

Ligações com conectores

PROF^a MSC PATRÍCIA ANDRADE



O que é um conector?

É um meio de união que trabalha através de furos feitos em chapas

Vantagens

Rapidez de execução das ligações de campo;

A mão de obra utilizada para instalação e inspeção dos parafusos não precisa ser especializada como

a utilizada em ligações soldadas;

O equipamento de instalação é simples e não necessita de muita energia.

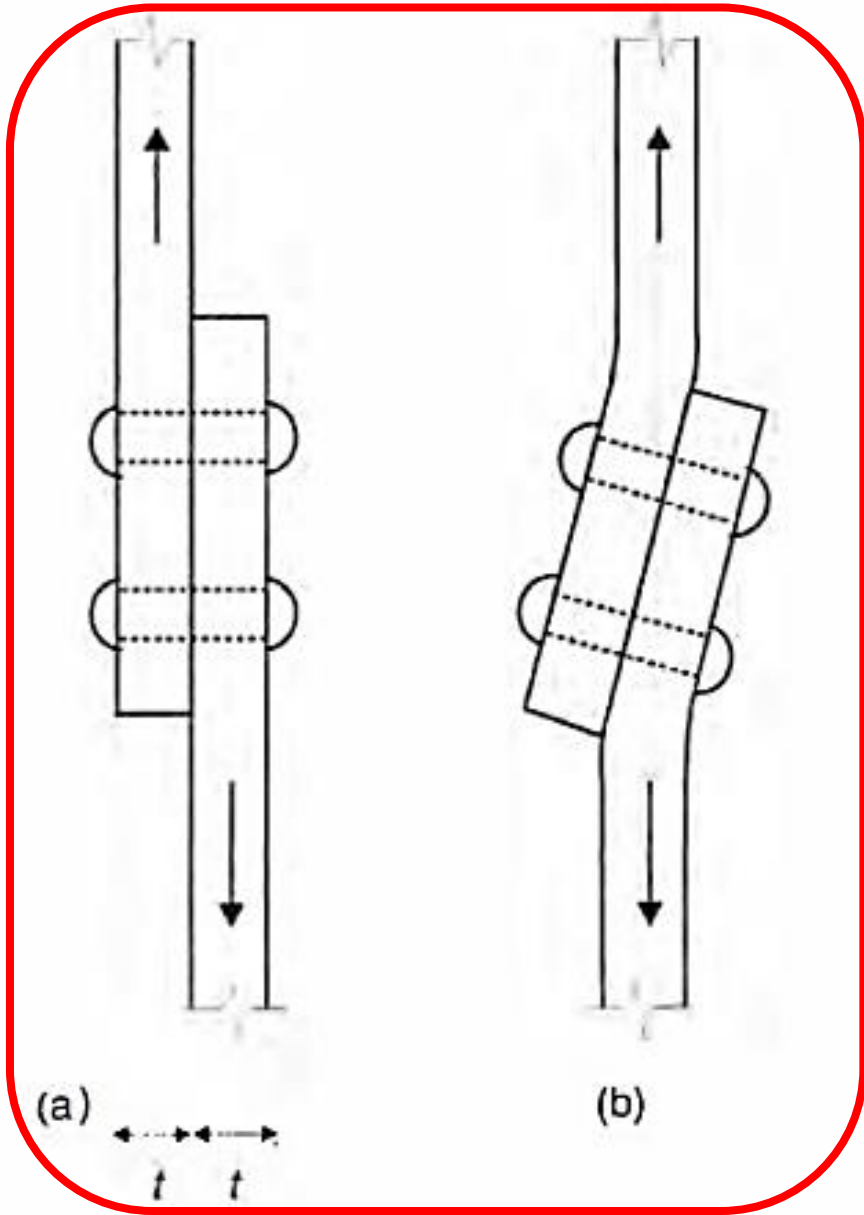
Desvantagens

Os furos enfraquecem as peças conectadas e, algumas vezes, pode ser necessário reforçar as mesmas;

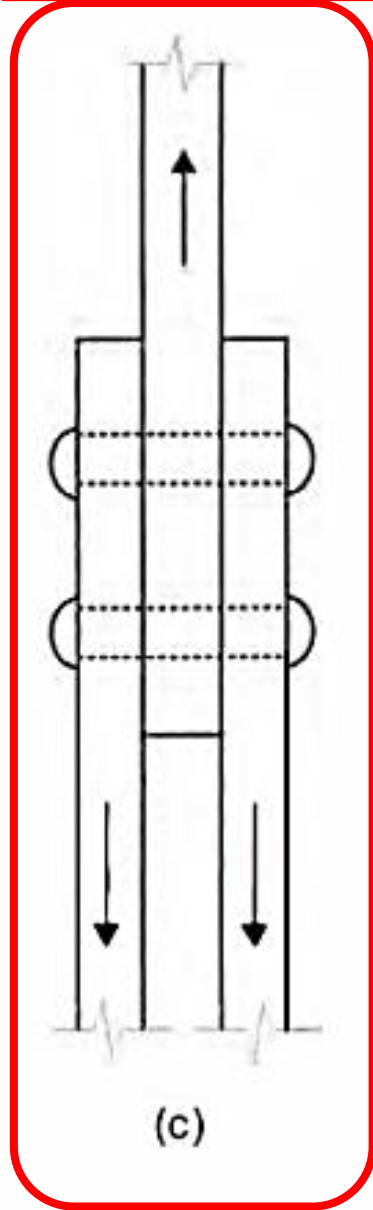
As ligações são mais complexas do que as ligações soldadas e exigem um trabalho maior de cálculo, detalhamento e fabricação;

Necessidade de previsão antecipada para evitar falta de parafusos na obra.

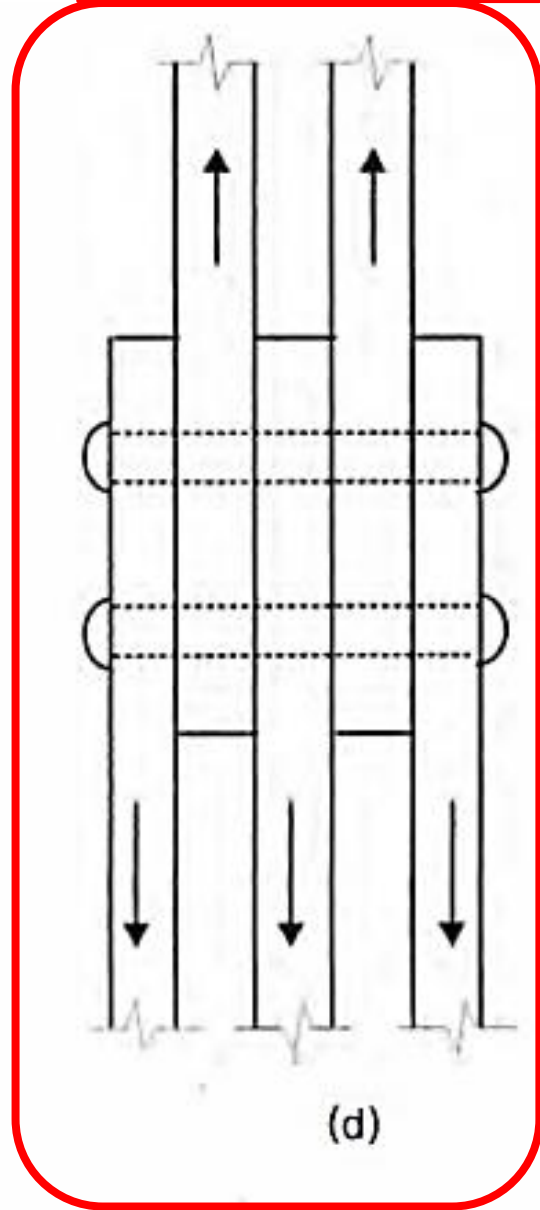
Corte simples



Corte duplo

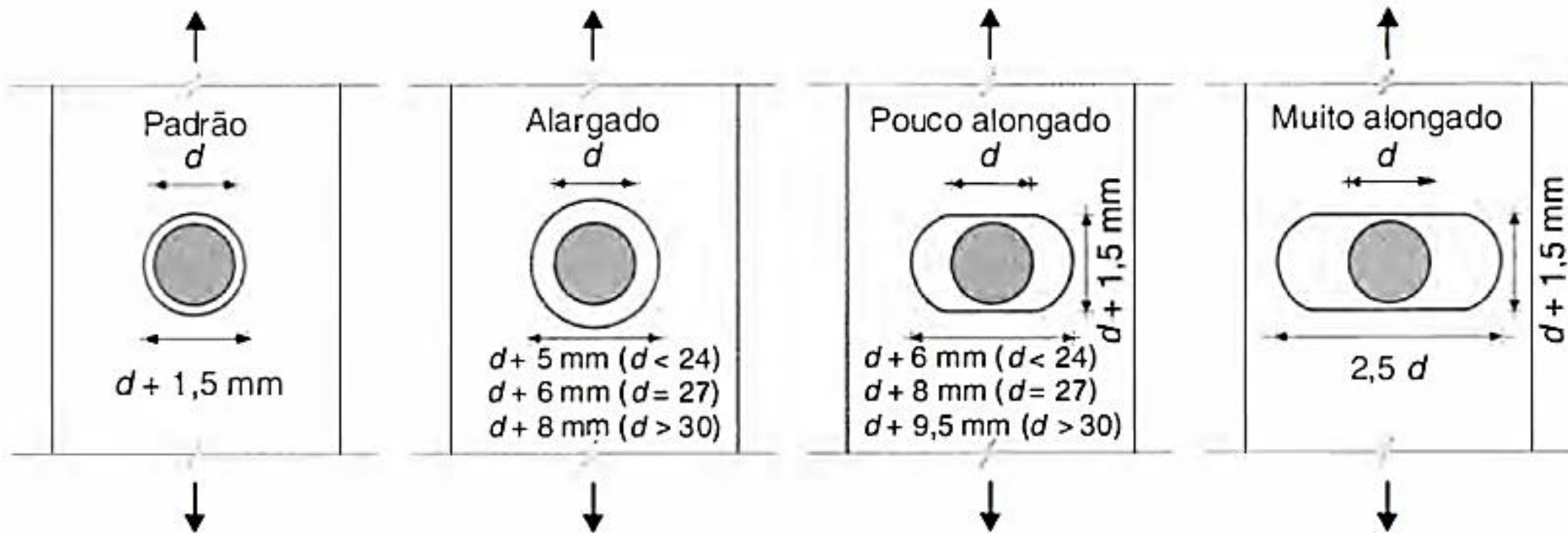


Corte múltiplo



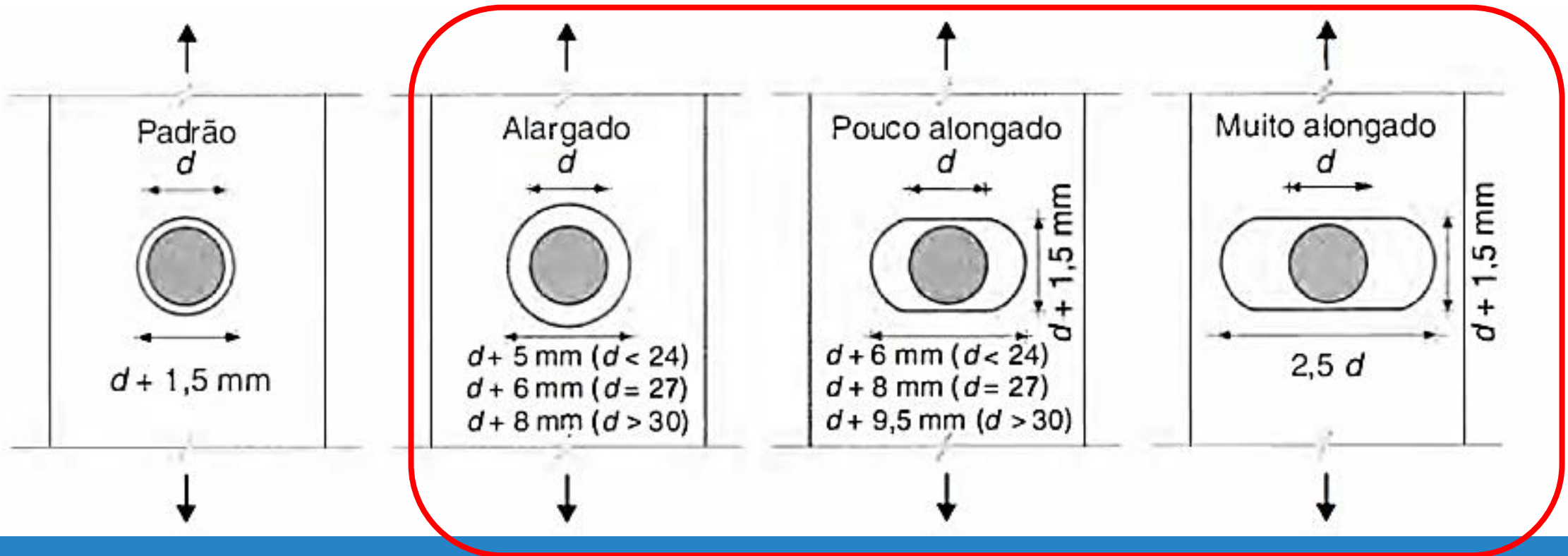
Furos

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



Furos

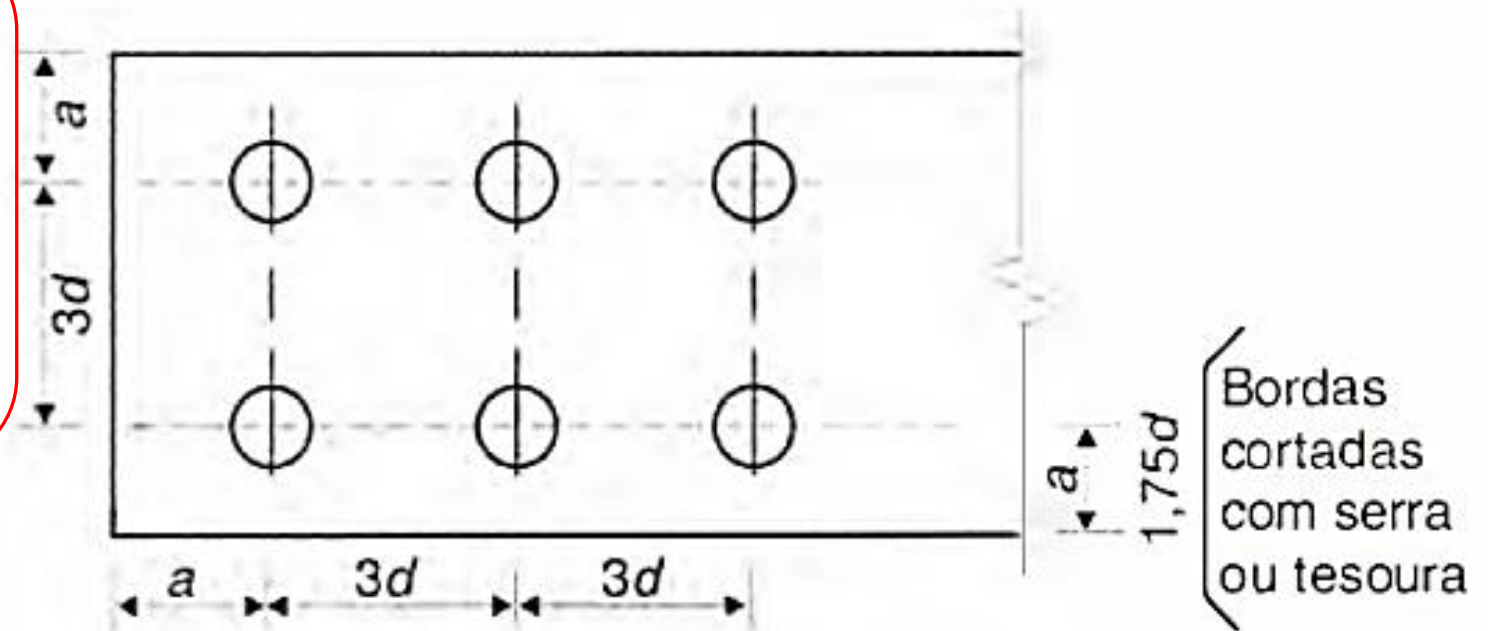
São usados na direção da força em ligações tipo atrito. Os furos alongados com a maior dimensão do furo normal à direção à força podem ser usados em ligações tipo apoio. Só devem ser usados em situações especiais, para atender a dificuldades de montagem.



