

# **PARAFUSOS**

**Prof. Alexandre Augusto Pescador Sardá**

# INTRODUÇÃO

- BOEING 747:
- 2,5 milhões de juntas;
- 70.000 parafusos de titânio;
- U\$150.000.00 em parafusos.

# INTRODUÇÃO

- PARAFUSOS:
- Transformam movimento angular em movimento linear.
- Transmitir potência;
- Desenvolver grandes forças (prensas, macacos);
- Fixadores rosqueados (importante em junções não permanentes)

# MATERIAIS

- Aço carbono comum;
- Aço inoxidável;
- Alumínio;
- Latão;
- Bronze;
- Plásticos.

# APLICAÇÃO

- Fixação (desmontável);
- Obturadores (tampar orifício);
- Ajustagem(eliminação de folga);
- Micrométricos (deslocamentos mínimos);
- Transmissão de força (Potência, movimento, acionamento).

# PADRÕES DE ROSCA

- ROSCAS:

- Hélice que faz com que o parafuso avance sobre o material ou porca quando rotacionado.

**Internas:** porcas ou furos rosqueados;

**Externas:** parafuso atarrachante.

**À direita:** filete sobe da direita para à esquerda;

**À esquerda:** filete sobe da esquerda para à direita.

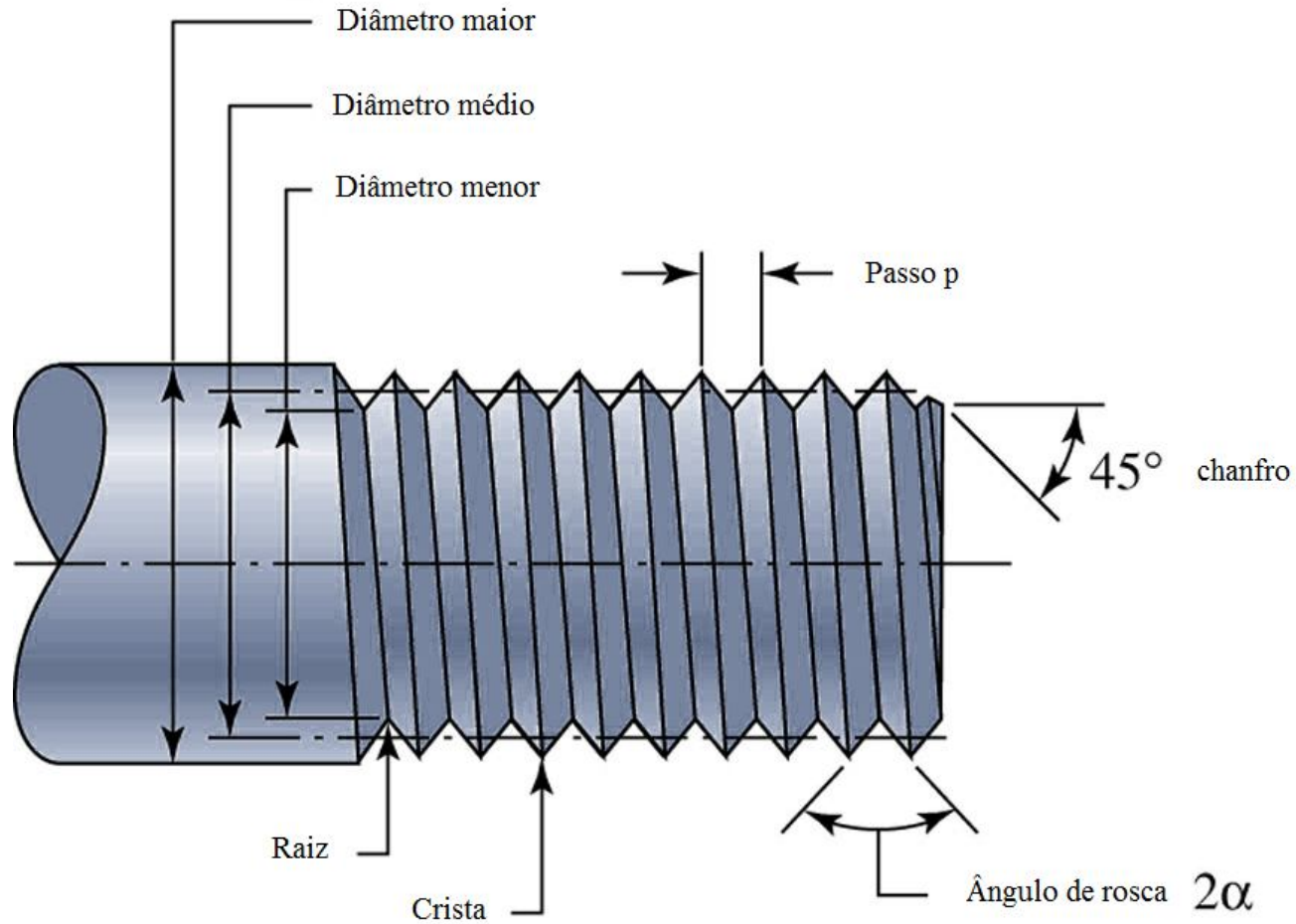
**Simple:** uma única entrada;

**Múltiplas:** várias entradas.

**Passo grosso** (mais comum);

**Passo fino** (mais resistente ao afrouxamento decorrentes de vibrações).

# PADRÕES DE ROSCA



Terminologia de roscas de parafusos. Roscas afiadas em “v” mostradas para clareza; as cristas e as raízes são, na verdade, aplanadas ou arredondadas durante a operação de conformação.

# PADRÕES DE ROSCA

- Passo: é a distância entre formas adjacentes de rosca medidas paralelamente ao eixo de rosca.
- Diâmetro maior ( $d$ ): maior diâmetro de uma rosca de parafuso;
- Diâmetro menor ( $d_r$  ou  $d_1$ ): menor diâmetro de uma rosca de parafuso;
- Avanço ( $l$ ): distância em que a porca se move paralelamente o eixo do parafuso quando lhe é dada uma volta;
- Todas as roscas são feitas conforme a regra da mão direita, se nada em contrário for indicado.
- Norma de rosca American National (Unified) – UNS - foi aprovada nos USA e Grã-Bretanha para uso em todos os produtos rosqueados padronizados.
- Perfil M substitui a classe polegada e é o perfil básico as ISO 68, com roscas simétricas de  $60^\circ$ .
- Perfil MJ tem um filete ou tira arredondada na raiz da rosca externa e o diâmetro menor acrescido de ambas as roscas internas e externas. Especialmente útil quando alta resistência de fadiga é requerida.



# PADRÕES DE ROSCA

- Duas séries principais de roscas unificadas encontram-se em uso comum: **UN** e UNR. A diferença é que um raio da raiz deve ser usado nas séries UNR. Devido aos fatores de concentração de tensão reduzidos, as roscas das séries UNR apresentam resistências de fadiga melhores.
- As roscas unificadas são especificadas declarando-se o diâmetro maior nominal, o número de roscas por polegada e a série de rosca.

$\frac{5}{8}in - 18 UNRF$

$0,625in - 18 UNRF$

$\frac{1}{4} - 20 UNC - 2A$

*A (externa)*

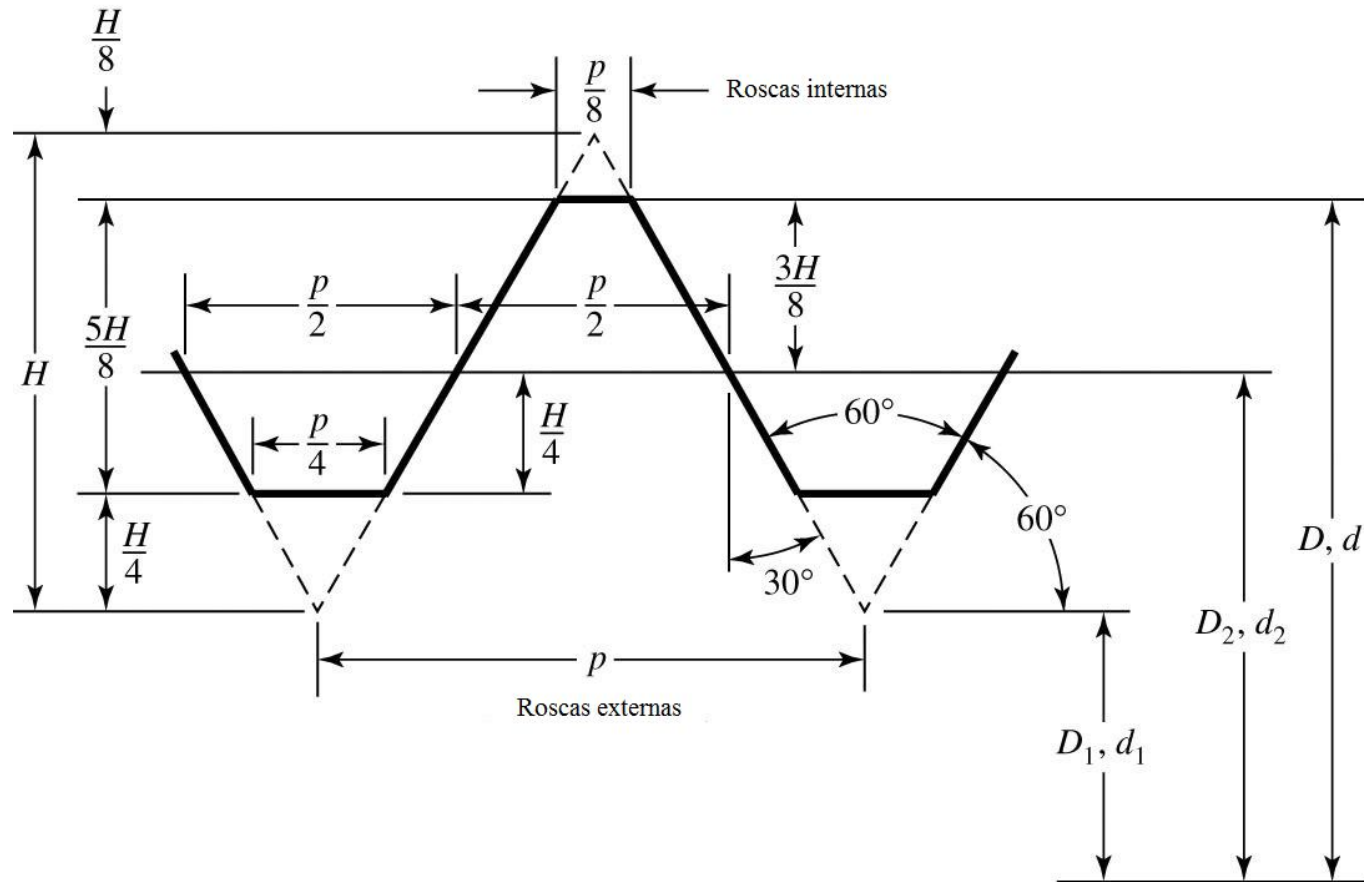
*2 (classe)*

*UNC (passo grosso)*

- Roscas métricas são especificadas escrevendo-se o diâmetro e o passo em milímetros:

$M12 \times 1,75$

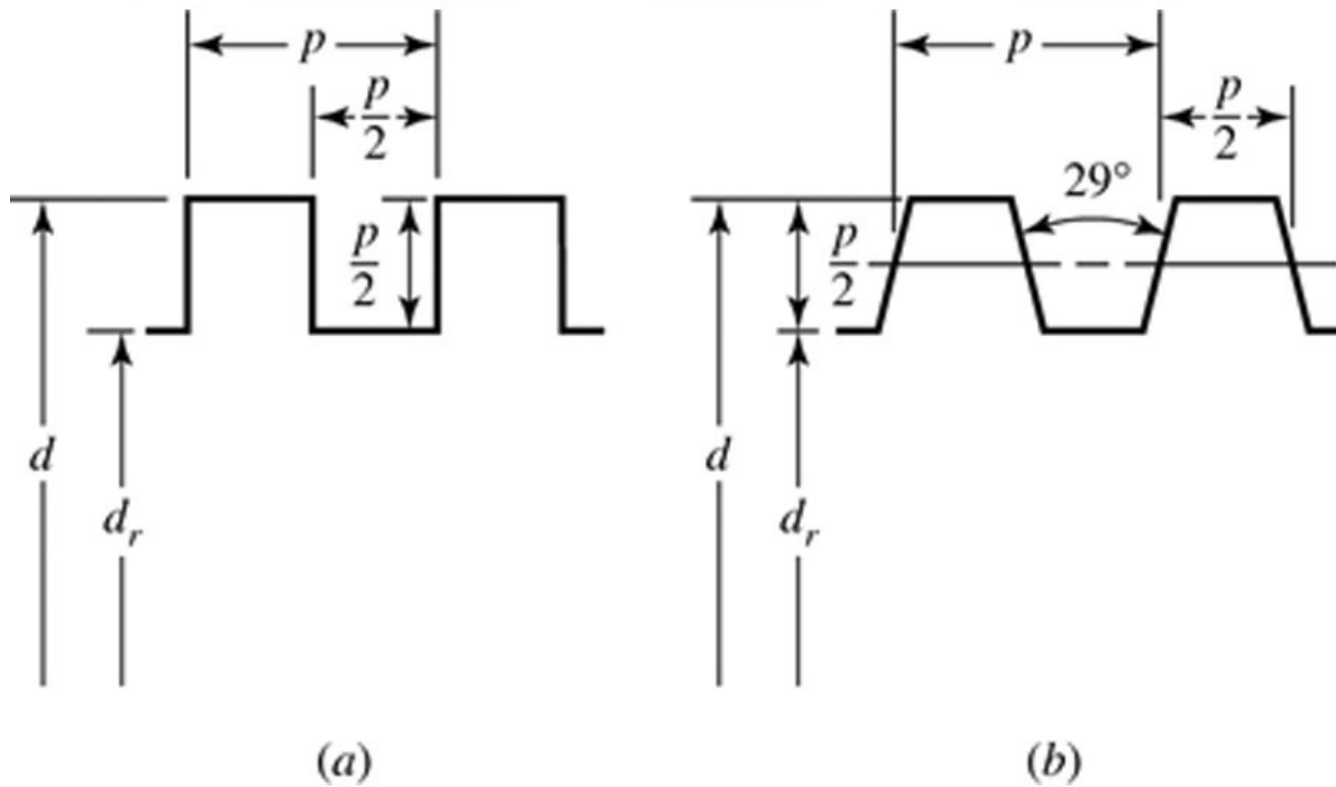
# PADRÕES DE ROSCA



Perfil básico de rosca para roscas métricas M e MJ. O perfil MJ possui um filete ou tira arredondada na raiz da rosca externa e o diâmetro menor acrescido de ambas as roscas interna e externa.

# PADRÕES DE ROSCA

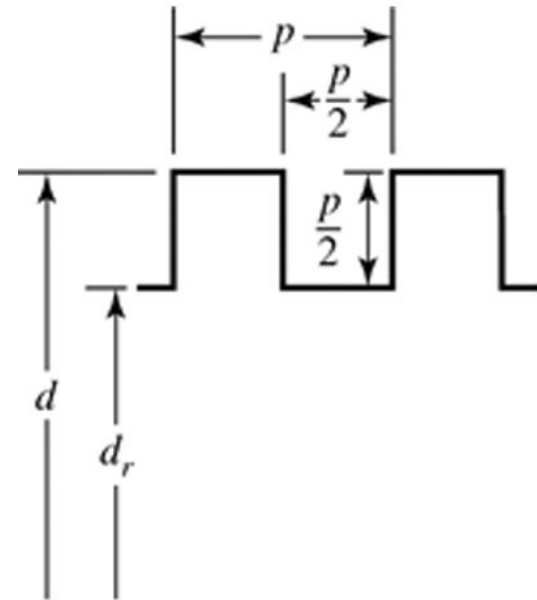
- As roscas quadradas e ACME são utilizadas em parafusos quando potência deve ser transmitida.



Roscas (a) quadradas e (b) ACME são mostradas na figura acima

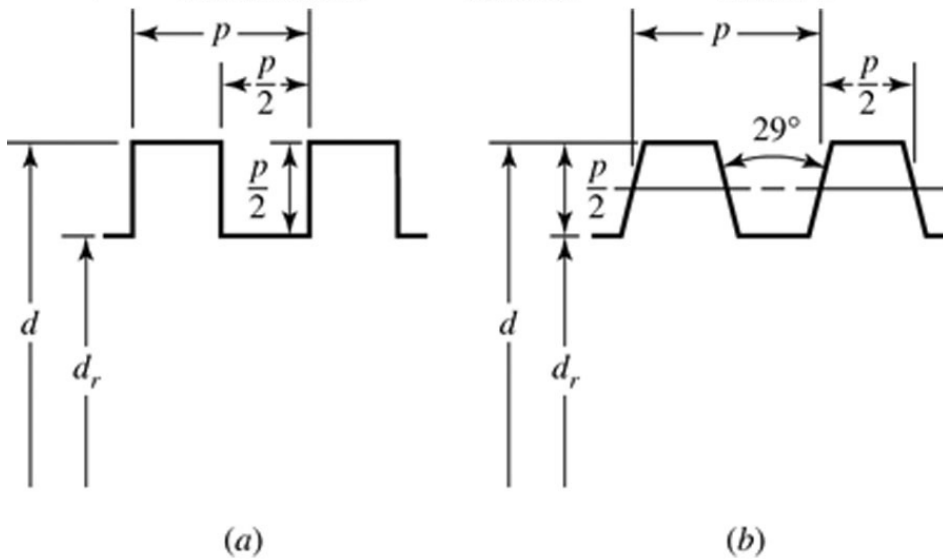
# PADRÕES DE ROSCA

- Características de uma rosca quadrada:
- Passo ( $p$ ): distância entre dois filetes consecutivos;
- Profundidade =  $\text{passo}/2$
- Largura = profundidade;
- Diâmetro médio ( $d_m$ ) =  $d - \text{passo}/2$ ;
- Diâmetro interno ( $d_r$ ) =  $d - \text{passo}$ ;
- $n$  = número de entradas;
- Avanço ( $L$ ) =  $n \cdot \text{passo}$ .



