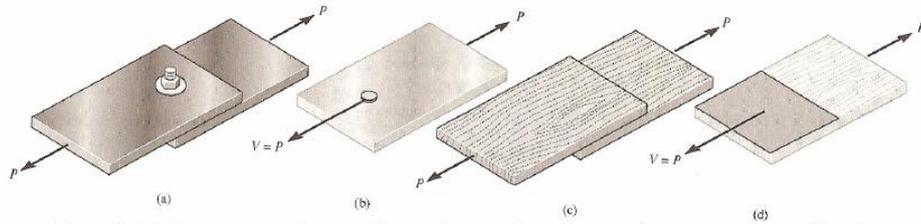


CISALHAMENTO CONVENCIONAL

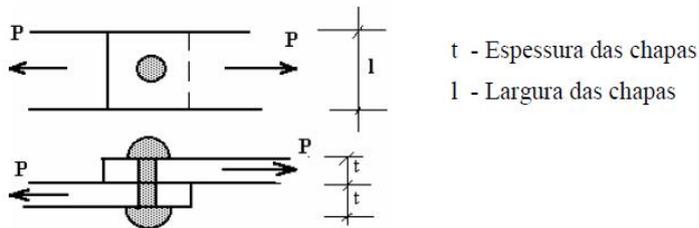
I. ASPECTOS GERAIS

O cisalhamento convencional é adotado em casos especiais, que é a ligação de peças de espessura pequena.

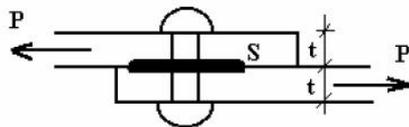


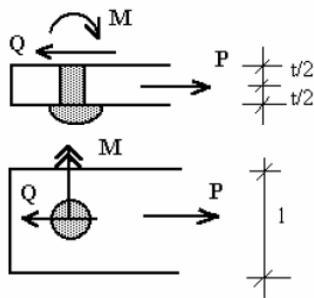
Consida-se inicialmente um sistema formado por duas chapas de espessura " t " ligadas entre si por um pino de diametro " d ", conforme esquematizado abaixo:

A largura destas chapas é representada por " l " e a ligação está sujeita à uma carga de tração " P ".



Considerando-se o método das seções, e cortando a estrutura por uma seção " S ", perpendicular ao eixo do pino e justamente no encontro das duas chapas, nesta seção de pino cortada devem ser desenvolvidos esforços que equilibrem o sistema isolado pelo corte. Então:





Aplicando as equações de equilíbrio:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$Q - P = 0 \quad \therefore Q = P$$

$$\Sigma M_S = 0$$

$$M - P \cdot t/2 = 0 \quad \therefore M = P \cdot \frac{t}{2}$$

As solicitações que se desenvolvem na seção de corte do pino são de Momento Fletor e Esforço Cortante, com os valores acima calculados.

II. CISALHAMENTO CONVENCIONAL

Conforme os cálculos acima efetuados, pode-se notar que o valor do momento é pequeno já que se trabalha com a união de chapas que, por definição, tem a sua espessura pequena em presença de suas demais dimensões.

Nestes casos, pode-se fazer uma aproximação, desprezando o efeito do momento fletor em presença do efeito do esforço cortante.

Isto facilitaria o desenvolvimento matemático do problema, mas teóricamente não é exato pois sabemos que momento e cortante são grandezas interligadas:

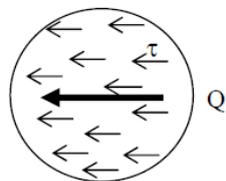
$$Q = \frac{dM}{dx}$$

Em casos de ligações de peças de pequena espessura, como normalmente aparecem em ligações rebitadas, soldadas, parafusadas, pregadas e cavilhas, esta solução simplificada leva a resultados práticos bastante bons. É nestes casos que se adota o cisalhamento aproximado, também chamado de cisalhamento convencional.

O cisalhamento convencional é uma aproximação do cisalhamento real, onde o efeito do momento é desprezado.

Tem-se apenas uma área sujeita à uma força contida em seu plano e passando pelo seu centro de gravidade. Para o cálculo das tensões desenvolvidas é adotado o da distribuição uniforme, dividindo o valor da força atuante pela área de atuação da mesma. Esta seção é chamada de ÁREA RESISTENTE, que deverá ser o objeto de análise.