Espaçamentos mínimos

Valor de a para bordos laminados ou cortados com maçarico

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



Espaçamentos máximos entre conectores

são utilizados para impedir penetração de água e sujeira nas interfaces

São dados em função da espessura **t da chapa mais fina** (NBR 8800)

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

Propriedades mecânicas dos aços para parafusos

Tabela 3.1 Propriedades Mecânicas dos Aços para Conectores

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

Classificação das ligações

A classificação das ligações pode ser dada de duas formas:

-conforme os esforços solicitantes nos conectores

❖ **Ligação por corte**

❖ **por tração**

❖ **corte e tração**

-conforme é dada a transmissão de esforços entre o conector e o outro elemento da emenda

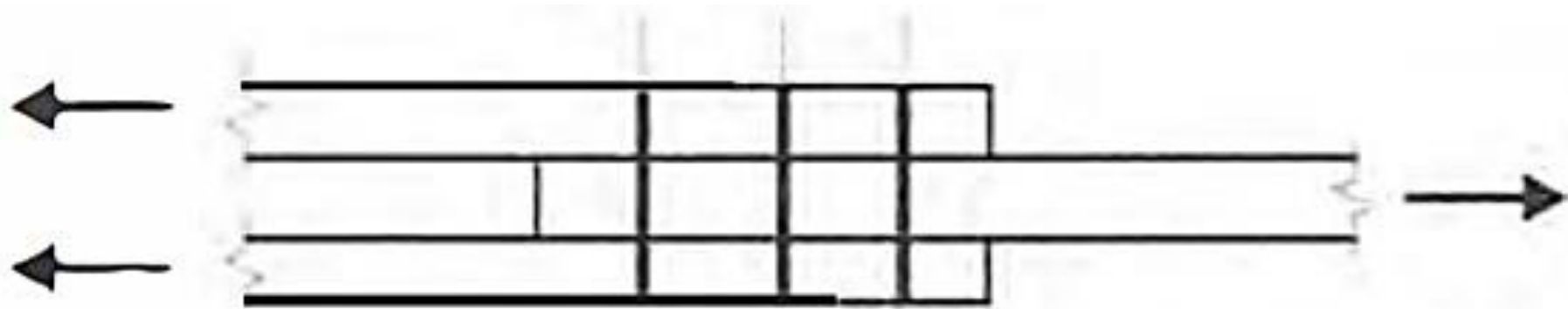
□ **Ligação tipo apoio ou contato**

□ **e por atrito**

Classificação das ligações conforme os esforços solicitantes nos conectores

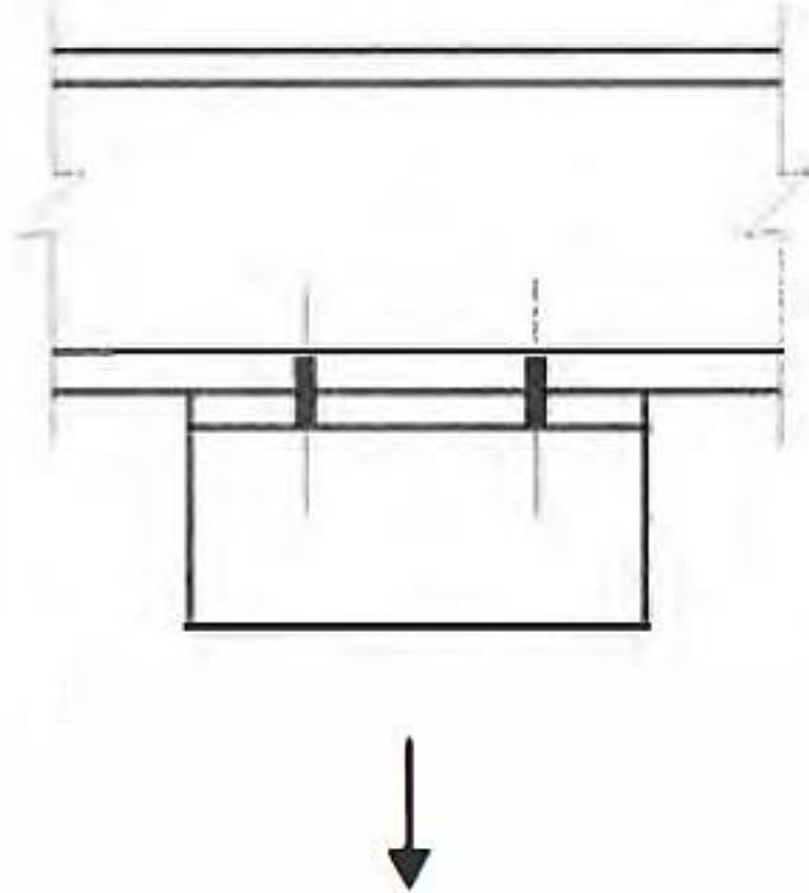
Ligação pode também ser identificada pelo tipo de solicitação que impõe aos conectores

Ligação por corte: esforço cortante é determinante na resistência.



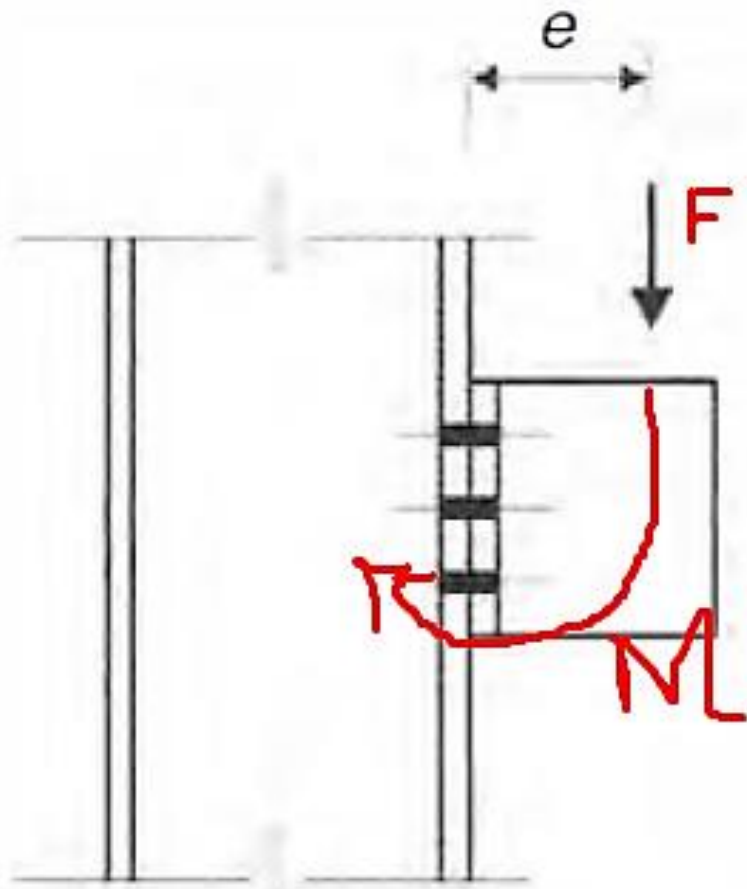
Classificação das ligações conforme os esforços solicitantes nos conectores

Ligação por tração: Os conectores estão sujeitos à tração axial



Classificação das ligações conforme os esforços solicitantes nos conectores

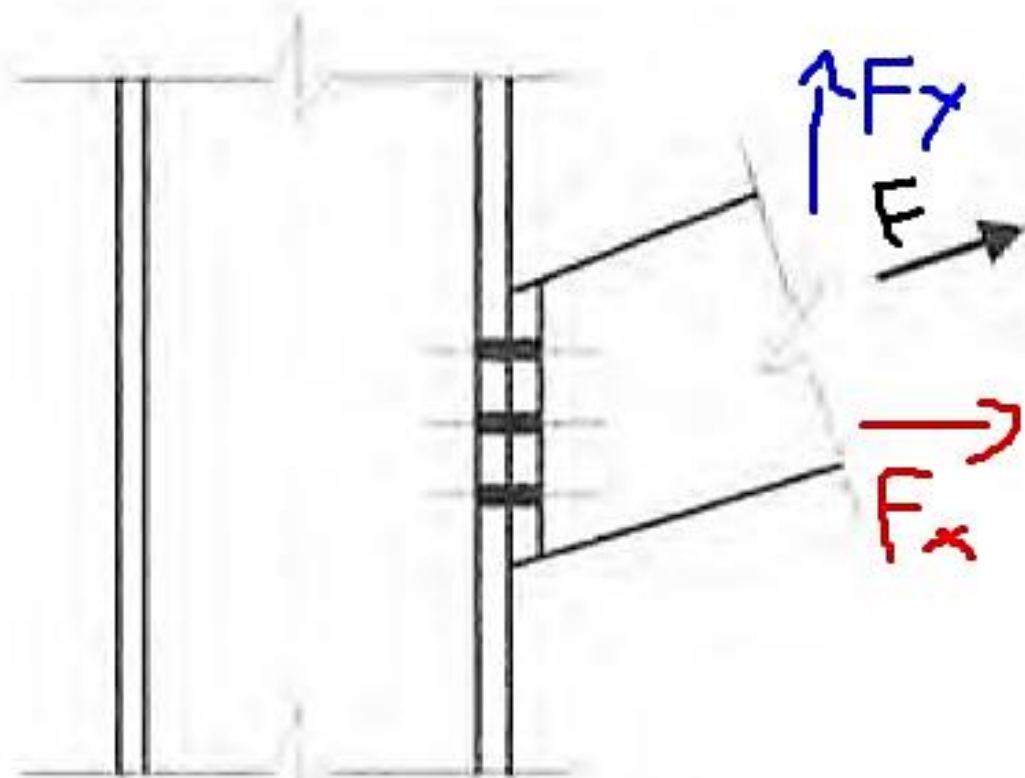
Ligação a corte e tração – parafusos superiores tracionados



Classificação das ligações conforme os esforços solicitantes nos conectores

Todos os parafusos tracionados

Conectores sofrem esforços de tração e corte.



Tipos de ligações

Ligações de apoio ou contato

Ligações feitas com rebites, parafusos comuns (ASTM A307) e, quando pequenos deslizamentos são toleráveis, parafusos com alta resistência

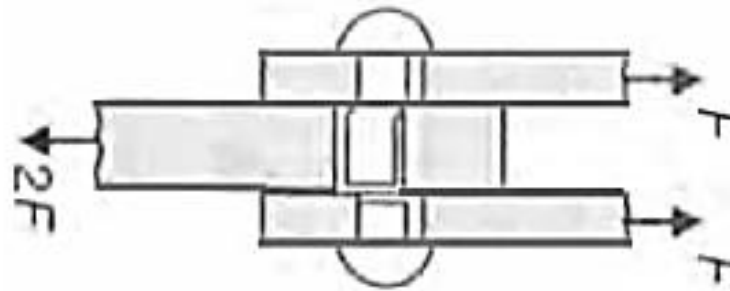
nestas ligações o esforço de corte é transmitido de um componente para outro da ligação através do contato entre o corpo do parafuso e a parede do furo.

Resistências a serem determinadas:

Tração

Corte do conector

Pressão de contato



Rebites

Conectores instalados a quente, o produto final apresentando duas cabeças.

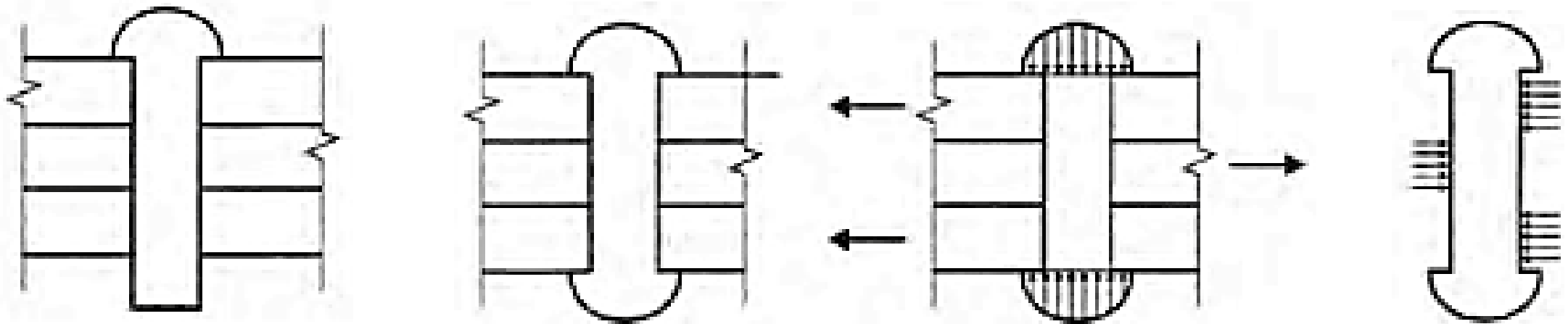


Rebites

Pelo resfriamento, o rebite aperta as duas chapas em si.