# PADRÕES DE ROSCA

- Modificações são realizadas nas roscas quadradas e ACME;
- Por exemplo, a rosca quadrada é modificada cortando-se o espaço entre os dentes, a fim de ter um ângulo de rosca incluído de  $10^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ ;
- As modificações retêm a maior parte da alta eficiência inerentes as roscas quadradas e tornam o corte mais simples.



# PADRÕES DE ROSCA

- Roscas ACME são às vezes modificadas para uma forma de toco fazendo-se os dentes mais curtos, resultando em um parafuso mais forte.

|                 |                |                |                |                |               |               |               |               |                |                |                |               |                |               |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| $d, \text{ in}$ | $\frac{1}{4}$  | $\frac{5}{16}$ | $\frac{3}{8}$  | $\frac{1}{2}$  | $\frac{5}{8}$ | $\frac{3}{4}$ | $\frac{7}{8}$ | 1             | $1\frac{1}{4}$ | $1\frac{1}{2}$ | $1\frac{3}{4}$ | 2             | $2\frac{1}{2}$ | 3             |
| $p, \text{ in}$ | $\frac{1}{16}$ | $\frac{1}{14}$ | $\frac{1}{12}$ | $\frac{1}{10}$ | $\frac{1}{8}$ | $\frac{1}{6}$ | $\frac{1}{6}$ | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{5}$  | $\frac{1}{4}$  | $\frac{1}{4}$  | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{3}$  | $\frac{1}{2}$ |

Passos de roscas ACME indicados.

# PADRÕES DE ROSCA

| Nominal Major Diameter $d$<br>mm | Coarse-Pitch Series |  |  | Fine-Pitch Series |  |  |
|----------------------------------|---------------------|--|--|-------------------|--|--|
|                                  | Pitch $p$<br>mm     | Tensile-Stress Area $A_t$<br>mm <sup>2</sup> | Minor-Diameter Area $A_r$<br>mm <sup>2</sup> | Pitch $p$<br>mm   | Tensile-Stress Area $A_t$<br>mm <sup>2</sup> | Minor-Diameter Area $A_r$<br>mm <sup>2</sup> |
| 1.6                              | 0.35                | 1.27   | 1.07   |                   |  |  |
| 2                                | 0.40                | 2.07   | 1.79   |                   |  |  |
| 2.5                              | 0.45                | 3.39   | 2.98   |                   |  |  |
| 3                                | 0.5                 | 5.03   | 4.47   |                   |  |  |
| 3.5                              | 0.6                 | 6.78   | 6.00   |                   |  |  |
| 4                                | 0.7                 | 8.78   | 7.75   |                   |  |  |
| 5                                | 0.8                 | 14.2   | 12.7   |                   |  |  |
| 6                                | 1                   | 20.1   | 17.9   |                   |  |  |
| 8                                | 1.25                | 36.6   | 32.8   | 1                 | 39.2   | 36.0   |
| 10                               | 1.5                 | 58.0   | 52.3   | 1.25              | 61.2   | 56.3   |
| 12                               | 1.75                | 84.3   | 76.3   | 1.25              | 92.1   | 86.0   |
| 14                               | 2                   | 115  | 104  | 1.5               | 125  | 116  |
| 16                               | 2                   | 157  | 144  | 1.5               | 167  | 157  |
| 20                               | 2.5                 | 245  | 225  | 1.5               | 272  | 259  |
| 24                               | 3                   | 353  | 324  | 2                 | 384  | 365  |
| 30                               | 3.5                 | 561  | 519  | 2                 | 621  | 596  |
| 36                               | 4                   | 817  | 759  | 2                 | 915  | 884  |
| 42                               | 4.5                 | 1120   | 1050   | 2                 | 1260   | 1230   |
| 48                               | 5                   | 1470   | 1380   | 2                 | 1670   | 1630   |
| 56                               | 5.5                 | 2030   | 1910   | 2                 | 2300   | 2250   |
| 64                               | 6                   | 2680   | 2520   | 2                 | 3030   | 2980   |
| 72                               | 6                   | 3460   | 3280   | 2                 | 3860   | 3800   |
| 80                               | 6                   | 4340   | 4140   | 1.5               | 4850   | 4800   |
| 90                               | 6                   | 5590   | 5360   | 2                 | 6100   | 6020   |
| 100                              | 6                   | 6990   | 6740   | 2                 | 7560   | 7470   |
| 110                              |                     |  |  | 2                 | 9180   | 9080   |

$$A_t = \frac{\pi}{4} \left( \frac{d_p + d_r}{2} \right)^2$$

Área sob tração

Diâmetros e áreas de roscas métricas de passo grosso e passo fino

# PADRÕES DE ROSCA

| Size Designation | Coarse Series—UNC         |                           |  |  | Fine Series—UNF           |  |  |
|------------------|---------------------------|---------------------------|--|--|---------------------------|--|--|
|                  | Nominal Major Diameter in | Threads per Inch <i>N</i> | Tensile-Stress Area <i>A<sub>t</sub></i> in <sup>2</sup> | Minor-Diameter Area <i>A<sub>r</sub></i> in <sup>2</sup> | Threads per Inch <i>N</i> | Tensile-Stress Area <i>A<sub>t</sub></i> in <sup>2</sup> | Minor-Diameter Area <i>A<sub>r</sub></i> in <sup>2</sup> |
| 0                | 0.0600                    |                           |  |  | 80                        | 0.001 80   | 0.001 51   |
| 1                | 0.0730                    | 64                        | 0.002 63   | 0.002 18   | 72                        | 0.002 78   | 0.002 37   |
| 2                | 0.0860                    | 56                        | 0.003 70   | 0.003 10   | 64                        | 0.003 94   | 0.003 39   |
| 3                | 0.0990                    | 48                        | 0.004 87   | 0.004 06   | 56                        | 0.005 23   | 0.004 51   |
| 4                | 0.1120                    | 40                        | 0.006 04   | 0.004 96   | 48                        | 0.006 61   | 0.005 66   |
| 5                | 0.1250                    | 40                        | 0.007 96   | 0.006 72   | 44                        | 0.008 80   | 0.007 16   |
| 6                | 0.1380                    | 32                        | 0.009 09   | 0.007 45   | 40                        | 0.010 15   | 0.008 74   |
| 8                | 0.1640                    | 32                        | 0.014 0  | 0.011 96   | 36                        | 0.014 74   | 0.012 85   |
| 10               | 0.1900                    | 24                        | 0.017 5  | 0.014 50   | 32                        | 0.020 0  | 0.017 5  |
| 12               | 0.2160                    | 24                        | 0.024 2  | 0.020 6  | 28                        | 0.025 8  | 0.022 6  |
| $\frac{1}{4}$    | 0.2500                    | 20                        | 0.031 8  | 0.026 9  | 28                        | 0.036 4  | 0.032 6  |
| $\frac{5}{16}$   | 0.3125                    | 18                        | 0.052 4  | 0.045 4  | 24                        | 0.058 0  | 0.052 4  |
| $\frac{3}{8}$    | 0.3750                    | 16                        | 0.077 5  | 0.067 8  | 24                        | 0.087 8  | 0.080 9  |
| $\frac{7}{16}$   | 0.4375                    | 14                        | 0.106 3  | 0.093 3  | 20                        | 0.118 7  | 0.109 0  |
| $\frac{1}{2}$    | 0.5000                    | 13                        | 0.141 9  | 0.125 7  | 20                        | 0.159 9  | 0.148 6  |
| $\frac{9}{16}$   | 0.5625                    | 12                        | 0.182  | 0.162  | 18                        | 0.203  | 0.189  |
| $\frac{5}{8}$    | 0.6250                    | 11                        | 0.226  | 0.202  | 18                        | 0.256  | 0.240  |
| $\frac{3}{4}$    | 0.7500                    | 10                        | 0.334  | 0.302  | 16                        | 0.373  | 0.351  |
| $\frac{7}{8}$    | 0.8750                    | 9                         | 0.462  | 0.419  | 14                        | 0.509  | 0.480  |
| 1                | 1.0000                    | 8                         | 0.606  | 0.551  | 12                        | 0.663  | 0.625  |
| $1\frac{1}{4}$   | 1.2500                    | 7                         | 0.969  | 0.890  | 12                        | 1.073  | 1.024  |
| $1\frac{1}{2}$   | 1.5000                    | 6                         | 1.405  | 1.294  | 12                        | 1.581  | 1.521  |

Diâmetros e áreas de roscas de parafusos unificados UNC e UNF\*



# PORCAS

- Função de travamento;

- **TIPOS:**

- Hexagonal padronizada ou sextavada;

- Porca de aperto (pressão): mais estreita que a hexagonal e é utilizada em combinação com a padrão para travar esta ao parafuso;

- Hexagonal de castelo: sulcos para inserção de um pino, evitando que a porca trabalhe frouxa.

- Porca cega: propósitos decorativos;

- Borboleta: remoção sem necessidade de ferramentas.



(a) Porca hexagonal padronizada ou sextavada



(b) Porca hexagonal de pressão



(c) Porca hexagonal de castelo



(d) Porca hexagonal de cúpula ou cega

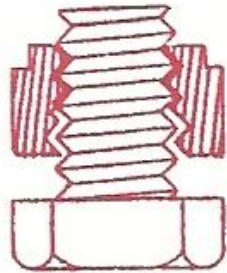


(e) Porca de borboleta

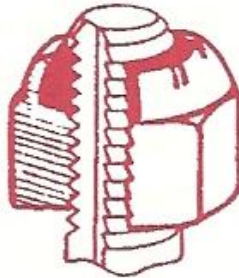
# PORCAS

- **PORCAS DE TRAVAMENTO:** prevenção do afrouxamento devido à vibração.
- 2 porcas apertadas conjuntamente no parafuso;
- Porca de castelo com um pino;
- Elíptica: últimos fios de rosca dispostos em forma elíptica (interferência com filetes do parafuso);
- Insertos de nylon na rosca (nylon flui nas folgas da rosca e agarra o parafuso);
- Pino;
- Porcas com flanges.

# PORCAS



(a) Porca de travamento elíptica



(b) Porca de travamento com inserto de nylon



(c) Porca de travamento por pinó



(d) Porca de travamento com flange

# ARRUELAS

- Parte plana, com forma de anel, que serve para aumentar a área de contato entre a cabeça do parafuso ou porca e a parte sujeitada.

- Isolamento elétrico.

- Arruelas de travamento: evitar o afrouxamento espontâneo de porcas.

- Menos efetivas que as porcas de travamento.



(a) Arruela de travamento bipartida, ou de pressão



(b) Arruela de dentes internos



(c) Arruela de dentes externos



(d) Arruela de dentes internos e externos, ou denteado duplo

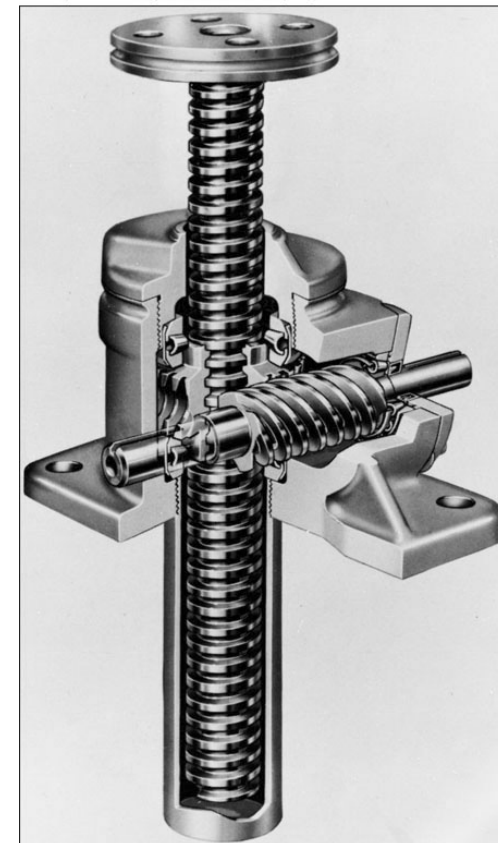
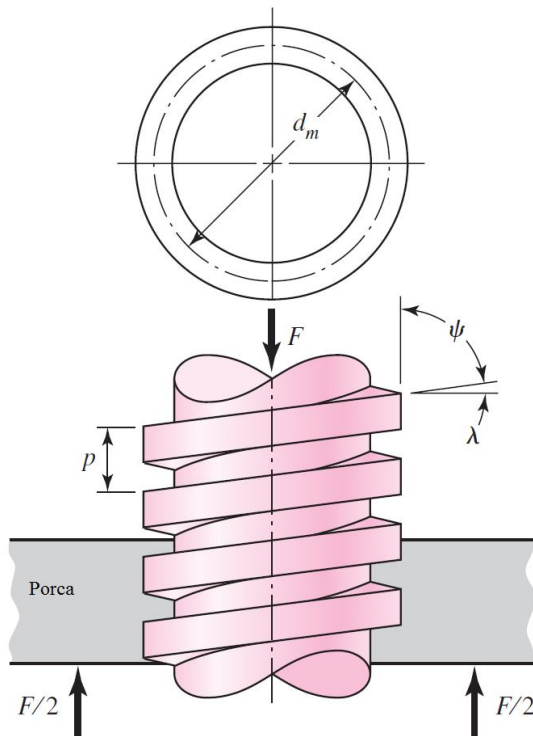


(e) Arruela de dentes em cone

# PARAFUSOS DE POTÊNCIA

- Dispositivo usado em maquinaria para transformar o movimento angular em linear;
- Transmitir potência;
- Levantar e mover grandes cargas.

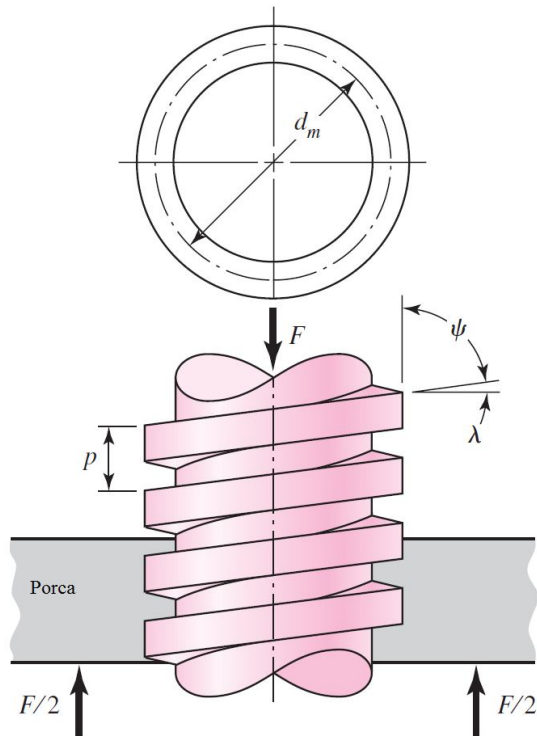
Aplicações: Parafusos de avanço de tornos mecânicos e parafusos para morsa, prensas e macacos.



# PARAFUSOS DE POTÊNCIA

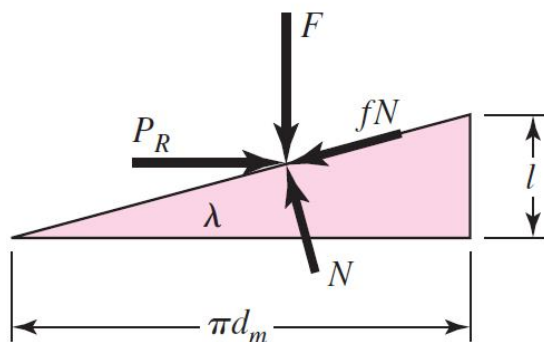
Na figura a seguir, um parafuso de potência com rosca quadrada com diâmetro médio  $d_m$ , passo  $p$  e ângulo de avanço  $\lambda$  e ângulo de hélice  $\psi$ , é carregado pela força de compressão axial  $F$ .

Deseja-se encontrar uma expressão para o torque requerido para elevar a carga e baixar a mesma.

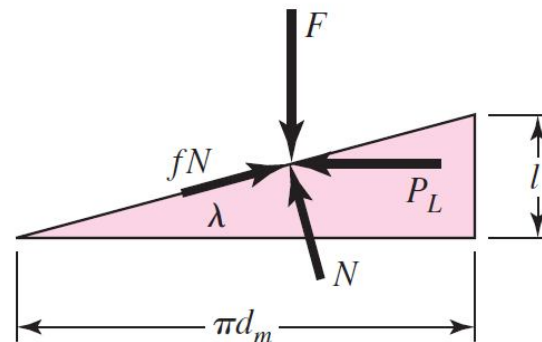


# PARAFUSOS DE POTÊNCIA

- Imagina-se que uma única rosca do parafuso é desenrolada ou desenvolvida por uma volta.
- Deseja-se encontrar uma expressão para o torque requerido para elevar a carga e baixar a mesma.
- Uma beira dessa rosca formará a hipotenusa de um triângulo reto cuja base é o comprimento da circunferência do círculo de diâmetro médio de rosca e cuja altura é o avanço.
- O ângulo  $\lambda$  é o ângulo de avanço da rosca.
- Para elevar a carga, uma força  $P_R$  atua para a direita e para baixá-la  $P_L$ , para a esquerda.