A distribuição uniforme diz que em cada ponto desta área a tensão tangencial tem o mesmo valor dada por:



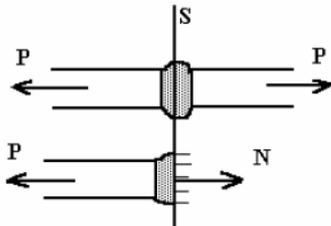
$$\tau = \frac{Q}{A_{resist}}$$

A lei exata da distribuição de tensões deve ser posteriormente estudada para os outros casos em que o cisalhamento convencional não é adotado.

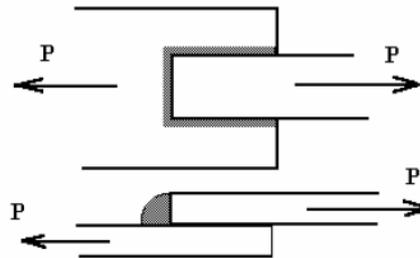
III. LIGAÇÕES SOLDADAS

A. TIPOS DE SOLDA

DE TOPO



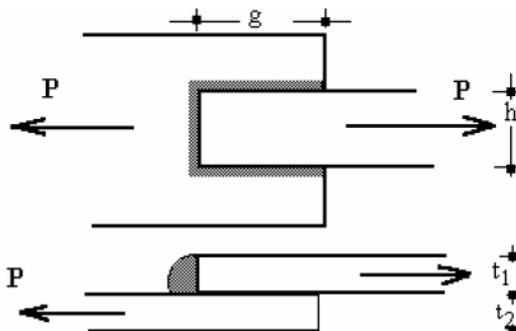
SOLDA POR CORDÕES



Pode-se observar que na solda de topo, há o desenvolvimento de tensão normal, o que já foi visto e foge do proposto neste capítulo.

B. SOLDA POR CORDÕES

Consideram-se duas chapas de espessura t_1 e t_2 , ligadas entre si por cordões de solda conforme a figura abaixo:



Sejam:

g - comprimento de trespasse entre as chapas

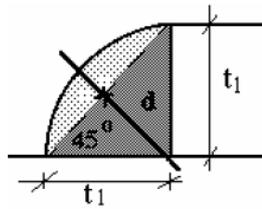
h - largura da chapa à ser soldada

t_1 - espessura da chapa à ser soldada

Pode-se, intuitivamente, notar que o efeito da força se faz sentir ao longo do comprimento do cordão de solda, sendo lógico se atribuir uma relação direta entre a área resistente de solda e o comprimento do cordão.

Nas ligações soldadas, consideramos a área resistente de solda ao produto da menor dimensão transversal do cordão por seu comprimento respectivo.

Na ligação acima vê-se que a chapa de espessura t_1 está ligada à chapa de espessura t_2 por meio de um cordão de solda. Vamos ver ampliada uma seção transversal desta solda:



É costume desprezar-se a parte boleada da seção de solda pois é onde prováveis falhas se localizam (bolhas de ar, etc)

"d" é a menor dimensão da seção resistente deste cordão e que pode ser calculada como a altura do triângulo retângulo de catetos iguais à t_1 .

Observação:

O diâmetro do cordão de solda é escolhido de acordo com a espessura da chapa à ser soldada.

$$d = t_1 \cdot \sin 45^\circ$$

$$d = 0,7 t_1$$

$$A_{\text{resis}} = 0,7 t \cdot l_{\text{cordão}}$$

Observe-se que t corresponde à espessura da chapa que está sendo soldada e $l_{\text{cordão}}$ seria o comprimento do cordão de solda.

