

# ***ELEMENTOS DE MÁQUINAS (SEM 0241)***

***Notas de aula v.2021***

## ***REBITES – SOLDAS – PARAFUSOS***

### ***Parte 1/3***

***Professor: Carlos Alberto Fortulan***  
***Colaborador: Rogério Erbereli***



***EESC · USP***

*São Carlos School of Engineering  
University of São Paulo*



## CLASSIFICAÇÃO DAS UNIÕES

### ✓ Uniões Desmontáveis ou Móveis

- “Podem ser desfeitas (desmontadas) sem provocar dano (destruição) tanto às peças unidas quanto aos elementos utilizados para a fixação”
  - Exemplos: **porcas/parafusos**, pinos ou anéis elásticos

### ✓ Uniões Fixas ou Permanentes

- “Ao serem desfeitas podem provocar dano ou perda total das peças unidas e/ou dos elementos utilizados para a fixação”
  - Exemplos: **rebites**, adesivos ou **soldas**



# REBITES



## INTRODUÇÃO / OBJETIVOS

O objetivo das **uniões** através dos rebites é unir duas ou mais peças de maneira a tornar possível a transmissão de força e/ou movimento



## INTRODUÇÃO

<https://www.tou Eiffel.paris/en>

2 anos, 2 meses e 5 dias de construção

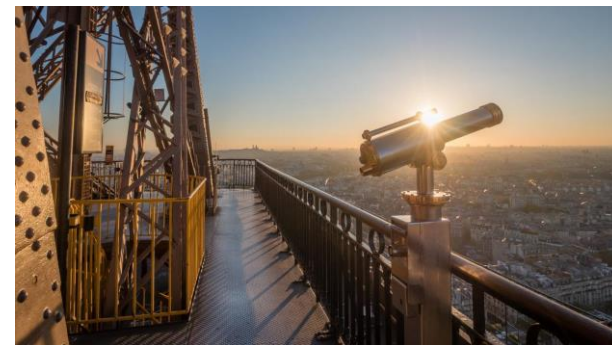
- ✓ 18.038 peças metálicas
- ✓ 5.300 projetos de oficina
- ✓ 50 engenheiros e designers
- ✓ 7.300 toneladas de ferro
- ✓ 60 toneladas de tinta
- ✓ 5 elevadores

Valor do ingresso:

Adulto: € 26,1

Jovem (12 a 24 anos): € 13,1

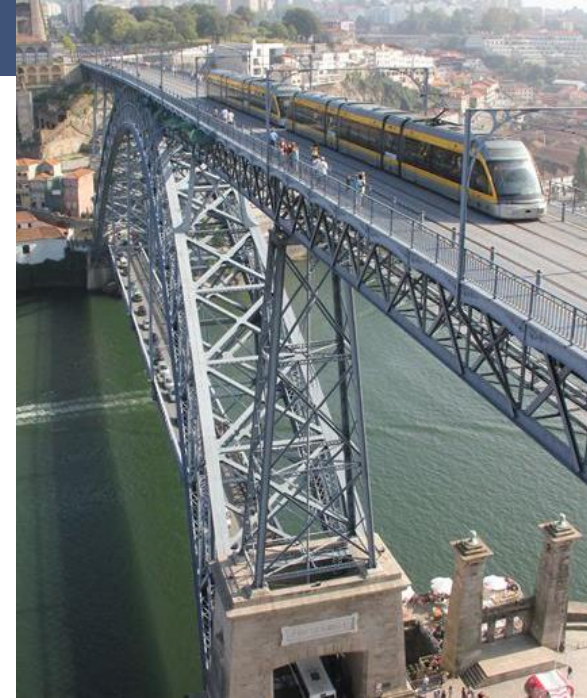
✓ 2.500.000 rebites



Era necessária uma equipe de quatro homens para cada rebite montado: um para aquecê-lo, outro para mantê-lo no lugar, um terceiro para moldar a cabeça e um quarto para bater com uma marreta