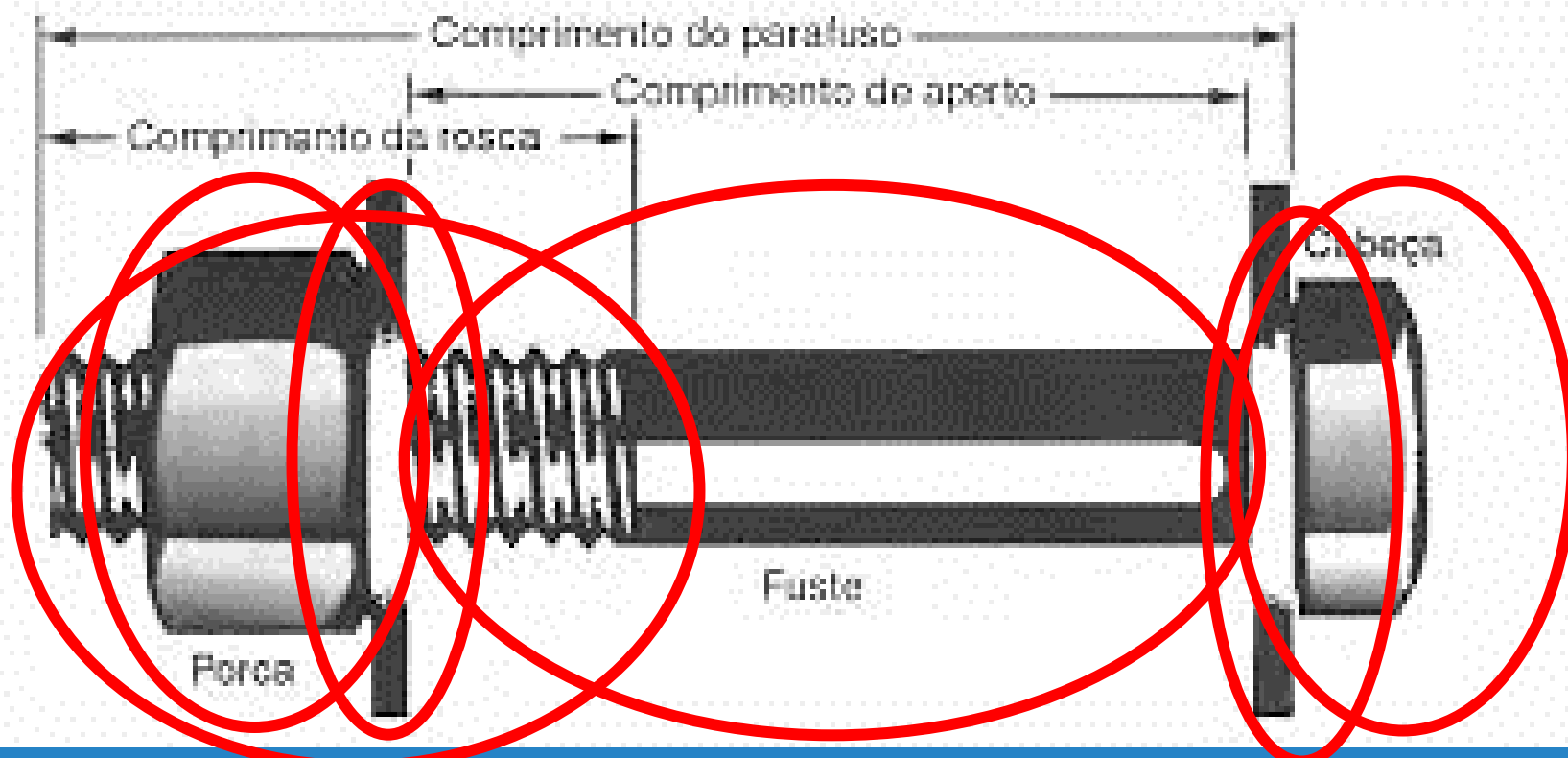
No entanto, esse aperto é muito variável de forma a não garantir um valor mínimo a se considerar nos cálculos

São calculados pelos **esforços transmitidos por apoio do fuste nas chapas e por corte da seção transversal do fuste** → **ligação tipo apoio**



Parafusos comuns

São forjados com aço-carbono de baixo teor de carbono, conforme especificações da ASTM A307



Arruelas

Cabeça sextavada ou quadrada

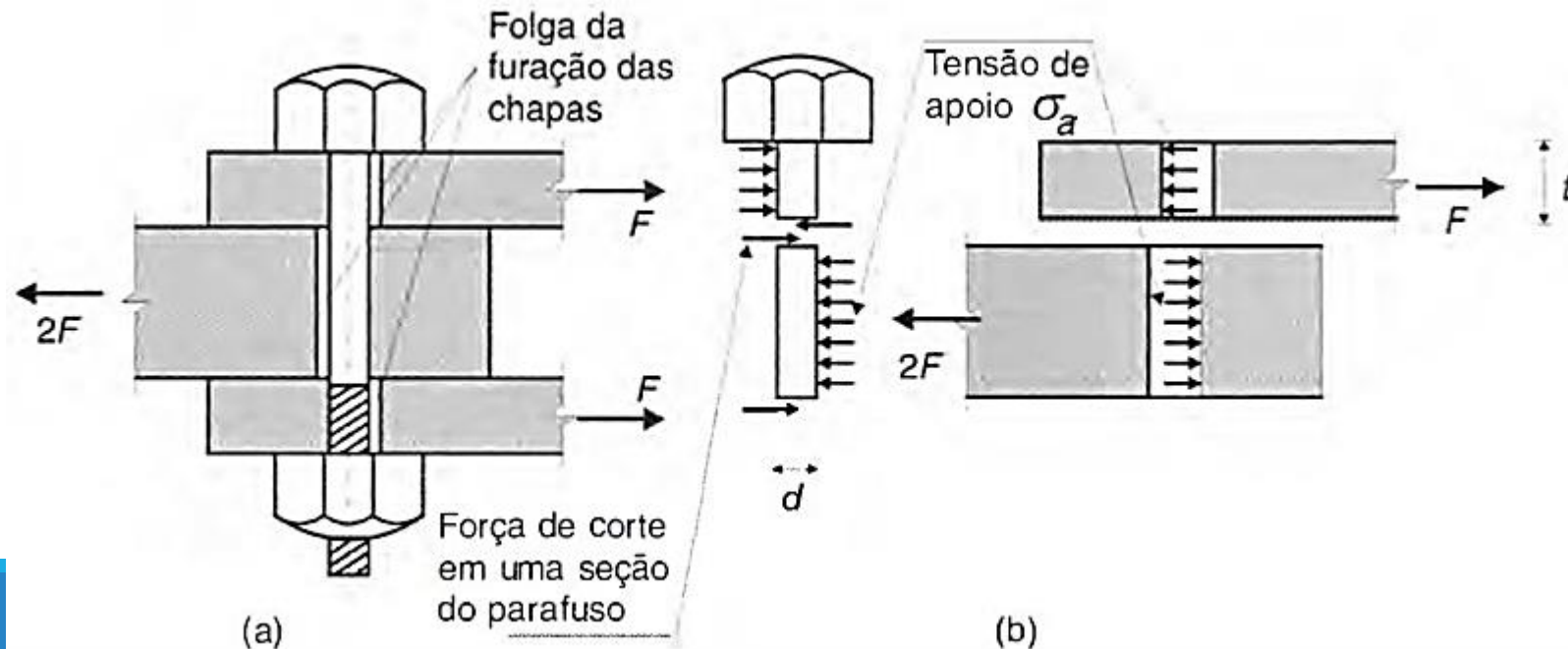
Rosca mais utilizada no Brasil: tipo americano
Mas o tipo padronizado é a rosca métrica

Parafusos comuns

Os parafusos comuns são instalados por aperto, mobilizando o atrito entre as chapas

No entanto, esse aperto é muito variável de forma a não garantir um valor mínimo a se considerar nos cálculos

São calculados pelos **esforços transmitidos por apoio do fuste nas chapas e por corte da seção transversal do fuste** → **ligação tipo apoio**



Quando usar parafusos comuns?

em estruturas leves

peças secundárias

plataformas

Terças

pequenas treliças

etc., em que as cargas são baixas e estáticas.

O que deve ser determinado?

Ligações de apoio ou contato

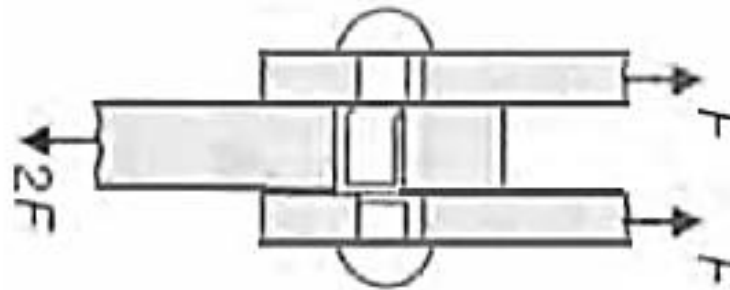
nestas ligações o esforço de corte é transmitido de um componente para outro da ligação através do contato entre o corpo do parafuso e a parede do furo.

Resistências a serem determinadas:

Tração

Corte do conector

Pressão de contato

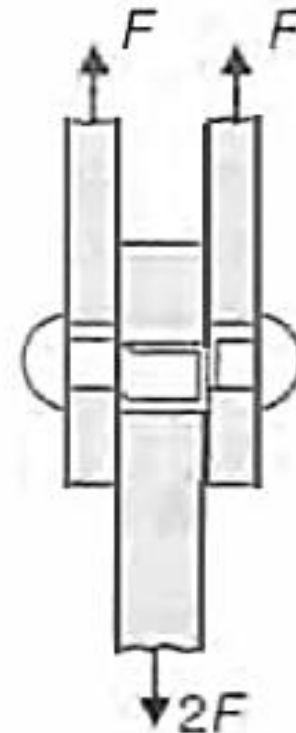


Dimensionamento a Corte dos Conectores

A resistência de projeto de conectores a corte é dada por

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

R_{nv} : Resistência nominal para um plano de corte



Dimensionamento a Corte dos Conectores

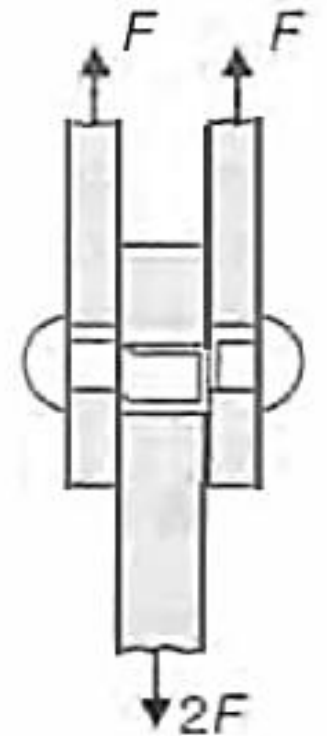
Parafusos em Geral e Barras Rosqueadas

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

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

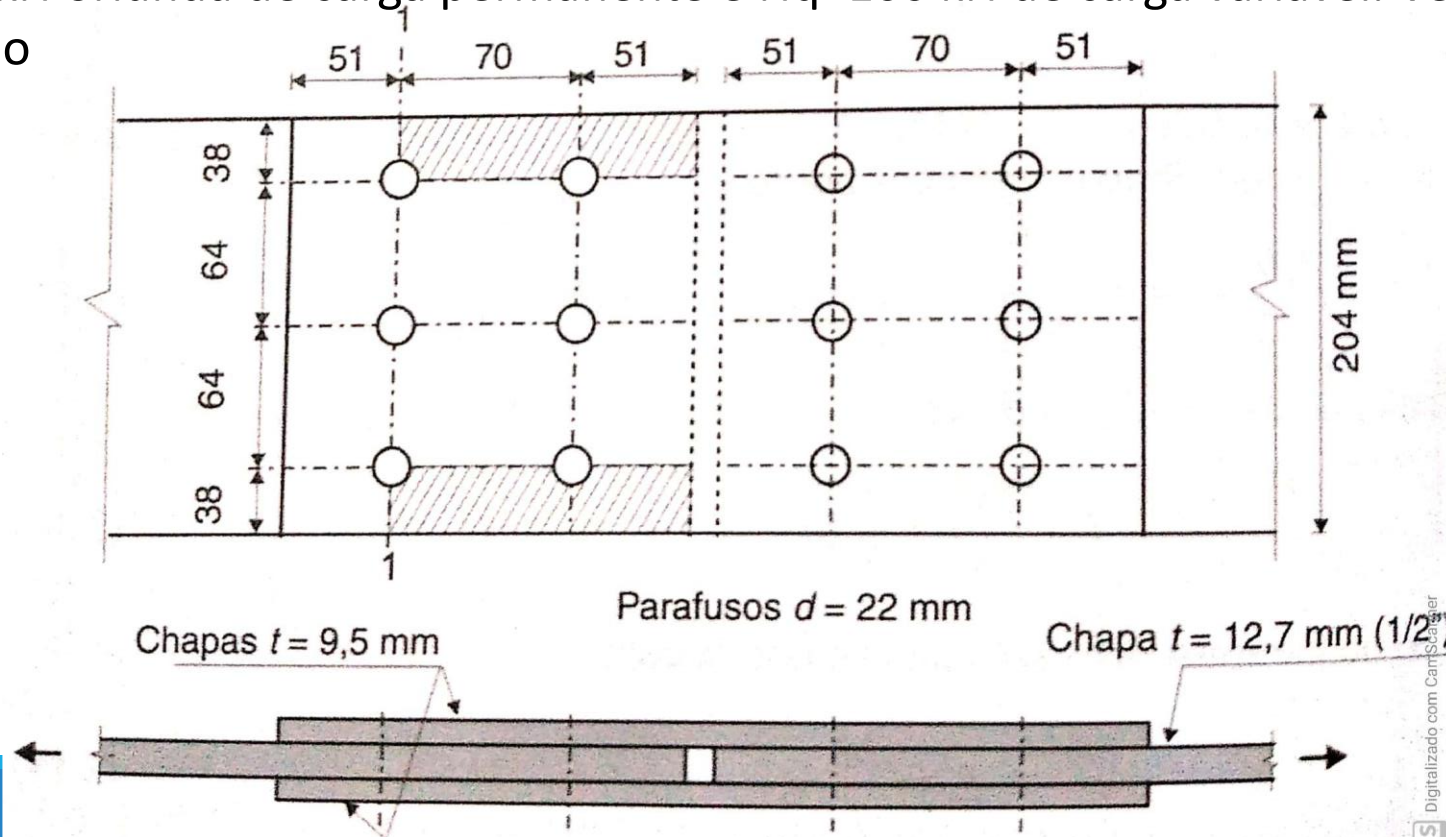
$$R_{nv} = 0,50 A_g f_u$$

Ag é área de corte dos parafusos



Exemplo

Duas chapas de 204 mm x 12,7 mm em aço ASTM A36 são emendadas com duas chapas laterais de 9,5 mm e parafusos comuns A307 com diâmetro 22 mm. As chapas estão sujeitas forças $N_g=200$ kN oriunda de carga permanente e $N_q=100$ kN de carga variável. Verifique a resistência da ligação



Observações iniciais sobre a ligação

O que deve ser calculado?

Deve-se verificar a ligação por cada elemento que a compõe: os conectores e as chapas

CHAPA (as chapas que compõe a ligação estão sujeitas ao esforço de tração)

Escoamento da seção bruta

Ruptura da seção líquida

Cisalhamento do bloco



Vamos nos limitar a verificar somente a resistência dos parafusos, pois já foi visto como verificar a resistência da chapa ao esforço e tração. Como exercício, verifiquem essa resistência

Observações iniciais sobre a ligação

CONNECTOR

Primeiramente, deve ser observada a ligação: que tipo de ligação temos no exercício?

A ligação é com parafuso comum, logo só pode ser uma ligação do tipo apoio.