(a)



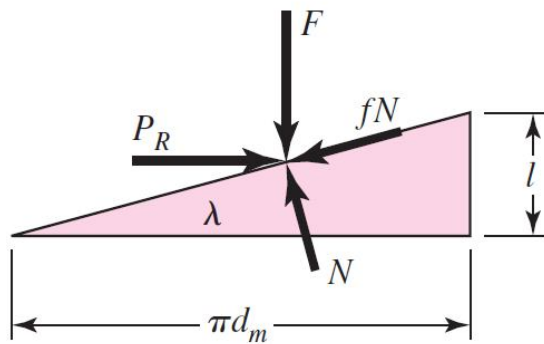
(b)

# PARAFUSOS DE POTÊNCIA

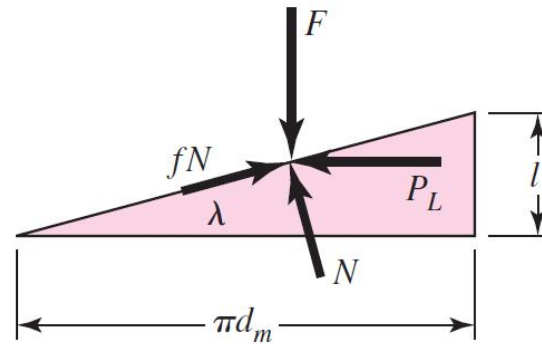
- Para o sistema em equilíbrio quando da elevação da carga:

$$\sum F_H = P_R - N \operatorname{sen} \lambda - f N \cos \lambda = 0$$

$$\sum F_V = F + f N \operatorname{sen} \lambda - N \cos \lambda = 0$$



(a)



(b)

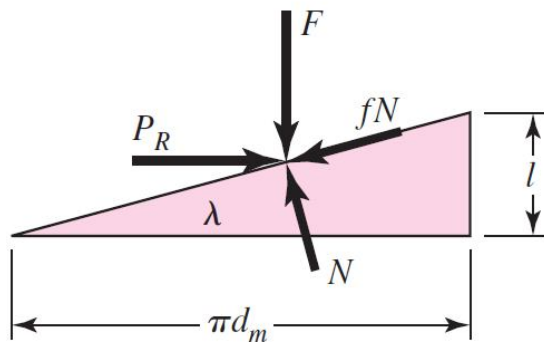


# PARAFUSOS DE POTÊNCIA

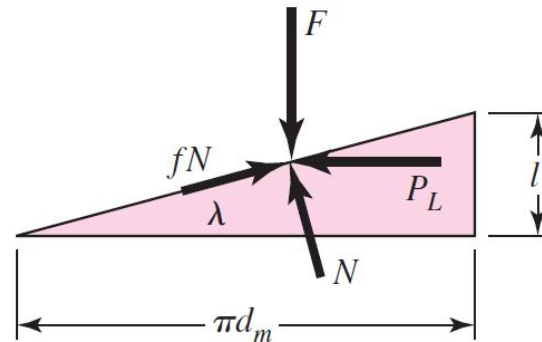
- Para o sistema em equilíbrio para baixar a carga:

$$\sum F_H = -P_L - N \operatorname{sen} \lambda + f N \cos \lambda = 0$$

$$\sum F_V = F - f N \operatorname{sen} \lambda - N \cos \lambda = 0$$



(a)



(b)

# PARAFUSOS DE POTÊNCIA

- Como a força normal não é necessária, determina-se P:

$$P_R = F \frac{(\operatorname{sen} \lambda + f \cos \lambda)}{\cos \lambda - f \operatorname{sen} \lambda}$$

Força necessária para elevar a carga.

$$P_L = F \frac{(f \cos \lambda - \operatorname{sen} \lambda)}{\cos \lambda + f \operatorname{sen} \lambda}$$

Força necessária para baixar a carga.

- Dividindo-se o numerador e o denominador por  $\cos \lambda$  e utilizando-se a relação:

$$\tan \lambda = \frac{l}{\pi d_m}$$

$$P_R = F \frac{[(l / \pi d_m) + f]}{1 - (f l / \pi d_m)}$$

Força necessária para elevar a carga.

$$P_L = F \frac{[f - (l / \pi d_m)]}{1 + (f l / \pi d_m)}$$

Força necessária para baixar a carga.

# PARAFUSOS DE POTÊNCIA

- O torque é o produto da força P e do raio médio:

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - f l} \right)$$

Torque necessário para elevar a carga.

$$T_L = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{\pi f d_m - l}{\pi d_m + f l} \right)$$

Torque necessário para baixar a carga.

- Pode ocorrer que o avanço é grande ou o atrito pequeno. Nestes casos, a carga pode baixar por si mesma, fazendo o parafuso rodar sem qualquer esforço interno.

- Neste caso, o torque  $T_L$  será negativo ou zero.

# PARAFUSOS DE POTÊNCIA

• Quando um torque positivo é obtido da equação anterior, diz-se que o parafuso é autobloqueante ou autoretentor.

• A condição para o autobloqueio é a seguinte:

$$\pi f d_m > l$$

$$f > \frac{l}{\pi d_m}$$

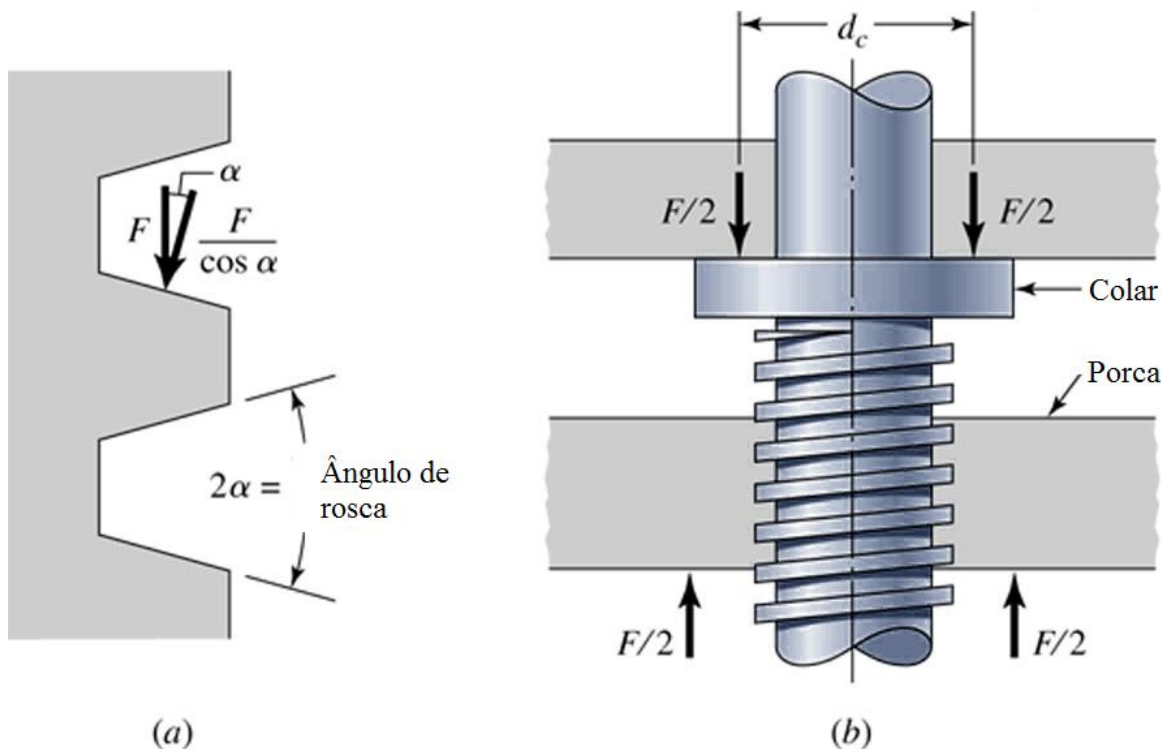
$$f > \tan \lambda$$

• O autobloqueio é obtido sempre que o coeficiente de fricção de rosca é igual ou maior que a tangente do ângulo de avanço de rosca.

# PARAFUSOS DE POTÊNCIA

No caso de roscas ACME ou outras roscas, a carga de rosca normal está inclinada relativamente ao eixo, devido ao ângulo de rosca  $2\alpha$  e ao ângulo de avanço  $\lambda$ .

Visto que os ângulos de avanço são pequenos, essa inclinação pode ser desprezada e somente o efeito do ângulo de rosca será considerado.



$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m \sec \alpha}{\pi d_m - f l \sec \alpha} \right)$$

# PARAFUSOS DE POTÊNCIA

## EFICIÊNCIA

Torque requerido para elevar a carga com atrito zero:

$$T_0 = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \pi d_m}{\pi d_m} \right) = \frac{F d_m}{2} \frac{l}{\pi d_m} = \frac{F l}{2 \pi}$$

$$e = \frac{T_0}{T_R} = \frac{F l}{2 \pi T_R}$$

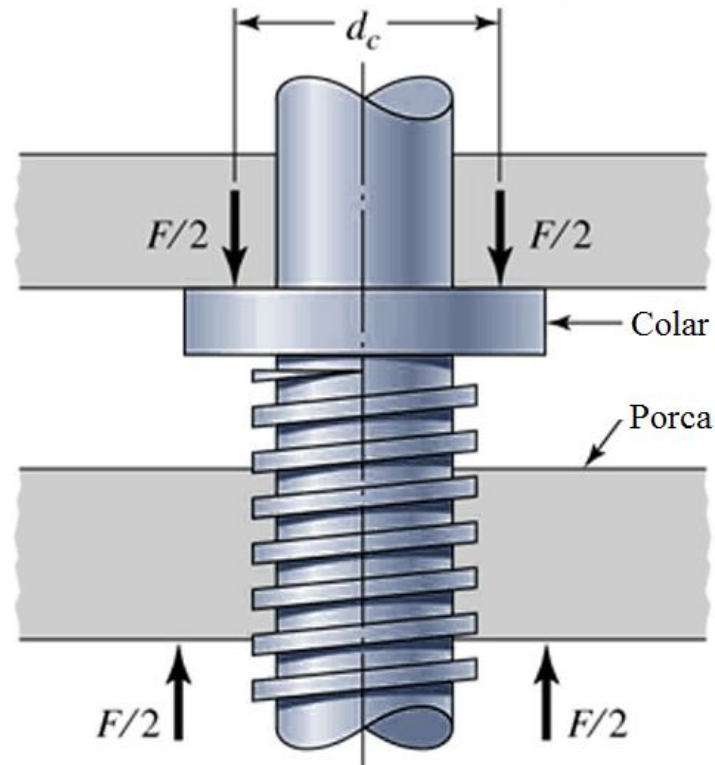
# PARAFUSOS DE POTÊNCIA

## MANCAL AXIAL OU COLAR

Utilizado entre os membros rotantes a fim de suportar a componente axial, quando o parafuso é carregado axialmente.

Assume-se que a carga está concentrada no diâmetro médio do colar.

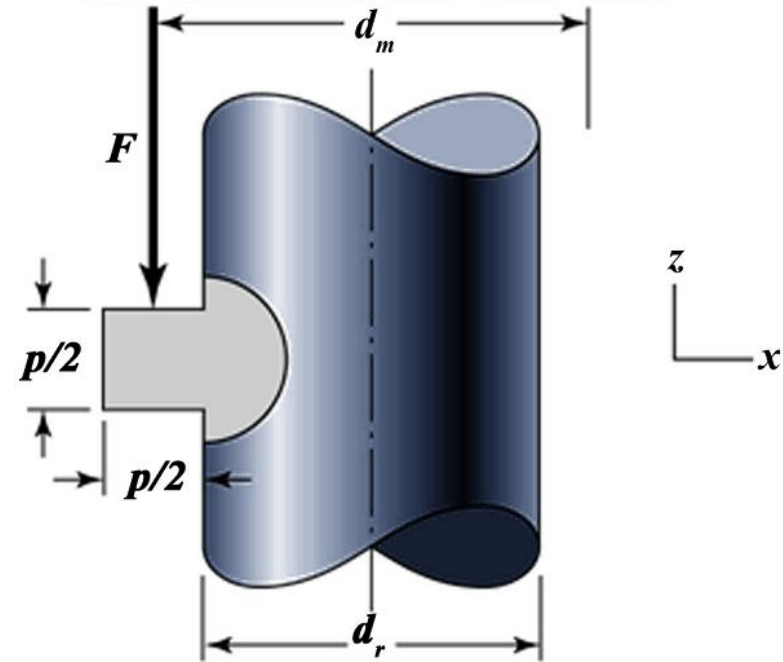
$$T_c = \frac{F f_c d_c}{2}$$



# PARAFUSOS DE POTÊNCIA

Tensão nominal de cisalhamento na torção do corpo do parafuso:

$$\tau = \frac{T c}{J} = \frac{16T}{\pi d_r^3}$$



Tensão axial o corpo do parafuso devido à  $F$ ,  
Na ausência de ação de coluna:

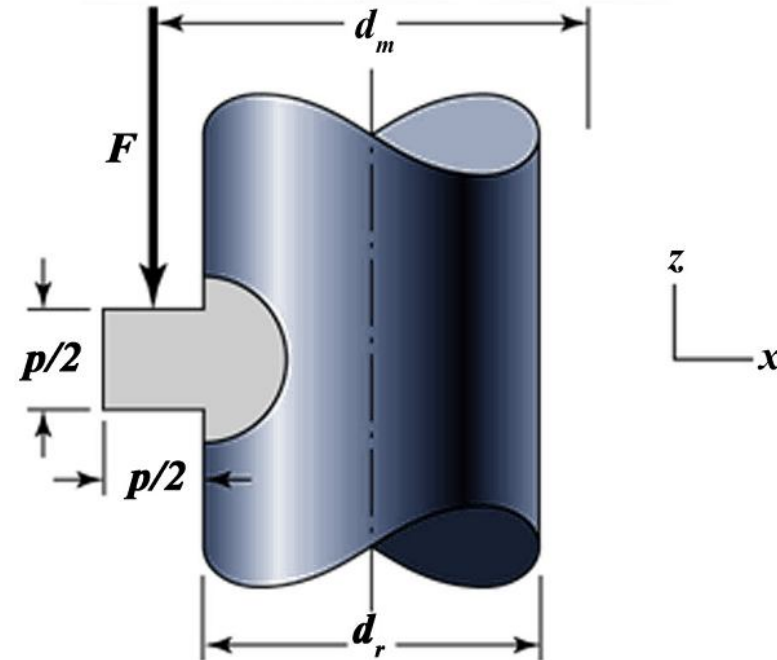
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d_r^2}$$



# PARAFUSOS DE POTÊNCIA

Para uma coluna curta (Johnson):

$$\left(\frac{F}{A}\right)_{crit} = S_y - \left(\frac{S_y l}{2\pi k}\right)^2 \frac{1}{CE}$$



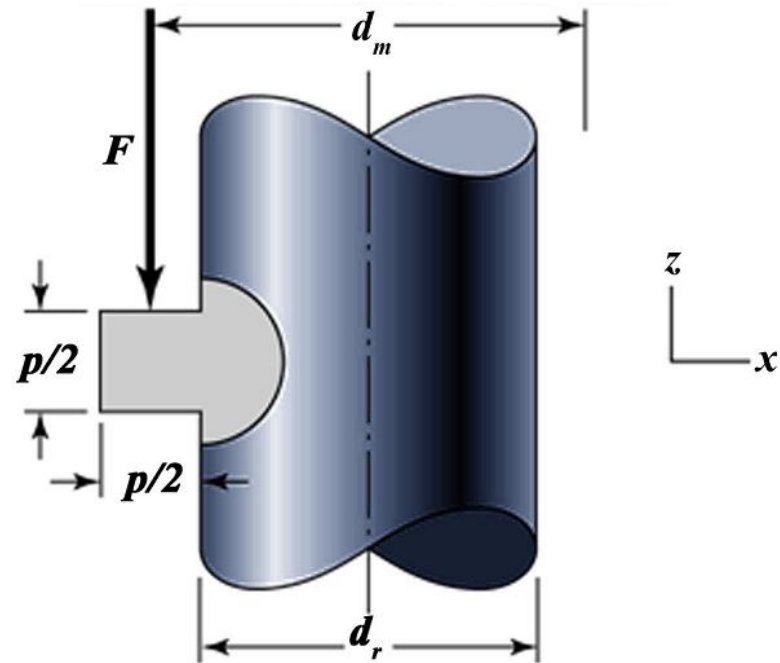
| <b>End-Condition Constant C</b> |                          |                           |                           |
|---------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>Column End Conditions</b>    | <b>Theoretical Value</b> | <b>Conservative Value</b> | <b>Recommended Value*</b> |
| Fixed-free                      | $\frac{1}{4}$            | $\frac{1}{4}$             | $\frac{1}{4}$             |
| Rounded-rounded                 | 1                        | 1                         | 1                         |
| Fixed-rounded                   | 2                        | 1                         | 1.2                       |
| Fixed-fixed                     | 4                        | 1                         | 1.2                       |

\*To be used only with liberal factors of safety when the column load is accurately known.