# INTRODUÇÃO



Ponte D. Luis – Porto – Pt – Rio Douro  
Tabuleiro superior de 391 metros de extensão e um inferior  
com 174 metros, ambos com cinco metros de largura



# INTRODUÇÃO



✓ Fixadores:  
3 milhões

✓ Rebites:  
**1.500.000**





## REBITES

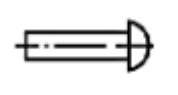
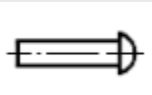
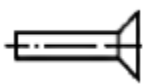
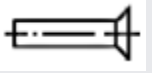
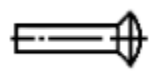
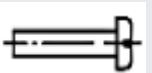
Basicamente os rebites podem ser maciços ou semi tubulares





# REBITES

## Tipos de rebites

Tipo de rebite	Formato da cabeça	Emprego
	Cabeça redonda larga	Empregados em função da resistência que apresentam
	Cabeça redonda estreita	
	Cabeça escareada chata larga	Empregados em uniões que não permitem saliências
	Cabeça escareada chata estreita	
	Cabeça escareada com calota	Empregados em uniões que permitem pequenas saliências
	Cabeça tipo panela	



Semi tubulares – reduzir a força para a aplicação - apenas o final da haste (parte oca) é deformado