Para o caso especial do exemplo citado ficaria:

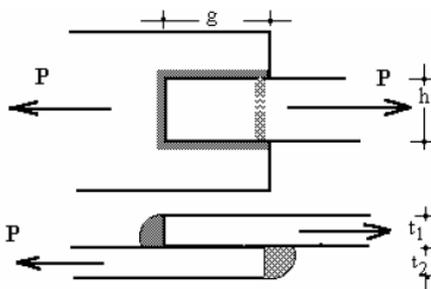
$$l_c = 2 \cdot g + h \quad A_{\text{resist}} = d \cdot l_c$$

$$A_{\text{resist}} = 0,7 t (2 \cdot g + h)$$

Para calcula-se a tensão tangencial desenvolvida tem-se:

$$\tau = \frac{P}{0,7 t (2 \cdot g + h)}$$

A avaliação da área resistente deve ser estudada em cada caso, pois partindo da conclusão que ela deva ser igual ao comprimento do cordão multiplicado pela menor dimensão da seção da solda, pode-e ter casos em que a expressão analítica aparece um tanto diferente:



Neste caso temos a chapa de cima sendo fixada na de baixo mas aproveitando o comprimento disponível do trespasse inferior também fixamos através de solda a chapa de baixo na de cima.

$$A_{\text{resist}} = 0,7 \cdot t_1 (2 \cdot g + h) + 0,7 t_2 \cdot h$$

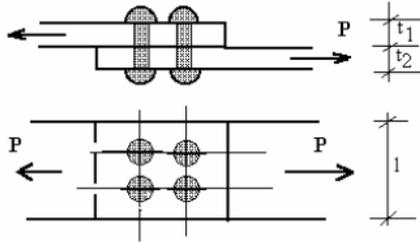
A condição de segurança de uma ligação soldada será então:

$$\frac{P}{0,7 t (2 \cdot g + h)} \leq \bar{\tau}_{\text{cordão de solda}}$$

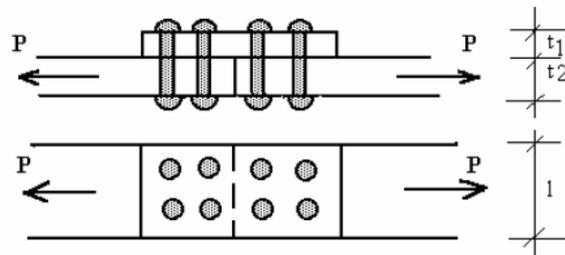
IV. LIGAÇÕES REBITADAS

A. TIPOS DE LIGAÇÕES REBITADAS

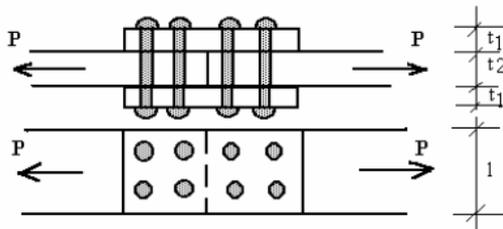
1. Superposição



2. De topo com cobrejunta simples



3. De topo com cobrejunta duplo



B. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Em qualquer ligação rebitada, além de se levar em conta o cisalhamento nos rebites, outros fatores também devem ser examinados. Sempre que se projeta ou verifica uma ligação rebitada deve-se analisar os seguintes itens:

1. Cisalhamento nos rebites.
2. Compressão nas paredes dos furos.
3. Tração nas chapas enfraquecidas.
4. Espaçamento mínimo entre rebites.

Para que a ligação tenha segurança todos estes fatores devem estar bem dimensionados.

C. FATÔRES A SEREM CONSIDERADOS

1 Cisalhamento dos rebites

O fator cisalhamento nos rebites previne o corte das seções dos rebites entre duas chapas. Estas seriam as seções chamadas de seções de corte ou seções resistentes.

Sendo:

n - número de rebites que resiste à carga P

m - número de seções resistentes por rebite.

d - diametro dos rebites

A força P é resistida por "n" rebites com "m" seções resistentes cada um. Então a área resistente total nos casos de uma ligação rebitada é:

$$A_{\text{resist.}} = m \cdot n \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

Sendo $\bar{\tau}_{\text{reb}}$ a tensão admissível ao cisalhamento do material do rebite, a tensão tangencial desenvolvida não pode ultrapassar a admitida.

