

(2,5 no exemplo da figura)

2 mm + 1,5 mm  
(furo padrão)

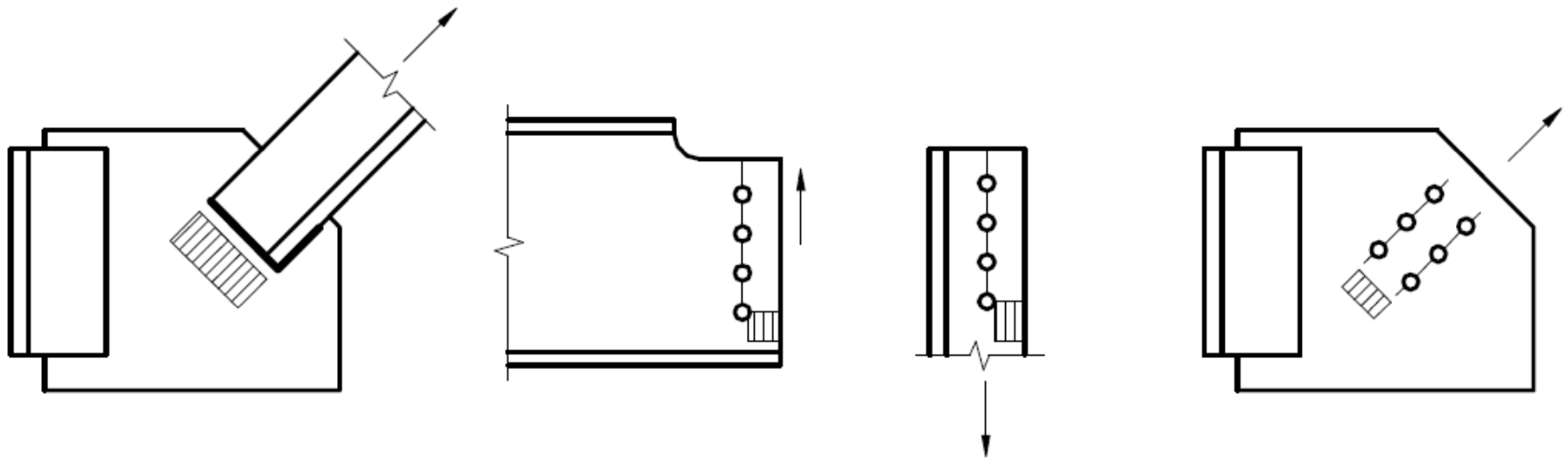


# Elementos de ligações (Item 6.5)

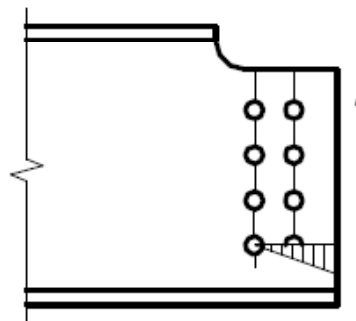
## Colapso por Rasgamento (Item 6.5.6)

$C_{ts}$  - coeficiente de redução da área líquida:

$C_{ts} = 1,0 \Rightarrow$  Tensão de tração na área líquida **uniforme**:



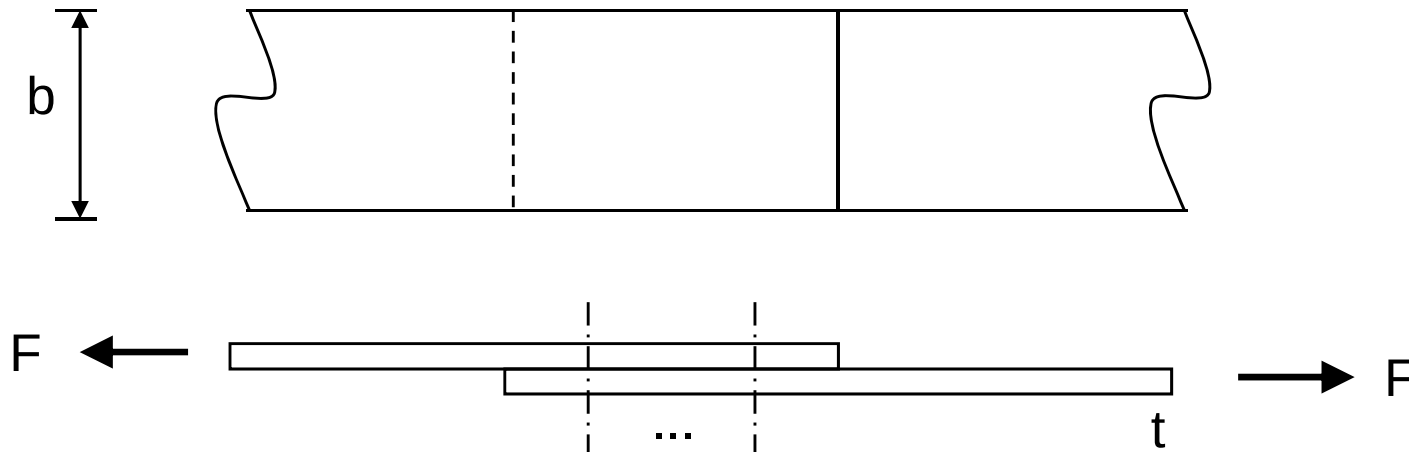
$C_{ts} = 0,5 \Rightarrow$  Tensão de tração na área líquida **NÃO-uniforme**:



# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## EXERCÍCIOS

1. Dimensionar a ligação parafusada entre duas chapas com  $b=400\text{mm}$  e  $t=12,5\text{mm}$  de aço AR-345 solicitadas com  $Q=550\text{kN}$  de tração. Usar parafusos A-325  $d=3/4"$  em corte simples. Dimensionar uma ligação “por contato” e outra “por atrito”.



# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

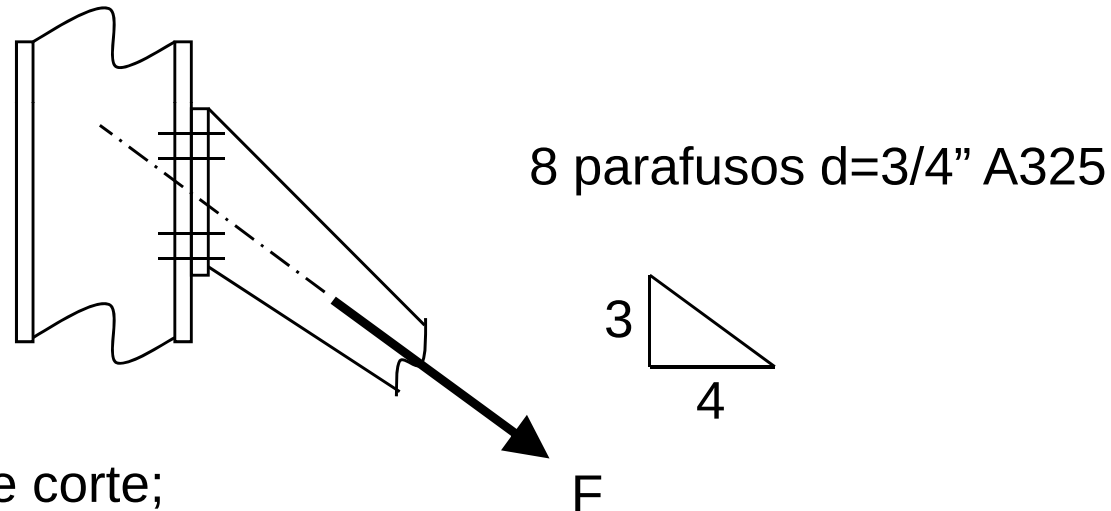
## EXERCÍCIOS

2. Verificar se a ligação parafusada abaixo é satisfatória se considerada:

- “por contato”;
- “por atrito”.

$G=100\text{kN}$

$Q=300\text{kN}$



Considere:

- Roscas no plano de corte;
- Efeito de alavanca desprezível;
- Chapas espessas sem risco de esmagamento pelo parafuso;
- Não verificar a pressão de contato;
- Furos-padrão.