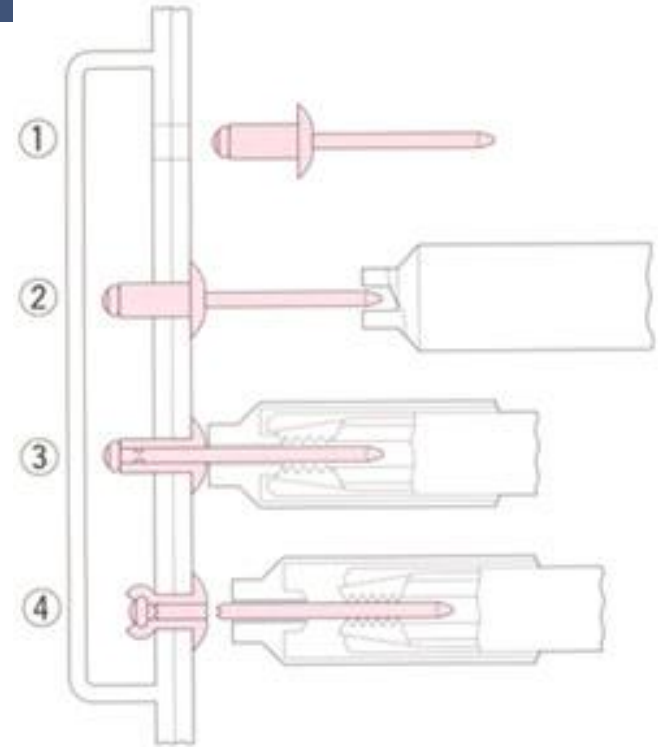
## REBITES

### Tipos de rebites

### Rebite de Repuxo (Rebite POP)

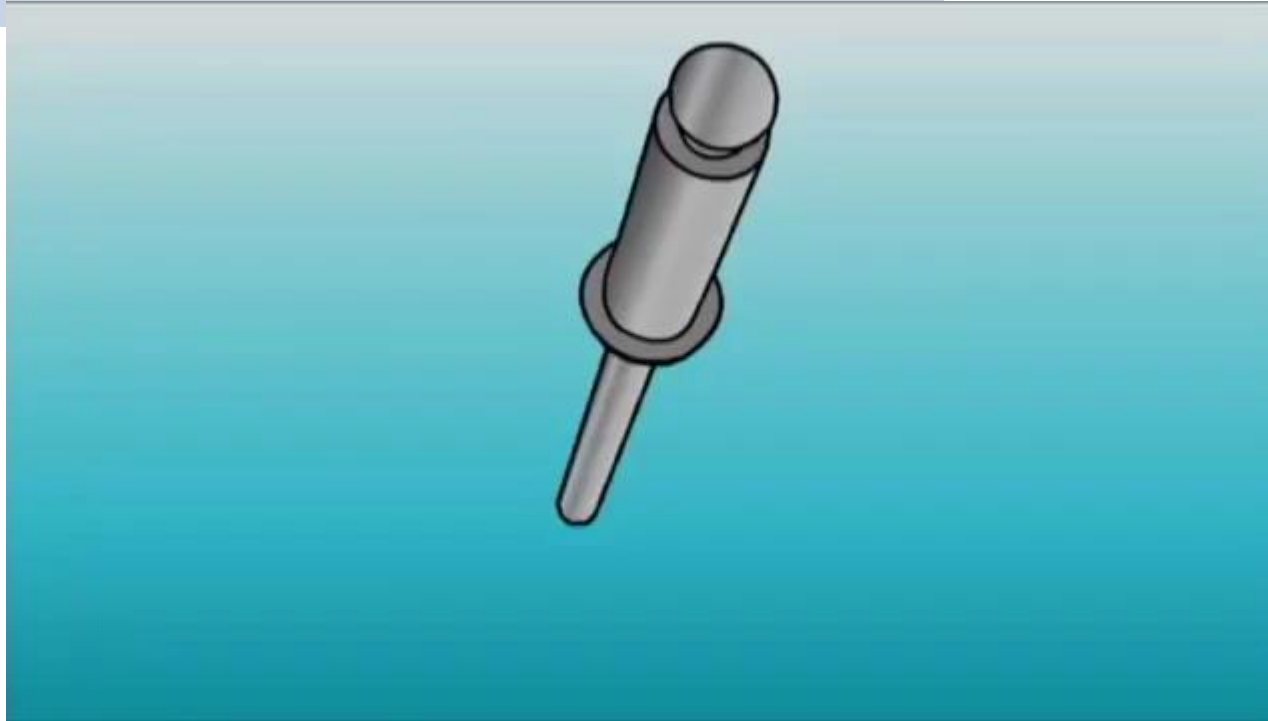
- ✓ É um dos mais utilizados atualmente.
- ✓ Costuma ser chamado de rebite POP (nome da marca do fabricante original, posteriormente adquirido por uma divisão da **Stanley Black & Decker**).
- ✓ Sua haste é tubular, trazendo dentro de si um mandril.

Curiosidade: o nome “pop” surgiu devido ao barulho provocado quando o mandril é arrancado da haste do rebite.





# REBITES



# Orlock Double-Locking System

ORNIT

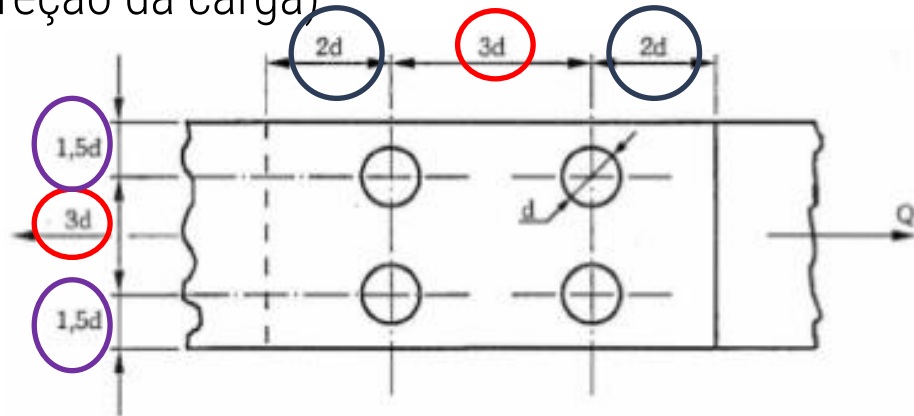




## DISTRIBUIÇÃO DOS REBITES

De acordo com a norma ABNT NB14, as distâncias mínimas nas juntas são:

- ✓ Na região central os centros dos rebites deverão estar numa distância de três vezes o diâmetro do rebite;
- ✓ Da lateral da chapa até o centro do primeiro furo a distância deverá ser de duas vezes o diâmetro do rebite. (na direção da carga)
- ✓ Da lateral da chapa até o centro do primeiro furo a distância deverá ser uma vez e meia o diâmetro do rebite. (transversal a carga)





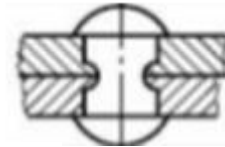
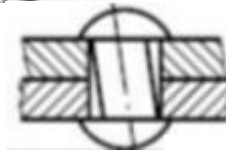
## MATERIAIS DOS REBITES / DEFEITOS DE APLICAÇÃO DOS REBITES / MODOS DE FALHA

- ✓ Os rebites podem ser feitos de praticamente qualquer material dúctil com resistência ao cisalhamento aceitável para a aplicação
- ✓ Aço de baixo e médio carbono são mais amplamente usados devido ao baixo custo, alta resistência e boa ductilidade (conformabilidade)
  - ✓ Baixo carbono (1006 a 1015) são preferidos devido à melhor conformabilidade
- ✓ Alumínio também é amplamente usado, principalmente em aplicações de aeronaves (Ligas: 2024, 5052 ), mas também são usados em: móveis tubulares, janelas, portas e peças automotivas
- ✓ Outros materiais dúcteis, incluindo latão ou ligas de cobre, aço inoxidável e até metais preciosos, podem ser usados em ambientes especiais se a aplicação justificar



## MATERIAIS DOS REBITES / DEFEITOS DE APLICAÇÃO DOS REBITES / MODOS DE FALHA

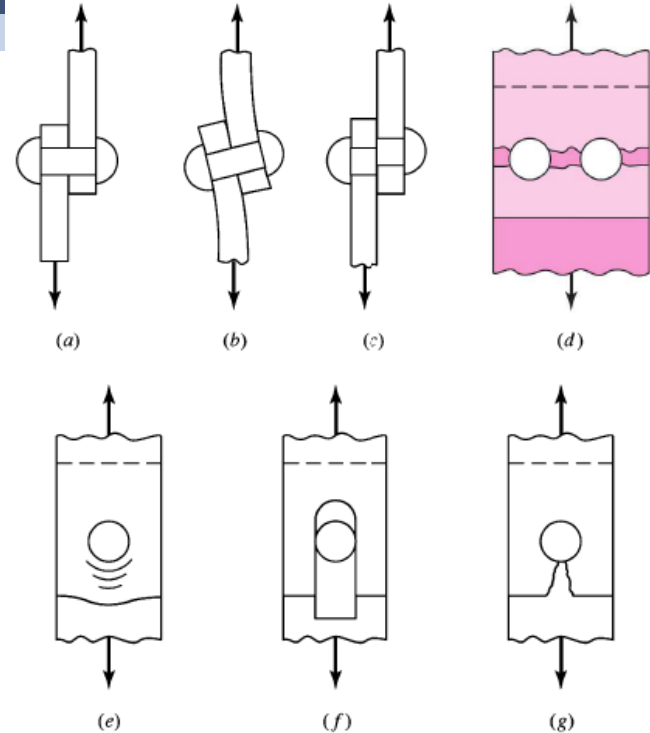
- ✓ Furos fora do eixo fazem o rebite preencher todo o espaço, diminuindo sua resistência
- ✓ Chapas mal encostadas “engordam” o rebite no vão entre as chapas afetando sua resistência
- ✓ Diâmetro do furo maior do que o do rebite provoca eixo inclinado no corpo, que reduz a pressão de aperto
- ✓ O aquecimento excessivo do rebite provoca folga, ocorrendo deslizamento da chapa
- ✓ A rebitagem descentralizada produz uma das cabeças fora do eixo produzindo a força de aperto
- ✓ A falta de material para formar a 2ª cabeça do rebite se dá pela escolha errada do comprimento do rebite





# MODOS DE FALHA EM CARREGAMENTO DE CISALHAMENTO

- (a) Carregamento de cisalhamento
- (b) Flexão do rebite
- (c) Cisalhamento de rebite
- (d) Falha por tração de membros
- (e) Esmagamento do rebite nos membros ou esmagamento dos membros no rebite
- (f) Rasgamento por cisalhamento
- (g) Rasgamento por tração







## EQUAÇÕES PARA ESCOLHA DE REBITES

### ■ Cálculo do diâmetro do rebite

A escolha do rebite é feita de acordo com a espessura das chapas que se quer rebitar.