Dessa forma, para ligações do tipo apoio não sujeitas a tração nos parafusos, deve-se verificar:

- Corte

- Pressão de contato

Resolução

1. determinar a combinação de ações externas

$$N_d = \gamma_g * N_g + \gamma_q * N_q$$

$$N_d = 1,4 * 200 + 1,5 * 100$$

$$N_d = 430 \text{ kN}$$

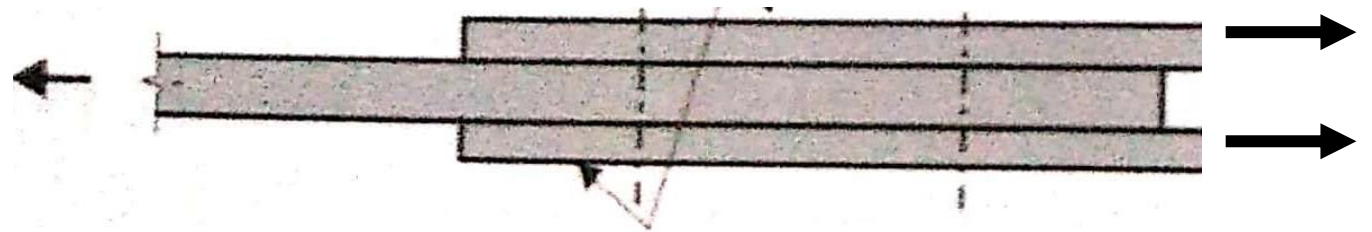
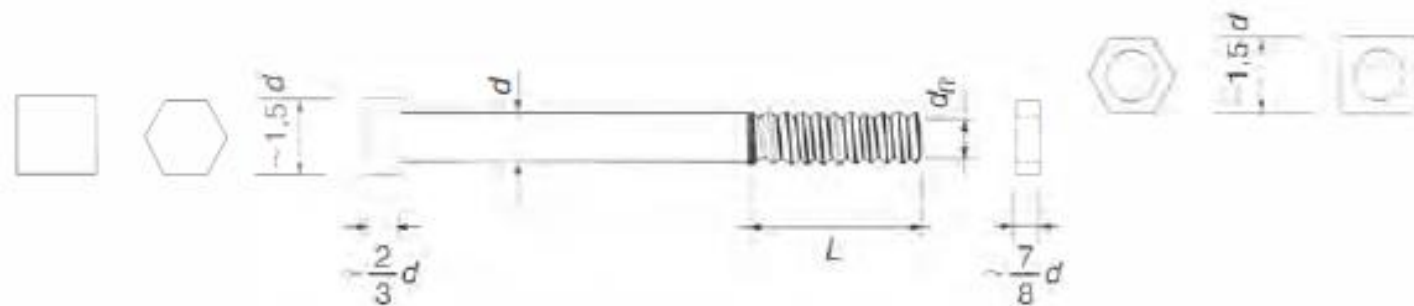


Tabela A5.1 Parafusos Comuns Padrão Americano — Aço ASTM A307 ($f_u=415$ MPa)



| d (pol) | d (cm) | d_n (cm) | Área Bruta (cm ²) | Área do Núcleo (cm ²) | Área Efetiva da Rosca (cm ²) | Esforço Resistente a Corte ¹ (kN) | Esforço Resistente à Tração ² (kN) | L (mm) |
|--------------|-------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------------|---|---|--|-------------|
| 1/4 | 0,64 | 0,47 | 0,32 | 0,17 | | 3,89 | 7,30 | 19,0 |
| 3/8 | 0,95 | 0,75 | 0,71 | 0,44 | | 8,76 | 16,43 | 25,4 |
| 1/2 | 1,27 | 1,02 | 1,27 | 0,81 | 0,92 | 15,58 | 29,21 | 31,7 |
| 5/8 | 1,59 | 1,29 | 1,98 | 1,30 | 1,46 | 24,34 | 45,63 | 38,1 |
| 3/4 | 1,91 | 1,58 | 2,85 | 1,95 | 2,15 | 35,05 | 65,71 | 44,4 |
| 7/8 | 2,22 | 1,86 | 3,88 | 2,72 | 2,98 | 47,70 | 89,44 | 50,8 |
| 1 | 2,54 | 2,13 | 5,07 | 3,56 | 3,91 | 62,31 | 116,8 | 57,1 |
| 1 1/8 | 2,86 | 2,39 | 6,41 | 4,47 | 4,92 | 78,86 | 147,9 | 63,5 |
| 1 1/4 | 3,18 | 2,71 | 7,92 | 5,74 | 6,25 | 97,35 | 182,5 | 69,8 |
| 1 3/8 | 3,49 | 2,95 | 9,58 | 6,77 | 7,45 | 117,8 | 220,9 | 76,2 |
| 1 1/2 | 3,81 | 3,27 | 11,40 | 8,32 | 9,07 | 140,2 | 262,9 | 82,5 |
| 1 3/4 | 4,45 | 3,80 | 15,52 | 11,23 | 12,26 | 190,8 | 357,8 | 95,2 |
| 2 | 5,08 | 4,36 | 20,27 | 14,04 | 16,13 | 249,2 | 467,3 | 107,9 |
| 2 1/4 | 5,72 | 5,00 | 25,65 | 19,49 | | 315,4 | 591,4 | 120,6 |
| 2 1/2 | 6,35 | 5,54 | 31,67 | 24,00 | | 389,4 | 730,2 | 133,3 |
| 2 3/4 | 6,99 | 6,19 | 38,32 | 29,81 | | 471,2 | 883,5 | 146,0 |
| 3 | 7,62 | 6,83 | 45,60 | 36,26 | | 560,8 | 1051,4 | 152,4 |

Resolução

2. Resistência ao corte

Emenda com corte duplo

2.1 Área do plano de corte

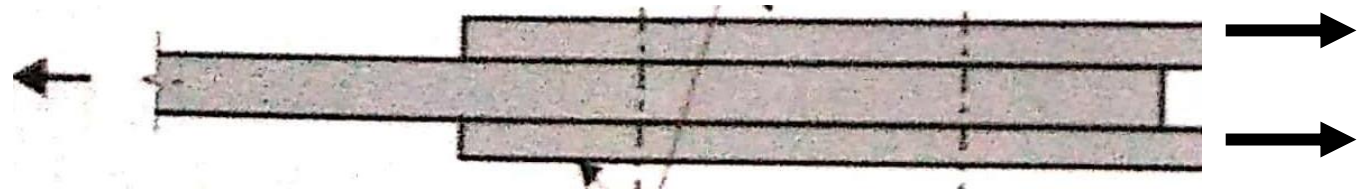
A_g = área total dos planos de corte

$$A_g = n * p * A_{g \text{ uni}}$$

A_g = (número de planos de corte) * (numero de parafusos) * Area de um plano de corte

$$A_g = 2 * 6 * 3,88$$

$$A_g = 46,56 \text{ cm}^2$$



Resolução

2. Resistência ao corte

Emenda com corte duplo

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

$$R_d = \frac{0,4 * A_g * f_u}{\gamma_{a2}}$$

$$R_d = \frac{0,4 * 46,56 * 41,5}{1,35}$$

$$R_d = 572,5 \text{ kN}$$

$$R_d = 572,5 \text{ kN} > N_d = 430 \text{ kN}$$

O que deve ser determinado?

Ligações de apoio ou contato

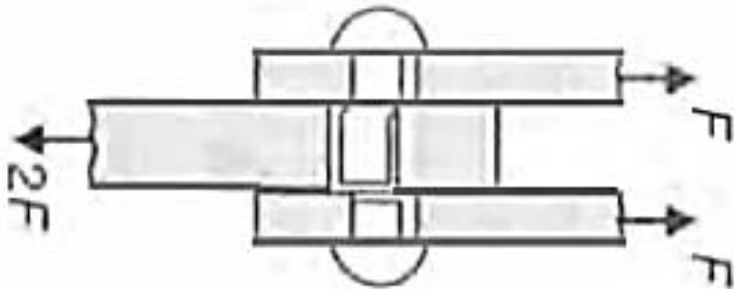
Resistências a serem determinadas:

Tração



Corte do conector

Pressão de contato: em cada chapa { *furo externo*
furo interno



Dimensionamento a rasgamento e pressão de apoio da chapa

$R_d = \frac{R_n}{\gamma_{a2}}$ → resistência R_d à pressão de apoio entre o fuste e conector

R_n é o menor entre os seguintes valores

Apoio

$$R_n = 2,4 * d * t * f_u$$

d : diâmetro nominal do conector

t é a espessura da chapa

f_u tensão de ruptura do aço da chapa

Dimensionamento a rasgamento e pressão de apoio da chapa

$R_d = \frac{R_n}{\gamma_{a2}}$ → resistência R_d à pressão de apoio entre o fuste e conector

R_n é o menor entre os seguintes valores

Rasgamento

$$R_n = 1,2 * a * t * f_u$$

a : é a distância entre a borda do furo e a extremidade da chapa medida na direção da força solicitante para a resistência ao rasgamento entre um furo extremo e a borda da chapa

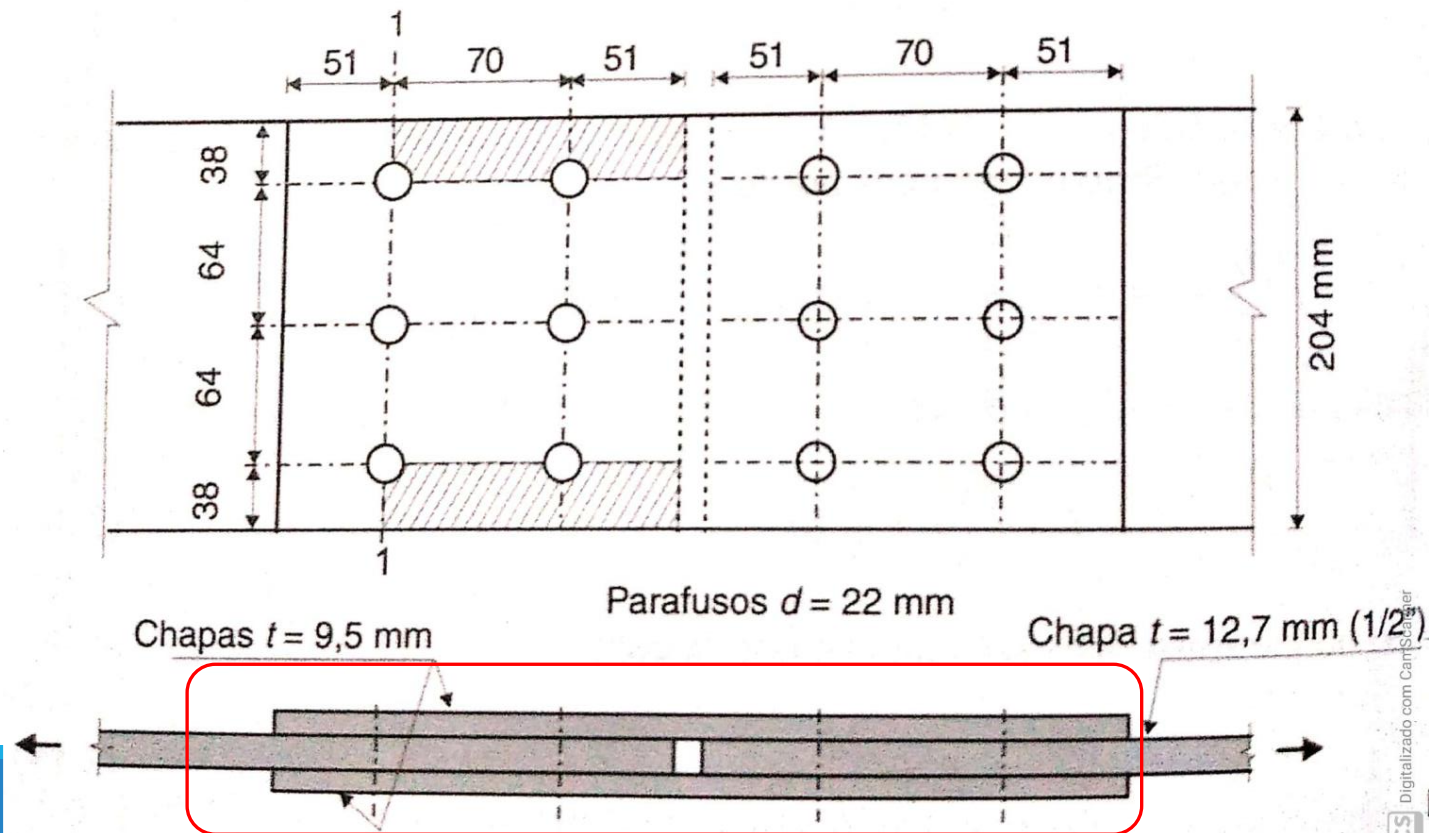
a : distância entre a borda do furo e a borda do furo consecutivo, medida na direção da força solicitante para a determinação da resistência ao rasgamento da chapa entre furos igual a $(s-d)$, sendo s o espaçamento entre furos

t : espessura da chapa

f_u : tensão de ruptura do aço

Exemplo

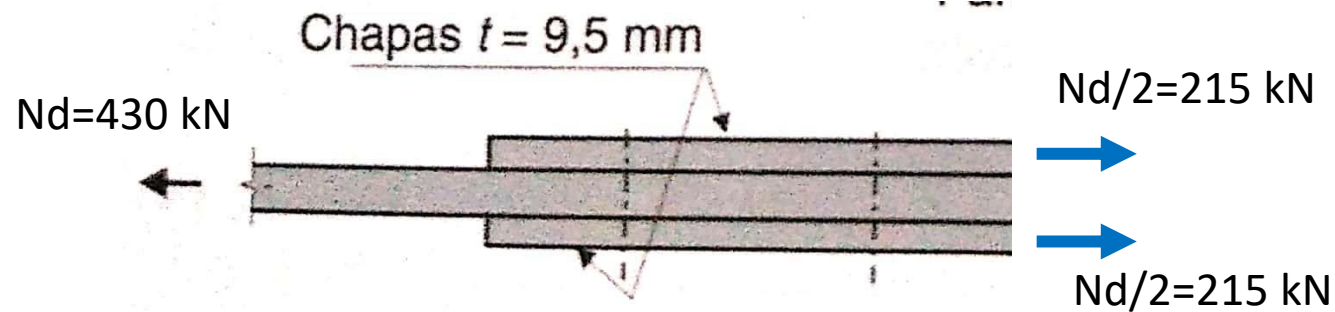
Duas chapas de 204 mm x 12,7 mm em aço ASTM A36 são emendadas cm duas chapas laterais de 9,5 mm e parafusos comuns A307 com diâmetro 22 mm. As chapas estão sujeitas forças $N_g=200$ kN oriunda de carga permanente e $N_q=100$ kN de carga variável.