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## EXERCÍCIOS

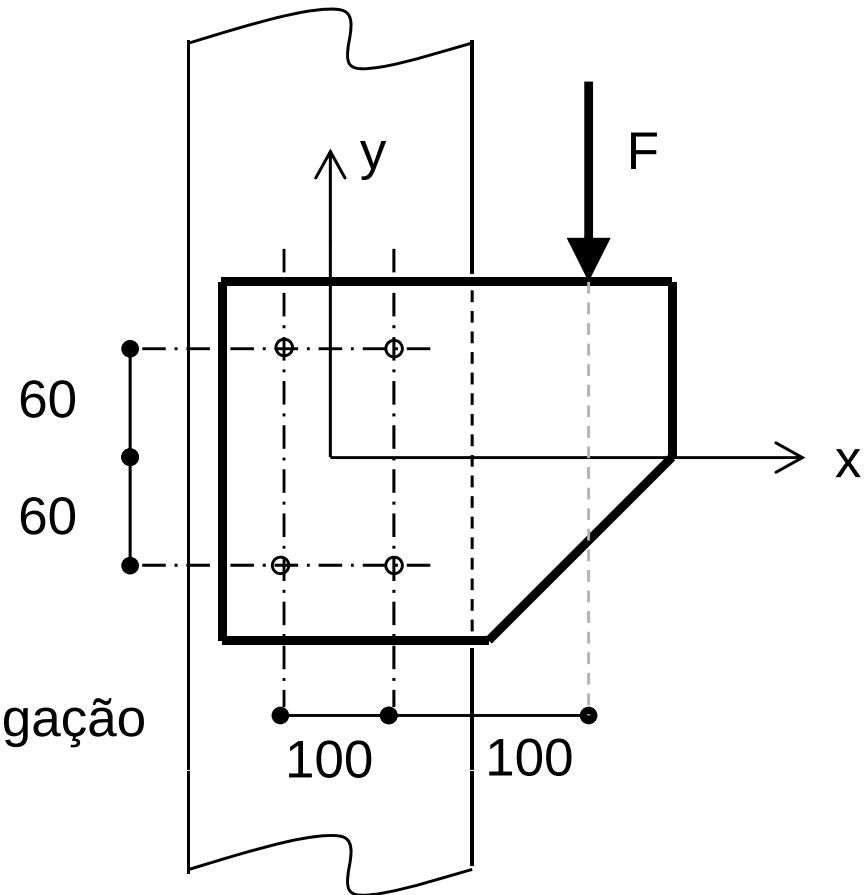
3. Determinar o diâmetro dos parafusos para a ligação apresentada abaixo:

parafusos A325

$F=100\text{kN}$

Considere:

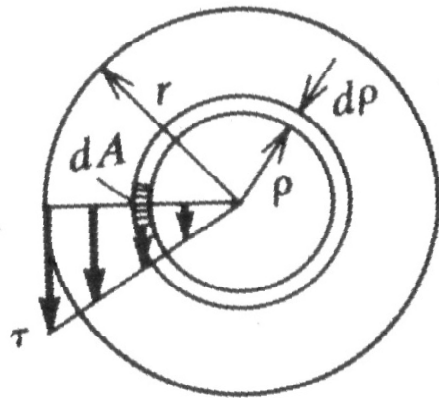
- Ligação por atrito;
- Sem rosca no plano de corte;
- Furos padrão;
- A chapa de ligação não governa a ligação



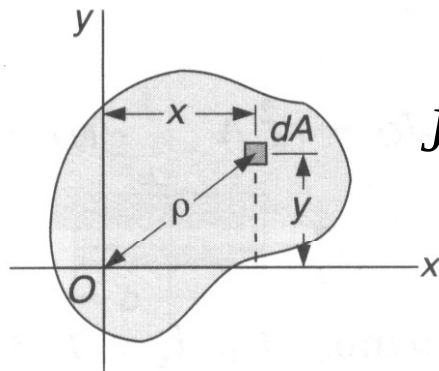
# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## EXERCÍCIOS