A prática recomenda que se considere a chapa de menor espessura e se multiplique esse valor por 1,5, segundo a equação:

$$d = 1,5 \cdot S$$

Onde:  $d$  = diâmetro do rebite

$S$  = espessura da chapa de menor espessura



## EQUAÇÕES PARA ESCOLHA DE REBITES

### ■ Cálculo do diâmetro do furo

O diâmetro do furo pode ser calculado multiplicando-se o diâmetro do rebite pela constante 1,06:

$$d_F = d_R \cdot 1,06$$

Onde:  $d_R$  = diâmetro do rebite  
 $d_F$  = diâmetro do furo



## EQUAÇÕES PARA ESCOLHA DE REBITES

### ■ Cálculo do comprimento útil do rebite

O cálculo é obtido através da seguinte equação:

$$L = y \cdot d_R + S$$

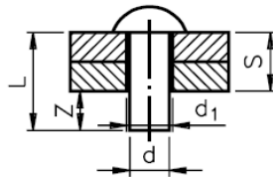
Onde:  $L$  = comprimento útil do rebite

$y$  = constante determinada em função do formato da cabeça do rebite

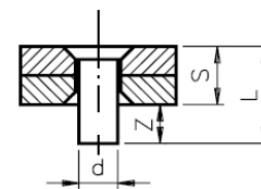
$d_R$  = diâmetro do rebite

$S$  = soma das espessuras das chapas

Redonda e cilíndrica:  $L = 1,5 \cdot d_R + S$



Escareada:  $L = 1 \cdot d_R + S$





## VANTAGENS E DESVANTAGENS

### Vantagens da União Rebitada

- ✓ Não necessita de mão-de-obra especializada para a sua execução;
- ✓ Impõe uma descontinuidade estrutural, evitando a propagação de defeitos (principalmente trincas) entre os componentes da união.

### Desvantagens da União Rebitada

- ✓ Introdução de pontos de concentração de tensões nos componentes da união, devido à presença dos furos;
- ✓ Peso da estrutura mais elevado, devido a sobreposição das peças componentes da união;
- ✓ Eventual ponto de desgaste ou corrosão.





## PONTOS CRÍTICOS E ANÁLISE DE ESTRESSE

Na análise elementar de juntas e conexões rebitadas, geralmente assume-se que:

- ✓ A flexão e a tensão nos rebites podem ser desprezadas,
- ✓ O atrito entre as partes não contribui para a transferência de força através da junta,
- ✓ As tensões residuais são desprezíveis.

Além disso, o cisalhamento nos rebites é considerado uniforme e igualmente compartilhado entre os rebites.

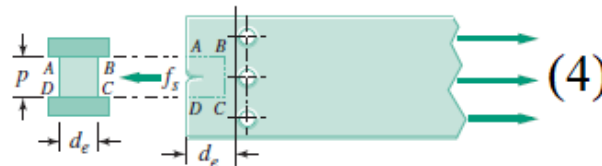
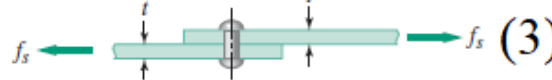
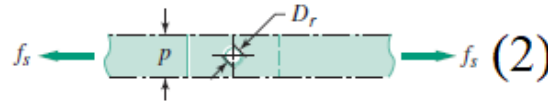
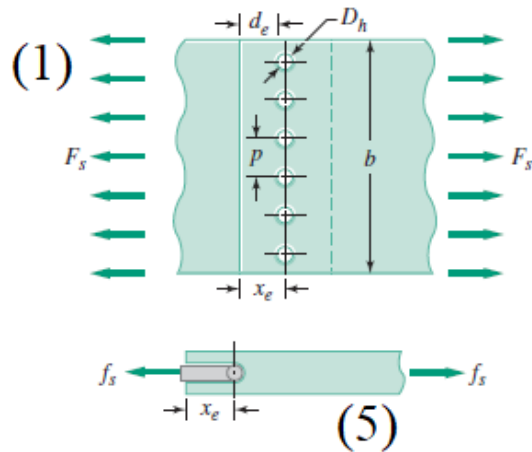