Resolução

Deve ser observado que as chapas possuem espessuras diferentes

O corte nos parafusos é duplo \rightarrow então a força solicitante de projeto (N_{sd}) é aplicada de formas diferentes na chapas



Resolução

Devemos calcular a pressão de contato do fuste do parafuso com as paredes das chapas para os furos internos e externos de cada chapa

Ou seja,

Para a chapa do meio ($t=12,7$ mm), deve-se determinar:

-resistência de apoio e a de rasgamento dos furos externos, verificando qual deles será o menor valor

-resistência de apoio e a de rasgamento dos furos internos, verificando qual deles será o menor valor

A resistência de pressão de contato dos parafusos na chapa de esp. $t=12,7$ mm será dada por:

$$R = n^{\circ} \text{ de parafusos externos} * R_{\text{externos}} + n^{\circ} \text{ de parafusos internos} * R_{\text{internos}}$$

O mesmo vale para as talas ($t=9,5$ mm), de forma que esse processo deverá ser realizado para uma delas

Resolução

RESISTÊNCIAS AO RASGAMENTO E PRESSÃO DE APOIO DA CHAPA

CHAPA 1 (t=9,5mm)

- Furos externos

Resistência ao rasgamento

$$R_n = 1,2 * a * t * f_u$$

$$D_{furo} = d + 1,5 \text{ mm}$$

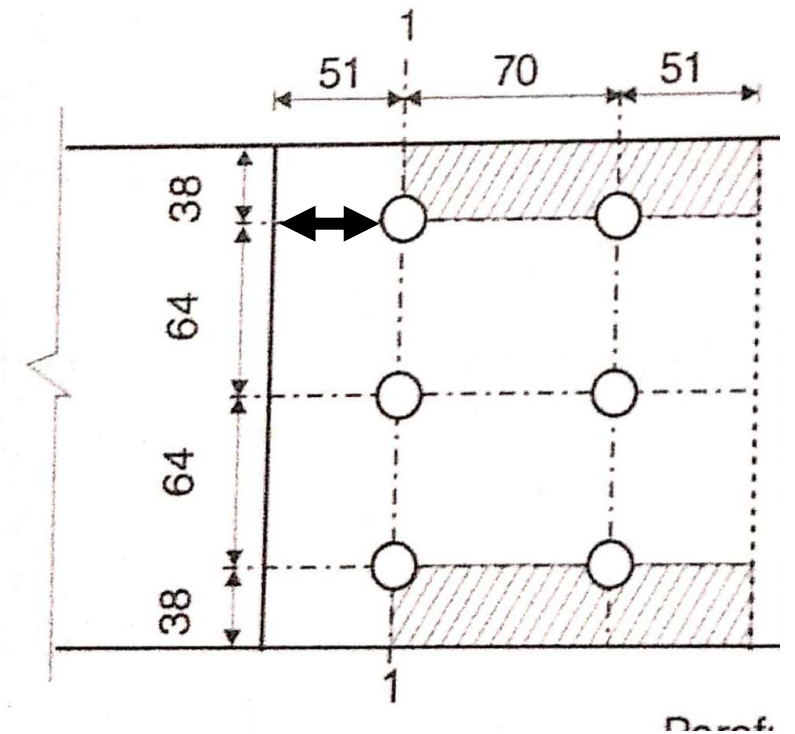
$$D_{furo} = 22 + 1,5$$

$$D_{furo} = 23,5 \text{ mm}$$

$$a = 51 - 0,5 * d_{furo}$$

$$a = 51 - 0,5 * 23,5$$

$$a = 39,25 \text{ mm} = 3,925 \text{ cm}$$



Resolução

RESISTÊNCIAS AO RASGAMENTO E PRESSÃO DE APOIO DA CHAPA

CHAPA 1 (t=9,5mm)

- Furos externos

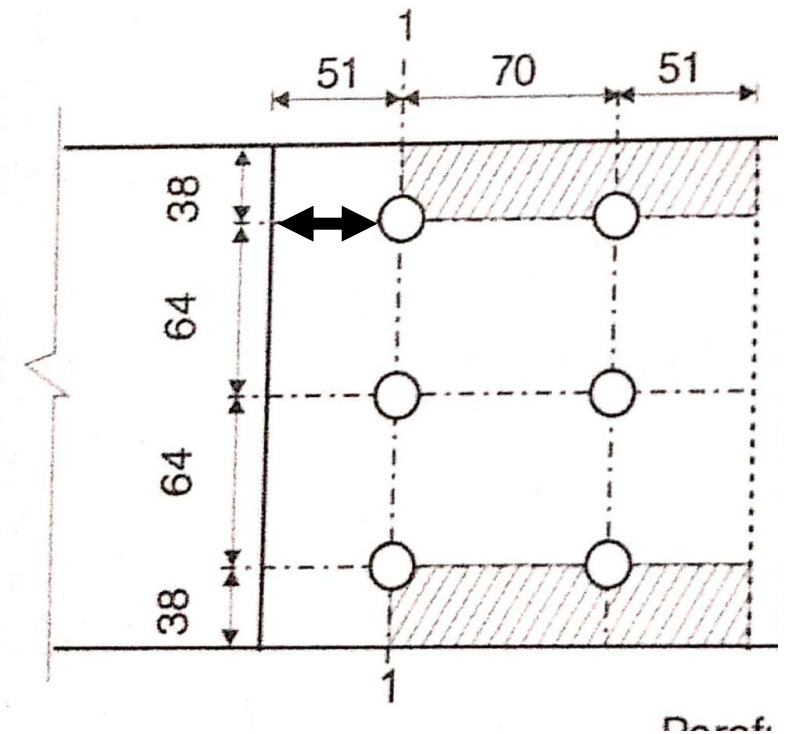
Resistência ao rasgamento

$$R_n = 1,2 * a * t * f_u$$

$$a = 39,25mm = 3,925 cm$$

$$R_{n rasg} = 1,2 * 3,925 * 0,95 * 40$$

$$R_{n rasg} = 178,98 kN$$



Resolução

RESISTÊNCIAS AO RASGAMENTO E AO APOIO

CHAPA 1 (t=9,5mm)

- Furos externos

Resistência ao apoio

$$R_{n \text{ apoio}} = 2,4 * d * t * f_u$$

$$R_{n \text{ apoio}} = 2,4 * 2,22 * 0,95 * 40$$

$$R_{n \text{ apoio}} = 202,46 \text{ kN}$$

a resistência de apoio de furos internos e externos na mesma chapa é igual

Resolução

RESISTÊNCIAS AO RASGAMENTO E PRESSÃO DE APOIO DA CHAPA (t=9,5mm)

- Furos externos

Comparação

$$R_{n\ rasg} = 178,98\ kN; R_{n\ apoio} = 200,6\ kN$$

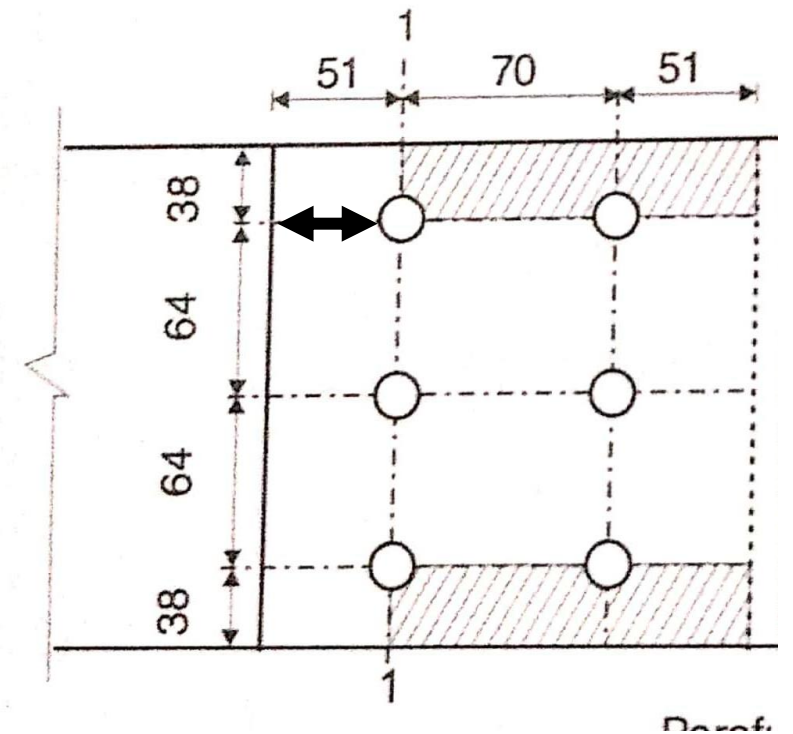
$$R_{n\ apoio} = 200,6\ kN > R_{n\ rasg} = 178,98\ kN$$

Será usado o menor valor:

$$R_d = \frac{R_{n\ rasg}}{\gamma_{a2}}$$

$$R_d = \frac{178,98}{1,35}$$

$$R_d = 132,58\ kN$$



Resistência de pressão e contato de uma chapa (tala de emenda) t=9,5 mm devido a força exercida por **1 PARAFUSO** em somente um furo externo

Resolução

RESISTÊNCIAS AO RASGAMENTO E PRESSÃO DE APOIO DA CHAPA (t=9,5mm)

- Furos internos

Resistência ao apoio

$$R_{n \text{ apoio}} = 2,4 * d * t * f_u$$

$$R_{n \text{ apoio}} = 2,4 * 2,22 * 0,95 * 40$$

$$R_{n \text{ apoio}} = 202,46 \text{ kN}$$

a resistência de apoio de furos internos e externos na mesma chapa é igual

Resolução

RESISTÊNCIAS AO RASGAMENTO E PRESSÃO DE APOIO DA CHAPA (t=9,5mm)

- Furos internos

Resistência ao rasgamento

$$R_n = 1,2 * a * t * f_u$$

$$D_{furo} = d + 1,5 \text{ mm}$$

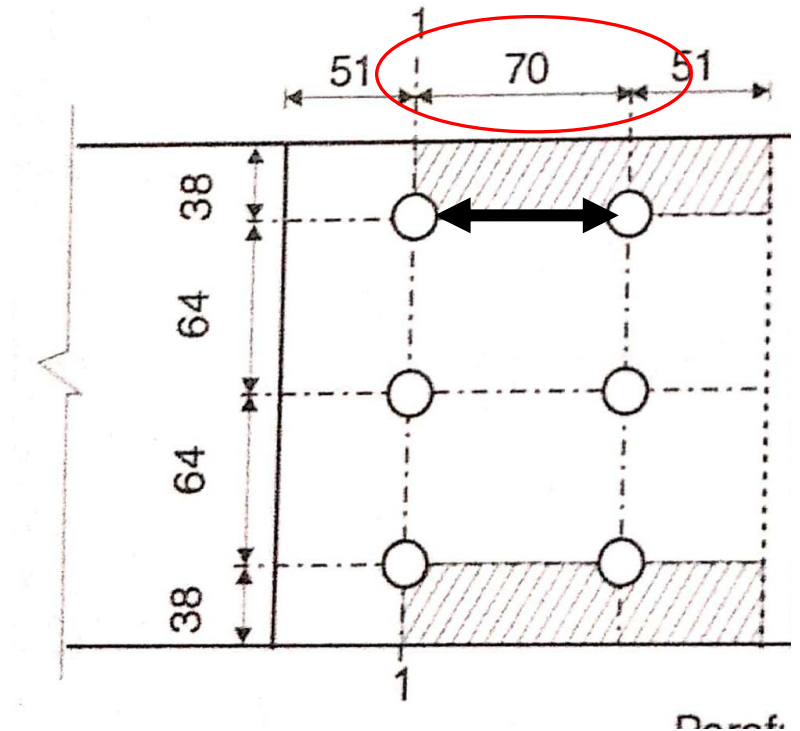
$$D_{furo} = 22 + 1,5$$

$$D_{furo} = 23,5 \text{ mm}$$

$$a = 70 - 0,5 * d_{furo} - 0,5 * d_{furo}$$

$$a = 70 - 0,5 * 23,5 - 0,5 * 23,5$$

$$a = 46,5 \text{ mm ou } 4,65 \text{ cm}$$



Resolução

RESISTÊNCIAS AO RASGAMENTO E PRESSÃO DE APOIO DA CHAPA (t=9,5mm)

- Furos internos

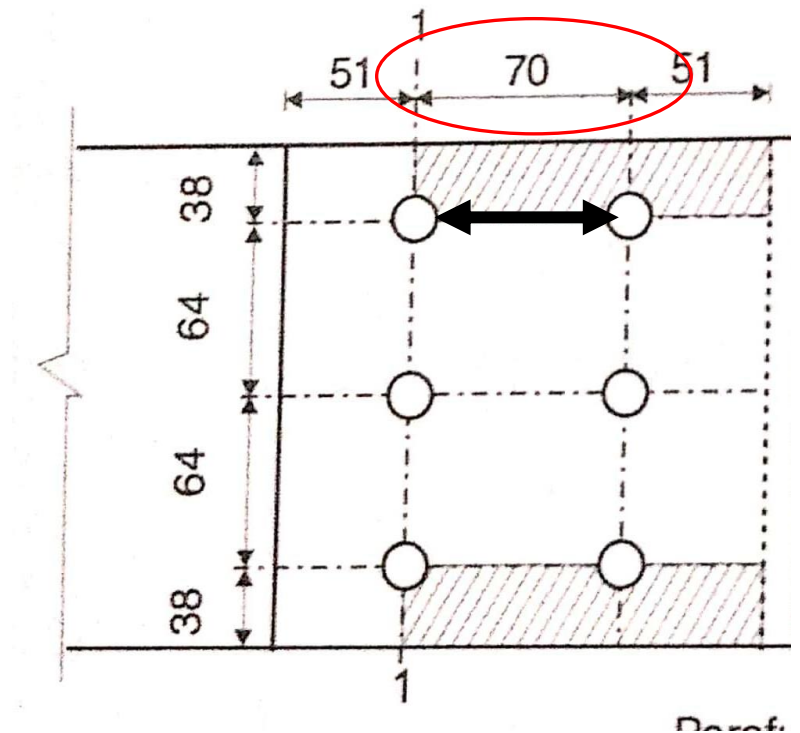
Resistência ao rasgamento

$$a = 46,5 \text{ mm ou } 4,65 \text{ cm}$$

$$R_n = 1,2 * a * t * f_u$$

$$R_n = 1,2 * 4,65 * 0,95 * 40$$

$$R_n = 212,04 \text{ kN}$$



Resolução

RESISTÊNCIAS AO RASGAMENTO E PRESSÃO DE APOIO DA CHAPA (t=9,5mm)

- Furos internos

Comparação

$$R_{n\text{ rasg}} = 212,04 \text{ kN}; R_{n\text{ apoio}} = 202,46 \text{ kN}$$

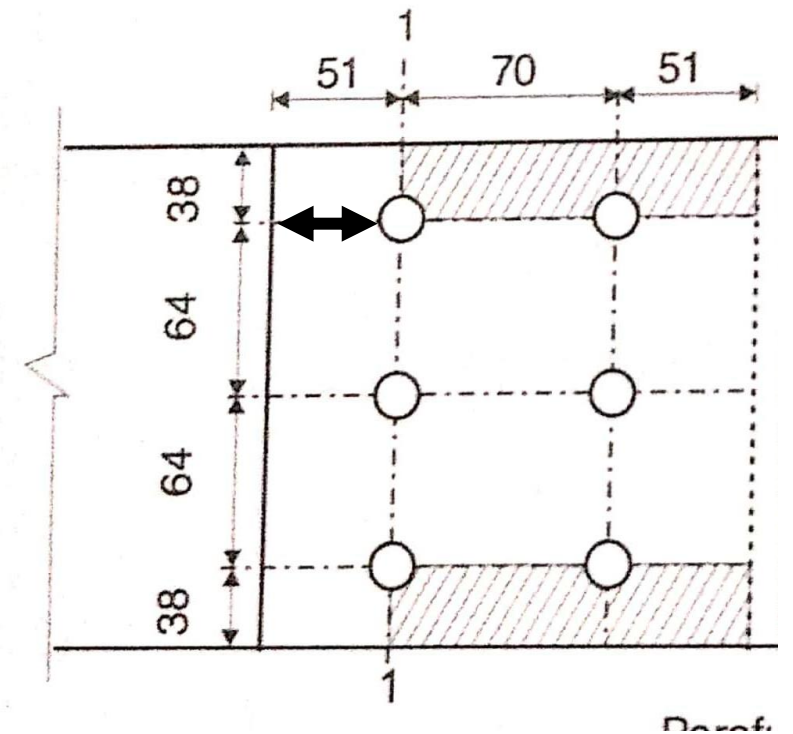
$$R_{n\text{ apoio}} = 202,46 \text{ kN} < R_{n\text{ rasg}} = 212,04 \text{ kN}$$