Observações sobre ligações de cisalhamento excêntrico:



$$\tau = \frac{T}{J} \rho$$



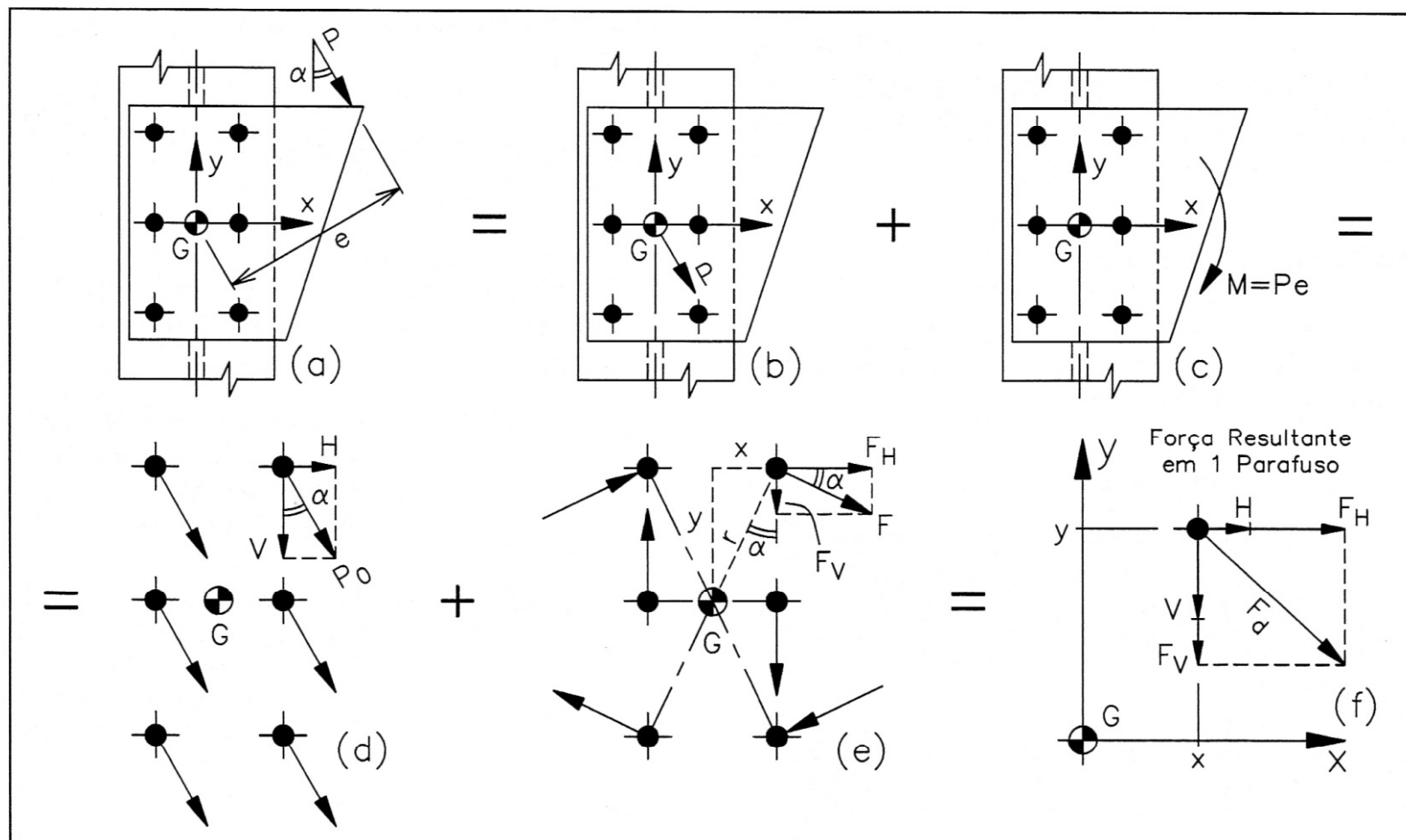
$$J_O = \int \rho^2 dA$$

$$F = \tau dA = \frac{T}{J} \rho dA = \frac{T \rho}{\sum r^2}$$

$$F_x = \frac{T \rho_y}{\sum r^2} \quad F_y = \frac{T \rho_x}{\sum r^2}$$

# LIGAÇÕES PARAFUSADAS

## EXERCÍCIOS



**Figura 10.4**  
Ligação Excêntrica em Cisalhamento