# PONTOS CRÍTICOS E ANÁLISE DE ESTRESSE

Seções críticas em potencial, podem ser identificadas como:

1. Falha de tração da seção transversal da placa de rede entre os rebites
2. Cisalhamento da seção transversal do rebite

3. Falha de esmagamento compressivo entre o rebite e a placa
4. Cisalhamento da borda no furo do rebite
5. Rasgando a borda no furo do rebite



$F_s$  = carga de cisalhamento total  
 $f_s$  = carga de cisalhamento por rebite

$D_h$  = diâmetro do furo

$D_r$  = diâmetro do rebite

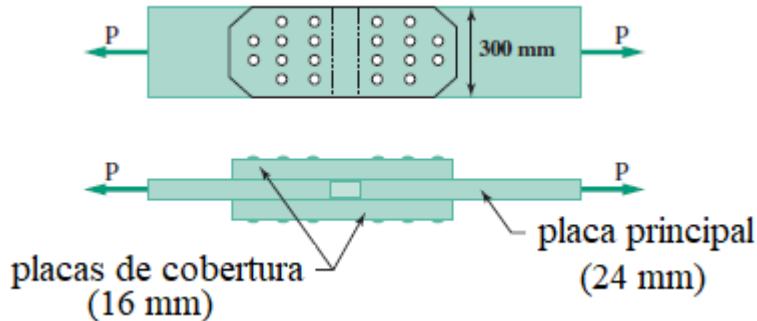
$b$  = largura bruta da peça

$t$  = espessura da placa



# EXERCÍCIO

Duas placas principais de 24 mm de espessura e 300 mm de largura são fixadas a duas placas de cobertura de 16 mm de espessura com 20 rebites, conforme mostrado na figura. Todos os rebites têm diâmetro nominal de 24 mm e cada furo de rebite tem um diâmetro de 26 mm. As tensões de projeto para os rebites e as placas são,  $(\sigma_{total})_{tensão} = 160\text{MPa}$  e  $(\tau_{total})_{cisalhante} = 110\text{MPa}$ . Determine a força axial máxima permitida  $P$  que pode ser aplicada às placas principais da junta multirrebitada, considerando a falha devido a:



- Cisalhamento do rebite
- Falha por esmagamento (nas placas principal e de cobertura)
- Falha por tensão (nas placas principal e de cobertura)



## SOLUÇÃO

a) O cisalhamento do rebite é determinado a partir de  $\tau_s = \frac{f_s}{A_r}$ , onde  $f_s$  está a força de cisalhamento em cada rebite ( $f_s = F_s/N_r$ ) e é a área da seção transversal de cada rebite.

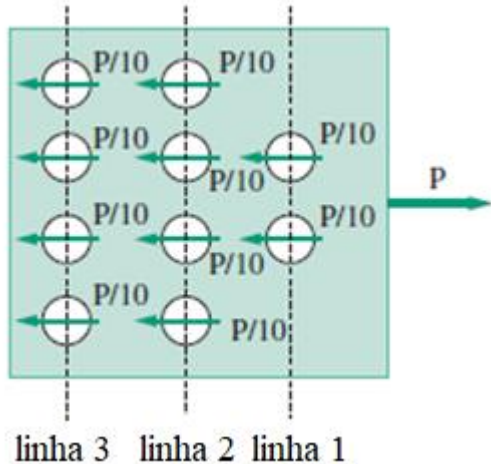
$$A_r = \frac{\pi}{4} D_r^2 \Rightarrow A_r = \frac{\pi}{4} (0,024)^2 \quad A_r = 452,4 \times 10^6 \text{ m}^2$$