# PARAFUSOS DE POTÊNCIA

Tensão de apoio:

$$\sigma_B = -\frac{F}{\pi d_m n_t p / 2} = -\frac{2F}{\pi d_m n_t p}$$



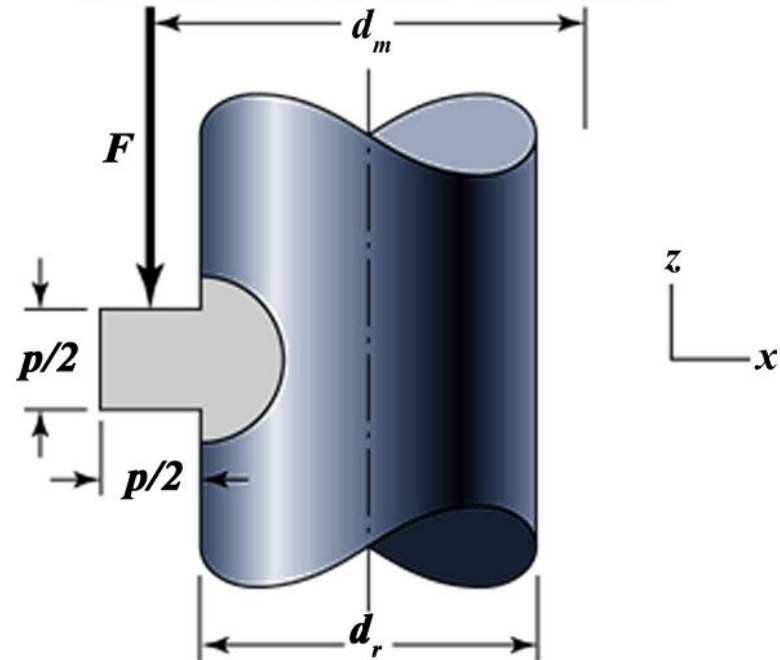
Onde  $n_t$  é o número de roscas trabalhando:

# PARAFUSOS DE POTÊNCIA

Tensão de flexão na raiz da rosca:

$$\frac{I}{c} = \frac{(\pi d_r n_t)(p/2)^2}{6} = \frac{\pi}{24} d_r n_t p^2$$

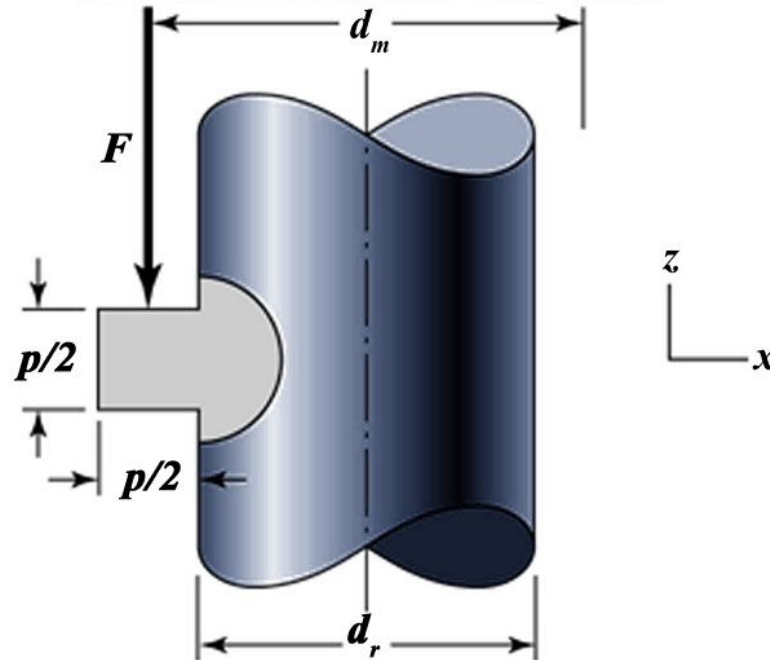
$$\sigma_b = \frac{M}{I/c} = \frac{F p}{4} \frac{24}{\pi d_r n_t p^2} = \frac{6F}{\pi d_r n_t p}$$



# PARAFUSOS DE POTÊNCIA

Tensão transversal de cisalhamento, no centro da raiz da rosca:

$$\tau = \frac{3V}{2A} = \frac{3}{2} \frac{F}{\pi d_r n_t p / 2} = \frac{3F}{\pi d_r n_t p}$$



## EXERCÍCIO 8-4

Um parafuso de potência de 25 mm de rosqueado único tem diâmetro de 25 mm, com um passo de 5 mm. Uma carga vertical nesse parafuso alcança um máximo de 6 kN. Os coeficientes de fricção são 0,05 para o colar e 0,08 para as roscas. O diâmetro friccional do colar é de 40 mm. Encontre a eficiência global e o torque para elevar e baixar a carga

$$l = N p = 1 \cdot 5 \text{ mm} = 5 \text{ mm}$$

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - f l} \right) + T_c$$

$$T_c = \frac{F f_c d_c}{2} = \frac{6000(0,05)0,040}{2} = 6,0 \text{ N.m}$$

$$T_R = \frac{6000 \text{ N}(0,025)}{2} \left( \frac{0,005 + \pi (0,08)(0,025)}{\pi (0,025) - 0,08(0,005)} \right) + 6,0 = 16,82 \text{ N.m}$$

## EXERCÍCIO 8-4

$$T_c = \frac{F f_c d_c}{2} = \frac{6000(0,05)0,040}{2} = 6,0 \text{ N.m}$$

$$T_L = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{\pi f d_m - l}{\pi d_m + f l} \right) + T_c$$

$$T_L = \frac{6000(0,025)}{2} \left( \frac{\pi (0,08)0,025 - 0,005}{\pi (0,025) + 0,08(0,005)} \right) + 6,0 = 0,201 + 6 = 6,201 \text{ N.m}$$

$$e = \frac{T_0}{T_R} = \frac{Fl}{2\pi T_R} = \frac{6000(0,005)}{2\pi 16,82} = 0,28$$

## EXERCÍCIO 8-10

Um parafuso de potência de uma única rosca quadrada apresenta uma potência de entrada de 3kW a uma velocidade de 1r/s. O parafuso tem diâmetro de 36 mm e um passo de 6 mm. Os coeficientes friccionais são 0,14 para as roscas e 0,09 para o colar, com um raio de fricção desse último de 45 mm. Encontre a carga resistente axial F e a eficiência combinada do parafuso e do colar.

$$d_m = 36 - 3 = 33 \text{ mm}$$

$$l = p = 6 \text{ mm}$$

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - f l} \right) + \frac{F f_c d_c}{2}$$

$$T_R = \frac{F 33}{2} \left( \frac{6 + \pi (0,14) 33}{\pi 33 - 0,14(6)} \right) + \frac{F (0,09) 90}{2}$$

$$T_R = 7,34 F \text{ N.m}$$

## EXERCÍCIO 8-10

$$\omega = 2\pi n$$

$$H = T \omega$$

$$T = \frac{H}{\omega} = \frac{3000}{2\pi} = 477 \text{ N.m}$$

$$F = \frac{477}{7,34} = 65,0 \text{ kN}$$

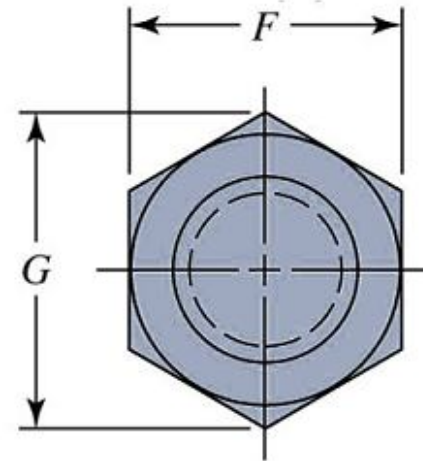
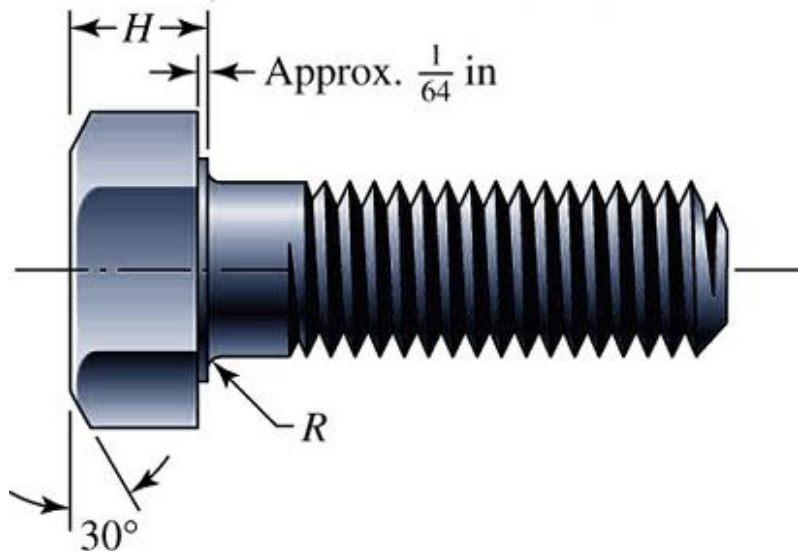
$$e = \frac{T_0}{T_R} = \frac{Fl}{2\pi T_R} = \frac{65,0(6)}{2\pi(477)} = 0,130$$



# PARAFUSOS DE FIXAÇÃO

- Propósito de um parafuso de porca: manter duas ou mais peças unidas.
- O comprimento de rosca de parafusos de porca de série em polegadas é dado por:

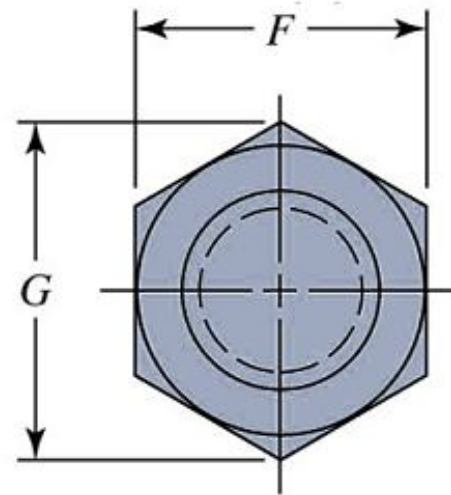
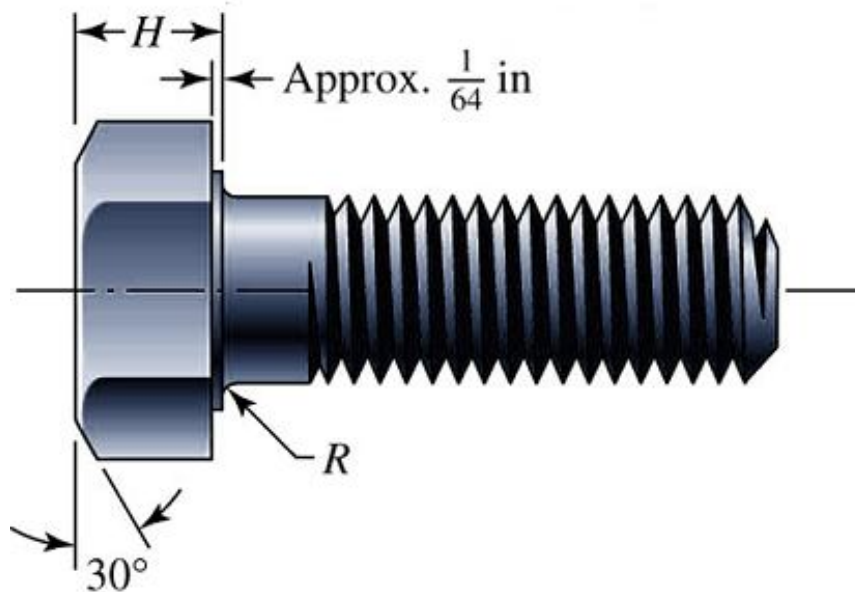
$$L_T = \begin{cases} 2D + \frac{1}{4} \text{ in} & L \leq 6 \text{ in} \\ 2D + \frac{1}{2} \text{ in} & L > 6 \text{ in} \end{cases}$$



# PARAFUSOS DE FIXAÇÃO

- O comprimento de rosca de parafusos de porca métricos:

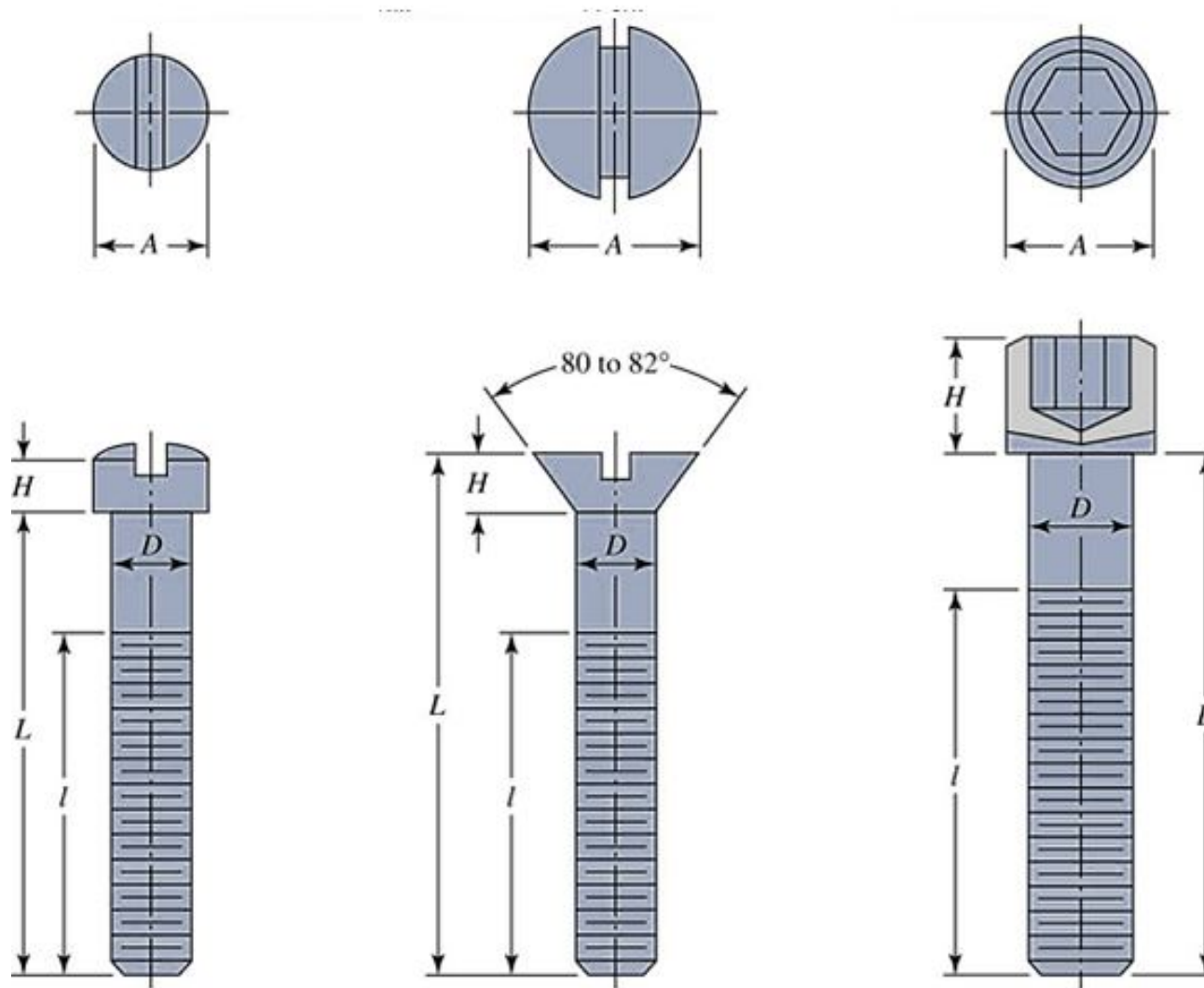
$$L_T = \begin{cases} 2D + 6 & L \leq 125 & D \leq 48 \\ 2D + 12 & 125 < L \leq 200 \\ 2D + 2 & L > 200 \end{cases}$$



# PARAFUSOS DE FIXAÇÃO

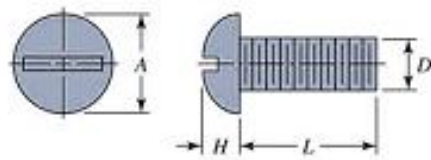
- Classificação pelo tipo de cabeça:
- Fenda reta;
- Fenda em cruz (Phillips);
- Sextavada;
- Sextavada com fendas;
- Cabeças hexagonais com encaixe (mais fácil de transmitir o torque).

# PARAFUSOS DE FIXAÇÃO

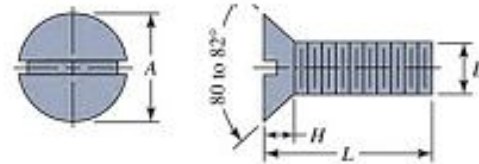


Cabeças típicas de parafusos de calota: (a) cabeça fillister (cilíndrica-oval de fenda); b) cabeça plana (cônica plana de fenda) (c) cabeça de bocal hexagonal.

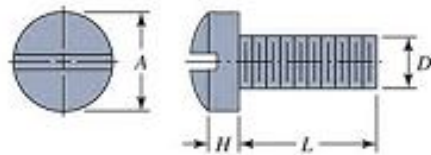
# PARAFUSOS DE FIXAÇÃO



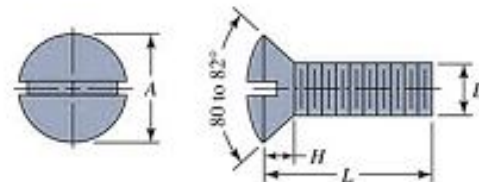
(a) Round head



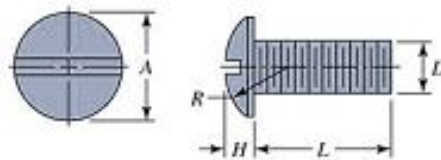
(b) Flat head



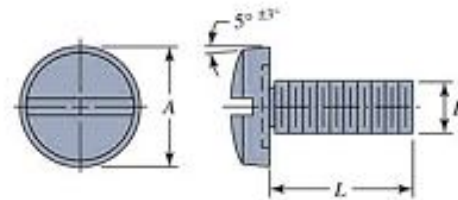
(c) Fillister head



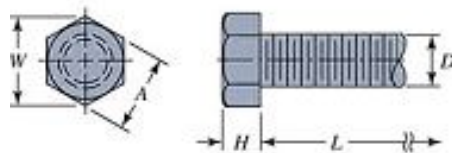
(d) Oval head



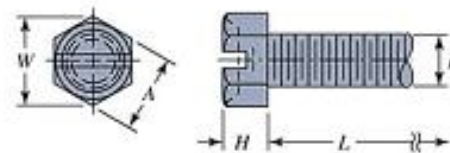
(e) Truss head



(f) Binding head



(g) Hex head (trimmed)



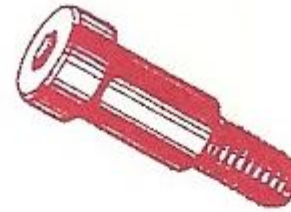
(h) Hex head (upset)

Tipos de cabeças usadas em parafusos de máquina.