Será usado o menor valor:

$$R_d = \frac{R_{n\text{ apoio}}}{\gamma_{a2}}$$

$$R_d = \frac{202,46}{1,35}$$

$$R_d = 149,97 \text{ kN}$$



Resistência de pressão e contato de uma chapa (tala de emenda) t=9,5 mm devido a força exercida por **1 PARAFUSO em somente um furo interno**

Resolução

RESISTÊNCIAS AO RASGAMENTO E PRESSÃO DE APOIO DA CHAPA (t=9,5mm)

$$R = n^{\circ} \text{ de parafusos externos} * R_{d \text{ externo}} + n^{\circ} \text{ de parafusos internos} * R_{d \text{ interno}}$$

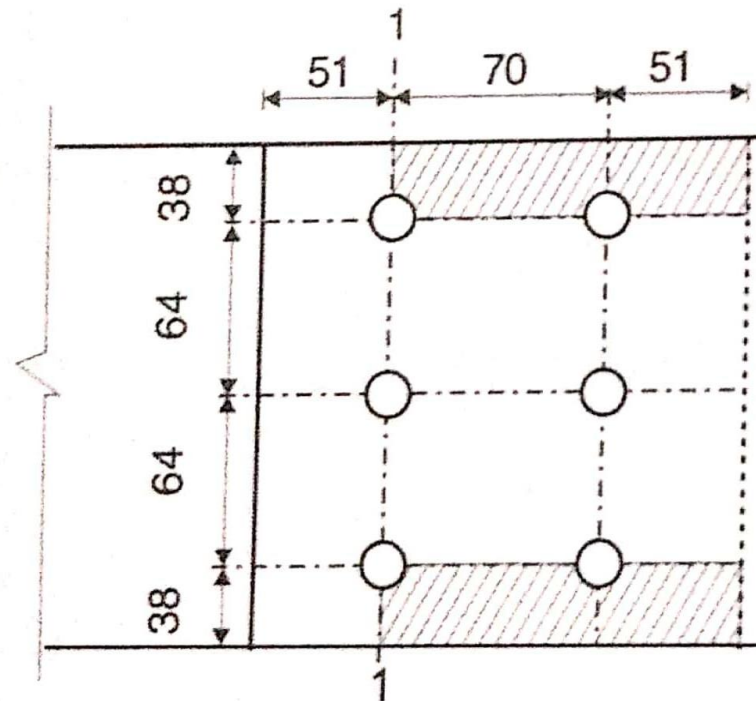
$$R_{d \text{ interno}} = 149,97 \text{ kN}$$

$$R_{d \text{ externo}} = 132,58 \text{ kN}$$

$$R_d = 3 * 132,58 + 3 * 149,97$$

$$R_d = 847,65 \text{ kN}$$

$$R_d = 847,65 \text{ kN} > N_d = 215 \text{ kN}$$



Paraf.

Resolução

RESISTÊNCIAS AO RASGAMENTO E PRESSÃO DE APOIO DA CHAPA

CHAPA 2 (t=1,27mm)

- Furos externos

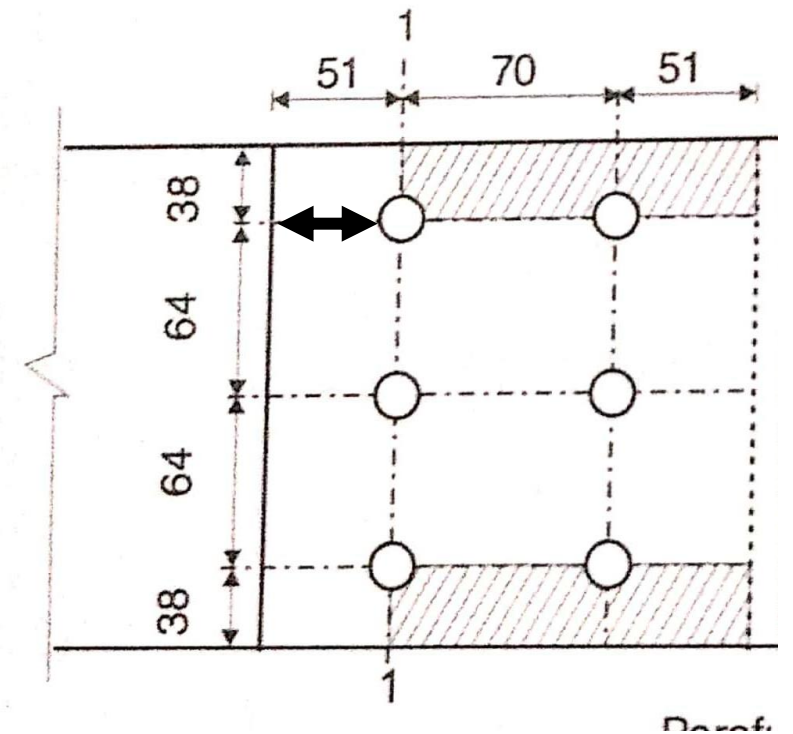
Resistência ao rasgamento

$$R_n = 1,2 * a * t * f_u$$

$$a = 39,25mm = 3,925 cm$$

$$R_{n rasg} = 1,2 * 3,925 * 1,27 * 40$$

$$R_{n rasg} = 239,26 kN$$



Resolução

RESISTÊNCIAS AO RASGAMENTO E PRESSÃO DE APOIO DA CHAPA

CHAPA 2 (t=1,27mm)

- Furos externos

Resistência ao apoio

$$R_{n \text{ apoio}} = 2,4 * d * t * f_u$$

$$R_{n \text{ apoio}} = 2,4 * 2,2 * 1,27 * 40$$

$$R_{n \text{ apoio}} = 270,66 \text{ kN}$$

a resistência de apoio de furos internos e externos na mesma chapa é igual

Resolução

RESISTÊNCIAS AO RASGAMENTO E PRESSÃO DE APOIO DA CHAPA (t=12,7mm)

- Furos externos

Comparação

$$R_{n\ rasg} = 239,26\ kN; R_{n\ apoio} = 268,22\ kN$$

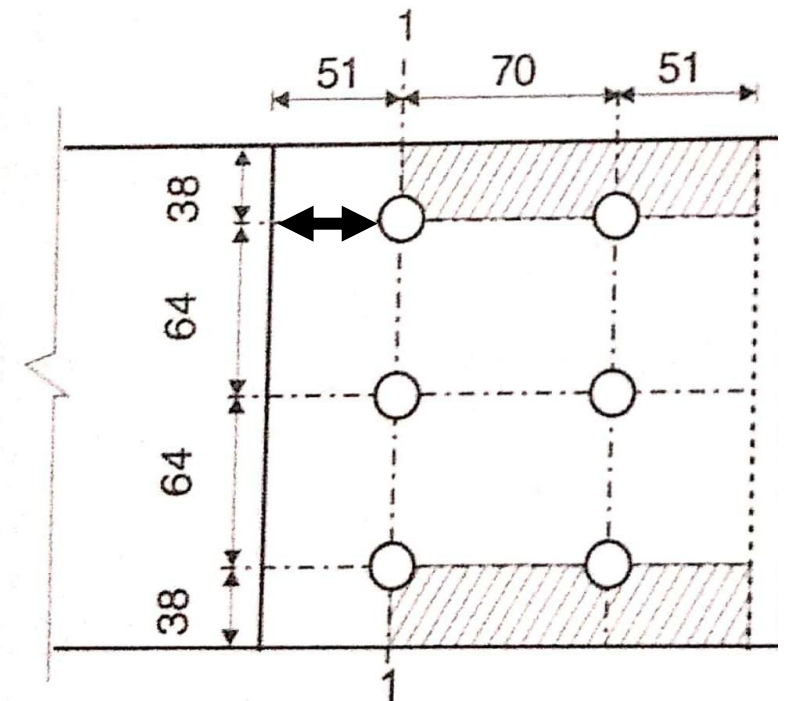
$$R_{n\ apoio} = 268,22\ kN > R_{n\ rasg} = 239,26\ kN$$

Será usado o menor valor:

$$R_d = \frac{R_{n\ rasg}}{\gamma_{a2}}$$

$$R_d = \frac{239,26}{1,35}$$

$$R_d = 177,23\ kN$$



Resistência de pressão e contato de uma chapa (tala de emenda) t=12,7 mm devido a força exercida por **1 PARAFUSO** em somente um furo externo

Resolução

RESISTÊNCIAS AO RASGAMENTO E PRESSÃO DE APOIO DA CHAPA

CHAPA 2 (t=1,27cm)

- Furos internos

Resistência ao apoio

$$R_{n \text{ apoio}} = 2,4 * d * t * f_u$$

$$R_{n \text{ apoio}} = 2,4 * 2,2 * 1,27 * 40$$

$$R_{n \text{ apoio}} = 270,66 \text{ kN}$$

a resistência de apoio de furos internos e externos na mesma chapa é igual

Resolução

RESISTÊNCIAS AO RASGAMENTO E PRESSÃO DE APOIO DA CHAPA (t=12,7mm)

- Furos internos

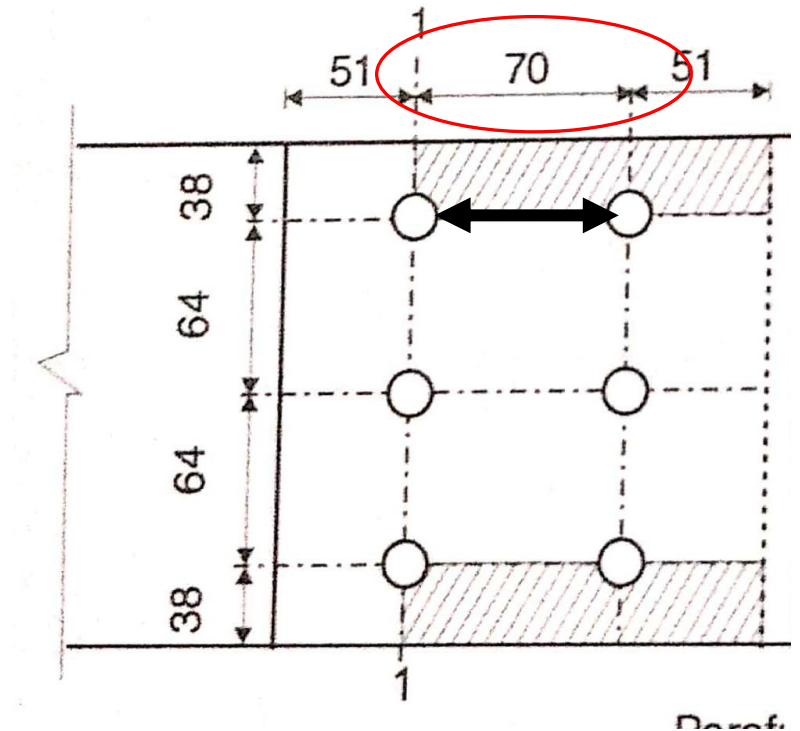
Resistência ao rasgamento

$a = 46,5 \text{ mm}$ ou $4,65 \text{ cm}$ (já calculado)

$$R_n = 1,2 * a * t * f_u$$

$$R_n = 1,2 * 4,65 * 1,27 * 40$$

$$R_n = 283,46 \text{ kN}$$



Resolução

RESISTÊNCIAS AO RASGAMENTO E PRESSÃO DE APOIO DA CHAPA (t=9,5mm)

- Furos internos

Comparação

$$R_{n\ rasg} = 283,46\text{kN}; R_{n\ apoio} = 268,22\text{ kN}$$

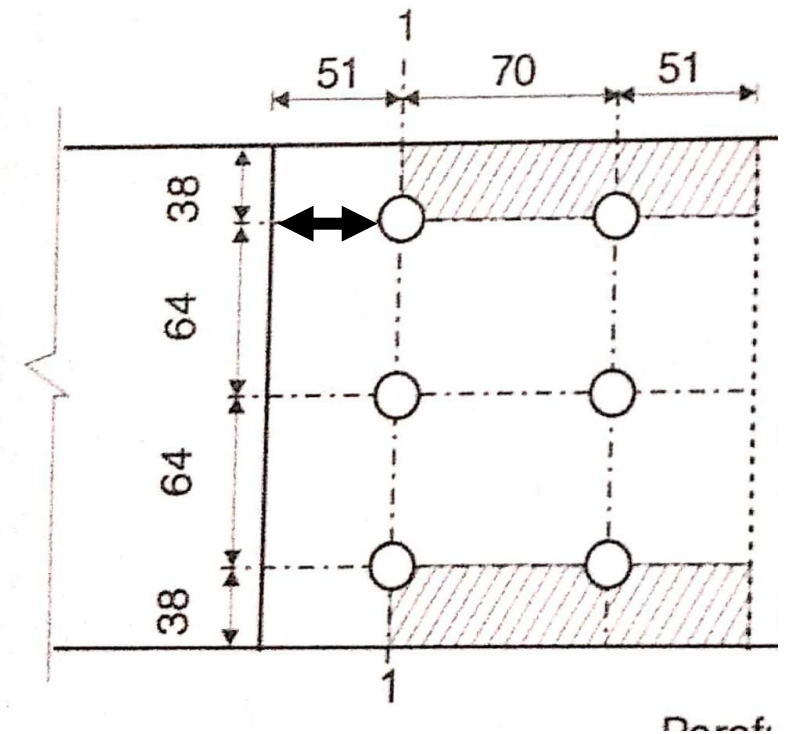
$$R_{n\ apoio} = 268,22\text{ kN} < R_{n\ rasg} = 283,46\text{ kN}$$

Será usado o menor valor:

$$R_d = \frac{R_{n\ apoio}}{\gamma_{a2}}$$

$$R_d = \frac{268,22}{1,35}$$

$$R_d = 198,68\text{kN}$$



Resistência de pressão e contato de uma chapa (tala de emenda) t=12,7 mm devido a força exercida por **1 PARAFUSO em somente um furo interno**

Resolução

RESISTÊNCIAS AO RASGAMENTO E PRESSÃO DE APOIO DA CHAPA (t=12,7mm)

$$R = n^{\circ} \text{ de parafusos externos} * R_{d \text{ externo}} + n^{\circ} \text{ de parafusos internos} * R_{d \text{ interno}}$$

$$R_{d \text{ interno}} = 200,49 \text{ kN}$$

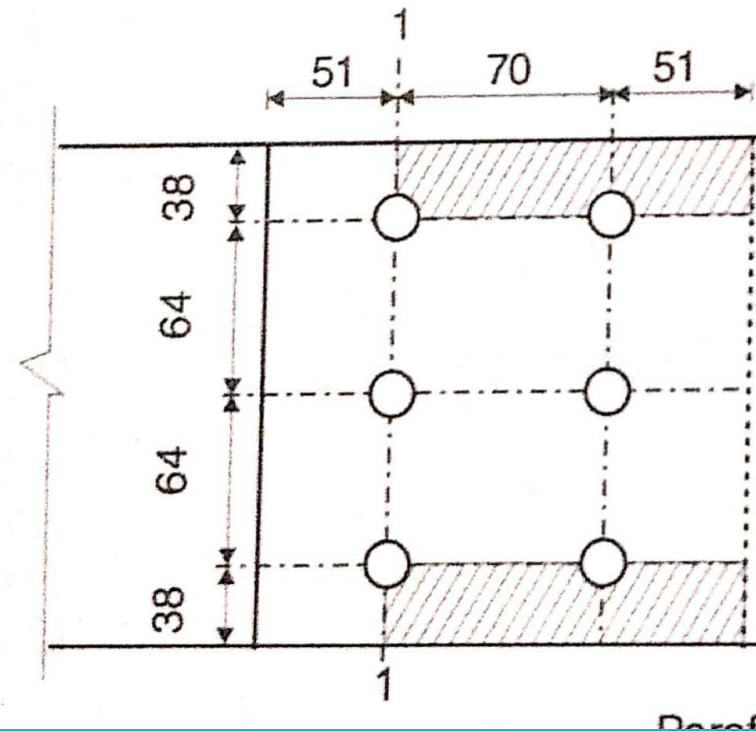
$$R_{d \text{ externo}} = 177,23 \text{ kN}$$

$$R_d = 3 * 177,23 + 3 * 200,49$$

$$R_d = 1133,16 \text{ kN}$$

$$R_d = 1133,16 \text{ kN} > N_d = 430 \text{ kN}$$

TUDO OK COM RELAÇÃO AOS PARAFUSOS!!!