A condição de segurança para o cisalhamento nos rebites expressa de uma forma analítica seria:

$$\frac{P}{m \cdot n \cdot \frac{\pi d^2}{4}} \leq \bar{\tau}_{\text{reb}}$$

Observando os tipos de ligações rebitadas nos exemplos vistos anteriormente ve-se que:

Superposição	Cobrej. simples	Cobrej. duplo
m = 1	m = 1	m = 2
n = 4	n = 4	n = 4

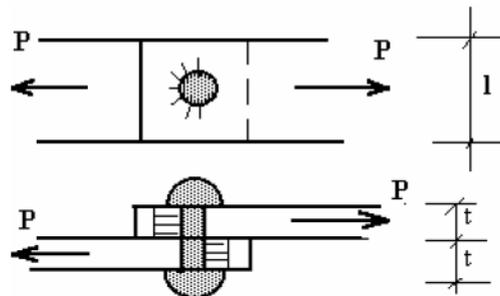
2. Compressão nas paredes dos furos

A força exercida nas chapas, e estando a ligação em equilíbrio estático, cria uma zona comprimida entre as paredes dos furos dos rebites e o próprio rebite.

Esta compressão pode ser tão grande a ponto de esmagar as paredes dos furos e colocar em risco toda a ligação rebitada.

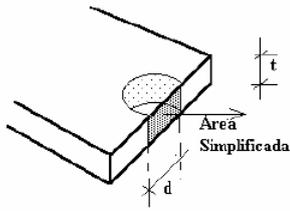
Deve-se portanto descartar esta possibilidade.

Sejam duas chapas ligadas entre si por um rebite de diametro "d", conforme figura:



Observam-se zonas comprimidas nas duas chapas devido à ação do rebite sobre elas, sendo na vista de cima, representada a ação do rebite na chapa superior.

À fim de facilitar-se o cálculo destas compressões substitui-se a área semi cilíndrica, da parede do furo, por sua projeção, que seria uma área equivalente ou simplificada ficando:



$$A_{\text{resist}} = A_{\text{simpl}} = d \cdot t$$

$$F = P$$

$$\sigma = \frac{F}{A_{\text{resist}}}$$

$$\sigma_c = \frac{P}{d \cdot t}$$

Como nos casos de ligações rebitas existem n rebites, podemos generalizar a expressão::

$$\sigma = \frac{P}{n \cdot d \cdot t}$$

Sendo $\bar{\sigma}_{\text{Chapa}}$ a tensão de compressão admissível para o material da chapa ou dos cobrejuntas, então para que o projeto funcione com segurança, a condição expressa analiticamente ficaria:

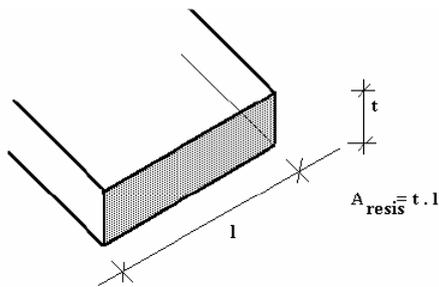
$$\frac{P}{n \cdot d \cdot t} \leq \bar{\sigma}_{\text{Chapa}}$$

As tensões de compressão não se distribuem de maneira exatamente uniforme, entretanto assim se admite.

3. Tração nas chapas enfraquecidas

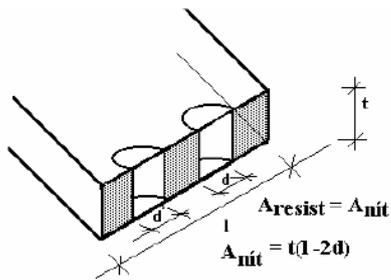
Quando se perfura as chapas para a colocação de rebites elas são enfraquecidas em sua seção transversal. Quanto maior for o número de furos em uma mesma seção transversal, mais enfraquecida ficará a chapa nesta seção, pois sua área resistente à tração fica reduzida.

Antes da furação a seção transversal da chapa que resistia à tração era:



$$\sigma_T = \frac{P}{t \cdot l}$$

Supondo que se façam dois furos em uma mesma seção transversal de chapa para a colocação de rebites. A nova área resistente será:



A nova tensão de tração desenvolvida será:

$$\sigma = \frac{P}{t(1-2.d)}$$

Para generalizar criamos uma grandeza, n_1 que representa o número de rebites colocados em uma mesma seção transversal;

$$\sigma = \frac{P}{t(1-n_1.d)}$$

A condição de segurança expressa analiticamente será:

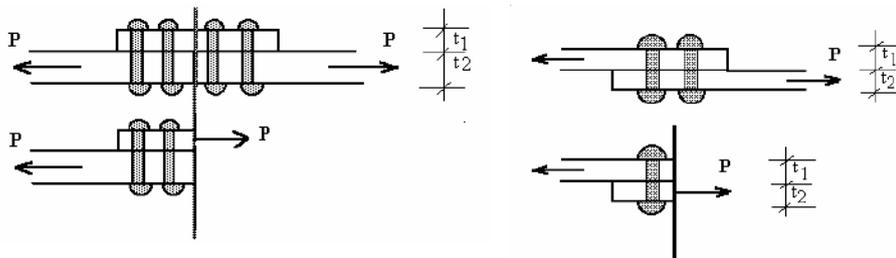
$$\frac{P}{t(1-n_1.d)} \leq \bar{\sigma}_T$$

onde $\bar{\sigma}_T$ representa a tensão de tração admissível para o material das chapas ou cobrejuntas

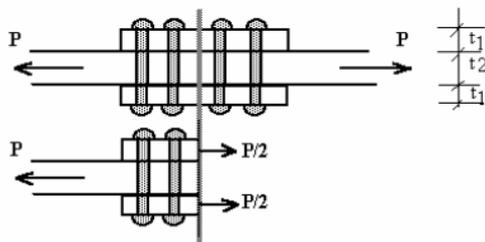
Observações:

1. Em casos de projetos de ligações rebitadas sempre interessa a pior situação do sistema, que muitas vezes é determinada com a simples observação. Nos dois itens anteriores (compressão nos furos e tração nas chapas enfraquecidas) pode-se tirar as seguintes conclusões:

a. Nas ligações por superposição e cobrejunta simples, sempre estará em pior situação a peça de menor espessura, pois ambas recebem a mesma carga. Resta apenas observar que para a tração nas chapas enfraquecidas, a seção transversal com maior número de rebites colocados é a em pior situação (n_1 máximo).



b. Nas ligações com cobrejunta duplo seria conveniente a análise das chapas e dos cobrejuntas já que a espessura dos mesmos é diferente e a carga ao qual eles estão submetidos também o é.



Cobrejunta: $P/2$, t_1

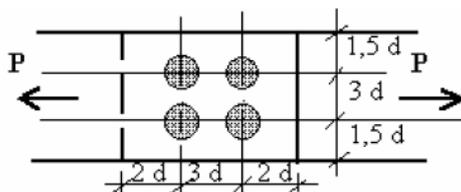
Chapas: P , t_2

4. Espaçamento mínimo entre rebites

Com a finalidade de limitar a proximidade entre rebites e entre rebites e bordas livres, as normas fixaram um espaçamento mínimo que deve ser preservado.

Isto evita zonas de extrema fragilidade entre dois furos em uma chapa e evita também que o funcionamento de um rebite interfira nos rebites vizinhos, o que poderia provocar acúmulos de tensões nestas áreas comuns.

NB - 14 (Estruturas Metálicas)



Recomendações da Norma:

3 d - distância mínima entre os centros de 2 rebites

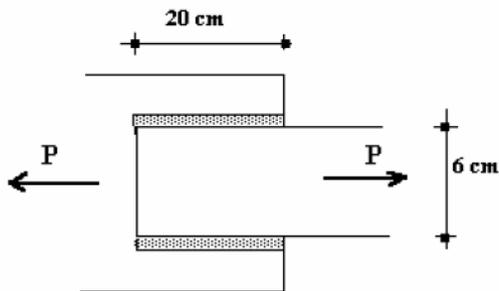
2 d - distância mínima entre centro de rebite e borda livre perpendicular à ação da força

1,5 d - distância mínima entre centro de rebite e borda livre paralela à ação da força onde "d" é o diâmetro do rebite.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS:

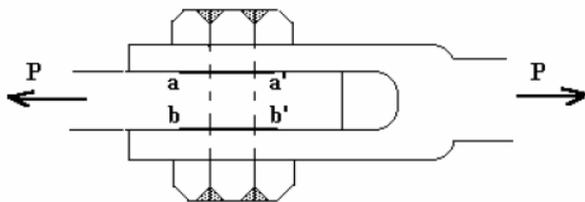
- Uma guilhotina para cortes de chapas tem mesa com 2 metros de largura de corte e 450 kN de capacidade. Determinar as espessuras máximas de corte em toda a largura para as chapas :
 - Aço ($\bar{\tau} = 220 \text{ MPa}$)
 - Cobre ($\bar{\tau} = 130 \text{ MPa}$)
 - Alumínio ($\bar{\tau} = 70 \text{ MPa}$)