## SOLUÇÃO

A força atuando em cada furo de rebite das placas principais é considerada igualmente distribuída, conforme mostrado na figura. Cada rebite atua em cisalhamento duplo. Portanto, a força de cisalhamento em cada rebite é  $f_s = P/20$ . Uma vez que a tensão de cisalhamento permitida para cada rebite é  $(\tau_{\text{total}})_{\text{cisalhante}} = 110\text{MP}$ , estabelecemos a força aplicada permitida a partir de:



$$110 \times 10^6 = \frac{f_s}{A_r} \Rightarrow 110 \times 10^6 = \frac{P}{20(452,4 \times 10^6)}$$

$$P = 110 \times 10^6 (452,4 \times 10^6) (20)$$

$$P = 995,3 \text{ kN}$$

Portanto a força aplicada necessária para falhar os rebites em cisalhamento é:  $P = 995 \text{ kN}$



## SOLUÇÃO

b) A falha por esmagamento pode ocorrer na placa principal ou placa de cobertura. A tensão de esmagamento de compressão é determinada a partir de  $\sigma_c = F_B / (t \cdot D_R)$ , onde  $F_B$  é a força em cada esmagamento no rebite na placa principal ou de cobertura e  $t$  é a espessura da placa. Para a placa principal, existem 10 superfícies de apoio, cada uma suportando uma força de  $F_B = P/10$ . A espessura da placa principal é de 24 mm e o diâmetro do rebite é de 24 mm, de modo que a força  $P$  permitida é determinada a partir de:

$$(\sigma_{total})_{esmag} = 350 \text{ MPa} = \frac{F_B}{(0,024) \cdot (0,024)} = \frac{P}{10(0,024)^2}$$

$$P = 10 \cdot (350 \times 10^6) \cdot (0,024)^2$$

$$P = 2016 \text{ kN}$$





## SOLUÇÃO

Para a placa de cobertura, existem 20 superfícies de apoio (10 para cada placa). A força de apoio em cada rebite é  $F_B = P/20$  e a espessura de cada placa de cobertura é de 16 mm, então

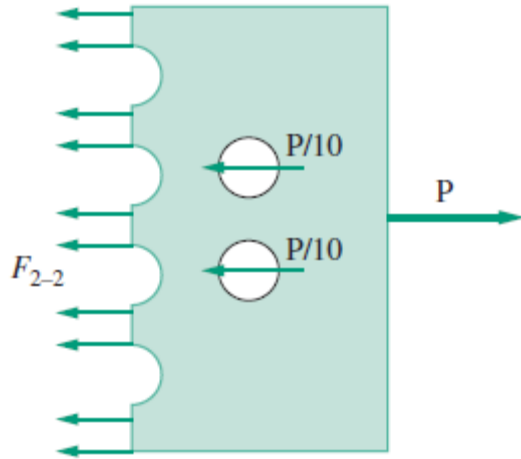
$$(\sigma_{total})_{esmag} = 350MPa = \frac{F_B}{(0,016) \cdot (0,024)} = \frac{P}{(20) \cdot (0,016) \cdot (0,024)}$$

$$P = 2688 \text{ kN}$$



## SOLUÇÃO

c) A falha de tensão na placa principal ou nas placas de cobertura é determinada com base na carga líquida atuando na placa. A carga muda para cada linha de rebites. A figura abaixo ilustra a força atuando através da segunda fileira de rebites na placa de correio. Na seção da placa principal, onde não há furos de rebite, a área da seção transversal da placa é:



$$A = t \cdot w$$

$$A = (0,024) \cdot (0,3)$$

$$A = 7,2 \times 10^{-3} m^2$$



## SOLUÇÃO

A carga permitida será; portanto:

$$P = A. (\sigma_{total})_{tensão} \quad P = (7,2 \times 10^{-3}). (160 \times 10^6) \quad P = 1152 \text{ kN}$$

Nas seções da placa onde há furos, a área que pode suportar a carga pode ser dada como:

$$A = t. (w - N_R. D_h)$$

Onde:  $t$  = espessura da placa (24 mm);  
 $w$  é a largura da placa (300 mm);  
 $N_R$  = número de furos;  
 $D_h$  = diâmetro do furo (26 mm).