O que deve ser determinado?

Ligações de apoio ou contato

Resistências a serem determinadas:

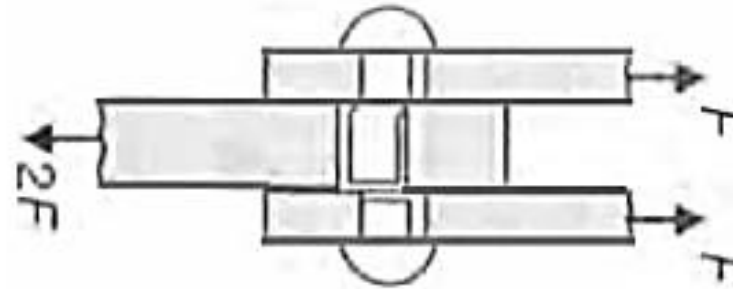
Tração



Corte do conector



Pressão de contato



Exercício de peças tracionadas

Com relação aos parafusos...

Os parafusos da ligação não estão sendo “arrancados” de forma similar a um prego quando é retirado de uma peça de madeira usando um martelo, logo o parafuso não está tracionado. Além disso, é uma ligação composta por parafusos comuns. Dessa forma, o dimensionamento deve levar em conta somente essas verificações corte e a resistência ao rasgamento e apoio

Está tudo ok!

Com relação a chapa...

Determinem a resistência à tração na chapa verificando tudo referente ao dimensionamento de peças sob tração: a resistência ao escoamento da seção bruta da chapa, ruptura da seção líquida (nominal) e o cisalhamento no bloco da chapa.

Tipos de ligações

Ligações de atrito

Ligações feitas com parafusos com alta resistência, quando o deslizamento não é tolerável

Parafusos de alta resistência

São parafusos feitos com aços tratados termicamente

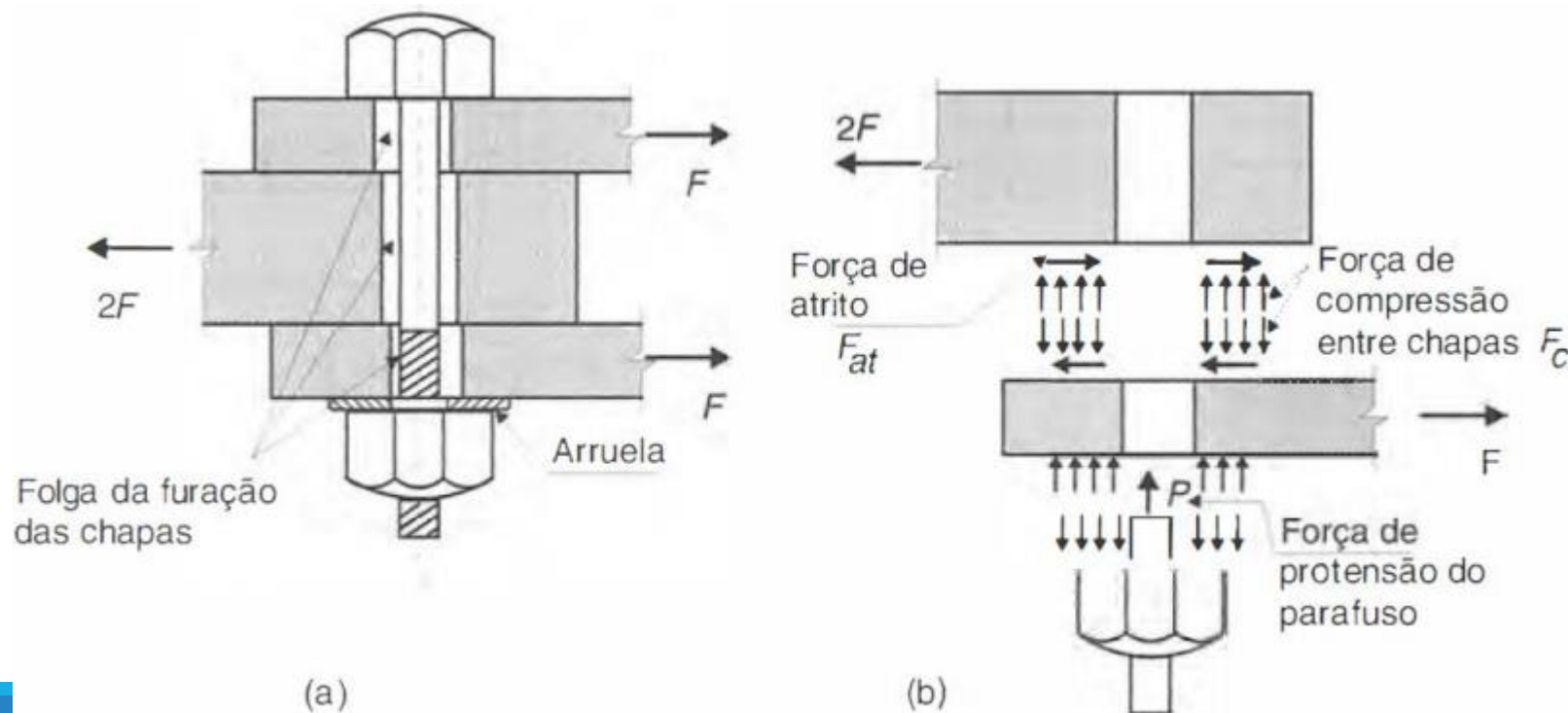
Tipo mais usual: ASTM A325, de aço-carbono temperado

(anexo A5.2 Pfeil)

Parafusos de alta resistência

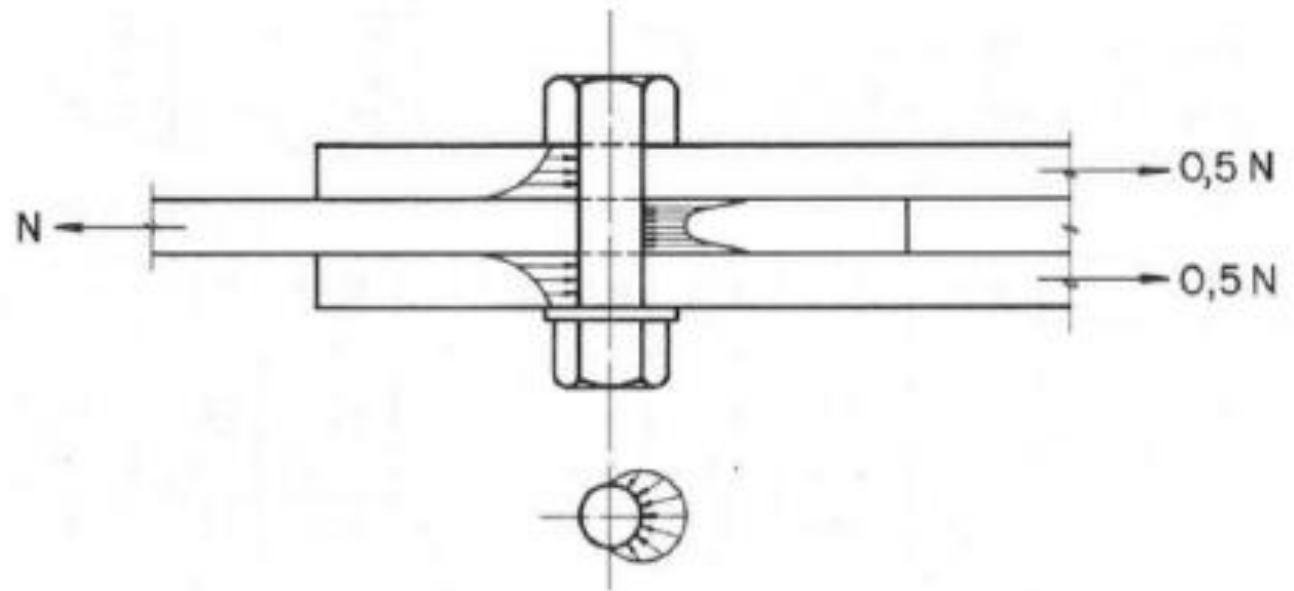
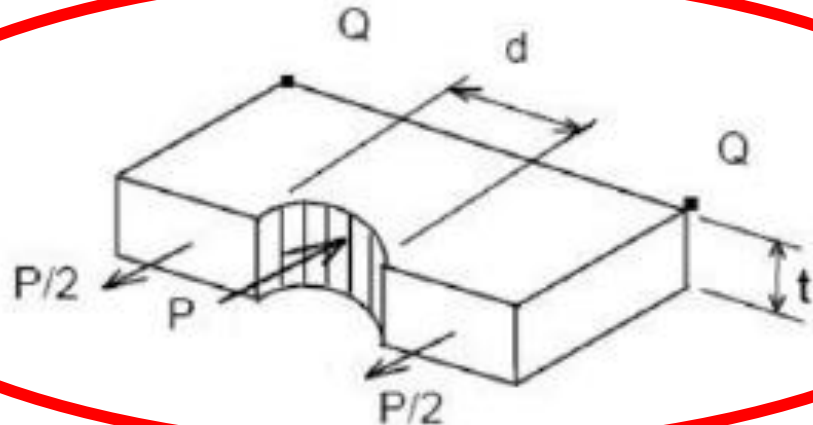
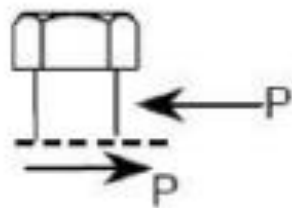
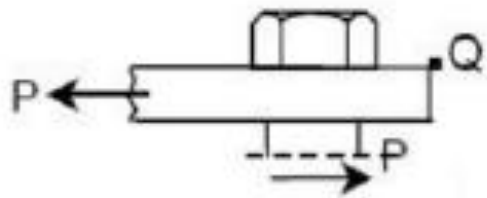
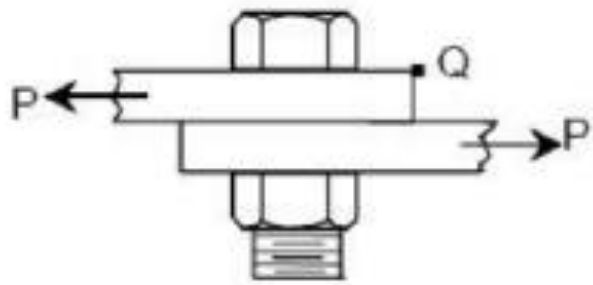
Quando se deseja impedir qualquer movimento entre as chapas de conexão, deve-se dimensionar os parafusos com um coeficiente de segurança contra o deslizamento → **ligação por atrito**

Quando pequenos deslizamentos são tolerados → **ligação por apoio**

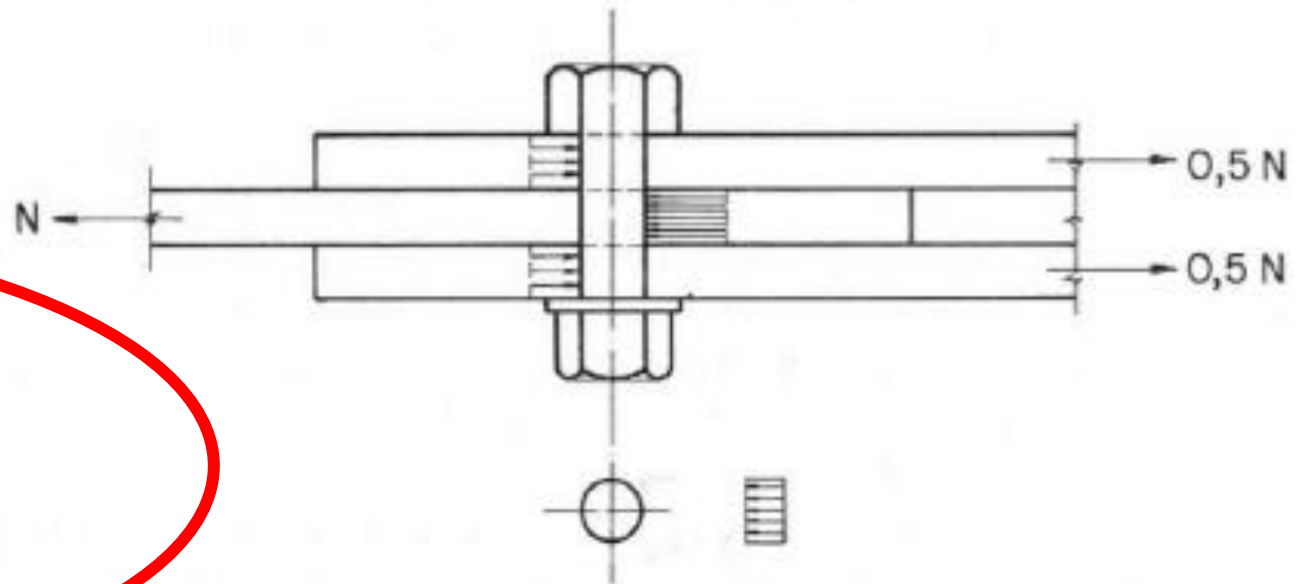


Quando usar parafusos de alta resistência?