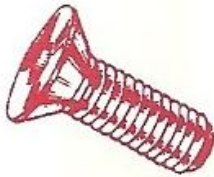
# PARAFUSOS DE FIXAÇÃO



(a) Parafuso com cavidade



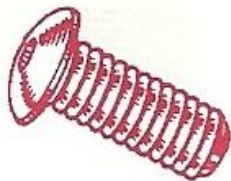
(d) Parafuso de ombro



(b) Parafuso com cabeça plana e cavidade

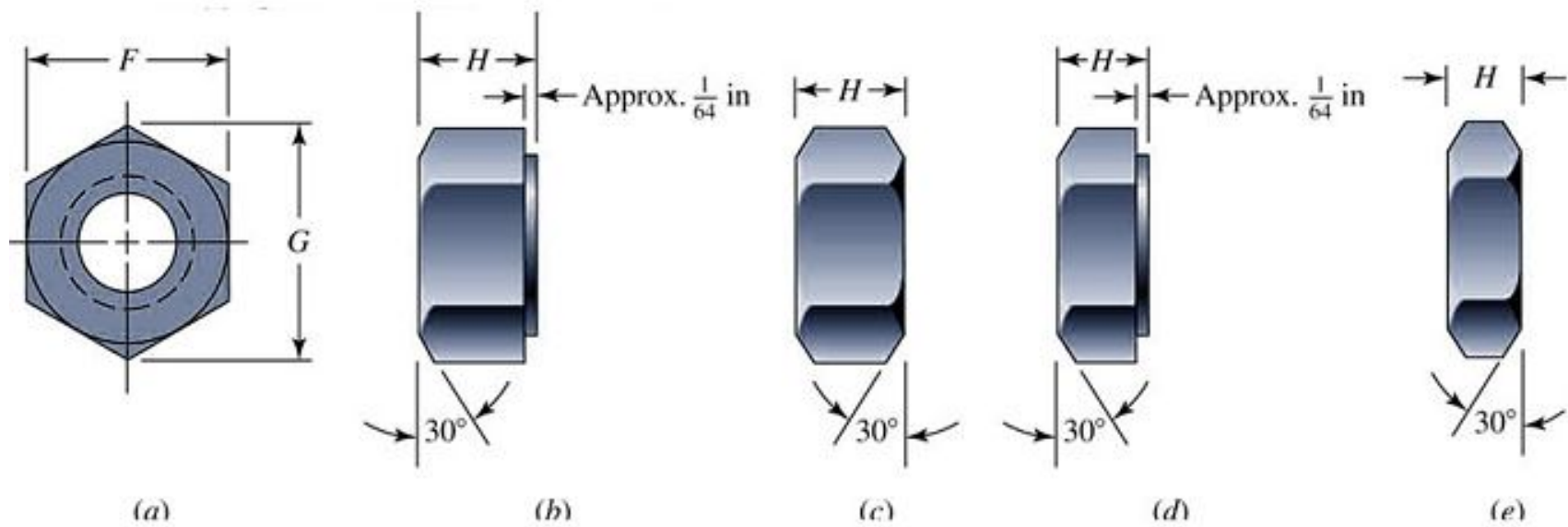


(e) Parafuso sem cabeça com cavidade



(c) Parafuso com cabeça em forma de botão com cavidade

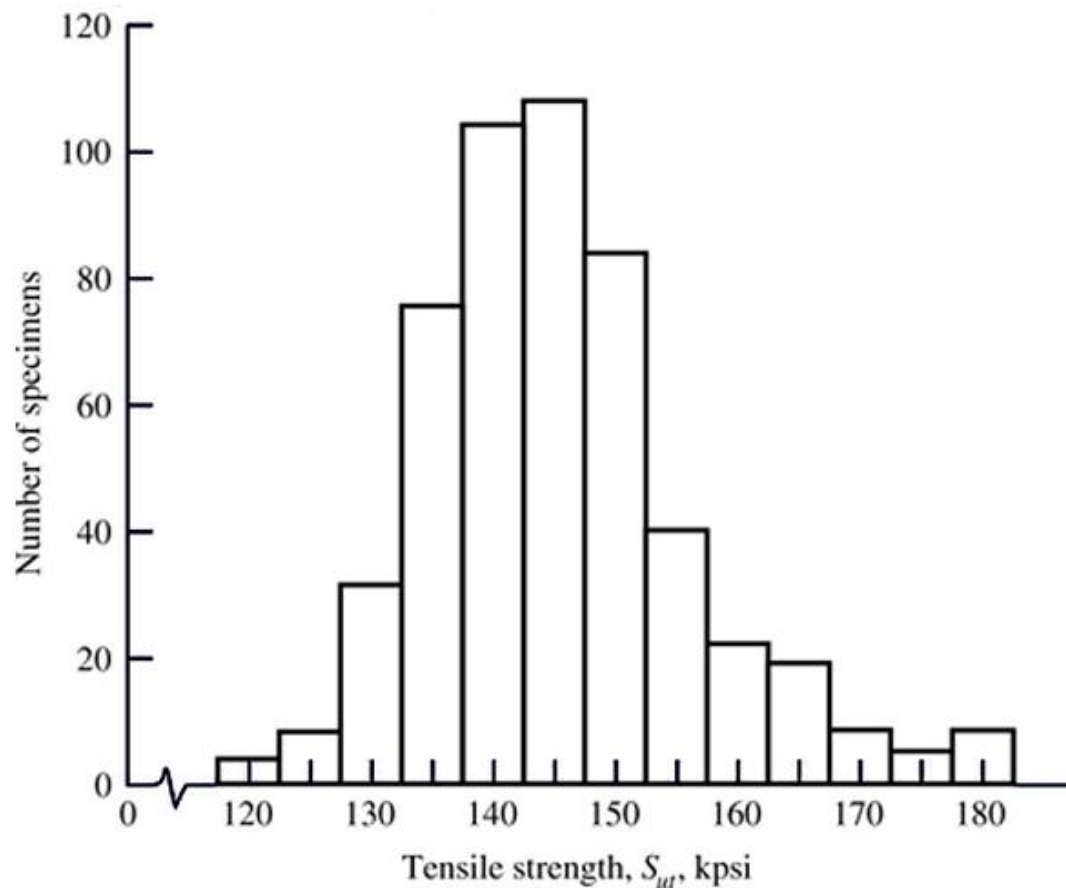
# PARAFUSOS DE FIXAÇÃO



Porcas hexagonais

# RESISTÊNCIA DE PARAFUSO DE PORCA

- Resistência para parafusos de porca é determinada declarando-se as quantidades mínimas da ASTM, a resistência mínima à prova ou a carga mínima de prova, e a resistência mínima à tração.



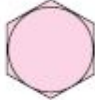



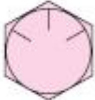



Histograma de resistência última à tração de parafuso de porca baseado em 539 ensaios.



# RESISTÊNCIA DE PARAFUSO DE PORCA

- A **carga de prova** é a carga (força) máxima que o parafuso pode agüentar sem adquirir uma deformação permanente (0,0001 in);
- A **resistência de prova** é a tensão sob a qual o parafuso começa a apresentar deformação permanente ( $S_p < S_y$ );
- Todos os parafusos de porca com especificação de grau feito nos Estados Unidos levam uma marca do fabricante ou emblema, além da marcação de grau em sua cabeça. Tais marcas confirmam que o parafuso satisfaz ou excede as especificações.

# RESISTÊNCIA DE PARAFUSO DE PORCA

| SAE Grade No. | Size Range Inclusive, in        | Minimum Proof Strength,* kpsi | Minimum Tensile Strength,* kpsi | Minimum Yield Strength,* kpsi | Material                   | Head Marking  |
|---------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---|
| 1             | $\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$  | 33                            | 60                              | 36                            | Low or medium carbon       |    |
| 2             | $\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$   | 55                            | 74                              | 57                            | Low or medium carbon       |    |
|               | $\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$  | 33                            | 60                              | 36                            |                            |   |
| 4             | $\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$  | 65                            | 115                             | 100                           | Medium carbon, cold-drawn  |    |
| 5             | $\frac{1}{4}$ -1                | 85                            | 120                             | 92                            | Medium carbon, Q&T         |    |
|               | $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$ | 74                            | 105                             | 81                            |                            |   |
| 5.2           | $\frac{1}{4}$ -1                | 85                            | 120                             | 92                            | Low-carbon martensite, Q&T |    |
| 7             | $\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$  | 105                           | 133                             | 115                           | Medium-carbon alloy, Q&T   |  |
| 8             | $\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$  | 120                           | 150                             | 130                           | Medium-carbon alloy, Q&T   |  |
| 8.2           | $\frac{1}{4}$ -1                | 120                           | 150                             | 130                           | Low-carbon martensite, Q&T |  |

\*Minimum strengths are strengths exceeded by 99 percent of fasteners.








Especificação SAE (Society of Automotive Engineers) para parafusos de aço.

# RESISTÊNCIA DE PARAFUSO DE PORCA

| ASTM Designation No. | Size Range, Inclusive, in  | Minimum Proof Strength,* kpsi | Minimum Tensile Strength,* kpsi | Minimum Yield Strength,* kpsi | Material                    | Head Marking |
|----------------------|--|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------|
| A307                 | $\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$   | 33                            | 60                              | 36                            | Low carbon                  |              |
| A325, type 1         | $\frac{1}{2}$ -1<br>$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$                      | 85<br>74                      | 120<br>105                      | 92<br>81                      | Medium carbon, Q&T          |              |
| A325, type 2         | $\frac{1}{2}$ -1<br>$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$                      | 85<br>74                      | 120<br>105                      | 92<br>81                      | Low-carbon, martensite, Q&T |              |
| A325, type 3         | $\frac{1}{2}$ -1<br>$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$                      | 85<br>74                      | 120<br>105                      | 92<br>81                      | Weathering steel, Q&T       |              |
| A354, grade BC       | $\frac{1}{4}$ - $2\frac{1}{2}$<br>$2\frac{3}{4}$ -4                      | 105<br>95                     | 125<br>115                      | 109<br>99                     | Alloy steel, Q&T            |              |
| A354, grade BD       | $\frac{1}{4}$ -4   | 120                           | 150                             | 130                           | Alloy steel, Q&T            |              |
| A449                 | $\frac{1}{4}$ -1<br>$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$<br>$1\frac{3}{4}$ -3 | 85<br>74<br>55                | 120<br>105<br>90                | 92<br>81<br>58                | Medium-carbon, Q&T          |              |
| A490, type 1         | $\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$   | 120                           | 150                             | 130                           | Alloy steel, Q&T            |              |
| A490, type 3         | $\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$   | 120                           | 150                             | 130                           | Weathering steel, Q&T       |              |

Especificação ASTM (American Society for Testing and Materials) para parafusos de aço.

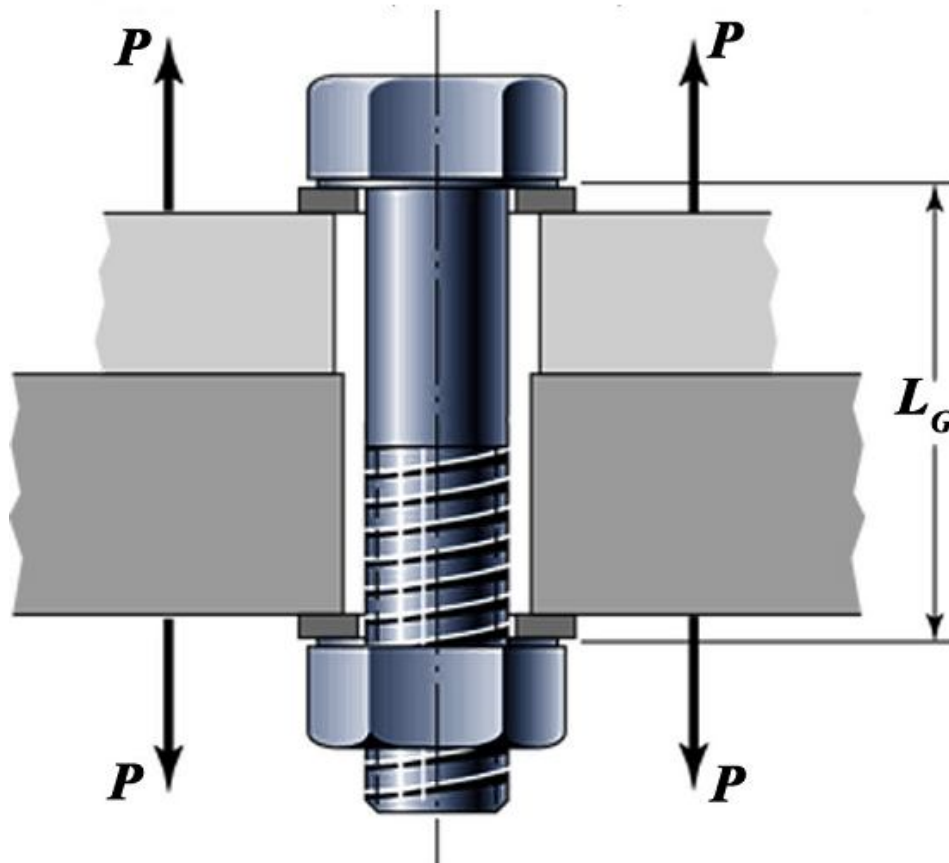
# RESISTÊNCIA DE PARAFUSO DE PORCA

| Property Class | Size Range, Inclusive | Minimum Proof Strength,† MPa | Minimum Tensile Strength,† MPa | Minimum Yield Strength,† MPa | Material                   | Head Marking  |
|----------------|-----------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------|---|
| 4.6            | M5–M36                | 225                          | 400                            | 240                          | Low or medium carbon       |    |
| 4.8            | M1.6–M16              | 310                          | 420                            | 340                          | Low or medium carbon       |    |
| 5.8            | M5–M24                | 380                          | 520                            | 420                          | Low or medium carbon       |    |
| 8.8            | M1.6–M36              | 600                          | 830                            | 660                          | Medium carbon, Q&T         |    |
| 9.8            | M1.6–M16              | 650                          | 900                            | 720                          | Medium carbon, Q&T         |   |
| 10.9           | M5–M36                | 830                          | 1040                           | 940                          | Low-carbon martensite, Q&T |  |
| 12.9           | M1.6–M36              | 970                          | 1220                           | 1100                         | Alloy, Q&T                 |  |

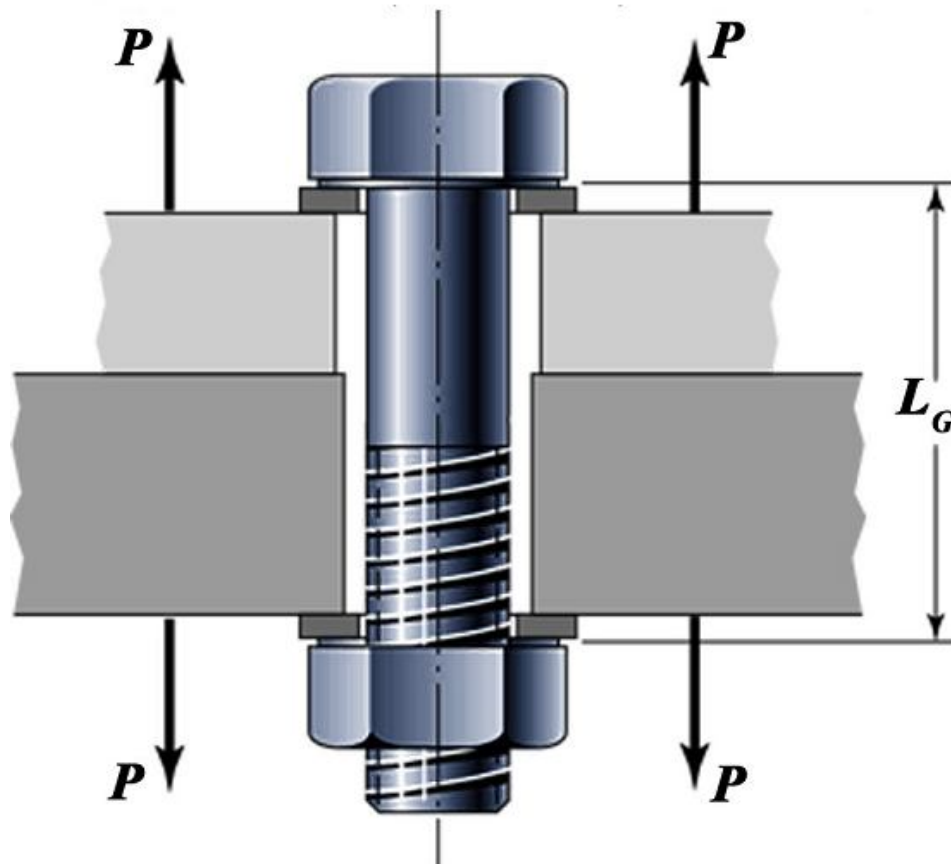
Categorias métricas de propriedades mecânicas para parafusos de aço.

# JUNÇÕES – RIGIDEZ DE FIXADORES

- Quando se deseja uma conexão que possa ser desmontada sem métodos destrutivos e que seja forte o suficiente para resistir a cargas externas de tração, a cargas de momento e de cisalhamento, ou a uma combinação destas, então a junção parafusada simples, com porcas usando arruelas de aço endurecido, é uma boa solução.