R: (a) 0.10 cm
(b) 0.17 cm
(c) 0.32 cm
- As chapas soldadas abaixo na figura tem espessura de $5/8"$. Qual o valor de 'P' se na solda usada a tensão admissível ao cisalhamento é de 8 kN/cm^2 . Determine também o menor trespasse possível adotando-se todas as possibilidades de solda.



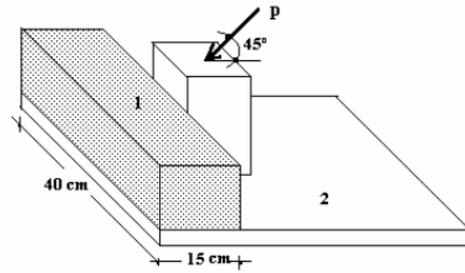
R: $P \leq 356.16 \text{ kN}$
 $g \geq 14 \text{ cm}$

- Considere-se o pino de 12.5 mm de diametro da junta da figura. A força "P" igual à 37.50 kN. Admita a distribuição de tensões de cisalhamento uniforme. Qual o valor destas tensões nos planos a-a' e b-b'.



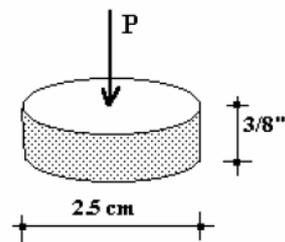
R: 1.528 Kgf/cm^2

- De acôrdo com a figura, a força P tende a fazer com que a peça superior (1) deslize sobre a inferior (2). Sendo $P = 4.000 \text{ Kgf}$, qual a tensão desenvolvida no plano de contato entre as duas peças?



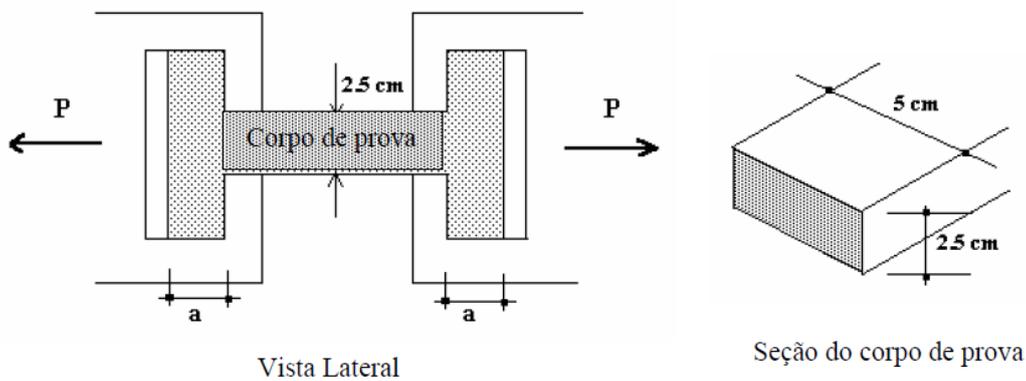
R: $4,71 \text{ kN/cm}^2$

5. O aço de baixo teor de carbono usado em estruturas tem limite de resistência ao cisalhamento de 31 kN/cm^2 . Pede-se a força P necessária para se fazer um furo de 2.5 cm de diâmetro, em uma chapa deste aço com $3/8''$ de espessura.



R: 231,91 kN

6. Considere-se o corpo de prova da figura, de seção transversal retangular $2.5 \times 5 \text{ cm}$, usado para testar a resistência a tração da madeira. Sendo para a peroba de $1,3 \text{ kN/cm}^2$ a tensão de ruptura ao cisalhamento, pede-se determinar comprimento mínimo "a" indicado, para que a ruptura se de por tração e não por cisalhamento nos encaixes do corpo de prova. Sabe-se que a carga de ruptura do corpo por tração é de 10,4 kN.



R: $a \geq 0.8 \text{ cm}$