- a) Emendas de pilares nas estruturas de andares múltiplos com mais de 40 m de altura;
- b) ligações de vigas com pilares e com quaisquer outras vigas das quais depende o sistema de contraventamento, nas estruturas com mais de 40 m de altura;
- c) ligações e emendas de treliças de cobertura, ligações de treliças com pilares, emendas de pilares, ligações de contraventamentos de pilares, ligações de mãos francesas ou mísulas usadas para reforço de pórticos e ligações de peças-suportes de pontes rolantes, nas estruturas com pontes rolantes de capacidade superior a 50 kN;
- d) Ligações de peças sujeitas a ações que produzam impactos ou tensões reversas.



Distribuição real das tensões



Distribuição admitida no cálculo

O que deve ser determinado?

Ligações de atrito

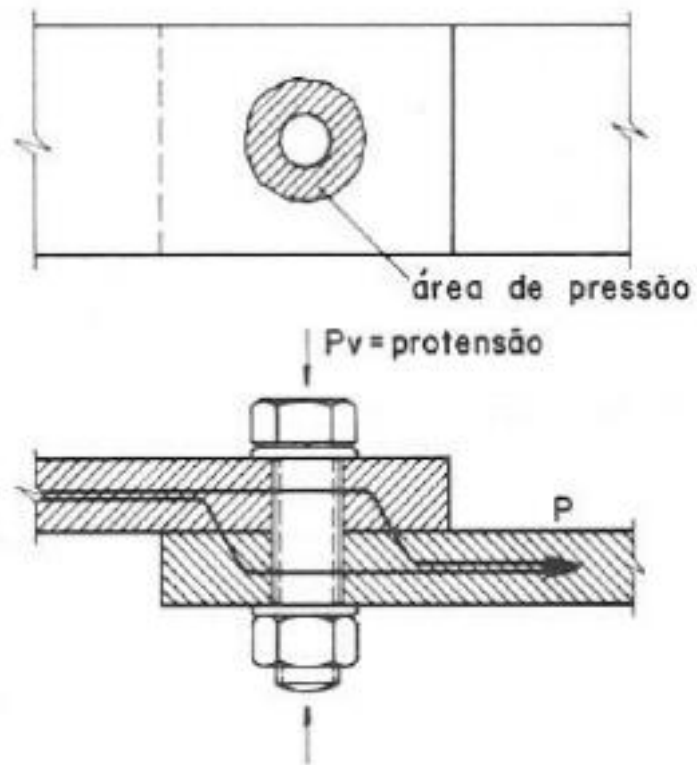
nestas ligações os parafusos são montados com protensão de modo que se desenvolve uma elevada pressão entre as peças na superfície de contato

Tração

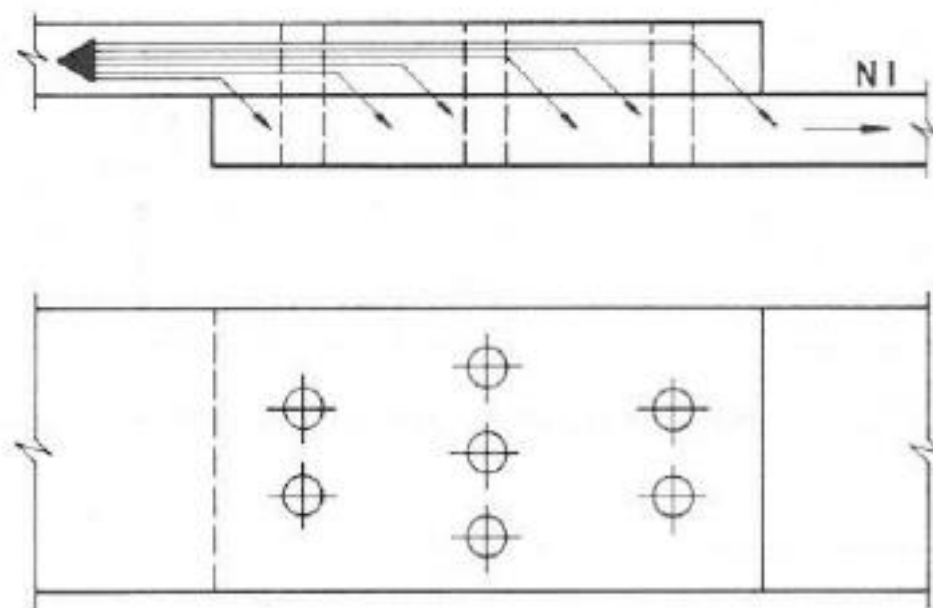
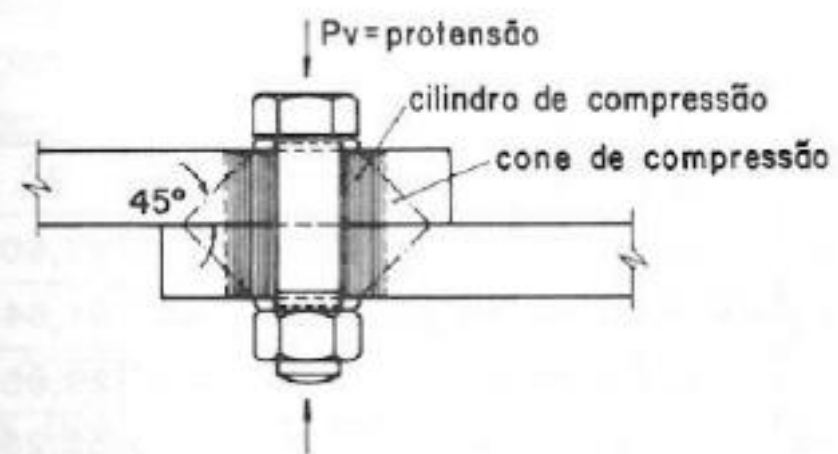
Corte do conector

Pressão de contato

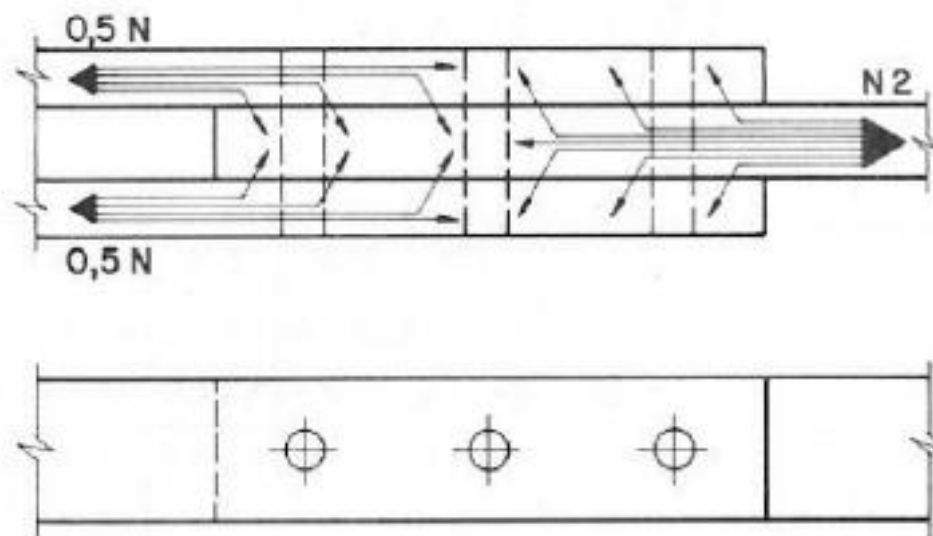
Deslizamento



a) Esquema de transmissão da força P



c) Esquema de transmissão da força N1



Resistência ao deslizamento por atrito

Deslizamento deve ser considerado estado-limite último nas ligações com furos alargados e furos pouco alongados ou muito alongados com alongamentos paralelos à direção da força aplicada (item 6.3.4.3)

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

F_{Tb} é a força de protensão mínima por parafuso, conforme 6.7.4.1;

$F_{t,Sd}$ é a força de tração solicitante de cálculo no parafuso que reduz a força de protensão, calculada com as combinações últimas de ações conforme 4.7.7.2;

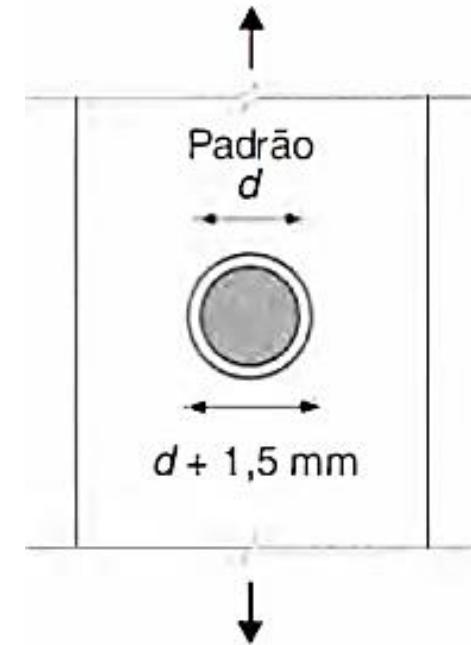
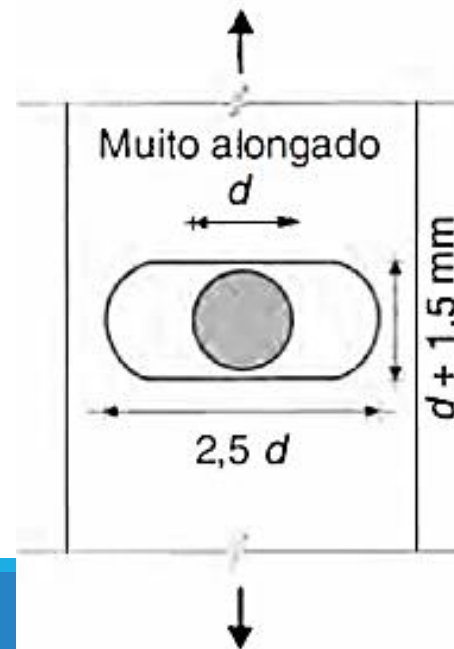
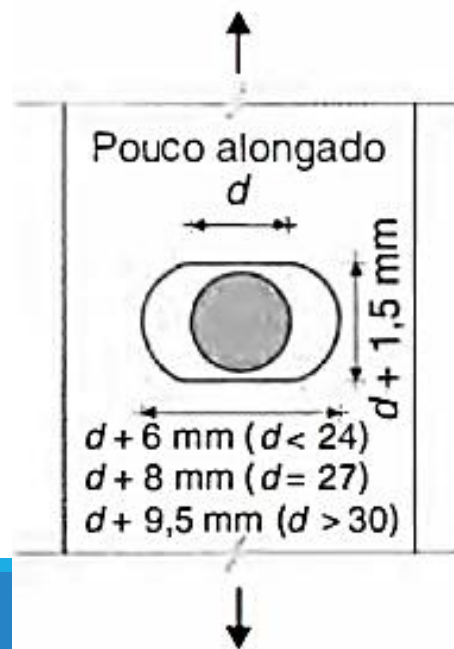
n_s é o número de planos de deslizamento;

γ_e é o coeficiente de ponderação da resistência, igual a 1,20 para combinações normais, especiais ou de construção e 1,00 para combinações excepcionais;

Resistência ao deslizamento por atrito

Deslizamento deve ser considerado estado-limite de serviço nas ligações com:

- furos-padrão
- furos pouco alongados ou muito alongados com alongamentos transversais à direção da força aplicada



Resistência ao deslizamento por atrito

Deslizamento deve ser considerado estado-limite de serviço

a força resistente nominal de um parafuso ao deslizamento, $F_{f,Rk}$, deve ser igual ou superior à força cortante solicitante característica

força cortante solicitante característica deve ser calculada com:

→ as combinações de ações raras de serviço

→ ou, simplificada, tomada igual a 70% da força cortante solicitante de cálculo.

Resistência ao deslizamento por atrito

Deslizamento deve ser considerado estado-limite de serviço

O valor da força resistente nominal é dado por:

$$F_{f,Rk} = 0,8 * \mu * C_h * F_{Tb} * n_s * \left(1 - \frac{F_{t,Sk}}{0,8 * F_{Tb}} \right)$$

C_h : e um fator de redução que depende do tipo de furo, sendo igual a 1 para furos padrão

μ : →0,35 para superfícies laminadas, limpas, isentas de óleos ou graxas e sem pinturas (classe A) e para superfícies galvanizadas a quente com rugosidade aumentada manualmente por meio de escova de aço (Classe C)

→0,50 para superfícies classe B, isto é, superfícies jateadas sem pintura;

→0,20 para superfícies galvanizadas a quente;

n_s : número de parafusos

$F_{t,Sk}$: força de tração atuante sobre os parafusos

Resistência ao deslizamento por atrito

F_{Tb} : força de protensão mínima dada conforme tabela 15 da NBR 8800/2008

Tabela 15 — Força de protensão mínima em parafusos ASTM

| Diâmetro d_b | | F_{Tb} 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 |

Resolução

OBSERVAÇÃO

A ligação do exemplo agora é do tipo **atrito**

Portanto deverão ser determinadas:

→ a resistência do parafuso ao corte (cálculo da mesma forma eu foi realizado para ligação do tipo apoio, mas atenção a resistência vai aumentar por conta das propriedades mecânicas do aço do parafuso)

→ a resistência ao rasgamento e ao apoio (também chamada de pressão de contato) (cálculo da mesma forma eu foi realizado para ligação do tipo apoio, mas atenção a resistência vai aumentar por conta das propriedades mecânicas do aço do parafuso)

→ verificar o deslizamento

Como exercício, determinem a resistência do parafuso ao corte e a resistência ao rasgamento e ao apoio (também chamada de pressão de contato)

Resolução

1. força de serviço

força cortante solicitante característica deve ser calculada com:

→ as combinações de ações raras de serviço,

→ ou, simplificada, tomada igual a 70% da força cortante solicitante de cálculo

$$N_{d \text{ serv}} = 0,7 * N_d$$

$$N_{d \text{ serv}} = 0,7 * 430$$

$$N_{d \text{ serv}} = 301 \text{ kN}$$

Resolução

2. determinação da força resistente n

$$F_{f,Rk} = 0,8 * \mu * C_h * F_{Tb} * n_s * (1 -$$

Pela tabela, para 1 parafuso de alta re

$$\rightarrow F_{Tb} = 176 \text{ kN}$$

Os furos são furos-padrão

$$\rightarrow C_h = 1$$

Admitindo que as chapas são superfíc

$$\rightarrow \mu = 0,2$$

Tabela 15 — Força de protensão mínima em parafusos ASTM

| Diâmetro d_b | | F_{Tb} 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 |

Resolução

2. determinação da força resistente nominal dos parafusos ao deslizamento

Os parafusos não estão tracionados, logo a equação acima se reduz a:

$$\rightarrow F_{f,Rk} = 0,8 * \mu * C_h * F_{Tb} * n_s$$

$$F_{f,Rk} = 0,8 * 0,2 * 1 * 176 * 6 * 2$$

$$F_{f,Rk} = 337,92 \text{ kN}$$

3. verificação do ELS ao deslizamento

$$F_{f,Rk} = 337,92 \text{ kN} > N_{d \text{ serv}} = 301 \text{ kN}$$

Ligações com conectores

Apoio
(parafusos comuns, rebites e, quando pequenos deslocamentos são toleráveis, parafusos de alta resistência)

Tração

Corte do conector

Pressão de contato

Atrito (parafusos de alta resistência – deslocamentos NÃO são toleráveis)

Tração

Corte do conector

Pressão de contato

Deslizamento