# JUNÇÕES – RIGIDEZ DE FIXADORES



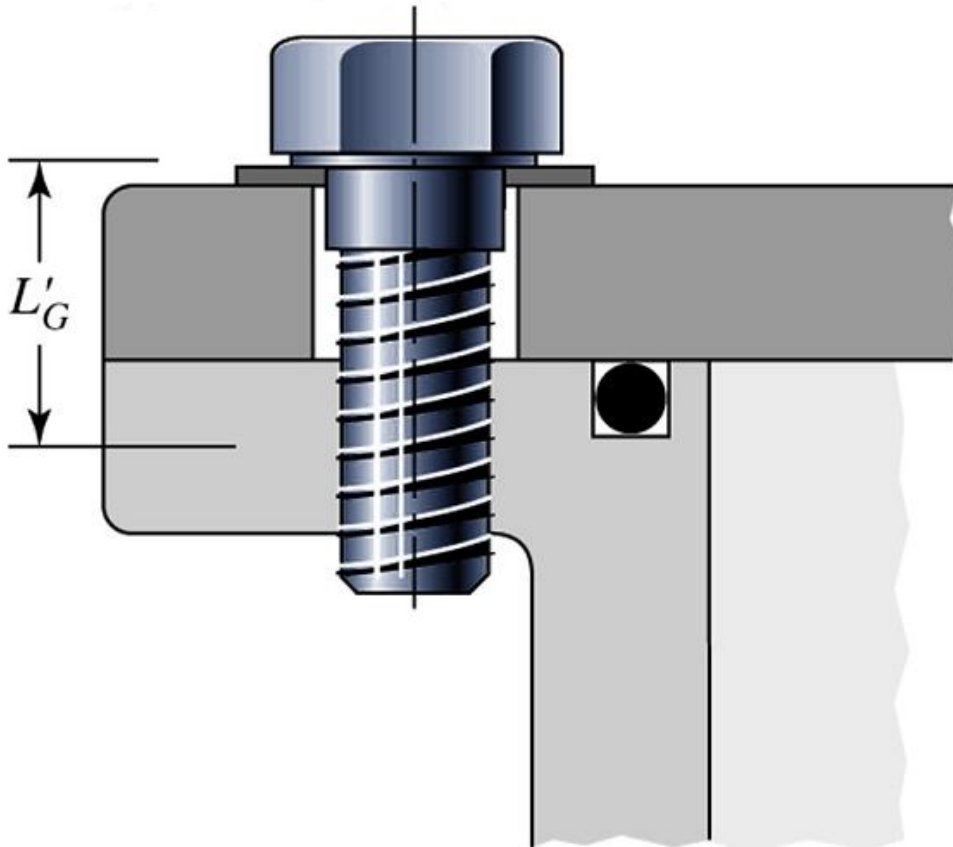
Conexão de parafuso de porca carregada em tração pelas forças  $P$  (Observe as arruelas e o espaço de folga provido pelos orifícios do parafuso de porca).

Torcer a porca estica o parafuso de modo a produzir a força de retenção.

A força de retenção que produz tensão no parafuso de porca induz a compressão nos membros unidos.

# JUNÇÕES – RIGIDEZ DE FIXADORES

- Junta carregada em tração.
- Parafuso de calotas rosqueados a um dos membros.
- Parafuso de cabeça: rosqueado a um furo em vez da porca.



Secção de vaso de pressão cilíndrico.

# JUNÇÕES – RIGIDEZ DE FIXADORES

- Prisioneiro: Parafuso sem cabeça, com roscas em ambas as extremidades e que se pretende utilizar de maneira semipermanente como metade de uma junta.
- Usado em situações que exigem montagem e desmontagem freqüentes.

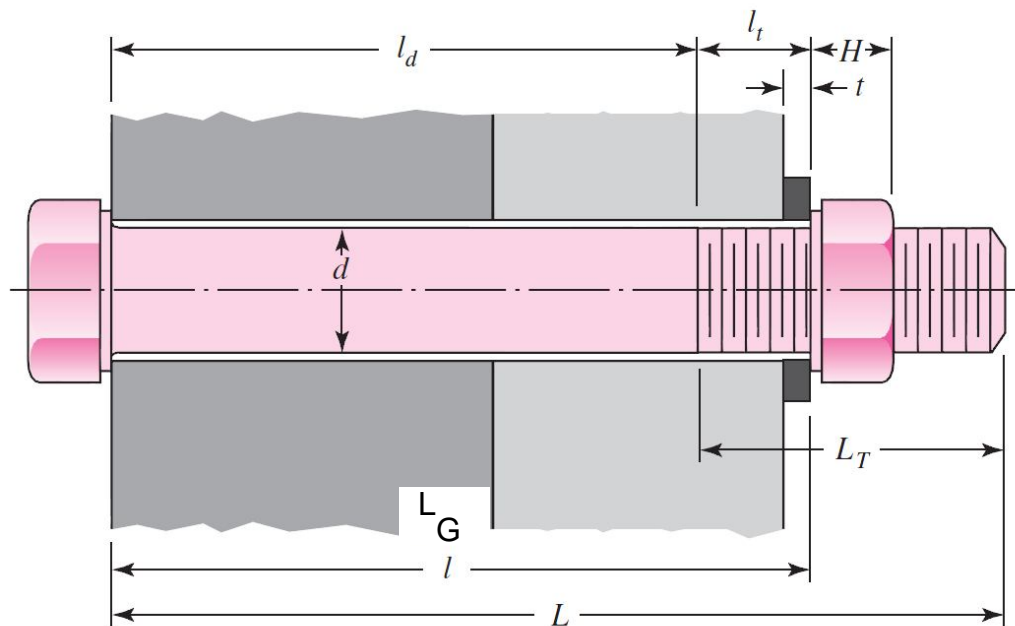




# JUNÇÕES – RIGIDEZ DE FIXADORES

Para um membro elástico tal como um parafuso de porca, a razão de mola é um limite entre a força aplicada ao membro e a deflexão produzida pela força.

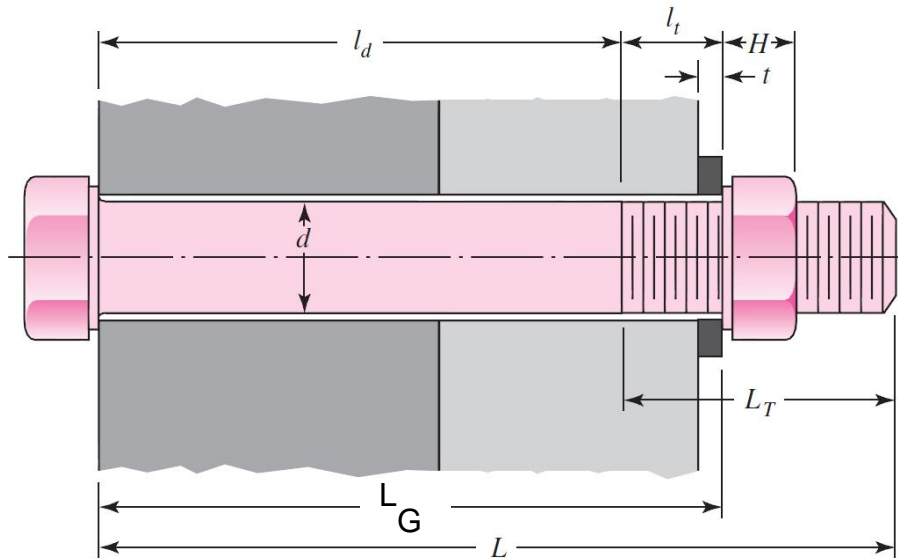
O alcance ou agarramento  $L_G$  de uma conexão é a espessura total do material retido (soma de ambos os membros e ambas as arruelas).



$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

$$k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$$

# JUNÇÕES – RIGIDEZ DE FIXADORES



$$k_t = \frac{A_t E}{l_t}$$

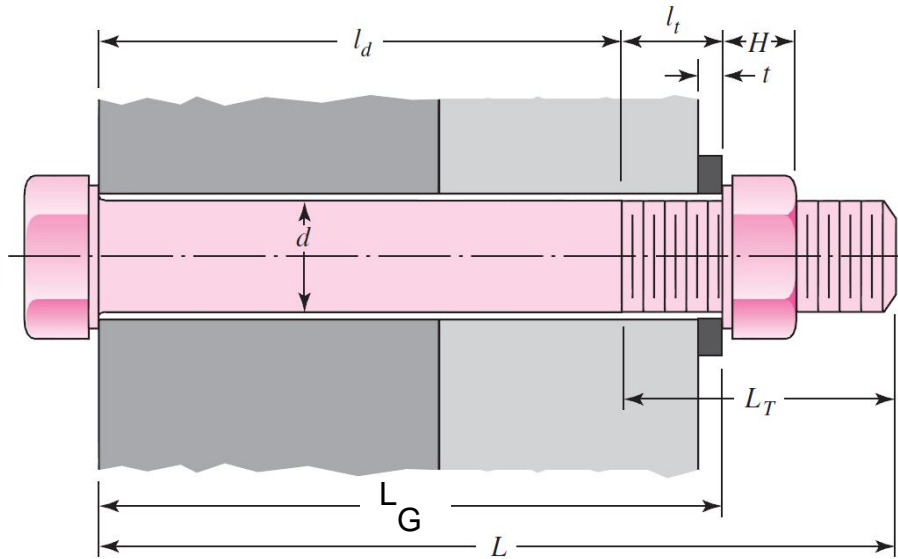
$$k_d = \frac{A_d E}{l_d}$$

$$A_d = \frac{\pi d^2}{4}$$

$A_t$ : área de tensão de tração;  
 $l_t$ : comprimento da porção rosqueada;  
 $A_d$ : área de diâmetro maior do fixador;  
 $l_d$ : comprimento da porção não-rosqueada.

Comprimento do fixador:  $L > L_G + H$

# JUNÇÕES – RIGIDEZ DE FIXADORES

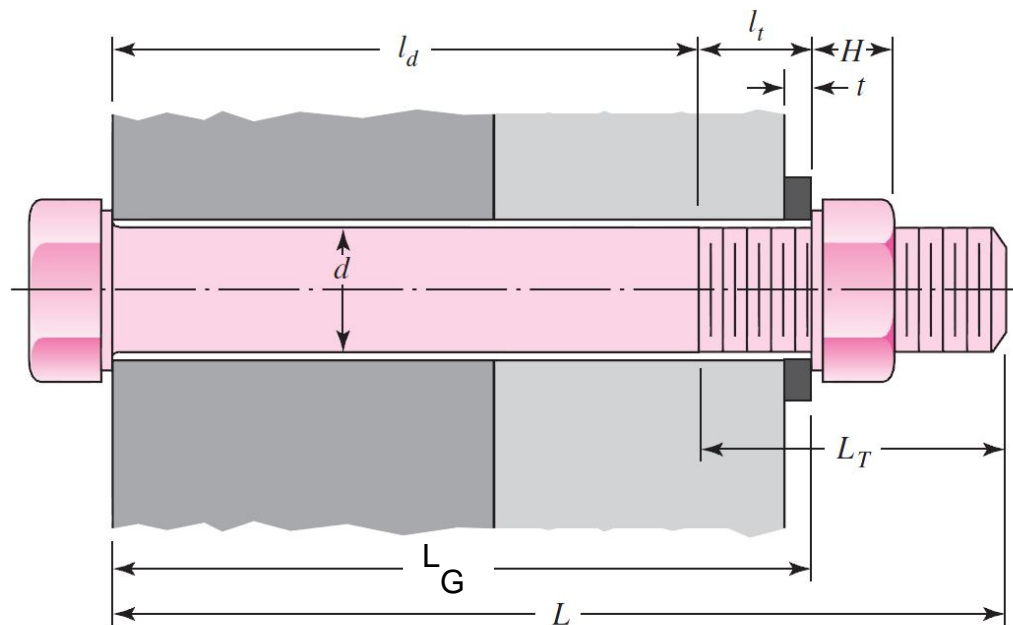


$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d}$$

$k_b$  é a rigidez efetiva estimada do parafuso de porca ou de calota na área de retenção.

# JUNÇÕES – RIGIDEZ DE FIXADORES

O alcance ou agarramento  $L_G$  de uma conexão é a espessura total do material retido (soma de ambos os membros e ambas as arruelas).



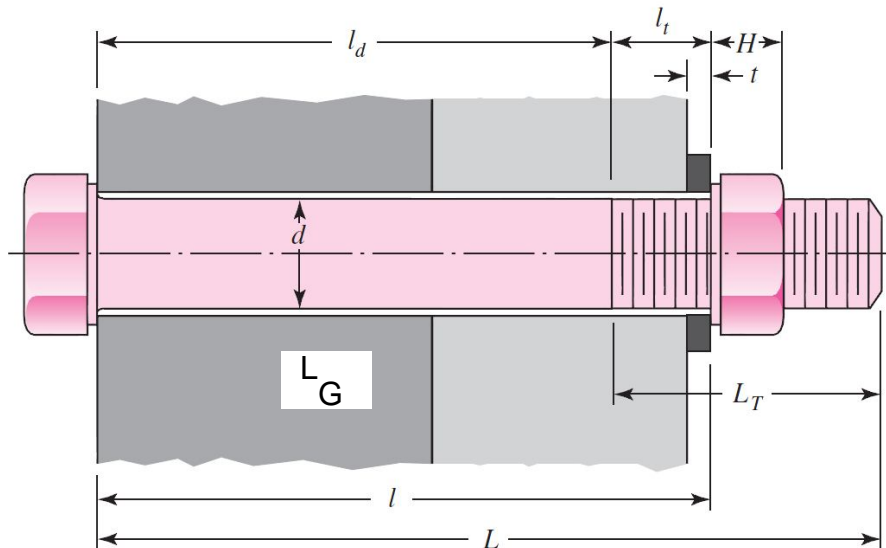
# JUNÇÕES – RIGIDEZ DE FIXADORES

Pré-carga de junções em tração: o torque necessário para a pré-carga deve ser estimado.

É comum pré-carregar a junta apertando os parafusos com suficiente torque para criar cargas de tração que se aproximam às respectivas resistências de prova ( até 90%  $S_p$  estático e 75 %  $S_p$  dinâmicos). Se eles não quebrarem quando apertados, é pouco provável que rompam em trabalho.

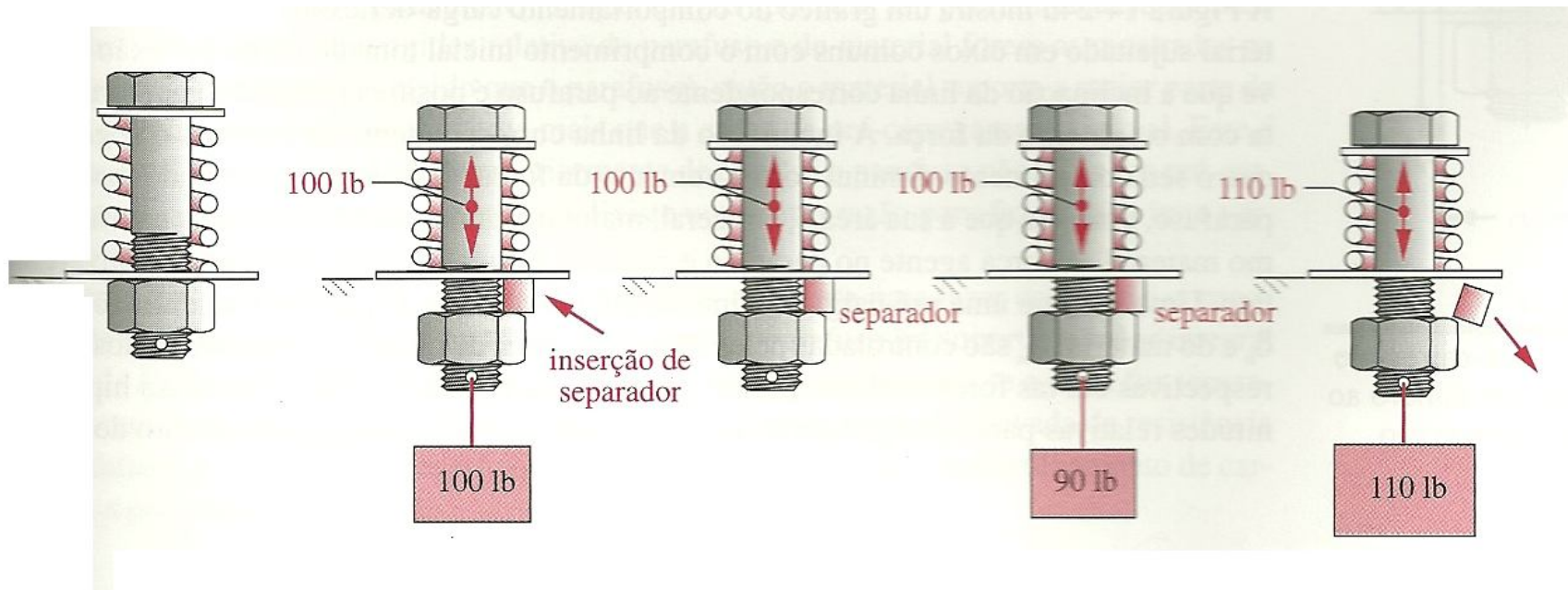
Catraca de torque tem um mostrador que indica o torque apropriado.

O coeficiente de atrito do colar varia de 0,12 a 0,20.