Consideramos cada linha de rebites separadamente.





## SOLUÇÃO

Linha 1:

$$A = 0,024 \cdot [0,3 - 2(0,026)] \Rightarrow A = 5,952 \times 10^{-3} m^2$$

$$P = F_{1-1} \Rightarrow P = 160 \times 10^6 (5,952 \times 10^{-3})$$

$$P = 952,3 \text{ kN}$$



## SOLUÇÃO

Linha 2:

$$A = 0,024 \cdot [0,3 - 4(0,026)] \Rightarrow A = 4,704 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$P = F_{2-2} + 2(P/10) \Rightarrow F_{2-2} = \frac{4}{5}P$$

$$F_{2-2} = 160 \times 10^6 (4,704 \times 10^{-3}) \Rightarrow F_{2-2} = 752,6 \text{ kN}$$

Como:  $P = \frac{5 \cdot F_{2-2}}{4}$

Tem-se:  $P = 941 \text{ kN}$





## SOLUÇÃO

Linha 3:

$$A = 0,024 \cdot [0,3 - 4(0,026)] \Rightarrow A = 4,704 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$P = F_{3-3} + 6(P/10) \Rightarrow F_{3-3} = \frac{2}{5}P$$

$$F_{3-3} = 160 \times 10^6 (4,704 \times 10^{-3}) \Rightarrow F_{3-3} = 752,6 \text{ kN}$$

Como:  $P = \frac{5 \cdot F_{3-3}}{2}$

Tem-se:  $P = 1881,5 \text{ kN}$







## SOLUÇÃO

O mesmo procedimento é seguido para as placas de cobertura. A área é:  
 $A = 0,016[0,300 - N_R \cdot (0,026)]$ . Para cada linha, obtemos:

Linha 1:  $P = 5018 \text{ kN}$

Linha 2:  $P = 1673 \text{ kN}$

Linha 3:  $P = 1004 \text{ kN}$

Portanto, a carga máxima que pode ser aplicada à junta é a menor força que determinamos, que é para a linha 2 da placa principal

$$P = 941 \text{ kN}$$





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Elementos de máquinas de Shigley: projeto de engenharia mecânica; Richard Budynas, J. Keith Nisbert; tradução técnica João Batista de Aguiar, José Manoel de Aguiar, 8. Ed., Porto Alegre: AMGH, 2011
- ✓ Fundamentos do projeto de componentes de máquinas; Robert C. Juvinall, Kurt M. Marsheck; tradução e revisão técnica Fernando Ribeiro da Silva; Rio de Janeiro: LTC, 2013. Tradução de Fundamental of machine component design; 4Th ed
- ✓ Mechanical design of machine elements and machines – A failure prevention perspective; Collins, J.A.; Busby, H.R.; Staab, G.H.; Second Edition; John Wiley & Sons
- ✓ Elementos de máquinas 1 - Construção e cálculo de conexões, rolamentos, eixos; Niemann, G.; Winter, H.; Höhn, B.R.; Stahl, K.; 5ª edição, completamente revisada; Springer Vieweg
- ✓ Elementos de Máquinas – Sarkis MELCONIAN, Editora ERICA Ltda, S.P.
- ✓ Elementos de Máquinas. Volume I e II. Apostila do curso Técnico em Mecânica do Telecurso 2000.
- ✓ Elementos Orgânicos de Máquinas - HALL Jr, Allen S.; HOLOWENKO, Alfred R.; LAUGHLIN, Herman G.. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A, 1968.