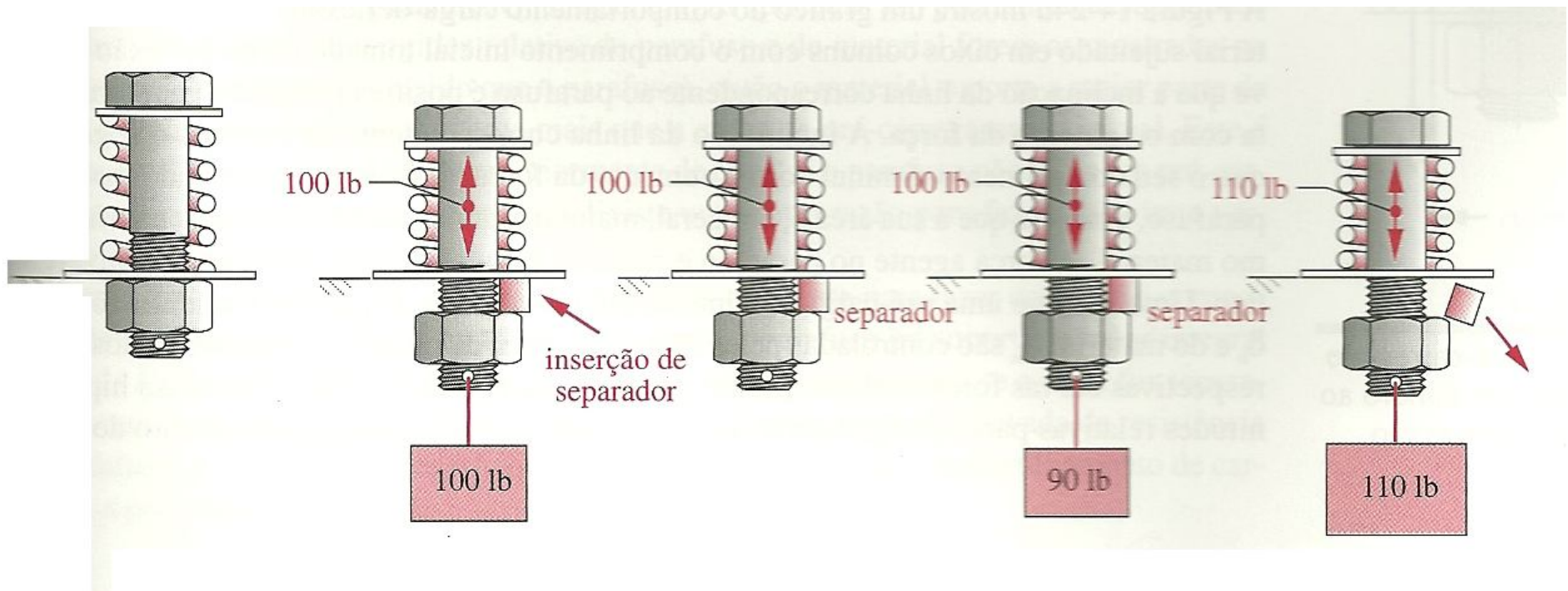
# JUNÇÕES – RIGIDEZ DE FIXADORES

- Parafuso sujeitando uma mola, análogo ao material sujeitado.
- Puxa-se o parafuso com uma carga de 100 lbf e coloca-se um separador entre a porca e o plano de chão, servindo como uma trava;
- O parafuso possui agora uma pré-carga de tração de 100 lbf; e a mola possui 100 lbf de carga compressiva. Essa carga permanece mesmo após a retirada da força de 100lbf; A situação (c) é equivalente a que resultaria se a porca fosse apertada convencionalmente para comprimir a mola na mesma quantidade.



# JUNÇÕES – RIGIDEZ DE FIXADORES

- d) A tração no parafuso ainda é de 100 lbf para 90 lbf de força aplicada;
- e) O parafuso assume toda a carga aplicada quando o parafuso é submetido a uma carga maior do que 100 lbf;



# JUNÇÕES – RIGIDEZ DE FIXADORES

$$T = F_i \frac{d_m}{2} \left( \frac{\tan \lambda + f \sec \alpha}{1 - f \tan \lambda \sec \alpha} \right) + \frac{F_i f_c d_c}{2}$$

O diâmetro da face da arruela de uma porca hexagonal é igual a largura entre as faces opostas e a 1 ½ vez o tamanho nominal. Assim, o diâmetro médio do colar é:

$$d_c = (d + 1,5d) / 2 = 1,25d$$

$$T = \left[ \frac{d_m}{2d} \left( \frac{\operatorname{tg} \lambda + f \sec \alpha}{1 - f \operatorname{tg} \lambda \sec \alpha} \right) + 0,625 f_c \right] F_i d$$

$$K = \frac{d_m}{2d} \left( \frac{\operatorname{tg} \lambda + f \sec \alpha}{1 - f \operatorname{tg} \lambda \sec \alpha} \right) + 0,625 f_c$$

$$T = K F_i d$$



# JUNÇÕES – RIGIDEZ DE FIXADORES

Fatores de torque K:

| Condição do parafuso de porca               | K    |
|---|------|
| Não-metalizado (chapeado), acabamento negro | 0,30 |
| Chapeado de zinco (zincado)                 | 0,20 |
| Lubrificado                                 | 0,18 |
| Chapeado de Cádmio                          | 0,16 |
| Com Bowman antiagarramento                  | 0,12 |
| Com porcas Bowman de agarramento            | 0,09 |

## EXERCÍCIO 8-12

Uma junção parafusada com porca deve ter um agarramento consistindo em duas placas de aço de 14 mm e uma arruela plana métrica de 14R para caber sob a cabeça do parafuso de porca de cabeça hexagonal de M14x2, com comprimento de 50 mm.

- Qual é o comprimento de rosca  $L_T$  para esse parafuso de porca de série de passo grosseiro com diâmetro métrico?
- Qual é o comprimento do agarramento  $L_G$ ?
- Qual é a altura  $H$  da porca?
- O parafuso de porca é longo o suficiente? Se não for, arredonde-o para o próximo maior comprimento preferível.
- Qual é o comprimento da haste e das porções rosqueadas do parafuso de porca dentro do agarramento? Esses comprimentos são necessários a fim de estimar a razão de mola  $k_b$  do parafuso de porca.

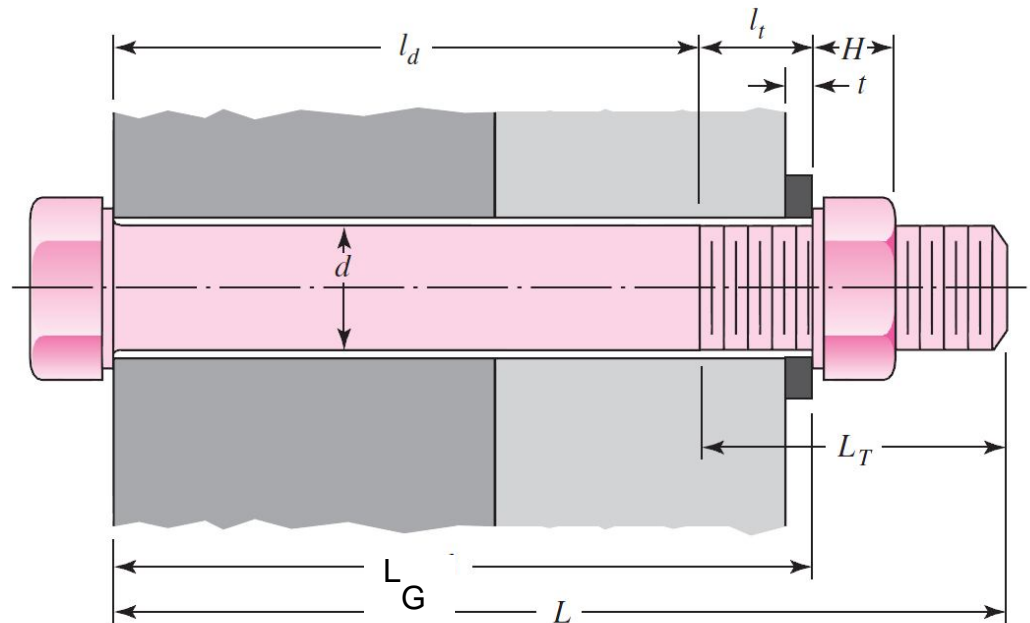
a) Para  $L < 125$  mm e  $D < 48$  mm (Equação 8.14), o comprimento da rosca do parafuso é dada por:

$$L_T = 2D + 6$$

$$L_T = 2(14) + 6 = 34 \text{ mm}$$

## EXERCÍCIO 8-12

b) Para arruela 14R, a mínima espessura é de 3,5 mm (Tabela A-33):



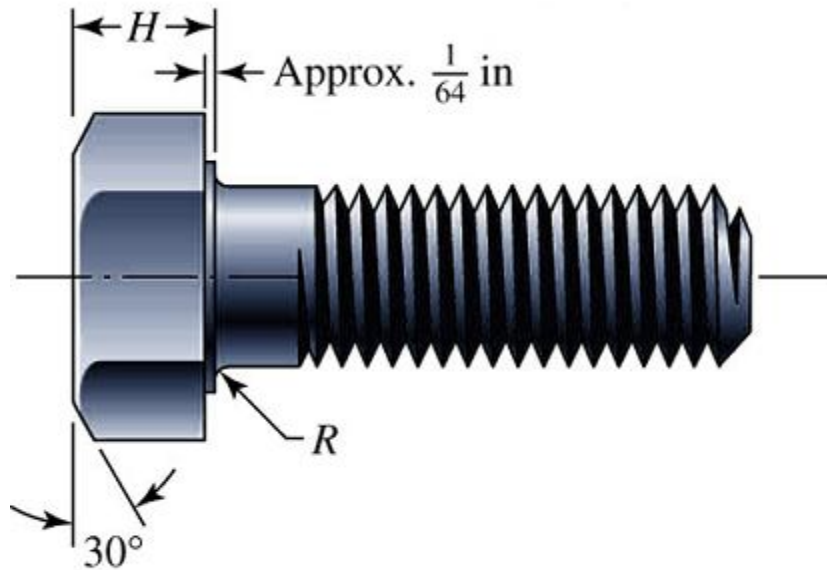
$$L_G = 14 + 14 + 3,5 = 31,5 \text{ mm}$$

# EXERCÍCIO 8-12

c) Da Tabela A-31,  $H = 12,8 \text{ mm}$ :

**Table A-31**

Dimensions of  
Hexagonal Nuts

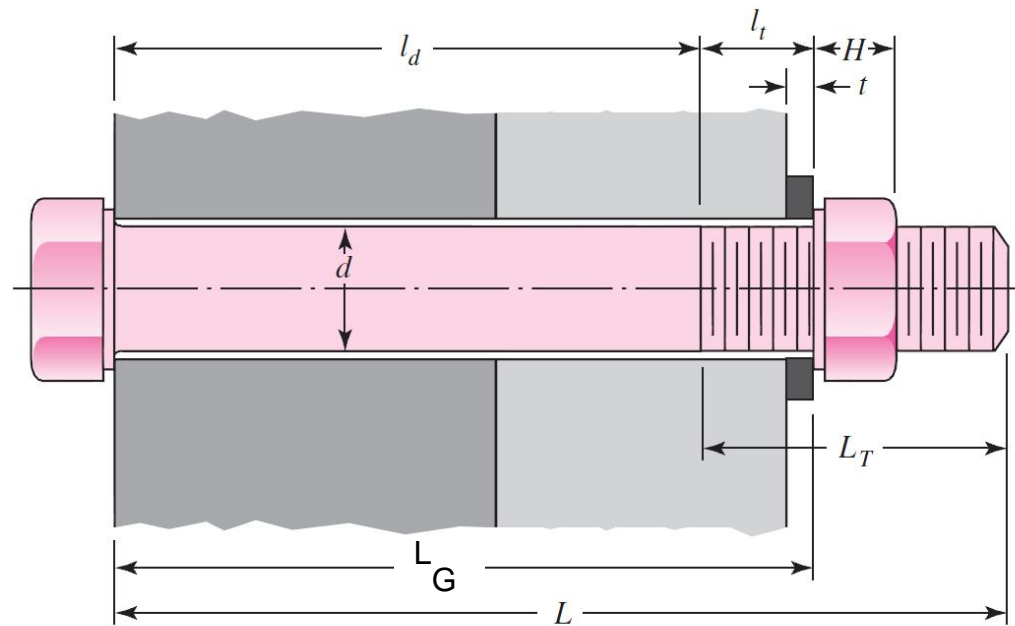


| Nominal Size, in | Width W          | Height H          |                  |                 |     |
|------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|-----|
|                  |                  | Regular Hexagonal | Thick or Slotted | JAM             |     |
| $\frac{1}{4}$    | $\frac{7}{16}$   | $\frac{7}{32}$    | $\frac{9}{32}$   | $\frac{5}{32}$  |     |
| $\frac{5}{16}$   | $\frac{1}{2}$    | $\frac{17}{64}$   | $\frac{21}{64}$  | $\frac{3}{16}$  |     |
| $\frac{3}{8}$    | $\frac{9}{16}$   | $\frac{21}{64}$   | $\frac{13}{32}$  | $\frac{7}{32}$  |     |
| $\frac{7}{16}$   | $\frac{11}{16}$  | $\frac{3}{8}$     | $\frac{29}{64}$  | $\frac{1}{4}$   |     |
| $\frac{1}{2}$    | $\frac{3}{4}$    | $\frac{7}{16}$    | $\frac{9}{16}$   | $\frac{5}{16}$  |     |
| $\frac{9}{16}$   | $\frac{7}{8}$    | $\frac{31}{64}$   | $\frac{39}{64}$  | $\frac{5}{16}$  |     |
| $\frac{5}{8}$    | $\frac{15}{16}$  | $\frac{35}{64}$   | $\frac{23}{32}$  | $\frac{3}{8}$   |     |
| $\frac{3}{4}$    | $1\frac{1}{8}$   | $\frac{41}{64}$   | $\frac{13}{16}$  | $\frac{27}{64}$ |     |
| $\frac{7}{8}$    | $1\frac{5}{16}$  | $\frac{3}{4}$     | $\frac{29}{32}$  | $\frac{31}{64}$ |     |
| $1$              | $1\frac{1}{2}$   | $\frac{55}{64}$   | $1$              | $\frac{35}{64}$ |     |
| $1\frac{1}{8}$   | $1\frac{11}{16}$ | $\frac{31}{32}$   | $1\frac{5}{32}$  | $\frac{39}{64}$ |     |
| $1\frac{1}{4}$   | $1\frac{7}{8}$   | $1\frac{1}{16}$   | $1\frac{1}{4}$   | $\frac{23}{32}$ |     |
| $1\frac{3}{8}$   | $2\frac{1}{16}$  | $1\frac{11}{64}$  | $1\frac{3}{8}$   | $\frac{25}{32}$ |     |
| $1\frac{1}{2}$   | $2\frac{1}{4}$   | $1\frac{9}{32}$   | $1\frac{1}{2}$   | $\frac{27}{32}$ |     |
| Nominal Size, mm | M5               | 8                 | 4.7              | 5.1             | 2.7 |
| M6               | 10               | 5.2               | 5.7              | 3.2             |     |
| M8               | 13               | 6.8               | 7.5              | 4.0             |     |
| M10              | 16               | 8.4               | 9.3              | 5.0             |     |
| M12              | 18               | 10.8              | 12.0             | 6.0             |     |
| M14              | 21               | 12.8              | 14.1             | 7.0             |     |
| M16              | 24               | 14.8              | 16.4             | 8.0             |     |
| M20              | 30               | 18.0              | 20.3             | 10.0            |     |
| M24              | 36               | 21.5              | 23.9             | 12.0            |     |
| M30              | 46               | 25.6              | 28.6             | 15.0            |     |
| M36              | 55               | 31.0              | 34.7             | 18.0            |     |

## EXERCÍCIO 8-12

d)  $L_G + H = 31,5 + 12,8 = 44,3 \text{ mm}$

O parafuso é longo o suficiente.

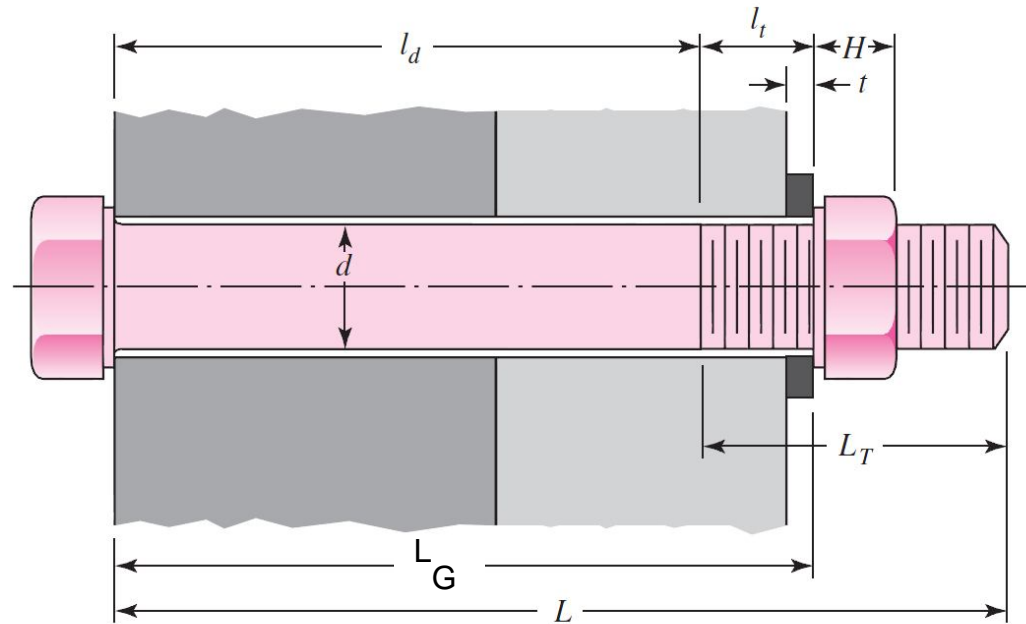


## EXERCÍCIO 8-12

e)

$$l_d = L - L_T = 50 - 34 = 16,0 \text{ mm}$$

$$l_t = L_G - l_d = 31,5 - 16 = 15,5 \text{ mm}$$

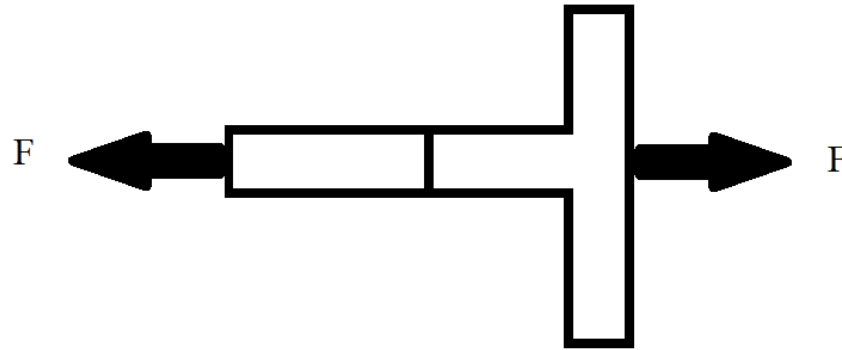


# EXERCÍCIO 8-12

| Medida da arruela* | Mínimo ID | Máximo OD | Espessura mínima | Medida da arruela* | Mínimo ID | Máximo OD | Espessura mínima |
|--------------------|-----------|-----------|------------------|--------------------|-----------|-----------|------------------|
| 1,6 N              | 1,95      | 4,00      | 0,70             | 10 N               | 10,85     | 20,00     | 2,30             |
| 1,6 R              | 1,95      | 5,00      | 0,70             | 10 R               | 10,85     | 28,00     | 2,80             |
| 1,6 W              | 1,95      | 6,00      | 0,90             | 10 W               | 10,85     | 39,00     | 3,50             |
| 2 N                | 2,50      | 5,00      | 0,90             | 12 N               | 13,30     | 25,40     | 2,80             |
| 2 R                | 2,50      | 6,00      | 0,90             | 12 R               | 13,30     | 34,00     | 3,50             |
| 2 W                | 2,50      | 8,00      | 0,90             | 12 W               | 13,30     | 44,00     | 3,50             |
| 2,5 N              | 3,00      | 6,00      | 0,90             | 14 N               | 15,25     | 28,00     | 2,80             |
| 2,5 R              | 3,00      | 8,00      | 0,90             | 14 R               | 15,25     | 39,00     | 3,50             |
| 2,5 W              | 3,00      | 10,00     | 1,20             | 14 W               | 15,25     | 50,00     | 4,00             |
| 3 N                | 3,50      | 7,00      | 0,90             | 16 N               | 17,25     | 32,00     | 3,50             |
| 3 R                | 3,50      | 10,00     | 1,20             | 16 R               | 17,25     | 44,00     | 4,00             |
| 3 W                | 3,50      | 12,00     | 1,40             | 16 W               | 17,25     | 56,00     | 4,60             |
| 3,5 N              | 4,00      | 9,00      | 1,20             | 20 N               | 21,80     | 39,00     | 4,00             |
| 3,5 R              | 4,00      | 10,00     | 1,40             | 20 R               | 21,80     | 50,00     | 4,60             |
| 3,5 W              | 4,00      | 15,00     | 1,75             | 20 W               | 21,80     | 66,00     | 5,10             |
| 4 N                | 4,70      | 10,00     | 1,20             | 24 N               | 25,60     | 44,00     | 4,60             |
| 4 R                | 4,70      | 12,00     | 1,40             | 24 R               | 25,60     | 56,00     | 5,10             |
| 4 W                | 4,70      | 16,00     | 2,30             | 24 W               | 25,60     | 72,00     | 5,60             |
| 5 N                | 5,50      | 11,00     | 1,40             | 30 N               | 32,40     | 56,00     | 5,10             |
| 5 R                | 5,50      | 15,00     | 1,75             | 30 R               | 32,40     | 72,00     | 5,60             |
| 5 W                | 5,50      | 20,00     | 2,30             | 30 W               | 32,40     | 90,00     | 6,40             |
| 6 N                | 6,65      | 13,00     | 1,75             | 36 N               | 38,30     | 66,00     | 5,60             |
| 6 R                | 6,65      | 18,80     | 1,75             | 36 R               | 38,30     | 90,00     | 6,40             |
| 6 W                | 6,65      | 25,40     | 2,30             | 36 W               | 38,30     | 110,00    | 8,50             |
| 8 N                | 8,90      | 18,80     | 2,30             |                    |           |           |                  |
| 8 R                | 8,90      | 25,40     | 2,30             |                    |           |           |                  |
| 8 W                | 8,90      | 32,00     | 2,80             |                    |           |           |                  |

# ESFORÇOS NO PARAFUSO DE FIXAÇÃO COM CARGA CENTRALIZADA

•Tração:



$$\sigma_t = \frac{F}{A_t}$$

$$A_t = \frac{\pi}{4} \left( \frac{d_m + d_r}{2} \right)^2$$



# ESFORÇOS NO PARAFUSO DE FIXAÇÃO COM CARGA CENTRALIZADA

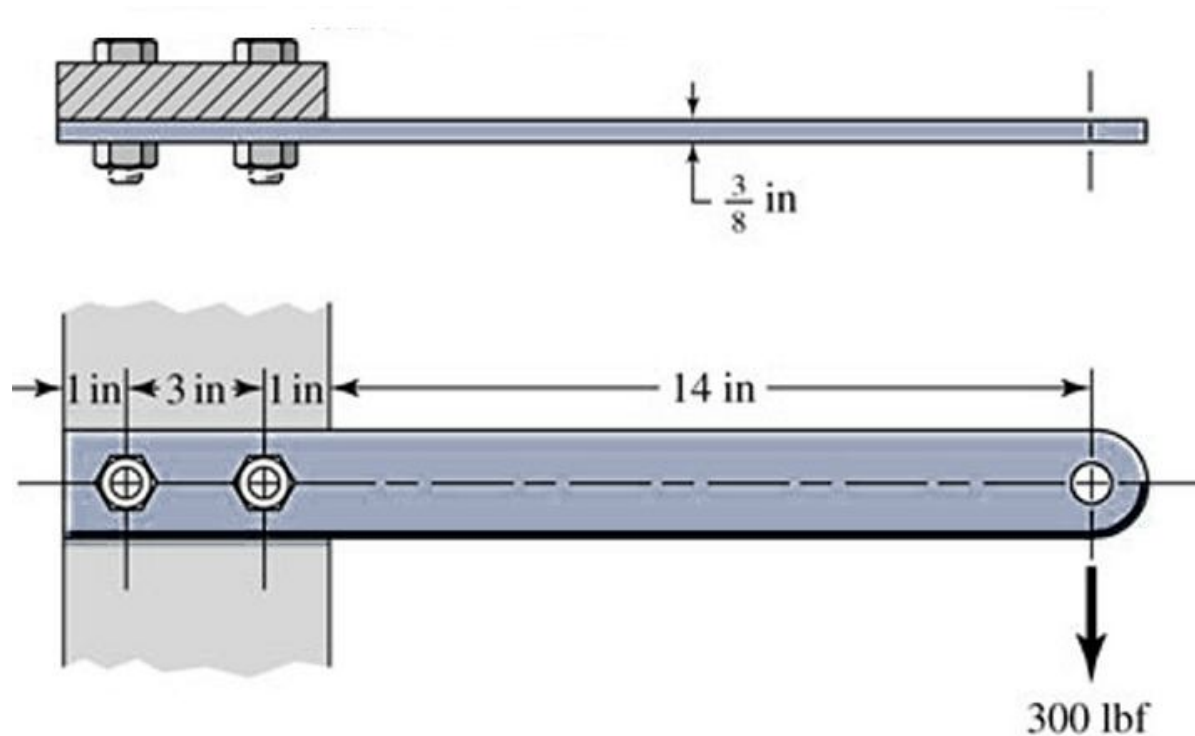
•Cisalhamento:

$$\tau = \frac{N}{A_t}$$

N: Força aplicada por parafuso;

A<sub>t</sub>: Área da seção transversal do parafuso;

Z: número de parafusos.



$$\tau = \frac{P}{Z A_t}$$

# JUNTA COM CARREGAMENTO EXCÊNTRICO

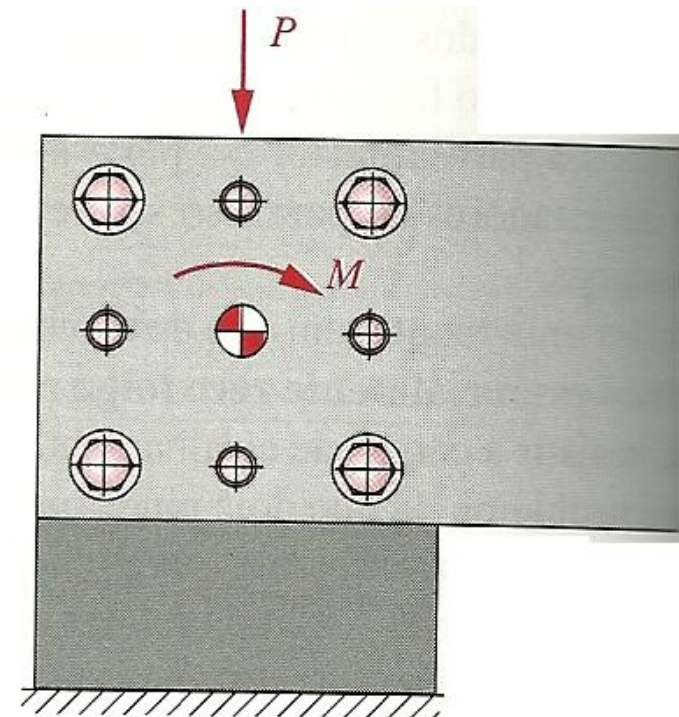
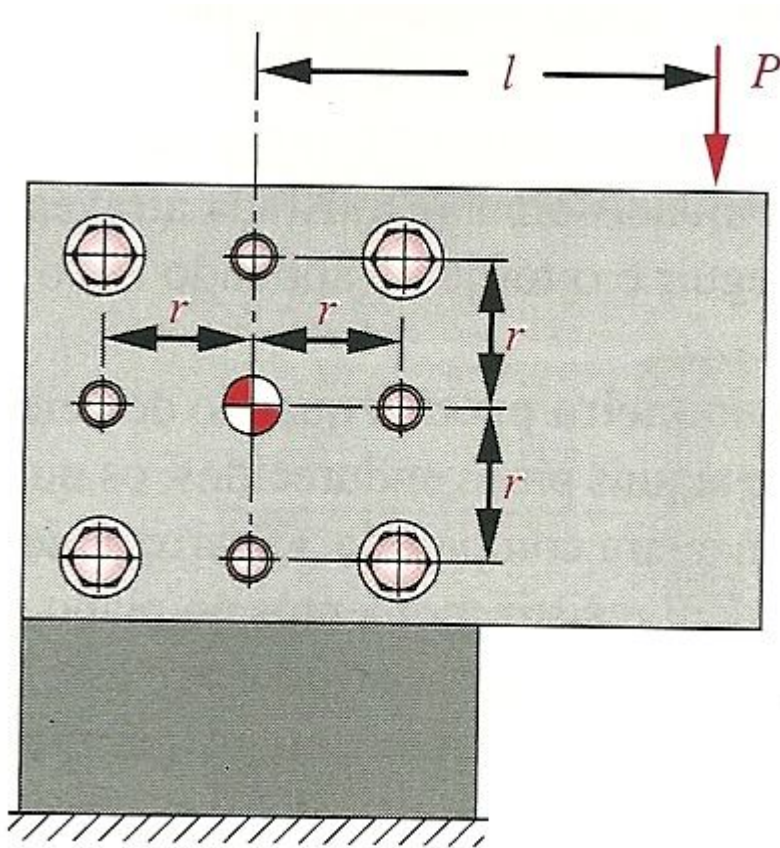
A = centro geométrico = centróide;

M = momento torcional;

M = p x;

$F_c$  = força cisalhante equivalente à carga aplicada.

$$F_c = \frac{P}{Z}$$

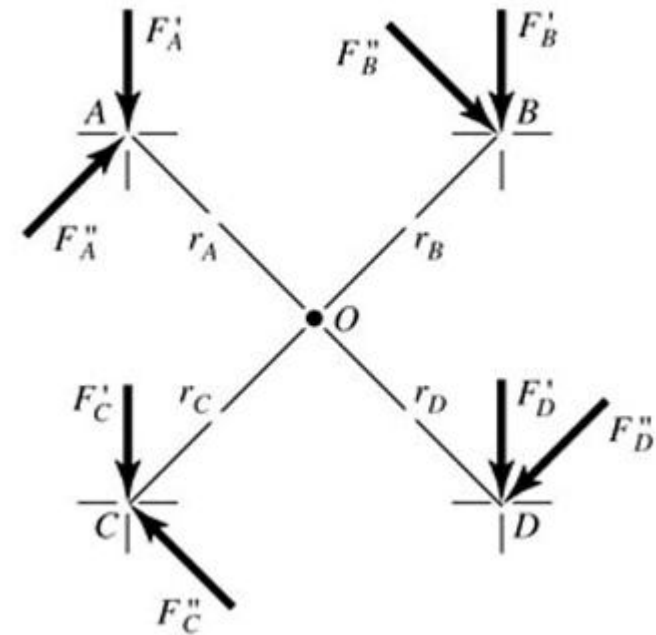
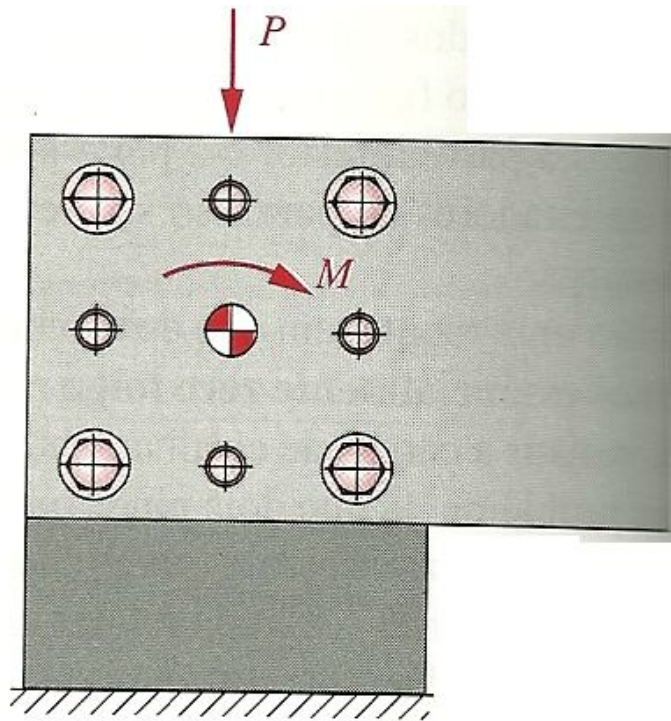


# JUNTA COM CARREGAMENTO EXCÊNTRICO

- A força recebida por cada parafuso de porca depende de sua distância radial do centróide; isto é; o parafuso de porca mais distante do centróide recebe a carga maior (exemplo equivalente a uma viga).

$$\frac{F_A''}{r_A} = \frac{F_B''}{r_B} = \frac{F_C''}{r_C} = \frac{F_D''}{r_D}$$

$$M = F_A'' r_A + F_B'' r_B + F_C'' r_C + F_D'' r_D$$



# JUNTA COM CARREGAMENTO EXCÊNTRICO

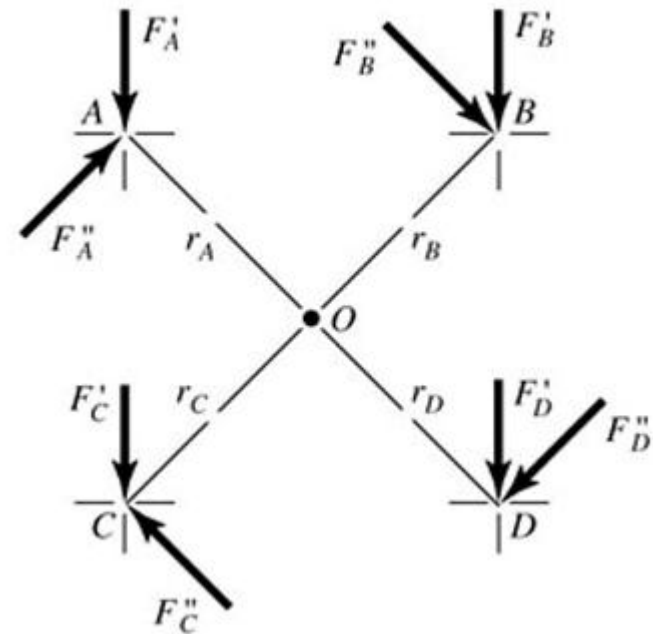
- A resultante das forças que atuam em cada pino/parafuso pode ser determinada analítica ou graficamente.

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

- Centróide de grupos de parafusos ( $x_i$  e  $y_i$  são as coordenadas dos centros dos parafusos).

$$\bar{x} = \frac{A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + A_3 \cdot x_3 + \dots}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots} = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i}$$

$$\bar{y} = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + A_3 \cdot y_3 + \dots}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots} = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}$$



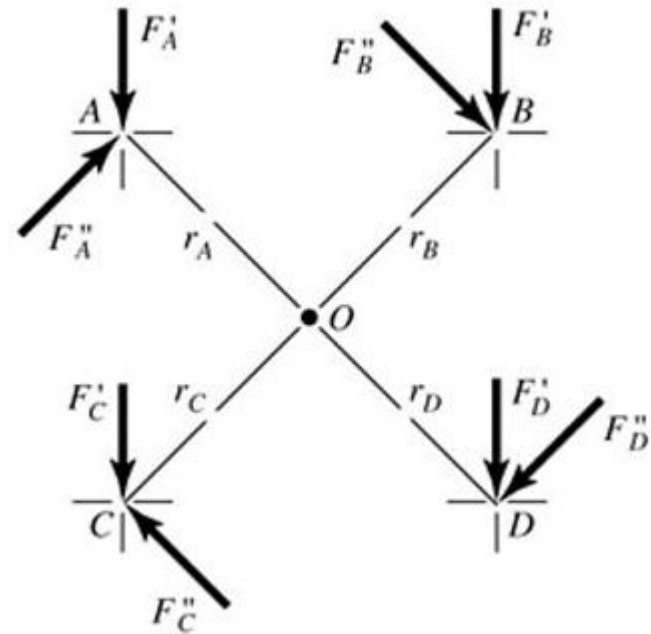
$$\tau_{\max} = \frac{R_{\max}}{A_t}$$

# EXERCÍCIO

# JUNÇÕES - RIGIDEZ DE FIXADORES

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

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



# REFERÊNCIAS

**SHIGLEY, J.E., MISCHKE, C.R., BUDYNAS, R.G., *Projeto de Engenharia mecânica, 7ª edição, Bookman.***

**NORTON, R., *Projeto de Máquinas – Uma Abordagem Integrada, 2ª Edição, Bookman.***